

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 202491495 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2024.10.03

(51) Int. Cl. F22B 37/22 (2006.01)
F28F 21/08 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки
2022.12.12

(54) ЗАЩИТА ТРУБНОЙ РЕШЕТКИ В КОТЛЕ-УТИЛИЗАТОРЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ГАЗА

(31) 21216924.7

(32) 2021.12.22

(33) EP

(86) PCT/EP2022/085452

(87) WO 2023/117551 2023.06.29

(71) Заявитель:
ТОПСЁЭ А/С (DK)

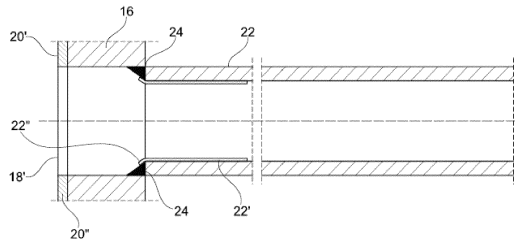
(72) Изобретатель:

Ловатер Лассе Джоэл, Гайд Томсен
Сёрен (DK)

(74) Представитель:

Беляев С.Б. (BY)

(57) Изобретение относится к котлу-утилизатору технологического газа (КУТГ) однопроходного и прямотрубного типа и имеющему тонкие гибкие трубные решётки, снабженные наплавкой или плакировкой, в частности к котлам-утилизаторам технологического газа для утилизации тепла из технологического газа, в которых технологический газ представляет собой синтез-газ, выходящий из установки парового риформинга.



202491495
A1

202491495
A1

Защита трубной решётки в котле-утилизаторе технологического газа

ОБЛАСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Изобретение относится к области котлов-утилизаторов, в частности, к защите трубных решёток в котлах-утилизаторах технологического газа однопроходного и прямотрубного типа и имеющих тонкие гибкие трубные решётки, в частности, в котлам-утилизаторам технологического газа для утилизации тепла из технологического газа, в которых технологический газ представляет собой синтез-газ, выходящий из установки парового риформинга, такой как установка автотермического риформинга.

ИЗВЕСТНЫЙ УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

Котел-утилизатор технологического газа (КУТГ) представляет собой важнейшую часть оборудования, охлаждающую горячий синтез-газ, выходящий из установок риформинга, таких как установка автотермического риформинга (АТР), установка вторичного риформинга, установка парового риформинга метана (ПРМ), включая риформер с электрическим нагревом (э-ПРМ), установка конвекционного риформинга, включающая так называемый НТСР (конвекционный риформер Хальдора Топсёэ) и так называемый НТЕР (установка обменного риформинга Хальдора Топсёэ) или любой другой тип риформинговой установки, обычно используемый для производства синтез-газа для последующих процессов синтеза, таких как синтез метанола, синтез аммиака и производство водорода. Тепло технологического газа, т.е. синтез-газа, выходящего, например, из АТР, используют для выработки высокого давления и высококачественного пара для технологического процесса, а также для привода турбин. Синтез-газ, как хорошо известно в данной области техники, представляет собой горячий газ, например, с температурой 1000 - 1100°C на выходе из АТР, содержащий оксиды углерода и водород, и обычно под давлением в диапазоне 20 - 70 бар.

Котлы-утилизаторы технологического газа (КУТГ), далее для простоты также называемые котлами-утилизаторами, чаще всего изготавливают в виде кожухотрубных теплообменников с тонкими трубными решётками, изготовленными из низколегированной стали. Во многих случаях эти трубные

решётки поддерживаются удерживающим действием труб, и трубные решётки должны быть гибкими, чтобы компенсировать различия в механическом и тепловом расширении труб и кожуха соответственно; поэтому КУТГ обычно называют имеющими тонкие гибкие трубные решётки.

В случае протечки, которая является распространенным механизмом отказа котлов-утилизаторов после многих лет эксплуатации, трубы необходимо заглушить на трубных решётках. Чтобы обеспечить долговременную и надежную закупорку, необходима закупорка с помощью сварки. Из-за присутствия водорода в технологическом газе необходима последующая термообработка после сварки (ТОПС), которая является сложной, дорогостоящей и рискованной с точки зрения общей целостности оборудования, то есть целостности КУТГ. В качестве альтернативы можно выполнить сварку валиком, которая не потребует термообработки после сварки, но этот метод сложен в освоении, а результат не всегда предсказуем и надежен.

Таким образом, традиционно этот подход включает в себя следующее:

- обеспечение ТОПС всего котла-утилизатора. Однако, как уже упоминалось выше, это сложно, дорого и рискованно с точки зрения общей целостности оборудования;

- обеспечение механической закупорки, такой как так называемая «самоуплотняющаяся заглушка», третьей стороной, т.е. внешним поставщиком. Однако этот вариант пригоден только в том случае, если утечка произошла в трубе. Это решение является сложным или его практически невозможно применить, если разрушение произошло в месте сварного шва труб с трубной решёткой;

- допуск высокой твердости сварного шва заглушки, что, таким образом, предполагает меньшую пластичность и, следовательно, более высокий риск возникновения водородных трещин в сварном шве труб с трубной решёткой и, следовательно, повышенную склонность к последующим утечкам в указанном сварном шве.

Кроме того, гибкая тонкая трубная решётка в КУТГ обычно имеет огнеупорную футеровку с горячей стороны. Эта огнеупорная футеровка может расколоться или отслоиться после длительной эксплуатации и после такого отделения может подвергнуть трубную решётку непосредственному воздействию технологического газа, что приведет к очень быстрому разрушению трубной

решётки из-за коррозии в результате металлического запыливания. Металлическое запыливание хорошо известно в данной области техники и представляет собой катастрофическую форму коррозии, которая возникает на металлических материалах, подвергающихся воздействию газов с высокой активностью углерода. Такое отслоение огнеупора может остаться незамеченным и, таким образом, привести к потере целостности оборудования без какого-либо предупреждения.

US 2013199462 A1 раскрывает ремонтные втулки для нагревательных труб парогенератора и способ ремонта нагревательных труб парогенератора, в частности, парогенераторов, используемых на атомных электростанциях. Вместо этого ремонтные втулки используют для ремонта поврежденных сварных швов, например, при установке приварных заглушек или так называемой повторной сварке. В этом документе описана установка ремонтной втулки на соответствующий поврежденный конец трубы. Таким образом, нижнюю кромку ремонтной втулки приваривают к облицовке трубной пластины. Кроме того, хорошо известно и подразумевается, что этот тип котлов для использования на атомных электростанциях снабжен толстыми трубными решётками, т.е. толстыми трубными решётками и нагревательными трубами, выходящими из трубной решётки, как показано на Фиг. 1 настоящего документа.

EP 3355022 A1 раскрывает котел-утилизатор (КУ) с контуром синтез-газа, предпочтительно U-образного типа, т.е. содержащий U-образные трубы, при этом КУ в данном случае представляет собой оборудование, работающее под давлением, обычно для работы при давлении выше 100 бар, установленное на установке по производству аммиака непосредственно по ходу процесса после конвертера аммиака (реактор синтеза аммиака). Котел-утилизатор содержит трубные решётки, защищенные от специфического явления коррозии, называемого азотированием. Трубные решётки имеют толщину (до 500 мм) и защищены внутренними защитными рукавами, приваренными с обоих концов к соответствующим наплавкам, с возможностью снятия и установки без проведения послесварочной термообработки. Следует понимать, что КУ с U-образными трубами косвенным образом указывает на то, что КУ содержит толстую трубную решётку, поскольку трубная решётка может поддерживать себя самостоятельно. Это контрастирует с тонкими гибкими трубными решётками, которые не могут поддерживать себя и,

следовательно, не подходят для использования в котлах-утилизаторах, содержащих U-образные трубы.

КРАТКОЕ ИЗЛОЖЕНИЕ СУЩНОСТИ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Основная цель настоящего изобретения состоит в том, чтобы увеличить срок службы КУТГ с помощью тонких гибких трубных решёток типа однопроходного прямотрубного типа.

Более конкретно, целью настоящего изобретения является обеспечение уже на этапе изготовления такого КУТГ защиты тонкой гибкой трубной решётки, которая позволяет легко выполнить закупорку сваркой без последующей ТОПС.

Другой целью настоящего изобретения является предоставление простого способа защиты КУТГ с тонкими гибкими трубными решётками однопроходного прямотрубного типа от металлического запыливания трубной решётки в случае выхода из строя огнеупорной футеровки.

Эти и другие задачи решаются настоящим изобретением.

Соответственно, в первом аспекте изобретение представляет собой котел-утилизатор технологического газа (КУТГ), содержащий:

кожух, внутри которого расположено множество прямых труб, при этом каждая из прямых труб соединена на своем одном конце со входной трубной решёткой и с выпускной трубной решёткой на противоположном конце; в котором входная трубная решётка и выпускная трубная решётка снабжены множеством отверстий, выполненных с возможностью взаимодействия с каждой из указанных прямых труб для соответствующего приема и выхода технологического газа, такого как синтез-газ,

причем каждое из отверстий во входной трубной решётке образует впускное отверстие, и каждое из отверстий в выпускной трубной решётке образует выпускное отверстие,

причем, по меньшей мере, впускная и выпускная трубные решётки снабжены наплавкой или плакировкой, по меньшей мере, на указанных впускном и выпускном отверстиях каждого из отверстий,

и причем входная и выпускная трубные решётки представляют собой тонкие гибкие трубные решётки, изготовленные из низколегированной стали и имеющие толщину 20 - 70 мм, включая указанные наплавку или плакировку.

Таким образом, возможно закупоривание с помощью легко выполняемой сварки, которая не требует послесварочной термообработки. В случае утечки или неисправности механизма КУТГ после нескольких лет эксплуатации теперь можно заглушить одну или более прямых труб, далее также называемых «трубами», не прибегая к термообработке после сварки, тем самым обеспечивая значительное преимущество для владельца оборудования или оператора завода с точки зрения сокращения простоев, затрат и рисков. Таким образом, трубы можно закупоривать посредством сварки за счет несложной, т.е. простой процедуры сварки.

В одном варианте осуществления указанная толщина, включая указанную наплавку или плакировку, составляет 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60 или 65 мм. В частном варианте осуществления указанная толщина составляет 25 - 35 мм, например, 35 мм.

В данной области техники хорошо известно, что термин «тонкая гибкая трубная решётка» означает трубную решётку, которая не может поддерживать себя самостоятельно. Например, тонкая гибкая трубная решётка представляет собой неподвижную поверхность, как описано в Разделе VIII, Подразделе 2 Кода ASME – Раздел 4,9.

В данной области техники хорошо известно и в контексте настоящей заявки, термин «наплавка» означает процессы сварки, позволяющие наносить один или более слоев металла с конкретными характеристиками на основной металл для улучшения желательных свойств, которые не присущи основному металлу или для восстановления исходного размера детали. Обычно на основной металл, который также часто называют основным компонентом, наносят износостойкий материал.

В данной области техники хорошо известно и в контексте настоящей заявки, термин «плакировка» означает соединение разнородных металлов друг с другом. Плакировка включает плакирование взрывом, которое также является хорошо известным процессом, а точнее, процессом сварки в твердом состоянии, в котором используют прецизионные взрывы для соединения двух разнородных металлов, сохраняя при этом механические, электрические и коррозионные свойства обоих.

В одном из вариантов осуществления наплавка или плакировка имеет толщину 4 - 10 мм.

В одном из вариантов осуществления тонкая гибкая трубная решётка имеет толщину 15 - 65 мм, например, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60 мм.

Например, тонкий гибкий лист имеет толщину 30 - 45 мм, а накладка или плакировка имеет толщину 4 - 10 мм, например 5, 6, 7, 8, 9 мм. Например, тонкий гибкий лист имеет толщину 30 мм, а накладка или плакировка имеет толщину 5 мм, обеспечивая, таким образом, указанную толщину в 35 мм, включая наплавку или плакировку.

Хотя известна наплавка на толстые трубные решётки, например, в котлах-утилизаторах с U-образной трубой, нанесение наплавки на тонкую гибкую трубную решётку вообще не рассматривалось из-за немедленного и сопутствующего отрицательного воздействия, по меньшей мере, на жесткость, то есть на структурную целостность КУТГ: в толстых трубных решётках, например, толщиной 100 - 500 мм или чаще всего толщиной 300 - 700 мм, например, толщиной 400, 500, 600 мм, нанесенный на них наплавленный слой может составлять только 3 - 4% или меньше от толщины трубной решётки, тогда как в тонких гибких трубных решётках КУТГ согласно настоящему изобретению наплавка составляет значительную часть толщины трубной решётки. Например, при толщине наплавки 6 - 10 мм и толщине трубной решётки 35 мм наплавка составляет около 15 - 20 % (например, $6/(35+6)*100 \sim 15 \%$) от толщины. Для толстых трубных решёток небольшая толщина наплавленного слоя по сравнению с трубной решёткой не учитывается при анализе структурной целостности трубной решётки. Однако для тонкой гибкой трубной решётки это невозможно, так как толщина наплавленного слоя составляет значительную часть от общей толщины трубной решётки. Как следствие, нанесение сварного шва или плакирования на трубную решётку по своей сути снижает гибкость трубной решётки, что вынуждает применять нетривиальные соображения и методы анализа, чтобы гарантировать, что КУТГ будет одобрен в соответствии с международными нормами. Большая толщина трубной решётки сведет к минимуму влияние наплавки или оболочки на общую жесткость трубной решётки, как и в случае с U-образной конфигурацией труб, но в данном случае это нежелательно, так как температура трубной решётки увеличится, так же как увеличивается и риск металлического запыливания при приближении к пределу температуры металла (см. также ниже). Кроме того, толстые трубные решётки

приводят к слишком высоким напряжениям в трубных решётках и/или слишком высоким напряжениям в соединениях труб с трубными решётками.

Следует понимать, что толщина трубной решётки представляет собой толщину, измеренную в перфорированной части трубной решётки, т.е. части трубной решётки (входной трубной решётки или выпускной трубной решётки), которая снабжена указанными отверстиями, образующими входное и выпускное отверстия во входной и выпускной трубных решётках соответственно. Например, на прилагаемой Фиг. 2 толщина измерена на участке металлического листа 16, имеющем впускные отверстия 18, 18' и соответствующую наплавку 20', 20". Это соответствует участку трубной решётки, имеющему наименьшую толщину.

Также следует понимать, что в признаке «входная и выпускная трубные решётки снабжены наплавкой или плакировкой, по меньшей мере, на упомянутых входном и выпускном отверстиях каждого из отверстий», термин «по меньшей мере» означает, что наплавка сварного шва или плакировка может простираться от впускного отверстия вдоль поверхности входной или выпускной трубных решёток. Например, как наплавка 20 на прилагаемой Фиг. 2.

Как упоминалось ранее, гибкая тонкая трубная решётка в КУТГ обычно имеет огнеупорную футеровку с горячей стороны. Эта огнеупорная футеровка может расколоться или отслоиться после длительной эксплуатации и после такого отделения может подвергнуть трубную решётку непосредственному воздействию технологического газа, что приведет к очень быстрому разрушению трубной решётки из-за коррозии в результате металлического запыливания. Такое отслоение огнеупора может остаться незамеченным и, таким образом, привести к потере целостности оборудования без какого-либо предупреждения.

В частности, КУТГ может подвергнуться катастрофическому воздействию металлического запыливания, если температура металла превышает 400 - 450°C в зависимости от состава газа. Трубные решётки КУТГ обычно защищены огнеупорными слоями, чтобы поддерживать температуру на приемлемом уровне; однако, если огнеупорный материал со временем повредится, температура может повыситься и вызвать коррозию металла из-за металлического запыливания, что в конечном итоге приведет к дорогостоящей замене КУТГ и к значительному простоя для клиента.

Соответственно, в варианте осуществления согласно первому аспекту изобретения наплавка или плакировка имеет толщину 4 - 10 мм из устойчивого к металлическому запыливанию материала, выбранного из следующих сплавов: сплав 601, сплав 690, сплав 602СА, сплав 625, сплав 693 or сплав 699 ХА.

В контексте настоящего документа, сплав 601 представляет собой материал, имеющий следующий состав в мас. %: Ni 58 - 63%, Cr 21 - 25%, Al 1 - 1,7%, Mn 1% макс.

В контексте настоящего документа, сплав 690 представляет собой материал, имеющий следующий состав в мас. %: Ni \geq 58, Cr 27 - 31, Fe 7 - 11, Cu 0,5 C 0,05, Si 0,5, Mn 0,5, S 0,015.

В контексте настоящего документа, сплав 602СА представляет собой материал, имеющий следующий состав в мас. %: Cr 26,0, Ni (баланс), C 0,25, Al 2,40, Ti 0,20, Y 0,12, Zr 0,10, Mn 0,15, Si 0,50, Cu 0,10, Fe 11,00, при этом все мас. % имеют максимальные значения.

В контексте настоящего документа, сплав 625 представляет собой материал, имеющий следующий состав в мас. %: Cr 20,0 - 23,0, Ni мин 58,0, C 0,10, Al 0,40, Ti 0,40, Mn 0,50, Si 0,50, Fe 5,0, P 0,015, S 0,015, Nb+Ta 3,15 - 4,15, Mo 8,0 - 10,0 при этом все мас. % имеют максимальные значения.

В контексте настоящего документа, сплав 693 представляет собой материал, имеющий следующий состав в мас. %: Ni (баланс), Cr 27,0 - 31,0, Fe 2,5 - 6,0, Al 2,5 - 4,0, Nb 0,5 - 2,5, Mn 1,0, Ti 1,0, Cu 0,5, Si 0,5, C 0,15, S 0,01.

В контексте настоящего документа, сплав 699 ХА представляет собой материал, имеющий следующий состав в мас. %: Ni (баланс), Cr 26,0-30,0, Fe 2,5, Al 1,9-3,0, Nb 0,5, Mn 0,5, Ti 0,6, Cu 0,5, Si 0,5, C 0,1, S 0,01 Zr 0,1, N 0,05, P 0,02, B 0,008.

Таким образом, на тонкую гибкую трубную решётку наносят наплавку или плакировку, состоящую из материала с высоким содержанием никеля, например, сплава 601, сплава 690 или сплава 602СА, которые являются материалами, устойчивыми к металлическому запыливанию, посредством наплавки или плакировки на гибкой трубной решётке, в результате чего помимо возможности легко выполнить закупорку сваркой без последующей термообработки, трубные решётки в то же время обладают способностью противостоять неблагоприятным

последствиям отслаивания или отслоения огнеупора и прямого воздействия технологического газа. Таким образом, обеспечивается дополнительная защита трубных решёток от такой радикальной формы коррозии, как металлическое запыливание, при одновременном сохранении требуемой безопасности и структурной целостности КУТГ, а также обеспечении потока синтез-газа вдоль поверхности трубной решётки.

В другом варианте согласно первому аспекту изобретения КУТГ также снабжен сваркой труб с трубной решёткой. При этом концы каждой прямой трубы привариваются к каждой трубной решётке. В частном варианте осуществления входная часть трубы приварена к стороне кожуха входной трубной решётки, обеспечивая таким образом пространство для размещения элемента теплозащиты, такого как керамическая вставка трубной решётки, и сварного шва труб с трубной решёткой. Таким образом, сварной шов труб с трубной решёткой находится в положении, где он наиболее хорошо охлаждается кипящей водой со стороны корпуса. Например, температура технологического газа, проходящего в трубе, составляет около 1000°C , а температура кипящей воды – около 300°C . Следует понимать, что это находится во входной части трубы. Кроме того, такая конфигурация позволяет избежать любых зазоров, которые могут привести к нежелательной коррозии, такой как щелевая коррозия во входной трубной решётке. Противоположный конец трубы приваривается к выпускной трубной решётке ближе к стороне технологического газа в случае, если не требуется тепловая защита выпускной трубной решётки из-за более низкой температуры технологического газа на этом конце трубы; как, например, показано на Фиг. 3 - 5.

В контексте настоящей заявки в отношении любого из вариантов осуществления изобретения термин «подходящим образом» означает «при необходимости», т.е. необязательный вариант осуществления.

В одном варианте осуществления каждая прямая труба снабжена внутренним вкладышем, таким как внутренняя защитная втулка, которая расположена вдоль внутренней поверхности каждой прямой трубы и проходит в направлении указанной входной или выпускной трубных решёток на расстоянии от указанных впускного или выпускного отверстий, таким образом, что конец внутреннего вкладыша проходит соответственно к указанному одному концу или к указанному противоположному концу прямой трубы. При необходимости,

вкладыш дополнительно выдвигается и контактирует со сварным швом труб с трубной решёткой. Например, конец внутренней облицовки выполнен на расстоянии от впускного отверстия, соответствующем толщине входной трубной решётки, включая указанную наплавку или плакировку, как показано на прилагаемой Фиг. 3. Следовательно, конец внутренней облицовки не приварен к указанной соответствующей наплавке или плакировке, предусмотренной во входной и выпускной трубных решётках. В частном варианте осуществления указанный внутренний вкладыш механически соединен с указанной внутренней поверхностью каждой прямой трубы и, таким образом, с внутренней частью трубы, т.е. посредством механически устанавливаемого контакта, например, путем расширения под действием гидравлического давления и/или путем прокатки. Это обеспечивает более простую замену указанного внутреннего вкладыша, поскольку сварка не требуется.

Таким образом, возможно более простое обеспечение внутренних вкладышей по сравнению, например, с вышеуказанной заявкой EP 3355022 A1, в которой внутренние защитные втулки приварены с обоих концов к соответствующим сварным накладкам. Следовательно, в настоящем изобретении в каждой прямой трубе отсутствует внутренняя защитная втулка, расположенная вдоль внутренней поверхности каждой прямой трубы, и концы указанной втулки приварены к соответствующим наплавкам. Кроме того, в указанной заявке EP 3355022 A1 предусмотрена защита (защитная втулка) для предотвращения коррозии путем азотирования трубной решётки и сварного шва между трубными решётками, тогда как в настоящем изобретении внутренний вкладыш предусмотрен для защиты самой трубы, а не трубной решётки от металлического запыливания. Следует понимать, что EP 3355022 A1 относится к котлу-утилизатору контура синтеза аммиака, причем котел-утилизатор содержит толстые трубные решётки. Этот котел расположен по ходу процесса после конвертера аммиака контура синтеза аммиака. В настоящем изобретении на тонкой гибкой трубной решётке переднего котла-утилизатора технологического газа предусмотрена наплавка или плакировка, то есть по ходу процесса перед, например, конвертером аммиака. Соответственно, внутренние облицовки типа защитных втулок в котлах двух типов используются совершенно для разных целей.

В одном из вариантов осуществления КУТГ расположен горизонтально, как, например, показано на прилагаемой Фиг. 1.

В одном из вариантов осуществления указанное множество прямых труб расположено в одном или более отсеках, которые тем самым образуют множество входных и выпускных трубных решёток, как, например, также показано на прилагаемой Фиг. 1. Два отсека позволяют использовать трубы меньшего размера в последующих отсеках, тем самым увеличивая среднюю скорость теплопередачи котла. Это уменьшает общую требуемую площадь теплопередачи.

Во втором аспекте изобретение относится к способу сварки прямых труб с входной и выпускной трубными решётками КУТГ по первому аспекту изобретения, в котором способ включает, предпочтительно в следующем порядке:

- i) обеспечение наплавки или плакировки, такой как взрывная плакировка, по меньшей мере, на входной и выпускной трубных решётках КУТГ;
- ii) выполнение множества отверстий во входной трубной решётке и выпускной трубной решётке;
- iii) введение множества прямых труб в отверстия для соединения каждой из прямых труб на одном конце со входной трубной решёткой и на противоположном конце с выпускной трубной решёткой; и
- iv) обеспечение сварки труб на одном конце прямой трубы с входной трубной решёткой и на противоположном конце прямой трубы с выпускной трубной решёткой.

В одном из вариантов осуществления согласно второму аспекту изобретения этап i) выполняют перед этапом ii), т.е. перед, например, сверлением отверстий в трубных решётках, тем самым избегая чрезмерной деформации трубных решёток из-за наложения наплавки или применения плакировки.

В одном из вариантов осуществления согласно второму аспекту изобретения плакировку посредством наплавки выполняют, по меньшей мере, два раза, например 3, 4, 5 или 6 раз, соответственно, в соответствии с заранее определенной последовательностью.

В одном из вариантов осуществления согласно второму аспекту изобретения сварку труб с трубной решёткой выполняют в виде многопроходных

прочных сварных швов, при необходимости, с шахматными проходами, предпочтительно в виде полностью автоматических многопроходных прочностных сварных швов с шахматными проходами для входной и выпускной трубных решёток. Это обеспечивает пространство для установки соответствующей тепловой защиты трубной решётки посредством установки изолирующих материалов, таких как керамическая вставка, как описано ранее, а также гарантирует отсутствие образования зазоров между трубами и трубными решётками даже после длительного времени эксплуатации, за счет чего к минимуму сводятся риски, например, щелевой коррозии. Сварку труб с трубной решёткой выполняют, например, газовой вольфрамовой дуговой сваркой (ГВДС) или другими традиционными методами.

В одном из вариантов осуществления согласно второму аспекту изобретения гибкие трубные решётки проверяются посредством анализа методом конечных элементов в соответствии с разделом VIII ASME, подраздел 2.

На этапе проектирования КУТГ с тонкой гибкой трубной решёткой анализируется методом конечных элементов (МКЭ) с целью утверждения в соответствии с международными нормами для сосудов под давлением, например, нормами ASME для сосудов под давлением. Трубная решётка должна выдерживать смещения порядка 1 - 5 мм, не подвергаясь чрезмерным нагрузкам и не оказывая неприемлемых напряжений на соседние компоненты, такие как трубы и соединение трубной решётки с кожухом. Как уже упоминалось ранее, нанесение наплавки или плакировки на трубную решётку толщиной, близкой или примерно того же порядка, что и трубная решётка, как в настоящем изобретении, по своей сути превращает трубную решётку из «неметаллической» пластины в биметаллическую, поэтому для последней необходимо применять нетривиальные соображения и методы анализа, чтобы гарантировать, что КУТГ будет одобрен в соответствии с международными нормами. Такие методы включают разделение напряжений в наплавке от напряжений в основном материале и выполнение индивидуальной оценки этих двух слоев. Такая оценка может быть выполнена только посредством анализа методом конечных элементов и обычно представляет собой существенное препятствие для использования наплавки или плакировки на тонких гибких трубных решётках.

В варианте осуществления согласно второму аспекту изобретения способ осуществляют на этапе изготовления КУТГ, т.е. за пределами места, где КУТГ будет установлен для работы.

Таким образом, реализацию изобретения осуществляют во время изготовления нового КУТГ, так что уже на начальном этапе можно обеспечить котел (КУТГ), обладающий устойчивостью к потенциальным необнаруженным внутренним разрушениям огнеупоров, а также гарантирующий, что после многолетней службы можно произвести закупорку труб несложным и целесообразным образом. По сути, это означает, что значительно увеличивается типичный ожидаемый срок службы КУТГ.

В третьем аспекте изобретение представляет собой способ защиты КУТГ согласно первому аспекту изобретения, в частности, его входных и выпускных трубных решёток; при этом способ включает: после длительной эксплуатации, т.е., по меньшей мере, через один год эксплуатации, например, после 5 или 10 лет эксплуатации, закупорку, по меньшей мере, одной из указанных прямых труб путем приваривания к указанной наплавке или плакировке.

Согласно третьему аспекту изобретения способ не включает последующую термообработку после сварки (ТОПС).

Благодаря этому возможна закупорка труб сваркой с помощью несложных сварочных процедур. Избегается механическое закупоривание с помощью раствора, поставляемого третьей стороной, например, «самоуплотняющаяся заглушка», которое допустимо только в случае утечки в трубе. Это механическое решение для закупоривания (самоуплотняющаяся заглушка) сложно или невозможно реализовать, если повреждение находится, например, в месте сварного шва труб с трубной решёткой.

Следует понимать, что термин «закупорка», при использовании по тексту настоящего документа, означает блокирование отверстия трубы заглушкой для предотвращения потока через трубу. Заглушка должна выдерживать давление только со стороны корпуса. Такая заглушка должна быть установлена во входной трубной решётке и в соответствующем отверстии в выпускной трубной решётке, как показано, например, на прилагаемой Фиг. 5.

В четвертом аспекте изобретение представляет собой способ охлаждения технологического газа, выходящего из установки риформинга, при этом указанная установка риформинга представляет собой любую из: установки автотермического риформинга (АТР), установки вторичного риформинга, установки парового риформинга метана (ПРМ), включая э-ПРМ, или установки конвекционного риформинга; при этом указанный технологический газ представляет собой синтез-газ, содержащий оксиды углерода и водород, причем способ включает охлаждение синтез-газа путем пропускания его через котел-утилизатор технологического газа (КУТГ) согласно первому аспекту изобретения.

Синтез-газ проходит по трубам КУТГ, в то время как питательная вода котла (ПВК) проходит через корпус, производя таким образом пар, в то время как синтез-газ охлаждают и подают в расположенные далее по ходу процесса технологические блоки. Например, синтез-газ выходит из АТР при температуре 1000 - 1100°C и давлении в диапазоне 20 - 70 бар.

Любой из вариантов осуществления и связанные с ним преимущества первого аспекта изобретения могут использоваться вместе с любым из вариантов осуществления согласно второму, третьему или четвертому аспектам изобретения.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

На Фиг. 1 изображен котел-утилизатор технологического газа прямотрубного типа, расположенный горизонтально и имеющий входную и выпускную трубные решетки в нескольких отсеках. Сечение А-А' показано в правой части Фигуры.

На Фиг. 2 показан вид наплавки или плакировки, нанесенной на входную трубную решетку котла-утилизатора технологического газа, показанного на Фиг. 1.

На Фиг. 3 показан крупный план наплавки или плакировки на входном отверстии прямой трубы во входной трубной решетке, показанной на Фиг. 2.

На Фиг. 4 показан крупный план наплавки или плакировки на выпускном отверстии прямой трубы в выпускной трубной решетке, показанной на Фиг. 1.

На Фиг. 5 показан крупный план закупорки наплавки или плакировки во входной и выпускной трубных решетках, показанной на Фиг. 3 и 4.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ

На Фиг. 1 показан КУТГ 10 однопроходного и прямотрубного типа, имеющий горизонтально расположенные тонкие гибкие трубные решётки. Множество прямых труб расположено в одном или нескольких отсеках (10', 10"), которые тем самым образуют множество впускных и выпускных трубных решёток, как, например, также показано на Фигуре. Внутри кожуха 12 расположено множество прямых труб 14, как также показано в поперечном сечении А-А' на правой стороне КУТГ - хотя на нем это и не видно, все же понятно, что имеется множество труб 14, соответствующих сечению А-А' -.

На Фиг. 2 показано поперечное сечение входной трубной решётки 16 КУТГ 10, которая представляет собой тонкую гибкую трубную решётку толщиной, например, 35 мм и снабжена множеством отверстий, каждое из которых образует впускное отверстие 18, 18'. Входная трубная решётка 16 снабжена наплавкой или плакировкой 20, 20', 20", например, толщиной 6 мм, по меньшей мере, на входных отверстиях 18, 18'. Наплавка или плакировка 20 проходит от впускного отверстия вдоль поверхности входной трубной решётки 16.

На Фиг. 3 крупным планом показан наплавка или плакировка на впускном отверстии 18' входной трубной решётки 16 по Фиг. 2. Как проиллюстрировано, одна из множества прямых труб 14, изображенных здесь как прямая труба 22, представляет собой соединение на одном конце со входной трубной решёткой 16 посредством сварки труб с трубной решёткой 24, а также на входной трубной решётке 16 у впускного отверстия 18' предусмотрена наплавка или плакировка 20', 20", как показано на Фигуре. Труба 22 оснащена внутренним вкладышем 22', таким как внутренняя защитная втулка, которая расположена вдоль внутренней поверхности трубы и проходит по направлению к входной трубной решётке 16 на расстоянии от упомянутого впускного отверстия 18', таким образом, что конец 22" внутреннего вкладыша 22' доходит до одного конца прямой трубы 22. Например, конец внутреннего вкладыша 22' расположен на расстоянии от впускного отверстия 18', соответствующем толщине входной трубной решётки 16, включая наплавку или плакировку 20', 20". Вкладыш 22' далее проходит и контактирует с трубой и сварным швом 24 трубной решётки. Соответственно, конец внутреннего вкладыша не приварен к указанной соответствующей наплавке или плакировке 20', 20" сварного шва. Вместо того, чтобы привариваться к наплавке или плакировке,

внутренний вкладыш 22' механически соединяется с указанной внутренней поверхностью каждой прямой трубы 22, например, путем расширения за счет гидравлического давления и/или путем прокатки. Входная часть трубы соответствующим образом приварена 24 к кожуховой части входной трубной решётки в точке соединения, как показано здесь, тем самым обеспечивая пространство для размещения элемента теплозащиты, такого как керамическая вставка трубной решётки и сварка труб с трубной решёткой. Таким образом, сварной шов 24 труб с трубной решёткой находится в положении, где он больше всего охлаждается кипящей водой со стороны кожуха и циркулирует при температуре около 300°C (технологический газ, проходящий внутри трубы 22, имеет температуру, например, около 1000°C, поскольку он получает горячий синтез-газ из предшествующей установки риформинга).

На Фиг. 4 крупным планом показана наплавка или плакировка на выпускной трубной решётке 30 КУТГ, при этом трубная решётка также представляет собой тонкую гибкую трубную решётку толщиной, например, 35 мм и снабжена множеством отверстий, каждое из которых образует впускное отверстие, здесь проиллюстрированное как одно впускное отверстие 26. Прямая труба 22 соединена на этом противоположном конце с выпускной трубной решёткой 30 посредством сварки труб с трубной решёткой 24' и, кроме того, наплавкой или плакировкой 28, например, наплавкой толщиной 6 мм, которая предусмотрена на выпускной трубной решётке 30 у впускного отверстия 26, как показано на Фигуре.

На Фиг. 5 показана прямая труба 22 как с входной 16, так и с выпускной 30 трубными решётками, как уже описано в связи с Фиг. 3 и 4. В случае утечки в КУТГ 10 после нескольких лет эксплуатации трубы закрывают заглушками 32, 32' на трубных решётках 16, 30. Чтобы обеспечить долговременную и надежную закупорку, необходима закупорка с помощью сварки. Закупоривание осуществляют путем приваривания к наплавке или плакировке 20', 20" входной трубной решётки 16 и/или к наплавке или плакировке 28 выпускной трубной решётки 30, как показано соответствующими черными областями в точке контакта, например, закупорки 32' и наплавки или плакировки 28, что позволяет избежать термообработки после сварки (ТОПС) или использования механического закупоривания, такого как так называемая самоуплотняющаяся заглушка.

Формула изобретения

1. Котел-утилизатор технологического газа (КУТГ) (10), содержащий:
кожух (12), внутри которого расположено множество прямых труб (14, 22), при этом каждая из прямых труб (22) соединена на своем одном конце со входной трубной решёткой (16) и с выпускной трубной решёткой (30) на противоположном конце; в котором входная трубная решётка (16) и выпускная трубная решётка (30) снабжены множеством отверстий, выполненных с возможностью взаимодействия с каждой из указанных прямых труб (22) для соответствующего приема и выхода технологического газа, такого как синтез-газ,

причем каждое из отверстий во входной трубной решётке (16) образует выпускное отверстие (18, 18'), и каждое из отверстий в выпускной трубной решётке (30) образует выпускное отверстие (26),

причем, по меньшей мере, впускная и выпускная трубные решётки (16, 30) снабжены наплавкой или плакировкой (20, 20', 20'', 28), по меньшей мере, на указанных впускном и выпускном отверстиях (18, 18', 26) каждого из отверстий,

и причем входная и выпускная трубные решётки представляют собой тонкие гибкие трубные решётки, изготовленные из низколегированной стали и имеющие толщину 20 - 70 мм, включая указанные наплавку или плакировку.

2. Котел-утилизатор (10) технологического газа по п. 1, **отличающийся тем**, что тонкая гибкая трубная решётка имеет толщину 15 - 65 мм, например, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60 мм.

3. Котел-утилизатор (10) технологического газа по любому из пп. 1 - 2, **отличающийся тем**, что наплавка или плакировка (20, 20', 20'', 28) имеют толщину 4 - 10 мм из устойчивого к металлическому запыливанию материала, выбранного из следующих сплавов: сплав 601, сплав 690, сплав 602СА, сплав 625, сплав 693 или сплав 699 ХА.

4. Котел-утилизатор (10) технологического газа по любому из пп. 1 - 3, который также снабжен сваркой труб с трубной решёткой (24, 24').

5. Котел-утилизатор (10) технологического газа по п. 4, **отличающийся тем**, что входная часть трубы (22) приварена к кожуховой части входной трубной решётки (16).

6. Котел-утилизатор (10) технологического газа по любому из пп. 1 - 5, **отличающийся тем**, что каждая прямая труба (22) снабжена внутренним вкладышем (22'), таким как внутренняя защитная втулка, которая расположена вдоль внутренней поверхности каждой прямой трубы (22) и проходит по направлению к указанным входной (16) или выпускной (30) трубной решётке на расстоянии от указанных впускного или выпускного отверстия (18, 18', 26), таким образом, что конец (22'') внутреннего вкладыша (22') проходит соответственно к указанному одному концу или указанному противоположному концу прямой трубы (22).

7. Котел-утилизатор (10) технологического газа по п. 6, **отличающийся тем**, что указанный внутренний вкладыш (22') механически соединен с указанной внутренней поверхностью каждой прямой трубы (22), например, путем расширения под действием гидравлического давления и/или путем прокатки.

8. Котел-утилизатор (10) технологического газа по любому из пп. 1 - 7, **отличающийся тем**, что указанное множество прямых труб (14, 22) расположено в одном или более отсеках (10', 10''), которые тем самым образуют множество впускных и выпускных трубных решёток.

9. Способ сварки прямых труб с входной и выпускной трубными решётками КУТГ по любому из пп. 1 - 8, включающий:

- i) обеспечение наплавки или плакировки, такой как взрывная плакировка, по меньшей мере, на входной и выпускной трубных решётках КУТГ;
- ii) выполнение множества отверстий во входной трубной решётке и выпускной трубной решётке;
- iii) введение множества прямых труб в отверстия для соединения каждой из прямых труб на одном конце со входной трубной решёткой и на противоположном конце с выпускной трубной решёткой; и

- iv) обеспечение сварки труб на одном конце прямой трубы с входной трубной решёткой и на противоположном конце прямой трубы с выпускной трубной решёткой.

10. Способ по п. 9, **отличающийся тем**, что этап i) выполняют перед этапом ii), т.е. перед, например, сверлением отверстий в трубных решётках.

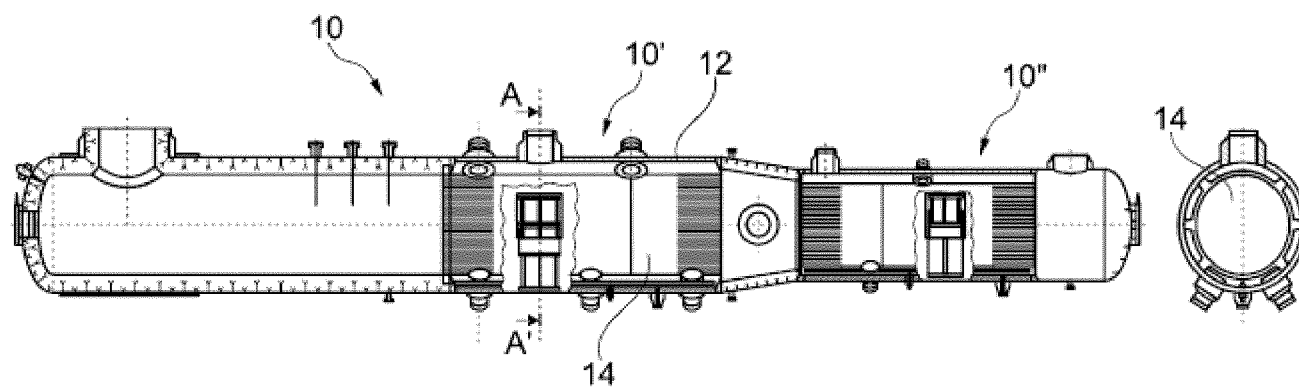
11. Способ по любому из пп. 9 - 10, **отличающийся тем**, что сварку труб с трубной решёткой выполняют в виде многопроходных прочных сварных швов, при необходимости, с шахматными проходами, предпочтительно в виде полностью автоматических многопроходных прочностных сварных швов с шахматными проходами для входной и выпускной трубных решёток.

12. Способ по любому из пп. 9 - 11, **отличающийся тем**, что тонкие гибкие трубные решётки проверяют посредством анализа методом конечных элементов в соответствии с Разделом VIII, Подразделом 2 ASME.

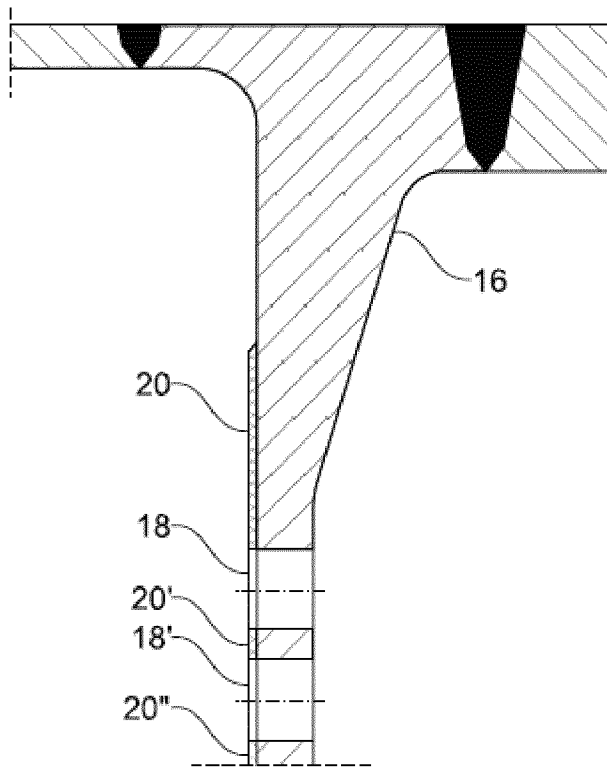
13. Способ по любому из пп. 9 - 12, **отличающийся тем**, что способ осуществляют на этапе изготовления КУТГ.

14. Способ защиты КУТГ по любому из пп. 1 - 8, в частности, его входной и выпускной трубных решёток, при этом способ включает: после длительной эксплуатации, т.е. после, по меньшей мере, одного года эксплуатации, закупорку, по меньшей мере, одной из указанных прямых труб путем приваривания к указанной наплавке или плакировке.

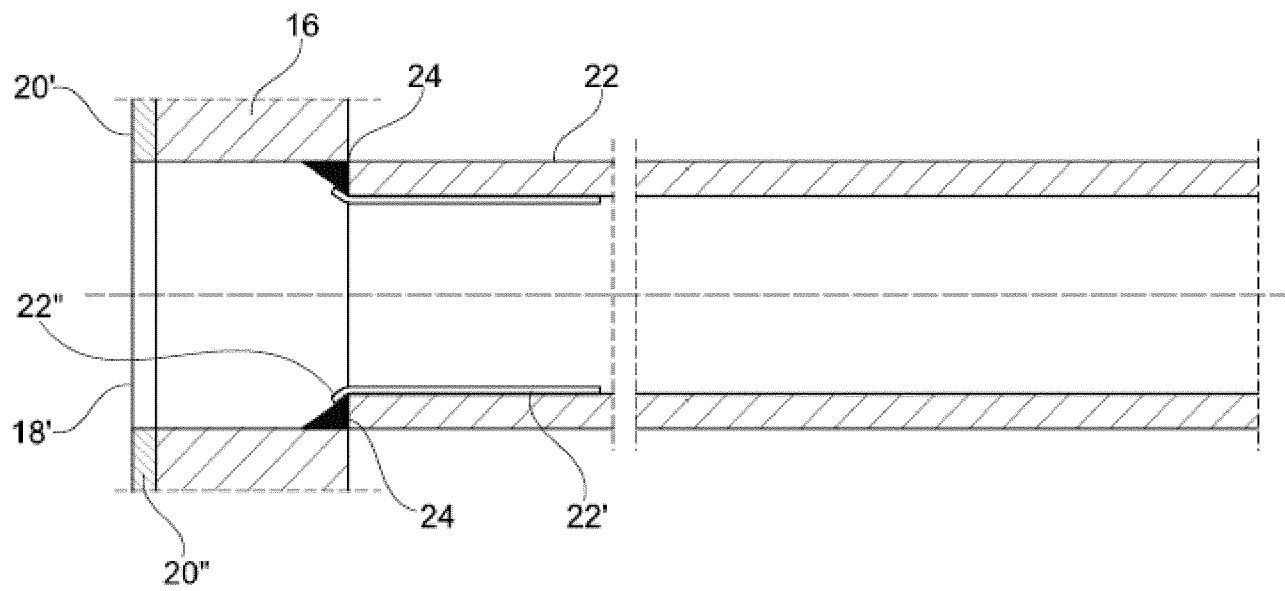
15. Способ охлаждения технологического газа, выходящего из установки риформинга, причем указанная установка риформинга представляет собой любую из: установки автотермического риформинга (АТР), установки вторичного риформинга, установки парового риформинга метана (ПРМ), включая э-ПРМ, или установки конвекционного риформинга; при этом указанный технологический газ представляет собой синтез-газ, содержащий оксиды углерода и водород, причем способ включает охлаждение синтез-газа путем пропускания его через котел-утилизатор технологического газа (КУТГ) по пп. 1 - 8.



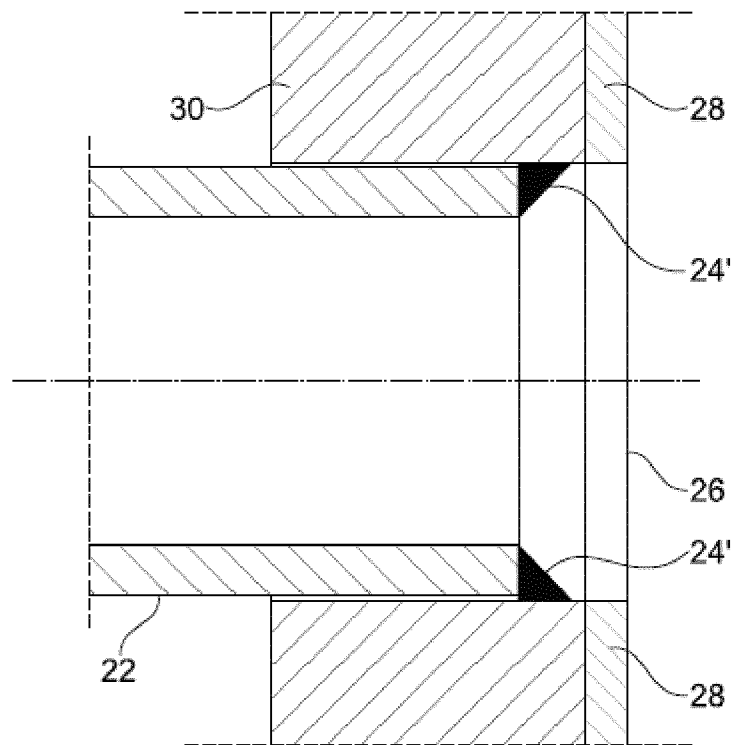
ФИГ. 1



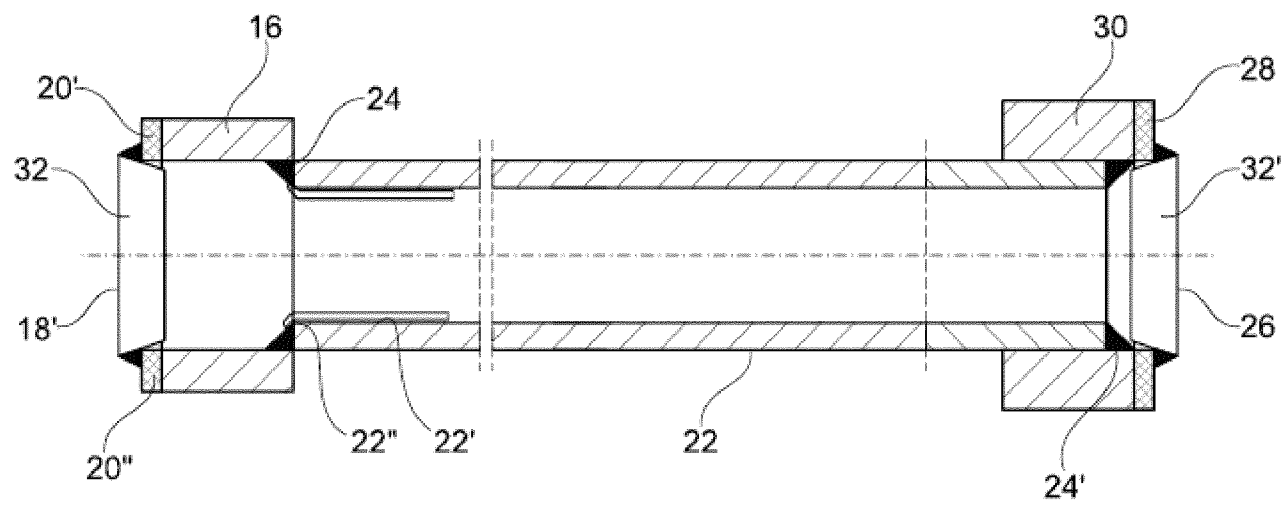
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5