

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **026574**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2017.04.28

(21) Номер заявки
201390808

(22) Дата подачи заявки
2011.12.05

(51) Int. Cl. **B29C 70/06** (2006.01)
E21B 17/01 (2006.01)
F16L 11/08 (2006.01)

(54) **КОМПОЗИТНАЯ ТРУБА**

(31) **1020514.4**

(32) **2010.12.03**

(33) **GB**

(43) **2013.12.30**

(86) **PCT/GB2011/001685**

(87) **WO 2012/072993 2012.06.07**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
МЭГМА ГЛОУБАЛ ЛИМИТЕД (GB)

(72) Изобретатель:
**Джоунс Мартин Питер Уилльям,
Тевнер Чарльз Александр, Робертс
Ричард Дэймон Гудмен (GB)**

(74) Представитель:
Медведев В.Н. (RU)

(56) **GB-A-2295875
US-A-5638870
US-A1-2008302535**

(57) Труба (70), имеющая стенку (72) трубы, содержащую композитный материал, сформированный, по меньшей мере, из матрицы (74) и множества армирующих волокон (76), внедренных в матрицу (74), причем материал матрицы (74) образует непрерывную структуру, при этом волокна (76) имеют различное распределение в непрерывной структуре материала матрицы (74), изменяющееся от нуля в области внутренней поверхности (78) стенки трубы и увеличивающееся по направлению к внешней стенке (80).

B1

026574

026574

B1

Область техники, к которой относится изобретение

Настоящее изобретение относится к композитной трубе, такой как композитная труба, для использования в применениях нефтегазовой индустрии, которая включает в себя композитный материал из матрицы и множества волокон, внедренных в матрицу.

Уровень техники

Композитные трубы используются во многих индустриях, таких как нефтегазовая промышленность для замкнутой транспортировки текучих сред, а также в оборудовании, связанном с извлечением углеводородов из подземного резервуара. Например, в данной области техники известны композитные морские водоотделяющие колонны, поточные линии, соединители.

WO 99/67561 раскрывает гибкую композитную трубу, которая предназначена для использования в транспортировке текучих сред, таких как углеводороды, при этом она сформирована из множества соосным образом ориентированных отдельных слоев, которые соединены друг с другом. Более конкретно, раскрытая труба предшествующего уровня техники содержит обособленные внутренний и внешний слои, а также один или более отдельных промежуточных слоев, которые включают армирующие волокна и которые расположены между внутренней и внешней оболочками.

Краткое изложение существа изобретения

Труба, имеющая стенку, может содержать композитный материал, сформированный, по меньшей мере, из матрицы и множества армирующих волокон, внедренных в матрицу, причем по меньшей мере один периферийный сегмент стенки трубы содержит или образует локальное изменение в конструкции для обеспечения локального изменения в свойстве трубы.

Согласно первому аспекту настоящего изобретения обеспечена труба, имеющая стенку, содержащую композитный материал, сформированный, по меньшей мере, из матрицы и множества армирующих волокон, внедренных в матрицу, причем в плоскости, которая проходит в боковом направлении через стенку трубы, материал матрицы образует непрерывную периферийную конструкцию, при этом по меньшей мере один периферийный сегмент стенки трубы в упомянутой боковой плоскости содержит или образует локальное изменение в конструкции для обеспечения локального изменения в свойстве трубы.

Один периферийный сегмент стенки трубы может образовывать локальное изменение в конструкции относительно другого периферийного сегмента для обеспечения локального изменения в свойстве трубы.

Материал матрицы образует непрерывную периферийную конструкцию таким образом, что матрица не включает в себя любые разрывы, такие как отверстия и т.п., которые проходят через всю толщину стенки трубы. По этой причине, по меньшей мере, матрица образует завершенную структуру вокруг канала трубы, достаточную для обеспечения, например, емкости текучей среды, по меньшей мере, в определенной боковой плоскости.

Стенка трубы может содержать по меньшей мере два периферийных сегмента, имеющих различные конструкционные свойства.

Стенка трубы может образовать общую конструкцию по своей окружности, причем по меньшей мере один периферийный сегмент содержит локальное изменение внутри этой общей конструкции.

Таким образом, конструкция стенки трубы включает в себя одно или более локальных изменений по своей окружности, чтобы добиться локального изменения в свойстве трубы. Т.е. конструкционное изменение является достаточным, если вызывает изменение в свойстве трубы.

При эксплуатации локальное изменение в свойстве трубы посредством локального конструкционного изменения по меньшей мере в одном периферийном сегменте может установить предпочтительную характеристику трубы. Такая предпочтительная характеристика может выгодно отличаться от таковой в трубе единообразной периферийной конструкции. Можно добиться предпочтительной механической характеристики, такой как прочность, жесткость, жесткость на изгиб, кривизна, резонансная характеристика и т.п. Можно добиться предпочтительной термической характеристики, такой как характеристика теплового расширения, характеристика теплоизоляции и т.п.

Локальное конструкционное изменение по меньшей мере в одном периферийном сегменте может установить предпочтительную характеристику, оказывающую влияние на трубу в продольном направлении. Например, локальное конструкционное изменение по меньшей мере в одном периферийном сегменте может установить предпочтительное распределение или изменение продольной жесткости. Такая предпочтительная продольная жесткость может позволить добиться предварительно заданного движения изгиба или прогиба трубы. Хотя это рассматривается повторно ниже более подробно, такой предварительно заданный изгиб может содействовать в наматывании трубы, требуемой податливости трубы в течение установки, управляемой деформации в течение расширения и сжатия трубы, управлении окружном ориентировании трубы и т.п.

Периферийный сегмент может проходить между внутренней и внешней поверхностями стенки трубы. Локальное изменение в конструкции может образовать весь периферийный сегмент стенки трубы. Локальное изменение в конструкции может образовать участок внутри по меньшей мере одного периферийного сегмента. Например, по меньшей мере один периферийный сегмент может содержать локальное изменение в конструкции в промежуточном расположении между внутренней и внешней поверхностями

стенки трубы.

По меньшей мере один периферийный сегмент может содержать локальное изменение в модуле упругости. По меньшей мере один периферийный сегмент может содержать локальное изменение в моменте инерции. По меньшей мере один периферийный сегмент может содержать локальное изменение в коэффициенте теплового расширения. По меньшей мере один периферийный сегмент может содержать локальное изменение в теплопроводности. По меньшей мере один периферийный сегмент может содержать локальное изменение в прочности материала, такое как предел текучести конкретного компонента композитного материала. По меньшей мере один периферийный сегмент может содержать локальное изменение в прочности на растяжение. По меньшей мере один периферийный сегмент может содержать локальное изменение в окружной прочности. По меньшей мере один периферийный сегмент может содержать локальное изменение в прочности на сжатие. По меньшей мере один периферийный сегмент может содержать локальное изменение в прочности на изгиб.

Локальное конструкционное изменение по меньшей мере в одном периферийном сегменте стенки трубы может образовывать отдельное конструкционное изменение, например в отношении примыкающей области или сегмента. Например, локальное конструкционное изменение может быть предусмотрено пошаговым или прерывистым образом в отношении примыкающей области.

Локальное изменение по меньшей мере в одном периферийном сегменте стенки трубы может быть выполнено в виде постепенного или последовательного изменения, например в отношении примыкающей области или сегмента.

По меньшей мере один периферийный сегмент может содержать локальное изменение в конструкции композитного материала, такое как конструкционное изменение в одном или обоих из матрицы и армирующих волокон.

По меньшей мере один периферийный сегмент может содержать локальное изменение в типе материала матрицы. По меньшей мере один периферийный сегмент может содержать локальное изменение в объеме материала матрицы.

По меньшей мере один периферийный сегмент может содержать локальное изменение в плотности распределения армирующих волокон внутри материала матрицы. Например, армирующие волокна могут быть в большей степени уплотнены друг к другу, по меньшей мере, на участке одного периферийного сегмента стенки трубы, нежели чем в другом периферийном сегменте. При такой компоновке область с увеличенной плотностью укладки волокон может образовать область модифицированной жесткости, например, увеличенной жесткости.

По меньшей мере один периферийный сегмент может содержать локальное изменение в типе волокна в композитном материале. Т.е., по меньшей мере, участок одного периферийного сегмента стенки трубы может содержать тип волокна, который не присутствует в другом периферийном сегменте или, по меньшей мере, присутствует в отличном количестве или конфигурации. По меньшей мере один периферийный сегмент может содержать одно или более волокон с модифицированной, например, с увеличенной или уменьшенной жесткостью, прочностью на растяжение, прочностью на сжатие и т.п. По меньшей мере один периферийный сегмент может содержать одно или более армирующих волокон с модифицированным размером, например, с модифицированным диаметром. Например, по меньшей мере, участок одного периферийного сегмента стенки трубы может содержать волокна, имеющие отличный диаметр от таковых в другом периферийном сегменте.

По меньшей мере один периферийный сегмент может содержать локальное изменение в угле выравнивания волокон внутри композитного материала. Т.е. одно или более армирующих волокон, по меньшей мере, в участке одного периферийного сегмента могут образовывать отличный угол выравнивания относительно одного или нескольких армирующих волокон в другом периферийном сегменте. В такой компоновке угол выравнивания волокон может быть образован относительно продольной оси трубы. Например, волокно, предусмотренное с углом выравнивания 0° , будет проходить полностью в продольном направлении трубы, а волокно, предусмотренное с углом выравнивания 90° , будет проходить полностью по окружности трубы, при этом волокна с промежуточными углами выравнивания волокон будут проходить как по окружности, так и в продольном направлении трубы, например, по шаблону спирали.

Локальное изменение в угле выравнивания волокон может включать волокна, имеющие угол выравнивания, например, между 0 и 90° , между 0 и 45° или между 0 и 20° .

В одной компоновке по меньшей мере один периферийный сегмент может содержать локальное изменение в угле выравнивания волокон, в котором одно или более предпочтительно множество волокон образуют угол выравнивания, по существу, 0° .

По меньшей мере один периферийный сегмент стенки трубы может содержать локальное изменение в предварительном напряжении волокон. В такой компоновке предварительное напряжение волокна может рассматриваться как предварительное напряжение, такое как предварительное напряжение растяжения и/или предварительное напряжение сжатия, приложенное к волокну в течение производства трубы, при этом такое предварительное напряжение, по меньшей мере, частично или остаточным образом

сохраняется в произведенной трубе. В такой компоновке предварительное напряжение волокна в одном периферийном сегменте стенки трубы может отличаться от такового в другом периферийном сегменте. В одной компоновке предварительное напряжение волокна, такое как предварительное растяжение, по меньшей мере в одном периферийном сегменте стенки трубы может быть увеличенным относительно другого периферийного сегмента. Локальное изменение в предварительном напряжении волокна может позволить добиться требуемой характеристики трубы, такой как желаемая характеристика изгиба. Это может содействовать позиционированию или манипулированию трубой, например, в течение установки, возвращения в прежнее состояние, наматывания и т.п. Более того, такое локальное изменение в предварительном напряжении волокна может содействовать переходу в нейтральное положение нагрузки внутри стенки трубы, что может содействовать в обеспечении распределения нагрузки более высокого уровня, когда труба используется и/или, например, находится на хранении, например, в конфигурации с намоткой.

По меньшей мере один периферийный сегмент может содержать локальное изменение в конструкции за счет использования по меньшей мере одной вставки. Вставка может рассматриваться в качестве отдельного компонента от матрицы и армирующих волокон, которые образуют композитный материал стенки трубы. Вставка может быть сформирована отдельно и впоследствии установлена внутрь по меньшей мере одного периферийного сегмента стенки трубы. Вставка может быть установлена внутрь стенки трубы в течение производства трубы. Вставка может быть установлена внутрь стенки трубы после производства трубы.

Вставка может не проходить по всей толщине стенки трубы, по меньшей мере, в боковой плоскости, поскольку такая компоновка приведет к тому, что материал матрицы станет прерывающимся.

Вставка может образовать структурную вставку. Вставка может демонстрировать удовлетворительные механические свойства, такие как жесткость, прочность и т.п., чтобы обеспечить видимое воздействие на механические свойства всей трубы. Например, единичная нить армирующего волокна не может функционировать в качестве вставки по причине величины разницы между структурными свойствами единичной нити и всей трубы. По меньшей мере одна вставка может быть выполнена в виде удлиненной вставки. По меньшей мере одна вставка может проходить, по существу, в продольном направлении трубы. По меньшей мере одна вставка может содержать пластину, стержень, штырь и т.п. По меньшей мере одна вставка может содержать ячеистую структуру и т.п. По меньшей мере одна вставка может содержать металлический материал, такой как металлический сплав. По меньшей мере одна вставка может содержать металлический сплав с эффектом запоминания. По меньшей мере одна вставка может содержать неметаллический материал. По меньшей мере одна вставка может содержать композитный материал, такой как композит матрицы с внедренными армирующими волокнами. В такой компоновке композитная вставка может быть сформирована отдельно и впоследствии установлена или включена по меньшей мере в один периферийный сегмент стенки трубы.

По меньшей мере один периферийный сегмент может содержать локальное изменение в геометрии. Например, по меньшей мере один периферийный сегмент может образовать увеличенную или уменьшенную толщину стенки трубы.

По меньшей мере один периферийный сегмент, содержащий локальное конструкционное изменение, может проходить в продольном направлении трубы. Такая компоновка может позволить локальному периферийному изменению требуемым образом воздействовать на трубу в продольном направлении.

По меньшей мере один периферийный сегмент, содержащий локальное конструкционное изменение, может проходить в продольном направлении трубы параллельно оси трубы. В этом варианте осуществления периферийное расположение по меньшей мере одного сегмента может быть постоянным по длине трубы.

По меньшей мере один периферийный сегмент, содержащий локальное конструкционное изменение, может располагаться и в продольном направлении, и в направлении по окружности трубы. В такой компоновке локальное периферийное изменение может продолжаться в спиральной компоновке вдоль длины трубы.

Локальное конструкционное изменение по меньшей мере в одном периферийном сегменте стенки трубы может оставаться постоянным вдоль длины трубы. В такой компоновке общий эффект локального конструкционного изменения может быть предусмотрен по длине трубы.

Локальное конструкционное изменение по меньшей мере в одном периферийном сегменте стенки трубы может изменяться вдоль длины трубы. В такой компоновке изменяющееся воздействие конструкционного изменения может присутствовать по длине трубы.

Локальное конструкционное изменение по меньшей мере в одном периферийном сегменте может быть выбрано для обеспечения требуемой характеристики продольного изгиба вдоль трубы. Например, локальное конструкционное изменение по меньшей мере в одном сегменте может быть выбрано для обеспечения продольного изгиба в требуемой плоскости. Такая компоновка может позволить добиться воспроизводимого движения изгибания, что может содействовать в наматывании трубы, например, в течение ввода в действие и восстановления в прежнее состояние, установки трубы и т.п. Такая компоновка также или в качестве альтернативы может позволить разместить по близости друг от друга множе-

ство труб согласно настоящему аспекту изобретения, причем локальное конструкционное изменение в каждой трубе содействует управляемому продольному изгибу, например, в предпочтительной плоскости, который приспособлен для предотвращения или, по существу, для минимизации взаимного влияния между трубами. Это может иметь значение там, где, например, множество труб связываются в общем положении, проходят вдоль общей траектории или пути, сходятся в общем ограниченном положении из различных направлений и т.п.

Такой требуемой характеристики продольного изгиба можно добиться за счет обеспечения локального изменения в жесткости внутри по меньшей мере одного периферийного сегмента трубы. В некоторых вариантах осуществления изменение в жесткости, например увеличение жесткости внутри по меньшей мере одного периферийного сегмента, может позволить уменьшить нагрузки внутри трубы в течение продольного изгиба.

Локальное конструкционное изменение по меньшей мере в одном периферийном сегменте может быть выбрано, чтобы обеспечить требуемую характеристику деформации, такую как изгиб, выпучивание и т.п., внутри трубы под нагрузкой, например, при влиянии внутреннего давления, внешнего давления, скручивающей нагрузке, радиальной нагрузке, осевой нагрузке и т.п. Например, труба может быть сформирована, чтобы позволить ограничить изгиб или деформацию конкретным направлением или плоскостью.

Локальное конструкционное изменение по меньшей мере в одном периферийном сегменте может быть выбрано для обеспечения требуемой характеристики скручивания трубы. Например, локальное конструкционное изменение может позволить ввести действие и вернуть в прежнее состояние трубу, например, за счет скручивания или наматывания, при этом обеспечивая требуемую ориентацию поворота трубы. Такая компоновка может позволить, например, принять трубе требуемую ориентацию при вводе в действие или при возврате в прежнее состояние, что, в свою очередь, может позволить поддерживаемому оборудованию, например, также вводиться в действие или возвращаться в прежнее состояние в требуемой ориентации. Более того, такое управление ориентацией трубы посредством избранного локального конструкционного изменения может содействовать более точным процессам измерения, связанным с трубой, таким как неразрушающие испытания, измерения напряжения и т.п. В этом отношении осведомленность в том, что труба будет сориентирована в конкретном направлении, может содействовать в позиционировании измерительного оборудования, устранению или минимизации требований к отдельному обнаружению ориентации трубы в течение измерения и т.п.

Локальное конструкционное изменение по меньшей мере в одном периферийном сегменте может быть выбрано для обеспечения требуемой термической характеристики трубы.

Локальное конструкционное изменение по меньшей мере в одном периферийном сегменте может быть выбрано для обеспечения требуемой характеристики теплового расширения и/или сжатия трубы. Например, локальное конструкционное изменение может быть выбрано, чтобы позволить трубе деформироваться повторяемым и предпологаемым образом при ее тепловом расширении. Это может, например, позволить добиться управляемого выпучивания трубы в течение теплового расширения.

Локальное конструкционное изменение по меньшей мере в одном периферийном сегменте может быть выбрано для обеспечения требуемой характеристики теплоизоляции трубы. Например, изменение теплопроводности внутри периферийного сегмента стенки трубы может позволить добиться требуемого свойства теплопроводности в упомянутом сегменте. Это может быть преимущественным в таких обстоятельствах, когда различные периферийные сегменты трубы находятся под влиянием различных условий при эксплуатации. Например, в одном варианте осуществления участок трубы может быть скрыт, например, в морском дне, а другой участок может находиться под воздействием внешней среды, такой как море. В такой примерной компоновке периферийный сегмент трубы, который находится под воздействием внешней среды, может быть локально модифицирован, чтобы демонстрировать более существенные свойства теплоизоляции, чем таковые у сегмента, который скрыт. Это может позволить сформировать трубу более точно для ее предполагаемого использования.

Локальное конструкционное изменение по меньшей мере в одном периферийном сегменте может быть выбрано для обеспечения требуемой характеристики пропускания трубы. Такая компоновка может, например, позволить передавать тепло, которое может быть обеспечено посредством нагревательного прибора, через стенку трубы. Это может содействовать применению, в котором используется внешний нагревательный прибор для нагрева текучих сред внутри трубы.

Труба может содержать по меньшей мере два периферийных сегмента стенки трубы, каждый из которых содержит локальное изменение в конструкции для обеспечения локального изменения в свойстве трубы. Каждый по меньшей мере из двух периферийных сегментов стенки трубы может содержать одинаковые или различные конструкционные изменения.

Труба может содержать два периферийных сегмента, имеющих локальное конструкционное изменение, которые размещены, по существу, диаметрально напротив друг друга. Такая компоновка может позволить добиться требуемого свойства трубы в или относительно требуемой плоскости. В одной компоновке каждый из двух сегментов может содержать локальное конструкционное изменение для обеспечения локального изменения в жесткости в продольном направлении трубы. Например, каждый сегмент

может образовать область с увеличенной жесткостью таким образом, что увеличивается жесткость на изгиб в плоскости, которая включает оба периферийных сегмента. В такой компоновке два периферийных сегмента с увеличенной жесткостью могут образовать нейтральную плоскость изгиба, вдоль которой будет изогнута труба. Соответственно, можно добиться управляемой ориентации изгиба трубы, что может содействовать в наматывании, установке, эксплуатации и т.п. Обеспечение эффективной увеличенной жесткости вдоль плоскости изгиба может позволить уменьшить нагрузки, находящиеся внутри областей с меньшей жесткостью, расположенных на расстоянии от нейтральной плоскости изгиба. Следовательно, это может увеличить безопасность и может, например, позволить добиться уменьшенного допустимого диаметра наматывания трубы. Должно быть понятно, что можно добиться подобных результатов за счет обеспечения локального уменьшения в жесткости, например в осевой жесткости, на двух диаметрально противоположных периферийных сегментах.

Матрица композитного материала может образовывать непрерывную структуру, где армирующие волокна внедрены в упомянутую непрерывную структуру. В такой компоновке композитный материал может быть эффективно предусмотрен в качестве одного слоя по всей стенке трубы без каких-либо поверхностных раздела, таких как соединительные поверхности между отдельными слоями.

Распределение армирующих волокон может изменяться по всей сплошной матрице в радиальном направлении внутри стенки трубы. Распределение армирующих волокон может изменяться от нуля в области внутренней поверхности стенки трубы и увеличиваться по направлению к внешней стенке. Соответственно, в области внутренней поверхности стенки трубы армирующие волокна будут отсутствовать.

Радиально внутренняя область стенки трубы может образовать единообразную конструкцию, а радиально внешняя область стенки трубы может содержать по меньшей мере один периферийный сегмент, который содержит или образует локальное изменение в конструкции. Т.е. радиально внешняя область может содержать по меньшей мере два периферийных сегмента, имеющих между ними конструкционное изменение. Такой компоновки можно добиться в течение производства трубы за счет обеспечения предварительно сформированной трубной структуры или сердечника единообразной конструкции, который образует радиально внутреннюю область стенки трубы, а затем за счет формирования радиально внешней области стенки трубы на предварительно сформированном сердечнике, при этом включив изменение в конструкции в одном периферийном сегменте.

Способ производства трубы может содержать

формирование стенки трубы с композитным материалом, содержащим матрицу и множество армирующих волокон, внедренных в матрицу; и

создание локального изменения в конструкции стенки трубы внутри по меньшей мере одного периферийного сегмента стенки трубы для обеспечения локального изменения в свойстве трубы.

Согласно второму аспекту настоящего изобретения обеспечен способ производства трубы, содержащий

формирование стенки трубы с композитным материалом, содержащим матрицу и множество армирующих волокон, внедренных в матрицу, причем материал матрицы образует непрерывную периферийную конструкцию в плоскости, которая проходит вбок через стенку трубы; и

в одной и той же боковой плоскости создание локального изменения в конструкции стенки трубы внутри по меньшей мере одного ее периферийного сегмента.

Способ может содержать формирование трубы в соответствии с первым аспектом. Признаки, определенные выше относительно первого аспекта, также могут быть связаны со вторым аспектом.

Труба может иметь стенку, содержащую композитный материал, сформированный, по меньшей мере, из матрицы и множества армирующих волокон, внедренных в матрицу, причем композитный материал по меньшей мере в одной области стенки трубы является предварительно напряженным.

Согласно третьему аспекту настоящего изобретения обеспечена труба, имеющая стенку, содержащую композитный материал, сформированный, по меньшей мере, из матрицы и множества армирующих волокон, внедренных в матрицу, причем композитный материал содержит изменяющийся уровень предварительного напряжения между различными областями стенки трубы.

Таким образом, в третьем аспекте труба может содержать множество областей внутри стенки трубы, причем уровень предварительного напряжения внутри композитного материала изменяется по меньшей мере между двумя областями.

Композитный материал по меньшей мере в одной области стенки трубы может содержать или образовывать уровень предварительного растяжения.

Композитный материал по меньшей мере в одной области стенки трубы может содержать или образовывать уровень предварительного сжатия.

Предварительное напряжение может быть применено к композитному материалу внутри по меньшей мере одной области стенки трубы в течение производства трубы. Такое предварительное напряжение, прикладываемое в течение производства, может сохраняться, по меньшей мере, остаточным образом внутри области стенки трубы после производства.

Предварительного напряжения внутри композитного материала по меньшей мере одной области стенки трубы можно добиться за счет применения растяжения для одного или нескольких армирующих волокон композитного материала в течение производства трубы. Такое приложенное растяжение может представлять уровень нагрузки в одном или нескольких армирующих волокнах композитного материала в течение производства трубы. В одном варианте осуществления в течение производства трубы в одном или нескольких армирующих волокнах может быть приложено от 0,05 до 0,5% нагрузки. Изменяемое растяжение может быть приложено к одному или нескольким армирующим волокнам композитного материала в течение производства трубы.

Предварительного напряжения можно добиться за счет применения сжатия к одному или нескольким волокнам в течение производства трубы.

В одном варианте осуществления область стенки трубы может быть сформирована, используя удлиненную композитную ленту, ровинг, жгут и т.п. которыми манипулируют, например, наматывают, для формирования стенки трубы. В такой компоновке предварительное напряжение может быть приложено к удлиненной композитной ленте, ровингу, жгуту и т.п. в течение производства трубы. Например, заданное растяжение или сжатие может быть приложено к удлиненной ленте, ровингу, жгуту и т.п. в течение производства. Изменяемое растяжение или сжатие может быть приложено к удлиненной ленте, ровингу, жгуту и т.п. в течение производства для установления различных областей стенки трубы с различными уровнями предварительного напряжения.

Предварительное напряжение внутри композитного материала по меньшей мере в одной области стенки трубы может быть предусмотрено, чтобы добиться требуемого распределения напряжений и/или распределения нагрузок в стенке трубы, когда труба находится под воздействием предполагаемых условий.

Такие предполагаемые условия могут представлять собой условия, когда труба находится в эксплуатационной конфигурации, например, когда подвергается внутреннему и/или внешнему давлению текучей среды и связанным напряжениям и нагрузкам, таким как окружные напряжения/нагрузки и т.п. В такой компоновке предварительное напряжение внутри композитного материала по меньшей мере в одной области стенки трубы может быть предусмотрено, чтобы добиться требуемых свойств разрыва и/или разрушения, таких как прочность трубы.

Предполагаемые условия могут содержать условия, когда труба находится в конфигурации хранения, такой как конфигурация хранения с намоткой, в которой могут создаваться напряжения/нагрузки на изгиб, осевое растяжение и напряжения/нагрузки на сжатие, скручивающие напряжения/нагрузки и т.п. Предполагаемые условия могут содержать конфигурацию ввода в действие, такую как ввод в действие с катушки, конфигурацию возврата в прежнее состояние, такую как возврат в прежнее состояние на катушку и т.п.

В одном варианте осуществления предварительное напряжение внутри композитного материала по меньшей мере в одной области может быть предусмотрено, чтобы установить требуемое распределение напряжений и/или распределение нагрузок внутри стенки трубы, когда труба находится под влиянием конкретных или предполагаемых условий. Такое требуемое распределение напряжений и/или распределение нагрузок может включать более выровненное или улучшенное распределение по всей стенке трубы, например, если сравнивать с традиционной композитной трубой. Такое более выровненное или улучшенное распределение напряжений и/или распределение нагрузок может содействовать в минимизации частоты разрушений, усталости материала, может позволять управлять или уменьшать распространением трещин и т.п. Более того, такое более выровненное или улучшенное распределение напряжений и/или распределение нагрузок может позволить добиться более высокой прочности внутри стенки трубы для заданного количества материала.

Предварительное напряжение внутри композитного материала по меньшей мере в одной области стенки трубы может быть предусмотрено, чтобы добиться требуемого движения-смещения трубы, такого как движение-изгиб, движение-выпучивание, движение-удлинение, движение-радиальное расширение и т.п.

Предоставление предварительного напряжения внутри композитного материала по меньшей мере в одной области может быть предназначенным, чтобы изменить нейтральное положение нагрузки внутри стенки трубы.

Изменение в предварительном напряжении между различными областями стенки трубы может обеспечить требуемое общее распределение напряжений и/или распределение нагрузок внутри стенки трубы, когда труба находится под воздействием конкретных или предполагаемых условий, таких как условия эксплуатации и т.п. Например, изменение в предварительном напряжении между различными областями может обеспечить более выровненное или улучшенное общее распределение напряжений и/или распределение нагрузок внутри стенки трубы, когда она находится под воздействием конкретных условий, таких как эксплуатационные условия и т.п. Изменение в уровне предварительного напряжения между различными областями стенки трубы может позволить требуемым образом оказывать влияние на нейтральное положение нагрузки внутри стенки трубы, например, чтобы приспособляться к конкретным эксплуатационным условиям и т.п.

Изменение предварительного напряжения внутри композитного материала между различными областями стенки трубы может быть предусмотрено прерывистым или пошаговым образом.

Изменение предварительного напряжения внутри композитного материала между различными областями стенки трубы может быть предусмотрено последовательным или постепенно уменьшающимся образом.

Труба может содержать множество областей внутри стенки трубы, причем композитный материал по меньшей мере в одной области может быть предварительно напряжен, при этом композитный материал по меньшей мере в одной другой области может образовать или содержать, по существу, нулевое предварительное напряжение. В такой компоновке изменение в предварительном напряжении композитного материала между двумя различными областями может варьироваться от нейтрального уровня предварительного напряжения.

Изменение в предварительном напряжении внутри композитного материала между различными областями может быть обеспечено сочетанием предварительного растяжения и предварительного сжатия внутри различных областей.

Уровень предварительного напряжения, существующий в композитном материале в одной области стенки трубы, может установить или повлиять на уровень предварительного напряжения, созданный или предусмотренный в другой области стенки трубы.

Предварительное напряжение, приложенное внутри композитного материала одной области стенки трубы, может быть выбрано, чтобы обеспечить конкретное предварительное напряжение в последующей области стенки трубы. Например, степень предварительного напряжения в форме растяжения, приложенного в композитном материале в одной области стенки трубы, может обеспечить степень предварительного напряжения в форме сжатия композитного материала в другой области стенки трубы. Кроме того, степень предварительного напряжения в форме растяжения, приложенного в композитном материале в одной области стенки трубы, может обеспечить более низкий уровень предварительного растяжения композитного материала в другой области стенки трубы.

Уровень предварительного напряжения внутри композитного материала стенки трубы может изменяться по всей стенке трубы в радиальном направлении. Т.е. уровень предварительного напряжения внутри композитного материала может изменяться по всей толщине стенки трубы. Например, композитный материал во внешней области или слое стенки трубы может содержать или образовать отличный уровень предварительного напряжения, нежели чем композитный материал во внутренней области или слое стенки трубы. Внешняя область может полностью ограничивать внутреннюю область.

Композитный материал во внешней области стенки трубы может содержать или образовать уровень предварительного растяжения, а композитный материал во внутренней области стенки трубы может содержать или образовать уровень предварительного сжатия. В такой компоновке предварительное растяжение, приложенное в композитном материале внешней области стенки трубы, может устанавливать предварительное сжатие или по меньшей мере отчасти предварительное сжатие внутри композитного материала внутренней области стенки трубы. Например, предварительное растяжение, приложенное в композитном материале внешней области, может прикладывать окружную нагрузку сжатия в композитном материале во внутренней области. Такая компоновка может быть преимущественной в применениях, где внутренние давления трубы являются преобладающими.

Композитный материал во внутренней области стенки трубы может содержать или образовать уровень предварительного растяжения, который является более высоким, чем таковой во внешней области стенки трубы. Такая компоновка может быть преимущественной в применениях, где внешние давления трубы являются преобладающими.

Изменение в предварительном напряжении внутри композитного материала в радиальном направлении стенки трубы может быть выбрано в соответствии с одним или несколькими предполагаемыми эксплуатационными условиями трубы. Например, радиальное измерение в окружности и/или осевое предварительное напряжение могут быть выбраны в соответствии с одним или несколькими предполагаемыми эксплуатационными условиями трубы.

Предоставление изменения в предварительном напряжении внутри композитного материала в радиальном направлении стенки трубы может быть, например, выполнено, чтобы принимать напряжения и/или нагрузки, приложенные к трубе, когда она находится под воздействием внутренних и/или внешних давлений. Компенсация такого давления, приложенного напряжениями и нагрузками, может обеспечить более уравновешенное распределение напряжений и/или распределение нагрузок по всей стенке трубы.

Например, в предполагаемых эксплуатационных условиях, в которых внутренние давления являются преобладающими, например, когда произведение внутреннего давления и внутреннего радиуса трубы является более высокими, чем произведение внешнего давления и внешнего радиуса трубы, результирующие окружные напряжения будут растягивающими. Соответственно, композитный материал во внутренней области будет типично подвергаться большей деформации на растяжение, чем внешняя область. По этой причине при увеличении нагрузки в результате увеличения внутреннего давления, уровень разрушения при растяжении сначала будет достигнут во внутренней области. Однако за счет предоставления предварительного растяжения во внешней области стенки трубы, которое имеет результатом прило-

жение предварительного сжатия внутри композитного материала внутреннего слоя, внутреннему слою может быть позволено или дана возможность поддерживать большую степень нагрузки перед достижением предела разрушения при растяжении.

И наоборот, в предполагаемых эксплуатационных условиях, в которых внешние давления являются преобладающими, результирующие окружные нагрузки будут сжимающими. Настоящее изобретение может приспособляться к таким эксплуатационным условиям за счет обеспечения более высокой степени предварительного растяжения в композитном материале во внутренней области стенки трубы, нежели чем во внешней области.

Уровень предварительного напряжения внутри композитного материала трубы может изменяться по всей стенке трубы в продольном направлении. Например, композитный материал в одной продольной области стенки трубы может содержать отличный уровень предварительного напряжения от композитного материала в другой продольной области стенки трубы. Такая компоновка может быть преимущественной в обстоятельствах, когда требования нагрузки на трубу изменяются вдоль длины трубы. Например, одной продольной области трубы может потребоваться поддерживать более значительную нагрузку, например осевую нагрузку, чем другой продольной области.

Уровень предварительного напряжения внутри композитного материала трубы может изменяться по всей стенке трубы в окружном направлении. Например, композитный материал в одной периферийной области или сегменте стенки трубы может содержать отличный уровень предварительного напряжения от композитного материала в другой периферийной области или сегменте стенки трубы. Эта компоновка может позволить добиться изменения в свойстве трубы в направлении вдоль окружности. Такая компоновка может позволить добиться, например, воспроизводимым образом, требуемого изгиба трубы.

Модуль композитного материала может изменяться по всей стенке трубы. Модуль композитного материала может изменяться за счет изменения модуля матрицы, например за счет изменения типа матрицы. Модуль композитного материала может изменяться за счет изменения модуля одного или нескольких армирующих волокон, например за счет изменения типа армирующего волокна.

Модуль композитного материала может изменяться за счет изменения угла выравнивания армирующего волокна. Угол выравнивания волокон может быть образован относительно продольной оси трубы. Например, волокно, предусмотренное с углом выравнивания 0° , будет проходить полностью в продольном направлении трубы, а волокно, предусмотренное с углом выравнивания 90° , будет проходить полностью по окружности трубы, при этом волокна с промежуточными углами выравнивания волокон будут проходить как по окружности, так и в продольном направлении трубы, например, по спирали.

Модуль композитного материала может быть изменен в радиальном направлении внутри стенки трубы.

В одной компоновке одно или более волокон, расположенных внутри внешней области стенки трубы, могут образовать больший угол выравнивания волокон, чем одно или более волокон, расположенных во внутренней области стенки трубы. Например, одно или более волокон во внешней области стенки трубы могут образовывать угол выравнивания волокон в диапазоне от 75° до 90° , а одно или более волокон во внутренней области стенки трубы могут образовывать угол выравнивания волокон в диапазоне от 65° до 80° . В таком варианте осуществления внутренние волокна, выровненные с меньшим углом выравнивания, могут быть способными принимать более высокие окружные нагрузки, чем внешние волокна, выровненные с большим углом выравнивания. Такая компоновка может быть преимущественной в условиях, где внутренние и/или внешние давления являются преобладающими.

В альтернативной компоновке одно или более волокон, расположенных во внутренней области стенки трубы, могут образовывать больший угол выравнивания волокон, чем одно или более волокон, расположенных во внешней области стенки трубы. Такая компоновка может быть преимущественной в совместных условиях нагрузки, осевой нагрузке, изгибающих моментах, нагрузке от давления и т.п.

Матрица композитного материала может образовывать непрерывную структуру, где армирующие волокна внедрены в упомянутую непрерывную структуру. В такой компоновке композитный материал может быть эффективно предусмотрен в качестве одного слоя по всей стенке трубы без каких-либо поверхностей раздела, таких как соединительные поверхности между отдельными слоями.

Распределение армирующих волокон может изменяться по всей сплошной матрице в радиальном направлении внутри стенки трубы. Распределение армирующих волокон может изменяться от нуля в области внутренней поверхности стенки трубы и увеличиваться по направлению к внешней стенке. Соответственно, в области внутренней поверхности стенки трубы армирующие волокна будут отсутствовать.

Радиально внутренняя область стенки трубы может образовать единообразный уровень предварительного напряжения, а радиально внешняя область стенки трубы может образовать изменяющийся уровень предварительного напряжения. Т.е. радиально внешняя область может содержать по меньшей мере две секции, имеющие различный уровень предварительного напряжения. Такой компоновки можно добиться в течение производства трубы за счет обеспечения предварительно сформированной трубной структуры или сердечника единообразного распределения предварительного напряжения, который обра-

зует радиально внутреннюю область стенки трубы, а затем за счет формирования радиально внешней области стенки трубы на предварительно сформированном сердечнике, при этом включая изменение в предварительном напряжении в радиально внешней области.

Способ производства трубы может содержать
формирование стенки трубы с композитным материалом, содержащим матрицу и множество армирующих волокон, внедренных в матрицу; и
предварительное напряжение композитного материала по меньшей мере в одной области стенки трубы.

Согласно четвертому аспекту настоящего изобретения обеспечен способ производства трубы, содержащий

формирование стенки трубы с композитным материалом, содержащим матрицу и множество армирующих волокон, внедренных в матрицу; и
установление изменяющегося уровня предварительного напряжения в композитном материале между различными областями стенки трубы.

Способ может содержать формирование трубы в соответствии с третьим аспектом. Признаки, определенные выше относительно третьего аспекта, также могут быть связаны с четвертым аспектом.

Согласно пятому аспекту настоящего изобретения обеспечена труба, имеющая стенку, содержащую композитный материал, сформированный, по меньшей мере, из матрицы и множества армирующих волокон, внедренных в матрицу, причем модуль композитного материала изменяется по всей стенке трубы.

Модуль композитного материала может изменяться за счет изменения модуля матрицы, например, за счет изменения типа матрицы. Модуль композитного материала может изменяться за счет изменения модуля одного или нескольких армирующих волокон, например, за счет изменения типа армирующего волокна.

Модуль композитного материала может изменяться за счет изменения угла выравнивания армирующего волокна. Угол выравнивания волокон может быть образован относительно продольной оси трубы. Например, волокно, предусмотренное с углом выравнивания 0° , будет проходить полностью в продольном направлении трубы, а волокно, предусмотренное с углом выравнивания 90° , будет проходить полностью по окружности трубы, при этом волокна с промежуточными углами выравнивания волокон будут проходить как по окружности, так и в продольном направлении трубы, например, по спирали.

Модуль композитного материала может быть изменен в радиальном направлении внутри стенки трубы.

В одной компоновке одно или более волокон, расположенных внутри внешней области стенки трубы, могут образовывать больший угол выравнивания волокон, чем одно или более волокон, расположенных во внутренней области стенки трубы. Например, одно или более волокон во внешней области стенки трубы могут образовывать угол выравнивания волокон в диапазоне от 75° до 90° , а одно или более волокон во внутренней области стенки трубы могут образовывать угол выравнивания волокон в диапазоне от 65° до 80° . В таком варианте осуществления внутренние волокна, выровненные с меньшим углом выравнивания, могут быть способными принимать более высокие окружные нагрузки, чем внешние волокна, выровненные с большим углом выравнивания. Такая компоновка может быть преимущественной в условиях, где внутренние и/или внешние давления являются преобладающими.

В альтернативной компоновке одно или более волокон, расположенных во внутренней области стенки трубы, могут образовывать больший угол выравнивания волокон, чем одно или более волокон, расположенных во внешней области стенки трубы. Такая компоновка может быть преимущественной в совмещенных условиях нагрузки, осевой нагрузке, изгибающих моментах, нагрузке от давления и т.п.

Радиально внутренняя область стенки трубы может образовывать единообразный модуль, а радиально внешняя область стенки трубы может образовывать изменяющийся модуль. Т.е. радиально внешняя область может содержать по меньшей мере две секции, имеющие различные модули. Такой компоновки можно добиться в течение производства трубы за счет обеспечения предварительно сформированной трубной структуры или сердечника модуля, который образует радиально внутреннюю область стенки трубы, а затем за счет формирования радиально внешней области стенки трубы на предварительно сформированном сердечнике, при этом включая изменение модуля в радиально внешней области.

Согласно шестому аспекту настоящего изобретения обеспечен способ производства трубы, содержащий

формирование стенки трубы с композитным материалом, содержащим матрицу и множество армирующих волокон, внедренных в матрицу; и
изменение модуля композитного материала по всей стенке трубы.

Труба, имеющая стенку, может быть выполнена в виде трубы, имеющей стенку, содержащую композитный материал, формирование, по меньшей мере, из матрицы и множества армирующих волокон, внедренных в матрицу, причем по меньшей мере один продольный участок стенки трубы содержит или образует локальное изменение в конструкции для обеспечения изменения в свойстве трубы.

Согласно седьмому аспекту настоящего изобретения обеспечена труба, имеющая стенку, содержащую композитный материал, формирование, по меньшей мере, из матрицы и множества армирующих волокон, внедренных в матрицу, причем стенка трубы содержит локальное изменение в конструкции по меньшей мере в одной продольной секции таким образом, что конструкция волокна в одной продольной секции стенки трубы отличается от конструкции волокна композитного материала в другой продольной секции.

Таким образом, труба содержит изменение в конструкции композитного материала вдоль длины трубы. Такая компоновка может преимущественно позволить оптимизировать трубу вдоль ее длины, например, для конкретных эксплуатационных условий.

Изменение в конструкции между различными продольными секциями может находиться в общем радиальном положении внутри стенки трубы. Такое общее радиальное положение может быть определено от общей точки или поверхности отсчета, такой как внутренняя или внешняя поверхность трубы.

Локальное изменение в конструкции может быть предусмотрено по меньшей мере между двумя продольными секциями в общей окружной плоскости внутри стенки трубы.

Локальное конструкционное изменение может быть таким, чтобы один продольный участок образовал отличную общую конструкцию от таковой в другом продольном участке. В такой компоновке стенка трубы может содержать по меньшей мере два продольных участка, имеющих различные конструкционные свойства.

Таким образом, конструкция стенки трубы включает одно или более локальных изменений вдоль ее длины, чтобы добиться изменения в свойстве трубы. Т.е. конструкционное изменение является достаточным, если вызывает изменение в свойстве трубы.

При применении локальное изменение в свойстве трубы посредством локального конструкционного изменения может установить предпочтительную характеристику трубы. Такая предпочтительная характеристика может выгодно отличаться от таковой в трубе единообразной конструкции вдоль ее длины, такой как известна в предшествующем уровне техники. Можно добиться предпочтительной механической характеристики, такой как прочность, жесткость, жесткость на изгиб, кривизна, резонансная характеристика, характеристики деформации, характеристика разрушения и т.п. Можно добиться предпочтительной термической характеристики, такой как характеристика теплового расширения, характеристика теплоизоляции и т.п.

В вариантах осуществления настоящего изобретения предпочтительная характеристика может быть предусмотрена, чтобы наиболее точно соответствовать свойствам трубы в требуемых эксплуатационных условиях или окружающей среде. Например, в эксплуатационных условиях, в которых воздействие окружающей среды отличается по длине трубы, например, это может быть случай, когда труба проходит на различных глубинах, предоставление продольного изменения может позволить в большей степени адаптировать трубу к различным свойствам окружающей среды. Это может позволить уменьшить расход материала, затраты, вес и т.п. Т.е. традиционные трубы в целом предназначены, чтобы приспособиться к наиболее экстремальным условиям окружающей среды. Однако настоящее изобретение позволяет обеспечивать стенку трубы изменчивыми свойствами, чтобы позволить удовлетворять окружающим требованиям вдоль ее длины.

Локальное конструкционное изменение стенки трубы может быть выполнено, чтобы сосредоточить конкретную поведенческую характеристику в одном или нескольких продольных участках. Это может позволить добиться предпочтительного управления поведением трубы, что может содействовать в эксплуатационных условиях, конфигурации хранения, конфигурации ввода в действие/конфигурации возврата в прежнее состояние и т.п. Например, локальное конструкционное изменение может позволить добиться управляемой деформации внутри продольного участка трубы, а в некоторых вариантах осуществления ограничить ее, по существу, упомянутым продольным участком. Такая деформация может включать выпучивание, продольное расширение и сжатие, радиальное расширение и сжатие, деформацию кручения, изгибание и т.п. Такая деформация может включать катастрофическое разрушение, такое как осевое разрушение при растяжении, окружное разрушение при растяжении и т.п. Например, локальное конструкционное изменение внутри трубы может обеспечивать отчасти уменьшенную прочность, такую как уменьшенную прочность на растяжение, уменьшенную окружную прочность и т.п., что может сосредоточить возникновение какого-либо разрушения внутри упомянутого продольного участка. В такой компоновке может быть выбран конкретный продольный участок с уменьшенной прочностью для простоты доступа, обследования, ремонта и т.п. Например, в вариантах осуществления, где труба используется на изменяющихся глубинах, когда она использована в качестве водоотделяющей колонны, такой как вертикальная водоотделяющая колонна, цепная водоотделяющая колонна и т.п., продольный участок трубы поблизости от поверхности может содержать локальное конструкционное изменение, чтобы обеспечивать область с минимальной прочностью.

В некоторых вариантах осуществления сосредоточения конкретной поведенческой характеристики на продольном участке стенки трубы может позволить расположить рядом друг с другом множество труб согласно настоящему аспекту изобретения, причем локальное конструкционное изменение в каждой трубе содействует требуемой поведенческой характеристике, такой как управляемый продольный изгиб в

общем положении. Это может предотвращать или, по существу, минимизировать взаимное влияние между трубами, содействовать более компактным установкам и т.п. Такая компоновка может представлять собой применения где, например, множество труб связываются в одном положении, проходят вдоль общей траектории или пути, сходятся в общем ограниченном положении из различных направлений и т.п., например сходятся по направлению к общему плавучей емкости, например к емкости FPSO, используемому в нефтегазовой промышленности.

По меньшей мере один продольный участок может содержать локальное изменение в модуле упругости. По меньшей мере один продольный участок может содержать локальное изменение в моменте инерции. По меньшей мере один продольный участок может содержать локальное изменение в коэффициенте теплового расширения. По меньшей мере один продольный участок может содержать локальное изменение в теплопроводности. По меньшей мере один продольный участок может содержать локальное изменение в прочности материала, такой как предел текучести конкретного компонента композитного материала. По меньшей мере один продольный участок может содержать локальное изменение в прочности на растяжение. По меньшей мере один продольный участок может содержать локальное изменение в окружной прочности. По меньшей мере один продольный участок может содержать локальное изменение в прочности на сжатие. По меньшей мере один продольный участок может содержать локальное изменение в прочности на изгиб. По меньшей мере один продольный участок может содержать локальное изменение в геометрии, такое как толщина стенки.

Локальное конструкционное изменение может быть предусмотрено во множестве продольных участков вдоль длины трубы, например вдоль всей длины трубы.

Локальное конструкционное изменение может определять отдельное конструкционное изменение в одном продольном участке в отношении примыкающего продольного участка. Например, локальное конструкционное изменение может быть предусмотрено пошаговым или прерывистым образом в отношении примыкающего участка.

Локальное конструкционное изменение может быть выполнено в виде постепенного или последовательного изменения, например в отношении примыкающей области. Последовательное изменение может быть предусмотрено в одном или нескольких отдельных продольных участках трубы. В качестве альтернативы последовательное изменение может быть предусмотрено по всей длине трубы.

Локальное конструкционное изменение может быть выполнено в виде конструкционного изменения в связующем веществе композитного материала таким образом, что конструкция матрицы в одной продольной секции стенки трубы отличается от конструкции матрицы композитного материала в другой продольной секции.

По меньшей мере один продольный участок может содержать локальное изменение в типе материала матрицы. По меньшей мере один продольный участок может содержать локальное изменение в объеме материала матрицы.

По меньшей мере один продольный участок может содержать локальное изменение в плотности распределения армирующих волокон внутри материала матрицы. Например, армирующие волокна могут быть более плотно подогнаны друг к другу в одном продольном участке стенки трубы, нежели чем в другом продольном участке. В такой компоновке область с увеличенной плотностью подгонки волокна может определять область модифицированной жесткости, например увеличенной жесткости, модифицированной прочности, например окружной прочности, прочности на растяжение и т.п.

По меньшей мере один продольный участок может содержать локальное изменение в типе волокна в композитном материале. Т.е. один продольный участок стенки трубы может содержать тип волокна, который не присутствует в другом продольном участке или, по меньшей мере, присутствует в отличающемся количестве или конфигурации. По меньшей мере один продольный участок может содержать одно или более волокон с модифицированной, например с увеличенной или уменьшенной, жесткостью, прочностью на растяжение и т.п. По меньшей мере один продольный участок может содержать одно или более армирующих волокон с модифицированным размером, например с модифицированным диаметром. Например, один продольный участок стенки трубы может содержать волокна, имеющие отличный диаметр от таковых в другом продольном участке.

По меньшей мере один продольный участок может содержать локальное изменение в угле выравнивания волокон внутри композитного материала. Например, одно или более армирующих волокон в одном продольном участке могут образовывать отличный угол выравнивания относительно одного или нескольких армирующих волокон в другом продольном участке, и/или один продольный участок может содержать отличное соотношение или количество волокон, которые образуют, по существу, тот же самый угол выравнивания, как таковые в другом продольном участке. В такой компоновке угол выравнивания волокон может быть образован относительно продольной оси трубы. Например, волокно, предусмотренное с углом выравнивания 0° , будет проходить полностью в продольном направлении трубы, а волокно, предусмотренное с углом выравнивания 90° , будет проходить полностью по окружности трубы, при этом волокна с промежуточными углами выравнивания волокон будут проходить как по окружности, так и в продольном направлении трубы, например по спирали.

По меньшей мере один продольный участок стенки трубы может содержать локальное изменение в предварительном напряжении волокна. В такой компоновке предварительное напряжение волокна может рассматриваться как предварительное напряжение, такое как предварительное растягивающее напряжение и/или предварительное напряжение сжатия, приложенное к волокну в течение производства трубы, при этом такое предварительное напряжение, по меньшей мере, частично или остаточным образом сохраняется в произведенной трубе. В такой компоновке предварительное напряжение волокна в одном продольном участке стенки трубы может отличаться от такового в другом продольном участке. В одной компоновке предварительное напряжение волокна, такое как предварительное растяжение, по меньшей мере в одном продольном участке стенки трубы может быть увеличенным относительно другого продольного участка. Локальное изменение в предварительном напряжении волокна может позволить добиться требуемой характеристики трубы, такой как требуемая характеристика изгиба. Это может содействовать позиционированию или манипулированию трубой, например, в течение установки, возвращения в прежнее состояние, наматывания и т.п. Более того, такое локальное изменение в предварительном напряжении волокна может содействовать переходу в нейтральное положение нагрузки внутри стенки трубы, что может содействовать в обеспечении распределения нагрузки более высокого уровня, когда труба используется и/или, например, находится на хранении, например, в конфигурации с намоткой.

По меньшей мере один продольный участок стенки трубы может содержать локальное изменение в конструкции за счет использования по меньшей мере одной вставки. Вставка может рассматриваться в качестве отдельного компонента от матрицы и армирующих волокон, которые образуют композитный материал стенки трубы. Вставка может быть сформирована отдельно и впоследствии установлена внутрь по меньшей мере одного продольного участка стенки трубы. Вставка может быть установлена внутрь стенки трубы в течение производства трубы. Вставка может быть установлена внутрь стенки трубы после производства трубы.

Вставка может образовать структурную вставку. Вставка может демонстрировать удовлетворительные механические свойства, такие как жесткость, прочность и т.п., чтобы обеспечить видимое воздействие на механические свойства всей трубы. Например, единичная нить армирующего волокна не может функционировать в качестве вставки по причине величины разницы между структурными свойствами единичной нити и всей трубы. По меньшей мере одна вставка может быть выполнена в виде удлиненной вставки. По меньшей мере одна вставка может проходить, по существу, в продольном направлении трубы. По меньшей мере одна вставка может содержать пластину, стержень, цилиндрический штырь и т.п. По меньшей мере одна вставка может содержать ячеистую структуру и т.п. По меньшей мере одна вставка может содержать металлический материал, такой как металлический сплав. По меньшей мере одна вставка может содержать металлический сплав с эффектом запоминания. По меньшей мере одна вставка может содержать неметаллический материал. По меньшей мере одна вставка может содержать композитный материал, такой как композит матрицы с внедренными армирующими волокнами. В такой компоновке композитная вставка может быть образована отдельно и впоследствии установлена или включена по меньшей мере в один периферийный сегмент стенки трубы.

Локальное конструктивное изменение в стенке трубы может быть выбрано для обеспечения требуемой характеристики продольного изгиба вдоль трубы. Такой требуемой характеристики продольного изгиба можно добиться за счет обеспечения локального изменения в жесткости внутри по меньшей мере одного продольного участка трубы. Модифицированной жесткости можно добиться, например, за счет модифицирования модуля композитного материала, например матрицы и/или волокна, за счет модифицирования момента инерции, например за счет обеспечения большего или меньшего количества композитного материала, и т.п. Такое локальное изменение в жесткости может содержать уменьшение жесткости. Это может позволить или повлиять на то, чтобы изгиб имел место в продольном участке трубы, содержащем уменьшенную жесткость. Такое локальное изменение в жесткости может быть выполнено в виде увеличения в жесткости. Это может минимизировать уровень позволенного изгиба в этом конкретном продольном участке. Такое увеличение жесткости может быть использовано в областях, где может ожидаться более высокая нагрузка или изгибающие моменты, например на соединениях с другим оборудованием, таким как плавучие емкости, оборудование устья скважины и т.п.

Локальное конструктивное изменение в стенке трубы может быть выбрано для обеспечения требуемой характеристики теплового расширения трубы. Например, локальное конструктивное изменение может быть выбрано, чтобы позволить трубе деформироваться повторяемым и предполагаемым образом при ее тепловом расширении. Это может, например, позволить добиться управляемого выпучивания, бокового прогиба и т.п. трубы в течение теплового расширения.

Локальное конструктивное изменение в стенке трубы может быть выбрано для обеспечения требуемой характеристики теплоизоляции трубы. Например, изменение теплопроводности внутри продольного участка стенки трубы может позволить добиться требуемого свойства теплопроводности в упомянутом участке. Это может быть преимущественным в таких обстоятельствах, когда различные продольные участки трубы находятся под влиянием различных условий при использовании. Например, в одном варианте осуществления участок трубы может быть скрыт, например, в морском дне, а другой участок может находиться под влиянием внешней среды, такой как море. В такой примерной компоновке про-

дольный участок трубы, который находится под влиянием внешней среды, может быть локально модифицирован, чтобы демонстрировать более существенные свойства теплоизоляции, чем таковые у участка, который скрыт. Это может позволить сформировать трубу более точно для ее предполагаемого использования.

Локальное конструкционное изменение в стенке трубы может быть выбрано, чтобы принимать или поглощать предполагаемое движение, деформацию и т.п. внутри трубы, например движение продольного расширения или деформацию. В такой компоновке локальное конструкционное изменение может быть выбрано, чтобы обеспечить требуемое свойство или характеристику сжатия, чтобы позволить принять осевое расширение трубы в связанном продольном участке без какого-либо или по меньшей мере без какого-либо значительного бокового прогиба или деформации.

Локальное конструкционное изменение в стенке трубы может быть выбрано для обеспечения требуемой характеристики энергопоглощения трубы. Например, локальное конструкционное изменение может позволить поглощать механические усилия по меньшей мере в одном продольном участке. В такой компоновке продольный участок трубы может функционировать в качестве поглотителя. Конструкционное изменение может позволить поглотить вибрационные усилия по меньшей мере в одном продольном участке.

Локальное конструкционное изменение в стенке трубы может быть выбрано для обеспечения требуемой акустической характеристики трубы. Например, локальное изменение может позволить трубе передать акустическую энергию в связанном продольном участке. Это может позволить акустическим устройствам, таким как преобразователи, использовать стенку трубы в связанном продольном участке, чтобы вносить акустическую энергию в/из материала, содержащегося в ней. Локальное конструкционное изменение может быть выбрано в соответствии с акустическим импедансом стенки трубы на связанном продольном участке с содержащимся материалом или материалом, который предполагается, что содержится в трубе. Такие изменения в акустических свойствах могут позволить выполнить акустические измерения, такие как могут быть выполнены в течение измерения параметров потока, фискального мониторинга и т.п.

Локальное конструкционное изменение в стенке трубы может быть выбрано для обеспечения требуемой резонансной характеристики трубы. Например, по меньшей мере один продольный участок трубы может содержать локальное изменение, выполненное для обеспечения требуемого резонансного режима вибрации. Такая компоновка может позволить уменьшить или минимизировать вибрацию, вызванную вихреобразованием внутри или на трубе, когда она находится под воздействием внешнего потока текучей среды, который имеет боковую составляющую относительно трубы. Более того, настоящее изобретение может позволить обеспечить по меньшей мере один продольный участок трубы резонансным режимом вибрации, который отличается от частоты вихреобразования, связанной с трубой и предполагаемыми условиями работы во внешнем потоке.

Труба может содержать или быть связанной с измерительным устройством, расположенным на одном продольном участке стенки трубы, который содержит локальное конструкционное изменение. В такой компоновке локальное конструкционное изменение может содействовать улучшенным измерениям. Например, локальное конструкционное изменение может быть выбрано, чтобы позволить сосредоточение или усиливать движение в продольном участке, связанном с измерительным устройством.

Труба может содержать или образовать непрерывную стенку. Соответственно, конструкционное изменение может быть обеспечено не за счет соединения двух отдельных трубных секций друг с другом, а вместо этого обеспечено локальным изменением в конструкции внутри одной и непрерывной стенки трубы.

Матрица композитного материала может образовывать непрерывную структуру, где армирующие волокна внедрены в упомянутую непрерывную структуру. В такой компоновке композитный материал может быть эффективно предусмотрен в качестве одного слоя по всей стенке трубы без каких-либо поверхностей раздела, таких как соединительные поверхности между отдельными слоями.

Распределение армирующих волокон может изменяться по всей сплошной матрице в радиальном направлении внутри стенки трубы. Распределение армирующих волокон может изменяться от нуля в области внутренней поверхности стенки трубы и увеличиваться по направлению к внешней стенке. Соответственно, в области внутренней поверхности стенки трубы армирующие волокна будут отсутствовать.

Матрица композитного материала может непрерывно проходить между двумя продольными участками, имеющими изменение в конструкции.

Непрерывные армирующие волокна могут проходить между различными продольными участками или областями стенки трубы.

Радиально внутренняя область стенки трубы может образовать единообразную конструкцию вдоль ее длины, а радиально внешняя область стенки трубы может образовать изменяющуюся конструкцию между различными продольными участками. Т.е. радиально внешняя область может содержать по меньшей мере две секции, имеющие различные конструкции. Такой компоновки можно добиться в течение производства трубы за счет обеспечения предварительно сформированной трубной структуры или сер-

дечника единообразной продольной конструкции, который образует радиально внутреннюю область стенки трубы, а затем за счет формирования радиально внешней области стенки трубы на предварительно сформированном сердечнике, при этом включая изменение в конструкции между двумя различными продольными областями.

Способ производства трубы может содержать

формирование стенки трубы с композитным материалом, содержащим матрицу и множество армирующих волокон, внедренных в матрицу; и

создание локального изменения в конструкции стенки трубы внутри по меньшей мере одного продольного участка стенки трубы для обеспечения изменения в свойстве трубы.

Согласно восьмому аспекту настоящего изобретения обеспечен способ производства трубы, содержащий

формирование стенки трубы с композитным материалом, содержащим матрицу и множество армирующих волокон, внедренных в матрицу; и

изменение конструкции волокна композитного материала по меньшей мере в одном продольном участке стенки трубы таким образом, чтобы конструкция волокна в одном продольном участке отличалась от конструкции волокна в другом продольном участке.

Способ может содержать формирование трубы в соответствии с любым другим аспектом. Признаки, определенные выше относительно любого другого аспекта, также могут быть связаны с настоящим аспектом.

Труба, имеющая стенку, может содержать композитный материал, сформированный, по меньшей мере, из матрицы и множества армирующих волокон, внедренных в матрицу, причем матрица образует непрерывную структуру, а волокна изменяющимся образом распределены внутри непрерывной структуры матрицы.

Согласно девятому аспекту настоящего изобретения обеспечена труба, имеющая стенку, содержащую композитный материал, формирование, по меньшей мере, из матрицы и множества армирующих волокон, внедренных в матрицу, причем матрица образует непрерывную структуру, при этом волокна изменяющимся образом распределены радиально по всей непрерывной матрице от нуля в области внутренней поверхности стенки трубы и с увеличением в направлении к внешней стенке.

Соответственно, в области внутренней поверхности стенки трубы армирующие волокна будут отсутствовать.

В такой компоновке композитный материал может быть эффективно предусмотрен в качестве одного слоя по всей стенке трубы без каких-либо поверхностей раздела, таких как соединительные поверхности между отдельными слоями.

Матрица может образовывать непрерывную структуру между внутренней и внешней поверхностью стенки трубы.

Способ производства трубы может содержать сформированные стенки трубы с непрерывным материалом матрицы и распределение изменяющимся образом армирующих волокон по всему материалу матрицы.

Согласно десятому аспекту настоящего изобретения обеспечен способ производства трубы, содержащий формирование стенки трубы с непрерывным материалом матрицы и распределение изменяющимся образом армирующих волокон радиально по всей непрерывной матрице от нуля в области внутренней поверхности стенки трубы с увеличением по направлению к внешней стенке.

Согласно одиннадцатому аспекту настоящего изобретения обеспечена трубная система, содержащая

первую трубную секцию, имеющий стенку, содержащую металлический материал; и

вторую трубную секцию, соединенную с первой трубной секцией в расположении торца к торцу и имеющую стенку, содержащую композитный материал, сформированный, по меньшей мере, из матрицы и множества армирующих волокон, внедренных в матрицу, причем вторая трубная секция выполнена, чтобы выдерживать более высокий уровень нагрузки, чем первая трубная секция, когда трубная система подвергается деформации под действием нагрузки.

Вторая трубная секция может быть выполнена в виде трубы согласно любому другому аспекту.

Соответственно, в течение деформации трубной системы, вызванной действием нагрузки, большую величину нагрузки будет испытывать вторая трубная секция. Это может содействовать в минимизации уровня нагрузки, прикладываемой внутри первой трубной секции, в тех случаях, когда более высокая величина нагрузки, порожденной внутри трубной системы в течение действия нагрузки, будет испытывать вторая трубная секция. По этой причине вторая трубная секция может функционировать для защиты первой трубной секции в течение деформации и действия нагрузки, приложенной к трубной системе. Например, вторая трубная секция может быть выполнена для предотвращения или, по существу, минимизации опасности нагрузок и/или напряжений, приложенных в первой трубной секции, которые могут привести к превышению пределов текучести металлического материала упомянутой первой трубной секции. Вторая трубная секция может быть выполнена для минимизации опасности появления неисправности, усталости материала, неблагоприятной или нежелательной упругой или пластической деформации.

ции и т.п. первой трубной секции.

Трубная система может быть выполнена таким образом, чтобы большая величина деформации внутри упомянутой системы, вызванной действием нагрузки, сосредотачивалась внутри второй трубной секции. Соответственно, вторая трубная секция может быть выполнена, чтобы принимать относительно большую величину деформации, нежели чем первая трубная секция. В вариантах осуществления настоящего изобретения вторая трубная секция выполнена, чтобы принимать или поглощать, по существу, всю деформацию трубной системы в течение действия нагрузки.

Вторая трубная секция выполнена, чтобы выдерживать более высокий уровень нагрузки, нежели чем первая трубная секция, когда трубная система подвергается деформации циклическим действием нагрузки. Такое циклическое действие нагрузки может быть установлено в течение прерывистого прохождения потока через трубную систему, в течение прохождения мультифазного потока через трубную систему, в течение действия вихреобразования, когда трубная система погружена в перемещающуюся текучую среду и т.п. Вторая трубная секция может быть выполнена, чтобы выдерживать больший уровень нагрузки, чем первая трубная секция, когда трубная система подвергается деформации от приложенной осевой нагрузки. Соответственно, в такой компоновке вторая трубная секция может быть выполнена, чтобы принимать большую относительную степень осевого расширения и/или сжатия. В вариантах осуществления настоящего изобретения, когда к трубной системе прикладывается осевая нагрузка, по существу, вся результирующая осевая деформация поглощается или ограничивается второй трубной секцией.

Вторая трубная секция может быть выполнена, чтобы выдерживать больший уровень нагрузки, чем первая трубная секция, когда трубная система подвергается деформации от приложенной радиальной нагрузки.

Вторая трубная секция может быть выполнена, чтобы выдерживать больший уровень нагрузки, чем первая трубная секция, когда трубная система подвергается деформации от приложенного изгибающего момента. Соответственно, в такой компоновке вторая трубная секция может быть выполнена, чтобы принимать большую относительную степень продольного изгиба. В вариантах осуществления настоящего изобретения, где изгибающий момент приложен к трубной системе, по существу, весь продольный изгиб поглощается или ограничивается второй трубной секцией.

Вторая трубная секция может быть выполнена, чтобы выдерживать больший уровень нагрузки, чем первая трубная секция, когда трубная система подвергается деформации от приложенной скручивающей нагрузки. Соответственно, в такой компоновке вторая трубная секция может быть выполнена, чтобы принимать большую относительную степень скручивания. В вариантах осуществления настоящего изобретения, где к трубной системе прикладывается скручивающее усилие, по существу, вся результирующая деформация кручения поглощается или ограничивается второй трубной секцией.

Действие нагрузки может рассматриваться в качестве любого действия, которое прикладывает нагрузку или напряжение к или внутри трубной системы.

В одном варианте осуществления действие нагрузки может быть установлено термическими свойствами трубной системы, например термическими свойствами одной или обеих из первой и второй трубных секций. Действие нагрузки может быть установлено тепловым расширением и/или сжатием трубной системы. В такой компоновке можно принимать деформацию, вызванную тепловым расширением и/или сжатием, например, по существу, полностью принимать второй трубной секцией. Например, тепловое расширение одной или обеих из первой и второй трубных секций может порождать осевую нагрузку или напряжение сжатия внутри трубной системы. В такой компоновке или возможном случае вторая трубная секция может быть выполнена, чтобы испытывать более высокий уровень нагрузки сжатия, чем первая трубная секция. Более того, тепловое сжатие одной или обеих из первой и второй трубных секций может порождать растягивающее осевое усилие или нагрузку внутри трубной системы. В такой компоновке или возможном случае вторая трубная секция может быть выполнена, чтобы испытывать более высокий уровень деформации при растяжении, чем первая трубная секция.

Действие нагрузки может быть установлено, когда трубная система подвергается условиям эксплуатации. Например, с трубной системой может быть соединено внешнее оборудование и т.п., порождающая приложенную нагрузку. Более того, установить приложенную нагрузку могут внешние условия, такие как внутреннее или внешнее давление текучей среды, например, в течение погружения в воду трубной системы, движения текучей среды, вибрации, выбранной вихреобразованием, например в течение погружения с подвижной текучей средой и т.п.

Вторая трубная секция может образовать более высокое сопротивление одному или нескольким видам разрушений под нагрузкой, нежели чем первая трубная секция. Например, вторая трубная секция может образовать более высокое сопротивление в состоянии разрушения при выпучивании, нежели чем первая трубная секция. В такой компоновке вторая трубная секция может быть выполнена, чтобы принимать более высокую степень осевой нагрузки или напряжения сжатия, нежели чем первая трубная секция, до события выпучивания. Вторая трубная секция может быть выполнена, чтобы принять более высокую степень осевой нагрузки сжатия, нежели чем первая трубная секция, до события выпучивания. Соответственно, вторая трубная секция может испытывать более высокий уровень нагрузки, нежели чем

первая трубная секция, причем оставаться, по существу, в прямой конфигурации.

Вторая трубная секция может образовать более высокое сопротивление в состоянии разрушения при растяжении, чем первая трубная секция.

Композитный материал второй трубной секции может быть сконструирован, чтобы позволить упомянутой трубной секции выдерживать более высокий уровень нагрузки, нежели чем первой трубной секции, когда трубная система подвергается деформации от приложенной нагрузки. Например, композитный материал может содержать требуемые конструкционные свойства, такие как тип матрицы, тип волокна, угол выравнивания волокон, предварительное напряжение композитного материала, плотность укладки волокна и т.п.

Вторая трубная секция может образовать, по существу, прямую трубную секцию. По существу, прямая вторая трубная секция может быть выполнена, чтобы оставаться, по существу, прямой в течение деформации трубной системы, вызванной осевой нагрузкой.

Вторая трубная секция выполнена, чтобы быть деформированной вбок в течение деформации трубной системы, вызванной осевой нагрузкой. В такой компоновке деформация трубной системы может быть принята управляемым образом боковым прогибом второй трубной секции.

Вторая трубная секция может образоватьгибаемую трубную секцию, причем упомянутаягибаемая трубная секция может быть выполнена, чтобы поглощать деформацию внутри трубной системы, вызванную приложенной нагрузкой. В такой компоновке композитный материал второй трубной секции может позволить минимизировать результаты циклической нагрузки. Например, усталость материала не представляет конкретную проблему, требующую решения, в композитном материале.

Согласно двенадцатому аспекту настоящего изобретения обеспечена трубная система, содержащая первую трубную секцию, имеющую стенку, содержащую металлический материал; и вторую трубную секцию, обеспеченную в соответствии с любым другим аспектом, причем вторая трубная секция обеспечивает локальное изменение в свойстве трубной системы вдоль длины трубной системы.

Согласно тринадцатому аспекту настоящего изобретения обеспечен способ производства трубной системы, содержащий

обеспечение первой трубной секции, имеющей стенку, содержащую металлический материал; и соединение второй трубной секции в соответствии с любым другим аспектом с концом первой трубной секции, причем вторая трубная секция обеспечивает локальное изменение в свойстве трубной системы вдоль длины трубной системы.

Согласно четырнадцатому аспекту настоящего изобретения обеспечена труба, имеющая стенку, содержащую композитный материал, сформированный, по меньшей мере, из матрицы и множества армирующих волокон, внедренных в матрицу, причем конструкция композитного материала внутри стенки трубы изменяется вдоль длины трубы.

Согласно пятнадцатому аспекту настоящего изобретения обеспечен трубопровод или трубная система, содержащая

металлическую трубную секцию, имеющую стенку, содержащую металлический материал; и поглотитель деформации, соединенный с металлической трубной секцией и содержащий композитную трубную секцию, имеющую стенку, содержащую композитный материал, сформированный, по меньшей мере, из матрицы и множества армирующих волокон, внедренных в матрицу, причем композитный материал сконструирован так, чтобы побуждать поглотитель деформации выдерживать более высокий уровень нагрузки, нежели чем металлическая трубная секция, когда трубопровод подвергается деформации под действием нагрузки таким образом, что большая величина деформации внутри трубопровода, вызванная действием нагрузки, сосредотачивается внутри поглотителя деформации.

Согласно шестнадцатому аспекту настоящего изобретения обеспечена труба, имеющая стенку, содержащую композитный материал, сформированный, по меньшей мере, из матрицы и множества армирующих волокон, внедренных в матрицу, причем радиально внутренняя область стенки трубы имеет единообразную конструкцию, а внешняя область стенки трубы имеет изменяющуюся конструкцию.

Изменение в конструкции внешней области может содержать изменение в конструкции между различными геометрическими участками внешней области таким образом, что конструкция в одном геометрическом участке отличается от конструкции в другом геометрическом участке. Изменение в конструкции во внешней области может быть выполнено в виде изменения между различными продольными участками, различными радиальными участками и/или различными периферийными участками.

Изменение в конструкции может быть выполнено в виде или образовано любым изменением в конструкции, определенным относительно любого другого аспекта.

Труба может быть изготовлена за счет обеспечения предварительно сформированной трубной структуры или сердечника единообразной конструкции, который образует радиально внутреннюю область стенки трубы, а затем формирования радиально внешней области стенки трубы на предварительно сформированном сердечнике, при этом включив одно или более изменений в ее конструкции.

Согласно семнадцатому аспекту настоящего изобретения обеспечен способ производства трубы, имеющей стенку, содержащую композитный материал, сформированный, по меньшей мере, из матрицы

и множества армирующих волокон, внедренных в матрицу, причем способ содержит обеспечение предварительно сформированной трубной структуры или сердечника единообразной конструкции для образования радиально внутренней области стенки трубы; и формирование радиально внешней области стенки трубы на предварительно сформированном сердечнике, при этом включая одно или более изменений в ее конструкции.

Предварительно сформированная трубная структура может содержать и матрицу, и волокна. Предварительно сформированная трубная структура может не содержать волокна.

В одном или нескольких аспектах, определенных выше, материал матрицы может содержать полимер. Материал матрицы может содержать термопластический компонент. Материал матрицы может содержать термоотверждаемый компонент. Материал матрицы может содержать полиарилэфиркетон, полиарилкетон, полиэфиркетон, полиэфирэфиркетон, поликарбонат и т.п. или любое их сочетание. Материал матрицы может содержать смолу, такую как эпоксидная смола или т.п.

Армирующие волокна могут содержать непрерывные или удлиненные волокна. Армирующие волокна могут содержать любое из или сочетание углеродных волокон, стекловолокна, полимерных волокон, базальтовых волокон, арамидов и т.п. Армирующие волокна могут содержать прерывистое волокно.

В некоторых вариантах осуществления композитный материал может содержать матрицу и волокна, сформированные из подобных или одинаковых материалов. Например, композитный материал может содержать одно или более армирующих волокон, которые сформированы из того же самого материала как матрица, но в волокнистой, вытянутой, удлиненной форме и т.п.

В одном или нескольких аспектах, определенных выше, труба может быть выполнена для использования над землей. Труба может быть выполнена для использования по меньшей мере отчасти в закрытом состоянии. Труба может быть выполнена для использования в подземной окружающей среде. Труба может быть выполнена для использования в подводном расположении.

Труба по любому аспекту может быть жесткой или почти, по существу, жесткой. Труба может быть выполнена для образования минимального радиуса изгиба по меньшей мере 50 диаметров. В некоторых вариантах осуществления труба может быть выполнена для образования минимального радиуса изгиба по меньшей мере 5 диаметров, например между 5-10 диаметрами.

Труба может быть выполнена для использования как часть, например, водоотделяющей колонны, такой как вертикальная водоотделяющая колонна, цепная водоотделяющая колонна и т.п., поточной линии, соединителя и т.п. или их любого сочетания. Труба может быть выполнена для использования при транспортировке текучей среды, для обеспечения замкнутого трубопровода для оборудования и т.п., например, может быть использована в операциях бурения подземных скважин, операциях заканчивания скважины, промежуточных операциях и т.п.

Труба может быть выполнена для использования при транспортировке продукта, связанной с извлечением углеводородов из подводных резервуаров, включая прием потока углеводородов, углекислого газа, воды, других химикатов, твердых веществ, смесей текучих сред и газа и т.п.

Труба может быть выполнена для использования при изоляции углекислого газа или другого газа.

Труба в любом аспекте может определять нефтепромысловую трубу или трубчатый элемент. Такая нефтепромысловая труба или трубчатый элемент могут представлять собой объект, который используется для транспортировки любой текучей среды или любого материала, или оборудования, связанного с разведкой, извлечением, обработкой и транспортировкой углеводородного продукта.

Дополнительные аспекты настоящего изобретения могут относиться к способам ввода в действие и/или возврата в прежнее состояние трубы с/на катушку, например трубы согласно любому другому аспекту.

Другие аспекты настоящего изобретения могут относиться к трубной системе, содержащей множество труб согласно одному или нескольким предыдущим аспектам, которые могут быть сформированы, например, внесением локальных конструктивных изменений в композитный материал, при размещении поблизости друг от друга.

Принципы настоящего изобретения, определенные в одном или нескольких аспектах, представленных выше, могут быть применены к удлиненным твердым телам. Т.е. принципы настоящего изобретения, определенные в одном или нескольких аспектах, представленных выше, могут быть применены к удлиненным телам, которые не включают в себя внутреннего канала. В такой компоновке удлиненное тело может определять композитный канат, лебедку и т.п.

Должно быть понятно, что признаки, определенные выше в соответствии с любым аспектом настоящего изобретения, могут быть использованы либо самостоятельно, либо в сочетании с любым другим определенным признаком в любом другом аспекте изобретения.

Например, аспект настоящего изобретения может относиться к трубе, имеющей стенку, содержащую композитный материал, сформированный, по меньшей мере, из матрицы и множества армирующих волокон, внедренных в матрицу, причем стенка трубы содержит или образует по меньшей мере одно из:

локального конструктивного изменения по меньшей мере в одном периферийном сегменте стенки трубы;

предварительного напряжения по меньшей мере в одной области стенки трубы и

локального конструкционного изменения по меньшей мере в одном продольном участке стенки трубы.

Должно быть понятно, что хотя в материалах настоящей заявки использованы термины, такие как "периферийный" и "радиальный", эти и подобные термины не предназначены, чтобы ограничить трубу круговым поперечным сечением. Наоборот, труба может иметь любую форму поперечного сечения, например овальную, прямолинейную и т.п., при этом периферийный сегмент может рассматриваться в качестве сегмента или части периметра трубы.

Краткое описание чертежей

Далее лишь в качестве примера будут описаны эти и другие аспекты настоящего изобретения, обращаясь к прилагаемым чертежам, на которых представлено и проиллюстрировано:

фиг. 1 - вид сбоку поперечного сечения трубы в соответствии с вариантом осуществления одного или нескольких аспектов настоящего изобретения;

фиг. 2 - вид сбоку трубы фиг. 1, показанной в искривленной или изогнутой конфигурации;

фиг. 3 - схематичная иллюстрация трубы в соответствии с альтернативным вариантом осуществления одного или нескольких аспектов настоящего изобретения;

фиг. 4 - вид сбоку в поперечном сечении композитной трубы, демонстрирующий композицию матрицы и внедренных армирующих волокон, которые формируют стенку трубы;

фиг. 5 - схематичная иллюстрация композитной трубы в соответствии с вариантом осуществления одного или нескольких аспектов настоящего изобретения;

фиг. 6 - схематичная иллюстрация композитной трубы в соответствии с альтернативным вариантом осуществления одного или нескольких аспектов настоящего изобретения;

фиг. 7 - схематичная иллюстрация композитной трубы в соответствии с другим альтернативным вариантом осуществления одного или нескольких аспектов настоящего изобретения;

фиг. 8 - схематичная иллюстрация трубы в соответствии с дополнительным альтернативным вариантом осуществления одного или нескольких аспектов настоящего изобретения;

фиг. 9 - схематичная иллюстрация трубы в соответствии с основным вариантом осуществления одного или нескольких аспектов настоящего изобретения, причем труба включает локальное конструкционное изменение на своем продольном участке;

фиг. 10 - схематичная иллюстрация трубы, использованной в качестве вертикальной водоотделяющей колонны в соответствии с вариантом осуществления одного или нескольких аспектов настоящего изобретения;

фиг. 11 - схематичная иллюстрация трубы, использованной в качестве вертикальной водоотделяющей колонны в соответствии с альтернативным вариантом осуществления одного или нескольких аспектов настоящего изобретения;

фиг. 12 - схематичная иллюстрация трубы, использованной в качестве водоотделяющей колонны цепного типа в соответствии с вариантом осуществления одного или нескольких аспектов настоящего изобретения;

фиг. 13А и 13В - изменение в изгибающем моменте, приложенном к трубе, а также вариант осуществления трубы, сформированный согласно одному или нескольким аспектам настоящего изобретения, которая принимает изменение в изгибающем моменте;

фиг. 14 - труба согласно дополнительному варианту осуществления одного или нескольких аспектов настоящего изобретения, причем труба включает продольный участок, выполненный для сосредоточения продольного изгиба внутри упомянутого участка;

фиг. 15 - вариант осуществления трубной системы, которая включает множество труб согласно одному или нескольким аспектам настоящего изобретения, причем показано, что трубы сходятся в общее положение;

фиг. 16 - альтернативный вариант осуществления трубной системы, которая включает множество труб согласно одному или нескольким аспектам настоящего изобретения, причем каждая показанная труба имеет изгиб, сосредоточенный в общем положении;

фиг. 17А и 17В - труба согласно другому варианту осуществления одного или нескольких аспектов настоящего изобретения, причем труба включает в себя продольный участок, выполненный для сосредоточения продольного расширения/сжатия внутри упомянутого участка;

фиг. 18 - труба согласно дополнительному варианту осуществления одного или нескольких аспектов настоящего изобретения, причем труба включает в себя продольный участок, выполненный для сосредоточения бокового выпучивания внутри упомянутого участка;

фиг. 19 - труба согласно еще одному дополнительному варианту осуществления одного или нескольких аспектов настоящего изобретения, причем труба включает в себя продольный участок, выполненный для сосредоточения радиального расширения внутри упомянутого участка;

фиг. 20 - труба согласно еще одному дополнительному варианту осуществления одного или нескольких аспектов настоящего изобретения, причем труба включает в себя продольный участок, выполненный для сосредоточения разрушения при растяжении внутри упомянутого участка;

фиг. 21 - труба согласно другому варианту осуществления одного или нескольких аспектов настоящего изобретения, причем труба включает в себя продольный участок, выполненный для приема измерительного устройства;

фиг. 22 - схематичный вид сбоку трубной системы в соответствии с вариантом осуществления одного или нескольких аспектов настоящего изобретения;

фиг. 23А и 23В - схематичные виды сбоку трубной системы согласно варианту осуществления одного или нескольких аспектов настоящего изобретения, причем трубная система включает композитную трубную секцию, выполненную для сосредоточения продольного расширения/сжатия внутри упомянутой композитной секции;

фиг. 24 - схематичный вид сбоку дополнительного варианта осуществления одного или нескольких аспектов настоящего изобретения, причем трубная система включает композитную трубную секцию, выполненную для сосредоточения бокового выпучивания упомянутой секцией; и

фиг. 25 - вид сбоку продольного сечения трубы в соответствии с вариантом осуществления одного или нескольких аспектов настоящего изобретения.

Подробное описание чертежей

Композитная труба, в целом идентифицированная ссылкой позицией 10, в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения показана на фиг. 1, на которой предоставлен вид сбоку в разрезе для иллюстрирования примерной конструкции по толщине. Труба может быть подходящей для использования в большом количестве применений, таких как извлечение углеводородов из подземного резервуара. Например, труба может быть использована в качестве водоотделяющей колонны, поточной линии, соединителя, гибкой трубы и т.п.

Стенка 12 трубы содержит композитный материал, сформированный из матрицы и множества армирующих волокон, внедренных в матрицу. Матрица и армирующие волокна для ясности не проиллюстрированы отдельно на фиг. 1. Материал матрицы может содержать полимер, такой как термопластический полимер, а в некоторых вариантах осуществления матрица может содержать полиэфирэфиркетон (ПЭЭК). Армирующие волокна могут содержать углеродные волокна, стекловолокно или т.п.

В показанном варианте осуществления стенка 12 трубы в целом имеет единую и целостную конструкцию, обеспеченную композитным материалом из матрицы и внедренных волокон. Более того, матрица из композитного материала в настоящем варианте осуществления образует непрерывную периферийную конструкцию.

Т.е. не присутствует никаких неоднородностей по всей толщине стенки. Однако стенка 12 трубы образует два диаметрально противоположных периферийных сегмента 14,16 (идентифицированных прерывистой линией), которые лежат в плоскости X-X, и каждый из которых содержит локальное изменение в конструкции, идентифицированное ссылочными позициями 18 и 20. Как будет описано более подробно ниже, локальные конструкционные изменения 18, 20 в соответствующих сегментах 14, 16 предназначены для обеспечения локальных изменений в свойстве трубы.

Хотя согласно настоящему изобретению вероятно некоторое количество возможных конструкционных изменений, в настоящем варианте осуществления обеспечено локальное изменение в угле выравнивания волокон. Конкретнее, каждое локальное изменение 18, 20 в своем соответствующем сегменте 14, 16 содержит локальное изменение в выравнивании волокон, в котором размещено некоторое количество волокон, чтобы проходить в продольном направлении или в осевом направлении трубы 10. Более конкретно, отдельные волокна в локальных конструкционных изменениях 18, 20 проходят под углом 0° относительно центральной оси 22 трубы 10. Такая примерная компоновка каждого локального изменения 18, 20 имеет эффект обеспечения локального увеличения осевой жесткости в сегментах 14, 16. Поскольку сегменты 14, 16 являются диаметрально противоположными, локальное увеличение жесткости приведет к увеличению жесткости трубы в плоскости X-X. Соответственно, возникновение изгиба трубы 10 в продольном направлении будет стимулировано вдоль плоскости X-X, которая соответственно будет образовывать нейтральную плоскость изгиба. Этот предпочтительный продольный изгиб продемонстрирован на фиг. 2. Такая возможность, предусматривающая повторно изгибаемую формы трубы, может обеспечить значительные преимущества, например, касательно ввода в действие, возврата в прежнее состояние, пусконаладочных работ, эксплуатации и т.п. Такой изгиб трубы 10 может возникнуть для того, чтобы намотать трубу 10 на/с катушки (не показана). Более того, такой изгиб может возникнуть при установке трубы, например, для того, чтобы позволить осуществить установку трубы на морское дно с плавучей емкости, чтобы разместить архитектуру установки и т.п.

В примерном варианте осуществления верхний и нижний оставшиеся сегменты 24, 26, следовательно, будут образовывать области более низкой жесткости, которые лежат на расстоянии от нейтральной плоскости X-X. Соответственно, материал внутри верхнего и нижнего сегментов будет выдерживать более высокую величину нагрузки на всем протяжении стенки 12 трубы но, тем не менее, будет испытывать уменьшенный уровень напряжения, благодаря эффекту более высокой жесткости в периферийных сегментах 14, 16. По этой причине примерный вариант осуществления на фиг. 1 может позволить увеличить сохранность трубы и позволить достичь уменьшения допустимого радиуса изгиба или диаметра наматывания. Более того, может быть уменьшено требуемое содержание материала, что может иметь

преимущественный результат в затратах, весе и т.д.

В некоторых вариантах осуществления труба 10 может включать локальные изменения для предварительного растяжения, применяемого в одном или нескольких армирующих волокнах внутри стенки трубы. В одном примере некоторое количество волокон внутри нижнего сегмента 26 может быть предусмотрено внутри матрицы при более высоком растяжении, чем у таковых в верхнем сегменте 24. Это может иметь дополнительный эффект содействия изгибу образом, проиллюстрированным на фиг. 2.

В варианте осуществления, описанном выше, локальное изменение 18, 20 в каждом периферийном сегменте 14, 16 может быть предусмотрено по всей длине трубы 10 таким образом, чтобы вся труба включала локальное изменение свойства. Однако в других примерах лишь отдельные продольные участки трубы 10 могут включать локальные конструкционные изменения 18, 20. Они могут быть применены в областях трубы 10, которые могут включать в себя изгиб при установке. Более того, различные продольные участки трубы 10 могут включать различные конструкционные изменения в различных периферийных сегментах.

В варианте осуществления, показанном на фиг. 1, каждое локальное конструкционное изменение 18, 20 показано как расположенное лишь внутри участка соответствующих сегментов 14, 16, конкретнее между внутренней и внешними стенками 28, 30. Однако в других вариантах осуществления локальное изменение может продолжаться до одной или обеих внутренней и внешней стенок 28, 30.

Как описано выше, примерный вариант осуществления настоящего изобретения включает локальные изменения в осевой жесткости, обеспеченные локальным изменением в выравнивании волокон. Однако в других вариантах осуществления изменения жесткости можно добиться использованием различного типа волокна. Например, стенка 12 трубы может главным образом содержать углеродное волокно T300 (230 ГПа) в композитном материале, тогда как периферийные сегменты 14, 16 могут содержать углеродное волокно M40j (377 ГПа). Более того, стенка 12 трубы может главным образом содержать волокна из стекла в композитном материале, тогда как периферийные сегменты 14, 16 могут содержать углеродное волокно T300 (230 ГПа).

Кроме того, изменения жесткости можно добиться использованием различной плотности волокна в сегментах 14, 16, использованием различной матрицы, изменением в геометрии, таким как форма поперечного сечения, толщина стенки и т.п.

Также, каждый сегмент 14, 16 может быть выполнен для образования или содержания локального изменения в свойстве дополнительно или в качестве альтернативы к жесткости. Например, один или более сегментов могут содержать локальное изменение в термическом коэффициенте, таком как коэффициент теплового расширения. В таком альтернативном варианте осуществления сегмент с отличающимся коэффициентом теплового расширения может содействовать конкретной деформации трубы при возникновении теплового расширения.

Более того, один или более периферийных сегментов в трубе могут быть выполнены, чтобы содержать или образовать локальное изменение в прочности. В одном альтернативном или дополнительном варианте осуществления один или более периферийных сегментов могут содержать или образовать локальное увеличение прочности на растяжение. Такое локальное увеличение прочности на растяжение по всей длине отдельных сегментов окружности трубы, в отличие от всей окружности, может позволить трубе обеспечивать большее общее растяжение, при этом может позволить уменьшить расход материалов, затраты и т.п.

Как описано выше, в варианте осуществления, показанном на фиг. 1, каждое локальное конструкционное изменение 18, 20 обеспечено конструкционным изменением в композитном материале, который образует стенку 12 трубы. Однако в других вариантах осуществления один или более конструкционных изменений могут быть обеспечены вставкой, такой как металлическая вставка, отдельная композитная вставка или т.п.

На фиг. 3 показан альтернативный вариант осуществления трубы, в целом идентифицированной ссылкой позицией 50, где труба 50 показана в поперечном сечении и частично внедрена в морское дно 52. В этом варианте осуществления верхний периферийный сегмент 54 содержит изменение в конструкции относительно нижнего сегмента 56, что обеспечивает локальное уменьшение теплопроводности. Как таковой участок трубы 50, который будет при использовании открыт для морской среды 60, будет демонстрировать более высокую степень теплоизоляции, что не будет требоваться от участка трубы, который скрыт в морском дне 52. Этот конкретный вариант осуществления изобретения может также содержать периферийные сегменты, которые включают в себя локальные изменения в жесткости, такие как предусмотрены в варианте осуществления фиг. 1, чтобы гарантировать обеспечение проиллюстрированной ориентации трубы 50 в течение ввода в действие и установки.

На фиг. 4 показан вид поперечного сечения трубы, в целом идентифицированной ссылкой позицией 70, в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения. Труба 70 содержит стенку 72 трубы, которая сформирована из композита матрицы 74 и множества армирующих волокон 76, внедренных в матрицу 74. Материал матрицы 74 образует непрерывную структуру таким образом, что по всему радиальному протяжению стенки 72 трубы не присутствует поверхностей раздела, таких как соединительные поверхности. Такая компоновка позволяет предусмотреть более надежную структуру без

угрозы привнесения внутренних недостатков, концентраторов напряжений и т.п. отдельными граничными областями. Более того, устранение стыков в стенке трубы может минимизировать опасность газовых пор, образующихся внутри стенки трубы на таких поверхностях раздела, что может в противном случае привести к неблагоприятным результатам, например, в течение циклов изменения давления. Волокна 76 изменяющимся образом распределены на протяжении толщины стенки трубы между внутренней поверхностью 78 трубы и внешней поверхностью 80 трубы. Изменяющееся распределение является таким, что в области, примыкающей к внутренней поверхности 78 трубы, волокон 76 не предусмотрено. Эта компоновка может позволить сохранить внутреннюю поверхность области трубы 70 полностью герметичной без любого возможного наличия проницаемости за счет присутствия волокон.

Компоновка, показанная на фиг. 4, может также включать одно или более локальных конструктивных изменений, например, в одном или более периферийных сегментах, например, как описано выше, и/или в одном или более продольных участках, так как определено в дальнейшем ниже, и/или за счет изменяющейся степени предварительного напряжения, такой как определено непосредственно ниже.

На фиг. 5 показана композитная труба, в целом идентифицированная ссылкой позицией 100, в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения, на которой вид в продольном разрезе обеспечен для иллюстрации примерной структуры стенки 102 трубы по всей ее толщине. Труба 100 может подходить для использования в некотором количестве применений, например в извлечении углеводородов из подземного резервуара. Например, труба 100 может быть использована в качестве водоотделяющей колонны, поточной линии, соединителя, гибкой трубы и может быть размещена в подводном положении. По этой причине в вариантах осуществления настоящего изобретения труба может быть, в частности, сконструирована, чтобы принимать оба, внутреннее и внешнее, давления, как будет рассматриваться более подробно ниже.

Стенка 102 трубы содержит композитный материал, сформированный из матрицы и множества армирующих волокон, внедренных в матрицу. Матрица и армирующие волокна для ясности не проиллюстрированы отдельно на фиг. 5. Материал матрицы может содержать полимер, такой как термопластический полимер, а в некоторых вариантах осуществления матрица может содержать полиэфирэфиркетон (ПЭЭК). Армирующие волокна могут содержать углеродные волокна, стекловолокно или т.п.

Один принципиальный признак настоящего изобретения, показанный в примерном варианте осуществления фиг. 5, представляет собой применение предварительного напряжения в композитном материале, образующем стенку 102 трубы, при этом в настоящем варианте осуществления предварительное напряжение в композитном материале главным образом обеспечено за счет применения предварительного напряжения к армирующим волокнам композитного материала в течение производства трубы. Более конкретно, стенку 102 трубы образуют, используя удлиненные армирующие волокна внутри ленты, ровинга, жгутов и т.п., причем лента, ровинг, жгуты и т.п. производятся, например, наматыванием для формирования стенки 102 трубы с предварительным напряжением, примененным к волокнам в течение этой манипуляции. Такое предварительное напряжение может представлять собой предварительное растяжение и/или предварительное сжатие. Как будет описано более подробно ниже, предварительное напряжение внутри композитного материала стенки 102 трубы обеспечено для того, чтобы добиться требуемого распределения напряжений и/или распределения нагрузок внутри стенки 102 трубы, когда труба 100 оказывается в предполагаемых условиях, таких как предполагаемые эксплуатационные условия.

В варианте осуществления, показанном на фиг. 5, стенка 102 трубы образует по меньшей мере две области, а более конкретно, внутреннюю область 104 и внешнюю область 106, причем внешняя область 106 полностью ограничивает внутреннюю область 104. Как продемонстрировано увеличенным видом волокна 108, которое показано, к композитному материалу во внешней области 106 прикладывается уровень предварительного растяжения t . В этом варианте осуществления предварительное растяжение t , прикладываемое во внешнем слое 106, является достаточным для установления окружной нагрузки сжатия в композитном материале во внутренней области 104, как продемонстрировано увеличенным видом волокна 110, которое, как показано, находится под воздействием сжатия S . Таким образом, стенка 102 трубы сформирована для образования или содержания изменяющегося предварительного напряжения по всей длине композитного материала, что приводит к обеспечению уравновешенного общего распределения напряжений и/или распределения нагрузок внутри стенки 102 трубы в случае нахождения в предполагаемых эксплуатационных условиях. Более того, изменение уровня предварительного напряжения между различными областями 104, 106 позволяет требуемым образом воздействовать на нейтральное положение нагрузки внутри стенки 102, например, чтобы принимать конкретные эксплуатационные условия и т.п.

Более конкретно, вариант осуществления, показанный на фиг. 5, может быть приспособлен для использования в эксплуатационных условиях, в которых внутреннее давление трубы является преобладающим, т.е., в эксплуатационных условиях, в которых произведение внутреннего давления P_i и внутреннего радиуса R_i больше, чем произведение внешнего или наружного давления P_o и внешнего радиуса R_o (т.е., $P_i R_i > P_o R_o$). В таких эксплуатационных условиях композитный материал во внутренней области 104 будет типично подвергаться большей деформации при растяжении, чем композитный материал во внешней области 106. По этой причине при увеличении нагрузки в результате увеличения внутреннего

давления P_i , уровень разрушения при растяжении может быть достигнут сначала во внутренней области 104. Однако за счет обеспечения предварительного растяжения t во внешней области 106, которое имеет эффект применения предварительного сжатия C в композитном материале внутреннего слоя 104, внутреннему слою может быть позволено или дана возможность поддерживать более высокую степень нагрузки перед достижением предела разрушения при растяжении.

На фиг. 6 показана альтернативная компоновка, которая выполнена для использования в эксплуатационных условиях, в которых внешние давления являются преобладающими (т.е. $P_i < P_o$), при этом результирующие окружные напряжения будут сжимающими. Труба, показанная на фиг. 6, большей частью подобна трубе с фиг. 5, и по этой причине были использованы общие ссылочные позиции. Соответственно, труба 100 содержит стенку 102 трубы, которая включает внутреннюю и внешнюю области или слои 104, 106. Однако в настоящем варианте осуществления на фиг. 6 композитный материал внутреннего слоя 104 включает большее предварительное растяжение, чем композитный материал во внешнем слое 106. Это продемонстрировано волокном 110 внутреннего слоя 104, находящимся под предварительным растяжением T , которое является большим, чем предварительное растяжение t , приложенное к волокну 108 во внешнем слое 106 (т.е. $T > t$).

В альтернативных вариантах осуществления воздействие преобладающего внутреннего и/или внешнего давлений могут быть приняты в качестве альтернативы или дополнительно за счет обеспечения изменения в модуле композитного материала по всей стенке трубы. Такого изменения в модуле можно добиться за счет изменения типа матрицы, изменения типа волокна, изменения угла выравнивания волокон и т.п. Угол выравнивания волокон может быть образован относительно продольной оси трубы. Например, волокно, предусмотренное с углом выравнивания 0° , будет проходить полностью в продольном направлении трубы, а волокно, предусмотренное с углом выравнивания 90° , будет проходить полностью по окружности трубы, при этом волокна с промежуточными углами выравнивания волокон будут проходить как по окружности, так и в продольном направлении трубы, например по спирали.

В одном конкретном примере, который может быть приспособлен к эксплуатационным условиям, в которых внутренние давления являются преобладающими, и как снова рассматривается, обращаясь к фиг. 5, волокна во внешнем слое 106 образуют более значительный угол выравнивания, чем волокна во внутреннем слое 104. Например, волокна во внешнем слое 106 могут образовать угол волокон в области 85° , а волокна во внутреннем слое 104 могут образовать угол волокон в области 75° . По этой причине волокна во внутреннем слое 104 могут быть способны принимать более высокие окружные нагрузки.

В другом конкретном примере волокна во внешнем слое 106 могут образовывать значительно меньший угол выравнивания, чем волокна во внутреннем слое 104.

В других вариантах осуществления настоящего изобретения изменение в предварительном напряжении и, если требуется, также в составном модуле могут быть предусмотрены в других направлениях внутри трубы, отличных от радиальных.

Например, в варианте осуществления, показанном на фиг. 7, труба 120 содержит стенку 122 трубы, которая сформирована из композитного материала, который имеет или образует предварительное напряжение, которое изменяется по окружности трубы. Например, уровень предварительного напряжения в одном периферийном сегменте 124 стенки 122 трубы отличается от уровня предварительного растяжения в другом периферийном сегменте 126. В показанном конкретном примере волокна 128 в сегменте 124 предусмотрены с более высоким предварительным растяжением T , чем волокна 130 в сегменте 126 (т.е. $T > t$). Этот конкретный вариант осуществления может позволить ввести в трубу предпочтительный наклон, например, позволить предпочтительно изогнуть трубу вокруг горизонтальной плоскости X-X.

В дополнительном примере, как продемонстрировано на фиг. 8, труба 140 сформирована из композитного материала, который имеет или образует предварительное напряжение, которое изменяется в продольном направлении трубы. Например, уровень предварительного напряжения на одном продольном участке 144 трубы может отличаться от уровня предварительного напряжения на другом продольном участке 146. В конкретном показанном примере волокна 148 на участке 144 обеспечены большим предварительным растяжением T , чем волокна 150 на участке 146 (т.е. $T > t$). Этот конкретный вариант осуществления, например, может позволить конкретной области трубы 140 образовать более высокую окружную прочность или прочность на разрыв. Более того, этот конкретный вариант осуществления может позволить сосредоточить продольное изгибание, удлинение, закручивание и т.п. трубы 140 на конкретном участке, таком как участок 146. Более того, продольное изменение в предварительном напряжении может быть предусмотрено для создания сосредоточенного и конкретного слабого места внутри трубы. В такой компоновке, если может произойти разрушение трубы, например, по причине экстремальных значений, такое разрушение может быть ограничено конкретной областью, облегчая простоту обследования, восстановления и т.п.

Различные компоновки предварительного напряжения, определенные выше, и их различные изменения могут быть предусмотрены отдельно или в сочетании некоторых из них друг с другом.

Обобщенный вариант осуществления композитной трубы показан на фиг. 9, где труба идентифицирована ссылочной позицией 200. Труба может быть подходящей для использования в большом количест-

ве применений, таком как извлечение углеводородов из подземного резервуара. Например, труба может быть использована в качестве водоотделяющей колонны, поточной линии, соединителя, гибкой трубы и т.п.

Стенка 202 трубы 200 содержит композитный материал, сформированный из матрицы и множества армирующих волокон, внедренных в матрицу. Матрица и армирующие волокна для ясности не проиллюстрированы отдельно на фиг. 9. Материал матрицы может содержать полимер, такой как термопластический полимер, а в некоторых вариантах осуществления матрица может содержать полиэфирэфиркетон (ПЭЭК). Армирующие волокна могут содержать углеродные волокна, стекловолокно или т.п.

В показанном варианте осуществления стенка 202 трубы содержит продольный участок 204, ограниченный пунктирной линией, который содержит или образует локальное изменение в конструкции композитного материала. Т.е. конструкция композитного материала в продольном участке 204 отличается от конструкции следующего продольного участка, такого как примыкающий продольный участок 206. Хотя пунктирными линиями проиллюстрировано поэтапное изменение между продольными участками 204, 206, в вариантах осуществления изобретения может быть предусмотрено плавное изменение. В действительности в некоторых вариантах осуществления, как будет описано более подробно ниже, плавное изменение может быть предусмотрено по всей длине композитной трубы.

Хотя это рассматривается более подробно ниже, локальное конструкционное изменение в продольном участке 204 предусмотрено, чтобы установить изменения свойства в трубе 200, что может, в свою очередь, установить предпочтительную характеристику трубы 200. Можно добиться предпочтительной механической характеристики, такой как прочность, жесткость, жесткость на изгиб, кривизна, резонансная характеристика, характеристики деформации, характеристика разрушения и т.п. Можно добиться предпочтительной термической характеристики, такой как характеристика теплового расширения, характеристика теплоизоляции и т.п. Локальное конструкционное изменение стенки 202 трубы в продольном участке 204 может быть выполнено для сосредоточения конкретной поведенческой характеристики на упомянутом продольном участке 204. Например, локальное конструкционное изменение может позволить добиться управляемой деформации в упомянутом продольном участке 204, а в некоторых вариантах осуществления, по существу, ограничить ее упомянутым продольным участком 204. Такая деформация может включать выпучивание, продольное расширение и сжатие, радиальное расширение и сжатие, деформацию кручения, изгибание и т.п. Такая деформация может включать катастрофическое разрушение, такое как осевое разрушение при растяжении, окружное разрушение при растяжении и т.п.

Может быть возможным некоторое количество вероятных конструкционных изменений согласно настоящему изобретению, таких как локальное изменение в модуле упругости, локальное изменение момента инерции, локальное изменение коэффициента теплового расширения, локальное изменение теплопроводности, локальное изменение прочности материала, локальное изменение прочности на растяжение, локальное изменение окружной прочности, локальное изменение геометрии, например, толщина стенки, локальное изменение угла выравнивания волокон, локальное изменение типа волокна, локальное изменение типа матрицы, локальное изменение плотности волокон, локальное изменение предварительного напряжения композитного материала (например, как определено, обращаясь к фиг. 8), и т.п.

Хотя в пределах объема настоящего изобретения возможно множество различных сочетаний локальных изменений и применений, некоторые были описаны более подробно ниже лишь в целях примеров.

На фиг. 10 предусмотрена иллюстрация композитной трубы согласно варианту осуществления настоящего изобретения, причем труба образует водоотделяющую колонну 210, которая проходит, по существу, вертикально от морского дна 212 по направлению к морской поверхности 214. Хотя это не показано, водоотделяющая колонна 210 может соединять подводное морское устье скважины или манифольд с плавучей емкостью, например для сбора углеводородов, извлеченных из подземного образования. При использовании водоотделяющая колонна 210 типично будет подвергаться изменяющимся условиям по своей длине, в особенности в случае значительных глубин. Например, там где водоотделяющая колонна поддерживается на своем верхнем конце, растяжение, сообщаемое водоотделяющей колонной 210 около поверхности 214, будет более высоким, чем растяжение, сообщаемое возле морского дна 212. Более того, гидравлическое давление морской воды, действующее снаружи водоотделяющей колонны 210, будет увеличиваться с глубиной, как будет увеличиваться внутреннее давление текучего продукта, передаваемого через водоотделяющую колонну. По этой причине перепад давлений внутри и снаружи водоотделяющей колонны 210 будет изменяться с глубиной воды, в частности будет уменьшаться с глубиной. Таким образом, значительно большие механические усилия, включающие осевое растяжение, окружные усилия и т.п., будут возникать рядом с поверхностью 214. Чтобы принимать такие условия, композитный материал, образующий стенку трубы, изменяется для обеспечения увеличенной прочности на растяжение и прочности на разрыв около поверхности. Это выполняется в варианте осуществления, показанном на фиг. 10, за счет изменений в композитном материале для определения изменяющейся толщины стенки по длине трубы 210, при этом в показанном варианте осуществления поддерживается, по существу, постоянный внутренний диаметр. Более конкретно, толщина стенки 216а трубы на нижнем продольном участке водоотделяющей колонны 210, например, в положении А является более тонкой, чем у стенки 216б

трубы в верхнем положении водоотделяющей колонны 210, например, в положении В. Таким образом, настоящее изобретение позволяет добиться оптимальной конструкции водоотделяющей колонны 210, которая оптимизирована или модифицирована в соответствии с требованиями для конкретного применения. Это обеспечивает значительные выгоды над трубами предшествующего уровня техники, которые типично конструируются в общем в соответствии с экстремальными эксплуатационными условиями, что типично приводит к формированию трубы, которая значительно технически усложнена на большей части своей длины. По этой причине настоящее изобретение может обеспечивать подходящие трубные изделия для конкретных применений при минимизации затрат, веса, расхода материала и т.п.

Альтернативный вариант осуществления показан на фиг. 11, в котором водоотделяющая колонна 220, которая также проходит вертикально от морского дна 222 по направлению к морской поверхности 224, образует постоянную толщину стенки по всей длине, как продемонстрировано иллюстрациями в разрезе стенки 226а, 226b трубы, взятыми в нижней точке А и верхней точке В. В этом варианте осуществления предусмотрены подходящие свойства и характеристики композитной водоотделяющей колонны 220, обеспечивающие оптимизацию конструкции для конкретных эксплуатационных условий за счет сочетания продольного изменения модуля композитного материала и продольного изменения угла выравнивания волокон. Например, композитный материал внутри стенки трубы 226b в положении В может содержать композитный материал более высокого модуля и более высокого объединенного количественного соотношения близлежащих продольных волокон (угол выравнивания около 0°) и близлежащих окружных волокон (угол выравнивания около 90°) относительно стенки 226а трубы в положении А. По этой причине увеличенное количественное соотношение близлежащих продольных волокон может удовлетворять требованиям на увеличенную прочность на растяжение, при этом увеличенное количественное соотношение близлежащих окружных волокон может удовлетворить увеличенному перепаду давлений изнутри и снаружи водоотделяющей колонны 220.

Должно быть замечено, что основные идеи настоящего изобретения не ограничены использованием, по существу, вертикальных водоотделяющих колонн, как показано на фиг. 10 и 11. Вместо этого согласно настоящему изобретению могут быть сформированы другие вариации водоотделяющей колонны, такие как цепные водоотделяющие колонны, как проиллюстрировано на фиг. 12, где множество (хотя может подойти одна) водоотделяющих колонн 221 цепного типа проходят от морского дна 223 к емкости 225 FPSO, плавающей на морской поверхности 227.

В некоторых вариантах осуществления изобретения может быть сформирована композитная труба, которая включает в себя продольный участок, который выполнен для того, чтобы принимать высокие изгибающие моменты. Такие высокие изгибающие моменты могут существовать в положениях, где композитная труба закреплена между фиксирующими точками, которые перемещаются относительно друг друга, например в применениях водоотделяющей колонны, где водоотделяющая колонна проходит между неподвижным расположением на морском дне и плавающим судном, которое является объектом движения, таким как движение от волнения, боковые отклонения и т.п. Примерный вариант осуществления для приема высоких изгибающих моментов раскрыт на фиг. 13, на которую далее выполняется ссылка. Более конкретно, на фиг. 13 предусмотрен примерный график изгибающего момента (М) в соответствии с длиной (х) трубы от конца 228 трубы 230, который показан на фиг. 13В, где труба 230 содержит стенку 232 трубы, сформированную из композитного материала. Как проиллюстрировано, изгибающий момент является более высоким на конце 228 трубы 230 и уменьшается вдоль ее длины. Чтобы принимать такие эксплуатационные условия, стенка 232 трубы включает максимальную толщину на конце 228 трубы и уменьшается в толщине вдоль длины трубы. В этом случае момент инерции и, следовательно, жесткость на изгиб стенки композитной трубы будут наиболее высокими на конце 228 трубы и будут уменьшаться вдоль длины трубы в соответствии с уменьшением изгибающего момента. В других вариантах осуществления могут быть в качестве альтернативы или дополнительно модифицированы модуль композитного материала и/или выравнивание волокон.

Дополнительный альтернативный вариант осуществления настоящего изобретения показан на фиг. 14, на которую далее выполняется ссылка. В этом варианте осуществления труба 240, которая содержит стенку 242 трубы, сформированную из композитного материала, включает в себя продольный участок 244, который включает в себя локальное изменение в конструкции или строении композитного материала, которое сосредотачивает или стимулирует продольный изгиб трубы внутри упомянутого продольного участка 244. Соответственно, изгибание трубы 240 может быть повторно и контролируемым образом ограничено продольным участком 244. Такая компоновка может, например, позволить воплотить в трубе 240 шарнирный эффект. В некоторых примерных применениях такая компоновка может быть предусмотрена для устранения любых изгибов из конкретных областей трубы 240, например, из примыкающих областей 246, 248. Эти примыкающие области 246, 248 могут быть соединены с дополнительной структурой таким образом, что при применении усилий, стимулирующих продольный изгиб трубы 240, изгиб будет принят и ограничен, по существу, полностью внутри продольного участка 244. Это может защитить любое соединение и т.п. между трубой и другой структурой.

В варианте осуществления, показанном на фиг. 14, конструкционное изменение в композитном ма-

териале продольного участка 244 может быть обеспечено большим количеством способов. Например, между сечениями А-А и В-В могут быть предусмотрены изменения в выравнивании волокон. Например, изменение в выравнивании волокон в сечении В-В может быть предусмотрено для поддержания осевой и окружной прочности в трубе 240, но с уменьшением жесткости для стимулирования изгиба.

Труба 240, показанная на фиг. 14, может быть преимущественно использована в качестве части пучка труб, где ограниченное изгибное движение продольным участком 244 может устранить или, по существу, минимизировать влияние между отдельными трубами, позволить трубам быть собранными вместе в ограниченном пространстве и т.п.

Например, трубная система, содержащая множество труб, подобных трубе 240, показанной на фиг. 14, проиллюстрирована на фиг. 15. Трубная система, в целом идентифицированная ссылкой позицией 245, содержит множество труб (четыре в показанном варианте осуществления) 240a-d, которые сходятся в одно положение из различных направлений, причем соответствующий продольный участок 244a-d каждой трубы 240a-d позволяет сходиться трубам внутри минимальной зоны с минимальным взаимным влиянием. Такое схождение труб может возникнуть у манифольда, у плавучей емкости и т.п.

Другой пример показан на фиг. 16, на которой трубная система 247 содержит множество труб (четыре в показанном варианте осуществления) 240e-h, размещенных бок-о-бок. В этом варианте осуществления соответствующий продольный участок 244e-h содействует изгибу труб 240e-h в общем положении.

В альтернативном или дополнительном варианте осуществления продольный участок может содержать локальное конструкционное изменение в композитном материале для сосредоточения продольного расширения и сжатия внутри упомянутого продольного участка. Такое продольное расширение и сжатие могут представлять собой результат приложенных механических усилий, теплового расширения и сжатия и т.п. Такой вариант осуществления проиллюстрирован на фиг. 17, где на фиг. 17А продемонстрирована труба 250 в сжатой конфигурации, а на фиг. 17В продемонстрирована труба 250 в расширенной конфигурации. Более точно, продольный участок 252 трубы 250 образует длину l , когда находится в сжатом состоянии, и расширенную длину L , когда находится в расширенном состоянии. Продольный участок 252 включает локальное конструкционное изменение в композитном материале, чтобы позволить продольному участку 252 поглощать осевое расширение и сжатие трубы, например, вызванное изменениями температуры или температурными циклами, с минимальным боковым смещением или деформацией. В этом варианте осуществления продольный участок 252 может быть предусмотрен для устранения или уменьшения любых эффектов расширения и сжатия в других продольных участках трубы, таких как примыкающие участки 254, 256.

Следующий альтернативный или дополнительный вариант осуществления композитной трубы показан на фиг. 18. В этом варианте осуществления труба, которая в целом идентифицирована ссылкой позицией 260, включает продольный участок 262, который содержит или образует локальное конструкционное изменение в композитном материале для сосредоточения бокового выпучивания, смещения или деформации внутри упомянутого продольного участка 262, как проиллюстрировано пунктирной линией. Это может позволить ограничить случай выпучивания, например, за счет применения ограничения критической нагрузки продольным участком 262. Критическая нагрузка может возникнуть из эксплуатационных условий трубы 260, таких как чрезмерное осевое тепловое расширение и т.п. В этом настоящем варианте осуществления ограничение выпучивания продольным участком 262 может содействовать защите других продольных участков, таких как примыкающие участки 264, 266. В настоящем варианте осуществления продольный участок может содержать локальное конструкционное изменение в композитном материале, чтобы, во-первых, сосредоточить выпучивание в этой точке, а во-вторых, принять деформацию бокового выпучивания, не приводя к превышению предела текучести материала. Более того, локальное конструкционное изменение в композитном материале внутри продольного участка 262 может позволить принять множество циклов выпучивания, при этом минимизировать эффекты усталости материала и т.п.

Другой альтернативный или дополнительный вариант осуществления композитной трубы показан на фиг. 19. В этом варианте осуществления труба, которая в целом идентифицирована ссылкой позицией 270, включает продольный участок 272, который содержит или образует локальное конструкционное изменение в композитном материале, чтобы сосредоточить радиальное расширение внутри упомянутого продольного участка 262, как проиллюстрировано пунктирной линией. Такое радиальное расширение может быть вызвано внутренним давлением. Такая компоновка может быть преимущественной при нейтрализации результатов скачков внутреннего давления.

Должно быть замечено, что в вариантах осуществления настоящего изобретения локальное конструкционное изменение в продольном участке трубы может быть предусмотрено, чтобы усиливать конкретную поведенческую характеристику трубы или способствовать улучшенным измерениям на упомянутом продольном участке. Такая поведенческая характеристика может включать изгиб, осевое расширение/сжатие, выпучивание, радиальное расширение и т.п., например как показано на фиг. с 14 по 19. Допуская или стимулируя такое поведение, обычные движения трубы при эксплуатации могут быть выделены внутри заданного продольного участка, который может быть более подходящим для отслежи-

вания сенсорным оборудованием.

Другой альтернативный или дополнительный вариант осуществления настоящего изобретения показан на фиг. 20, на которую далее выполняется ссылка. В этом варианте осуществления обеспечена композитная труба в примерной форме водоотделяющей колонны 280, которая проходит вертикально от морского дна 282 и над морской поверхностью 284. Водоотделяющая колонна 280 включает в себя продольный участок 286, расположенный в верхней области водоотделяющей колонны 280, который включает локальное конструктивное изменение в композитном материале для установления области с уменьшенной осевой прочностью. Соответственно, если экстремальные осевые усилия прикладываются к водоотделяющей колонне, например, в течение экстремальных погодных и морских условий, разрушение будет простимулировано в продольном участке 286, который удобно расположен рядом с поверхностью 284 для содействия более простому обследованию и восстановлению.

Далее выполнена ссылка на фиг. 21, на которой показана схематичная иллюстрация композитной трубы, в целом идентифицированной ссылкой 290, в соответствии с альтернативным или дополнительным вариантом осуществления настоящего изобретения. Труба 290 сформирована из композитного материала и включает продольную секцию 292, которая содержит или образует локальное конструктивное изменение в композитном материале, которое позволяет передавать акустические сигналы через стенку трубы. Более конкретно, на внешней поверхности трубы 290 может быть размещено акустическое устройство 294 в положении продольного участка 292 и может приводиться в действие для передачи и/или приема акустических сигналов через стенку трубы. В такой компоновке акустические сигналы могут быть использованы для определения свойства трубы 290 и/или свойства продукта, содержащегося внутри трубы, например многофазного свойства, свойства содержания воды, свойства текучести, свойства переноса массы и т.п. Локальное конструктивное изменение в композитном материале внутри продольного участка 292 может позволить более близко сопоставить акустический импеданс стенки трубы, например, с преобразователями из акустического устройства 294, с продуктом внутри трубы 290 и т.п. Например, стенка трубы может быть выполнена для функционирования в качестве эффективной связующей компоновки передатчика.

В других компоновках стенка трубы может быть выполнена, чтобы принимать или поддерживать другие типы сигналов, такие как электромагнитные сигналы и т.п.

На фиг. 22 показан схематичный вид сбоку трубной системы в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения. Хотя это не проиллюстрировано, трубная система может быть выполнена для множества применений, таких как применения на морском дне. Трубная система содержит две продольных трубных секции 414 со стальной стенкой и продольную трубную секцию 416 с композитной стенкой. Композитная трубная секция может быть предусмотрена в соответствии с любой компоновкой композитной трубы, определенной выше. Концы трубных секций 414, 416 примыкают друг к другу и композитная трубная секция 416 соединена между трубными секциями 414 со стальной стенкой таким образом, чтобы для прохода текучей среды или оборудования через трубную систему 410 был создан непрерывный канал 418 трубы. В показанном варианте осуществления трубные секции 414, 416 соединены фланцевым соединением 420, хотя будет понятно, что могут быть использованы любые подходящие средства для соединения трубных секций 414, 416.

Композитная трубная секция 416 выполнена для того, чтобы испытывать более высокий уровень нагрузки, нежели чем металлические трубные секции 414, когда трубная система подвергается деформации под действием нагрузки. Такая компоновка в показанных вариантах осуществления функционирует для сосредоточения деформации трубной системы, по существу, полностью внутри композитной трубной секции 416, таким образом действующей для защиты металлических трубных секций 414 от чрезмерных нагрузок и/или напряжений, усталости материала и т.п.

При применении композитная трубная секция 416 обеспечивает локальное изменение в свойстве трубной системы по всей ее длине. Композитная трубная секция 416 может быть выполнена для обеспечения локального изменения в прочности на растяжение, прочности на сжатие и/или другого свойства трубной системы, чтобы трубная система могла поглощать осевые нагрузки, которые могут представлять собой циклические осевые нагрузки, воздействующие на трубную систему в результате окружающих и/или эксплуатационных условий. Композитная трубная секция 416 также может быть выполнена для обеспечения локального изменения в моменте инерции или другом свойстве для того, чтобы обеспечить локальное изменение в жесткости на изгиб трубной системы.

При применении, композитная трубная секция 416 может быть предусмотрена для локального расширения, сжатия или изгиба для поглощения осевых нагрузок, и уменьшения или устранения возникновения усталости, выпучивания, что может в противном случае произойти в трубной системе единообразной металлической конструкции. Композитный материал выполнен для сосредоточения продольного расширения и сжатия внутри композитной трубной секции 416, например, при расширении и сжатии в результате приложенных механических усилий теплового расширения/сжатия и т.п.

На фиг. 23А проиллюстрирована трубная система в сжатой конфигурации. На фиг. 23В проиллюстрирована трубная система в расширенной конфигурации.

Обращаясь к фиг. 23А и 23В, композитная трубная секция 416 трубной системы 410 образует длину

1, когда находится в сжатом состоянии, и расширенную длину L , когда находится в расширенном состоянии. Композитная трубная секция 416 включает конструкцию композитного материала или локальное изменение в такой конструкции, чтобы позволить композитной трубной секции 416 поглощать осевое расширение и сжатие трубы, например, вызванное изменениями температуры или температурными циклами, с минимальным боковым смещением или деформацией. В этом варианте осуществления композитная трубная секция 416 может быть предусмотрена для устранения или уменьшения любых результатов расширения и сжатия на других продольных участках трубы, таких как примыкающие трубные секции 414.

Дальнейший альтернативный или дополнительный вариант осуществления показан на фиг. 24. В этом варианте осуществления композитная трубная секция 416 содержит конструкцию композитного материала или локальное изменение в конструкции для сосредоточения бокового выпучивания, смещения или деформации внутри упомянутой композитной трубной секции 416, как проиллюстрировано пунктирной линией. Это может позволить ограничить событие выпучивания, например, при применении критической нагрузки, внутри композитной трубной секции 416. Критическая нагрузка может возникнуть в эксплуатационных условиях трубной системы, таких как осевое тепловое расширение и т.п. В настоящем варианте осуществления ограничение выпучивания композитной трубной секцией 416 может содействовать в защите других трубных секций, таких как примыкающие секции 414.

В этом настоящем варианте осуществления ограничение выпучивания композитной трубной секцией 416 может содействовать в защите других трубных секций, таких как примыкающие секции 414. Более того, за счет ограничения бокового смещения или деформации трубной системы композитной трубной секцией, минимизируются результаты динамических эксплуатационных условий, например вызванных прерывистой работой, многофазным потоком и т.п. Например, композитная трубная секция 416 посредством композитного материала не будет находиться под воздействием усталости материала и может быть способна принимать увеличенные динамические эксплуатационные циклы и т.п., при этом поддерживая достаточную целостность. Более того, ограничение смещения или деформации внутри трубной системы композитной трубной секцией может позволить добиться поглощения такого движения более короткими длинами труб, что может в противном случае потребоваться в непрерывных металлических трубных системах.

Таким образом, в настоящем варианте осуществления композитная трубная секция 416 может содержать локальное конструкционное изменение в композитном материале, чтобы, во-первых сосредоточить выпучивание в этой точке, и во-вторых принять деформацию бокового выпучивания без результирующего превышения предела текучести материала. Более того, локальное конструкционное изменение в композитном материале внутри композитной трубной секции 416 может позволить принять множество циклов выпучивания, при этом минимизировать результаты усталости материала и т.п.

На фиг. 25 показана труба 500 в соответствии с альтернативным вариантом осуществления настоящего изобретения. В этом варианте осуществления труба 500 включает стенку 502 трубы, содержащую композитный материал, сформированный, по меньшей мере, из матрицы и множества армирующих волокон, внедренных в матрицу. Матрица проходит непрерывно по всей стенке 502 трубы. Радиально внутренняя область 504 стенки 502 трубы представляет собой единообразную конструкцию. Внешняя область 506 стенки 502 трубы представляет собой изменяющуюся конструкцию. Т.е. различные секции или участки, такие как различные продольные участки, периферийные участки и т.п. внешней области 506 могут изменять конструкцию. Конструкционное изменение может быть обеспечено любым способом или компоновкой, описанными выше в других вариантах осуществления.

Должно быть понятно, что варианты осуществления, описанные в материалах настоящей заявки, являются лишь примерными, и что к ним могут быть выполнены различные модификации, не отступая от объема изобретения. Например, может быть обеспечена труба, которая имеет один или множество продольных участков, которые включают один или более конструкционных изменений в композитном материале, чтобы удовлетворять некоторому количеству требуемых поведенческих характеристик. Более того, хотя показаны круглые трубы, это не является обязательным, при этом могут быть возможны другие формы поперечного сечения, такие как овальные, прямолинейные и т.п. Кроме того, признаки одного или нескольких вариантов осуществления, проиллюстрированных выше, могут быть предусмотрены самостоятельно или в сочетании с признаками любого другого варианта осуществления. Например, может быть обеспечена труба, которая имеет одно или более периферийных изменений дополнительно к одному или нескольким продольным изменениям.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Труба (70), имеющая стенку (72) трубы, содержащую композитный материал, сформированный, по меньшей мере, из матрицы (74) и множества армирующих волокон (76), внедренных в матрицу (74), причем материал матрицы (74) образует непрерывную структуру, при этом волокна (76) имеют различное распределение в непрерывной структуре материала матрицы (74), изменяющееся от нуля в области внутренней поверхности (78) стенки трубы и увеличивающееся по направлению к внешней стенке (80).

2. Труба (70) по п.1, в которой композитный материал содержит изменяющийся уровень предварительного напряжения между различными областями стенки (72) трубы.

3. Труба (70) по п.2, в которой композитный материал по меньшей мере в одной области является предварительно напряженным и композитный материал по меньшей мере в одной другой области образует или содержит, по существу, нулевое предварительное напряжение.

4. Труба (70) по п.2 или 3, в которой композитный материал между различными областями обеспечен посредством комбинации предварительного растяжения и предварительного сжатия в различных областях.

5. Труба (70) по любому из пп.2-4, в которой уровень предварительного напряжения в композитном материале в одной области стенки (72) трубы устанавливает или влияет на уровень предварительного напряжения, созданный или обеспеченный в другой области стенки (72) трубы.

6. Труба (70) по любому из пп.2-5, в которой композитный материал во внешней области стенки (72) трубы содержит или образует уровень предварительного растяжения и композитный материал во внутренней области стенки (72) трубы содержит или образует уровень предварительного сжатия.

7. Труба по любому из пп.2-5, в которой композитный материал во внутренней области содержит или образует уровень предварительного натяжения, который больше, чем таковой во внешней области стенки (72) трубы.

8. Труба (10, 70) по любому предшествующему пункту, в которой по меньшей мере один периферийный сегмент (14, 16) стенки (12, 72) трубы содержит или образует локальное изменение в конструкции.

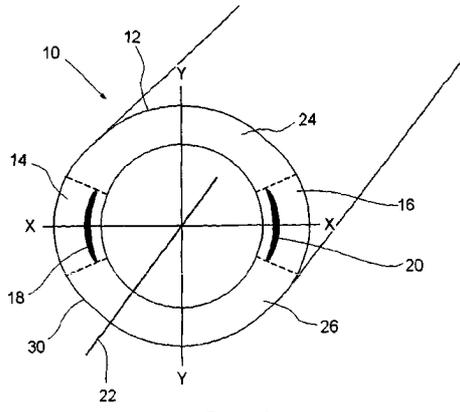
9. Труба (10, 70) по п.8, в которой по меньшей мере один периферийный сегмент (14, 16) содержит локальное изменение в плотности распределения армирующих волокон (76) внутри материала матрицы (74), и/или локальное изменение в типе волокна внутри композитного материала, и/или локальное изменение в угле выравнивания волокон внутри композитного материала.

10. Труба (70) по п.8 или 9, в которой модуль композитного материала изменен по всей стенке (72) трубы посредством изменения угла выравнивания армирующих волокон (76).

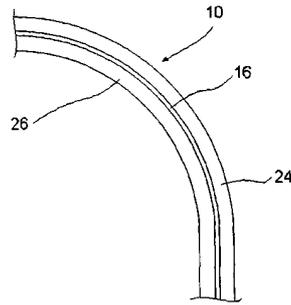
11. Труба (70, 200) согласно любому предшествующему пункту, в которой стенка (72, 202) трубы содержит локальное изменение в конструкции по меньшей мере в одной продольной секции (204) так, что конструкция волокна в одной продольной секции (20) стенки (72, 202) трубы является отличной от конструкции волокна композитного материала в другой продольной секции (206).

12. Труба (70, 200) согласно п.11, в которой по меньшей мере один продольный участок (204) содержит локальное изменение в плотности распределения армирующих волокон (76) в материале матрицы (74), и/или локальное изменение в типе волокна (76) в композитном материале, и/или локальное изменение в угле выравнивания волокон в композитном материале.

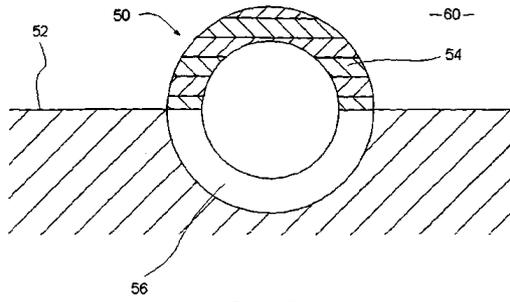
13. Способ производства трубы (70) по п.1, содержащий этапы, на которых формируют стенку (72) трубы с непрерывной структурой материала матрицы (74) и распределяют различным образом армирующие волокна (76) по непрерывной структуре материала матрицы, причем распределение изменяют от нуля в области внутренней поверхности (78) стенки трубы и увеличивают в направлении к внешней стенке (80).



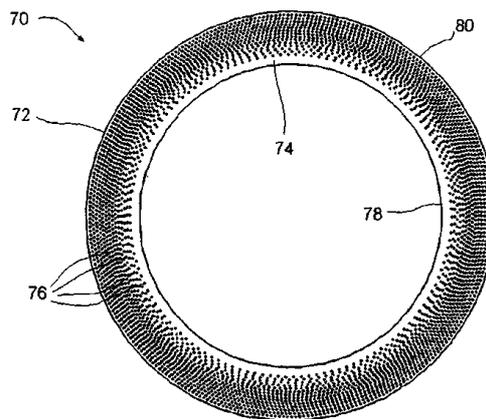
Фиг. 1



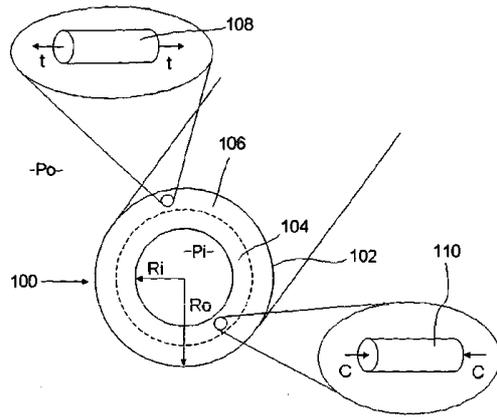
Фиг. 2



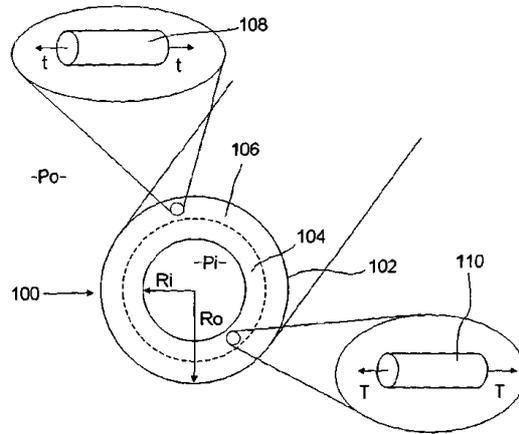
Фиг. 3



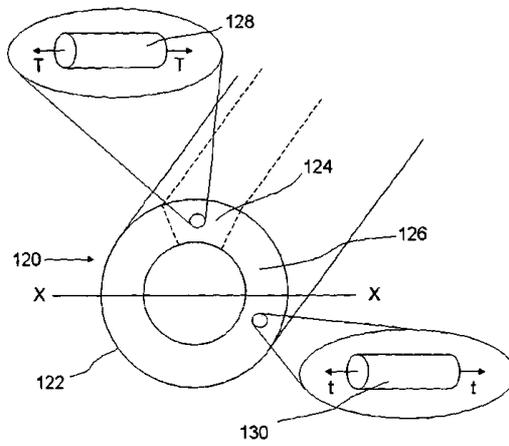
Фиг. 4



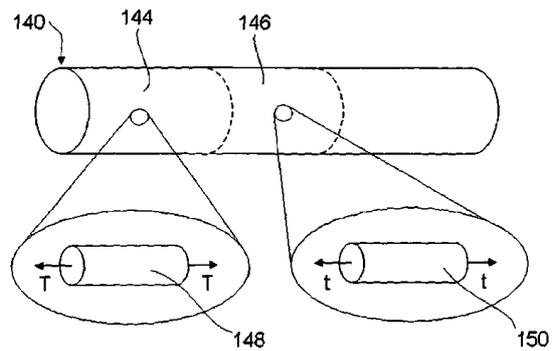
Фиг. 5



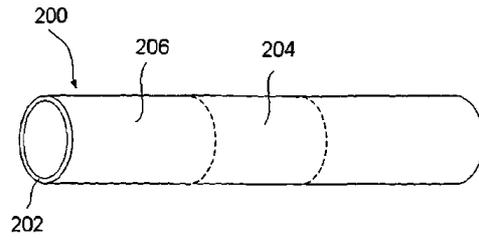
Фиг. 6



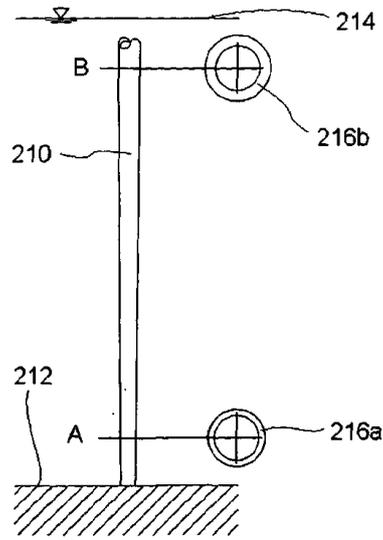
Фиг. 7



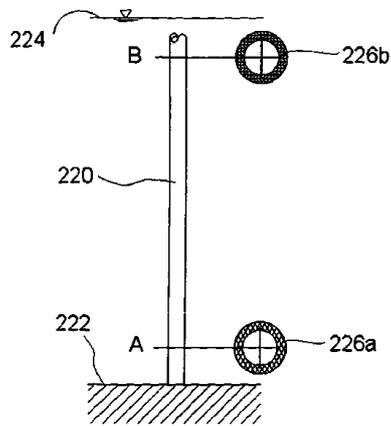
Фиг. 8



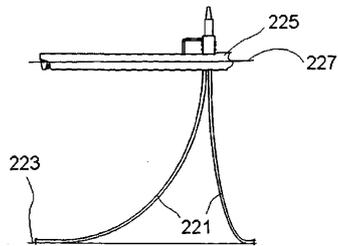
Фиг. 9



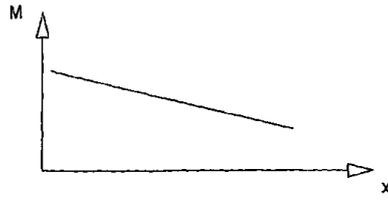
Фиг. 10



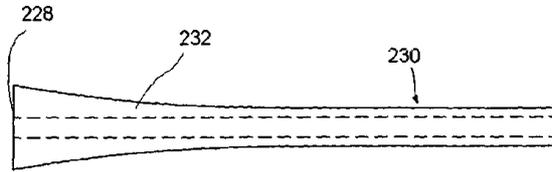
Фиг. 11



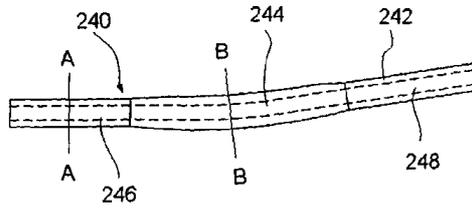
Фиг. 12



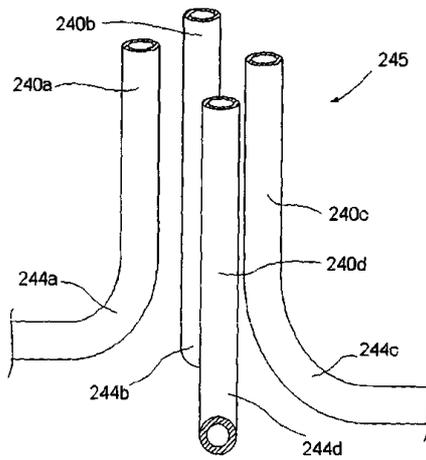
Фиг. 13А



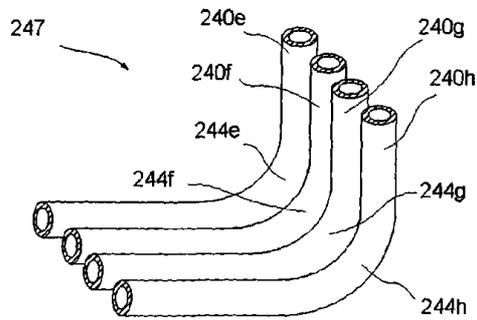
Фиг. 13В



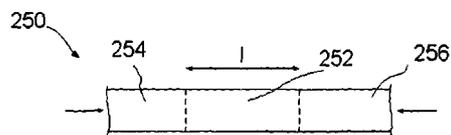
Фиг. 14



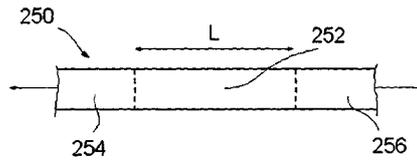
Фиг. 15



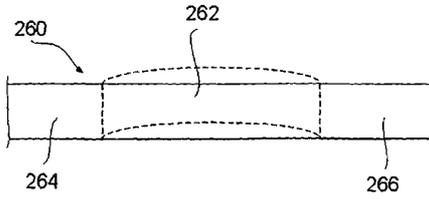
Фиг. 16



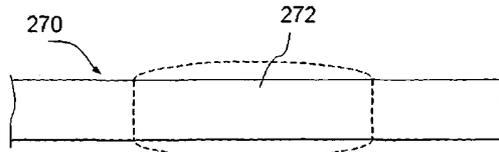
Фиг. 17А



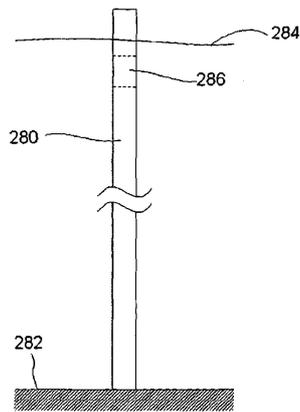
Фиг. 17В



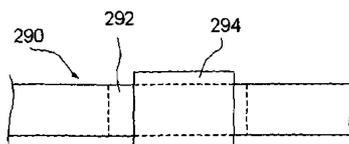
Фиг. 18



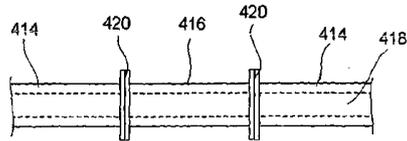
Фиг. 19



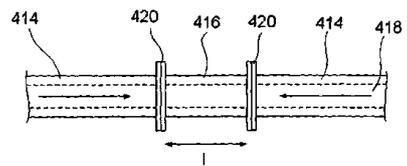
Фиг. 20



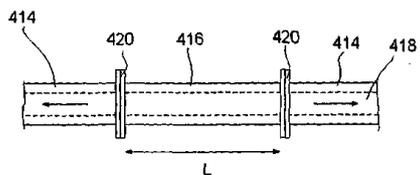
Фиг. 21



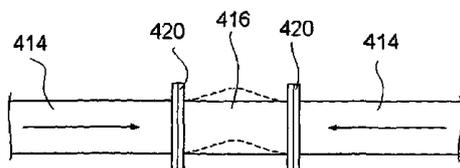
Фиг. 22



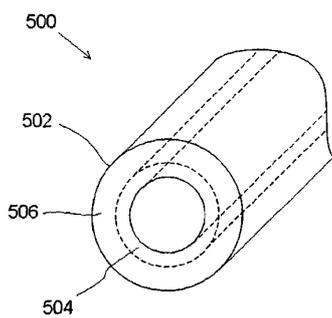
Фиг. 23А



Фиг. 23В



Фиг. 24



Фиг. 25