

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **043780**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.06.22

(51) Int. Cl. **F28F 9/02** (2006.01)

(21) Номер заявки
202293237

(22) Дата подачи заявки
2022.04.11

(54) **ТЕПЛОПЕРЕДАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО**

(31) **63/176,987; 17/507,103**

(32) **2021.04.20; 2021.10.21**

(33) **US**

(43) **2023.01.31**

(62) **202290844; 2022.04.11**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**ТРАНСПОРТЕЙШН АйПи
ХОЛДИНГС, ЛЛС (US)**

(56) **RU-C1-2152574
US-A1-2019285364
EP-A1-3246647
US-A1-2019368828**

(72) Изобретатель:
**Фелтон Адам С., Бэйли Кевин, Флорес
Мануэль Ликон (US)**

(74) Представитель:
**Поликарпов А.В., Соколова М.В.,
Путинцев А.И., Черкас Д.А., Игнатьев
А.В., Билык А.В., Дмитриев А.В.,
Бучака С.М., Бельтюкова М.В. (RU)**

(57) Теплопередающее устройство содержит монолитный корпус, образованный из внешней оболочки, внутреннего корпуса теплопередающей сердцевины и гибкой диафрагмы, соединяющей и проходящей от корпуса сердцевины к внутренней поверхности внешней оболочки. Корпус сердцевины имеет первые внутренние перепускные каналы и вторые внутренние перепускные каналы, которые отделены от первых внутренних перепускных каналов, и корпус сердцевины выполнен с возможностью передачи тепловой энергии между первой текучей средой, протекающей в первых внутренних перепускных каналах, и второй текучей средой, протекающей во вторых внутренних перепускных каналах, без смешивания первой текучей среды со второй текучей средой. Гибкая диафрагма образует гибкий переход между каждым из первого впускного отверстия и второго впускного отверстия оболочки и корпусом сердцевины, причем гибкая диафрагма также образует уплотнение, которое препятствует протеканию первой текучей среды во вторые внутренние перепускные каналы корпуса сердцевины.

043780
B1

043780
B1

Данная заявка испрашивает приоритет предварительной заявки на патент США № 63/176987 (поданной 20 апреля 2021 г.) и является частичным продолжением заявки на патент США № 16/899331 (поданной 11 июня 2020 г.), которая является выделенной заявкой из заявки на патент США № 15/821729 (поданной 22 ноября 2017 г.), которая является частичным продолжением заявки на патент США № 15/444566 (поданной 28 февраля 2017 г., в настоящее время патент США № 10175003). Полное описание указанных заявок включено в данный документ посредством ссылки.

Уровень техники

Область техники

Устройства и способы, описанные в данном документе, относятся к устройствам, которые передают тепло между различными текучими средами (например, жидкостями и/или газами) без смешивания текучих сред. Необязательно, устройства и способы могут быть использованы для передачи компонентов между текучими средами, но путем фильтрации одного или более компонентов из одной текучей среды (и обеспечения прохождения отфильтрованного компонента через барьер в другую текучую среду). Данные устройства могут быть изготовлены аддитивным способом.

Описание предшествующего уровня техники

Охлаждающие устройства передают тепло от одной текучей среды к другой текучей среде через барьер. Одним из примеров охлаждающего устройства является охладитель системы рециркуляции отработавших газов (EGR; exhaust gas recirculation). Этот охладитель передает или отводит тепло от рециркулирующего отработавшего газа двигателя к охлаждающей текучей среде, такой как вода, когда отработавший газ и вода проходят через охладитель. Одной из проблем этих охладителей является использование нескольких отдельных корпусов, которые используются для герметизации и удержания охлаждающей текучей среды внутри охладителя. Например, охладители имеют оболочки, в которых размещены сердцевин, сердцевин имеют отдельные каналы для охлаждающей текучей среды и отработавшего газа. Охладители имеют скользящие соединения и уплотнительные кольца (или другие уплотнения) между оболочками и сердцевинами. Эти скользящие соединения и уплотнения предназначены для удержания охлаждающей текучей среды внутри охладителей. Эти несколько корпусов выполнены с возможностью выдерживания экстремальных температурных изменений (и связанных с ними тепловых расширений) оболочек и сердцевин.

Но эти компоненты охладителей склонны к выходу из строя в экстремальных температурных условиях. Это может привести к потере охлаждающей текучей среды во время работы и может потребовать замены компонентов. Существует потребность в устройствах, менее подверженных выходу из строя и/или замене.

Сущность изобретения

В одном или более вариантах реализации обеспечено теплопередающее устройство, которое содержит внешнюю оболочку, внутренний корпус теплопередающей сердцевин и гибкую диафрагму, соединяющую и проходящую от корпуса сердцевин к внутренней поверхности внешней оболочки. Оболочка содержит первое выпускное отверстие, в которое может поступать первая текучая среда, второе выпускное отверстие, в которое может поступать вторая текучая среда, первое выпускное отверстие, через которое первая текучая среда направляется из оболочки, и второе выпускное отверстие, через которое вторая текучая среда направляется из оболочки. Корпус сердцевин образует первые внутренние перепускные каналы и вторые внутренние перепускные каналы, которые отделены друг от друга. Первые внутренние перепускные каналы гидравлически соединяют первое выпускное отверстие с первым выпускным отверстием, а вторые внутренние перепускные каналы гидравлически соединяют второе выпускное отверстие со вторым выпускным отверстием. Гибкая диафрагма образует гибкий переход между каждым из первого выпускного отверстия и второго выпускного отверстия оболочки и корпусом сердцевин. Гибкая диафрагма также образует уплотнение, которое предотвращает протекание первой текучей среды, протекающей через первые внутренние перепускные каналы, во вторые внутренние перепускные каналы корпуса сердцевин.

В одном или более вариантах реализации обеспечено теплопередающее устройство, которое содержит монолитный корпус, образованный из внешней оболочки, внутреннего корпуса теплопередающей сердцевин и гибкой диафрагмы, соединяющей и проходящей от корпуса сердцевин к внутренней поверхности внешней оболочки. Корпус сердцевин имеет первые внутренние перепускные каналы и вторые внутренние перепускные каналы, которые отделены от первых внутренних перепускных каналов. Корпус сердцевин может передавать тепловую энергию между первой текучей средой, протекающей по первым внутренним перепускным каналам, и второй текучей средой, протекающей по вторым внутренним перепускным каналам, без смешивания первой текучей среды со второй текучей средой. Гибкая диафрагма образует гибкий переход между каждым из первого выпускного отверстия и второго выпускного отверстия оболочки и корпусом сердцевин. Гибкая диафрагма также образует уплотнение, которое предотвращает протекание первой текучей среды во вторые внутренние перепускные каналы корпуса сердцевин.

В одном или более вариантах реализации обеспечен способ (например, образования теплопередающего устройства). Способ включает аддитивное производство теплопередающего устройства путем

последовательного нанесения слоев материала друг на друга с образованием корпуса, имеющего внешнюю оболочку, внутренний корпус теплопередающей сердцевины и гибкую диафрагму, соединяющую и проходящую от корпуса сердцевины к внутренней поверхности внешней оболочки. Слои последовательно наносят с образованием оболочки с первым впускным отверстием, которое может принимать первую текучую среду, вторым впускным отверстием, которое может принимать вторую текучую среду, первым выпускным отверстием, через которое первая текучая среда направляется из оболочки, и вторым выпускным отверстием, через которое вторая текучая среда направляется из оболочки. Слои последовательно наносят с образованием гибкой диафрагмы в качестве гибкого перехода между каждым из первого впускного отверстия и второго впускного отверстия оболочки и корпусом сердцевины. Слои последовательно наносят с образованием гибкой диафрагмы в качестве уплотнения, которое предотвращает протекание первой текучей среды во вторые внутренние перепускные каналы корпуса сердцевины.

Краткое описание графических материалов

Объект изобретения можно понять, ознакомившись со следующим описанием неограничивающих вариантов реализации со ссылкой на прилагаемые графические материалы, в которых ниже:

- на фиг. 1 проиллюстрирован один пример передающего устройства;
- на фиг. 2 проиллюстрирован первый вид в поперечном разрезе устройства, показанного на фиг. 1;
- на фиг. 3 проиллюстрирован вид в поперечном разрезе части корпуса сердцевины передающего устройства в соответствии с одним вариантом реализации;
- на фиг. 4 проиллюстрирован дополнительный вид в поперечном разрезе устройства, показанного на фиг. 1;
- на фиг. 5 проиллюстрирован другой вид в поперечном разрезе устройства, показанного на фиг. 1;
- на фиг. 6 проиллюстрирован другой вид в поперечном разрезе устройства, показанного на фиг. 1;
- на фиг. 7 проиллюстрирован первый вид в поперечном разрезе передающего устройства по линии 7-7, как показано на фиг. 1;
- на фиг. 8 проиллюстрирован второй вид в поперечном разрезе передающего устройства, выполненный вдоль плоскости, которая перпендикулярна линии 7-7, как показано на фиг. 1;
- на фиг. 9 проиллюстрирован другой вид в поперечном разрезе передающего устройства по линии 7-7, как показано на фиг. 1;
- на фиг. 10 проиллюстрирован вид в перспективе корпуса сердцевины передающего устройства в соответствии с одним вариантом реализации;
- на фиг. 11 проиллюстрирован вид в поперечном разрезе корпуса сердцевины, показанного на фиг. 10;
- на фиг. 12 проиллюстрирован первый вид в поперечном разрезе корпуса сердцевины по линии 12-12, как показано на фиг. 11;
- на фиг. 13 проиллюстрирован второй вид в поперечном разрезе корпуса сердцевины по линии 13-13, как показано на фиг. 11;
- на фиг. 14 проиллюстрирован третий вид в поперечном разрезе корпуса сердцевины по линии 14-14, как показано на фиг. 11;
- на фиг. 15 проиллюстрирован четвертый вид в поперечном разрезе корпуса сердцевины по линии 15-15, как показано на фиг. 11;
- на фиг. 16 проиллюстрирован вид в поперечном разрезе корпуса сердцевины, показанного на фиг. 11, с увеличенными областями, показывающими верхний и нижний конусы в соответствии с одним вариантом реализации; и
- на фиг. 17 проиллюстрирована блок-схема одного примера способа создания передающего устройства или его компонента.

Подробное описание изобретения

По меньшей мере один вариант реализации изобретений, описанных в данном документе, относится к монолитному (например, однокорпусному) передающему устройству, которое компенсирует тепловое расширение сердцевины за счет уникального соединения с гибкой диафрагмой на впускном отверстии и выпускном отверстии устройства. Эту гибкую диафрагму можно сместить легче, чем некоторые известные скользящие соединения и/или уплотнения, не вызывая неприемлемых напряжений во внешней оболочке (например, корпусе) или сердцевине. Передающее устройство может вызывать принудительную подачу охлаждающей среды (например, охлаждающей текучей среды) через сердцевину без прямого соединения оболочки с сердцевиной. Охлаждающая среда может быть принудительно образована путем образования (например, посредством аддитивного производства) объемов разного размера в разных местоположениях между (а) диафрагмой и (б) оболочкой и сердцевиной для увеличения давления охлаждающей текучей среды в местоположениях, которое вынуждает охлаждающую текучую среду проходить через большую часть сердцевины (относительно некоторых известных охладителей, использующих скользящие уплотнения между сердцевиной и оболочкой). Гибкая диафрагма может быть образована как одно целое с сердцевиной и оболочкой посредством аддитивного производства для обеспечения полностью интегрированной стенки, которая обеспечивает минимальную утечку или отсутствие утечки охлаждающей текучей среды между сердцевиной и оболочкой. Печать оболочки и сердцевины как единой

части позволяет тщательно контролировать границу сопряжения между двумя геометрическими формами (сердцевинной и оболочкой).

Альтернативно, сердцевина и оболочка, описанные в данном документе, могут быть образованы отдельно, а затем сердцевина может быть помещена в оболочку. Например, оболочка может быть отлита, изготовлена аддитивным способом, литьем под давлением и т.п., а сердцевина может быть изготовлена аддитивным способом и помещена в оболочку. Гибкая диафрагма может быть образована как часть оболочки или сердцевины или может быть образована отдельно, а затем помещена между оболочкой и сердцевиной. Затем оболочка и сердцевина могут быть сварены вместе с образованием полностью интегрированного твердого тела.

Использование аддитивного производства гибкой диафрагмы и/или сердцевины обеспечивает приспособление сердцевины к самым разным областям применения. Аналогичным образом можно изготовить оболочку, чтобы она не мешала существующим компонентам для применений модернизации.

Устройства, описанные в данном документе, могут максимально увеличить или повысить срок службы устройств по сравнению с некоторыми известными охладителями EGR за счет обеспечения теплового циклирования без скользящей границы сопряжения. Кроме того, поскольку отсутствует подвижная или скользящая граница сопряжения для уплотнения прокладкой, уплотнительным кольцом и т. п., устройство может выдерживать экстремальные температуры в таких условиях, как работа на холостом ходу. Условия работы двигателя на холостом ходу представляют собой условия, при которых отработавший газ двигателя проходит через устройство без охлаждающей среды, также протекающей через устройство. Эти условия могут подвергнуть устройство воздействию температур более 1000 градусов по Фаренгейту (или 540 градусов по Цельсию). Эти температуры вызывают выход из строя уплотнений в некоторых известных охлаждающих устройствах. Эти экстремальные температуры также могут вызвать экстремальное тепловое расширение, с которым некоторые известные трубчатые или пластинчатые конструкции охлаждающих устройств не могут справиться без выхода из строя (из-за ограничений на обоих концах охлаждающих устройств). И напротив, гибкие диафрагмы описанных в данном документе вариантов реализации данного изобретения могут изгибаться и компенсировать тепловые расширения без выхода из строя.

Другие варианты реализации данных изобретений, описанные в данном документе, относятся к сердцевине, или корпусу сердцевины, передающего устройства. Корпус сердцевины выполнен с повторяющимися взаимосвязанными элементарными ячейками, которые определяют внутренние перепускные каналы для одной текучей среды через элементарные ячейки и внешние перепускные каналы для другой текучей среды вне элементарных ячеек без физического смешивания двух текучих сред друг с другом. Например, внутренние перепускные каналы гидравлически не соединены с внешними перепускными каналами. Элементарные ячейки имеют боковые стенки между внутренними перепускными каналами и внешними перепускными каналами, которые обеспечивают передачу тепловой энергии (например, тепла) через боковые стенки от более горячей текучей среды к более холодной текучей среде. Боковые стенки необязательно могут быть выполнены с возможностью передачи (например, фильтрации) одного или более компонентов из первой текучей среды через боковые стенки во вторую текучую среду. Первая текучая среда и/или вторая текучая среда необязательно могут включать более одного типа текучей среды, композиции или соединения. Например, первая текучая среда может представлять собой охлаждающую текучую среду, которая вводится во внутренние перепускные каналы сердцевины, а вторая текучая среда может представлять собой несколько различных текучих сред, которые вводятся во внешние перепускные каналы. Несколько различных текучих сред могут смешиваться друг с другом внутри сердцевины и передавать тепло в охлаждающую текучую среду через тонкие боковые стенки.

Корпус сердцевины в соответствии с одним вариантом реализации имеет сложную повторяющуюся геометрию, которая разделяет текучие среды и на которую можно наносить печать без образования опорных конструкций. Геометрия корпуса сердцевины обеспечивает вариант для относительно больших размеров неподдерживаемой элементарной ячейки. Элементарные ячейки большего размера обеспечивают меньшее сопротивление потока и перепад давления по всему корпусу сердцевины (например, повышенный расход текучей среды) по сравнению с элементарными ячейками меньшего размера. Элементарные ячейки являются полыми, поэтому увеличение размера элементарных ячеек может фактически уменьшать количество материала, наносимого в процессе аддитивного производства, по сравнению с элементарными ячейками меньшего размера, таким образом увеличивая скорость печати, и снижать расходы на печать и/или материалы.

Возможность аддитивного производства корпуса сердцевины без опорных конструкций также обеспечивает образование корпуса сердцевины в специальных формах в зависимости от конкретного применения. В охладителе EGR корпус сердцевины может быть напечатан для соответствия конкретному внутреннему объему или коэффициенту формы оболочки. Необязательно, корпус сердцевины может быть образован как одно целое с оболочкой в процессе обычного аддитивного производства для обеспечения монолитного (цельного) охладителя EGR. Интегральное образование корпуса сердцевины с оболочкой устраняет швы между компонентами, что может эффективно устранить потенциальные пути утечки во время использования и эксплуатации охладителя EGR.

На фиг. 1 проиллюстрирован один пример передающего устройства 100. Устройство можно использовать для передачи энергии или компонентов между двумя средами. Например, устройство может передавать тепловую энергию (например, тепло) от одной текучей среды в другую текучую среду (для охлаждения одной текучей среды) или может передавать компонент из одной текучей среды в другую текучую среду (для фильтрации компонента из одной текучей среды). Устройство содержит внешнюю оболочку 102, в которой расположены внутренний корпус теплопередающей сердцевины и гибкая диафрагма (оба показаны на фиг. 2). Оболочка имеет первое впускное отверстие 110, которое принимает первую текучую среду 112, и второе впускное отверстие 114, которое принимает вторую текучую среду 116. Первая и вторая текучей среды могут представлять собой газы и/или жидкости. Например, первая текучая среда может представлять собой охлаждающую текучую среду или охлаждающую среду, такую как теплопередающие текучие среды (например, вода, хладагент, другие синтетические или природные текучие среды). Вторая текучая среда может представлять собой выхлоп газа из двигателя или может представлять собой другую текучую среду. Вторая текучая среда может быть теплее первой текучей среды перед входом в устройство.

Оболочка также содержит первое выпускное отверстие 120, через которое первая текучая среда направляется из оболочки, и второе выпускное отверстие 118, через которое вторая текучая среда направляется из оболочки. Как описано в данном документе, корпус сердцевины имеет внутренние перепускные каналы (показаны на фиг. 2), по которым первая текучая среда протекает через сердцевину от первого впускного отверстия к первому выпускному отверстию, и внешние перепускные каналы (показаны на фиг. 2), по которым вторая текучая среда протекает через сердцевину от второго впускного отверстия до второго выпускного отверстия. Когда первая и вторая текучие среды протекают через соответствующие внутренние и внешние перепускные каналы, тепло может передаваться от второй текучей среды к первой текучей среде (поперек материала или через материал, который образует сердцевину). Альтернативно, материал, образующий по меньшей мере часть сердцевины, может фильтровать один или более компонентов из второй текучей среды в первую текучую среду (или из первой текучей среды во вторую текучую среду). Первая текучая среда необязательно может включать несколько различных текучих сред, которые смешиваются друг с другом во внутренних перепускных каналах сердцевины. Вторая текучая среда необязательно может включать несколько различных текучих сред, которые смешиваются друг с другом во внешних перепускных каналах сердцевины.

Внутренние перепускные каналы могут удерживать первую текучую среду отдельно от второй текучей среды, а внешние каналы могут удерживать вторую текучую среду отдельно от первой текучей среды. Внутренние перепускные каналы могут направлять поток первой текучей среды от первого впускного отверстия к первому выпускному отверстию. Первое выпускное отверстие может направлять первую текучую среду (которая теперь нагрета второй текучей средой или принимает один или более компонентов из второй текучей среды) в устройство или систему, которая охлаждает (или фильтрует) первую текучую среду и возвращает первую текучую среду в первое впускное отверстие. Внешние перепускные каналы могут направлять поток второй текучей среды от второго впускного отверстия ко второму выпускному отверстию. Второе выпускное отверстие может направлять вторую текучую среду (которая теперь охлаждена первой текучей средой или из которой один или более компонентов были удалены и переданы в первую текучую среду) обратно в двигатель (в двигателе EGR) или в другое местоположение.

На фиг. 2 проиллюстрирован первый вид в поперечном разрезе устройства, показанного на фиг. 1. Поперечный разрез, показанный на фиг. 2, выполнен вдоль плоскости, параллельной плоскости, показанной на фиг. 1, и проходит через осевой центр корпуса сердцевины. Внутренний корпус 204 теплопередающей сердцевины внутри оболочки содержит единую конструкцию или полотно материала 201, имеющее форму, которая образует первые внутренние перепускные каналы 522 и вторые внутренние перепускные каналы 524. Первые внутренние перепускные каналы 522 и вторые внутренние перепускные каналы 524 корпуса сердцевины также упоминаются в данном документе как внутренние перепускные каналы и внешние перепускные каналы соответственно. Альтернативно, сердцевина может быть образована из нескольких корпусов или полотен материала, форма которых образует внутренние и внешние перепускные каналы.

Устройство содержит гибкую диафрагму 206, которая соединяется и проходит от корпуса сердцевины к внутренней поверхности 208 внешней оболочки. Диафрагма является гибкой в том смысле, что диафрагма может изгибаться или иным образом изменять форму при воздействии на нее усилия или смещения больше, чем в случае оболочки и/или корпуса сердцевины (принимающей такое же усилие или смещение). Диафрагма образует гибкий переход между (а) каждым из первого и второго впускных отверстий оболочки и (б) основным корпусом. Гибкая диафрагма образует уплотнение, которое предотвращает протекание первой текучей среды, протекающей через внутренние перепускные каналы корпуса сердцевины, во внешние перепускные каналы корпуса сердцевины. Гибкая диафрагма может приспосабливаться к различным изменениям размеров оболочки и корпуса сердцевины из-за изменений воздействия тепла. Например, оболочка и корпус сердцевины могут расширяться на разные величины или расстояния из-за разных размеров оболочки и корпуса сердцевины (даже если оболочка и корпус сердцевины образованы как монолитный корпус и образованы из одного и того же материала). Гибкая диафрагма

может изгибаться из-за различных расширений оболочки и корпуса сердцевины без разрыва или иного нарушения уплотнения между оболочкой и корпусом сердцевины. Это поддерживает разделение внутренних и внешних перепускных каналов корпуса сердцевины.

На фиг. 3 проиллюстрирован вид в поперечном разрезе части корпуса сердцевины в соответствии с одним вариантом реализации. Поперечный разрез, показанный на фиг. 3, выполнен вдоль плоскости, которая параллельна плоскости, показанной на фиг. 2, и смещена от нее. Внутренние перепускные каналы 522 находятся на одной стороне корпуса или полотна материала сердцевины, а внешние перепускные каналы 524 находятся на противоположной стороне корпуса или полотна материала сердцевины. Например, корпус или полотно материала содержит тонкие боковые стенки 210, которые отделяют внутренние перепускные каналы от внешних перепускных каналов.

Боковые стенки являются частью элементарных ячеек 212 корпуса сердцевины, которые представляют собой геометрические формы, повторяющиеся по всему корпусу сердцевины. Элементарные ячейки связаны между собой. Например, корпус сердцевины представляет собой конструкцию, которая имеет совокупность соединенных элементарных ячеек. В одном или более вариантах реализации элементарные ячейки имеют преимущественно сферическую форму, определяемую боковыми стенками, как показано круглыми поперечными разрезами, показанными на фиг. 3. Формы периферийных элементарных ячеек, расположенных вдоль цилиндрической стороны корпуса сердцевины, могут быть искривлены для отклонения от сферической формы по мере необходимости, чтобы обеспечить требуемый общий размер и/или форму корпуса сердцевины. Элементарные ячейки могут иметь другие формы в других вариантах реализации, такие как форма куба, параллелепипеда или призмы. Внутренние перепускные каналы определяются внутри элементарных ячеек и проходят через них. Внешние перепускные каналы находятся за пределами элементарных ячеек и представляют собой незанятые пространства между элементарными ячейками.

Как показано на фиг. 3, внутренние перепускные каналы отделены от внешних перепускных каналов боковыми стенками. Внутренние перепускные каналы внутри двух элементарных ячеек закрашены диагональными линиями на фиг. 3, чтобы четко показать различие между внутренними перепускными каналами и внешними перепускными каналами, которые окружают внутренние перепускные каналы на проиллюстрированном виде в поперечном разрезе. Боковые стенки могут быть относительно тонкими, например иметь толщину менее 3 миллиметров (мм). Боковые стенки элементарных ячеек соединяются друг с другом на краях 806 (показанных на фиг. 10), чтобы гидравлически соединять внутренние перепускные каналы по всему корпусу сердцевины и физически отделять первую и вторую текучие среды друг от друга. Тепло может передаваться между первой текучей средой и второй текучей средой через боковые стенки без смешивания между собой какой-либо другой части первой текучей среды и второй текучей среды во внутренних или внешних перепускных каналах в одном варианте реализации. Альтернативно, боковые стенки могут содержать поры, которые отфильтровывают один или более компонентов из второй текучей среды в первую текучую среду (или из первой текучей среды во вторую текучую среду) без смешивания между собой какой-либо другой части первой текучей среды и второй текучей среды во внутренних или внешних перепускных каналах. В проиллюстрированном варианте реализации текучая среда во внутренних перепускных каналах представляет собой газ, такой как горячий газ, выходящий из двигателя, а текучая среда во внешних перепускных каналах представляет собой охлаждающую текучую среду, такую как вода. Вода может поглощать тепло из газа через боковые стенки элементарных ячеек, в то время как вода течет по извилистым путям между элементарными ячейками по внешним перепускным каналам. Вода поступает в корпус сердцевины через впускные отверстия 214 внешних перепускных каналов вдоль периферийной поверхности корпуса сердцевины.

На фиг. 4, 5 и 6 показаны дополнительные виды в поперечном разрезе устройства, показанного на фиг. 1. Виды в поперечном разрезе на фиг. 4, 5 и 6 выполнены вдоль той же плоскости, что и вид в поперечном разрезе на фиг. 2. Гибкая диафрагма имеет изогнутую коническую форму, которая проходит внутрь от внутренней поверхности оболочки к корпусу сердцевины. Эта коническая форма обеспечивает конический переход между оболочкой и корпусом сердцевины. Коническим переходом можно управлять для изменения длины (например, расстояния от внутренней поверхности оболочки до корпуса сердцевины) и/или угла пересечения оболочки и сердцевины таким образом, что гибкая диафрагма может быть включена в самые различные формы корпуса сердцевины и/или оболочки. Возможность индивидуального подбора размера и/или формы гибкой диафрагмы обеспечивает эффективное проектирование и компоновку передающего устройства для применений в условиях ограниченного пространства. Например, несмотря на то, что, как показано, оболочка имеет цилиндрическую форму, корпус сердцевины и/или оболочка могут иметь другую форму, такую как прямоугольная форма с гибкой диафрагмой, проходящей между оболочкой и корпусом сердцевины и герметизирующей их друг с другом.

Гибкая диафрагма является плоской в проиллюстрированном варианте реализации. Например, диафрагма может иметь гладкую коническую форму без неровностей поверхности, волн, лунок, выступов и т.п. Альтернативно, диафрагма может иметь неровную поверхность с неровностями поверхности, волнами, лунками, выступами и т.п.

Как показано, гибкая диафрагма может быть тоньше внешней оболочки. Внутренняя поверхность

432 гибкой диафрагмы обращена к корпусу сердцевины и обращена в сторону от части внутренней поверхности оболочки, которая находится между вторым впускным отверстием и вторым выпускным отверстием оболочки. Эта внутренняя поверхность гибкой диафрагмы может быть ориентирована под углом менее сорока пяти градусов к внутренней поверхности внешней оболочки. Альтернативно, внутренняя поверхность может быть ориентирована под углом менее тридцати градусов или менее пятнадцати градусов к внутренней поверхности внешней оболочки. Противоположная внешняя поверхность 430 гибкой диафрагмы обращена в сторону от корпуса сердцевины и может быть обращена к части внутренней поверхности оболочки, которая находится между вторым впускным отверстием и вторым выпускным отверстием. Эта внешняя поверхность гибкой диафрагмы может быть ориентирована под углом более сорока пяти градусов к внутренней поверхности внешней оболочки. Альтернативно, внешняя поверхность может быть ориентирована под углом более 55° или более 75° к внутренней поверхности внешней оболочки.

На фиг. 7 показан первый вид в поперечном разрезе передающего устройства по линии 7-7 на фиг. 1. На фиг. 8 проиллюстрирован второй вид в поперечном разрезе передающего устройства. Вид в поперечном разрезе на фиг. 8 выполнен вдоль плоскости, перпендикулярной линии 7-7 на фиг. 1. Как показано на фиг. 1, оболочка включает удлиненные углубления 122 на противоположных сторонах оболочки. Углубления могут быть углублены в направлениях, которые проходят от второго впускного отверстия ко второму выпускному отверстию. Углубления могут быть расположены посередине между первым впускным отверстием и первым выпускным отверстием по окружности оболочки, как показано на фиг. 8. Например, углубления могут быть на противоположных сторонах оболочки. Альтернативно, углубления могут находиться в другом местоположении, и/или более двух углублений могут находиться в оболочке. Углубления могут уменьшить расстояние или пространственный зазор между внутренней поверхностью оболочки и корпусом сердцевины. Например, корпус сердцевины может быть расположен на большем расстоянии 434 от внутренней поверхности оболочки в местоположениях, удаленных от углублений (как показано на фиг. 5 и 8), и на более близком расстоянии 600 в месте углублений (как показано на фиг. 7 и 8).

Уменьшенное расстояние между оболочкой и сердцевиной в углублениях может способствовать направлению первой текучей среды от первого впускного отверстия к первому выпускному отверстию и из него. Эти углубления уменьшают объем, в котором первая текучая среда течет между первым впускным отверстием, чтобы выдавливать первую текучую среду и способствовать выдавливанию первой текучей среды к первому выпускному отверстию.

На фиг. 9 проиллюстрирован другой вид в поперечном разрезе передающего устройства по линии 7-7, показанной на фиг. 1. В этом проиллюстрированном варианте реализации гибкая диафрагма сопрягается с внутренней поверхностью оболочки с закругленными границами сопряжения. Например, вместо того, чтобы иметь углы или границы сопряжения между прямыми линиями на границе сопряжения между внутренней поверхностью гибкой диафрагмы и внутренней поверхностью оболочки и на границе сопряжения между внешней поверхностью гибкой диафрагмы и внутренней поверхностью оболочки, гибкая диафрагма и/или оболочка могут быть образованы со скруглениями на одной или обеих из этих границ сопряжения. Гибкая диафрагма и/или оболочка могут иметь внутреннее скругление 726 и внешнее скругление 728 на противоположных сторонах границы сопряжения между гибкой диафрагмой и оболочкой. Эти скругления могут представлять собой закругленные границы сопряжения, повышающие гибкость диафрагмы (по сравнению с границами сопряжения, которые не включают закругленные края или скругления). Внутреннее скругление может иметь меньший радиус кривизны, чем внешнее скругление, как показано на фиг. 9.

На фиг. 10 представлен вид в перспективе корпуса сердцевины передающего устройства в соответствии с одним вариантом реализации. Каждая из элементарных ячеек корпуса сердцевины имеет одну или более изогнутых боковых стенок. Внутренняя поверхность 800 одной или более боковых стенок определяет по меньшей мере часть внутреннего перепускного канала, который проходит внутри соответствующей элементарной ячейки и через нее. Внешняя поверхность 802 одной или более боковых стенок определяет по меньшей мере часть внешних перепускных каналов в промежуточных пространствах между элементарными ячейками. Корпус сердцевины имеет высоту, проходящую от нижнего конца 810 до верхнего конца 812 (противоположного нижнему концу). Корпус сердцевины имеет преимущественно цилиндрическую форму в проиллюстрированном варианте реализации, чтобы соответствовать внутренней части оболочки. Например, корпус сердцевины имеет внешнюю сторону 814, которая является периферийной и проходит от верхнего конца к нижнему концу. Поверхность вдоль внешней стороны имеет канавки и неровности поверхности, связанные с изогнутыми боковыми стенками элементарных ячеек. Внутренние перепускные каналы, проходящие через элементарные ячейки, позволяют первой текучей среде преимущественно течь вдоль вертикальной высоты корпуса сердцевины, например, от верхнего конца вниз и наружу через нижний конец. Внешние перепускные каналы могут позволить второй текучей среде течь в поперечном, радиальном и окружном (а также вертикальном) направлениях. Например, вторая текучая среда может поступать во внешние перепускные каналы через цилиндрическую внешнюю сторону корпуса сердцевины, как показано на фиг. 3 и 8.

Элементарные ячейки в корпусе сердцевины расположены в виде массива. В одном варианте реализации элементы расположены в несколько рядов 816, которые уложены друг на друга по высоте корпуса сердцевины. Проиллюстрированный вариант реализации показывает наименьшие части четырех рядов 816a, 816b, 816c, 816d элементарных ячеек. Каждый ряд содержит несколько элементарных ячеек, разнесенных друг от друга. Элементарные ячейки в одном ряду могут располагаться в шахматном порядке или могут быть смещены относительно элементарных ячеек в ряду выше или ниже. Например, одна элементарная ячейка может быть расположена, по меньшей мере, частично над несколькими элементарными ячейками в ряду. Расположение элементарных ячеек в шахматном порядке способствует контактному взаимодействию текучей среды с боковой стенкой, заставляя первую текучую среду извилисто протекать через внутренние перепускные каналы вместо того, чтобы по существу свободно падать через корпус сердцевины. Теплопередача и/или передача материала происходит посредством взаимодействий текучей среды с боковой стенкой. В одном варианте реализации данная элементарная ячейка в промежуточном ряду (например, 816b, 816c) взаимно соединена с элементарными ячейками в рядах выше и ниже. Элементарная ячейка необязательно может быть непосредственно гидравлически соединена с другими элементарными ячейками в том же ряду.

Элементарные ячейки корпуса сердцевины могут иметь одинаковые с другими ячейками размер и форму, за исключением периферийных ячеек вдоль внешней стороны, которые искривлены для сохранения заданного размера и формы корпуса сердцевины. Боковые стенки элементарных ячеек вдоль внешней стороны корпуса сердцевины могут быть более плоскими (например, с меньшей кривизной) по сравнению с кривизной боковых стенок вдоль внутренних элементарных ячеек. Боковые стенки на внешней стороне закрывают внутренние перепускные каналы для сохранения механического разделения между первой и второй текучими средами.

Корпус сердцевины, показанный на фиг. 10, имеет меньше элементарных ячеек в массиве, чем корпус сердцевины, показанный на фиг. 8, например, чтобы продемонстрировать, что количество и размер элементарных ячеек могут быть выбраны на основании специфических для применения параметров, таких как количество передачи тепловой энергии, сопротивление потоку текучей среды, перепад давления текучей среды и т. п. Корпус сердцевины согласно по меньшей мере одному варианту реализации выполнен с относительно большими размерами элементарных ячеек для снижения сопротивления потоку и перепада давления и повышения эффективности производства (например, меньшее количество материала и печати) при одновременном обеспечении достаточных взаимодействий текучей среды с боковой стенкой для обеспечения требуемых характеристик передачи.

Боковые стенки элементарных ячеек образуют несколько отверстий 804, которые представляют собой части внутренних перепускных каналов, проходящих через элементарные ячейки. Например, первая текучая среда может поступать в соответствующую элементарную ячейку через одно из отверстий ячейки и может выходить из элементарной ячейки через другое из отверстий. В одном варианте реализации отверстия элементарной ячейки соединены с другими элементарными ячейками для гидравлического соединения внутренних перепускных каналов через корпус сердцевины. Каждое отверстие элементарной ячейки может быть гидравлически соединено с другой элементарной ячейкой таким образом, что три отверстия первой элементарной ячейки соединены со второй элементарной ячейкой, третьей элементарной ячейкой и четвертой элементарной ячейкой соответственно. Боковые стенки имеют край 806, который проходит вокруг отверстий ячейки. Края различных элементарных ячеек соединяются друг с другом для взаимного соединения внутренних перепускных каналов и герметизации внутренних перепускных каналов от внешних перепускных каналов.

В одном варианте реализации края соединенных элементарных ячеек соединены друг с другом как одно целое для определения бесшовных границ сопряжения между элементарными ячейками. Например, корпус сердцевины может представлять собой единую монолитную конструкцию с элементарными ячейками, взаимно соединенными в местах бесшовных границ сопряжения. Состав материала корпуса сердцевины может быть выбран на основании специфических для применения факторов. Например, материалы с хорошей теплопроводностью, такие как один или более металлических материалов, можно использовать для теплообменных применений передающего устройства. Другие типы материалов, такие как полимерные материалы, керамические материалы или композитные материалы, могут быть использованы для образования корпуса сердцевины для применений фильтрации, в которых по меньшей мере компонент первой текучей среды или второй текучей среды передается в боковые стенки элементарных ячеек и/или через них.

В соответствии с по меньшей мере одним вариантом реализации корпус сердцевины изготавливают с помощью аддитивного производства. Корпус сердцевины образован путем последовательного нанесения слоев модельного материала по меньшей мере частично друг на друга в направлении построения, чтобы в конечном итоге образовать конструкцию, показанную на фиг. 10. Модельный материал может представлять собой порошок, который наносят в подстилающем слое, а затем селективно нагревают, чтобы обеспечить заданное местоположение, размер и форму каждого слоя в соответствии с проектом файла. Альтернативно, модельный материал может представлять собой нить, которая нагревается и селективно наносится подвижной головкой рабочего органа, чтобы обеспечить заданное местоположе-

ние, размер и форму каждого слоя в соответствии с проектным файлом. В проиллюстрированном варианте реализации корпус сердцевины может быть изготовлен путем аддитивного производства в восходящем направлении 808 построения. Например, нижний конец 810 может быть образован изначально, а последующие слои уложены друг на друга до тех пор, пока в конечном итоге не будет образован верхний конец 812 для завершения процесса построения.

На фиг. 11 представлен вид в поперечном разрезе корпуса сердцевины, показанного на фиг. 10. Вид в поперечном разрезе на фиг. 11 выполнен вдоль плоскости, которая перпендикулярна плоскости верхнего конца корпуса сердцевины на фиг. 10, а плоскость поперечного разреза может делить корпус сердцевины пополам. На фиг. 11 показан разделенный пополам вид двух полных элементарных ячеек, обозначенных пунктирными кружками, и нескольких частичных элементарных ячеек. На фиг. 11 показаны четыре отверстия 804, определенные боковыми стенками каждой из полных элементарных ячеек. Например, два отверстия в поперечном сечении расположены в верхней правой и нижней левой областях ячейки, а два отверстия показаны в верхней левой и нижней правой областях, которые проходят на глубину в корпус сердцевины. В одном варианте реализации элементарные ячейки имеют в общем итоге шесть отверстий, а две других не показаны на фиг. 11 из-за поперечного сечения. Шесть отверстий обеспечивают проточные каналы для соединения каждой элементарной ячейки с шестью другими элементарными ячейками. Элементарные ячейки могут иметь другое количество отверстий в альтернативном варианте реализации.

Как показано на фиг. 10 и 11, полные элементарные ячейки имеют сферическую форму. Например, части боковой стенки каждой элементарной ячейки между отверстиями имеют выпуклую кривизну относительно центра элементарной ячейки для определения сферы. Необязательно, элементарные ячейки могут быть по меньшей мере слегка удлиненными для определения эллипса или овала.

Элементарные ячейки в соседних рядах располагаются в шахматном порядке таким образом, что внутренние перепускные каналы проходят под косыми углами относительно плоскостей ряда и вертикальной высоты корпуса сердцевины, что способствует взаимодействию текучей среды и боковой стенки. Линия 21, проходящая от центральной точки 822 первой элементарной ячейки до центральной точки 822 второй элементарной ячейки, которая соединена с первой элементарной ячейкой, определяет угол 824, который составляет не менее 30° и не более 60° относительно плоскостей ряда (например, к горизонтальной плоскости). Угол согласно более предпочтительному диапазону может составлять от 35° до 45° , например от 40° до 42° . Эти углы могут быть выбраны для обеспечения достаточной пригодности для печати и качества печати корпуса сердцевины, изготовленного путем аддитивного производства, а также для обеспечения эффективной компоновки ряда ячеек.

Размеры внутренних перепускных каналов и внешних перепускных каналов различаются по их длине. Вдоль внутренних перепускных каналов отверстия определяют самые узкие или ограничивающие размеры 818 потока. Отверстия элементарных ячеек могут быть больше, чем самые узкие или ограничивающие размеры 820 потока во внешних перепускных каналах. Внутренние перепускные каналы могут занимать больше места внутри корпуса сердцевины, чем внешние перепускные каналы. Диапазон размеров потока и перепускных каналов может варьироваться в зависимости от типа текучих сред, протекающих через перепускные каналы, и/или требуемой передачи, которая происходит между текучими средами через боковые стенки. В одном варианте реализации первая текучая среда, проходящая через внутренние перепускные каналы, представляет собой горячий газ, а вторая текучая среда, проходящая через внешние перепускные каналы, представляет собой более холодную охлаждающую текучую среду, такую как вода. В альтернативном варианте размеры элементарных ячеек и/или расстояние между элементарными ячейками могут быть изменены таким образом, чтобы ограничивающие размеры потока во внешних перепускных каналах были больше, чем ограничивающие размеры потока во внутренних перепускных каналах и/или внешние перепускные каналы занимали больше пространства в корпусе сердцевины, чем внутренние перепускные каналы.

Элементарные ячейки включают конический элемент или конус 826, расположенный между по меньшей мере некоторыми отверстиями соответствующей элементарной ячейки. Конус 826 выступает по направлению к центральной точке элементарной ячейки. Конус имеет вершину 830, расположенную между центральной точкой ячейки и частью боковой стенки у основания конуса. Конус 826 является полым таким образом, что часть конуса вдоль внешней поверхности боковой стенки определяет лунку 828. Несколько лунок конусов показаны на виде в перспективе на фиг. 10.

Конус расположен в основании изогнутой элементарной ячейки. Например, конус может быть расположен в самой нижней части элементарной ячейки по отношению к направлению силы тяжести. В одном варианте реализации конус расположен вдоль центральной линии элементарной ячейки. Когда элементарная ячейка имеет изогнутую форму, например сферическую, образование конуса у основания или в нижней части элементарной ячейки повышает пригодность для печати корпуса сердцевины без необходимости в опорных конструкциях. Например, как показано на фиг. 11, основания ячеек не поддерживаются. Образование изгиба вдоль боковой стенки у основания позволяет избежать проблем, связанных с печатью относительно плоских поверхностей и/или нижнего уровня кривой без каких-либо опор. Конусы

позволяют элементарным ячейкам сохранять преимущественно сферические формы без печатных конструкций для поддержки островков модельного материала во время производственного процесса. Конусы также могут препятствовать накоплению текучей среды внутри боковых стенок элементарных ячеек. Например, первая текучая среда, если это жидкость, будет стекать с конуса к отверстиям, окружающим конус.

В одном варианте реализации боковые стенки элементарных ячеек также содержат второй конический элемент или конус 832 вдоль верхней части элементарных ячеек. Второй конус разнесен от первого конуса и расположен между другим набором отверстий элементарной ячейки относительно первого конуса. Первый конус упоминается в данном документе как нижний конус 830, а второй конус упоминается в данном документе как верхний конус 832. Верхний конус является полым и определяет лунку 834. Верхний конус выступает в том же направлении, что и нижний конус, относительно корпуса сердцевины. Например, оба конуса выступают к верхнему концу корпуса сердцевины. Лунка верхнего конуса определена вдоль внутренней поверхности боковой стенки. Верхний конус необязательно может быть коллинеарным нижнему конусу. Верхний конус может быть включен для улучшения пригодности для печати элементарных ячеек в корпусе сердцевины, аналогично включению нижнего конуса. Наличие верхнего конуса может устранить относительно плоскую область в верхней части изогнутых элементарных ячеек, которую может быть сложно надежно напечатать без нижележащих опор.

На фиг. 12 проиллюстрирован первый вид в поперечном разрезе корпуса сердцевины по линии 12-12, как показано на фиг. 11. На фиг. 13 проиллюстрирован второй вид в поперечном разрезе корпуса сердцевины по линии 13-13, как показано на фиг. 11. На фиг. 14 проиллюстрирован третий вид в поперечном разрезе корпуса сердцевины по линии 14-14, как показано на фиг. 11. На фиг. 15 проиллюстрирован четвертый вид в поперечном разрезе корпуса сердцевины по линии 15-15, как показано на фиг. 11. Иллюстрации на фиг. 12-15 представляют виды сверху вниз корпуса сердцевины, показанного на фиг. 10, в разрезе вдоль разных параллельных плоскостей. Когда корпус сердцевины изготавливают путем аддитивного производства снизу вверх, секции, показанные на фиг. 12-15, могут указывать различные хронологические этапы процесса построения. Корпус сердцевины образован с использованием относительно тонких боковых стенок для эффективности печати путем ограничения количества материала для печати и для обеспечения относительно больших перепускных каналов внутри и снаружи ячеек для ограничения сопротивления потоку текучей среды и перепада давления.

Секция корпуса сердцевины, показанная на фиг. 12, содержит круг 900 в радиальном центре и шесть полукругов 902, окружающих центральный круг. Эти формы представляют собой части семи элементарных ячеек в первом ряду корпуса сердцевины. Три меньших круглых отверстия 904 треугольно расположены вокруг центрального круга. Небольшие отверстия представляют собой части лунок нижних конусов элементарных ячеек в ряду выше. Круглые сегменты 906 боковых стенок, определяющие небольшие отверстия, являются частями нижних конусов, показанных на фиг. 11.

Секция корпуса сердцевины, показанная на фиг. 13, содержит три полные элементарные ячейки и три частичные периферийные элементарные ячейки, расположенные во втором ряду над ячейками первого ряда, показанного на фиг. 12. Элементарные ячейки во втором ряду разделены линией разреза 13-13. Три полные элементарные ячейки разнесены друг от друга в треугольной компоновке. Внешние перепускные каналы определяются в пространствах между элементарными ячейками во втором ряду. В одном варианте реализации каждая из полных элементарных ячеек построена поверх и индивидуально соединена (через края отверстий) с несколькими элементарными ячейками в нижележащем ряду. Каждая полная элементарная ячейка может быть расположена над частями трех нижележащих элементарных ячеек.

Внутри круглого контура каждой элементарной ячейки находится часть 910 боковой стенки, расположенная между несколькими отверстиями. Эта часть определяет основание или нижнюю часть элементарной ячейки и содержит нижний конус. На фиг. 13 часть боковой стенки, которая является видимой, имеет преимущественно треугольную форму и находится между тремя отверстиями. Три отверстия разнесены друг от друга под углом 120° по окружности элементарной ячейки. Нижний конус может быть расположен в центре и на равном расстоянии между тремя отверстиями, расположенными вокруг треугольной части. Каждое из трех отверстий, видимых в каждой из полных элементарных ячеек, гидравлически соединено с другой элементарной ячейкой в ряду ниже. Например, отверстия соединяют каждую элементарную ячейку с тремя нижележащими элементарными ячейками, над которыми соответствующая элементарная ячейка по меньшей мере частично проходит и перекрывается. Когда первая текучая среда протекает через внутренний перепускной канал соответствующей элементарной ячейки, первая текучая среда разветвляется в трех направлениях на три соединенные ячейки. На фиг. 13 также показана верхняя часть верхнего конуса расположенной по центру элементарной ячейки.

Секция корпуса сердцевины, показанная на фиг. 14, содержит три полные элементарные ячейки и три частичные периферийные элементарные ячейки в третьем ряду, расположенные поверх элементов во втором ряду. Расположение элементарных ячеек в третьем ряду обратно (например, перевернуто по отношению к) расположению элементарных ячеек во втором ряду. Например, три полных элементарных ячейки на фиг. 14 расположены треугольно, как и на фиг. 13, но треугольник перевернут на 180° по от-

ношению к треугольному расположению на фиг. 13. В одном варианте реализации боковые стенки полных единичных элементов имеют три отверстия, которые гидравлически соединяют соответствующую элементарную ячейку с тремя разными элементарными ячейками в ряду выше. Например, ячейка 212a во втором ряду гидравлически соединена с тремя ячейками 212b, 212c, 212d в третьем ряду. Полные элементарные ячейки в соответствии с иллюстрированным вариантом реализации содержат в итоге шесть отверстий, включая три отверстия, которые соединяются с ячейками в ряду ниже, и три отверстия, которые соединяются с ячейками в ряду выше. Первая текучая среда может проникать в элементарную ячейку через одно или более отверстий и может выходить из элементарной ячейки через одно или более других отверстий.

На фиг. 15 представлен вид сверху корпуса сердцевины, показывающий верхний конец. Верхняя часть корпуса сердцевины содержит несколько неполных элементарных ячеек в четвертом ряду корпуса сердцевины над элементарными ячейками в третьем ряду, которые показаны в поперечном разрезе на фиг. 14. Элементарные ячейки, показанные на фиг. 15, имеют аналогичное расположение и формы, как элементарные ячейки в первом ряду, показанном на фиг. 12. В одном варианте реализации каждый ряд элементарных ячеек в корпусе сердцевины имеет одно из трех расположений ячеек, и ряды чередуются через три расположения ячеек в повторяющейся схеме вдоль высоты корпуса сердцевины. Элементарные ячейки могут быть расположены в другом количестве повторяющихся конфигураций в альтернативном варианте реализации.

На фиг. 16 представлен вид в поперечном разрезе корпуса сердцевины, показанного на фиг. 11, с увеличенными областями, показывающими верхний и нижний конусы 832, 826 в соответствии с одним вариантом реализации. В проиллюстрированном варианте реализации нижний конус больше верхнего конуса. Например, основание нижнего конуса шире основания верхнего конуса. Нижний конус также имеет большую высоту от основания до вершины, чем верхний конус. Лунка 828 нижнего конуса имеет больший объем, чем лунка 834 верхнего конуса. Нижний конус может быть больше верхнего конуса из соображений пригодности для печати. В альтернативном варианте верхний и нижний конусы могут иметь одинаковые размеры или верхние конусы могут быть больше нижних конусов.

Корпус сердцевины может быть изготовлен с тонкими стенками по всему корпусу. Например, толщина стенки боковых стенок может составлять менее 3 мм даже в самых толстых секциях. В одном варианте реализации толщина боковых стенок составляет от 0,3 до 1,5 мм (включая конечные точки). Диаметр отверстий может быть значительно больше толщины стенки, например по меньшей мере 3 мм. В одном варианте реализации отверстия могут иметь толщину стенки по меньшей мере в десять раз больше, например до 15 мм или более. Толщина боковых стенок необязательно может варьироваться в пределах этого относительно узкого диапазона. Например, боковые стенки вдоль нижнего конуса могут быть толще, чем сегменты боковых стенок, отходящие от нижнего конуса. Необязательно, боковые стенки вдоль верхнего конуса также могут быть толще, чем сегменты боковых стенок, отходящие от верхнего конуса. Толщина стенки нижнего конуса может быть больше толщины стенки верхнего конуса, чтобы поддерживать больший размер и больший изгиб нижнего конуса по отношению к верхнему конусу.

Тонкие стенки позволяют корпусу сердцевины иметь относительно большие элементарные ячейки и отверстия. Например, размеры элементарной ячейки для полных ячеек, не искривленных по периферии корпуса сердцевины, могут составлять от 10 до 30 мм. Для сферических элементарных ячеек размер элементарной ячейки относится к внутреннему диаметру боковых стенок. В одном неограничивающем примере размер элементарной ячейки составляет около 20 мм. Размеры ячейки могут быть выбраны на основании специфических для применения факторов, такие как свойства расхода текучей среды и передачи, а не соображений пригодности для печати. Например, известные корпуса сердцевины с повторяющейся геометрией имеют значительно меньшие размеры ячеек, чтобы избежать использования внутренних опорных конструкций внутри корпуса сердцевины, или, альтернативно, имеют большие размеры ячеек, но включают внутренние опорные конструкции. Известные корпуса сердцевины не включают большие размеры ячеек без внутренних опорных конструкций.

На фиг. 17 проиллюстрирована блок-схема одного примера способа 1000 создания передающего устройства или его компонента. Способ можно использовать для создания одного или более вариантов реализации передающего устройства, показанного и/или описанного в данном документе. Способ может выполняться системой аддитивного производства, такой как система трехмерной печати, которая автоматически печатает передающее устройство с использованием входного файла, такого как файл STL, OBJ, AMF, 3MF или аналогичный файл. На этапе 1002 на рабочую поверхность наносят слой материала. Например, первый слой материала, используемого для образования передающего устройства, может быть напечатан на рабочей поверхности из одной или более нитей. На этапе 1004 на нижележащий слой материала наносят дополнительный слой материала. Этот дополнительный слой может быть по меньшей мере частично напечатан на слое материала, который был нанесен до этого дополнительного слоя. На этапе 1006 принимают решение о том, завершено ли производство передающего устройства. Если необходимо нанести дополнительные слои для завершения образования всего передающего устройства, то процесс выполнения способа может вернуться к этапу 1004, чтобы можно было нанести один или более дополнительных слоев, как описано выше (до завершения создания передающего устройства). Слои мо-

гут быть последовательно нанесены по меньшей мере частично друг на друга для образования форм оболочки, гибкой диафрагмы и корпуса сердцевины. Под фразой "по меньшей мере частично" подразумевается, что весь слой или меньше, чем весь слой, может быть напечатан поверх нижележащего слоя. Если создание передающего устройства завершено, то процесс выполнения способа может переходить к этапу 1008. На этапе 1008 передающее устройство удаляют с рабочей поверхности. Затем передающее устройство можно использовать для передачи энергии и/или компонентов между текучими средами, как описано выше.

Необязательно, способ 1000 можно использовать для образования компонента передающего устройства, такого как корпус сердцевины, без образования по меньшей мере одного другого компонента передающего устройства. Например, корпус сердцевины может быть изготовлен способом аддитивного производства путем последовательного нанесения слоев материала по меньшей мере частично друг на друга в направлении построения. Аддитивное производство может быть выполнено с помощью системы трехмерной печати в соответствии с инструкциями во входном проектном файле для изготовления корпуса сердцевины в соответствии с вариантами реализации, описанными в данном документе. Например, способ может быть выполнен для печати корпуса сердцевины, показанного на фиг. 10-16.

Подходящие процессы включают, например, лазерное сплавление в порошковом слое, сплавление в порошковом слое с помощью электронного луча, осаждение материала при помощи направленного энергетического воздействия (DED; directed energy deposition) и струйную печать связующим веществом. Лазерное сплавление в порошковом слое включает нанесение слоя порошка на модельную пластину и сплавление селективных частей мощности с использованием иттербиевого волоконного лазера, который сканирует шаблон САПР. Лазерное сплавление в порошковом слое может включать селективное лазерное плавление или спекание. По меньшей мере части корпуса сердцевины и/или передающего устройства могут быть напечатаны с использованием DED, который печатает с очень высокой скоростью. Например, DED можно использовать для печати оболочки передающего устройства, которая затем может быть сплавлена непосредственно с гибкой диафрагмой, которая соединяется с корпусом сердцевины. Струйная печать связующим веществом создает часть путем переслаивания металлического порошка и полимерного связующего, которые связывают частицы и слои вместе без использования лазерного нагрева. Материал корпуса сердцевины может быть выбран на основании, по меньшей мере частично, предлагаемого способа аддитивного производства. Например, связующие струйным путем материалы, которые включают связующее вещество и металл (или керамику, или металлокерамику), могут создавать необработанную форму (например, форму до спекания). Необработанная форма может иметь окончательную форму или может быть образована таким образом, что спеченная форма представляет собой окончательную форму.

Корпус сердцевины передающего устройства в соответствии с вариантами реализации, описанными в данном документе, представляет собой трехмерную конструкцию с сетью взаимосвязанных элементарных ячеек, расположенных в виде регулярной, повторяющейся схемы. Свойства и характеристики корпуса сердцевины могут быть выбраны на основании специфических для применения параметров и требуемой функциональности. Например, такие свойства, как форма отдельных (и повторяющихся) ячеек внутри конструкции, могут быть выбраны для увеличения прочности конструкции, теплопроводности, объема потока или расхода через корпус сердцевины, площади поверхности для взаимодействий текучей среды и мембраны и т.п. Необязательно, углы или наклоны боковых стенок, толщина боковых стенок, состав материала боковых стенок, размер боковых стенок и другие характеристики боковых стенок, такие как плотность, относительная плотность, пористость и т.п., могут быть выбраны для получения требуемой прочности, проводимости, площади поверхности, плотности, способности теплопередачи и т.д. Относительная плотность представляет собой плотность материала, деленную на плотность корпуса сердцевины. Пористость представляет собой измерение количества пустотного материала (например, воздуха), занимающего объем.

Свойства могут быть одинаковыми по всему корпусу сердцевины. Альтернативно, могут изменяться по высоте, радиальной толщине и т.п. корпуса сердцевины таким образом, что одно или более свойств в одной области корпуса сердцевины могут отличаться от других областей корпуса сердцевины. Элементарные ячейки могут различаться по форме, размеру, толщине или расстоянию по всей конструкции сердцевины для улучшения рабочих характеристик теплообменника. Например, размеры элементарных ячеек (например, диаметры), диаметры отверстий, расстояние между элементарными ячейками, соотношения между размерами внутренних перепускных каналов и внешних перепускных каналов и/или толщины боковых стенок можно селективно изменять для управления потоком текучей среды, теплопередачей, передачей материала (например, фильтрованием) внутрь боковых стенок и/или через боковые стенки и/или т.п. Изменение сопротивления потоку может помочь распространить текучей среды в областях, которые могут естественным образом принимать меньший поток текучей среды, чем другие области. В неограничивающем примере элементарные ячейки, расположенные ближе к радиальному центру корпуса сердцевины, могут быть меньше или ближе друг к другу, чем элементарные ячейки, расположенные ближе к периферии или внешней стороне корпуса сердцевины. Небольшие размеры могут увеличить сопротивление потоку через более центрально расположенные внутренние перепускные каналы и/или

внешние перепускные каналы, что может привести к перемещению большего количества текучей среды к периферии.

Корпус сердцевины может быть образован из по меньшей мере одного пластикового, керамического и/или металлического материала. Пластиковый материал может включать или представлять собой эпоксидную смолу, сложный виниловый эфир, сложный полиэфирный терморезистивный полимер (например, полиэтилентерефталат (ПЭТФ)), полипропилен и т.п. Керамический материал может включать или представлять собой диоксид кремния, оксид алюминия, нитрид кремния и т.п. Металлический материал может включать или представлять собой алюминиевые сплавы, титановые сплавы, кобальт-хромовые сплавы, нержавеющую сталь, никелевые сплавы и т.п. Корпус сердцевины может быть композитным, содержащим смесь нескольких материалов, таких как пластик с керамикой, керамика с металлом (известный как композитный материал кернета) и/или пластик с металлом. Необязательно, корпус сердцевины может представлять собой армированный композит, такой как пластик, армированный волокном. Пластик, армированный волокном, может содержать волокна, встроенные в матричный слой пластика. Волокна могут представлять собой углеродные волокна, стеклянные волокна, арамидные волокна (например, Kevlar®), базальтовые волокна, природные биологические волокна, такие как бамбук, и/или т.п. Армированный композит может быть армирован другими формами материала, отличными от волокон, такими как порошок или полосы в других вариантах реализации. Армирующие элементы могут быть встроены в любой из пластиков, перечисленных выше. Композитный материал кернета может состоять из любого из керамических материалов и металлов, перечисленных выше. Для процесса аддитивной печати материалы могут быть обеспечены в форме частиц, например, в виде порошка, и система печати селективно сплавляет частицы вместе для образования каждого слоя твердой модельной части.

Системой аддитивного производства и/или инструментами послепечатной обработки можно управлять, чтобы обеспечить корпус сердцевины особой отделкой поверхности, которая влияет на то, как корпус сердцевины взаимодействует с текучими средами, протекающими через корпус сердцевины. Например, более грубая отделка поверхности может увеличить сопротивление потоку, увеличить теплопередачу и/или увеличить передачу материала через боковые стенки по сравнению с более гладкой отделкой поверхности. Необязательно, отделка поверхности может варьироваться вдоль корпуса сердцевины для селективного управления потоком текучей среды и/или условиями передачи по всему корпусу сердцевины.

В одном или более вариантах реализации теплопередающее устройство содержит внешнюю оболочку, внутренний корпус теплопередающей сердцевины и гибкую диафрагму, соединяющую и проходящую от корпуса сердцевины к внутренней поверхности внешней оболочки. Оболочка содержит первое впускное отверстие, в которое может поступать первая текучая среда, второе впускное отверстие, в которое может поступать вторая текучая среда, первое выпускное отверстие, через которое первая текучая среда направляется из оболочки, и второе выпускное отверстие, через которое вторая текучая среда направляется из оболочки. Корпус сердцевины образует первые внутренние перепускные каналы и вторые внутренние перепускные каналы, которые отделены друг от друга. Первые внутренние перепускные каналы гидравлически соединяют первое впускное отверстие с первым выпускным отверстием, а вторые внутренние перепускные каналы гидравлически соединяют второе впускное отверстие со вторым выпускным отверстием. Гибкая диафрагма образует гибкий переход между каждым из первого впускного отверстия и второго впускного отверстия оболочки и корпусом сердцевины. Гибкая диафрагма также образует уплотнение, которое предотвращает протекание первой текучей среды, протекающей через первые внутренние перепускные каналы, во вторые внутренние перепускные каналы корпуса сердцевины.

Гибкая диафрагма может иметь изогнутую коническую форму от оболочки до корпуса сердцевины. Гибкая диафрагма может проходить внутрь от внутренней поверхности оболочки к корпусу сердцевины. Гибкая диафрагма может сопрягаться с внутренней поверхностью оболочки и может включать внутреннее скругление и внешнее скругление на противоположных сторонах границы сопряжения между гибкой диафрагмой и оболочкой. Внутреннее скругление может иметь меньший радиус кривизны, чем внешнее скругление.

Оболочка, корпус сердцевины и гибкая диафрагма могут представлять собой единый монолитный корпус. Гибкая диафрагма может быть тоньше внешней оболочки. Внутренняя поверхность гибкой диафрагмы, обращенная к корпусу сердцевины, может быть ориентирована под углом менее сорока пяти градусов к внутренней поверхности внешней оболочки. Внешняя поверхность гибкой диафрагмы, обращенная в сторону от корпуса сердцевины, может быть ориентирована под углом более сорока пяти градусов к внутренней поверхности внешней оболочки.

Корпус сердцевины может передавать тепловую энергию между первой текучей средой, протекающей по первым внутренним перепускным каналам, и второй текучей средой, протекающей по вторым внутренним перепускным каналам, без смешивания первой текучей среды со второй текучей средой. Первые внутренние перепускные каналы корпуса сердцевины могут проходить между гибкой диафрагмой и внутренней поверхностью внешней оболочки.

В одном или более вариантах реализации теплопередающее устройство содержит монолитный корпус, образованный из внешней оболочки, внутреннего корпуса теплопередающей сердцевины и гибкой

диафрагмы, соединяющей и проходящей от корпуса сердцевины к внутренней поверхности внешней оболочки. Корпус сердцевины имеет первые внутренние перепускные каналы и вторые внутренние перепускные каналы, которые отделены от первых внутренних перепускных каналов. Корпус сердцевины может передавать тепловую энергию между первой текучей средой, протекающей по первым внутренним перепускным каналам, и второй текучей средой, протекающей по вторым внутренним перепускным каналам, без смешивания первой текучей среды со второй текучей средой. Гибкая диафрагма образует гибкий переход между каждым из первого впускного отверстия и второго впускного отверстия оболочки и корпусом сердцевины. Гибкая диафрагма также образует уплотнение, которое предотвращает протекание первой текучей среды во вторые внутренние перепускные каналы корпуса сердцевины.

Гибкая диафрагма может иметь изогнутую коническую форму от оболочки до корпуса сердцевины. Гибкая диафрагма может проходить внутрь от внутренней поверхности оболочки к корпусу сердцевины. Гибкая диафрагма может сопрягаться с внутренней поверхностью оболочки и может включать внутреннее скругление и внешнее скругление на противоположных сторонах границы сопряжения между гибкой диафрагмой и оболочкой. Внутреннее скругление может иметь меньший радиус кривизны, чем внешнее скругление.

Оболочка, корпус сердцевины и гибкая диафрагма могут представлять собой единый монолитный корпус. Гибкая диафрагма может быть тоньше внешней оболочки. Внутренняя поверхность гибкой диафрагмы, обращенная к корпусу сердцевины, может быть ориентирована под углом менее сорока пяти градусов к внутренней поверхности внешней оболочки, а внешняя поверхность гибкой диафрагмы, обращенная в сторону от корпуса сердцевины, может быть ориентирована под углом более сорока пяти градусов к внутренней поверхности внешней оболочки.

В одном или более вариантах реализации способ включает аддитивное производство теплопередающего устройства путем последовательного нанесения слоев материала друг на друга с образованием корпуса, имеющего внешнюю оболочку, внутренний корпус теплопередающей сердцевины и гибкую диафрагму, соединяющую и проходящую от корпуса сердцевины к внутренней поверхности внешней оболочки. Слои последовательно наносятся с образованием оболочки с первым впускным отверстием, выполненным с возможностью приема первой текучей среды, вторым впускным отверстием, выполненным с возможностью приема второй текучей среды, первым выпускным отверстием, через которое первая текучая среда направляется из оболочки, и вторым выпускным отверстием, через которое вторая текучая среда направляется из оболочки. Слои последовательно наносятся с образованием гибкой диафрагмы в качестве гибкого перехода между каждым из первого впускного отверстия и второго впускного отверстия оболочки и корпусом сердцевины. Слои последовательно наносятся с образованием гибкой диафрагмы в качестве уплотнения, которое предотвращает протекание первой текучей среды во вторые внутренние перепускные каналы корпуса сердцевины.

Формы единственного числа включают упоминание форм множественного числа, если контекст явно не указывает иное. "Необязательный" или "необязательно" означает, что описанное впоследствии событие или обстоятельство может произойти или не произойти, и что описание может включать случаи, когда событие происходит, и случаи, когда оно не происходит. Аппроксимирующие формулировки, используемые во всем описании и формуле изобретения, могут применяться для модификации любого количественного представления, которое может допустимо варьироваться, не приводя к изменению основной функции, с которой оно может быть связано. Соответственно, значение, модифицированное термином или терминами, такими как "около", "по существу" и "приблизительно", может не ограничиваться точно указанным значением. По меньшей мере, в некоторых случаях аппроксимирующие формулировки могут соответствовать точности инструмента для измерения значения. В данном документе и во всем описании и формуле изобретения ограничения диапазонов могут быть объединены и/или заменены, такие диапазоны могут быть идентифицированы и включать все содержащиеся в них поддиапазоны, если контекст или формулировки не указывают иное.

В этом письменном описании приведены примеры для раскрытия вариантов реализации, включая наилучший вариант, и для того, чтобы дать возможность специалисту в данной области техники применять варианты реализации на практике, включая создание и использование любых устройств или систем и выполнение любых включенных способов. Формула изобретения определяет патентоспособный объем данного изобретения и включает другие примеры, которые становятся очевидными для специалистов в данной области техники. Предполагается, что такие другие примеры входят в объем формулы изобретения, если они имеют структурные элементы, которые не отличаются от буквальных формулировок формулы изобретения, или если они включают эквивалентные структурные элементы с несущественными отличиями от буквальных формулировок формулы изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Теплопередающее устройство, содержащее монолитный корпус, образованный из внешней оболочки, внутреннего корпуса теплопередающей сердцевины и гибкой диафрагмы, соединяющей и проходящей от корпуса сердцевины к внутренней поверхности внешней оболочки,

причем корпус сердцевины имеет первые внутренние перепускные каналы и вторые внутренние перепускные каналы, которые отделены от первых внутренних перепускных каналов, и корпус сердцевины выполнен с возможностью передачи тепловой энергии между первой текучей средой, протекающей в первых внутренних перепускных каналах, и второй текучей средой, протекающей во вторых внутренних перепускных каналах, без смешивания первой текучей среды со второй текучей средой,

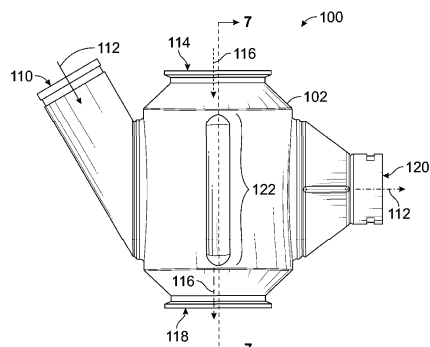
причем гибкая диафрагма образует гибкий переход между каждым из первого впускного отверстия и второго впускного отверстия оболочки и корпусом сердцевины, причем гибкая диафрагма также образует уплотнение, которое препятствует протеканию первой текучей среды во вторые внутренние перепускные каналы корпуса сердцевины.

2. Теплопередающее устройство по п.1, в котором гибкая диафрагма имеет изогнутую коническую форму от оболочки к корпусу сердцевины.

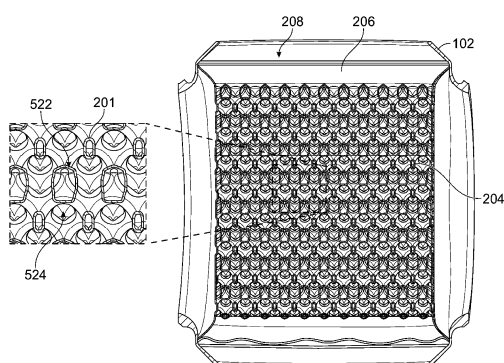
3. Теплопередающее устройство по п.1, в котором гибкая диафрагма проходит внутрь от внутренней поверхности оболочки по направлению к корпусу сердцевины.

4. Теплопередающее устройство по п.1, в котором гибкая диафрагма сопрягается с внутренней поверхностью оболочки и включает внутреннее скругление и внешнее скругление на противоположных сторонах границы сопряжения между гибкой диафрагмой и оболочкой.

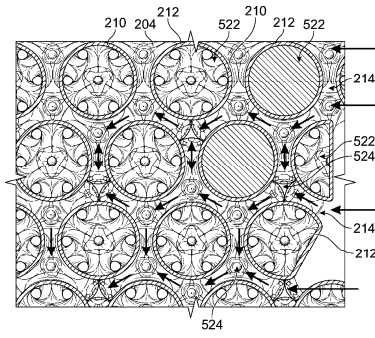
5. Теплопередающее устройство по п.4, в котором внутреннее скругление имеет меньший радиус кривизны, чем внешнее скругление.



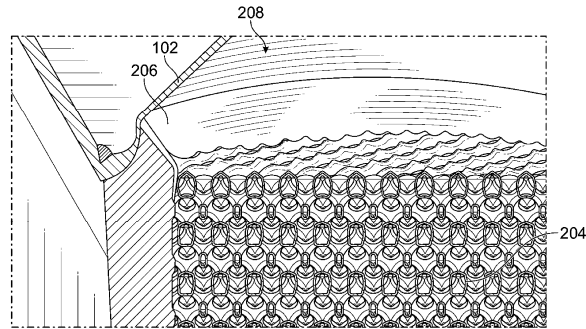
Фиг. 1



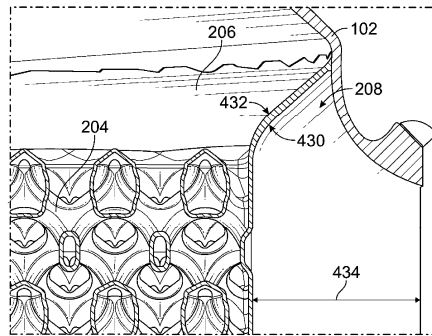
Фиг. 2



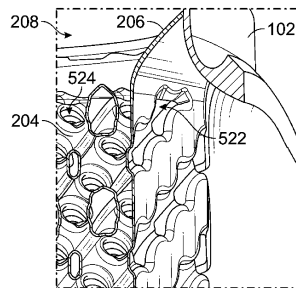
Фиг. 3



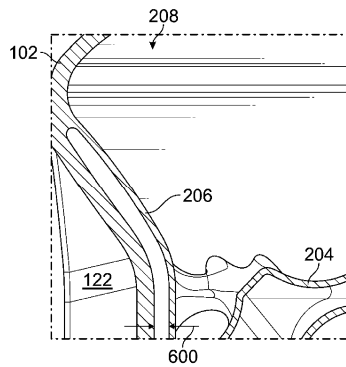
Фиг. 4



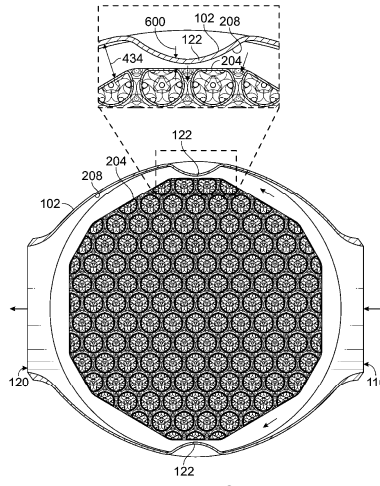
Фиг. 5



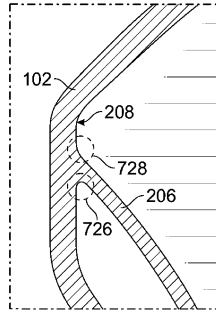
Фиг. 6



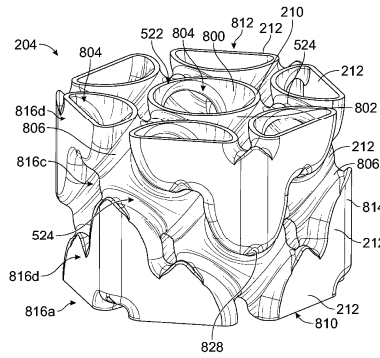
Фиг. 7



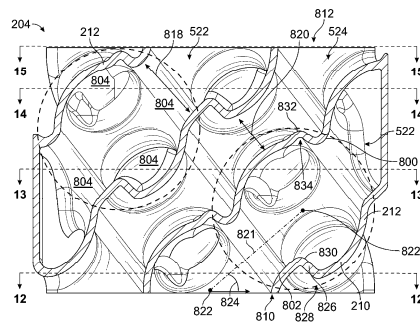
Фиг. 8



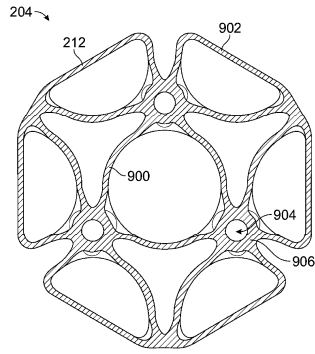
Фиг. 9



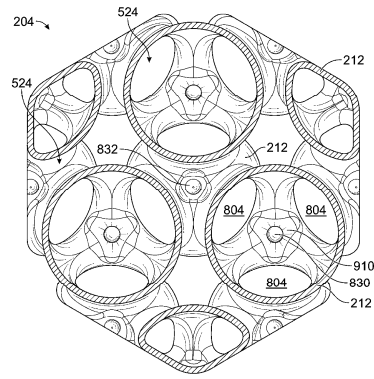
Фиг. 10



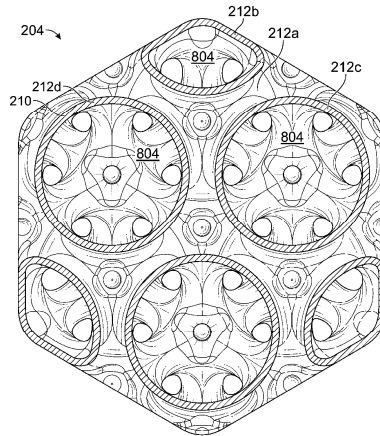
Фиг. 11



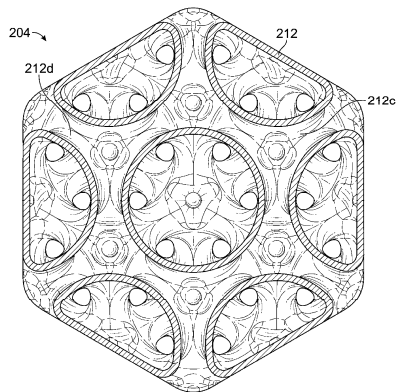
Фиг. 12



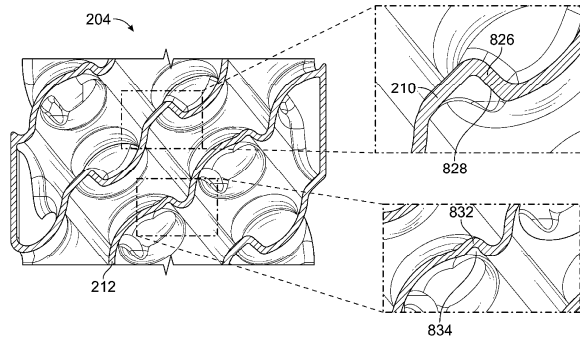
Фиг. 13



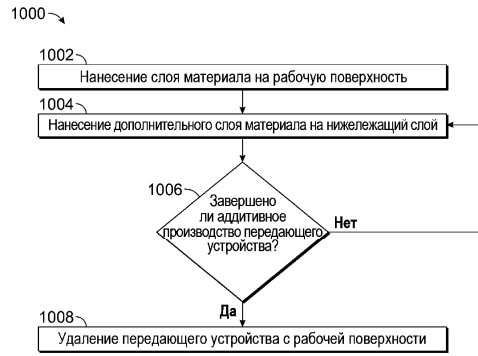
Фиг. 14



Фиг. 15



Фиг. 16



Фиг. 17