

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **044818**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.10.03

(51) Int. Cl. *F16L 15/04* (2006.01)
F16L 15/06 (2006.01)

(21) Номер заявки
202292497

(22) Дата подачи заявки
2021.04.20

(54) РЕЗЬБОВОЕ СОЕДИНЕНИЕ ДЛЯ СТАЛЬНОЙ ТРУБЫ

(31) **2020-110341**

(32) **2020.06.26**

(33) **JP**

(43) **2023.02.17**

(86) **PCT/JP2021/015974**

(87) **WO 2021/261063 2021.12.30**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**НИППОН СТИЛ КОРПОРЕЙШН
(JP); ВАЛЛУРЕК ОЙЛ ЭНД ГЭС
ФРАНС (FR)**

(72) Изобретатель:
**Вада Акира, Оку Йоусуке, Андо
Йосинори (JP)**

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

(56) WO-A1-2020075366
JP-A-04015385
WO-A1-2020039750
WO-A1-2018135267
JP-A-2015505944
JP-A-2015501906
US-A1-20190195030
JP-A-2012526931
JP-A-2016533462
WO-A1-2017213048

(57) Предусмотрено резьбовое соединение с высоким крутящим моментом с профилями наружной и внутренней резьбы, образованными клиновидной резьбой с высоким сопротивлением сдвигу и высоким сопротивлением крутящему моменту. Радиус r_1 кривизны основания опорной стороны первого витка 111 резьбы, расположенного на конце профиля 11 наружной резьбы, связанного с концевой частью, составляет не ниже высоты $Th \times 0,14$ резьбы, а более предпочтительно, не ниже, чем $Th \times 0,16$, для улучшения сопротивления сдвигу первого витка 111 резьбы. Дополнительно, шаг резьбы может быть уменьшен, чтобы увеличить количество витков резьбы, чтобы увеличить площадь контакта для опорных сторон, или только радиус кривизны основания опорной стороны первого витка резьбы, расположенного на конце профиля наружной резьбы, связанном с концевой частью, может быть увеличен, а меньшие радиусы кривизны могут быть предусмотрены для других участков, чтобы увеличить площадь контакта для опорных сторон, тем самым поддерживая высокое сопротивление крутящему моменту.

044818 B1

044818 B1

Область техники, к которой относится изобретение

Изобретение относится к резьбовому соединению для стальной трубы, используемому для соединения стальных труб.

Предпосылки изобретения

Стальные трубы, называемые трубами для нефтяных скважин, используются, например, для разведки или добычи нефти, природного газа в скважинах и т.д. (далее совместно именуемых "нефтяными скважинами" или т.п.), для разработки нетрадиционных ресурсов, таких как нефтяной песок или сланцевый газ, для извлечения или хранения двуокиси углерода (улавливания и хранения двуокиси углерода (CCS)), для геотермальной выработки электроэнергии, или в горячих источниках. Для соединения стальных труб используется резьбовое соединение. Такие резьбовые соединения для стальной трубы обычно классифицируются как муфтового типа и интегрального типа.

В случае соединения муфтового типа, стальные трубы соединяются с использованием трубчатой соединительной муфты. Как правило, внутренняя резьба предусмотрена на внутренней периферии каждого из концов соединительной муфты, тогда как наружная резьба предусмотрена на внешней периферии каждого из концов каждой стальной трубы. Затем один конец одной стальной трубы ввинчивается в один конец соединительной муфты, а один конец другой стальной трубы ввинчивается в другой конец соединительной муфты, так что стальные трубы соединяются. То есть, соединение муфтового типа непосредственно соединяет пару труб, одна из которых является стальной трубой, в то время как другая является соединительной муфтой.

Соединение интегрального типа напрямую соединяет стальные трубы и не использует отдельную соединительную муфту. Конкретно, внутренняя резьба предусмотрена на внутренней периферии одного конца каждой стальной трубы, тогда как наружная резьба предусмотрена на внешней периферии другого конца каждой стальной трубы; в один конец одной стальной трубы, снабженной внутренней резьбой, ввинчивается другой конец другой стальной трубы, снабженной наружной резьбой, так что стальные трубы соединяются.

Конец трубы стальной трубы, на котором предусмотрена наружная резьба, включает элемент, который должен быть вставлен в конец трубы стальной трубы или соединительной муфты на котором предусмотрена внутренняя резьба, и таким образом, обычно называется "ниппелем". Конец трубы стальной трубы или соединительной муфты, на котором предусмотрена внутренняя резьба, включает элемент для приема конца трубы стальной трубы, на котором предусмотрена наружная резьба, и таким образом, называется "муфтой". Ниппель и муфта составляют концы труб и, таким образом, являются трубчатыми по форме.

В последние годы стали популярными способы разработки скважин, такие как DwC (бурение с обсадной трубой) и горизонтальное бурение, что привело к быстрому увеличению спроса на соединения с высоким крутящим моментом. Заявитель настоящего изобретения изготовил соединения с высоким крутящим моментом для стальных труб относительно малого диаметра, в которых используется сужающаяся резьба с формой сечения в виде ласточкина хвоста, которая может быть названа клиновидной резьбой. Патентный документ 1, указанный ниже, например, раскрывает такое соединение с высоким крутящим моментом.

Клиновидная резьба имеет профиль резьбы с шагом закладной стороны меньшим, чем шаг ее опорной стороны, так что ширина вершины резьбы профиля наружной резьбы ниппеля постепенно уменьшается по мере продвижения к концевой части вдоль винтовой линии резьбы, и аналогично, ширина канавки резьбы профиля внутренней резьбы противоположной муфты постепенно уменьшается по мере продвижения к концевой части. Дополнительно, каждая из опорной и закладной сторон каждой наружной и внутренней резьбы имеет отрицательный угол зацепления; когда свинчивание ниппеля и муфты завершено, при этом опорные стороны находятся в контакте, и закладные стороны находятся в контакте, так что резьбы с профилем наружной резьбы и профилем внутренней резьбы прочно входят в зацепление друг с другом. Благодаря такой конструкции, резьбовое соединение, использующее клиновидную резьбу, может демонстрировать высокое сопротивление крутящему моменту.

Патентный документ 1 на фиг. 5 и в тексте описания раскрывает способ, согласно которому каждый участок резьбы, соединяющий опорную сторону и поверхность вершины, и участок резьбы, соединяющий опорную сторону и поверхность канавки/впадины, включает криволинейный участок, состоящий из двух дуг с разными радиусами кривизны для уменьшения концентрации нагрузки в основании опорной стороны, тем самым улучшая усталостные характеристики этих соединительных участков.

Документы предшествующего уровня техники

Патентные документы

Патентный документ 1. Заявка Японии JP 2007-504420 А

Сущность изобретения

Проблемы, которые должны быть решены изобретением

Заявитель настоящего изобретения разрабатывает резьбовые соединения с высоким крутящим моментом для стальных труб еще большего диаметра. Когда они разработали резьбовые соединения с большими диаметрами 9-5/8дюйма или больше в соответствии с теми же стандартами проектирования,

что и обычные, и провели испытания на комплексную нагрузку на прототипах, соответствующих ISO 13679: 2011 серии А, произошли разрушения при сдвиге в резьбе с профилем наружной резьбы ниппеля при приложении максимальной растягивающей нагрузки. Согласно обычным стандартам проектирования, принятым настоящим заявителем, одна из двух дуг, образующих вышеупомянутый криволинейный участок, раскрытых в Патентном документе 1, которая примыкает к опорной стороне (23), имеет радиус кривизны 0,125 мм, а дуга, примыкающая к поверхности канавки/впадины резьбы или поверхности (24) вершины резьбы, имеет радиус кривизны 0,875 мм.

Задачей настоящего раскрытия является обеспечение резьбового соединения для стальной трубы с большим диаметром, которое демонстрирует высокое сопротивление крутящему моменту, а также сопротивление сдвигу, которое соответствует размеру соединяемых стальных труб.

Средство для решения проблем.

Авторы настоящего изобретения провели обширные исследования для определения причин разрушения резьбы с профилем наружной резьбы резьбового соединения с высоким крутящим моментом для стальных труб большого диаметра, и обнаружили, что относительно к пределу прочности на растяжение или, другими словами, сопротивлению сдвигу, необходимому для стальной трубы большого диаметра, предел прочности на сдвиг резьбы, измеренный на конце профиля наружной резьбы, связанном с концевой частью ниппеля, является недостаточным, так что происходит разрушение при сдвиге, при этом точкой начала является основание резьбы на конце профиля наружной резьбы, связанном с концевой частью ниппеля. То есть, если разрушение при сдвиге сначала происходит в участке резьбы для одного витка, начинающегося с конца профиля наружной резьбы, связанного с концевой частью ниппеля (далее именуемого "первым витком резьбы"), нагрузка концентрируется на втором витке резьбы, т.е. следующем витке резьбы, расположенном внутрь (т.е. дополнительно к телу стальной трубы), если смотреть в сечении, что вызывает сдвиг во втором витке резьбы; после разрушения при сдвиге во втором витке резьбы, нагрузка концентрируется в третьем витке резьбы, т.е. следующем витке резьбы, расположенном внутрь, что вызывает здесь разрушение при сдвиге; таким образом, сдвиговые разрушения распространяются в витках резьбы, один виток резьбы за другим. Считается, что это является тем, как возникают разрушения при сдвиге в витках резьбы в широкой области профиля наружной резьбы.

В типовом профиле наружной резьбы с трапециевидным сечением приложение чрезмерной растягивающей нагрузки может вызвать радиальную деформацию ниппеля и муфты и, таким образом, вызвать выскакивание, но редко вызывает разрушения резьбы в широкой области. С другой стороны, в резьбовом соединении с высоким крутящим моментом, как обсуждалось выше, профили наружной и внутренней резьб не расцепляются, поскольку витки профилей наружной и внутренней резьб с формой сечения в виде ласточкина хвоста находятся в сильном зацеплении.

Соответственно, в резьбовом соединении с высоким крутящим моментом с профилями наружной и внутренней резьб, каждая из которых составлена клиновидной резьбой с формой сечения в виде ласточкина хвоста, жесткость первого витка резьбы, в котором первым происходит разрушение при сдвиге, имеет решающее значение для обеспечения сопротивления выскакиванию и сопротивлению сдвигу.

Для улучшения сопротивления сдвигу конца профиля наружной резьбы, связанного с концевой частью ниппеля, авторы настоящего изобретения сосредоточили внимание на радиусе кривизны граничного участка между опорной стороной и поверхностью канавки/впадины резьбы в концевом участке профиля наружной резьбы, связанного с концевой частью ниппеля. Считается, что разрушения при сдвиге в профиле наружной резьбе, как обсуждалось выше, вызваны концентрацией напряжений на границе между опорной стороной и поверхностью канавки/впадины резьбы в концевом участке профиля наружной резьбы, связанном с концевой частью ниппеля; таким образом, ожидается, что увеличение радиуса кривизны этого граничного участка уменьшит концентрацию напряжения и улучшит сопротивление сдвигу.

Дополнительно, считается, что чем больше высота резьбы, тем больше становится изгибающий момент, действующий на граничный участок, даже если общее количество равномерно распределенных нагрузок, действующих на опорную сторону, является одинаковым, что означает более высокие эквивалентные пластические деформации в граничном участке; таким образом, предполагается, что граничный участок должен быть образован криволинейной поверхностью с подходящим радиусом кривизны, который зависит от высоты резьбы.

Другое соображение заключается в том, что чрезмерно большая высота резьбы означает большую глубину резания канавки резьбы, что означает низкую обрабатываемость; поэтому, предпочтительно, чтобы даже в резьбовом соединении для стальных труб с большими диаметрами, высота резьбы не превышала 3,0 мм. Дополнительно, для того, чтобы соединение демонстрировало достаточное сопротивление крутящему моменту, необходимо предусмотреть достаточные площади контакта для опорной и закладной сторон; таким образом, высота резьбы, предпочтительно, составляет не менее чем 1,8 мм.

Авторы изобретения всесторонне рассмотрели эти технические данные, и пришли к резьбовому соединению для стальной трубы согласно настоящему раскрытию. То есть, резьбовое соединение для стальной трубы согласно настоящему раскрытию включает: трубчатый ниппель, предусмотренный на концевой части стальной трубы; и трубчатую муфту, выполненную с возможностью быть навинченной на ниппель, когда ниппель вкручивается в нее. Ниппель включает профиль наружной резьбы, образованный

на внешней периферии ниппеля. Муфта включает профиль внутренней резьбы, образованный на внутренней периферии муфты и выполненный с возможностью зацепления с профилем наружной резьбы, когда соединение свинчено. Каждый из профиля наружной резьбы и профиля внутренней резьбы включает в себя опорную сторону, закладную сторону, поверхность вершины резьбы и поверхность канавки/впадины резьбы, где шаг закладной стороны каждого из профиля наружной резьбы и профиля внутренней резьбы меньше, чем шаг опорной стороны каждого из профиля наружной резьбы и профиля внутренней резьбы и, когда соединение свинчено, опорная сторона профиля наружной резьбы находится в контакте с опорной стороной профиля внутренней резьбы, а закладная сторона профиля наружной резьбы находится в контакте с закладной стороной профиля внутренней резьбы. Предпочтительно, чтобы каждая из опорных сторон и закладных сторон профиля наружной резьбы и профиля внутренней резьбы имела отрицательный угол зацепления.

Опорная сторона и поверхность канавки/впадины резьбы участка профиля наружной резьбы для заданного диапазона в направлении винтовой линии резьбы, начиная с конца профиля наружной резьбы, связанного с концевой частью ниппеля, могут быть соединены первой криволинейной поверхностью, имеющей радиус r_1 кривизны, если смотреть в продольном сечении, удовлетворяющий следующему выражению (1):

$$r_1 \geq Th \times 0,14 \dots (1),$$

Здесь Th представляет собой высоту резьбы, измеренную на опорной стороне, в профиле наружной резьбы, измеренную в заданном диапазоне в направлении винтовой линии резьбы, начиная с конца профиля наружной резьбы, связанного с концевой частью ниппеля. Предпочтительно, высота Th резьбы удовлетворяет требованиям $1,8 \text{ мм} \leq Th \leq 3,0 \text{ мм}$ и, более предпочтительно, удовлетворяет требованиям $r_1 \geq Th \times 0,16$.

Результаты изобретения

Согласно настоящему раскрытию, каждый профиль наружной и внутренней резьбы составлен клиновидной резьбой и, таким образом, демонстрирует высокое сопротивление крутящему моменту, а концевой участок профиля наружной резьбы, связанный с концевой частью ниппеля, может быть обеспечен сопротивлением сдвигу, требуемым от стальной трубы с большим диаметром.

Краткое описание чертежей

Фиг. 1 представляет собой вид продольного сечения резьбового соединения для стальной трубы согласно первому варианту выполнения вдоль ее оси трубы.

Фиг. 2 представляет собой увеличенный вид продольного сечения области профиля наружной резьбы, включающей первый и второй витки резьбы.

Фиг. 3 представляет собой увеличенный вид продольного сечения участка профиля наружной резьбы, включающего первый виток резьбы и рядом с первым витком резьбы.

Фиг. 4 представляет собой увеличенный вид в перспективе участков профиля наружной резьбы, которые соединяют первый и второй витки резьбы.

Фиг. 5 представляет собой вид продольного сечения резьбового соединения для стальной трубы согласно второму варианту выполнения вдоль ее оси трубы.

Фиг. 6 представляет собой график, показывающий результаты вычисления эквивалентной пластической деформации посредством анализа методом конечных элементов.

Фиг. 7 представляет собой график, показывающий результаты вычисления сопротивления крутящему моменту посредством анализа методом конечных элементов.

Варианты выполнения для выполнения изобретения

Резьбовое соединение для стальной трубы согласно настоящему варианту выполнения включает: трубчатый ниппель, предусмотренный на концевой части стальной трубы; и трубчатую муфту, выполненную с возможностью быть навинченной на ниппель, когда ниппель вкручивается в нее. Ниппель включает профиль наружной резьбы, образованный на внешней периферии ниппеля. Муфта включает профиль внутренней резьбы, образованный на внутренней периферии муфты и выполненный с возможностью зацепления с профилем наружной резьбы, когда соединение свинчено.

Предпочтительно, профиль наружной резьбы составлен конической резьбой, диаметр которой постепенно уменьшается по направлению к концевой части ниппеля. Профиль наружной резьбы может включать в себя участок с полнопрофильной резьбой с постоянной высотой резьбы, и участок с неполной резьбой с меньшей высотой резьбы, чем у участка с полнопрофильной резьбой. Профиль наружной резьбы образован посредством процесса резания на внешней периферийной поверхности стальной трубы, при этом глубина резания канавки резьбы постепенно увеличивается по мере продвижения к концевой части, начиная с конца профиля резьбы, связанного с телом трубы стальной трубы, в пределах от нуля до высоты резьбы участка с полнопрофильной резьбой; причем участок неполной резьбы профиля наружной резьбы в основном составлен участками профиля резьбы, в которых глубина резания канавки резьбы меньше, чем высота резьбы участка с полнопрофильной резьбой. В этой конструкции, диаметр каждой из поверхности вершины резьбы и поверхности канавки/впадины резьбы профиля наружной резьбы, измеренный на участке полнопрофильной резьбы, постепенно уменьшается по мере продвижения к концевой

части ниппеля в направлении винтовой линии резьбы, тогда как поверхность вершины резьбы в участке с неполной резьбой имеет постоянный диаметр, в то время как диаметр поверхности канавки/впадины резьбы, измеренный в участке с неполной резьбой, постепенно уменьшается по мере продвижения к концевой части ниппеля вдоль направления винтовой линии резьбы.

Предпочтительно, профиль внутренней резьбы составлен суживающейся резьбой, диаметр которой постепенно увеличивается по мере продвижения к концевой части муфты (т.е. телу трубы стальной трубы). Профиль внутренней резьбы может включать в себя участок с полнопрофильной резьбой с постоянной высотой резьбы, и участок с неполной резьбой с меньшей высотой резьбы, чем у участка с полнопрофильной резьбой. Дополнительно, высота резьбы участка с полнопрофильной резьбой профиля внутренней резьбы может быть немного больше, чем высота резьбы участка с полнопрофильной резьбой профиля наружной резьбы. В таких реализациях, когда ниппель и муфта свинчены, поверхность вершины резьбы профиля внутренней резьбы находится в контакте с поверхностью канавки/впадины резьбы профиля наружной резьбы, в то время как зазор образован между поверхностью вершины резьбы профиля наружной резьбы и поверхностью канавки/впадины резьбы профиля внутренней резьбы. Этот зазор предотвращает заедание или истирание во время зацепления профилей наружной и внутренней резьбы, а также может быть, предпочтительно, использован в качестве прохода для выпуска смазки.

Форма профиля внутренней резьбы образована в процессе резания на внутренней периферийной поверхности муфты или стальной трубы, которая образует муфту. Предпочтительно, первая канавка резьбы профиля внутренней резьбы, которая входит в зацепление, когда ниппель и муфта свинчиваются, с первым витком профиля наружной резьбы, т.е. наружной резьбы в полнопрофильном участке, расположенном наиболее удаленно к концевой части, имеет такую глубину канавки, при которой радиальный размер площади контакта для опорной стороны профиля наружной резьбы и опорной стороны профиля внутренней резьбы составляет не менее 60%, более предпочтительно, не менее 70% высоты резьбы первого витка резьбы профиля наружной резьбы.

Каждый из профилей наружной и внутренней резьбы включает в себя опорную сторону, закладную сторону, поверхность вершины резьбы и поверхность канавки/впадины резьбы, и каждая из опорной и закладной сторон профилей наружной и внутренней и резьбы имеет отрицательную угол зацепления. То есть, каждый из профилей наружной и внутренней резьбы включает в себя канавку резьбы типа "ласточкин хвост" и виток резьбы типа "ласточкин хвост", если смотреть в продольном сечении. В продольном сечении каждого из профилей наружной и внутренней резьбы появляется множество поверхностей вершин резьбы и множество поверхностей канавки/впадины резьбы, где каждая из поверхностей вершины резьбы и каждая из поверхности канавки/впадины резьбы могут быть образованы, если смотреть в продольном сечении с тем, чтобы быть параллельными оси трубы стальной трубы, или могут быть наклонены относительно оси трубы стальной трубы под углом сужения суживающейся резьбы. Угол зацепления опорной стороны может иметь, например, заданное значение в диапазоне от -10° до -1° и, более, предпочтительно, заданное значение в диапазоне от -4° до -6° . Угол зацепления закладной стороны может иметь, например, заданное значение в диапазоне от -10° до -1° и, более, предпочтительно, заданное значение в диапазоне от -4° до -6° . Каждая из опорной и закладной сторон каждого витка профилей наружной и внутренней резьбы может иметь форму сечения, которая выглядит как прямая линия в продольном сечении.

В резьбовом соединении для стальной трубы согласно настоящему варианту выполнения, шаг закладной стороны профилей наружной и внутренней резьбы меньше, чем шаг опорной стороны профилей наружной и внутренней резьбы. Таким образом, профиль наружной резьбы составлен клиновидной резьбой, имеющей ширину резьбы, которая уменьшается, и ширину канавки резьбы, которая увеличивается по мере продвижения к концевой части ниппеля, а профиль внутренней резьбы составлен клиновидной резьбой, имеющей ширину резьбы, которая уменьшается, и ширину канавки резьбы, которая увеличивается по мере продвижения к концевой части муфты. Шаг опорной стороны может быть, например, заданным значением в диапазоне от 8,0 мм до 11,0 мм, а шаг закладной стороны может быть, например, заданным значением в диапазоне 7,5 мм до 10,5 мм. Разница в шаге между шагом опорной стороны и закладной стороны, Δr , может составлять, например, от 0,3 мм до 0,6 мм.

В настоящем раскрытии термин "профиль наружной резьбы" означает участок наружной резьбы с опорной стороной в контакте с опорной стороной внутренней резьбы, и закладной стороной в контакте с закладной стороной внутренней резьбы, когда ниппель и муфта свинчены, независимо от того, является ли он частью участка полнопрофильной резьбы или участка неполной резьбы. Термин "профиль внутренней резьбы" означает участок внутренней резьбы с опорной стороной в контакте с опорной стороной наружной резьбы, и закладной стороной в контакте с закладной стороной наружной резьбы, когда ниппель и муфта свинчены, независимо от того, является ли он частью участка полнопрофильной резьбы или участка неполной резьбы. Возможно предусмотреть, расположенный дополнительно к концевой части ниппеля, чем участок с полнопрофильной резьбой профиля 11 наружной резьбы, участок 15 с неполной резьбой, у которого, по меньшей мере, одна из закладной и опорной сторон не находится в контакте с внутренней резьбой, как показано, например, на фиг. 4; тем не менее, поскольку такой участок неполной

резьбы не способствует сопротивлению крутящему моменту, он не составляет часть "наружной резьбы" в этом раскрытии. Дополнительно, возможно предусмотреть, расположенный дополнительно к концевой части муфты, чем участок с полнопрофильной резьбой профиля внутренней резьбы, участок с неполной резьбой, у которого, по меньшей мере, одна из закладной и опорной сторон не находится в контакте с наружной резьбой; тем не менее, поскольку такой участок неполной резьбы не способствует сопротивлению крутящему моменту, он не составляет часть "внутренней резьбы" в данном раскрытии.

В резьбовом соединении для стальной трубы согласно настоящему варианту выполнения, опорная сторона и поверхность канавки/впадины резьбы участка профиля наружной резьбы для заданного диапазона в направлении винтовой линии резьбы, начиная с конца профиля наружной резьбы, связанного с концевой частью ниппеля, соединены первой криволинейной поверхностью, имеющей радиус r_1 кривизны, если смотреть в продольном сечении, удовлетворяющий выражению (1) ниже. Предпочтительно, чтобы радиально внутренний конец первой криволинейной поверхности плавно примыкал к поверхности канавки/впадины резьбы наружной резьбы. Дополнительно, предпочтительно, чтобы радиально внешний конец первой криволинейной поверхности плавно примыкал к опорной стороне наружной резьбы.

$$r_1 \geq Th \times 0,14 \dots (1).$$

Здесь Th представляет собой высоту резьбы, измеренную на опорной стороне профиля наружной резьбы, измеренную в заданном диапазоне в направлении винтовой линии резьбы, начиная с конца профиля наружной резьбы, связанного с концевой частью ниппеля, и удовлетворяющую условию $1,8 \text{ мм} \leq Th \leq 3,0 \text{ мм}$. Предпочтительно, чтобы виток (витки) профиля наружной резьбы, расположенный в заданном диапазоне в направлении винтовой линии резьбы, начиная с конца профиля наружной резьбы, связанного с концевой частью, был/были частью участка полнопрофильной резьбы профиля наружной резьбы. Если высота Th резьбы меньше 1,8 мм, это означает малую площадь контакта между опорными сторонами профиля наружной и внутренней резьбы, что делает невозможным получение требуемого сопротивления крутящему моменту. С другой стороны, если высота Th резьбы больше 3,0 мм, это означает большую глубину резания, что, в свою очередь, означает увеличение времени резания и затрат на процесс.

Для высоты Th резьбы 1,8 мм радиус r_1 кривизны составляет не менее 0,252 мм, тогда как для высоты резьбы 3,0 мм радиус r_1 кривизны составляет не менее 0,42 мм; авторы настоящего изобретения впервые предложили соединение опорной стороны и поверхности канавки/впадины резьбы в профиле наружной резьбы с такими большими радиусами кривизны.

Первая криволинейная поверхность может быть предусмотрена по всей длине наружной резьбы.

Один из способов улучшения сопротивления крутящему моменту состоит в том, чтобы сделать шаг опорной стороны и шаг закладной стороны относительно небольшими, чтобы сделать количество витков резьбы, появляющихся в продольном сечении, относительно большим. Предпочтительно, профили наружной и внутренней резьбы могут иметь такие профили резьбы, что при свинчивании, опорная и закладная стороны того участка резьбы профиля наружной резьбы, который покрывает, по меньшей мере, 8 витков, более предпочтительно 9 витков, в направлении винтовой линии резьбы, начинающейся с конца профиля наружной, связанного с концевой частью ниппеля, находятся в контакте с опорной стороной и закладной стороной профиля внутренней резьбы. Более предпочтительно, шаг опорной стороны может быть не более 8,50 мм, шаг закладной стороны может быть не более 8,10 мм, соответствующая разница в шаге может быть не менее 0,35 мм и не более 0,45 мм, а минимальная ширина резьбы, измеренная на конце профиля наружной резьбы, связанном с концевой частью ниппеля, и измеренная у основания резьбы, может быть не менее 2,0 мм. Дополнительно, предпочтительно, чтобы минимальная ширина резьбы, измеренная на конце профиля внутренней резьбы, связанном с концевой частью муфты, и измеренная у основания резьбы, также была не менее 2,1 мм. Возможно предусмотреть, расположенный дополнительно к концевой части муфты, чем конец профиля внутренней резьбы, связанный с концевой частью муфты, участок неполной резьбы, в котором, по меньшей мере, одна из закладной и опорной сторон не находится в контакте с наружной резьбой; тем не менее, поскольку такой участок неполной резьбы не способствует сопротивлению крутящему моменту, ширина резьбы участка неполной резьбы может быть меньше 2,00 мм в зависимости от условий процесса нарезания и других факторов. Участок неполной резьбы не составляет часть "внутренней резьбы" в этом раскрытии.

Первая криволинейная поверхность с большим радиусом кривизны может быть обеспечена не по всей длине профиля наружной резьбы, а может быть предусмотрена, по меньшей мере, на 1/2 витка, более предпочтительно, по меньшей мере, на одном витке в направлении винтовой линии резьбы начиная с конца профиля наружной резьбы, связанного с концевой частью ниппеля. Таким образом, основание первого витка резьбы профиля наружной резьбы, на котором ширина резьбы является минимальной, может быть усилено первой криволинейной поверхностью с точки зрения жесткости сдвига, тем самым обеспечивая разрушение при сдвиге, происходящее в первом витке как его точка инициации.

Дополнительно, как показано на фиг. 4, например, профиль 11 наружной резьбы может включать в себя первый участок 111 резьбы, имеющий первую криволинейную поверхность 111А, и второй участок 112 резьбы, примыкающий к первому участку 111 резьбы, причем эти участки расположены в направлении винтовой линии резьбы. Опорная сторона и поверхность канавки/впадины резьбы второго участка

112 резьбы могут быть соединены второй криволинейной поверхностью 112А, имеющей меньший радиус r_2 кривизны, чем первая криволинейная поверхность 111А. Предпочтительно, чтобы первая и вторая криволинейные поверхности 111А и 112А плавно соприкасались без ступенчатого участка на границе между ними.

Первая криволинейная поверхность может быть предусмотрена вдоль, по меньшей мере, x витков в направлении винтовой линии резьбы, начиная с конца профиля наружной резьбы, связанного с концевой частью ниппеля. Здесь x удовлетворяет следующему выражению (2):

$$x = (r_1 - r_2) / \Delta p \dots (2).$$

Здесь Δp представляет собой разницу в шаге между шагом опорной стороны и шагом закладной стороны профиля наружной резьбы.

Поскольку профиль наружной резьбы сконфигурирован таким образом, на втором участке резьбы с относительно небольшим радиусом r_2 кривизны, радиус кривизны пограничного участка между опорной стороной и поверхностью вершины резьбы участка профиля внутренней резьбы муфты 20, который имеет радиус r_2 кривизны, является также относительно маленьким, тем самым обеспечивая большую площадь контакта между опорными сторонами профилей наружной и внутренней резьбы, что является выгодным с точки зрения сопротивления крутящему моменту. Дополнительно, концевой участок второго участка резьбы, связанный с концевой частью ниппеля, представляет собой участок второго участка резьбы, который имеет наименьшую ширину резьбы; однако, поскольку выражение (2) выполнено, наименьшая ширина резьбы во втором участке резьбы примерно равна ширине резьбы в концевом участке первого участка резьбы, связанного с концевой частью ниппеля, в котором ширина резьбы, измеренная у основания резьбы, увеличивается за счет первой криволинейной поверхности, имеющей большой радиус r_1 кривизны, тем самым предотвращая разрушение при сдвиге с точки инициации в концевом участке второго участка резьбы, связанного с концевой частью ниппеля.

То есть, если угол зацепления опорной стороны составляет примерно от -10° до -1° , например, как показано на фиг. 3, первая криволинейная поверхность 111А, соединяющая опорную сторону с поверхностью канавки/впадины резьбы, в целом, имеет форму четверти дуги, если смотреть в продольном сечении. Таким образом, расстояние в направлении оси трубы между радиально внутренним концом P_1 и радиально внешним концом P_0 первой криволинейной поверхности 111А, по существу, равно радиусу r_1 кривизны первого радиуса кривизны 111А. Фиг. 3 показывает воображаемые линии, которые представляют вторую криволинейную поверхность 112А', созданную, когда конец второго участка резьбы, связанного с концевой частью ниппеля, расположен примерно на половину витка в направлении винтовой линии резьбы от конца первого участка 111 резьбы, связанного с концевой частью ниппеля, и вторая криволинейная поверхность 112А'', созданная, когда конец второго участка резьбы, связанный с концевой частью ниппеля, расположен в положении примерно на 3/4 витка от конца первого участка резьбы, наложенного друг на друга на концевом участке первого участка 111 резьбы, связанным с концевой частью ниппеля, чтобы показать сравнение между шириной витков. Также, осевое расстояние между радиально внутренним концом и радиально внешним концом второй криволинейной поверхности, по существу, равно радиусу r_2 кривизны второй криволинейной поверхности. Ширина резьбы изменяется на разность Δp шага между шагами опорной стороны и закладной стороны для одного витка в направлении винтовой линии резьбы. Таким образом, за x витков ширина резьбы увеличивается на $\Delta p \times x$. Если конец второго участка резьбы, связанный с концевой частью ниппеля, расположен в положении x витков, ширина W_2 резьбы, измеренная с использованием радиально внутреннего конца второй криволинейной поверхности (т.е. ширина резьбы, измеренная с использованием положения P_1 на фиг. 3) может быть представлена следующим выражением (3):

$$W_2 = W_1 - r_1 + \Delta p \times x + r_2 \dots (3),$$

где W_1 представляет собой ширину резьбы, измеренную на конце первого участка резьбы, связанного с концевой частью ниппеля и измеренную с использованием радиально внутреннего конца первой криволинейной поверхности (т.е. ширину резьбы, измеренную с использованием положения P_1 на фиг. 3). Здесь $W_1 - r_1$ указывает приблизительное положение P_0 . $W_1 - r_1 + \Delta p \times x$ указывает подходящее положение внешнего конца второй криволинейной поверхности 112А', 112А'', обозначенной как P_0 . Выражение (3) указывает соответствующее положение внутреннего конца второй криволинейной поверхности 112', 112А'', обозначенной P_1 . Чем больше винтовая длина первого резьбового участка 111, тем больше становится W_2 . Таким образом, в зависимости от длины первого резьбового участка 111, W_2 может быть меньше, чем W_1 , или W_2 может быть больше, чем W_1 .

Если W_2 меньше, чем W_1 , вторая криволинейная поверхность 112А' поднимается с радиусом r_2 кривизны, который является маленьким; по существу, ширина резьбы тех участков второй резьбы, которые связаны со второй криволинейной поверхностью 112А', может быть меньше, чем ширина основания первого участка 111 резьбы (то есть, как показано на фиг. 3, криволинейная поверхность 112А' может врезаться в резьбу по сравнению с поверхностью криволинейной поверхности 111А) и участков второго участка резьбы с меньшими ширинами резьбы, могут представлять слабые места с точки зрения прочности. Ввиду этого, предпочтительно, чтобы W_2 был, по существу, равен W_1 или превышал W_1 . Таким об-

разом, из выражения (3) и условия $W2 \geq W1$ можно получить $x \geq (r1-r2)/\Delta p$. То есть, если x определяется как $x=(r1-r2)/\Delta p$, предпочтительно, чтобы первая криволинейная поверхность была предусмотрена, по меньшей мере, на x витках в направлении винтовой линии резьбы, начиная с конца профиля наружной резьбы, связанного с концевой частью ниппеля.

Например, если шаг опорной стороны составляет 9,845 мм, шаг закладной стороны составляет 9,400 мм, радиус $r1$ кривизны первой криволинейной поверхности составляет 0,4 мм, а радиус $r2$ кривизны второй криволинейной поверхности составляет 0,1 мм, то предпочтительнее, чтобы первая криволинейная поверхность была выполнена вдоль $(0,4-0,1)/(9,845-9,400) \approx 2/3$ витка или длиннее. Если радиус $r2$ кривизны второй криволинейной поверхности составляет 0,2 мм, а другие условия такие же, как указано выше, предпочтительно, чтобы первая криволинейная поверхность была выполнена на половине витка или длиннее.

Кроме того, поскольку профиль наружной резьбы включает второй участок резьбы, имеющий вторую криволинейную поверхность с малым радиусом кривизны, и радиусом кривизны между опорной стороной и поверхностью вершины резьбы в тех участках резьбы профиля внутренней резьбы, которые существуют для зацепления второго участка резьбы, является меньше, чем у обсуждаемой ниже третьей криволинейной поверхностью, может быть обеспечена большая площадь контакта между опорными сторонами в целом, так что соединение может проявлять большое сопротивление крутящему моменту.

Предпочтительно, в резьбовом соединении для стальной трубы согласно настоящему варианту выполнения, опорная сторона и поверхность вершины резьбы профиля внутренней резьбы могут быть соединены третьей криволинейной поверхностью, которая обращена к первой криволинейной поверхности профиля наружной резьбы, когда соединение свинчено, и имеет больший радиус кривизны, чем первая криволинейная поверхность. Это будет предотвращать границу/угол между опорной стороной и поверхностью вершины резьбы профиля внутренней резьбы от задевания с первой криволинейной поверхностью.

Кроме того, может быть предусмотрен радиальный зазор между поверхностью вершины резьбы в участке профиля внутренней резьбы, который находится в контакте с опорной стороной в концевом участке профиля наружной резьбы, связанном с концевой частью ниппеля, когда соединение свинчено, с одной стороны, и поверхностью канавки/впадины резьбы в участке профиля наружной резьбы, который обращен к поверхности вершины резьбы. Более предпочтительно, поверхность вершины резьбы в вышеупомянутом участке профиля внутренней резьбы может быть поверхностью вершины резьбы в концевом участке профиля внутренней резьбы, расположенном в самом внутреннем положении по отношению к муфте на профиле внутренней резьбы. Дополнительно, поверхность вершины резьбы в вышеупомянутом участке профиля внутренней резьбы может иметь такой же диаметр, что и внутренняя периферийная поверхность трубчатого безрезьбового удлинения, расположенного внутри профиля внутренней резьбы в отношении муфты. Дополнительно, ниппель может включать трубчатое безрезьбовое удлинение, соответствующее безрезьбовому удлинению муфты, причем, предпочтительно, чтобы внешняя периферийная поверхность безрезьбового удлинения ниппеля не было в контакте с внутренней периферийной поверхностью безрезьбового удлинения муфты, когда соединение свинчено. Кроме того, ниппель, предпочтительно, включает уплотняющую поверхность ниппеля, расположенную дополнительно к концевой части ниппеля, чем безрезьбовое удлинение ниппеля, а муфта, предпочтительно, включает в себя уплотняющую поверхность муфты, расположенную дополнительно к внутренней части муфты, чем безрезьбовое удлинение муфты. Когда ниппель и муфта свинчены, эти уплотняющие поверхности ниппеля и муфты находятся в контакте друг с другом, образуя уплотнение металл-металл, которое может обеспечивать герметичность при внешнем и внутреннем давлении. Безрезьбовые удлинения являются полезными для предотвращения деформации, вызванной сжимающими и растягивающими нагрузками, действующими на профили наружной и внутренней резьбы от влияния уплотняющих поверхностей ниппеля и муфты. Дополнительно, поскольку описанный выше зазор создается путем уменьшения высоты резьбы участка профиля внутренней резьбы по сравнению с высотой резьбы участка полнопрофильной резьбы внутренней резьбы, можно гарантировать, что толщина стенки участка ниппеля, включая концевую часть ниппеля и вблизи нее, больше, чем в реализациях, где зазор создается за счет увеличения глубины канавки резьбы на концевой части ниппеля и вблизи него. Дополнительно, наличие зазора предотвращает прямой контакт вершины резьбы профиля внутренней резьбы с участком основания резьбы опорной стороны профиля наружной резьбы на конце профиля резьбы, связанном с концевой частью ниппеля, на которой ширина резьбы является минимальной, тем самым уменьшая прямое повреждение самого слабого участка профиля наружной резьбы.

В некоторых реализациях, могут быть предусмотрены отдельные уплотнения для внешнего давления и уплотнения для внутреннего давления, при этом уплотнение для внутреннего давления может быть расположено дополнительно к концевой части ниппеля, чем находится профиль наружной и внутренней резьбы, а уплотнение для внешнего давления может быть предусмотрено дополнительно к телу трубы, чем находится профиль наружной и внутренней резьбы.

Предпочтительно, радиально внешний конец первой криволинейной поверхности расположен ради-

ально снаружи от радиально внутреннего конца участка третьей криволинейной поверхности, который обращен к первой криволинейной поверхности, и может быть расположен радиально внутрь от радиально внешнего конца участка третьей криволинейной поверхности, который обращен к первой криволинейной поверхности. Это будет сводить к минимуму расстояние между радиально внутренним концом области контакта между опорными сторонами наружной и внутренней резьб и радиально внешним концом первой криволинейной поверхности, тем самым дополнительно улучшая сопротивление крутящему моменту.

Резьбовое соединение для стальной трубы согласно настоящему варианту выполнения теперь будет описано со ссылкой на чертежи. Одинаковые и соответствующие компоненты на различных чертежах обозначены одинаковыми ссылочными символами, и одно и то же описание не будет повторяться.

Ссылаясь к фиг. 1, резьбовое соединение для стальной трубы согласно настоящему варианту выполнения, обозначенное цифрой 1, включает в себя трубчатый ниппель 10 и трубчатую муфту 20. Ниппель 10 образован на конце стальной трубы 2. Муфта 20 образована на конце соединительной муфты 3, в которую ниппель 10 вставляется, так что муфта навинчивается на ниппель 10. Участки стальной трубы 2, отличные от концевого участка трубы, могут называться здесь "телом трубы".

Резьбовое соединение для стальной трубы согласно настоящему варианту выполнения может быть подходящим образом использовано в реализациях, в которых внешний диаметр тела стальной трубы 2 не менее 240 мм, а более предпочтительно, не менее 245 мм, и еще более предпочтительно, не менее 270 мм. Соединение может быть подходящим образом использовано в реализациях, в которых внешний диаметр тела стальной трубы 2 не превышает 400 мм, более предпочтительно, не превышает 350 мм, и еще более предпочтительно не превышает 310 мм. Предпочтительно, чтобы тело стальной трубы 2 имело толщину стенки, по существу, постоянную по всей осевой длине. Дополнительно, предпочтительно, чтобы тело стальной трубы 2 имело внешний диаметр OD и внутренний диаметр ID, каждый из которых является, по существу, постоянным по всей осевой длине. Ниппель расположен на конце тела трубы стальной трубы 2. Фиг. 1 также показывает ось CL трубы стальной трубы 2.

Ниппель 10 включает в себя профиль 11 наружной резьбы, образованный суживающейся резьбой с диаметром, который постепенно уменьшается по мере продвижения к концевой части ниппеля, и кромке 12. Профиль 11 наружной резьбы образован резьбой в виде винтовой линии на внешней периферии ниппеля 10. Профиль 11 наружной резьбы образован клиновидной резьбой с шириной резьбы, которая постепенно уменьшается по мере продвижения к концевой части ниппеля 10. Профиль 11 наружной резьбы имеет форму сечения в виде ласточкиного хвоста, образованного вершиной резьбы и канавкой резьбы. Кромка 12 примыкает к профилю 11 наружной резьбы с безрезьбовым удлинением, расположенным между ними, при этом безрезьбовое удлинение продолжается по направлению к концевой части ниппеля от конца профиля 11 наружной резьбы, связанного с концевой частью ниппеля. Уплотняющая поверхность 13 ниппеля предусмотрена на внешней периферии кромки 12. В показанной реализации, уплотняющая поверхность 13 ниппеля составлена цилиндрической уплотняющей поверхностью, которая имеет дугообразное сечение; альтернативно, уплотняющая поверхность 13 ниппеля может иметь сечение, которое выглядит как прямая линия, или может иметь форму сочетания прямой линии и дуги.

Муфта 20 включает открывающийся конец для приема ниппеля 10. Муфта 20 включает в себя профиль 21 внутренней резьбы, образованный на ее внутренней периферии суживающейся резьбой с диаметром, который постепенно уменьшается по мере продвижения к концевой части муфты, и уплотняющую поверхность 22 муфты. Профиль 21 внутренней резьбы образован резьбой в виде винтовой линии на внутренней периферии муфты 20, чтобы быть дополняющей профилю 11 наружной резьбы. Профиль 21 внутренней резьбы образован клиновидной резьбой с шириной резьбы, которая постепенно увеличивается по мере продвижения от открывающегося конца муфты 20 к ее внутренней части. Профиль 21 внутренней резьбы имеет форму сечения в виде ласточкиного хвоста, образованного его вершиной резьбы и канавкой резьбы. Уплотняющая поверхность 22 муфты образована суживающейся поверхностью, расположенной внутри профиля 21 внутренней резьбы относительно муфты 20. Уплотняющая поверхность муфты 22 может быть образована цилиндрической уплотняющей поверхностью, которая имеет дугообразное сечение, или может иметь форму комбинации прямой линии и дуги, если смотреть в сечении. Между уплотняющими поверхностями 22 и 13 муфты и ниппеля устанавливается заданная величина натяга, и при свинчивании уплотняющие поверхности 13 и 22 находятся в контакте друг с другом по всей окружности без зазора, для образования металлического уплотнения.

Как показано на фиг. 1 и 2, профиль 11 наружной резьбы настоящего варианта выполнения включает в себя участок полнопрофильной резьбы и участок неполной резьбы. Участок полнопрофильной резьбы профиля 11 наружной резьбы представляет собой участок с заданной высотой Th резьбы, в котором резьба образована с заданным шагом LP опорной стороны нагрузки и заданным шагом SP закладной стороны. Высота Th резьбы профиля наружной резьбы показанного варианта выполнения составляет 2,2 мм.

Участок с неполной резьбой профиля 11 наружной резьбы представляет собой участок, на котором заданная высота Th резьбы не предусмотрена из-за того, что воображаемая поверхность сужения, образующая форму сужения суживающейся резьбы, пересекает внешнюю поверхность стальной трубы 2 так, что глубина резания на внешней поверхности стальной трубы 2 является недостаточной. Согласно на-

стоящему варианту выполнения, как участок ниппеля с полнопрофильной резьбой, так и участок ниппеля с неполной резьбой профиля 11 наружной резьбы контактируют с профилем 21 внутренней резьбы как на их опорной, так и на закладной сторонах. В резьбовом соединении 1, показанном на фиг. 1, шаг LP опорной стороны составляет 9,845 мм, шаг SP закладной стороны составляет 9,400 мм, а минимальная ширина резьбы в концевом участке профиля 11 наружной резьбы, связанном с концевой частью ниппеля, измеренная у основания, как определено вдоль направления высоты резьбы, составляет около 2,8 мм.

Аналогичным образом, профиль 21 внутренней резьбы включает в себя участок с полнопрофильной резьбой и участок с неполной резьбой. Участок с полнопрофильной резьбой профиля 21 внутренней резьбы начинается рядом с открывающимся концом муфты 20 и заканчивается рядом со вторым витком профиля 11 наружной резьбы ниппеля 10. Когда ниппель 10 и муфта 20 свинчены, витки участка с неполной резьбой профиля 21 внутренней резьбы входят в зацепление с первым витком 11А профиля 11 наружной резьбы ниппеля 10. Согласно настоящему варианту выполнения, как участок муфты с полнопрофильной резьбой, так и участок муфты с неполной резьбой профиля 21 внутренней резьбы контактируют с профилем 11 наружной резьбы как на их опорной, так и на закладной сторонах. В показанном варианте выполнения, расположенные дополнительно к открывающемуся концу муфты 20, чем находится участок с полнопрофильной резьбой профиля 21 внутренней резьбы, предусмотрены витки 23 и 24, чтобы примыкать к профилю 21 внутренней резьбы и не быть в контакте с профилем 11 наружной резьбы, по меньшей мере, на их опорных сторонах или закладных сторонах; при этом в настоящем варианте выполнения, витки 23 и 24 не включены в профиль 21 внутренней резьбы.

Высота резьбы в участке с полнопрофильной резьбой профиля 11 наружной резьбы является немного больше, чем высота резьбы участка с полнопрофильной резьбой профиля 21 внутренней резьбы. Таким образом, когда соединение свинчено, как показано на фиг. 2, небольшой зазор (например, около 0,1 мм) образован между поверхностью вершины резьбы профиля 11 наружной резьбы и поверхностью канавки/впадины резьбы на профиле 21 внутренней резьбы, тогда как поверхность вершины резьбы профиля 21 внутренней резьбы, и поверхность впадины резьбы профиля 11 наружной резьбы находятся в контакте друг с другом. Область, в которой профили 11 и 21 наружной и внутренней резьбы находятся в зацеплении при свинчивании, т.е. область, в которой опорные стороны профиля 11 наружной резьбы находятся в контакте с опорными сторонами профиля 21 внутренней резьбы, и закладные стороны профиля 11 наружной резьбы находятся в контакте с закладными сторонами профиля 21 внутренней резьбы, предпочтительно имеет осевую длину от 60 мм до 100 мм.

Как показано на фиг. 2, опорная и закладная стороны витков резьбы профилей 11 и 21 наружной и внутренней резьбы имеют отрицательный угол θ зацепления. Углы θ зацепления опорной и закладной сторон могут быть одинаковыми или могут быть заданы разные углы зацепления. В показанной реализации, угол θ зацепления опорной и закладной сторон составляет $-5,0^\circ$. Дополнительно, в показанной реализации, сужение резьбы профилей 11 и 21 наружной и внутренней резьбы составляет 1/16.

Когда ниппель 10 и муфта 20 свинчены, опорная и закладная стороны витков профиля 11 наружной резьбы находятся в контакте с закладной и опорной сторонами резьбы профиля 21 внутренней резьбы, так что ниппель 10 запирается в муфте 20 для обеспечения высокого сопротивления крутящему моменту, в то время как уплотнение 13 ниппеля входит в уплотнение с уплотнением 22 муфты с натягом для обеспечения высокой герметичности.

Как показано на фиг. 2-4, профиль 11 наружной резьбы настоящего варианта выполнения включает первый участок 111 резьбы, имеющий первую криволинейную поверхность 111А с относительно большим радиусом r_1 кривизны, и второй участок 112 резьбы, примыкающий к первому участку 111 резьбы, при этом первый и второй участки резьбы расположены в направлении винтовой линии резьбы. Вторым участком 112 резьбы включает все те участки профиля 11 наружной резьбы кроме первого участка 111 резьбы. Опорная сторона и поверхность канавки/впадины резьбы второго участка 112 резьбы соединены второй криволинейной поверхностью 112А, имеющей радиус r_2 кривизны, меньший, чем первая криволинейная поверхность 111А. В показанной реализации, радиус r_1 кривизны первой криволинейной поверхности 111А составляет 0,4 мм, а радиус r_2 кривизны второй криволинейной поверхности 112А составляет 0,1 мм.

Как показано на фиг. 4, первый участок 111 резьбы покрывает примерно один виток в направлении винтовой линии резьбы, начиная с конца профиля 11 наружной резьбы, связанного с концевой частью ниппеля. Это не меньше, чем $(0,4-0,1)/(9,845-9,400)=0,674$ витка, рассчитанного по приведенному выше выражению (2), и ширине резьбы в концевом участке второго участка 112 резьбы, связанного с концевой частью ниппеля, измеренной у его основания, явно большей, чем ширина резьбы в концевом участке первого участка 111 резьбы, связанного с концевой частью ниппеля, измеренная у его основания.

Дополнительно, в настоящем варианте выполнения, опорная сторона и поверхность вершины резьбы в профиле 21 внутренней резьбы соединены третьей криволинейной поверхностью 21А, имеющей радиус r_3 кривизны, больший, чем радиус r_1 кривизны первой криволинейной поверхности 111А профиля 11 наружной резьбы. В показанной реализации, радиус r_3 кривизны третьей криволинейной поверхности 21А составляет 0,5 мм. В показанной реализации, третья криволинейная поверхность 21А преду-

смотрена вдоль всего профиля 21 внутренней резьбы; альтернативно, третья криволинейная поверхность 21А, имеющая относительно большой радиус r_3 кривизны, может быть предусмотрена только на тех участках профиля внутренней резьбы, которые обращены к первой криволинейной поверхности 111А, когда ниппель 10 и муфта 20 свинчены, и криволинейная поверхность, имеющая радиус кривизны меньше радиуса r_3 кривизны, т.е. от 0,5 до 2,0 мм, может быть предусмотрена между опорной стороной и поверхностью вершины резьбы на других участках профиля 21 внутренней резьбы.

Дополнительно, как показано на фиг. 2 и 3, радиальный зазор предусмотрен между поверхностью вершины резьбы первого витка 211 профиля 21 внутренней резьбы, который находится в контакте с опорной стороной первого участка 111 резьбы на конце профиля 11 наружной резьбы, связанном с концевой частью ниппеля, с одной стороны, и теми участками поверхности канавки/впадины резьбы в профиле 11 наружной резьбы, которые обращены к тем участкам поверхности вершины резьбы, когда соединение свинчено. Размер этого зазора меньше радиуса r_1 кривизны первой криволинейной поверхности 111А и составляет около 0,3 мм в показанной реализации.

Кроме того, радиально внешний конец первой криволинейной поверхности 111А расположен радиально наружу от радиально внутреннего конца третьей криволинейной поверхности 21А и расположен радиально внутрь от радиально внешнего конца третьей криволинейной поверхности 21А.

Фиг. 5 показывает резьбовое соединение для стальной трубы согласно второму варианту выполнения, в котором шаг опорной стороны и закладной стороны несколько меньше, чем у резьбового соединения по первому варианту выполнения, что увеличивает количество появляющихся витков резьбы в продольном сечении. В частности, шаг опорной стороны составляет 8,466 мм, а шаг закладной стороны составляет 8,084 мм. В результате минимальная ширина резьбы в концевом участке профиля 11 наружной резьбы, связанном с концевой частью ниппеля, измеренная у основания резьбы, составляет около 2,1 мм.

Настоящее раскрытие может быть применено не только к резьбовому соединению муфтового типа, но также и к резьбовому соединению интегрального типа. В противном случае, настоящее раскрытие не ограничено иллюстрированными выше вариантами выполнения, и возможны различные модификации без отклонения от духа настоящего раскрытия.

Примеры

Для подтверждения эффектов резьбового соединения для стальной трубы согласно настоящему варианту выполнения, численный имитационный анализ был проведен с использованием упругопластического метода конечных элементов для вычисления его сопротивления срезу и сопротивления крутящему моменту.

Условия испытания.

При анализе методом конечных элементов (т.е. FEM анализе) было создано множество образцов (т.е. моделей анализа) с различными профилями резьбы, и на каждом из образцов был выполнен упругопластический анализ методом конечных элементов, и было проведено сравнение между различными значениями производительности.

Каждый из образцов №1-№4 имел базовую конструкцию, соответствующую конструкции резьбового соединения по первому варианту выполнения, где первая криволинейная поверхность была предусмотрена вдоль всего профиля наружной резьбы. У образца №1, радиус кривизны первой криволинейной поверхности был 0,1 мм; у образца №2-0,2 мм; у образца №3-0,3 мм; а у образца №4-0,4 мм.

Каждый из образцов №5-№8 имел базовую конструкцию, соответствующую конструкции резьбового соединения по второму варианту выполнения, где первая криволинейная поверхность была предусмотрена вдоль всего профиля наружной резьбы. У образца №5 радиус кривизны первой криволинейной поверхности был 0,1 мм; у образца №6-0,2 мм; у образца №7-0,3 мм; а у образца №8- 0,4 мм.

Материалом каждого образца был материал Q125 трубы для нефтяной скважины в соответствии со стандартами API (номинальный предел текучести $YS=862$ МПа (125 тысяч фунтов на кв. дюйм)).

Для обеспечения возможности сравнения с обычными изделиями, были созданы сравнительные модели, каждая из которых имела два радиуса кривизны (т.е. радиус кривизны 0,125 мм и радиус кривизны 0,875 мм) на граничном участке между опорной стороной и поверхностью впадины резьбы в профиле наружной резьбы, и оценивались аналогичным образом.

Сопротивление сдвигу.

Для оценки сопротивления сдвигу, была приложена растягивающая нагрузка 100% от уровня, при котором тело трубы стальной трубы деформируется пластически, и была рассчитана эквивалентная пластическая деформация в точке начала разрушения при сдвиге в профиле наружной резьбы, т.е. положении на первой криволинейной поверхности на участке основания резьбы опорной стороны в концевом участке профиля наружной, связанном с концевой частью ниппеля, и было определено, что чем меньше это значение, тем лучше сопротивление сдвигу. Результаты вычисления показаны на фиг. 6.

Вычисление сопротивления крутящему моменту.

Для оценки сопротивления крутящему моменту, значение, при котором начинается текучесть на диаграмме крутящего момента свинчивания, т.е. максимальное значение крутящего момента ("MTV"), было взято для определения крутящего момента текучести, и было определено, что чем выше это значение, тем лучше сопротивление крутящему моменту. Результаты вычисления показаны на фиг. 7.

Результаты вычисления.

Как показано на фиг. 6, эквивалентные пластические деформации в обычных изделиях с двумя радиусами кривизны были относительно низкими, предположительно потому, что деформации, сконцентрированные на участке с радиусом кривизны 0,125 мм, были смягчены на участке с радиусом кривизны 0,875 мм. Результаты оценки образцов № 1-4 и № 5-8 с первой криволинейной поверхностью являются следующими: по мере увеличения радиуса кривизны, эквивалентная пластическая деформация, возникающая на первой криволинейной поверхности, уменьшается; у образцов №1-№4 при радиусах кривизны более 0,30 мм, эквивалентная пластическая деформация была ниже, чем у обычных изделий; а в образцах с №5 по №8 эквивалентная пластическая деформация была ниже, чем у обычных изделий для радиусов кривизны более 0,35 мм. Поскольку эти образцы имели высоту T_h резьбы, равную 2,2 мм, доступны следующие результаты оценки: эквивалентные пластические деформации в образцах №1-№4 были ниже, чем в обычных изделиях, если радиус r_1 кривизны удовлетворял условию $r_1 \geq T_h \times 0,14$, а эквивалентные пластические деформации в образцах №5-№8 были ниже, чем в обычных изделиях, если радиус r_1 кривизны удовлетворял $r_1 \geq T_h \times 0,16$.

С другой стороны, на сопротивление крутящему моменту почти не повлияли изменения радиуса кривизны первой криволинейной поверхности профиля наружной резьбы, расположенной в основании опорной стороны: образцы №1-№4 имели в целом одинаковые значения, а образцы №5-№8, в целом, имели одинаковое значение. Предполагается, что сопротивление крутящему моменту в образцах №1-№4 было ниже, чем в обычных изделиях, из-за уменьшения площади контакта между опорными сторонами груза, вызванного увеличенным радиусом кривизны верхнего участка опорной стороны профиля внутренней резьбы над обычными изделиями. Напротив, образцы с № 5 по № 8, у которых шаг опорных сторон и шаг закладных сторон были уменьшены для увеличения площади контакта между опорными сторонами, демонстрировали более высокое сопротивление крутящему моменту, чем обычные изделия.

Высказывались опасения, что уменьшение шага опорной стороны и шага закладной стороны может привести к уменьшению ширины резьбы в концевом участке профиля наружной резьбы, связанном с концевой частью ниппеля, и, таким образом, значительному уменьшению сопротивления сдвигу; однако результаты оценки показывают, что, как показано на фиг. 6, из-за увеличения радиуса кривизны, сопротивление сдвигу также было выше, чем в обычных изделиях, что показывает, что настоящее раскрытие обеспечивает резьбовое соединение, которое лучше с точки зрения как сопротивления сдвигу, так и сопротивления крутящему моменту, чем обычные изделия.

Что касается образцов №1-№4, хотя сопротивление крутящему моменту было ниже, чем у обычных изделий, сопротивление сдвигу было лучше, чем у обычных изделий, поскольку радиус кривизны первой криволинейной поверхности был больше 0,3 мм, что предполагает, что эти реализации являются полезными в применениях, которые не требуют высокого сопротивления крутящему моменту, а использование других средств для улучшения сопротивления крутящему моменту может сделать эти реализации применимыми в изделиях, требующих сопротивления крутящему моменту.

Аналогичные оценки были сделаны для образцов с увеличенным радиусом кривизны базового участка опорной стороны только первого витка профиля наружной резьбы, который считается точкой начала разрушения при сдвиге; при этом было обнаружено, что сопротивление крутящему моменту и сопротивление сдвигу практически не зависят от изменения радиуса кривизны только в первом витке резьбы.

Однако, предполагается, что уменьшение радиуса кривизны верхнего участка опорной стороны на участках профиля внутренней резьбы, которые не входят в зацепление с первым витком резьбы профиля наружной резьбы, и, таким образом, увеличение площади контакта между опорными сторонами, может значительно увеличить сопротивление крутящему моменту.

Расшифровка ссылок

- 1: резьбовое соединение для стальной трубы;
- 2: стальная труба;
- 10: ниппель;
- 20: муфта;
- 11: профиль наружной резьбы;
- 111: первый участок резьбы;
- 111А: первая криволинейная поверхность;
- r_1 : радиус кривизны;
- 112: второй участок резьбы;
- 112А: вторая криволинейная поверхность;
- r_2 : радиус кривизны;
- 21: профиль внутренней резьбы;
- 21А: третья криволинейная поверхность;
- r_3 : радиус кривизны.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Резбовое соединение для стальной трубы, содержащее: трубчатый ниппель, предусмотренный на конце стальной трубы; и трубчатую муфту, выполненную с возможностью свинчивания с ниппелем по мере того, как ниппель ввинчивается в нее, при этом ниппель включает профиль наружной резьбы, образованный на внешней периферии ниппеля, муфта включает профиль внутренней резьбы, образованный на внутренней периферии муфты и выполненный с возможностью зацепления профиля наружной резьбы при свинчивании соединения, причем каждый из профиля наружной резьбы и профиля внутренней резьбы включает опорную сторону, закладную сторону, поверхность вершины резьбы и поверхность канавки/впадины резьбы, при этом шаг закладной стороны каждого из профиля наружной резьбы и профиля внутренней резьбы меньше, чем шаг опорной стороны каждого из профиля наружной резьбы и профиля внутренней резьбы, и, когда соединение свинчено, опорная сторона профиля наружной резьбы находится в контакте с опорной стороной профиля внутренней резьбы, а закладная сторона профиля наружной резьбы находится в контакте с закладной стороной профиля внутренней резьбы, и при этом каждая из опорных сторон и закладных сторон профиля наружной резьбы и профиля внутренней резьбы имеет отрицательный угол зацепления,

при этом опорная сторона и поверхность канавки/впадины резьбы в участке профиля наружной резьбы для заданного диапазона в направлении винтовой линии резьбы, начиная с конца профиля наружной резьбы, связанного с концевой частью ниппеля, соединены первой криволинейной поверхностью, имеющей радиус r_1 кривизны, если смотреть в продольном сечении, удовлетворяющий следующему выражению (1):

$$r_1 \geq Th \times 0,14 \dots (1),$$

где Th представляет собой высоту резьбы, измеренную на опорной стороне, в профиле наружной резьбы, если измерять в заданном диапазоне в направлении винтовой линии резьбы, начиная с конца профиля наружной резьбы, связанного с концевой частью ниппеля, и удовлетворяет условию: $1,8 \text{ мм} \leq Th \leq 3,0 \text{ мм}$,

причем профиль наружной резьбы включает в себя первый участок резьбы, имеющий первую криволинейную поверхность, и второй участок резьбы, примыкающий к первому участку резьбы, причем эти участки расположены в направлении винтовой линии резьбы, и при этом опорная сторона и поверхность канавки/впадины резьбы второго участка резьбы соединены второй криволинейной поверхностью, имеющей меньший радиус r_2 кривизны, чем первая криволинейная поверхность,

причем первая криволинейная поверхность предусмотрена вдоль по меньшей мере x витков в направлении винтовой линии резьбы, начиная с конца профиля наружной резьбы, связанного с концевой частью ниппеля, где x удовлетворяет следующему выражению (2):

$$x = (r_1 - r_2) / \Delta p \dots (2),$$

где Δp представляет собой разницу в шаге между шагом опорной стороны и шагом закладной стороны профиля наружной резьбы.

2. Резбовое соединение для стальной трубы по п.1, в котором первая криволинейная поверхность предусмотрена по меньшей мере на $1/2$ витка в направлении винтовой линии резьбы, начиная с конца профиля наружной резьбы, связанного с концевой частью ниппеля.

3. Резбовое соединение для стальной трубы по п.1, в котором первая криволинейная поверхность предусмотрена по всей длине профиля наружной резьбы.

4. Резбовое соединение для стальной трубы по п.1, в котором опорная сторона и поверхность вершины резьбы профиля внутренней резьбы соединены третьей криволинейной поверхностью, которая обращена к первой криволинейной поверхности, когда соединение свинчено, и имеет больший радиус кривизны, чем первая криволинейная поверхность,

при этом предусмотрен радиальный зазор между поверхностью вершины резьбы в участке профиля внутренней резьбы, который находится в контакте с опорной стороной в концевом участке профиля наружной резьбы, связанном с концевой частью ниппеля, когда соединение свинчено, с одной стороны, и поверхностью канавки/впадины резьбы в участке профиля наружной резьбы, который обращен к той поверхности вершины резьбы, и

причем радиально внешний конец первой криволинейной поверхности расположен радиально снаружи от радиально внутреннего конца участка третьей криволинейной поверхности, который обращен к первой криволинейной поверхности, и расположен радиально внутрь от радиально внешнего конца участка третьей криволинейной поверхности, который обращен к первой криволинейной поверхности.

5. Резбовое соединение для стальной трубы по любому из пп.1-4, в котором профили наружной и внутренней резьбы имеют такие профили резьбы, что, когда соединение свинчено, опорная и закладная стороны того участка резьбы профиля наружной резьбы, который покрывает по меньшей мере 8 витков в направлении винтовой линии резьбы, начинающейся с конца профиля наружной резьбы, связанного с концевой частью ниппеля, находятся в контакте с опорной стороной и закладной стороной профиля внутренней резьбы.

6. Резбовое соединение для стальной трубы по п.5, в котором шаг опорной стороны составляет не

более 8,50 мм, шаг закладной стороны составляет не более 8,10 мм, при этом связанная разность шага составляет не менее 0,35 мм и не более 0,45 мм, а минимальная ширина резьбы, измеренная на конце профиля наружной резьбы, связанном с концевой частью ниппеля, и измеренная у основания резьбы, составляет не менее 2,1 мм.

7. Резьбовое соединение для стальной трубы по любому из пп.1-4, в котором стальная труба имеет внешний диаметр больше 240 мм.

8. Резьбовое соединение для стальной трубы, содержащее: трубчатый ниппель, предусмотренный на конце стальной трубы; и трубчатую муфту, выполненную с возможностью свинчивания с ниппелем по мере того, как ниппель ввинчивается в нее, при этом ниппель включает профиль наружной резьбы, образованный на внешней периферии ниппеля, муфта включает профиль внутренней резьбы, образованный на внутренней периферии муфты и выполненный с возможностью зацепления профиля наружной резьбы при свинчивании соединения, причем каждый из профиля наружной резьбы и профиля внутренней резьбы включает опорную сторону, закладную сторону, поверхность вершины резьбы и поверхность канавки/впадины резьбы, при этом шаг закладной стороны каждого из профиля наружной резьбы и профиля внутренней резьбы меньше, чем шаг опорной стороны каждого из профиля наружной резьбы и профиля внутренней резьбы, и, когда соединение свинчено, опорная сторона профиля наружной резьбы находится в контакте с опорной стороной профиля внутренней резьбы, а закладная сторона профиля наружной резьбы находится в контакте с закладной стороной профиля внутренней резьбы, и при этом каждая из опорных сторон и закладных сторон профиля наружной резьбы и профиля внутренней резьбы имеет отрицательный угол зацепления,

при этом опорная сторона и поверхность канавки/впадины резьбы в участке профиля наружной резьбы для заданного диапазона в направлении винтовой линии резьбы, начиная с конца профиля наружной резьбы, связанного с концевой частью ниппеля, соединены первой криволинейной поверхностью, имеющей радиус r_1 кривизны, если смотреть в продольном сечении, удовлетворяющий следующему выражению (1):

$$r_1 \geq Th \times 0,14 \dots (1),$$

где Th представляет собой высоту резьбы, измеренную на опорной стороне, в профиле наружной резьбы, если измерять в заданном диапазоне в направлении винтовой линии резьбы, начиная с конца профиля наружной резьбы, связанного с концевой частью ниппеля, и удовлетворяет условию: $1,8 \text{ мм} \leq Th \leq 3,0 \text{ мм}$,

причем опорная сторона и поверхность вершины резьбы профиля внутренней резьбы соединены третьей криволинейной поверхностью, которая обращена к первой криволинейной поверхности, когда соединение свинчено, и имеет больший радиус кривизны, чем первая криволинейная поверхность,

при этом предусмотрен радиальный зазор между поверхностью вершины резьбы в участке профиля внутренней резьбы, который находится в контакте с опорной стороной в концевом участке профиля наружной резьбы, связанном с концевой частью ниппеля, когда соединение свинчено, с одной стороны, и поверхностью канавки/впадины резьбы в участке профиля наружной резьбы, который обращен к той поверхности вершины резьбы, и

причем радиально внешний конец первой криволинейной поверхности расположен радиально снаружи от радиально внутреннего конца участка третьей криволинейной поверхности, который обращен к первой криволинейной поверхности, и расположен радиально внутрь от радиально внешнего конца участка третьей криволинейной поверхности, который обращен к первой криволинейной поверхности.

9. Резьбовое соединение для стальной трубы по п.8, в котором профиль наружной резьбы включает в себя первый участок резьбы, имеющий первую криволинейную поверхность, и второй участок резьбы, примыкающий к первому участку резьбы, причем эти участки расположены в направлении винтовой линии резьбы, и при этом опорная сторона и поверхность канавки/впадины резьбы второго участка резьбы соединены второй криволинейной поверхностью, имеющей меньший радиус r_2 кривизны, чем первая криволинейная поверхность,

причем первая криволинейная поверхность предусмотрена вдоль по меньшей мере x витков в направлении винтовой линии резьбы, начиная с конца профиля наружной резьбы, связанного с концевой частью ниппеля, где x удовлетворяет следующему выражению (2):

$$x = (r_1 - r_2) / \Delta p \dots (2),$$

где Δp представляет собой разницу в шаге между шагом опорной стороны и шагом закладной стороны профиля наружной резьбы.

10. Резьбовое соединение для стальной трубы по п.8, в котором первая криволинейная поверхность предусмотрена по меньшей мере на 1/2 витка в направлении винтовой линии резьбы, начиная с конца профиля наружной резьбы, связанного с концевой частью ниппеля.

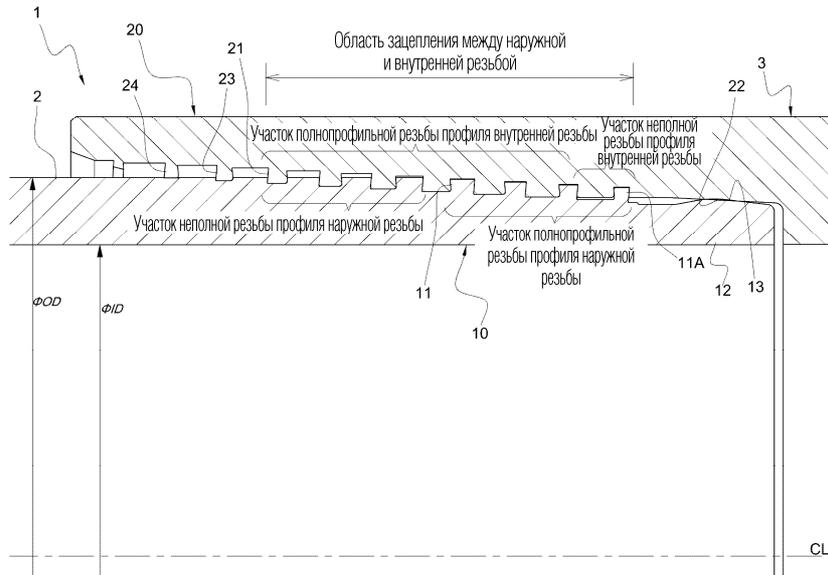
11. Резьбовое соединение для стальной трубы по п.8, в котором первая криволинейная поверхность предусмотрена по всей длине профиля наружной резьбы.

12. Резьбовое соединение для стальной трубы по любому из пп.8-11, в котором профили наружной и внутренней резьбы имеют такие профили резьбы, что, когда соединение свинчено, опорная и закладная

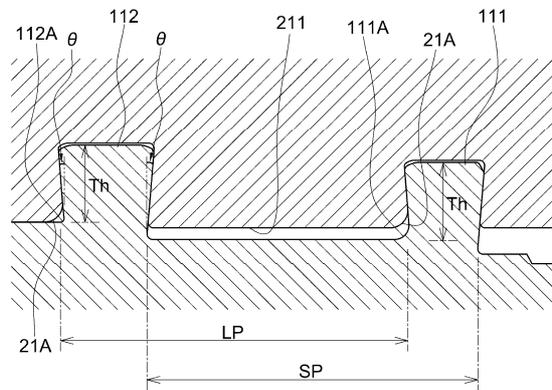
стороны того участка резьбы профиля наружной резьбы, который покрывает по меньшей мере 8 витков в направлении винтовой линии резьбы, начинающейся с конца профиля наружной резьбы, связанного с концевой частью ниппеля, находятся в контакте с опорной стороной и закладной стороной профиля внутренней резьбы.

13. Резьбовое соединение для стальной трубы по п.12, в котором шаг опорной стороны составляет не более 8,50 мм, шаг закладной стороны составляет не более 8,10 мм, при этом связанная разность шага составляет не менее 0,35 мм и не более 0,45 мм, а минимальная ширина резьбы, измеренная на конце профиля наружной резьбы, связанном с концевой частью ниппеля, и измеренная у основания резьбы, составляет не менее 2,1 мм.

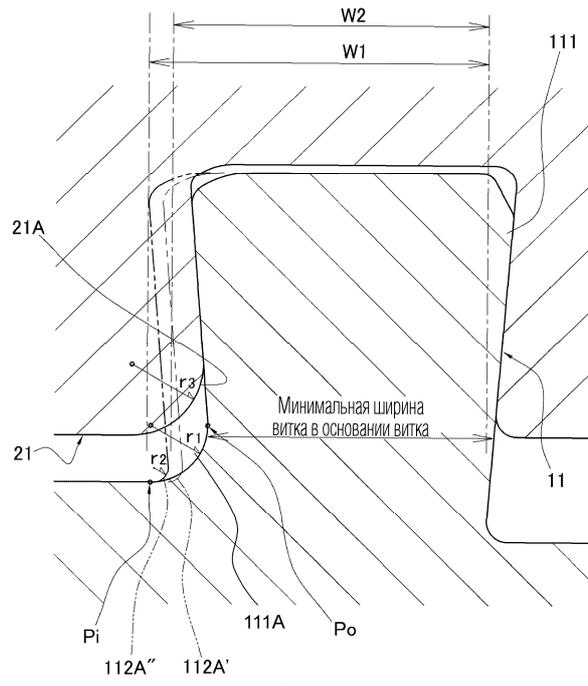
14. Резьбовое соединение для стальной трубы по любому из пп.8-11, в котором стальная труба имеет внешний диаметр больше 240 мм.



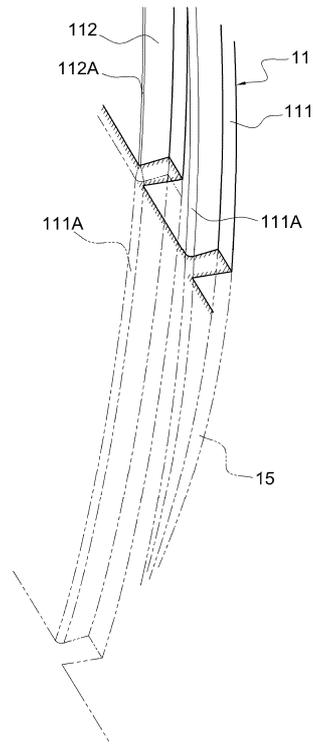
Фиг. 1



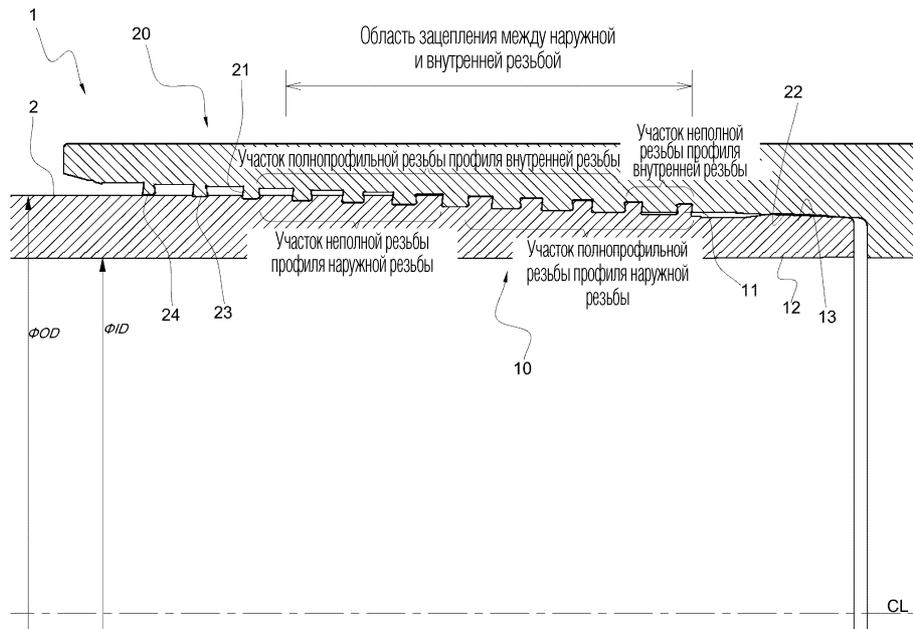
Фиг. 2



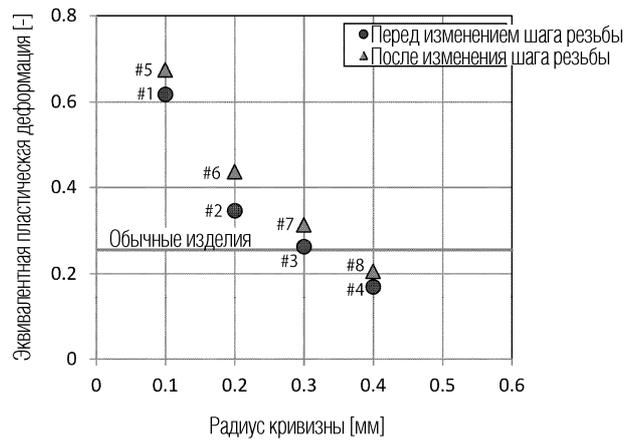
Фиг. 3



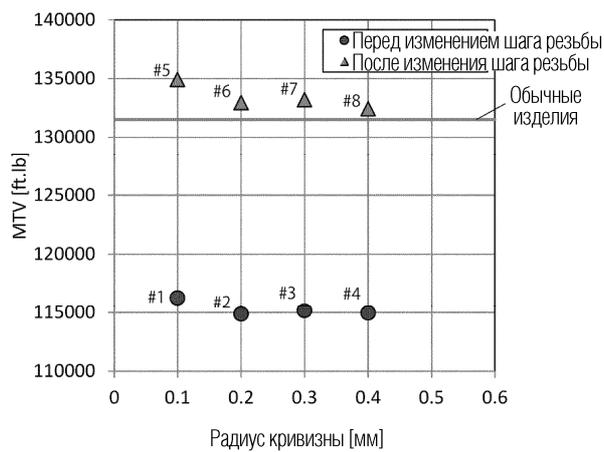
Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7

