

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 202390061 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2023.03.21

(51) Int. Cl. *B01J 19/24* (2006.01)

(22) Дата подачи заявки
2021.06.24

(54) СТРУКТУРИРОВАННЫЙ КАТАЛИЗАТОР

(31) 20182507.2

(32) 2020.06.26

(33) EP

(86) PCT/EP2021/067344

(87) WO 2021/260108 2021.12.30

(71) Заявитель:
ТОПСЕЭ А/С (DK)

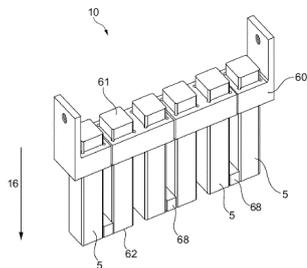
(72) Изобретатель:

Клайн Роберт, Хансен Андерс Хельбо,
Бо Михаэль, Мортенсен Петер
Мёльгаард, Гиде Томсен Сёрен (DK)

(74) Представитель:

Беляева Е.Н. (BY)

(57) Предусмотрен структурированный катализатор для катализа эндотермической реакции исходного газа с целью его преобразования в газообразный продукт.



A1

202390061

202390061

A1

СТРУКТУРИРОВАННЫЙ КАТАЛИЗАТОР

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

Предусмотрен структурированный катализатор, реакторная система и способ осуществления эндотермической реакции исходного газа, при котором тепло для эндотермической реакции обеспечивается нагревом сопротивлением.

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

Производство синтез-газа, как правило, происходит на крупных химических заводах из-за энергоемких реакций, необходимых для обеспечения производства. Это затрудняет мелкосерийное производство. Кроме того, токсичность синтез-газа (особенно из-за содержания монооксида углерода) затрудняет хранение синтез-газа и создает значительный риск.

Существует потребность в производстве синтез-газа в необходимых объемах на малых установках.

КРАТКОЕ ИЗЛОЖЕНИЕ СУЩНОСТИ ИЗОБРЕТЕНИЯ

В первом аспекте предоставлен структурированный катализатор для катализа эндотермической реакции исходного газа с целью его преобразования в газообразный продукт, причем указанный структурированный катализатор содержит, по меньшей мере, одну макроскопическую структуру из электропроводящего материала и, по меньшей мере, один соединитель, прикрепленный к, по меньшей мере, одной макроскопической структуре, причем макроскопическая структура поддерживает каталитически активный материал, при этом макроскопическая структура расположена в продольном направлении от передней части к задней, причем указанная передняя часть образует входное отверстие в указанную макроскопическую структуру для указанного исходного газа, а указанная задняя часть образует выходное отверстие для указанного газообразного продукта, при этом указанная макроскопическая структура содержит кольцевую стенку, окружающую внутреннее пространство, причем соединитель содержит первое средство зацепления для зацепления с внешней поверхностью кольцевой стенки первой макроскопической структуры, причем средство зацепления имеет внутреннюю поверхность, по форме совпадающую, по

меньшей мере, с частью внешней поверхности кольцевой стенки, причем средство зацепления прикреплено к внешней поверхности кольцевой стенки посредством посадки с натягом, причем структурированный катализатор содержит, по меньшей мере, две макроскопические структуры, причем соединитель содержит, по меньшей мере, два средства зацепления, каждое из которых входит в зацепление с одной из указанных макроскопических структур, и причем внутренние поверхности указанных средств зацепления расположены таким образом, чтобы позволить указанным макроскопическим структурам проходить параллельно продольному направлению.

В еще одном аспекте изобретения предусмотрена реакторная система для осуществления эндотермической реакции исходного газа, при этом данная реакторная система содержит следующие элементы:

- a) структурированный катализатор по первому аспекту изобретения;
- b) корпус высокого давления, в котором находится указанный структурированный катализатор, при этом указанный корпус высокого давления содержит входное отверстие для подачи исходного газа и выходное отверстие для отвода газообразного продукта, причем указанное входное отверстие расположено таким образом, что указанный исходный газ подается в переднюю часть, а указанный газообразный продукт выходит из задней части указанного структурированного катализатора;
- c) теплоизоляционный слой между указанным структурированным катализатором и указанным корпусом высокого давления;

В еще одном аспекте изобретения предусмотрено применение структурированного катализатора в соответствии с первым аспектом или реактора в соответствии со вторым аспектом, причем эндотермическая реакция выбрана из группы, включающей паровой риформинг метана, образование цианистого водорода, крекинг метанола, крекинг аммиака, обратную конверсию водяного газа и дегидрирование.

Дополнительные аспекты настоящей технологии изложены в следующем подробном описании, а также Фигурах и приложенной формуле изобретения.

ОПИСАНИЕ ФИГУР.

На Фигуре 1a показан поперечный разрез реакторной системы по изобретению со структурированным катализатором, содержащим набор макроскопических структур, в соответствии с одним вариантом осуществления изобретения;

На Фигуре 1b показана реакторная система, которая также приведена на Фигуре 1a, при этом на Фигуре 1b удалена часть корпуса высокого давления и теплоизоляционного слоя;

На Фигуре 2 приведен увеличенный вид части реакторной системы;

На Фигуре 3 показан структурированный катализатор, содержащий шесть макроскопических структур и четыре соединителя;

На Фигуре 4 показан соединитель;

На Фигуре 5 показан соединитель;

На Фигуре 6 показан структурированный катализатор, содержащий множество макроскопических структур и множество соединителей;

На Фигуре 7a показан соединитель;

На Фигуре 7b показан вид в разрезе соединителя, изображенного на Фигуре 8a;

На Фигуре 8 показан соединитель;

На Фигуре 9 показан соединитель; и

На Фигуре 10 показан структурированный катализатор, содержащий множество макроскопических структур, соединенных множеством соединителей, прикрепленных к макроскопическим структурам.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Реакторы с электрическим нагревом позволяют создавать очень компактные химические реакторы, поскольку тепло для реакции подается непосредственно в зону катализатора.

Компактный электрический реактор с использованием монолитного катализатора отличается простотой в эксплуатации и легкостью запуска, позволяя получать газ по необходимости. В результате он позволяет получить относительно

недорогой производственный объект, который может производить газ только в необходимых количествах и предполагает необходимость хранения лишь незначительных объемов газа, либо полное отсутствие мощностей для хранения, одновременно с этим значительно сокращая необходимость доставки газа или полностью устраняя ее. Простота технического устройства реактора и осуществления технологического процесса делают производство газа привлекательным для относительно универсальных по местоположению производственных объектов, что снижает риски, связанные с погрузкой-разгрузкой газа.

Вариант осуществления компактного электрического реактора включает структурированный катализатор, содержащий, по меньшей мере, одну макроскопическую структуру и, по меньшей мере, один соединитель, прикрепленный, по меньшей мере, к одной макроскопической структуре. Множественные макроскопических структур могут быть соединены друг с другом последовательно, что обеспечит желаемое электрическое сопротивление, соответствующее необходимой номинальной мощности от соответствующего источника питания.

Множественные макроскопические структуры должно быть соединены электрически. Электрическое подключение электрооборудования должно быть выполнено тщательно, чтобы не было разрыва цепи или повышенного сопротивления контактов в определенной точке, причем с повышением температуры эта проблема нарастает. Следовательно, типичные способы электрических соединений относительно неудобны, поскольку для известных способов, таких как сварка или пайка, необходимо пространство вокруг средства соединения, чтобы обеспечить хороший контакт.

Для еще большей оптимизации размера компактного электрического реактора пустоты в структурированном катализаторе могут быть сведены к минимуму.

Таким образом предоставлен структурированный катализатор для катализа эндотермической реакции исходного газа с целью его преобразования в газообразный продукт, причем указанный структурированный катализатор содержит, по меньшей мере, одну макроскопическую структуру из

электропроводящего материала и, по меньшей мере, один соединитель, прикрепленный к, по меньшей мере, одной макроскопической структуре, причем макроскопическая структура поддерживает каталитически активный материал, при этом макроскопическая структура расположена в продольном направлении от передней части к задней, причем указанная передняя часть образует входное отверстие в указанную макроскопическую структуру для указанного исходного газа, а указанная задняя часть образует выходное отверстие для указанного газообразного продукта, при этом указанная макроскопическая структура содержит кольцевую стенку, окружающую внутреннее пространство, причем соединитель содержит первое средство зацепления для зацепления с внешней поверхностью кольцевой стенки первой макроскопической структуры, причем средство зацепления имеет внутреннюю поверхность, по форме совпадающую, по меньшей мере, с частью внешней поверхности кольцевой стенки, причем средство зацепления прикреплено к внешней поверхности кольцевой стенки посредством посадки с натягом, причем структурированный катализатор содержит, по меньшей мере, две макроскопические структуры, причем соединитель содержит, по меньшей мере, два средства зацепления, каждое из которых входит в зацепление с одной из указанных макроскопических структур, и причем внутренние поверхности указанных средств зацепления расположены таким образом, чтобы позволить указанным макроскопическим структурам проходить параллельно продольному направлению.

Соединитель может быть прикреплен, по меньшей мере, к одной макроскопической структуре путем его прижатия к, по меньшей мере, одной макроскопической структуре. Две соседние макроскопические структуры могут быть прикреплены друг к другу посредством прижатия соединителя к этим двум соседним макроскопическим структурам. Это позволяет легко собрать большую матрицу из множества макроскопических структур, все из которых соединены электрически.

При прижатии соединителя к, по меньшей мере, одной макроскопической структуре, в результате чего средства зацепления прикрепляются к внешней поверхности кольцевой стенки посредством посадки с натягом, в структурированном катализаторе могут быть значительно уменьшены пустоты.

В контексте настоящего изобретения под «посадкой с натягом» (известной также как прессовая или фрикционная посадка) следует понимать крепление между двумя плотно прилегающими сопрягаемыми деталями для получения соединения, которое удерживается вместе за счет трения после того, как детали толкаются/прижимаются друг к другу. Соединитель и макроскопическая структура (структуры) могут быть соединены путем приложения динамического давления, например, при нажатии на одну часть с целью надеть/задвинуть ее на/в другую.

При креплении соединителя к макроскопической структуре посадкой с натягом средства зацепления и кольцевая стенка совпадают друг с другом в пределах 1 мм или менее в основной части соединения, измеренной перпендикулярно направлению соединительных плоскостей соединителя и макроскопической структуры, предпочтительно в пределах 0,1 мм или менее и еще более предпочтительно в пределах -0,1 мм. Под основной частью соединения понимают, по меньшей мере, 50%, предпочтительно, по меньшей мере, 75% и еще более предпочтительно 100% его окружности, т.е. вдоль внутренней поверхности средства зацепления и внешней поверхности кольцевой стенки. Если средство зацепления и кольцевая стенка совпадают друг с другом с отрицательным расстоянием в основной части соединения, то ожидается деформация основной части соединения, т.е. либо кольцевой стенки, либо средства зацепления соединителя. Если средство зацепления и кольцевая стенка совпадают друг с другом с положительным расстоянием в основной части соединения, то деформация не ожидается, поскольку эти две части прижимаются друг к другу без деформации.

Структурированный катализатор, содержащий, по меньшей мере, одну макроскопическую структуру и, по меньшей мере, один соединитель обеспечивает более простую схему производства с простой сборкой матрицы.

Макроскопическая структура поддерживает каталитически активный материал, который, по меньшей мере, частично может быть расположен на открытой поверхности макроскопической структуры.

Из-за непосредственной близости между каталитически активным материалом и макроскопической структурой возможен быстрый нагрев каталитически активного материала за счет теплопроводности твердого материала

от макроскопической структуры, нагреваемой сопротивлением. Важной особенностью процесса нагрева сопротивлением является то, что тепло генерируется внутри самого объекта, а не нагревается внешним источником тепла путем конвективного или кондуктивного теплообмена и/или радиационного нагрева. Кроме того, самая горячая часть реакторной системы, включающей структурированный катализатор, будет находиться внутри корпуса высокого давления реактора. Предпочтительно, источник электропитания и структурированный катализатор имеют такие размеры, что, по меньшей мере, часть структурированного катализатора достигает температуры 850 °С, предпочтительно 900 °С, более предпочтительно 1000 °С или даже более предпочтительно 1100 °С. Количество и состав каталитически активного материала могут быть адаптированы к реакции парового риформинга при данных рабочих условиях. Площадь поверхности макроскопической структуры, часть макроскопической структуры, покрытой керамическим покрытием, тип и структура керамического покрытия, а также количество и состав каталитического материала могут быть адаптированы к реакции парового риформинга при данных рабочих условиях. Однако следует отметить, что преимущественно практически вся поверхность макроскопической структуры имеет керамическое покрытие и предпочтительно все или большая часть керамического покрытия выступает в качестве подложки каталитически активного материала. Предпочтительно керамическое покрытие не имеют только те части макроскопической структуры, которые соединены с соединителем(-ями).

При использовании по тексту настоящего документа термин «макроскопическая структура» означает, что структура достаточно велика, чтобы ее можно было увидеть невооруженным глазом без увеличительных устройств. Как правило, макроскопическая структура имеет размеры в диапазоне от десятков сантиметров или до нескольких метров. Макроскопическая структура предпочтительно имеет такие размеры, чтобы они соответствовали, по меньшей мере, частично, внутренним размерам корпуса высокого давления, в котором размещен структурированный катализатор, что позволяет сэкономить место для теплоизоляционного слоя и проводников. Две или более макроскопических структур могут быть соединены, в результате чего получается набор макроскопических структур, по меньшей мере, один из внешних размеров которых находится в метровом диапазоне, например, по меньшей мере, один размер такого

набора макроскопических структур может составлять 0,5 м, 1 м, 2 м или 5 м. Такие Две или более макроскопических структур могут именоваться «набором макроскопических структур». В этом случае размеры набора макроскопических структур предпочтительно выполнены таким образом, что они соответствуют, по меньшей мере, частично, внутреннему размеру корпуса высокого давления, в котором размещен структурированный катализатор (экономия места для теплоизоляционного слоя). Предполагается, что такой набор макроскопических структур может занимать объем от 0,1 до 10 м³ или даже больший объем. «Структурированный катализатор» может содержать одну макроскопическую структуру или набор макроскопических структур, при этом на макроскопических структурах может быть расположено керамическое покрытие, которое выступает в качестве подложки каталитически активного материала. Если структурированный катализатор содержит набор макроскопических структур, такие макроскопические структуры могут быть электрически связаны между собой. Тем не менее, в качестве альтернативы макроскопические структуры могут быть электрически не связаны между собой. Таким образом, структурированный катализатор может содержать две или более макроскопических структур, расположенных рядом друг с другом. Макроскопические структуры могут быть изготовлены путем экструзии и спекания. В качестве альтернативы макроскопические структуры могут быть изготовлены по технологии объёмной печати и, при необходимости, путем спекания.

Макроскопические структуры могут иметь любые подходящие физические размеры; таким образом, высота может быть меньше ширины макроскопической структуры или наоборот.

Термин «передняя часть макроскопической структуры» означает ту часть макроскопической структуры, где осуществляется подача исходного газа в макроскопическую структуру, а термин «задняя часть макроскопической структуры» означает ту часть макроскопической структуры, где осуществляется выход газообразного продукта из макроскопической структуры.

На указанной макроскопической структуре может располагаться керамическое покрытие, при этом указанное керамическое покрытие может выступать в качестве подложки каталитически активного материала. Термин

«макроскопическая структура, имеющая керамическое покрытие» означает, что, по меньшей мере, часть поверхности макроскопической структуры покрыта керамическим материалом. Таким образом, этот термин не означает, что вся поверхность макроскопической структуры покрыта керамическим материалом; в частности, по меньшей мере, те части макроскопической структуры, которые электрически связаны с проводниками, не имеют керамического покрытия. Покрытие может представлять собой керамический материал с порами в структуре, что позволяет наносить каталитически активный материал на покрытие и внутри него. Преимущественно каталитически активный материал включает каталитически активные частицы, имеющие размер в диапазоне около 5 нм - 250 нм.

Макроскопическая структура может быть изготовлена путем экструзии смеси порошкообразных металлических частиц и связующего вещества до экструдированной структуры и последующего спекания экструдированной структуры, в результате чего получают материал с высоким отношением геометрической площади поверхности на объем. В качестве альтернативы макроскопическая структура может быть изготовлена по технологии объёмной печати. Предпочтительно структура, полученная путем экструзии или изготовленная по технологии объёмной печати, подвергается спеканию в восстановительной атмосфере. Керамическое покрытие, которое может содержать каталитически активный материал, можно наносить на макроскопическую структуру перед вторым спеканием в окислительной атмосфере для образования химических связей между керамическим покрытием и макроскопической структурой. В качестве альтернативы, каталитически активный материал может наноситься на керамическое покрытие путем пропитки после второго спекания. Когда между керамическим покрытием и макроскопической структурой образуются химические связи, может быть достигнута высокая теплопроводность между электрически нагреваемой макроскопической структурой и каталитически активным материалом, который расположен на керамическом покрытии, что обеспечивает тесный и почти прямой контакт между источником тепла и каталитически активным материалом структурированного катализатора. Из-за непосредственной близости между источником тепла и каталитически активным материалом осуществляется эффективная теплопередача, так что нагревание

структурированного катализатора может осуществляться с высокой эффективностью. Таким образом, можно добиться оптимальной обработки газа на единицу объема реакторной системы, поэтому реакторная система, содержащая структурированный катализатор, может быть компактной.

При использовании по тексту настоящего документа термины «технологии объёмной печати» и «3D-печать» означают технологию производства с использованием металлической добавки. Такие технологии производства с использованием металлической добавки включают процессы 3D-печати, при которых под автоматизированным управлением происходит соединение материала в определенную структуру с получением трехмерного объекта, в котором отверждение структуры осуществляется, например, путем спекания, с получением макроскопической структуры. Кроме того, такие технологии производства с использованием металлической добавки включают процессы 3D-печати, которые не требуют последующего спекания, например, технологию расплавления материала в заранее сформированном слое или технологию послойной электронно-лучевой плавки материала. Примерами таких технологий расплавления материала в заранее сформированном слое или послойной электронно-лучевой плавки являются процессы трехмерной печати с использованием лазерного луча, электронного луча или плазменной печати.

Электропроводящий материал включает Fe, Ni, Cu, Co, Cr, Al, Si или их сплавы. Такой сплав может содержать дополнительные элементы, такие как Mn, Y, Zr, C, Co, Mo или их комбинации. Предпочтительно электропроводящий материал содержит Fe, Cr, Al или их сплав. Такой сплав может содержать дополнительные элементы, такие как Si, Mn, Y, Zr, C, Co, Mo или их комбинации. Предпочтительно каталитически активный материал представляет собой частицы, имеющие размер 2 нм - 250 нм. Предпочтительно, проводники и электропроводящий материал изготовлены из различных материалов. Проводники могут быть изготовлены, например, из железа, никеля, алюминия, меди, серебра или их сплава. Керамическое покрытие представляет собой электроизоляционный материал и, как правило, имеет толщину в диапазоне около 100 мкм, например, 10 - 500 мкм.

Преимуществом представляется то, что электропроводящий материал для макроскопической структуры представляет собой когерентный или внутренне

цельный материал, что позволяет обеспечить электропроводность по всему электропроводящему материалу и, следовательно, теплопроводность по всему структурированному катализатору, в частности, для нагрева каталитически активного материала. С помощью когерентного или внутренне цельного материала можно обеспечить равномерное распределение тока в электропроводящем материале и, таким образом, равномерное распределение тепла внутри структурированного катализатора. По тексту настоящего документа термин «когерентный» является синонимом термина «связанный», таким образом, «когерентный» относится к материалу, который является внутренне цельным или обладает сцеплением. Из-за того, что структурированный катализатор представляет собой когерентный или внутренне цельный материал, обеспечивается контроль над электрической связностью внутри материала структурированного катализатора и, таким образом, обеспечивается проводимость электропроводящего материала. Следует отметить, что даже если выполняются дальнейшие модификации электропроводящего материала, например, прорези внутри частей электропроводящего материала или внедрение изолирующего материала в электропроводящий материал, электропроводящий материал по-прежнему представляет собой когерентный или внутренне цельный материал.

По меньшей мере, одна макроскопическая структура может содержать множество внутренних стенок во внутреннем пространстве, при этом такое множество внутренних стенок образует множество проточных каналов от передней части к задней части. Таким образом, макроскопическая структура может иметь несколько параллельных каналов, несколько непараллельных каналов и/или несколько каналов с меняющимся направлением, при этом каналы ограничены стенками. Таким образом, можно использовать несколько различных форм макроскопической структуры до тех пор, пока площадь поверхности структурированного катализатора, на которую воздействует газ, будет максимальной. В предпочтительном варианте осуществления макроскопическая структура имеет параллельные каналы, поскольку такие параллельные каналы обеспечивают очень небольшой перепад давления в структурированном катализаторе. В предпочтительном варианте осуществления параллельные продольные каналы расположены под углом относительно продольной оси макроскопической структуры. Таким образом, молекулы газа, поступающего через

макроскопическую структуру, будут ударяться о стенки внутри каналов, а не просто поступать прямо через канал без соприкосновения со стенкой. Размер каналов должен быть таким, чтобы обеспечить достаточное сопротивление макроскопической структуры. Например, каналы могут быть квадратными (в поперечном сечении, перпендикулярном каналам) с длиной стороны 1 - 3 мм, однако также возможны каналы с максимальной протяженностью в поперечном сечении примерно до 4 см. Толщина стенок может, например, составлять 0,2 - 2 мм, например, около 0,5 мм, а толщина керамического покрытия, расположенного на стенках, может составлять 10 мкм - 500 мкм, например, 50 мкм - 200 мкм, например, 100 мкм. В еще одном варианте осуществления макроскопическая структура структурированного катализатора имеет поперечное гофрирование.

В целом, когда макроскопическая структура изготовлена путем экструзии или по технологии объёмной печати, перепад давления от входа к выходу из реакторной системы может быть значительно снижен по сравнению с реактором, в котором материал катализатора находится в виде окатышей.

Макроскопическая структура содержит кольцевую стенку, которой окружено внутреннее пространство, где может проходить множество каналов.

Соединитель содержит первое средство зацепления для зацепления с внешней поверхностью кольцевой стенки первой макроскопической структуры. Для облегчения прикрепления соединителя к первой макроскопической структуре посредством посадки с натягом средство зацепления соединителя имеет внутреннюю поверхность, форма которой соответствует, по меньшей мере, части внешней поверхности кольцевой стенки.

При придавливании соединителя к макроскопической структуре внешняя поверхность кольцевой стенки может деформироваться за счет посадки с натягом, благодаря чему обеспечивается последовательной постоянное механическое соединение при использовании структурированного катализатора.

Электрическое соединение между соединителем и макроскопической структурой может усиливаться деформируемым материалом, который используется, по меньшей мере, в части кольцевой стенки. Деформируемый материал может использоваться, например, в канавке на внешней поверхности кольцевой стенки. В качестве альтернативы, деформируемый материал может

использоваться в качестве слоя, покрывающего, по меньшей мере, часть внешней поверхности кольцевой стенки. В соответствии с одним из вариантов осуществления изобретения в качестве деформируемого материала может применяться фольга, изготовленная из Ag или Sn.

Электрическое соединение между соединителем и макроскопической структурой, в качестве альтернативной или дополнительной опции, может укрепляться за счет сварки или пайки части соединителя и макроскопической структуры вдоль части линии посадки с натягом.

Соединитель может образовывать электрическое соединение, по меньшей мере, с одной макроскопической структурой при температурах, превышающих 100°C, предпочтительно 300°C.

Средство зацепления может быть выполнено в виде сквозного отверстия в соединителе, что позволяет части макроскопической структуры частично пройти через соединитель при соединении посредством посадки с натягом. Макроскопическая структура может быть прикреплена, например, за переднюю часть впритык с одной стороны соединителя, в то время как часть макроскопической структуры, на которой находится ее задняя часть, выходит с противоположной стороны соединителя. В альтернативном варианте осуществления изобретения средство зацепления может быть выполнено в виде полости в соединителе, что позволяет частично вставить часть макроскопической конструкции в соединитель при соединении посредством посадки с натягом.

В предпочтительном варианте осуществления изобретения, по меньшей мере, одна макроскопическая структура имеет практически квадратную форму в поперечном сечении, перпендикулярном продольному направлению. Однако следует понимать, что, по меньшей мере, одна макроскопическая структура может также иметь другие формы поперечного сечения, такие как треугольная, круглая, овальная, пятиугольная, шестиугольная, формы других многоугольников и т.д.

В предпочтительном варианте осуществления изобретения внутренняя поверхность средства зацепления образует пространство зацепления, которое имеет практически квадратную форму в поперечном сечении, перпендикулярном продольному направлению, в результате чего она соответствует предпочтительной форме внешней поверхности кольцевой стенки макроскопической структуры.

Однако следует понимать, что внутренняя поверхность средства зацепления может также образовывать пространство зацепления с иными формами поперечного сечения, такими как треугольная, круглая, овальная, пятиугольная, шестиугольная, формы других многоугольников и т.д., в результате чего она соответствует форме внешней поверхности кольцевой стенки.

На соединителе имеется, по меньшей мере, два средства зацепления, например, два средства зацепления, три средства зацепления, четыре средства зацепления или даже больше средств зацепления. Устройство средства зацепления позволяет макроскопическим структурам, прикрепленным к соединителю, располагаться практически параллельно друг другу, если эти макроскопические структуры прикреплены к соединителю посредством посадки с натягом между внутренней поверхностью средства зацепления и внешней поверхностью кольцевой стенки. Таким образом, прикреплены могут быть две макроскопические структуры, которые могут располагаться практически параллельно друг другу. При этом в вариантах осуществления изобретения, где у соединителя имеется три средства зацепления, прикреплены могут быть три макроскопические структуры, которые могут располагаться практически параллельно друг другу.

В одном варианте осуществления соединитель прикреплен, по меньшей мере, к двум макроскопическим структурам на первом расстоянии от передней части, тогда как к внешней поверхности кольцевой стенки этих макроскопических структур на втором расстоянии от задней части прикреплен дополнительный соединитель. Расстояние между соединителем и дополнительным соединителем, по меньшей мере, в два раза превышает первое расстояние и, по меньшей мере, в два раза превышает второе. Первое расстояние и/или второе расстояние могут быть равны приблизительно нулю, в результате чего, по меньшей мере, один соединитель и дополнительный соединитель прикрепляются, по меньшей мере, к двум макроскопическим структурам таким образом, что, по меньшей мере, один соединитель и дополнительный соединитель расположены впритык к передней и, соответственно, задней части.

Следует понимать, что соединитель, например, может быть прикреплен к первой и ко второй макроскопической структуре структурного катализатора, содержащего более двух макроскопических структур. Дополнительный

соединитель аналогичным образом может быть прикреплен к первой и второй макроскопической структуре. Тем не менее, в альтернативном варианте осуществления дополнительный соединитель может быть прикреплен ко второй макроскопической и к третьей макроскопической структурам, причем нумерация макроскопических структур здесь соответствует порядку их расположения в ряд, перпендикулярный продольному направлению. Таким образом, первая макроскопическая структура расположена рядом со второй макроскопической структурой, которая расположена между первой и третьей макроскопическими структурами. Четвертая макроскопическая структура может быть расположена рядом с третьей макроскопической структурой. Две макроскопические структуры, расположенные рядом друг с другом при прикреплении к соединителю, можно называть соседними макроскопическими структурами.

В предпочтительном варианте осуществления изобретения соединитель прикреплен, по меньшей мере, к одной макроскопической структуре в передней части, тогда как дополнительный соединитель прикреплен, по меньшей мере, к одной макроскопической структуре в задней части.

Дополнительный соединитель образуется электропроводящим материалом для создания электрического соединения между двумя соседними макроскопическими структурами.

Соединитель может быть расположен таким образом, что два средства зацепления, находящиеся рядом друг с другом, расположены друг от друга на расстоянии в диапазоне 2 - 10 мм, которое обеспечивает зазор между двумя макроскопическими структурами в том же диапазоне, когда две макроскопические структуры прикреплены к соединителю посадкой с натягом. Расстояние зазора может зависеть, по меньшей мере, от одного из следующих факторов: размера макроскопических структур, размера соединителя, размера реактора, в котором должен использоваться структурированный катализатор, и разновидности процесса, а также температурного диапазона.

Помимо прикрепления соединителя к двум или более макроскопическим структурам, в результате чего макроскопические структуры расположены практически параллельно, к соединителю могут быть прикреплены две или более макроскопические структуры для удлинения макроскопической структуры в

продольном направлении, т.е. для увеличения длины макроскопической(их) структур(ы). Это может быть достигнуто за счет прикрепления, по меньшей мере, двух макроскопических структур друг к другу в продольном направлении при помощи соединителя, при этом соединитель прикреплен к передней часть одной из макроскопических структур и к задней части посадкой с натягом между внутренней поверхностью средства зацепления и внешней поверхностью кольцевой стенки обеих макроскопических структур.

В предпочтительном варианте осуществления изобретения коэффициент теплового расширения материала соединителя равен или меньше коэффициента теплового расширения материала кольцевой стенки макроскопической структуры. За счет этого можно обеспечить, чтобы посадка с натягом сохранялась при более высоких температурах во время использования структурированного катализатора.

Соединитель может быть образован из сплава, включающего одно или более веществ, выбранных из группы, состоящей из Fe, Cr, Al, Co, Ni, Zr, Cu, Ti, Mn и Si. Соединитель(и) может иметь керамическое покрытие, обеспечивающее электрическую изоляцию одного соединителя от другого.

Соединитель может иметь толщину, определяемую как размер соединителя от его внутренней поверхности до внешней поверхности в направлении, перпендикулярном внутренней поверхности, при этом толщина находится в диапазоне 1 - 10 мм.

Соединитель может иметь высоту, определяемую как размер соединителя в продольном направлении, при этом высота находится в диапазоне 3 - 50 мм.

В предпочтительном варианте осуществления изобретения электропроводящий материал макроскопической структуры представляет собой сплав, включающий одно или более веществ, выбранных из группы, состоящей из Fe, Cr, Al, Co, Ni, Zr, Cu, Ti, Mn и Si.

Макроскопическая структура может иметь длину, определяемую как размер макроскопической структуры в продольном направлении, при этом длина находится в диапазоне 0,1 - 5 мм. В вариантах осуществления, в которых две макроскопические структуры соединены соединителем в продольном

направлении, удлиненная макроскопическая структура за счет этого может иметь длину до 10 м.

Предусмотрена реакторная система для осуществления эндотермической реакции исходного газа, при этом данная реакторная система содержит следующие элементы:

- a) структурированный катализатор в соответствии с описанием выше;
- b) корпус высокого давления, в котором находится указанный структурированный катализатор, при этом указанный корпус высокого давления содержит входное отверстие для подачи исходного газа и выходное отверстие для отвода газообразного продукта, причем указанное входное отверстие расположено таким образом, что указанный исходный газ подается в переднюю часть, а указанный газообразный продукт выходит из задней части указанного структурированного катализатора;
- c) теплоизоляционный слой между указанным структурированным катализатором и указанным корпусом высокого давления;

Следует понимать, что специалисту в данной области будет легко подтвердить, что любой признак, описанный в сочетании со структурированным катализатором, также может быть объединен с реакторной системой для проведения эндотермической реакции исходного газа и обратной реакции.

Описанный выше структурированный катализатор очень хорошо подходит для реакторной системы для проведения эндотермической реакции исходного газа. В связи с этим замечания, изложенные выше в отношении структурированного катализатора, в равной степени применимы в отношении реакторной системы.

В соответствии с топологией реакторной системы сжатый исходный газ подается в нее через входное отверстие и направляется в корпус высокого давления реакторной системы. Корпус высокого давления имеет такую внутреннюю конфигурацию теплоизоляционных слоев и инертного материала, чтобы исходный газ направлялся через каналы структурированного катализатора, где он будет контактировать с керамическим покрытием и каталитически активным материалом, который расположен на подложке из керамических покрытий, при

этом каталитически активный материал будет катализировать реакцию парового риформинга. Кроме того, нагревание структурированного катализатора обеспечивает необходимое тепло для эндотермической реакции. Газообразный продукт из структурированного катализатора направляется к выходному отверстию из реакторной системы.

В конкретном варианте осуществления изобретения реакторная система содержит, по меньшей мере, два проводника, соединенных со структурированным катализатором для обеспечения возможности подключения к источнику питания. Когда корпус высокого давления содержит входное отверстие для подачи исходного газа и выходное отверстие для отвода газообразного продукта, причем указанное входное отверстие расположено таким образом, что указанный исходный газ подается в переднюю часть структурированного катализатора, а указанный газообразный продукт выходит из задней части структурированного катализатора, и когда, по меньшей мере, два проводника подсоединены к структурированному катализатору в точке на структурированном катализаторе, которая расположена ближе к передней части структурированного катализатора, чем к задней части структурированного катализатора, по меньшей мере, два проводника могут быть размещены в относительно более холодной части реакторной системы. Передняя часть структурированного катализатора имеет более низкую температуру, чем задняя часть структурированного катализатора из-за следующих факторов:

- исходный газ, подача которого осуществляется через входное отверстие, может охлаждать, по меньшей мере, два проводника перед нагревом структурированным катализатором далее по пути прохождения газа через структурированный катализатор;

- исходный газ на подаче в переднюю часть структурированного катализатора будет иметь более низкую температуру, чем газообразный продукт, выходящий из задней части структурированного катализатора из-за тепла, которое обеспечивается электрическим нагревом структурированного катализатора:

- Реакция парового риформинга является эндотермической, следовательно, при такой реакции происходит поглощение тепла.

- Структурированный катализатор выполнен с возможностью направления электрического тока от одного проводника практически к задней части структурированного катализатора и возвращения ко второму проводнику из, по меньшей мере, двух проводников.

В одном варианте осуществления, по меньшей мере, один из проводников соединен с соединителем проводника. Таким образом, соединитель проводника может содержать контактную шину проводника для соединения проводника. В конкретном варианте осуществления изобретения соединитель проводника включает первое средство зацепления для зацепления с внешней поверхностью кольцевой стенки первой макроскопической структуры. В конкретном варианте осуществления изобретения средство зацепления имеет внутреннюю поверхность, форма которой соответствует, по меньшей мере, части внешней поверхности кольцевой стенки. В конкретном варианте осуществления изобретения средство зацепления прикреплено к внешней поверхности кольцевой стенки посредством посадки с натягом.

Температурный профиль в структурированном катализаторе может соответствовать практически непрерывно возрастающей температуре по пути исходного газа через структурированный катализатор.

Для реакторной системы согласно изобретению не требуется печь, и это значительно уменьшает общий размер реактора. Кроме того, преимуществом является то, что количество синтез-газа, полученного в реакторе с одним корпусом высокого давления, значительно увеличено по сравнению с известными трубчатыми установками парового риформинга. В стандартном трубчатом реакторе парового риформинга количество синтез-газа, производимого в одной трубе реактора, составляет достигает 500 нм³/ч. Для сравнения, с помощью реакторной системы по изобретению может обеспечиваться производительность до 2000 нм³/ч и более, например, до 10000 нм³/ч и более в одном корпусе высокого давления. При этом в исходном газе может не присутствовать O₂, а в полученном синтез-газе может быть менее 10% метана. Когда в одном корпусе высокого давления размещается катализатор, при котором обеспечивается производительность до 10000 нм³/ч синтез-газа, более нет необходимости в

нескольких корпусах высокого давления или в устройствах для распределения исходного газа в несколько таких отдельных корпусов высокого давления.

Другое преимущество данной реакторной системы состоит в том, что внутри реакторной системы поток через структурированный катализатор может быть направлен вверх из-за того, что структурированный катализатор имеет макроскопическую структуру. В качестве альтернативы поток через структурированный катализатор может быть направлен горизонтально или иметь любое другое подходящее направление. Это более проблематично, если реактор содержит гранулы, из-за риска образования псевдооживленного слоя, измельчения и выдувания гранул. Таким образом, можно не использовать большое количество труб, что снижает затраты на установку. Кроме того, в случае восходящего или горизонтального потока увеличивается гибкость конфигурации установки.

Кроме того, следует иметь в виду, что выражение «по меньшей мере, два проводника подсоединены к структурированному катализатору в точке на структурированном катализаторе, которая расположена ближе к передней части структурированного катализатора, чем к задней части структурированного катализатора» означает, что оба проводника/все проводники подсоединены ближе к передней части структурированного катализатора, чем к задней части. По меньшей мере, два проводника предпочтительно подсоединяются к передней части структурированного катализатора или в пределах четверти длины макроскопической структуры, ближайшей к передней части.

Предусмотрено применение структурированного катализатора согласно описанию выше или реактора согласно описанию выше, причем эндотермическая реакция выбрана из группы, включающей паровой риформинг метана, образование цианистого водорода, крекинг метанола, крекинг аммиака, обратную конверсию водяного газа и дегидрирование.

Следует понимать, что специалисту в данной области будет легко подтвердить, что любой признак, описанный в сочетании со структурированным катализатором и реакторной системой для проведения эндотермической реакции исходного газа, может использоваться в данной области применения. В связи с этим замечания, изложенные выше в отношении структурированного катализатора

и реакторной системы, в равной степени применимы в отношении применения предмета настоящего изобретения.

Подробное описание Фигур

На всех Фигурах номера позиций означают соответствующие элементы.

На Фиг. 1 представлен вид в поперечном разрезе реакторной системы 100 в соответствии с одним вариантом осуществления изобретения. Реакторная система 100 включает структурированный катализатор 10, расположенный в виде набора макроскопических структур 5. Каждая макроскопическая структура 5 в наборе имеет керамическое покрытие, пропитанное каталитически активным материалом. Кроме того, реакторная система 100 содержит проводники 40, 40', подключенные к источнику питания (не показан на схемах) и к структурированному катализатору 10, а именно к набору макроскопических структур. Проводники 40, 40' проходят через стенку корпуса 20 высокого давления, содержащего структурированный катализатор, и через изоляционный материал 30 на внутренней стороне корпуса высокого давления через фитинги 50. Проводники 40' подсоединены к набору макроскопических структур 5 посредством контактных шин 41 проводников.

В одном из вариантов осуществления изобретения используется источник питания с напряжением 26 В и током 1200 А. В еще одном варианте осуществления изобретения используется источник питания с напряжением 5 В и ток 240 А. Ток подается по проводникам 40, 40' к контактным шинам 41 проводников, и ток проходит через структурированный катализатор 10 от одной контактной шины 41 проводника, например, от контактной шины проводника, которая на Фиг. 1а показана слева, до другой контактной шины 41 проводника, например, контактной шины проводника, которая на Фиг. 1а показана справа. Ток может быть переменным и, например, идти попеременно в обоих направлениях, или он может быть постоянным и идти в одном из двух направлений.

Макроскопические структуры 5 выполнены из электропроводящего материала. Особенно предпочтительным является сплав канталь, состоящий из алюминия, железа и хрома. Керамическое покрытие, например, оксид, нанесенный на структурированный катализатор 5, пропитано каталитически активным материалом. Проводники 40, 40' выполнены из таких материалов, как железо, алюминий, никель, медь или их сплавы.

Во время работы исходный газ поступает в реакторную систему 100 сверху, как показано стрелкой 11. Газообразный продукт выходит из реакторной системы снизу, как показано стрелкой 12.

На Фиг. 1b показана реакторная система 100, которая также показана на Фиг. 1a, при этом на Фиг. 1b удалена часть корпуса 20 высокого давления и теплоизоляционного слоя 30, а на Фиг. 2 приведен увеличенный вид части реакторной системы 100. На Фиг. 1b и 2 соединения между проводниками 40' и контактными шинами 41 проводника показаны более понятно, чем на Фиг. 1a. Кроме того, видно, что проводники 40 проходят через стенки корпуса высокого давления посредством фитинга 50, и что внутри корпуса высокого давления один проводник 40 разделяется на три проводника 40'. Следует отметить, что может использоваться любое подходящее количество проводников 40', например, может использоваться меньше трех или больше трех проводников.

В реакторной системе, показанной на Фиг. 1a, 1b и 2, проводники 40, 40' проходят через стенку корпуса 20 высокого давления, содержащего структурированный катализатор, и через изоляционный материал 30 на внутренней стороне корпуса высокого давления через фитинги 50. Исходный газ для эндотермической реакции вводят в реакторную систему 100 через впускное отверстие в верхней части реакторной системы 100, как показано стрелкой 11, а газообразный продукт выходит из реакторной системы 100 через выпускное отверстие в нижней части реакторной системы 100, как показано стрелкой 12. Более того, рядом с фитингами 50 или в комбинации с фитингами могут быть преимущественно расположены одно или более дополнительных входных отверстий (не показаны на Фиг. 1a–2). Такие дополнительные входные отверстия позволяют охлаждающему газу проходить рядом с проводником, вокруг проводника или внутри, по меньшей мере, одного проводника внутри корпуса высокого давления, чтобы уменьшить нагрев фитинга. Охлаждающий газ может, например, представлять собой водород, азот, метан или их смеси. Температура охлаждающего газа на подаче в корпус высокого давления может составлять, например, около 100 °С.

В реакторной системе 100, показанной на Фиг. 1a–2, между нижней частью структурированного катализатора 10 и дном корпуса высокого давления

преимущественно присутствует инертный материал (не показан на Фиг. 1а–2). Более того, инертный материал предпочтительно присутствует между внешними сторонами структурированного катализатора 10 макроскопических структур 5 и изоляционным материалом 30. Таким образом, одна сторона изоляционного материала 30 обращена к внутренней стороне корпуса 20 высокого давления, а другая сторона изоляционного материала 30 обращена к инертному материалу. Инертным материалом является, например, керамический материал. Инертный материал может иметь форму гранул. Инертный материал способствует контролю перепада давления в реакторной системе 100 и контролю потока газа через реакторную систему 100, так что поток газа поступает по поверхностям структурированного катализатора 10.

На Фигуре 3 показан структурированный катализатор, содержащий шесть макроскопических структур 5 и четыре соединителя 60, 60'. Макроскопические структуры 5 расположены в продольном направлении от передней до задней части, как показано стрелкой 16. Передняя часть 61 образует входное отверстие в макроскопическую структуру для исходного газа, а задняя часть 62 образует выходное отверстие для газообразного продукта.

Макроскопическая структура 5 включает кольцевую стенку 65, которой окружено внутреннее пространство. Соединитель 5 включает первое средство зацепления 67 (см., например, Фигуры 4 и 5) для зацепления с внешней поверхностью кольцевой стенки 65 первой макроскопической структуры. Средство зацепления 67 выполнено в виде сквозного отверстия в соединителе 60, 60', что позволяет части макроскопической структуры частично пройти через соединитель 60 при соединении посредством посадки с натягом.

Средство зацепления 67 имеет внутреннюю поверхность, форма которой соответствует, по меньшей мере, части внешней поверхности кольцевой стенки 65. Средство зацепления 67 прикреплено к внешней поверхности кольцевой стенки 65 посредством посадки с натягом.

Дополнительный соединитель 68 прикреплен к внешней поверхности кольцевой стенки 65 двух соседних макроскопических структур 5 на задней части 62.

Соединители 60, 60' прикреплены к макроскопическим структурам 5 на первом расстоянии, равном около 10 мм от передней части. Дополнительные соединители 68 прикреплены к макроскопическим структурам 5 таким образом, что дополнительные соединители 68 находятся на одном уровне с задней частью 62.

Для упрощения чертежа конструкция проточного канала макроскопической структуры 5 на Фигуре 3 не показана.

На Фигуре 4 показан вариант осуществления соединителя 60. Показанный соединитель 60 содержит два средства зацепления 67. Средства зацепления 67 расположены практически параллельно друг к другу в направлении, практически перпендикулярном продольному, что позволяет двум макроскопическим структурам 5 располагаться практически параллельно друг другу, если две макроскопические структуры 5 прикреплены к соединителю посредством посадки с натягом между внутренней поверхностью средства зацепления 67 и внешней поверхностью кольцевой стенки.

Предусмотрен соединитель 60 с расстоянием зазора в диапазоне 2 - 10 мм, как показано стрелкой 17, которое обеспечивает зазор между двумя соседними макроскопическими структурами в том же диапазоне, когда две соседние макроскопические структуры прикреплены к соединителю 60 посадкой с натягом.

Посадка с натягом обеспечивается за счет изготовления соединителя с нижней частью 67А, имеющей коническую форму, что обеспечивает направление макроскопической структуры в положение плотной посадки в соединителе.

На Фигуре 5 показан вариант осуществления соединителя 60'. Показанный соединитель 60' включает одно средство зацепления 67. Устройство средства зацепления 67 обеспечивает возможность прикрепления одной макроскопической структуры 5 за счет посадки с натягом между внутренней поверхностью одного из средств зацепления 67 и внешней поверхностью кольцевой стенки.

Соединитель 60' также содержит фланец 69. Фланец 69 может содержать контактную шину (41, не показана) для присоединения проводника (40, 40', не показан).

Показанные варианты осуществления макроскопических структур 5 имеют практически квадратное поперечное сечение, которое располагается перпендикулярно продольному направлению. При этом средства зацепления 67 имеют практически квадратную форму в поперечном сечении, перпендикулярном продольному направлению, в результате чего она соответствует форме внешней поверхности кольцевой стенки 65 макроскопической структуры 5.

Посадка с натягом обеспечивается за счет изготовления соединителя с нижней частью 67А, имеющей коническую форму, что обеспечивает направление макроскопической структуры в положение плотной посадки в соединителе.

На Фигуре 6 показан структурированный катализатор 10, содержащий множество макроскопических структур 5 и множество соединителей 60, 60', 60", прикрепленных к макроскопическим структурам. Некоторые из соединителей 60, 60' идентичны соединителям 60, 60', которые показаны на Фигурах 4, 5 и 6. Также показан альтернативный соединитель 60" для удлинения макроскопических структур 5.

На Фигуре 7а показан соединитель 60". Две макроскопические структуры 5 прикреплены к соединителю 60" для увеличения длины макроскопической структуры 5 в продольном направлении. Эти две макроскопические структуры прикреплены друг к другу в продольном направлении при помощи соединителя 60", причем соединитель 60" прикрепляется к передней часть одной из макроскопических структур 5 и к задней части посадкой с натягом между внутренней поверхностью средства зацепления 67 и внешней поверхностью кольцевой стенки 65 обеих макроскопических структур.

На Фигуре 7b показан вид в разрезе соединителя 60", изображенного на Фигуре 7а.

В показанном варианте осуществления изобретения соединитель 60" соединяет две макроскопические структуры 5. Следует понимать, что соединители 60 и 60" могут быть объединены, в результате чего можно получить альтернативный вариант осуществления соединителя, который обеспечивает возможность увеличения длины макроскопических структур при одновременном расположении макроскопических структур параллельно и прикреплении их друг к другу.

Посадка с натягом обеспечивается за счет изготовления соединителя с нижней частью 67А и верхней частью 67А, обе из которых имеют коническую форму, что обеспечивает направление двух макроскопических структур в положение плотной посадки в соединителе, за счет чего получается удлиненная макроскопическая структура.

На Фигуре 8 показан еще один вариант осуществления соединителя 60А. Соединитель 60А включает проушину 72, позволяющую поднимать соединитель 60А и структурированный катализатор с помощью проушины 72. Макроскопическая структура 5 может прикрепляться к соединителю 60А посредством посадки с натягом между средством зацепления 67 и внешней поверхностью кольцевой стенки макроскопической структуры.

На Фигуре 9 показан еще один вариант осуществления соединителя 60В. Соединитель 60В содержит средство зацепления 67 для прикрепления макроскопической структуры (не показано). Соединитель 60В содержит дополнительные средства зацепления 67' в виде уголков зацепления. Если макроскопическая структура вставлена в сквозное отверстие соединителя 60В, зацепляющие углы 67' могут быть сжаты, чтобы еще лучше закрепить макроскопическую структуру к соединителю 60В.

На Фигуре 10 показан структурированный катализатор 10, содержащий множество макроскопических структур 5, подсоединенных множеством соединителей 60, 60', 60'', прикрепленных к макроскопическим структурам. Фланцы 69 используются для подключения к внешнему источнику питания посредством стержней 74 и контактную шину проводника (не показана). Кроме того, фланцы 69 используются для соединения двух соседних макроскопических структур 5 посредством стержней 76.

Формула изобретения

1. Структурированный катализатор для катализа эндотермической реакции исходного газа с целью его преобразования в газообразный продукт, причем указанный структурированный катализатор содержит, по меньшей мере, одну макроскопическую структуру из электропроводящего материала и, по меньшей мере, один соединитель, прикрепленный к, по меньшей мере, одной макроскопической структуре, причем макроскопическая структура поддерживает каталитически активный материал, при этом макроскопическая структура расположена в продольном направлении от передней части к задней, причем указанная передняя часть образует входное отверстие в указанную макроскопическую структуру для указанного исходного газа, а указанная задняя часть образует выходное отверстие для указанного газообразного продукта, при этом указанная макроскопическая структура содержит кольцевую стенку, окружающую внутреннее пространство, причем соединитель содержит первое средство зацепления для зацепления с внешней поверхностью кольцевой стенки первой макроскопической структуры, причем средство зацепления имеет внутреннюю поверхность, по форме совпадающую, по меньшей мере, с частью внешней поверхности кольцевой стенки, причем средство зацепления прикреплено к внешней поверхности кольцевой стенки посредством посадки с натягом, причем структурированный катализатор содержит, по меньшей мере, две макроскопические структуры, причем соединитель содержит, по меньшей мере, два средства зацепления, каждое из которых входит в зацепление с одной из указанных макроскопических структур, и причем внутренние поверхности указанных средств зацепления расположены таким образом, чтобы позволить указанным макроскопическим структурам проходить параллельно продольному направлению.

2. Структурированный катализатор по п. 1, **отличающийся тем**, что внешняя поверхность кольцевой стенки деформируется посредством посадки с натягом.

3. Структурированный катализатор по любому из пп. 1 - 2, **отличающийся тем**, что электрическое соединение между соединителем и макроскопической

структурой усиливается деформируемым материалом, расположенным, по меньшей мере, в части кольцевой стенки.

4. Структурированный катализатор по любому из пп. 1 - 3, **отличающийся тем**, что электрическое соединение между соединителем и макроскопической структурой укрепляется за счет сварки или пайки соединителя и макроскопической структуры вдоль части линии посадки с натягом.

5. Структурированный катализатор по любому из пп. 1 - 4, **отличающийся тем**, что соединитель образует электрическое соединение, по меньшей мере, с одной макроскопической структурой при температурах, превышающих 100°C, предпочтительно 300°C.

6. Структурированный катализатор по любому из пп. 1 - 5, **отличающийся тем**, что средство зацепления выполнено в виде сквозного отверстия в соединителе, что позволяет части макроскопической структуры частично пройти через соединитель при соединении посредством посадки с натягом.

7. Структурированный катализатор по любому из пп. 1 - 6, **отличающийся тем**, что, по меньшей мере, одна макроскопическая структура содержит множество внутренних стенок во внутреннем пространстве, при этом такое множество внутренних стенок образует множество проточных каналов от передней части к задней части.

8. Структурированный катализатор по любому из пп. 1 - 7, **отличающийся тем**, что, по меньшей мере, одна макроскопическая структура имеет практически квадратную форму в поперечном сечении, перпендикулярном продольному направлению.

9. Структурированный катализатор по любому из пп. 1 - 8, **отличающийся тем**, что внутренняя поверхность средства зацепления образует пространство зацепления, которое имеет практически квадратную форму в поперечном сечении, перпендикулярном продольному направлению.

10. Структурированный катализатор по любому из пп. 1 - 9, **отличающийся тем**, что соединитель прикреплен к указанным, по меньшей мере, двум макроскопическим структурам на первом расстоянии от передней части, и причем к внешней поверхности кольцевой стенки указанных макроскопических структур

на втором расстоянии от задней части прикреплен дополнительный соединитель, причем расстояние между соединителем и дополнительным соединителем, по меньшей мере, в два раза превышает первое расстояние и, по меньшей мере, в два раза превышает второе расстояние.

11. Структурированный катализатор по любому из пп. 1 - 10, **отличающийся тем**, что указанные средства зацепления расположены друг от друга на расстоянии в диапазоне 2 - 10 мм, которое обеспечивает зазор между двумя макроскопическими структурами в том же диапазоне.

12. Структурированный катализатор по любому из пп. 10 - 11, **отличающийся тем**, что дополнительный соединитель образуется электропроводящим материалом для создания электрического соединения между двумя соседними макроскопическими структурами.

13. Структурированный катализатор по любому из пп. 1 - 12, **отличающийся тем**, что, по меньшей мере, две макроскопические структуры прикреплены друг к другу в продольном направлении при помощи соединителя, при этом соединитель прикреплен к передней часть одной из макроскопических структур и к задней части другой из макроскопических структур с помощью посадки с натягом между внутренней поверхностью средства зацепления и внешней поверхностью кольцевой стенки обеих макроскопических структур.

14. Структурированный катализатор по любому из пп. 1 - 13, **отличающийся тем**, что соединитель образован из сплава, включающего одно или более веществ, выбранных из группы, состоящей из Fe, Cr, Al, Co, Ni, Zr, Cu, Ti, Mn и Si.

15. Структурированный катализатор по любому из пп. 1 - 14, **отличающийся тем**, что коэффициент теплового расширения материала соединителя равен или меньше коэффициента теплового расширения материала кольцевой стенки макроскопической структуры.

16. Структурированный катализатор по любому из пп. 1 - 15, **отличающийся тем**, что соединитель имеет толщину, определяемую как размер соединителя от его внутренней поверхности до внешней поверхности в

направлении, перпендикулярном внутренней поверхности, при этом толщина находится в диапазоне 1 - 10 мм.

17. Структурированный катализатор по любому из пп. 1 - 16, **отличающийся тем**, что соединитель имеет высоту, определяемую как размер соединителя в продольном направлении, при этом высота находится в диапазоне 3 - 50 мм.

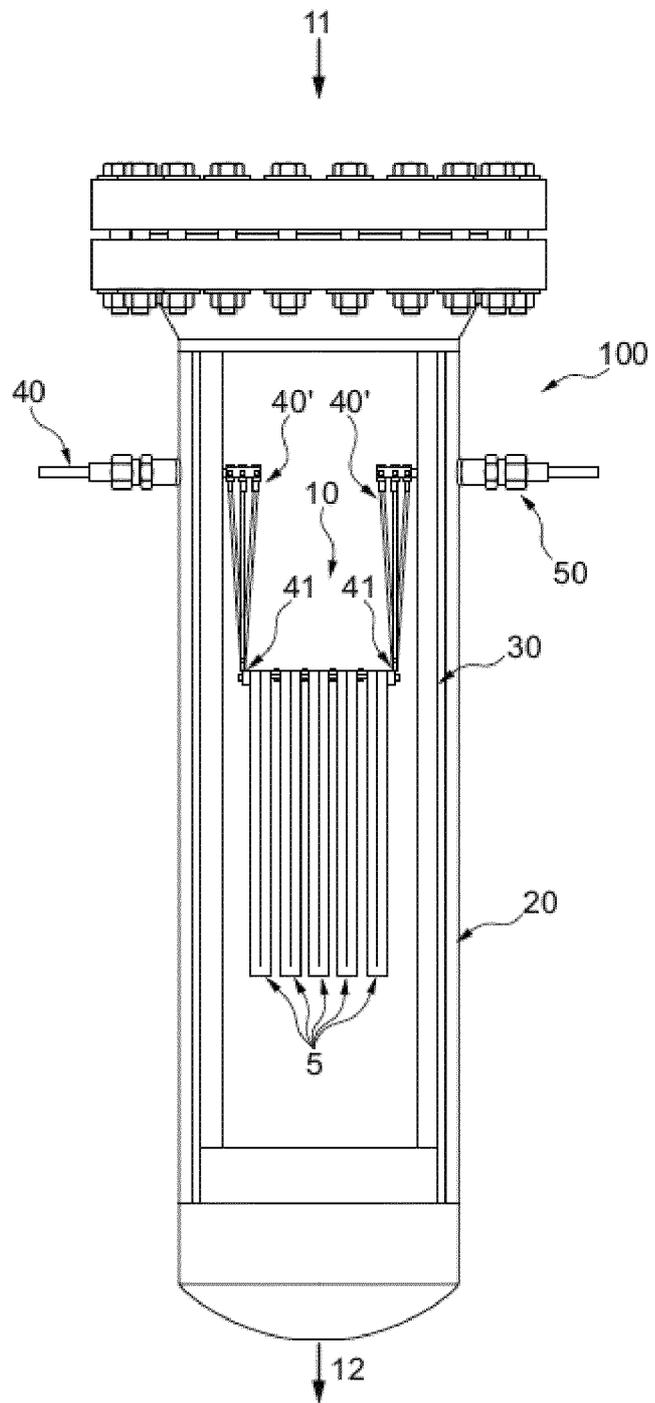
18. Структурированный катализатор по любому из пп. 1 - 17, **отличающийся тем**, что электропроводящего материала представляет собой сплав, включающий одно или более веществ, выбранных из группы, состоящей из Fe, Cr, Al, Co, Ni, Zr, Cu, Ti, Mn и Si.

19. Структурированный катализатор по любому из пп. 1 - 18, **отличающийся тем**, что макроскопическая структура имеет длину, определяемую как размер макроскопической структуры в продольном направлении, при этом длина находится в диапазоне 0,1 - 5 мм.

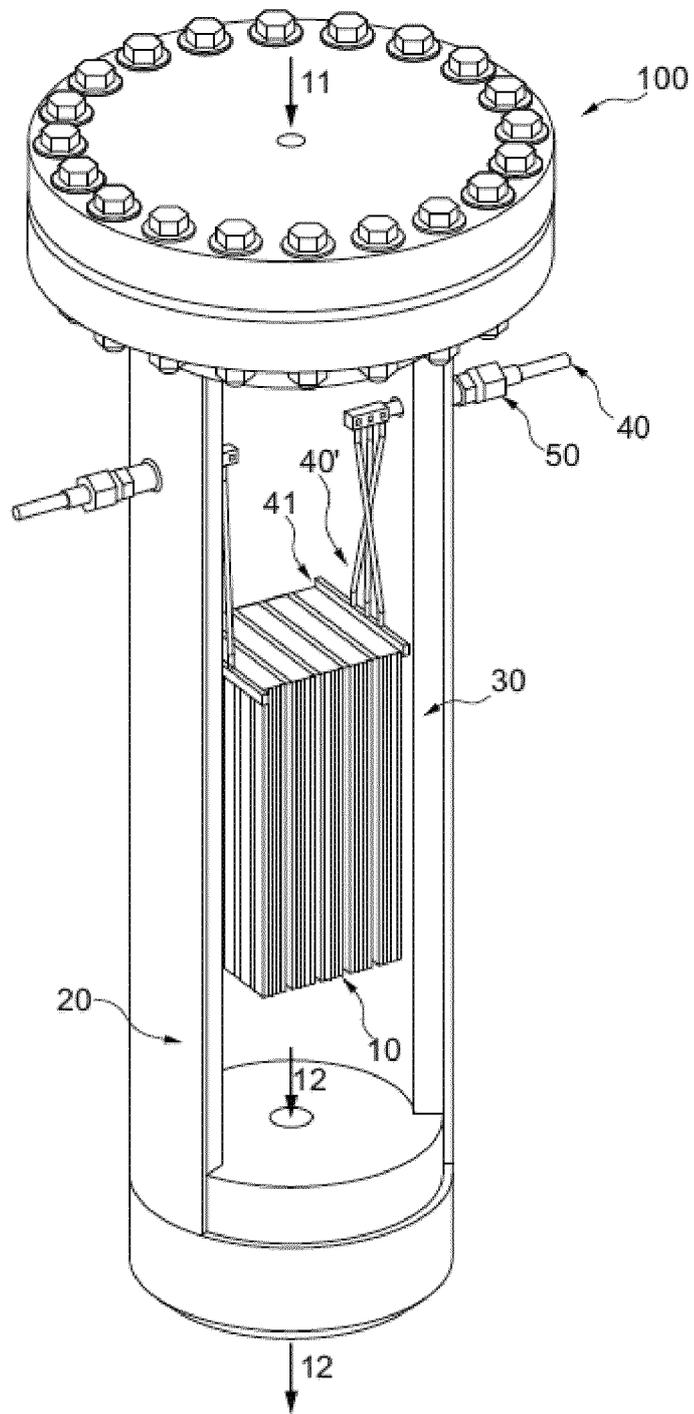
20. Реакторная система для осуществления эндотермической реакции исходного газа, при этом реакторная система содержит следующие элементы:

- a) структурированный катализатор по любому из пп. 1 - 19;
- b) корпус высокого давления, в котором находится указанный структурированный катализатор, при этом указанный корпус высокого давления содержит входное отверстие для подачи исходного газа и выходное отверстие для отвода газообразного продукта, причем указанное входное отверстие расположено таким образом, что указанный исходный газ подается в переднюю часть, а указанный газообразный продукт выходит из задней части указанного структурированного катализатора;
- c) теплоизоляционный слой между указанным структурированным катализатором и указанным корпусом высокого давления;

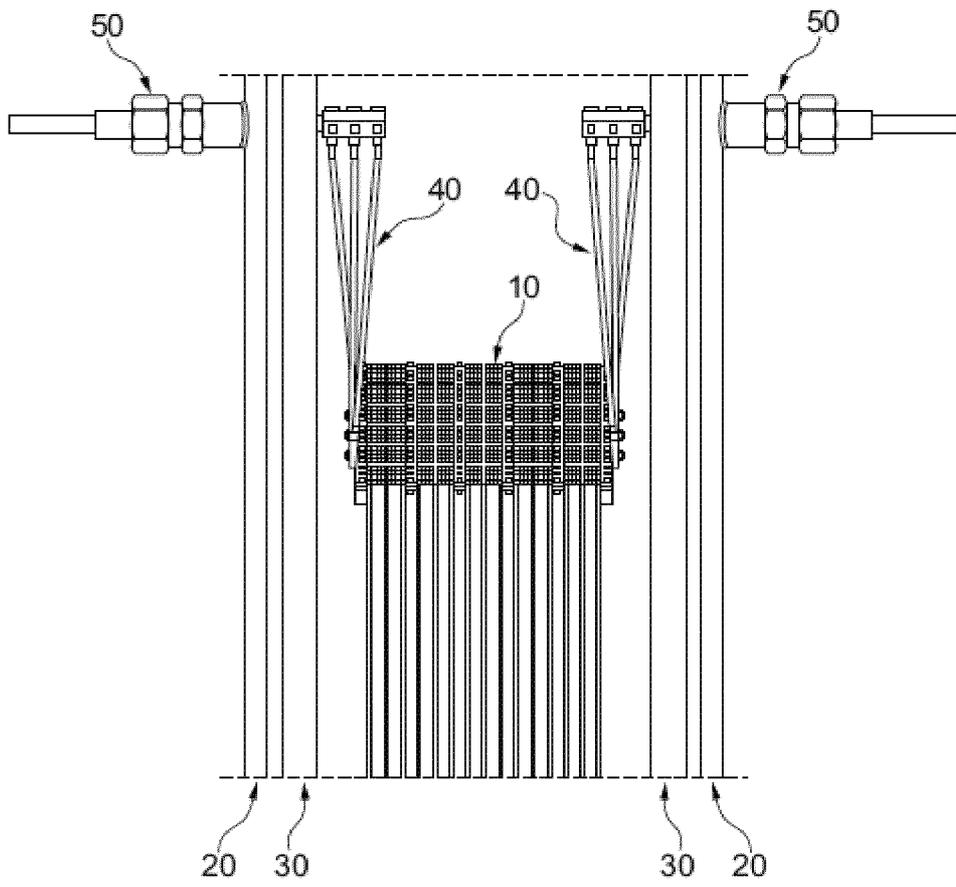
21. Применение структурированного катализатора по любому из пп. 1 - 19 или реактора по п. 21, **отличающееся тем**, что эндотермическая реакция выбрана из группы, включающей паровой риформинг метана, образование цианистого водорода, крекинг метанола, крекинг аммиака, обратную конверсию водяного газа и дегидрирование.



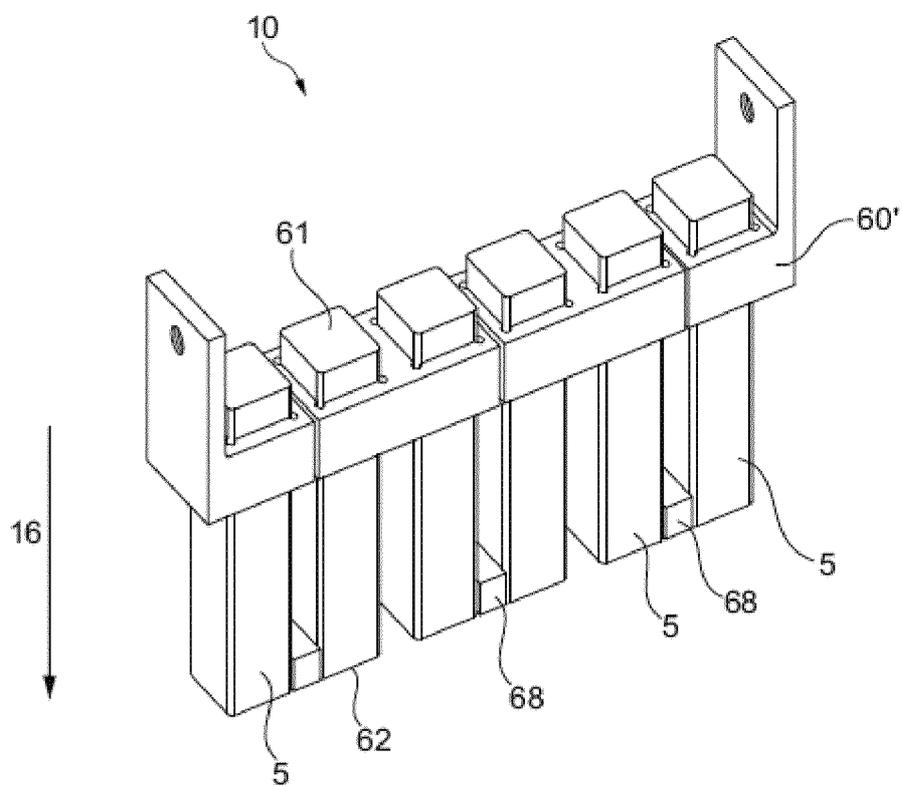
Фиг. 1а



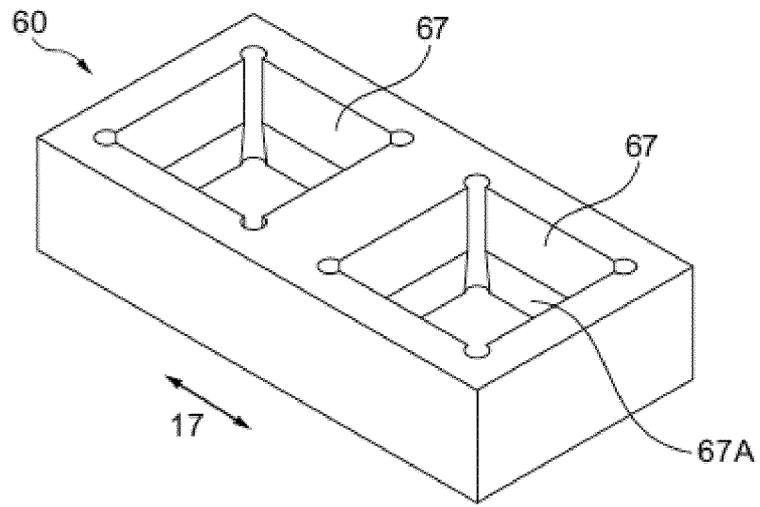
Фиг. 1b



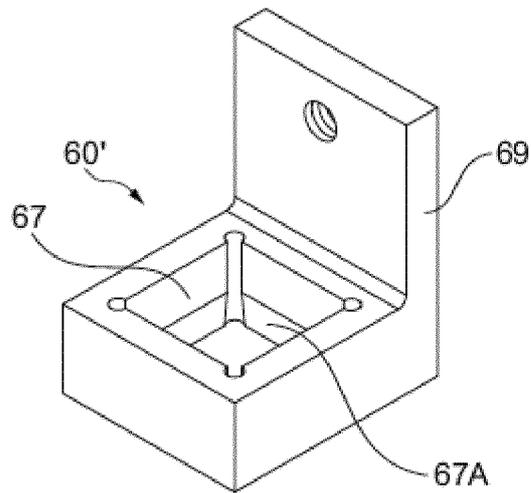
Фиг. 2



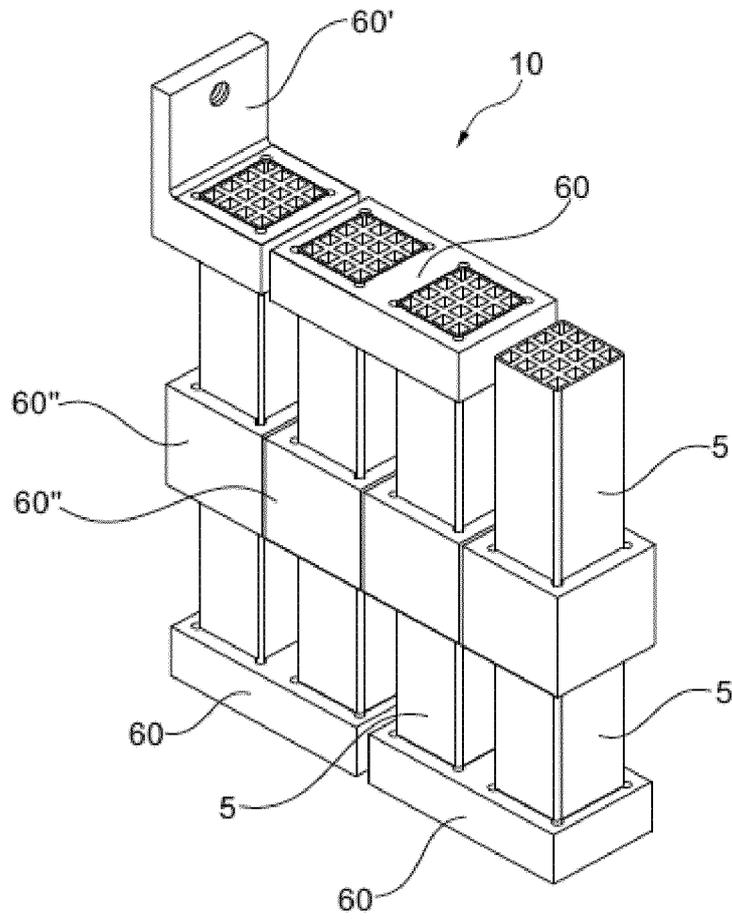
Фиг. 3



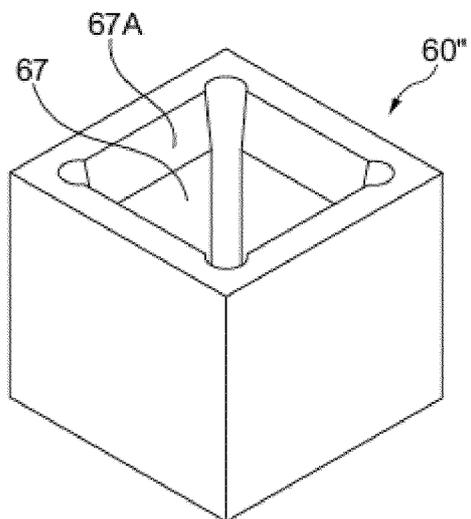
Фиг. 4



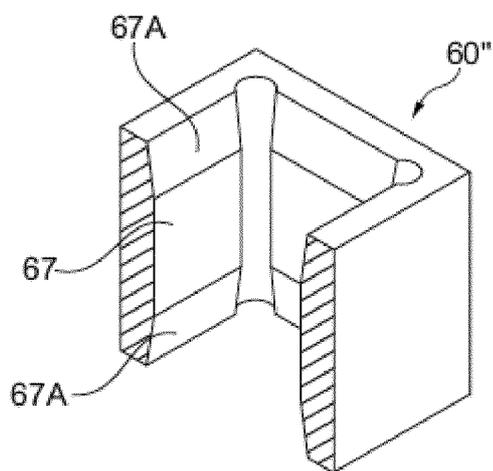
Фиг. 5



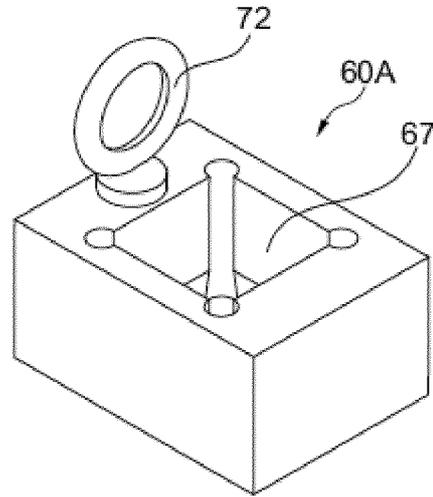
Фиг. 6



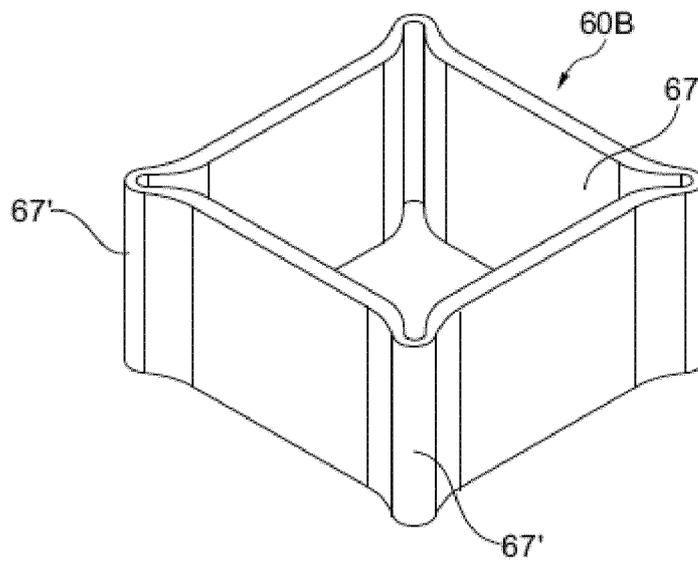
Фиг. 7а



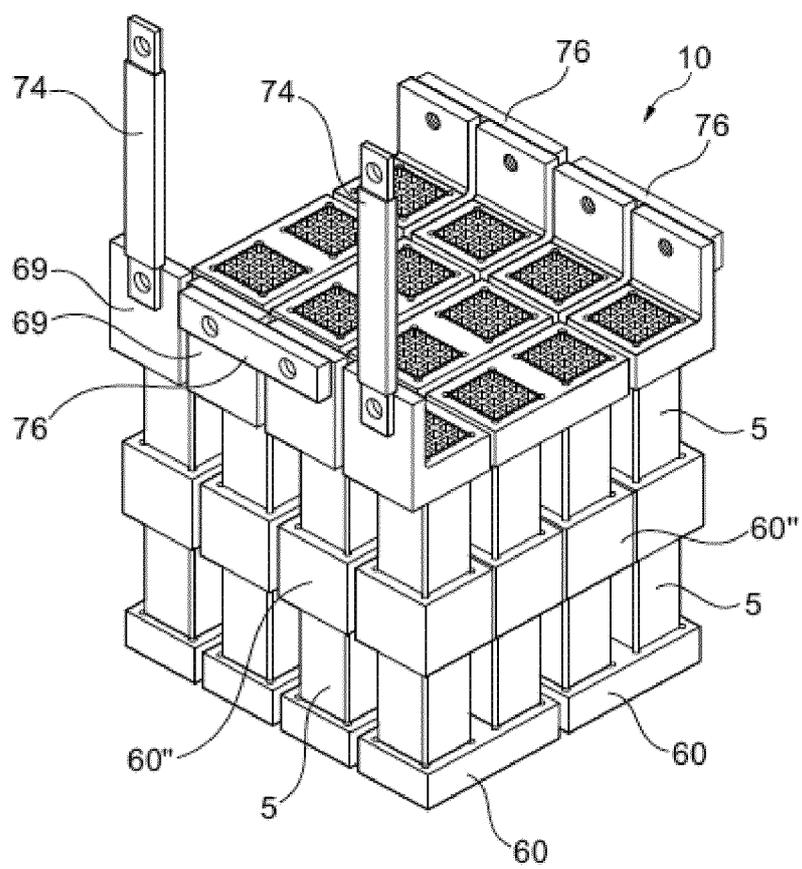
Фиг. 7б



Фиг. 8



Фиг. 9



Фиг. 10