

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 202291977 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2022.11.11

(51) Int. Cl. C03B 19/10 (2006.01)
C03C 11/00 (2006.01)
C03C 3/083 (2006.01)

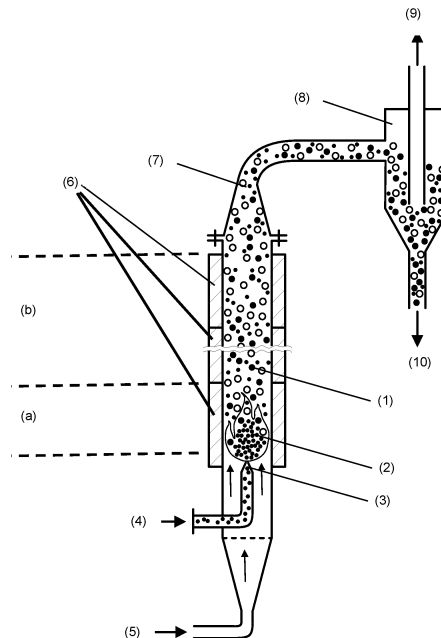
(22) Дата подачи заявки
2021.01.13

(54) СПОСОБ ПРОИЗВОДСТВА ПУСТОТЕЛЫХ СФЕРИЧЕСКИХ СТЕКЛЯННЫХ ЧАСТИЦ

(31) PCT/EP2020/051743
(32) 2020.01.24
(33) EP
(86) PCT/EP2021/050570
(87) WO 2021/148285 2021.07.29
(71) Заявитель:
БАСФ СЕ (DE)

(72) Изобретатель:
Олберт Герхард, Пасин Э Матос
Лайла Рахель, Хельвиг Екатерина
(DE)
(74) Представитель:
Беляева Е.Н. (BY)

(57) Способ производства пустотелых сферических стеклянных частиц, содержащих, по меньшей мере, SiO₂, Al₂O₃ и оксид щелочного металла, отличающийся тем, что указанный способ включает получение частиц-прекурсоров, содержащих, по меньшей мере, SiO₂, Al₂O₃ и оксид щелочного металла, путем смешивания исходных материалов, суспендирования исходных материалов с водой с последующей сушкой, распылением и термообработкой полученных частиц-прекурсоров при температуре 1000-1800°C, предпочтительно 1300-1600°C за счет обеспечения контакта этих частиц с по меньшей мере одним открытым пламенем.



202291977
A1

202291977
A1

Способ производства пустотелых сферических стеклянных частиц

Настоящее изобретение относится к способу производства пустотелых сферических стеклянных частиц, содержащих, по меньшей мере, SiO_2 , Al_2O_3 , и оксид щелочного металла, отличающемуся тем, что указанный способ включает получение частиц-прекурсоров, содержащих, по меньшей мере, SiO_2 , Al_2O_3 и оксид щелочного металла, путем смешивания исходных материалов, суспендирования исходных материалов с водой с последующей сушкой распылением и термообработкой частиц-прекурсоров при температуре 1000°C - 1800°C , предпочтительно 1300°C - 1600°C , причем в этом процессе происходит контакт полученных таким образом частиц с, по меньшей мере, одним открытым пламенем.

Пустотелые сферические стеклянные частицы, также известные как пустотелые стеклянные микросферы, используют в качестве наполнителей материалов с применением в различных областях. Удельный вес таких пустотелых сферических стеклянных частиц значительно ниже по сравнению с другими наполнителями, а физические свойства, такие как термостойкость, сопротивление давлению и ударопрочность, по-прежнему на высоком уровне. Таким образом, пустотелые сферические стеклянные частицы широко используют в качестве наполнителя для изделий с уменьшенным весом, содержащих формованные компоненты из смолы или металла, т.е. автомобильные детали, предметы домашнего обихода, уплотнительные материалы или строительные материалы. Примеры таких пустотелых сферических стеклянных частиц и их производства описаны, например, в US 3,699,050, US 4,336,338, US 5,176,732 и US 2002/0004111 A1.

Среди способов производства пустотелых сферических стеклянных частиц, которые известны специалистам, обычно приводится диспергирование тонкодисперсного порошка стекла в горячем газе высокой температуры, отличающееся тем, что стекло нагревают до расплава таким образом, что вязкость расплавленного материала (начиная с внешнего слоя) уменьшается. За счет испарения расширяющей добавки, которая входит в состав частиц-прекурсоров, одновременно образуется газ. Соответственно, из-за поверхностного натяжения

форма полученных частиц будет сферической, и в то же время они будут пустотелыми из-за газа, образующегося внутри частиц.

Что касается химического состава пустотелых сферических стеклянных частиц, боросиликатное стекло широко используют из-за его химической и механической стойкости. Так, JP-A-58-156551 раскрывает способ образования пустотелых боросиликатных стеклянных микросфер из исходных материалов, таких как SiO_2 , H_3BO_3 , CaCO_3 , Na_2CO_3 , $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ и Na_2SO_4 . Однако из-за нормативных требований предпочтительным является применение пустотелых несферических стеклянных частиц без содержания бора. Кроме того, из-за бора частицы могут быть хрупкими.

WO 2017/108831 A1 раскрывает способ получения пустотелых сферических частиц из алюмосиликатного стекла без содержания бора с использованием Al_2O_3 , SiO_2 и, по меньшей мере, одного оксида щелочного металла в качестве исходных материалов путем смешивания этих материалов с водой и распылительной сушки этой смеси с получением частиц-прекурсоров, имеющих средний размер частиц 80 мкм - 400 мкм и остаточную влажность 1 % - 10 %, а также подачи частиц-прекурсоров в нагревательное устройство при температуре в диапазоне 1500°C - 1800°C таким образом, что высушенная смесь падает через нагревательное устройство в течение примерно 1 - 10 секунд, с получением пустотелых сферических стеклянных частиц, размер которых предпочтительно составляет 10 мкм - 600 мкм. Нагревательное устройство представляет собой трубчатую печь с наружным нагревательным кожухом.

Наша старая заявка WO 2020/020921 A1 раскрывает пустотелую сферическую стеклянную частицу без содержания бора, в состав которой входит, по меньшей мере, 30 мас.% Al_2O_3 , по меньшей мере, 35 мас.% SiO_2 и, по меньшей мере, 18 мас.%, по меньшей мере, одного оксида щелочного металла, с диаметром частицы от более чем 20 мкм до 75 мкм. Кроме того, заявка раскрывает способ производства таких частиц путем предоставления состава, включающего, по меньшей мере, 30 мас.% Al_2O_3 , по меньшей мере, 35 мас.% SiO_2 и, по меньшей мере, 18 мас.%, по меньшей мере, одного оксида щелочного металла, отличающийся тем, что компоненты присутствуют в виде мелких частиц размером ≤ 10 мкм, смешивания частиц с водой и, при необходимости, с органическим связующим веществом, сушки частиц распылением и подачи высушенных частиц

в нагревательное устройство, например, в трубчатую печь, таким образом, чтобы частицы выдувались вверх при поддержании температуры выше 1000°C , с получением пустотелых сферических стеклянных частиц. В качестве альтернативы можно использовать два последовательно соединенных нагревательных устройства или, по меньшей мере, часть частиц возвращать обратно в нагревательное устройство. Рассмотренные трубчатые печи имеют внешний нагревательный кожух.

JP-A-7-277768 раскрывает способ производства пустотелых стеклянных шариков. В качестве исходного материала используют смесь стеклянного порошка и неорганического материала, предпочтительно карбонатного или сульфатного порошка, который разлагается при более высоких температурах, за счет чего образуется газ. Смесь преобразуют в гранулы, например, с помощью распылительной сушилки, после чего гранулы подают в поток воздуха, температура которого является достаточной для разложения неорганического материала с образованием газа. Предпочтительно термообработку проводят в течение 5 - 1000 мс в воздушном паре при температуре примерно от 1200 до 1600°C . В примере 1 стеклянный порошок (55% SiO_2 , 14% Al_2O_3 , 8% B_2O_3 , 1% MgO , 21% CaO и 1% BaO ; мас.-проценты) смешивают с $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ и воде для получения суспензии, которую сушили распылением с получением гранул с частицами среднего размера 50 мкм. После этого гранулы подавали в воздушный поток газовой горелки с максимальной температурой 1500°C , подвергали термообработке в течение примерно 100 миллисекунд, а затем собирали с помощью циклона. Пример не предусматривает, чтобы гранулы подвергали непосредственному воздействию открытого пламени газовой горелки, а только лишь демонстрирует, что гранулы подают в поток горячего воздуха, создаваемого газовой горелкой. Никакой подробной информации об устройстве, используемом для нагрева гранул в потоке горячего воздуха, не сообщается.

Трубчатые печи с наружным нагревательным кожухом для термообработки материалов при температурах выше 1000°C могут подходить для соответствующей области применения, если диаметр трубы не слишком велик. Однако с увеличением диаметра трубы, что может быть необходимо для производственных установок, теплопередача в трубу все больше осложняется.

Целью настоящего изобретения было создание усовершенствованного способа производства пустотелых сферических стеклянных частиц, который также позволяет изготавливать пустотелые сферические стеклянные частицы в нагревательных устройствах, имеющих большие внутренние диаметры.

Соответственно, был найден способ производства пустотелых сферических стеклянных частиц, содержащих, по меньшей мере, SiO_2 , Al_2O_3 и оксид щелочного металла, отличающийся тем, что указанный способ включает, по меньшей мере, следующие этапы:

- (I) подготовка частиц-прекурсоров с использованием процесса, включающего, по меньшей мере, следующие подэтапы:
 - (I-1) получение исходного состава, содержащего частицы, по меньшей мере, одного исходного соединения для производства стекла, которое содержит, по меньшей мере, SiO_2 , Al_2O_3 и оксид щелочного металла,
 - (I-2) смешивание исходного состава с жидкостью, с получением суспензии, и
 - (I-3) распылительная сушка полученной суспензии, с получением частиц-прекурсоров, и
- (II) термообработка частиц-прекурсоров при температуре 1000°C - 1800°C посредством пропускания этих частиц через нагревательное устройство, с получением пустотелых сферических стеклянных частиц,

причем внутри нагревательного устройства горит, по меньшей мере, одно открытое пламя, подпитываемое горючим газом, а термообработку проводят за счет контакта частиц-прекурсоров с открытым пламенем.

Ожидаемые пустотелые сферические стеклянные частицы предпочтительно содержат, по меньшей мере, 30 мас.% SiO_2 , по меньшей мере, 25 мас.% Al_2O_3 и, по меньшей мере, 18 мас.% оксида щелочного металла, в каждом случае из расчета на общую массу пустотелых сферических стеклянных частиц, они не содержат бор, а их средний диаметр составляет 20 мкм - 200 мкм.

Перечень Фигур:

Фигура 1:	Схематическое изображение вертикального нагревательного устройства, в котором частицы-прекурсоры добавляют к горючему газу.
Фигура 2:	Схематическое изображение нагревательного устройства с множеством пламеней.
Фигура 3:	Схематическое изображение распределителя горючего газа с 8 форсунками горелок.
Фигура 4:	Схематическое изображение вертикального нагревательного устройства, в котором частицы-прекурсоры добавляют к негорючему газу-носителю.
Фигура 5:	Схематическое изображение горизонтального нагревательного устройства, в котором частицы-прекурсоры добавляют к негорючему газу-носителю, имеющему дополнительные впускные отверстия для газа, предназначенные для охлаждения стенок реактора.
Фигура 6:	Схематическое изображение вертикального нагревательного устройства, в котором частицы-прекурсоры добавляют к негорючему газу-носителю.
Фигура 7:	Технологическая схема установки, включающая рециркуляцию отработанного газа.
Фигура 8	Схематическое изображение вращающейся печи, в которой частицы-прекурсоры добавляют к горючему газу.
Фигура 9:	Схематическое изображение вращающейся печи, в которой частицы-прекурсоры добавляют к горючему газу, имеющей дополнительные впускные отверстия для газа, предназначенные для охлаждения стенок реактора.

Фигура 10:	Схематическое изображение передней части вращающейся печи, в которой частицы-прекурсоры добавляют к горючему газу, и дополнительно вводят негорючий газ.
Фигура 11:	Схематическое изображение передней части вращающейся печи, в которой частицы-прекурсоры добавляют к негорючему газу-носителю.

В отношении изобретения, необходимо отдельно указать следующее:

Пустотелые сферические стеклянные частицы

Состав стекла зачастую выражается содержанием в нем SiO_2 , Al_2O_3 , оксидов щелочных металлов и, при необходимости, других оксидов. Указанное описание состава также будет использоваться и в настоящем изобретении.

Пустотелые сферические стеклянные частицы, которые будут изготавливаться в соответствии со способом по настоящему изобретению, содержат, по меньшей мере, SiO_2 , Al_2O_3 и оксид щелочного металла, предпочтительно Na_2O . При необходимости, могут присутствовать и другие компоненты.

Пустотелые сферические стеклянные частицы, изготавливаемые в соответствии со способом по настоящему изобретению, предпочтительно содержат, по меньшей мере, 30 мас.% SiO_2 , по меньшей мере, 25 мас.% Al_2O_3 и, по меньшей мере, 18 мас.% оксида щелочного металла, предпочтительно Na_2O , в каждом случае из расчета на общую массу пустотелых сферических стеклянных частиц.

В одном из вариантов осуществления изобретения пустотелые сферические частицы стекла содержат 30 - 55 мас.% SiO_2 , 25 - 45 мас.% Al_2O_3 и 18 - 40 мас.% оксида щелочного металла, предпочтительно Na_2O , в каждом случае из расчета на общую массу пустотелых сферических стеклянных частиц. В еще одном из вариантов осуществления изобретения пустотелые сферические частицы стекла содержат 30 - 40 мас.% SiO_2 , 25 - 35 мас.% Al_2O_3 и 30 - 40 мас.% Na_2O , в каждом случае из расчета на общую массу пустотелых сферических стеклянных частиц.

В одном из вариантов осуществления изобретения пустотелые сферические стеклянные частицы не содержат бор. При использовании по тексту настоящего документа понятия «не содержат бор» и «без содержания бора» не исключают возможного присутствия небольшого количества бора. В частности, предпочтительно, чтобы пустотелая сферическая стеклянная частица содержала бор (если он все же в ней присутствует) в количестве не выше 1,0 % мас.%, более предпочтительно, не выше 0,1 мас.%, еще более предпочтительно, не выше 0,01 мас.%, как, например, не выше 0,001 мас.%, из расчета на общую массу пустотелых сферических стеклянных частиц.

В одном из вариантов осуществления изобретения пустотелые сферические стеклянные частицы имеют средний размер частиц 20 - 200 мкм, например, 20 мкм - 150 мкм или 20 мкм - 70 мкм. Значения относятся к среднему числу, которое можно определить, например, с помощью микроскопии.

В одном из вариантов осуществления изобретения пустотелые сферические стеклянные частицы имеют толщину стенки 0,1 - 15 мкм, в частности 0,2 - 12 мкм.

Также предпочтительно, чтобы пустотелые сферические стеклянные частицы по настоящему изобретению имели значение прочности на разрушение под давлением в диапазоне 120 - 150 МПа. Для определения значения прочности на разрушение под давлением пустотелые сферические стеклянные частицы помещают в цилиндр, который закрыт снизу и может подвергаться воздействию давления сверху посредством приложения ударной силы. Пустотелые сферические стеклянные частицы прижимаются под действием ударной силы, как это происходит в прессе. Высота заполнения цилиндра пустотелыми сферическими стеклянными частицами зависит от размера частиц. Цилиндр находится на стенде для испытаний на растяжение/сжатие, контролирующем усилие поршня. Соответственно, создается заданная нормальная сила или поверхностное давление. В зависимости от размера частиц результаты оценивают с помощью микроскопии или макроскопии посредством определения процента пустотелых сферических стеклянных частиц, которые были разрушены. Используемый в этой процедуре цилиндр имеет внутренний диаметр 20 мм и внутреннюю цилиндрическую длину 80 мм. Высота заполнения составляла 20 мм. Критерий оценки был основан исходя из 80% неповрежденных пустотелых сферических стеклянных частиц соответствующего диаметра.

Пустотелые сферические частицы стекла предпочтительно имеют объемную плотность 0,4 - 1,2 г/см³, более предпочтительно 0,5 - 1,0 г/см³, еще более предпочтительно 0,6 - 0,9 г/см³, как, например, 0,7 - 0,8 г/см³.

Способ производства пустотелых сферических стеклянных частиц

Способ производства пустотелых сферических стеклянных частиц по настоящему изобретению включает, по меньшей мере, 2 этапа.

На первом этапе (I) получают частицы-прекурсоры, которые содержат подходящие стеклообразующие компоненты, а на втором этапе (II) частицы-прекурсоры проходят термообработку при температуре 1000°C - 1800°C под открытым пламенем, с получением пустотелых сферических стеклянных частиц.

Этап (I) - Получение частиц-прекурсоров

Этап (I) включает, по меньшей мере, три подэтапа (I-1), (I-2) и (I-3). В ходе этапа (I-1) предоставляется исходный состав для получения частиц-прекурсоров. На этапе (I-2) исходный состав смешивают с жидкостью, с получением водной суспензии исходных материалов, а на этапе (I-3) полученную водную суспензию сушат распылением, с получением частиц-прекурсоров.

Этап (I-1)

Исходный состав для получения частиц-прекурсоров содержит частицы, по меньшей мере, одного исходного материала для производства стекла, которое содержит, по меньшей мере, SiO₂, Al₂O₃ и оксид щелочного металла, предпочтительно Na₂O. Предпочтительно используют смесь, по меньшей мере, двух различных исходных материалов.

Исходные материалы для получения стекла, которые содержат, по меньшей мере, SiO₂, Al₂O₃ и оксид щелочного металла, предпочтительно Na₂O, в основном известны специалистам в данной области. Исходные материалы могут содержать как все компоненты, т.е. SiO₂, Al₂O₃ и оксид щелочного металла, так и только два из них или же только один из них.

Среди примеров подходящих исходных материалов для использования в настоящем изобретении можно привести карбонаты щелочных металлов, в частности, карбонат натрия, диоксид кремния, силикаты, алюмосиликаты,

например, цеолиты, такие как, например, цеолит А, глины, такие как каолинит, слюда или их смеси.

При термообработке в ходе этапа (II) исходный состав способен выделять газ. Таким газом, в частности, может быть углекислый газ и/или вода. Предпочтительно газ может выделяться самими исходными материалами для формирования стекла, но в других вариантах осуществления для этой цели также могут использоваться дополнительные расширяющие добавки. В качестве примеров исходных материалов, выделяющих газ при термообработке, можно привести карбонаты щелочных металлов, такие как карбонат натрия, которые при нагреве выделяют CO_2 . Среди других примеров исходные материалы, содержащие химически связанную воду, как, например, вода с содержанием силикатов и/или алюмосиликатов. Примеры включают цеолиты, которые могут быть представлены общей формулой $\text{M}_{2/z} \text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{SiO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$, где М – это катион щелочного или щелочноземельного металла, z – заряд катиона, значение x составляет примерно от 1,8 до 12, а y – от 0 до примерно 8. Конкретным примером является цеолит А, который может быть представлен формулой $\text{Na}_{12}((\text{AlO}_2)_{12}(\text{SiO}_2)_{12}) \cdot 27 \text{H}_2\text{O}$. Также в качестве примера можно привести глины, такие как каолинит. Газ, выделяющийся из исходных компонентов в процессе термообработки, взрывает пустотелые сферы.

В соответствии с одним из вариантов осуществления изобретения исходный состав содержит, по меньшей мере, цеолит, например, цеолит А.

В еще одном варианте осуществления изобретения исходный состав включает, по меньшей мере, цеолит, например, цеолит А, и карбонат щелочного металла, в частности, карбонат натрия, предпочтительно цеолит А и карбонат натрия.

В еще одном варианте осуществления изобретения исходный состав включает, по меньшей мере, цеолит, например, цеолит А, и глинистый минерал, такой как каолин или каолинит, предпочтительно цеолит А и каолин и/или каолинит.

В еще одном дополнительном варианте осуществления изобретения исходный состав включает, по меньшей мере, цеолит, например, цеолит А, и глинистый минерал, такой как каолин или каолинит, а также карбонат щелочного

металла, в частности, карбонат натрия, предпочтительно цеолит А, каолин и/или каолинит и карбонат натрия.

В одном из вариантов осуществления изобретения исходный состав не содержит бора. Определение термина «не содержит бора» уже приводилось выше по тексту документа.

Вид и количество исходных материалов в исходном составе регулируют в соответствии с предполагаемым составом стекла с учетом того, что упомянутые выше газы или другие летучие компоненты, присутствие которых считается возможным, выделяются из состава в процессе термообработки в ходе этапа (II). Поэтому, если доля SiO_2 , Al_2O_3 и оксидов щелочных металлов в исходном составе такая же, как и в стекле, то абсолютное процентное содержание в исходном составе может быть ниже из-за потери массы в ходе термообработки.

Частицы исходных материалов могут быть получены измельчением. В одном из вариантов осуществления изобретения указанный способ включает стадию измельчения исходных материалов. Измельчение может проводиться перед смешиванием исходных материалов или после их смешивания. Процесс измельчения может быть сухим или мокрым. В одном из вариантов осуществления изобретения процесс измельчения проводят таким образом, чтобы частицы в исходном составе имели средний размер не более 10 мкм, предпочтительно не более 7 мкм. Под размером частиц понимается его среднее значение, которое может быть определено с помощью микроскопии.

Этап (I-2)

На этапе (I-2) исходный состав, содержащий частицы исходных материалов, полученных на этапе (I-1), смешивают с жидкостью, с получением суспензии частиц исходного состава в жидкости.

Жидкость может быть одним единственным компонентом или же может содержать смесь различных компонентов. Предпочтительно жидкость содержит воду, т.е. она представляет собой водную жидкость. В одном из вариантов осуществления для суспендирования частиц используют только воду.

Суспензия может составлять примерно до 80,0 мас.% от исходного состава, например, примерно 50 - 75 мас.%.

Дополнительно суспензия может содержать и другие добавки.

В одном из вариантов осуществления суспензия также может содержать диспергатор. В качестве примеров подходящих диспергаторов можно привести полимерные диспергаторы, такие как поливинилпирролидон, полиакрилат, сополимеры полиакрилата или их смеси.

В еще одном варианте осуществления изобретения может использоваться связующий агент. Такой связующий агент может способствовать образованию частиц-прекурсоров. Среди примеров связующих агентов неорганические связующие агенты, такие как жидкое стекло, или органические связующие агенты, такие как глицерин, гликоль, ксилит, сорбит, эритрит, крахмал, поливиниловые спирты или их смеси.

Этап (I-3)

На этапе (I-3) суспензию, полученную на этапе (I-2), сушат распылением, с получением частиц-прекурсоров.

Устройства для распылительной сушки известны специалистам в данной области и имеются в продаже. В одном из вариантов осуществления изобретения суспензию сушат распылением при температуре 150°C - 250°C. Указанная температура относится к температуре на входе в распылительную сушилку. Частицы-прекурсоры, полученные в результате распылительной сушки, имеют сферическую форму или, по меньшей мере, преимущественно сферическую.

В состав всех частиц-прекурсоров входит множество первичных частиц исходных материалов. Размер частиц-прекурсоров регулируют в соответствии с предполагаемым размером пустотелых сферических стеклянных частиц, которые предполагается изготовить. Как правило, с увеличением размера частиц-прекурсоров увеличивается и размер пустотелых сферических стеклянных частиц. Специалистам в данной области известно, как регулировать размер частиц в процессе распылительной сушки с помощью технологических параметров процесса. В одном из вариантов осуществления изобретения размер частиц-прекурсоров доводят до 20 - 250 мкм. Под размером частиц понимается его среднее значение, которое может быть определено с помощью микроскопии.

При необходимости, частицы-прекурсоры, полученные на этапе (I-3), могут быть просеяны, например, посредством использования сита, чтобы выбрать только определенные фракции частиц-прекурсоров для проведения термической обработки на этапе (II). Например, можно отделить очень крупные и/или очень мелкие частицы-прекурсоры.

Этап (II) – Термическая обработка частиц-прекурсоров

Краткое изложение

В ходе этапа (II) частицы-прекурсоры, полученные на этапе (I), подвергаются термообработке при температуре 1000°C - 1800°C, предпочтительно 1300°C - 1600°C, с получением пустотелых сферических стеклянных частиц. Термическая обработка осуществляется путем пропускания частиц-прекурсоров через нагревательное устройство, внутри которого горит, по меньшей мере, одно открытое пламя, а термообработку проводят за счет контакта частиц-прекурсоров с открытым пламенем. Пламя подпитывается горючим газом, который выходит, по меньшей мере, из одной форсунки горелки, расположенной внутри нагревательного устройства. Предпочтительно нагревательное устройство содержит множество форсунок горелок, и, следовательно, внутри нагревательного устройства горит множество языков пламени. Время контакта частиц с пламенем невелико, например, 0,001 с - 1 с.

В принципе, можно использовать любое нагревательное устройство, обогреваемое хотя бы одним открытым пламенем, горящим внутри него.

Предпочтительно нагревательное устройство содержит продольную реакционную камеру, в которой частицы-прекурсоры вводятся на одном конце удлиненной реакционной камеры (передний конец), а пустотелые сферические стеклянные частицы выходят на другом конце продольной реакционной камеры (задний конец). Таким образом, частицы транспортируются через продольную реакционную камеру от одного конца к другому, проходя через процесс химического преобразования.

Среди примеров таких нагревательных устройств нагревательные устройства, содержащие цилиндрические реакционные камеры, но также возможны и другие формы, такие как реакционные камеры, имеющие квадратное

или шестиугольное поперечное сечение. Предпочтительно нагревательное устройство имеет вид цилиндрического нагревательного устройства.

Диаметр продольной реакционной камеры, предпочтительно цилиндрической реакционной камеры, может выбираться квалифицированным специалистом в соответствии с его/ее потребностями. Поскольку нагревательное устройство нагревается изнутри открытым пламенем (несколькими языками пламенем), проблема с теплопередачей в реакционную камеру отсутствует, и, следовательно, внутренний диаметр продольной реакционной камеры предпочтительно может быть сделан очень большим по размеру. Этот размер может быть, например, 0,1 - 3 м, например, 1 - 3 м, не ограничивая настоящее изобретение указанными числами.

Термин «диаметр» в данном контексте относится к гидравлическому диаметру $d_h = 4 A / P$, где A – площадь поперечного сечения, а P – периметр нагревательного устройства. Для цилиндрического нагревательного устройства, т. е. нагревательного устройства, имеющего круглое поперечное сечение, d_h равно $4 \pi r^2 / 2 \pi r = 2 r$, где r – радиус окружности. Для отопительного прибора квадратного сечения d_h равно $4 a^2 / 4 a = a$, где a – длина ребра квадрата. Специалист в данной области может легко рассчитать гидравлические диаметры реакционной камеры другой формы.

Диаметр реакционной камеры может быть постоянным в продольном направлении или может изменяться. К примеру, нагревательное устройство может содержать секцию постоянного диаметра, например, цилиндрическую секцию, диаметр которой уменьшается по направлению к заднему концу.

Продольная реакционная камера может иметь горизонтальную или вертикальную, или любую другую ориентацию. В одном из вариантов осуществления изобретения он может быть вертикальным или практически вертикальным, когда частицы-прекурсоры вводятся с нижнего конца, а образовавшиеся пустотелые сферические стеклянные частицы выходят с верхнего конца.

В одном из вариантов осуществления изобретения нагревательное устройство содержит неподвижную реакционную камеру, которая имеет горизонтальную, вертикальную или любую другую ориентацию. Нагревательное

устройство с неподвижной продольной реакционной камерой, содержит, по меньшей мере, одно впускное отверстие для горючего газа, которое соединено, по меньшей мере, с одной форсункой горелки в его внутренней части. Горючие газы известны специалистам в данной области. В качестве примеров можно привести водород и углеводороды, такие как метан, этан или пропан. Существует несколько возможностей для смешивания горючего газа с кислородом или воздухом для горения. В некоторых вариантах осуществления изобретения форсунки горелок представляют собой однокомпонентные форсунки, и кислород или воздух, или любой другой газ, необходимый для горения, смешивается с горючим газом до того, как этот газ выйдет из форсунок горелки, например, до того, как горючий газ войдет в нагревательное устройство. В других вариантах осуществления используемые форсунки горелок представляют собой двухкомпонентные форсунки, такие как, например, кольцевая форсунка, и из двухкомпонентной форсунки выходят отдельные потоки кислорода или воздуха и горючего газа. Для этой цели в нагревательном устройстве имеется отдельный вход для забора воздуха или кислорода и отдельные трубы для горючего газа и кислорода или воздуха между двумя компонентными форсунками и входом.

Контакт частиц-прекурсоров с пламенем (языками пламени) может осуществляться путем диспергирования частиц-прекурсоров в самом горючем газе, в результате чего поток горючего газа, содержащего частицы-прекурсоры, выходит из форсунки(ок) горелки. В этом варианте осуществления частицы-прекурсоры проходят через все пламя и превращаются в пустотелые сферические стеклянные частицы. После прохождения через открытое пламя образовавшиеся таким образом пустотелые сферические стеклянные частицы охлаждаются, по меньшей мере, до такой степени, что частицы стекла становятся твердыми и переносятся потоком отработанных газов, образующихся при сгорании, через нагревательный блок к выходу, из которого эти пустотелые сферические стеклянные частицы можно подобрать. Охлаждение может осуществляться, например, путем охлаждения стенок нагревательного устройства ниже по потоку от пламени (языков пламени) и/или путем подачи негорючего газа, такого как воздух, или охлажденный повторно используемый газ из самого процесса, имеющий температуру окружающей среды, в нагревательное устройство, расположенное ниже по потоку от пламени (языков пламени). Разделение пустотелых сферических стеклянных

частиц и отработанного газа может осуществляться, например, с помощью циклона. Для дальнейшего охлаждения потока может использоваться теплообменник на линии, соединяющей нагревательное устройство и устройство разделения.

При необходимости, в реакционную камеру можно добавить негорючий газ, например, в месте до точки расположения открытого пламени (языков пламени). Такой дополнительный негорючий газ способствует перемещению пустотелых сферических стеклянных частиц к точке выхода и помогает избежать обратного смешивания. Примеры негорючих газов включают воздух, углекислый газ или восстановленный отработанный газ.

В еще одном варианте осуществления изобретения контакт частиц-прекурсоров с пламенем (языками пламени) может осуществляться путем диспергирования частиц-прекурсоров в отдельном негорючем газе, который выступает в качестве газа-носителя для частиц-прекурсоров, и при этом поток негорючего газа, в котором находятся частицы-прекурсоры, вводят в нагревательное устройство в месте до точки расположения открытого пламени (языков пламени). В этом варианте осуществления частицы-прекурсоры проходят не через пламя (языки пламени) в центре, а скорее через внешние области пламени (языков пламени). Как и в первом варианте осуществления изобретения, негорючий газ способствует перемещению пустотелых сферических стеклянных частиц к точке выхода и помогает избежать обратного смешивания. Очевидно, что эти два метода можно комбинировать, т.е. частицы-прекурсоры можно добавлять как к горючему газу, так и к негорючему.

В еще одном варианте осуществления изобретения нагревательное устройство представляет собой вращающуюся печь. В ней имеется реакционная камера в виде цилиндрической вращающейся трубы, которая обычно находится в горизонтальном положении или слегка наклонена к своему заднему концу. Контакт частиц-прекурсоров с пламенем (языками пламени) может осуществляться таким же образом, как было описано выше, т.е. путем их добавления к горючему или негорючему газу. Вращательное движение цилиндрической реакционной камеры, по меньшей мере, способствует обычному переносу частиц через реакционную камеру.

В одном из вариантов осуществления изобретения в продольной реакционной камере нагревательного устройства, согласно описанию выше, предпочтительно цилиндрической реакционной камере, имеется зона (а) горения и зона (b) охлаждения. Зона (b) охлаждения расположена ниже по потоку от зоны (а) горения: Частицы-прекурсоры вводят в зону (а) горения, где они превращаются в пустотелые сферические стеклянные частицы, а полученные таким образом пустотелые сферические стеклянные частицы транспортируют через зону (b) охлаждения и выводят в конце зоны (b) охлаждения.

Зона (а) горения нагревается, по меньшей мере, одним открытым пламенем, предпочтительно несколькими открытыми языками пламени, которые предпочтительно проходят по всему поперечному сечению цилиндрического реакционного устройства. Внутренние стенки реакционной камеры в зоне (а) горения предпочтительно защищены огнеупорным материалом, чтобы выдерживать высокие температуры. Подходящие огнеупорные материалы известны специалистам в данной области. Среди примеров керамические материалы на основе оксидов алюминия и/или кремния или карбидные материалы, такие как карбид кремния. Кроме того, можно использовать материалы ОСМС (композит с оксидной керамической матрицей). В одном варианте осуществления вся цилиндрическая реакционная камера изготовлена из огнеупорных материалов.

За зоной (а) горения следует зона (b) охлаждения, которая позволяет охлаждать сформированные пустотелые сферические стеклянные частицы после того, как они покинут пламя (языки пламени), по меньшей мере, до температуры, при которой стенка пустотелых сферических стеклянных частиц становится твердой. Таким образом, под охлаждением не обязательно понимается охлаждение до комнатной температуры, и здесь необходимо соблюдать только указанные минимальные требования. Специалистам в данной области известно, что температура плавления стекла сильно зависит от его состава. В целом, охлаждение пустотелых сферических стеклянных частиц до температуры, которая примерно на 500°C ниже, чем их соответствующая температура расплава, является достаточным, но при этом изобретение не ограничивается данным диапазоном.

Охлаждение начинается уже тогда, когда частицы больше не соприкасаются с пламенем (языками пламени). Более того, охлаждение может осуществляться путем подачи газа, такого как воздух, азот или повторно используемый

отработанный газ, имеющего температуру окружающей среды, в нагревательное устройство в месте ниже по потоку от точки расположения пламени (языков пламени). В этом варианте осуществления в реакционной камере имеются подходящие средства, такие как, например, впускные трубы, которые позволяют подавать в зону (b) охлаждения охлаждающий газ. Предпочтительно, впускные трубы могут быть расположены так, что часть газового потока направляется внутрь, а остальная часть фактически протекает параллельно стенке. Такое устройство помогает избежать прилипания к стенкам пустотелых сферических стеклянных частиц. В одном варианте осуществления может быть две или три или даже больше зон охлаждения, которые обеспечивают ступенчатое охлаждение. Более того, охлаждение может поддерживаться за счет, например, охлаждения стенок зоны (b) охлаждения. Охлаждение стенок можно обеспечивать, используя для зоны (b) охлаждения материал с двойными стенками, что позволяет вводить в полое пространство между двумя стенками охлаждающую среду. Для защиты стенок зоны (a) горения в соответствии с одним из вариантов осуществления изобретения стенки зоны (a) горения также могут охлаждаться. Для охлаждения предпочтительно, чтобы поток газа при температуре окружающей среды можно было вдувать в полость через впускное отверстие, а через выпускное отверстие при этом выводить горячий газ. Этот газ может быть представлен свежим газом, таким как воздух или азот, или же это может быть повторно используемый газ из самого процесса.

Термическая обработка обеспечивает поток пустотелых сферических стеклянных частиц в потоке отработанного газа, а, при необходимости, и дополнительный негорючий газ. Разделение пустотелых сферических стеклянных частиц и отработанного газа может осуществляться, например, с помощью циклона или фильтра.

Подробное описание

В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения нагревательное устройство, которое используют на этапе (II), содержит, по меньшей мере,

- входное отверстие подачи горючего газа,
- входное отверстие подачи негорючего газа,

- продольная реакционная камера, в которой предусмотрены, по меньшей мере, две разные зоны (а) и (b), причем
 - (а) зона горения, которая может нагреваться, по меньшей мере, одним открытым пламенем, при этом в зоне горения расположена, по меньшей мере, одна форсунка горелки, соединенная с входным отверстием подачи горючего газа,
 - (b) зона охлаждения, и
- выходное отверстие отвода пустотелых сферических стеклянных частиц, негорючих газов и отходов,

и этап (II) выполняют здесь следующим образом:

- (II-1) подача потока горючего газа через впускное отверстие, его передача на форсунку(и) горелки и зажигание, по меньшей мере, одного открытого пламени,
- (II-2) подача потока негорючего газа через входное отверстие в зону (а) горения и его перенос через зону (b) охлаждения к выходному отверстию отвода,
- (II-3) добавление частиц-прекурсоров в нагревательное устройство и обеспечение их контакта с открытым пламенем (языками пламени) в зоне (а) горения, по меньшей мере, одним способом, выбранным из следующего:
 - добавление частиц-прекурсоров к потоку горючего газа и/или
 - добавление частиц-прекурсоров к потоку негорючего газа, с получением потока пустотелых сферических стеклянных частиц, отработанного газа, образующегося при сгорании горючего газа, и негорючего газа,
- (II-4) охлаждение образовавшегося потока пустотелых сферических стеклянных частиц, отработанного газа и негорючего газа путем пропускания их через зону (b) охлаждения, и
- (II-5) отделение пустотелых сферических стеклянных частиц от отработанного газа и негорючего газа.

Предпочтительно продольная реакционная камера имеет цилиндрическую форму. В одном варианте осуществления продольная реакционная камера имеет вертикальную ориентацию, при этом зона (а) горения находится на ее нижнем конце, а зона (b) охлаждения – на верхнем.

На Фигуре 1 схематически представлен конкретный вариант осуществления нагревательного устройства, подходящего для использования в процессе по настоящему изобретению. Он предусматривает вертикальную цилиндрическую реакционную камеру, а частицы-прекурсоры добавляют в нее к горючему газу. Реакционная камера (1) имеет цилиндрическую форму и состоит из двух разных зон: зоны (а) горения и зоны (b) охлаждения. В зоне (а) горения горит пламя (2). Пламя подпитывается горючим газом, который выходит, по меньшей мере, из одной форсунки (3) горелки. Кроме того, в нагревательном устройстве имеется одно входное отверстие подачи для горючего газа (4).

Подробные сведения о горючих газах, форсунках горелок и смешивании горючих газов с воздухом или кислородом уже приводились ранее. В варианте осуществления, показанном на Фигуре 1, представлена однокомпонентная форсунка и, следовательно, горючий газ, предварительно смешанный с кислородом или воздухом, должен вводиться через входное отверстие (4) подачи. Диаметр реакционной камеры может выбираться квалифицированным специалистом в соответствии с его/ее потребностями. Как уже приводилось ранее, термин «диаметр» относится к гидравлическому диаметру реакционной камеры. Этот размер может быть, например, 0,1 - 3 м, например, 1 - 3 м, не ограничивая настоящее изобретение указанными числами.

В других вариантах осуществления изобретения используют множество форсунок горелок и языков пламени. Группа форсунок предпочтительно расположена таким образом, что пламя присутствует по всему поперечному сечению зоны (а) горения. Вариант осуществления, предусматривающий множество форсунок горелок, схематично показан на Фигуре 2. На Фигуре 3 схематически показан вид форсунок горелок сверху: 8 форсунок (3) горелок, расположенных в цилиндрической реакционной камере по кругу. Горючий газ поступает из входного отверстия (4) подачи в кольцевую линию (11), которая питает горючим газом все форсунки горелок. Форсунки могут быть расположены вертикально, как показано на Фигуре 3, но при этом они также могут быть немного

наклонены к центру кольца и/или в другом направлении. Цель такого расположения форсунок состоит в том, чтобы пламя присутствовало по всему поперечному сечению зоны горения. В одном варианте осуществления форсунки могут быть наклонены от вертикальной центральной линии под углом от 1 до 30°.

Кроме того, в нагревательном устройстве предусмотрено входное отверстие (5) для негорючего газа, как показано на Фигуре 1. Такой дополнительный негорючий газ способствует перемещению пустотелых сферических стеклянных частиц к точке выхода и помогает избежать обратного смешивания. Примеры негорючих газов включают воздух, углекислый газ или восстановленный газ из самого процесса.

Внутренние стенки реакционной камеры в зоне (а) горения предпочтительно защищены огнеупорным материалом, чтобы выдерживать высокие температуры. Подходящие огнеупорные материалы известны специалистам в данной области. Среди примеров керамические материалы на основе оксидов алюминия и/или кремния или карбидные материалы, такие как карбид кремния. Кроме того, можно использовать материалы ОСМС (композит с оксидной керамической матрицей). В одном из вариантов осуществления изобретения огнеупорные материалы охлаждаются. Такое охлаждение может достигаться за счет применения реакционной камеры с двойными стенками, по меньшей мере, в зоне (а) горения. В других вариантах осуществления зона (b) охлаждения также может иметь двойные стенки, чтобы иметь возможность охлаждаться. Для охлаждения предпочтительно, чтобы поток газа при температуре окружающей среды можно было вдувать в полость через впускное отверстие, а через выпускное отверстие при этом выводить горячий газ. Полое пространство между двумя стенками может быть разделено на несколько секций, каждая из которых имеет входное отверстие подачи и выходное отверстие для отвода хладагента, предпочтительно газа, как указано выше, благодаря чему стенки различных зон реакционной камеры могут охлаждаться независимо друг от друга.

На Фигуре 1 схематически представлено нагревательное устройство с реакционной камерой, состоящей из трех различных зон (б) для охлаждения стенок.

Кроме того, в нагревательном устройстве предусмотрено выходное отверстие (7). Это выходное отверстие служит для удаления из реакционной камеры пустотелых сферических стеклянных частиц, образующихся в процессе термообработки. Кроме того, его используют для отвода образующегося в процессе горения отработанного газа из реакционной камеры, а также для удаления негорючего газа, впрыскиваемого в реакционную камеру.

Также в нагревательном устройстве предусмотрено средство для отделения пустотелых сферических стеклянных частиц от отработанного и негорючего газа. В качестве такого устройства может использоваться циклон (8). Газы отводят через выпускное отверстие (9), а пустотелые сферические стеклянные частицы извлекают через еще одно выпускное отверстие (10). Разумеется, для разделения можно использовать и другие устройства, например, фильтры.

В ходе этапа (II) поток частиц-прекурсоров подают в нагревательное устройство, с получением пустотелых сферических стеклянных частиц. Этап (II) включает, по меньшей мере, 5 подэтапов (II-1), (II-2), (II-3), (II-4) и (II-5).

На этапе (II-1) поток горючего газа подают через входное отверстие (4), переносят по трубе к форсунке(ам) (3) горелки, расположенной(ым) в зоне (а) горения, после чего зажигают пламя (2).

В ходе этапа (II-2) поток негорючего газа вводят в зону (а) горения через входное отверстие (5) и через зону (b) охлаждения подают к выходному отверстию (7). В результате имеется поток газа и частиц в одном направлении от входного отверстия (5) к выходному отверстию (7).

На этапе (II-3) частицы-прекурсоры добавляют в нагревательное устройство и обеспечивают их контакт с открытым пламенем (языками пламени) в зоне (а) горения, с получением потока пустотелых сферических стеклянных частиц, отработанного газа, образующегося при сгорании горючего газа, и негорючего газа.

В первом варианте осуществления изобретения частицы-прекурсоры добавляют к потоку горючего газа. Способы добавления твердых веществ в поток газа, при использовании которых твердые частицы можно транспортировать вместе с этим потоком, в целом, известны специалистам в данной области. Например, частицы можно добавить в вихрекамеру, через которую проходит, по меньшей мере, часть потока горючего газа.

Во втором варианте негорючий газ выступает в качестве газа-носителя для частиц-прекурсоров, и эти частицы добавляют к потоку негорючего газа.

Очевидно, что частицы-прекурсоры можно добавлять как к потоку горючего, так и к потоку негорючего газа. Кроме того, могут применяться и другие способы добавления частиц-прекурсоров в зону горения, а также другие способы обеспечения их контакта с открытым пламенем (языками пламени).

Первый вариант осуществления изобретения схематично представлен на Фигуре 1. Частицы-прекурсоры диспергируются в горючем газе, после чего поток горючего газа и частиц-прекурсоров добавляют через входное отверстие (4) и переносят по трубе к форсунке(ам) (3) горелки. Частицы-прекурсоры проходят через все пламя и в этом пламени превращаются в пустотелые сферические стеклянные частицы.

Сформированные таким образом пустотелые сферические стеклянные частицы переносятся потоком отработанного газа, образующегося при сгорании, через нагревательный блок к выходному отверстию (7). Кроме того, негорючий газ вводят в реакционную камеру через входное отверстие (5) в месте перед точкой расположения открытого пламени (языков пламени). Цель использования такого дополнительного негорючего газа состоит в том, чтобы избежать обратного смешивания и способствовать переносу пустотелых сферических стеклянных частиц к выходному отверстию.

Второй вариант осуществления изобретения схематично представлен на Фигуре 4. Нагревательное устройство, показанное на Фигуре 4, аналогично тому, что представлено на Фигуре 1. Оно нагревается несколькими языками пламени (2), на которые подают горючий газ, поступающий в нагревательное устройство через входное отверстие (4). Поток негорючего газа подают во входное отверстие (5) и к этому потоку добавляют частицы-прекурсоры. Поток негорючего газа и частиц-прекурсоров подают в реакционную камеру в месте перед точкой расположения открытого пламени (языков пламени), в результате чего он проходит через пламя, образуя за счет этого пустотелые сферические стеклянные частицы. Как показано на Фигуре 4, выгодно использовать множество языков пламени, чтобы пламя присутствовало практически по всему поперечному сечению зоны (а) горения. Такое устройство обеспечивает хороший контакт между пламенем и частицами-

прекурсорами и, следовательно, процесса приобретает высокую эффективность. Нагревательное устройство, показанное на Фигуре 4, дополнительно содержит смесительную камеру (12), в которой исходные частицы (13) предварительно смешивают с потоком негорючего газа (14). Затем предварительно подготовленную смесь переносят в основную линию, по которой поток негорючего газа и частиц-прекурсоров передают в реакционную камеру (1).

В рамках способа по настоящему изобретению предусмотрено короткое время контакта частиц-прекурсоров с пламенем (языками пламени). В одном варианте осуществления оно может составлять, например, 0,001 с - 1 с. Время контакта в основном зависит от длины пламени. Скорость горения пламени также предусмотрена высокой. В одном варианте осуществления оно может составлять, например, 5 - 100 м/с.

На этапе (II-4) поток пустотелых сферических стеклянных частиц, отработанного газа и негорючего газа пропускают через зону (b) охлаждения, за счет чего охлаждаются пустотелые сферические стеклянные частицы. В зоне (b) охлаждения пустотелые сферические стеклянные частицы, образованные в зоне горения, охлаждаются, по меньшей мере, до температуры, при которой стенка этих частиц становится твердой. В целом, охлаждение пустотелых сферических стеклянных частиц до температуры, которая примерно на 500°C ниже, чем их соответствующая температура плавления, является достаточным, но при этом изобретение не ограничивается данным диапазоном.

Охлаждение начинается уже тогда, когда частицы больше не соприкасаются с пламенем (языками пламени). В одном из вариантов осуществления изобретения охлаждение обеспечивается за счет подачи в зону охлаждения негорючего газа, такого как воздух, азот, углекислый газ или повторно используемый отработанный газ, предпочтительно имеющего температуру окружающей среды. В этом варианте осуществления в реакционной камере имеются подходящие средства, такие как, например, впускные трубы, которые позволяют подавать в зону (b) охлаждения охлаждающий газ.

Предпочтительно, впускные трубы могут быть расположены так, что часть потока нагнетаемого газа направляется внутрь реакционной камеры, а остальная часть потока фактически протекает параллельно стенке. Такое устройство помогает

избежать прилипания к стенкам сформировавшихся пустотелых сферических стеклянных частиц. Как уже говорилось ранее, охлаждению может способствовать охлаждение стен.

На Фигуре 5 схематически показан один из вариантов нагревательного устройства, в котором негорючий газ вводят в зону (b) охлаждения. Нагревательное устройство, изображенное на Фигуре 5, имеет горизонтальное исполнение. Оно содержит элементы нагревательного устройства, которые уже показаны на Фигурах 1 и 4. К потоку негорючего газа добавляют частицы-прекурсоры. Кроме того, зона (b) охлаждения содержит впускные отверстия (16) для негорючего газа. Впускные отверстия расположены таким образом, что охлаждающий газ течет вниз по потоку вдоль стенки реактора, благодаря чему эта стенка охлаждается. На Фигуре 5 также показаны два элемента, которые можно использовать по желанию: Внутренние стенки реакционной камеры в зоне (a) горения предпочтительно защищены огнеупорным материалом (17), чтобы выдерживать высокие температуры. Кроме того, нагревательное устройство содержит выпрямители (18) потока, которые помогают избежать обратного смешивания.

На Фигуре 6 схематически показан другой вариант ввода охлаждающего газа в зону охлаждения. В реакционной камере предусмотрены отверстия (22), через которые воздух извне всасывается внутрь камеры, после чего всасываемый воздух стекает потоками вдоль стенки реактора. Множество таких отверстий можно расположить по окружности. В одном из вариантов осуществления отверстия (22) могут быть расположены в начале зоны (b) охлаждения, как показано на Фигуре 6, но при этом они также могут располагаться ниже по потоку. Очевидно, что множество таких отверстий может быть расположено на разных расстояниях от пламени (языков пламени) в направлении потока. Кроме того, на Фигуре 6 показан еще один вариант осуществления изобретения, а именно двухкомпонентные форсунки (23), в которые подают отдельные потоки воздуха (21) и горючего газа (20).

В ходе этапа (II-5) пустотелые сферические частицы стекла отделяются от потока выхлопных газов. Такое разделение может осуществляться с использованием обычных технологий. В одном из вариантов осуществления изобретения используют циклон. На Фигурах 1, 4 и 5 схематично показаны нагревательные устройства, оснащенные циклоном (8) для отделения пустотелых

сферических стеклянных частиц. Газы отводят через выпускное отверстие (9), а пустотелые сферические стеклянные частицы извлекают через еще одно выпускное отверстие (10). Разумеется, для отделения можно использовать и другие устройства, например, фильтры. Газы могут содержать остаточное количество мелких частиц, которые можно отделить дополнительным фильтром, например, электрофильтром.

На Фигуре 7 показана блок-схема одного из вариантов установки для производства пустотелых сферических стеклянных частиц в соответствии со способом по настоящему изобретению. На ней показана реакционная камера (1) согласно подробному описанию выше, в которой согласно описанию выше изготавливают пустотелые сферические стеклянные частицы. Полученный поток продукта, содержащий отработанный газ и пустотелые сферические стеклянные частицы, подают через выпускное отверстие (7) в циклон (8), где эти частицы отделяют от газового потока и отводят через выпускное отверстие (10). Линия между выпускным отверстием и циклоном содержит теплообменник (38) для дополнительного снижения температуры потока, содержащего отработанный газ и пустотелые сферические стеклянные частицы, перед его входом в циклон (8). Поток отработанного газа (9) пропускают через электрофильтр (26) для удаления остаточных твердых частиц из потока отработанного газа.

Поток отработанного газа (9) может отводиться через выпускное отверстие (27) и/или рециркулироваться с помощью компрессора (25) в реактор. Свежий негорючий газ может поступать через впускное отверстие (23). Поток отработанного и/или свежего газа разделяют, и частичный поток (24) подают в смесительную камеру (12). Второй частичный поток (28) поступает непосредственно на входное отверстие (5). В смесительную камеру (12) также подают частицы-прекурсоры (13), которые смешивают с частичным потоком газа (24). Полученный концентрированный поток частиц-прекурсоров и отработанного и/или свежего газа подают во второй частичный поток (28), а объединенные потоки подают через входное отверстие (5) в реакционную камеру. Часть потока отходящего газа (39) может быть ответвлена, охлаждена одним или более теплообменником (теплообменниками) (38) и подана в реакционную камеру для охлаждения, как указывалось выше. Установка, показанная на Фигуре 7, может работать со свежим негорючим газом, поступающим через входное отверстие (23).

В других вариантах осуществления через выход (27) удаляют только часть отработанного газа, образующегося в ходе реакции, а другая часть рециркулируется и снова поступает в реакционную камеру.

В других вариантах осуществления настоящего изобретения в нагревательное устройство, которое используют на этапе (II), содержит, по меньшей мере,

- входное отверстие подачи горючего газа,
- при необходимости, входное отверстие подачи негорючего газа,
- цилиндрическую вращаемую реакционную камеру, которая закреплена на концах с возможностью вращения в неподвижном переднем узле и неподвижном заднем узле, причем эта цилиндрическая вращаемая реакционная камера расположена горизонтально или наклонно к ее заднему концу, и причем эта цилиндрическая вращаемая реакционная камера содержит, по меньшей мере, две разные зоны (a) и (b), причем
 - (a) представляет собой зону горения, которая может нагреваться, по меньшей мере, одним открытым пламенем, при этом в зоне горения расположена, по меньшей мере, одна форсунка горелки, соединенная с входным отверстием подачи горючего газа,
 - (b) представляет собой зону охлаждения, и
- неподвижный передний блок, содержащий, по меньшей мере, крепление для цилиндрической вращаемой реакционной камеры, входное отверстие для потока горючего газа, которое соединено с форсункой горелки, и расположено в зоне (a), и, при необходимости, входное отверстие для негорючего газа,
- неподвижный задний блок, содержащий, по меньшей мере, крепление для цилиндрической вращаемой реакционной камеры, выходное отверстие для пустотелых сферических стеклянных частиц и выходное отверстие для отработанного газа, и
- средство для вращения цилиндрической вращаемой реакционной камеры вокруг ее продольной оси

и этап (II) осуществляют следующим образом:

- (II-0') вращение цилиндрической вращаемой реакционной камеры вокруг ее продольной оси,
- (II-1') подачу потока горючего газа через впускное отверстие, его передача на форсунку(и) горелки и зажигание, по меньшей мере, одного открытого пламени,
- (II-2') при необходимости, введение потока негорючего газа через входное отверстие и его пропуск через реакционную камеру к выходному отверстию,
- (II-3') добавление частиц-прекурсоров в нагревательное устройство и обеспечение их контакта с открытым пламенем (языками пламени) в зоне (а) горения за счет следующего:
- добавление частиц-прекурсоров к потоку горючего газа и/или
 - добавление частиц-прекурсоров к потоку негорючего газа,
- с получением пустотелых сферических стеклянных частиц в потоке газа,
- (II-4') охлаждение пустотелых сферических стеклянных частиц в потоке отработанного газа путем их пропуска через зону (b) охлаждения посредством вращательного движения, и
- (II-5') извлечение пустотелых сферических стеклянных частиц через выходное отверстие для пустотелых сферических стеклянных частиц неподвижного заднего блока и/или путем отделения пустотелых сферических стеклянных частиц от потока отработанного газа, выходящего через выходное отверстие для отработанных газов.

На Фигуре 8 схематически представлен конкретный вариант осуществления такого нагревательного устройства. Нагревательное устройство содержит неподвижную переднюю часть (30) и неподвижную заднюю часть (31). Цилиндрическая вращаемая реакционная камера (29), которая установлена с возможностью вращения на своих концах в переднем блоке (30) и в заднем блоке (31). Внутренний диаметр цилиндрической реакционной камеры может быть, например, 0,1 - 3 м, например, 1 - 3 м, не ограничивая настоящее изобретение указанными числами.

Вращаемая реакционная камера включает зону (а) горения, которая нагревается, по меньшей мере, одним языком открытого пламени (3),

предпочтительно несколькими языками пламени, и в зону (b) охлаждения. Подробная информация уже была представлена выше, и мы ссылаемся на соответствующие разделы. Внутренние стенки реакционной камеры в зоне (a) горения предпочтительно защищены огнеупорным материалом, чтобы выдерживать высокие температуры. Подходящие огнеупорные материалы уже упоминались выше.

Неподвижный передний блок (30), содержащий, по меньшей мере, крепление (32) для установки цилиндрической реакционной камеры с возможностью вращения и входное отверстие подачи горючего газа (4), которое соединено с форсункой (3) горелки или предпочтительно с множеством форсунок горелок, расположенных в зоне (a). Так, форсунка(и) (3) горелки не связана(ы) с поворотной реакционной камерой, а выходит(ят) из неподвижного переднего блока в зону (a). Как уже описывалось ранее, форсунки горелок могут быть однокомпонентными или двухкомпонентными. Неподвижный передний блок (30) может дополнительно содержать входное отверстие подачи негорючего газа.

Неподвижный задний блок также содержит, по меньшей мере, крепление (32) для цилиндрической вращаемой реакционной камеры и, кроме того, выходное отверстие (34) для пустотелых сферических стеклянных частиц и выходное отверстие (35), по меньшей мере, для отвода отработанного газа, а также, по меньшей мере, часть пустотелых сферических стеклянных частиц можно извлекать из нагревательного блока через выходное отверстие (35). Выходное отверстие (34) предпочтительно находится в нижней части неподвижного заднего блока, так что пустотелые сферические стеклянные частицы могут извлекаться под действием силы тяжести. Выходное отверстие (35), при необходимости, может быть соединено с устройством для отделения пустотелых сферических стеклянных частиц от потока отработанного газа, например, фильтром или циклоном, как описано выше.

Нагревательное устройство также содержит средство (33) для вращения цилиндрической вращаемой реакционной камеры вокруг ее продольной оси.

На Фигуре 9 схематически показан еще один вариант осуществления нагревательного устройства с вращаемой реакционной камерой. В этом варианте осуществления внутренняя стенка зоны (a) горения защищена слоем огнеупорного

материала (36) и, кроме того, содержит входные отверстия для воздуха (37), необходимого для охлаждения стенок зоны (b) охлаждения.

Вращаемая цилиндрическая реакционная камера расположена горизонтально или наклонно к ее заднему концу. Если реакционная камера наклонена, угол наклона цилиндрической вращаемой реакционной камеры может составлять от более чем 0° до 20° , предпочтительно от более чем 0° до 10° . Само по себе вращение цилиндрической реакционной камеры может оказывать влияние на перенос пустотелых сферических стеклянных частиц, особенно в связи с наклоном реакционной камеры. В других вариантах осуществления изобретения цилиндрическая вращающаяся реакционная камера включает в себя приспособления для транспортировки материала, такие как, например, винт. Конечно, поток отработанного газа и, при необходимости, поток дополнительного негорючего газа также могут способствовать транспортировке продуктов через вращаемую реакционную камеру.

На Фигурах 10 и 11 схематически показан вариант осуществления изобретения, в котором неподвижный передний блок нагревательного устройства дополнительно содержит входное отверстие (5) для подачи негорючего газа. На Фигуре 10 частицы-прекурсоры добавляют к потоку горючего газа, а на Фигуре 11 их добавляют к негорючему газу.

Этап (II) настоящего варианта использования нагревательного устройства, содержащего вращаемую реакционную камеру, включает, по меньшей мере, 5 подэтапов (II-0'), (II-1'), (II-3'), (II-4') и (II-5'). При необходимости, указанный способ может дополнительно включать этап (II-2').

В ходе этапа (II-0') цилиндрическая вращаемая реакционная камера вращается вокруг своей продольной оси. Скорость вращения может выбираться специалистом в данной области, и может составлять, например, от 0,5 до 10 оборотов в минуту (об/мин).

На этапе (II-1') поток горючего газа подают через входное отверстие (4), переносят по трубе к форсунке(ам) (3) горелки, расположенной(ым) в зоне (a) горения, после чего зажигается пламя (2).

На этапе (II-3') частицы-прекурсоры добавляют в нагревательное устройство и обеспечивают их контакт с открытым пламенем (языками пламени) в зоне (a)

горения, с получением потока пустотелых сферических стеклянных частиц, отработанного газа, образующегося при сгорании горючего газа, и негорючего газа.

В первом варианте осуществления изобретения на этапе (II-3') частицы-прекурсоры добавляют к потоку горючего газа. Подробная информация о добавлении частиц-прекурсоров к потоку горючего газа уже приводилась выше. Способы добавления твердых веществ к потоку газа уже были описаны выше. Например, можно использовать смесительную камеру согласно описанию выше. Такой вариант схематично показан на Фигурах 8, 9 и 10. В одном из вариантов осуществления, который схематично показан на Фигуре 10, через входное отверстие (5) подают дополнительный поток негорючего газа. Как указывалось выше, такой дополнительный негорючий газ может способствовать предотвращению обратного смешивания и перемещению пустотелых сферических стеклянных частиц к выходному отверстию.

Во втором варианте осуществления этапа (II-3') неподвижный передний блок дополнительно содержит входное отверстие (5) для негорючего газа, как показано на Фигуре 11, и процесс включает этап (II-2'), в ходе которого поток негорючего газа подают в нагревательное устройство через указанное входное отверстие (5) и через вращающуюся реакционную камеру (29) к выходному отверстию (35). К потоку негорючего газа добавляют частицы-прекурсоры. Поэтому в данном варианте осуществления негорючий газ действует как газ-носитель.

На этапе (II-4) поток пустотелых сферических стеклянных частиц, отработанного газа и, при необходимости, негорючего газа пропускают через зону (b) охлаждения, за счет чего охлаждаются пустотелые сферические стеклянные частицы. Как уже разбиралось выше, в зоне (b) охлаждения пустотелые сферические стеклянные частицы, образованные в зоне (a) горения, охлаждаются, по меньшей мере, до температуры, при которой стенка этих частиц становится твердой. В одном из вариантов осуществления изобретения охлаждение обеспечивается за счет подачи в зону охлаждения негорючего газа, такого как воздух или азот, предпочтительно имеющего температуру окружающей среды. В этом варианте осуществления в реакционной камере имеются подходящие средства, такие как, например, впускные трубы, которые позволяют подавать в зону (b) охлаждения охлаждающий газ. Предпочтительно впускные трубы могут

быть расположены так, что поток нагнетаемого газа фактически будет течь параллельно стенке. Такое устройство помогает избежать прилипания к стенкам сформировавшихся пустотелых сферических стеклянных частиц.

На этапе (II-5') пустотелые сферические стеклянные частицы извлекают из нагревательного устройства через выходное отверстие (34) неподвижного заднего блока и/или отделяют от потока отработанных газов или, при необходимости, дополнительно впрыскивают поток отработанного и негорючего газа, который выводят через выходное отверстие (35). Как указано выше, для такого разделения можно использовать, например, фильтрующую установку или циклон.

Устройства для проведения процесса

В другом варианте осуществления настоящее изобретение относится к нагревательному устройству для термообработки частиц-прекурсоров, содержащих SiO_2 , Al_2O_3 и оксид щелочного металла, при температуре 1000 - 1800°C, с получением пустотелых сферических стеклянных частиц, содержащему, по меньшей мере, следующее:

- продольная реакционная камера, в которой предусмотрены, по меньшей мере, две разные зоны (а) и (b), причем
 - (а) зона горения, которая может нагреваться, по меньшей мере, одним открытым пламенем, при этом в зоне горения расположена, по меньшей мере, одна форсунка горелки, соединенная с входным отверстием подачи горючего газа,
 - (b) зона охлаждения, и
- входное отверстие подачи горючего газа,
- входное отверстие ввода негорючего газа в зону (а) горения,
- средство для добавления частиц-прекурсоров, содержащих SiO_2 , Al_2O_3 и оксид щелочного металла, к горючему и/или негорючему газу,
- выходное отверстие для извлечения пустотелых сферических стеклянных частиц, отвода негорючих газов и отходов из зоны (b) охлаждения.

Подробная информация о таком нагревательном устройстве, включая предпочтительные варианты осуществления изобретения, была приведена выше, и мы напрямую ссылаемся к соответствующим параграфам документа.

В еще одном варианте осуществления настоящее изобретение относится к нагревательному устройству для термообработки частиц-прекурсоров, содержащих SiO_2 , Al_2O_3 и оксид щелочного металла, при температуре 1000 - 1800°C, с получением пустотелых сферических стеклянных частиц, содержащему, по меньшей мере, следующее:

- входное отверстие подачи горючего газа,
- при необходимости, входное отверстие подачи негорючего газа,
- цилиндрическая вращаемая реакционная камера, которая закреплена на концах с возможностью вращения в неподвижном переднем узле и неподвижном заднем узле, отличающаяся тем, что эта цилиндрическая вращаемая реакционная камера расположена горизонтально или наклонно к ее заднему концу, и при этом в ней имеется, по меньшей мере, две разные зоны (a) и (b), причем
 - (a) зона горения, которая может нагреваться, по меньшей мере, одним открытым пламенем, при этом в зоне горения расположена, по меньшей мере, одна форсунка горелки, соединенная с входным отверстием подачи горючего газа,
 - (b) зона охлаждения, и
- неподвижный передний блок, содержащий, по меньшей мере, крепление для цилиндрической вращаемой реакционной камеры, входное отверстие для потока горючего газа, которое соединено с форсункой горелки, и расположено в зоне (a), и, при необходимости, входное отверстие для негорючего газа,
- неподвижный задний блок, содержащий, по меньшей мере, крепление для цилиндрической вращаемой реакционной камеры, выходное отверстие для пустотелых сферических стеклянных частиц и выходное отверстие для отработанного газа, и
- привод для вращения цилиндрической вращаемой реакционной камеры вокруг ее продольной оси.

Подробная информация о таком нагревательном устройстве, включая предпочтительные варианты осуществления изобретения, была приведена выше, и мы напрямую ссылаемся к соответствующим параграфам документа.

Использование пустотелых сферических стеклянных частиц

Изобретение также относится к использованию пустотелых сферических стеклянных частиц, содержащих, по меньшей мере, SiO_2 , Al_2O_3 и оксид щелочного металла, в качестве наполнителя для высокотемпературных продуктов, расплавленного металла, литевых синтетических материалов, огнезащитных изоляционных пен, цементных растворов, строительных растворов, бетонов и средств для нефтяных месторождений, в которых пустотелые сферические стеклянные частицы изготавливают с помощью описанного выше способа.

В еще одном варианте осуществления изобретение относится к использованию пустотелых сферических стеклянных частиц, содержащих, по меньшей мере, SiO_2 , Al_2O_3 и оксид щелочного металла, в качестве добавки к расплавленным металлам, имеющим температуру плавления, по меньшей мере, 500°C , причем пустотелые сферические частицы стеклянные частицы изготавливают описанным выше способом.

Подробная информация о пустотелых сферических стеклянных частицах, включая предпочтительные варианты осуществления, уже приводилась ранее в документе, и мы ссылаемся на соответствующие параграфы описания выше.

Пустотелые сферические стеклянные частицы, которые должны использоваться согласно описанию выше, предпочтительно содержат, по меньшей мере, 30 мас.% SiO_2 , по меньшей мере, 25 мас.% Al_2O_3 и, по меньшей мере, 18 мас.% оксида щелочного металла, предпочтительно Na_2O , в каждом случае из расчета на общую массу пустотелых сферических стеклянных частиц, и не содержат бор. Кроме того, предпочтительный средний диаметр пустотелых сферических стеклянных частиц, используемых, согласно описанию выше, составляет 20 мкм - 200 мкм.

В способе производства таких частиц, которые будут использоваться согласно описанию выше, предпочтительно используют исходный состав, содержащий, по меньшей мере, цеолит, глину и карбонат щелочного металла, а температура термообработки составляет 1300°C - 1600°C .

Преимущества настоящего изобретения

Описанный в соответствии с настоящим изобретением способ термообработки частиц-прекурсоров путем их контакта с, по меньшей мере, одним открытым пламенем для получения пустотелых сферических стеклянных частиц имеет преимущества по сравнению с известным уровнем техники.

Поскольку нагревательное устройство нагревается изнутри открытым пламенем (языками пламени) и термообработка осуществляется путем контакта частиц-прекурсоров с открытым пламенем (языками пламени), не возникает проблемы теплопередачи в нагревательное устройство и, следовательно, преимуществом является то, что внутренний диаметр цилиндрического нагревательного устройства можно сделать очень большим. Этот размер может быть, например, 0,1 - 3 м, например, 1 - 3 м, не ограничивая настоящее изобретение указанными числами. Использование такого большого диаметра значительно облегчает создание производственных установок, обладающих высокой производительностью. Масштабирование по сравнению с уровнем лабораторных или опытных производственных установок облегчается простым увеличением количества форсунок горелок и диаметра реакционной камеры.

Формула изобретения

1. Способ производства пустотелых сферических стеклянных частиц, содержащих, по меньшей мере, SiO_2 , Al_2O_3 и оксид щелочного металла, **отличающийся тем**, что указанный способ включает, по меньшей мере, следующие этапы:

(I) подготовка частиц-прекурсоров с использованием процесса, включающего, по меньшей мере, следующие подэтапы:

(I-1) получение исходного состава, содержащего частицы, по меньшей мере, одного исходного соединения для производства стекла, которое содержит, по меньшей мере, SiO_2 , Al_2O_3 и оксид щелочного металла,

(I-2) смешивание исходного состава с жидкостью, с получением суспензии, и

(I-3) распылительная сушка полученной суспензии, с получением частиц-прекурсоров, и

(II) термообработка частиц-прекурсоров при температуре 1000°C - 1800°C посредством пропускания этих частиц через нагревательное устройство, с получением пустотелых сферических стеклянных частиц,

причем внутри нагревательного устройства горит, по меньшей мере, одно открытое пламя, подпитываемое горючим газом, а термообработку проводят за счет контакта частиц-прекурсоров с открытым пламенем.

2. Способ по п. 1, **отличающийся тем**, что пустотелые сферические стеклянные частицы предпочтительно содержат, по меньшей мере, 30 мас.% SiO_2 , по меньшей мере, 25 мас.% Al_2O_3 и, по меньшей мере, 18 мас.% оксида щелочного металла, в каждом случае из расчета на общую массу пустотелых сферических стеклянных частиц.

3. Способ по пп. 1 или 2, **отличающийся тем**, что в качестве оксида щелочного металла используют Na_2O .

4. Способ по любому из пп. 1 - 3, **отличающийся тем**, что пустотелые сферические стеклянные частицы не содержат бор.

5. Способ по любому из пп. 1 - 4, **отличающийся тем**, что средний диаметр пустотелых сферических стеклянных частиц составляет 20 мкм - 200 мкм.

6. Способ по любому из пп. 1 - 5, **отличающийся тем**, что исходный состав содержит, по меньшей мере, цеолит.

7. Способ по любому из пп. 1 - 5, **отличающийся тем**, что исходный состав включает, по меньшей мере, цеолит, глину и карбонат щелочного металла.

8. Способ по любому из пп. 1 - 7, **отличающийся тем**, что температура термообработки составляет 1300°C - 1600°C.

9. Способ по любому из пп. 1 - 8, **отличающийся тем**, что время контакта с пламенем (языками пламени) составляет 0,001 с - 1 с.

10. Способ по любому из пп. 1 - 9, **отличающийся тем**, что нагревательное устройство имеет продольную реакционную камеру.

11. Способ по п. 10, **отличающийся тем**, что реакционная камера выполнена цилиндрической.

12. Способ по пп. 10 или 11, **отличающийся тем**, что внутренний гидравлический диаметр продольной реакционной камеры составляет 0,1 - 3 м.

13. Способ по любому из пп. 1 - 12, **отличающийся тем**, что частицы-прекурсоры рассеиваются в горючем газе, который подпитывает пламя (языки пламени) в нагревательном устройстве.

14. Способ по любому из пп. 1 - 12, **отличающийся тем**, что частицы-прекурсоры диспергированы в невоспламеняющемся газе, который добавляют в нагревательное устройство в точке до места нахождения пламени (языков пламени).

15. Способ по любому из пп. 1 - 14, **отличающийся тем**, что полученные пустотелые сферические стеклянные частицы охлаждают после контакта с открытым пламенем (языками пламени), по меньшей мере, в одной зоне охлаждения, по меньшей мере, одним способом, выбранным из следующего

- введение газа в реакционную камеру и
- охлаждение стен реакционной камеры.

16. Способ по п. 15, **отличающийся тем**, что реакционная камера включает, по меньшей мере, две зоны охлаждения.

17. Способ по любому из пп. 1 - 9, **отличающийся тем**, что нагревательное устройство, которое используют на этапе (II), содержит, по меньшей мере,

- входное отверстие подачи горючего газа,
- входное отверстие подачи негорючего газа,
- продольная реакционная камера, в которой предусмотрены, по меньшей мере, две разные зоны (а) и (b), причем
 - (а) зона горения, которая может нагреваться, по меньшей мере, одним открытым пламенем, при этом в зоне горения расположена, по меньшей мере, одна форсунка горелки, соединенная с входным отверстием подачи горючего газа,
 - (b) зона охлаждения, и
- выходное отверстие отвода пустотелых сферических стеклянных частиц, негорючих газов и отходов,

и этап (II) выполняют здесь следующим образом:

(II-1) подача потока горючего газа через впускное отверстие, его передача на форсунку(и) горелки и зажигание, по меньшей мере, одного открытого пламени,

(II-2) подача потока негорючего газа через входное отверстие в зону (а) горения и его перенос через зону (b) охлаждения к выходному отверстию отвода,

(II-3) добавление частиц-прекурсоров в нагревательное устройство и обеспечение их контакта с открытым пламенем (языками пламени) в зоне (а) горения, по меньшей мере, одним способом, выбранным из следующего:

- добавление частиц-прекурсоров к потоку горючего газа и/или
- добавление частиц-прекурсоров к потоку негорючего газа, с получением потока пустотелых сферических стеклянных частиц, отработанного газа, образующегося при сгорании горючего газа, и негорючего газа,

- (II-4) охлаждение образовавшегося потока пустотелых сферических стеклянных частиц, отработанного газа и негорючего газа путем пропускания их через зону (b) охлаждения, и
- (II-5) отделение пустотелых сферических стеклянных частиц от отработанного газа и негорючего газа.

18. Способ по п. 17, **отличающийся тем**, что продольная реакционная камера имеет вертикальное исполнение, при этом зона (a) горения находится на ее нижнем конце, а зона (b) охлаждения – на верхнем конце.

19. Способ по пп. 17 или 18, **отличающийся тем**, что внутренние стенки реакционной камеры в зоне (a) горения защищены огнеупорным материалом.

20. Способ по п. 19, **отличающийся тем**, что огнеупорный материал охлаждают.

21. Способ по любому из пп. 17 - 20, **отличающийся тем**, что зона (a) горения содержит множество форсунок для горючего газа.

22. Способ по п. 21, **отличающийся тем**, что множество форсунок расположено таким образом, что пламя присутствует во всем поперечном сечении зоны (a) горения.

23. Способ по любому из пп. 17 - 22, **отличающийся тем**, что зона (b) охлаждения содержит средства для дополнительной подачи охлаждающего газа в зону охлаждения.

24. Способ по любому из пп. 17 - 23, **отличающийся тем**, что стенки зоны (b) охлаждения охлаждают негорючим газом.

25. Способ по любому из пп. 17 - 24, **отличающийся тем**, что реакционная камера включает, по меньшей мере, две зоны охлаждения, а охлаждение осуществляют, по меньшей мере, в два этапа.

26. Способ по любому из пп. 17 - 25, **отличающийся тем**, что этап (II-5) выполняют с помощью циклона.

27. Способ по любому из пп. 17 - 26, **отличающийся тем**, что по меньшей мере, часть смеси отработанного газа, образующегося при сгорании, и выделенного на этапе (II-5) негорючего газа, рециркулируют.

28. Способ по любому из пп. 1 - 9, отличающийся тем, что нагревательное устройство, которое используют на этапе (II), содержит, по меньшей мере,

- входное отверстие подачи горючего газа,
- при необходимости, входное отверстие подачи негорючего газа,
- цилиндрическая вращаемая реакционная камера, которая закреплена на концах с возможностью вращения в неподвижном переднем узле и неподвижном заднем узле, отличающаяся тем, что эта цилиндрическая вращаемая реакционная камера расположена горизонтально или наклонно к ее заднему концу, и при этом в ней имеется, по меньшей мере, две разные зоны (a) и (b), причем
 - (a) зона горения, которая может нагреваться, по меньшей мере, одним открытым пламенем, при этом в зоне горения расположена, по меньшей мере, одна форсунка горелки, соединенная с входным отверстием подачи горючего газа,
 - (b) зона охлаждения, и
- неподвижный передний блок, содержащий, по меньшей мере, крепление для цилиндрической вращаемой реакционной камеры, входное отверстие для потока горючего газа, которое соединено с форсункой горелки, и расположено в зоне (a), и, при необходимости, входное отверстие для негорючего газа,
- неподвижный задний блок, содержащий, по меньшей мере, крепление для цилиндрической вращаемой реакционной камеры, выходное отверстие для пустотелых сферических стеклянных частиц и выходное отверстие для отработанного газа, и
- привод для вращения цилиндрической вращаемой реакционной камеры вокруг ее продольной оси.

и этап (II) осуществляют следующим образом:

- (II-0') вращение цилиндрической вращаемой реакционной камеры вокруг ее продольной оси,
- (II-1') подачу потока горючего газа через впускное отверстие, его передача на форсунку(и) горелки и зажигание, по меньшей мере, одного открытого пламени,

- (II-2') при необходимости, введение потока негорючего газа через входное отверстие и его пропуск через реакционную камеру к выходному отверстию,
- (II-3') добавление частиц-прекурсоров в нагревательное устройство и обеспечение их контакта с открытым пламенем (языками пламени) в зоне (а) горения за счет следующего:
- добавление частиц-прекурсоров к потоку горючего газа и/или
 - добавление частиц-прекурсоров к потоку негорючего газа,
- с получением пустотелых сферических стеклянных частиц в потоке газа,
- (II-4') охлаждение пустотелых сферических стеклянных частиц в потоке отработанного газа путем их пропускания через зону (b) охлаждения посредством вращательного движения, и
- (II-5') извлечение пустотелых сферических стеклянных частиц через выходное отверстие для пустотелых сферических стеклянных частиц неподвижного заднего блока и/или путем отделения пустотелых сферических стеклянных частиц от потока отработанного газа, выходящего через выходное отверстие для отработанных газов.

29. Способ по п. 28, **отличающийся тем**, что угол наклона цилиндрической вращаемой реакционной камеры составляет от более 0° до 10° .

30. Способ по пп. 28 или 29, **отличающийся тем**, что внутренние стенки реакционной камеры в зоне (а) горения защищены огнеупорным материалом.

31. Способ по любому из пп. 28 - 30, **отличающийся тем**, что в зоне (а) горения предусмотрено множество форсунок для горючего газа.

32. Способ по п. 31, **отличающийся тем**, что множество форсунок расположено таким образом, что пламя присутствует во всем поперечном сечении зоны (а) горения.

33. Способ по любому из пп. 28 - 32, **отличающийся тем**, что зона (b) охлаждения содержит средства для подачи охлаждающего газа в реакционную камеру.

34. Способ по любому из пп. 28 - 33, **отличающийся тем**, что этап (II-5) выполняют с использованием циклона.

35. Способ по любому из пп. 28 - 34, **отличающийся тем**, что смесь отработанного газа, образующегося при сгорании, и отделенного на этапе (II-5) негорючего газа, рециркулируют.

36. Нагревательное устройство для термообработки частиц-прекурсоров, содержащих SiO_2 , Al_2O_3 и оксид щелочного металла, при температуре 1000 - 1800°C, с получением пустотелых сферических стеклянных частиц, содержащее, по меньшей мере, следующее:

- продольная реакционная камера, в которой предусмотрены, по меньшей мере, две разные зоны (а) и (b), причем
 - (а) зона горения, которая может нагреваться, по меньшей мере, одним открытым пламенем, при этом в зоне горения расположена, по меньшей мере, одна форсунка горелки, соединенная с входным отверстием подачи горючего газа,
 - (b) зона охлаждения, и
- входное отверстие подачи горючего газа,
- входное отверстие ввода негорючего газа в зону (а) горения,
- средство для добавления частиц-прекурсоров, содержащих SiO_2 , Al_2O_3 и оксид щелочного металла, к горючему и/или негорючему газу,
- выходное отверстие для извлечения пустотелых сферических стеклянных частиц, отвода негорючих газов и отходов из зоны (b) охлаждения.

37. Нагревательное устройство по п. 36, **отличающееся тем**, что внутренние стенки реакционной камеры в зоне (а) горения защищены огнеупорным материалом.

38. Нагревательное устройство по п. 37, **отличающееся тем**, что нагревательное устройство содержит средства для охлаждения огнеупорного материала.

39. Нагревательное устройство по любому из пп. 36 - 38, **отличающееся тем**, что в зоне (а) горения предусмотрено множество форсунок для горючего газа.

40. Нагревательное устройство по п. 39, **отличающееся тем**, что множество форсунок расположено таким образом, что пламя присутствует во всем поперечном сечении зоны (а) горения.

41. Нагревательное устройство по любому из пп. 36 - 40, **отличающееся тем**, что зона (b) охлаждения содержит средства для дополнительной подачи охлаждающего газа в зону охлаждения.

42. Нагревательное устройство по любому из пп. 36 - 41, **отличающееся тем**, что стенки зоны (b) охлаждения являются двойными и содержат, по меньшей мере, входное и выходное отверстие для охлаждающего газа.

43. Нагревательное устройство по любому из пп. 36 - 42, **отличающееся тем**, что нагревательное устройство содержит циклон, соединенный с выходным отверстием.

44. Нагревательное устройство для термообработки частиц-прекурсоров, содержащих SiO_2 , Al_2O_3 и оксид щелочного металла, при температуре 1000 - 1800°C, с получением пустотелых сферических стеклянных частиц, содержащее, по меньшей мере, следующее:

- входное отверстие подачи горючего газа,
- при необходимости, входное отверстие подачи негорючего газа,
- цилиндрическая вращаемая реакционная камера, которая закреплена на концах с возможностью вращения в неподвижном переднем узле и неподвижном заднем узле, отличающаяся тем, что эта цилиндрическая вращаемая реакционная камера расположена горизонтально или наклонно к ее заднему концу, и при этом в ней имеется, по меньшей мере, две разные зоны (а) и (b), причем
 - (а) зона горения, которая может нагреваться, по меньшей мере, одним открытым пламенем, при этом в зоне горения расположена, по меньшей мере, одна форсунка горелки, соединенная с входным отверстием подачи горючего газа,
 - (b) зона охлаждения, и
- неподвижный передний блок, содержащий, по меньшей мере, крепление для цилиндрической вращаемой реакционной камеры, входное отверстие для потока горючего газа, которое соединено с

форсункой горелки, и расположено в зоне (а), и, при необходимости, входное отверстие для негорючего газа,

- неподвижный задний блок, содержащий, по меньшей мере, крепление для цилиндрической вращаемой реакционной камеры, выходное отверстие для пустотелых сферических стеклянных частиц и выходное отверстие для отработанного газа, и
- привод для вращения цилиндрической вращаемой реакционной камеры вокруг ее продольной оси.

45. Нагревательное устройство по п. 44, **отличающееся тем**, что угол наклона цилиндрической вращаемой реакционной камеры составляет от более 0° до 10°.

46. Нагревательное устройство по пп. 44 или 45, **отличающееся тем**, что внутренние стенки реакционной камеры в зоне (а) горения защищены огнеупорным материалом.

47. Нагревательное устройство по любому из пп. 44 - 46, **отличающееся тем**, что зона (а) горения содержит множество форсунок для горючего газа.

48. Нагревательное устройство по п. 47, **отличающееся тем**, что множество форсунок расположено таким образом, что пламя присутствует во всем поперечном сечении зоны (а) горения.

49. Нагревательное устройство по любому из пп. 44 - 48, **отличающееся тем**, что зона (b) охлаждения содержит средства для подачи охлаждающего газа в реакционную камеру.

50. Нагревательное устройство по любому из пп. 44 - 49, **отличающееся тем**, что нагревательное устройство содержит циклон, соединенный с патрубком для сбросного газа.

51. Использование пустотелых сферических стеклянных частиц, содержащих, по меньшей мере, SiO_2 , Al_2O_3 и оксид щелочного металла, в качестве наполнителя для высокотемпературных продуктов, расплавленного металла, литевых синтетических материалов, огнезащитных изоляционных пен, цементных растворов, строительных растворов, бетонов и средства для нефтяных месторождений, в которых пустотелые сферические стеклянные частицы изготавливаются способом по любому из пп. 1 - 35.

52. Использование пустотелых сферических стеклянных частиц, содержащих, по меньшей мере, SiO_2 , Al_2O_3 и оксид щелочного металла, в качестве добавки к расплавленным металлам, имеющим температуру плавления, по меньшей мере, 500°C , причем пустотелые сферические частицы стеклянные частицы изготавливают способом по любому из пп. 1 - 35.

Измененная формула изобретения

приложенная к заключению международной предварительной экспертизы

1. Способ производства пустотелых сферических стеклянных частиц, содержащих, по меньшей мере, SiO_2 , Al_2O_3 и оксид щелочного металла, **отличающийся тем**, что указанный способ включает, по меньшей мере, следующие этапы:

- (I) подготовка частиц-прекурсоров с использованием процесса, включающего, по меньшей мере, следующие подэтапы:
 - (I-1) получение исходного состава, содержащего частицы, по меньшей мере, одного исходного соединения для производства стекла, которое содержит, по меньшей мере, SiO_2 , Al_2O_3 и оксид щелочного металла,
 - (I-2) смешивание исходного состава с жидкостью, с получением суспензии, и
 - (I-3) распылительная сушка полученной суспензии, с получением частиц-прекурсоров, и
- (II) термообработка частиц-прекурсоров при температуре 1000°C - 1800°C посредством пропускания этих частиц через нагревательное устройство, с получением пустотелых сферических стеклянных частиц,

причем внутри нагревательного устройства горит, по меньшей мере, одно открытое пламя, подпитываемое горючим газом, а термообработку проводят за счет контакта частиц-прекурсоров с открытым пламенем,

причем частицы-прекурсоры диспергированы в воспламеняющемся газе, который подает пламя (языки пламени) в нагревательное устройство, и/или частицы-прекурсоры диспергированы в воспламеняющемся газе, который добавляют в нагревательное устройство в точке до места нахождения пламени (языков пламени).

2. Способ по п. 1, **отличающийся тем**, что пустотелые сферические стеклянные частицы предпочтительно содержат, по меньшей мере, 30 мас.% SiO_2 , по меньшей мере, 25 мас.% Al_2O_3 и, по меньшей мере, 18 мас.% оксида щелочного

металла, в каждом случае из расчета на общую массу пустотелых сферических стеклянных частиц.

3. Способ по пп. 1 или 2, **отличающийся тем**, что в качестве оксида щелочного металла используют Na_2O .

4. Способ по любому из пп. 1 - 3, **отличающийся тем**, что пустотелые сферические стеклянные частицы не содержат бор.

5. Способ по любому из пп. 1 - 4, **отличающийся тем**, что средний диаметр пустотелых сферических стеклянных частиц составляет 20 мкм - 200 мкм.

6. Способ по любому из пп. 1 - 5, **отличающийся тем**, что исходный состав содержит, по меньшей мере, цеолит.

7. Способ по любому из пп. 1 - 5, **отличающийся тем**, что исходный состав включает, по меньшей мере, цеолит, глину и карбонат щелочного металла.

8. Способ по любому из пп. 1 - 7, **отличающийся тем**, что температура термообработки составляет 1300°C - 1600°C .

9. Способ по любому из пп. 1 - 8, **отличающийся тем**, что время контакта с пламенем (языками пламени) составляет 0,001 с - 1 с.

10. Способ по любому из пп. 1 - 9, **отличающийся тем**, что нагревательное устройство имеет продольную реакционную камеру.

11. Способ по п. 10, **отличающийся тем**, что реакционная камера выполнена цилиндрической.

12. Способ по пп. 10 или 11, **отличающийся тем**, что внутренний гидравлический диаметр продольной реакционной камеры составляет 0,1 - 3 м.

13. Способ по любому из пп. 1 - 12, **отличающийся тем**, что полученные пустотелые сферические стеклянные частицы охлаждают после контакта с открытым пламенем (языками пламени), по меньшей мере, в одной зоне охлаждения, по меньшей мере, одним способом, выбранным из следующего

- введение газа в реакционную камеру и
- охлаждение стен реакционной камеры.

14. Способ по п. 13, **отличающийся тем**, что реакционная камера включает, по меньшей мере, две зоны охлаждения.

15. Способ по любому из пп. 1 - 9, **отличающийся тем**, что нагревательное устройство, которое используют на этапе (II), содержит, по меньшей мере,

- входное отверстие подачи горючего газа,
- входное отверстие подачи негорючего газа,
- продольная реакционная камера, в которой предусмотрены, по меньшей мере, две разные зоны (а) и (b), причем
 - (а) зона горения, которая может нагреваться, по меньшей мере, одним открытым пламенем, при этом в зоне горения расположена, по меньшей мере, одна форсунка горелки, соединенная с входным отверстием подачи горючего газа,
 - (b) зона охлаждения, и
- выходное отверстие отвода пустотелых сферических стеклянных частиц, негорючих газов и отходов,

и этап (II) выполняют здесь следующим образом:

- (II-1) подача потока горючего газа через впускное отверстие, его передача на форсунку(и) горелки и зажигание, по меньшей мере, одного открытого пламени,
- (II-2) подача потока негорючего газа через входное отверстие в зону (а) горения и его перенос через зону (b) охлаждения к выходному отверстию отвода,
- (II-3) добавление частиц-прекурсоров в нагревательное устройство и обеспечение их контакта с открытым пламенем (языками пламени) в зоне (а) горения, по меньшей мере, одним способом, выбранным из следующего:
 - добавление частиц-прекурсоров к потоку горючего газа и/или
 - добавление частиц-прекурсоров к потоку негорючего газа, с получением потока пустотелых сферических стеклянных частиц, отработанного газа, образующегося при сгорании горючего газа, и негорючего газа,
- (II-4) охлаждение образовавшегося потока пустотелых сферических стеклянных частиц, отработанного газа и негорючего газа путем пропуска их через зону (b) охлаждения, и

(II-5) отделение пустотелых сферических стеклянных частиц от отработанного газа и негорючего газа.

16. Способ по п. 15, **отличающийся тем**, что продольная реакционная камера имеет вертикальное исполнение, при этом зона (а) горения находится на ее нижнем конце, а зона (b) охлаждения – на верхнем конце.

17. Способ по пп. 15 или 16, **отличающийся тем**, что внутренние стенки реакционной камеры в зоне (а) горения защищены огнеупорным материалом.

18. Способ по п. 19, **отличающийся тем**, что огнеупорный материал охлаждают.

19. Способ по любому из пп. 15 - 18, **отличающийся тем**, что зона (а) горения содержит множество форсунок для горючего газа.

20. Способ по п. 19, **отличающийся тем**, что множество форсунок расположено таким образом, что пламя присутствует во всем поперечном сечении зоны (а) горения.

21. Способ по любому из пп. 15 - 20, **отличающийся тем**, что зона (b) охлаждения содержит средства для дополнительной подачи охлаждающего газа в зону охлаждения.

22. Способ по любому из пп. 15 - 21, **отличающийся тем**, что стенки зоны (b) охлаждения охлаждают негорючим газом.

23. Способ по любому из пп. 15 - 22, **отличающийся тем**, что реакционная камера включает, по меньшей мере, две зоны охлаждения, а охлаждение осуществляют, по меньшей мере, в два этапа.

24. Способ по любому из пп. 15 - 23, **отличающийся тем**, что этап (II-5) выполняют с помощью циклона.

25. Способ по любому из пп. 15 - 24, **отличающийся тем**, что по меньшей мере, часть смеси отработанного газа, образующегося при сгорании, и выделенного на этапе (II-5) негорючего газа, рециркулируют.

26. Способ по любому из пп. 1 - 9, **отличающийся тем**, что нагревательное устройство, которое используют на этапе (II), содержит, по меньшей мере,

- входное отверстие подачи горючего газа,

- при необходимости, входное отверстие подачи негорючего газа,
- цилиндрическая вращаемая реакционная камера, которая закреплена на концах с возможностью вращения в неподвижном переднем узле и неподвижном заднем узле, отличающаяся тем, что эта цилиндрическая вращаемая реакционная камера расположена горизонтально или наклонно к ее заднему концу, и при этом в ней имеется, по меньшей мере, две разные зоны (а) и (b), причем
 - (а) зона горения, которая может нагреваться, по меньшей мере, одним открытым пламенем, при этом в зоне горения расположена, по меньшей мере, одна форсунка горелки, соединенная с входным отверстием подачи горючего газа,
 - (b) зона охлаждения, и
- неподвижный передний блок, содержащий, по меньшей мере, крепление для цилиндрической вращаемой реакционной камеры, входное отверстие для потока горючего газа, которое соединено с форсункой горелки, и расположено в зоне (а), и, при необходимости, входное отверстие для негорючего газа,
- неподвижный задний блок, содержащий, по меньшей мере, крепление для цилиндрической вращаемой реакционной камеры, выходное отверстие для пустотелых сферических стеклянных частиц и выходное отверстие для отработанного газа, и
- привод для вращения цилиндрической вращаемой реакционной камеры вокруг ее продольной оси.

и этап (II) осуществляют следующим образом:

- (II-0') вращение цилиндрической вращаемой реакционной камеры вокруг ее продольной оси,
- (II-1') подачу потока горючего газа через впускное отверстие, его передача на форсунку(и) горелки и зажигание, по меньшей мере, одного открытого пламени,
- (II-2') при необходимости, введение потока негорючего газа через входное отверстие и его пропуск через реакционную камеру к выходному отверстию,

(II-3') добавление частиц-прекурсоров в нагревательное устройство и обеспечение их контакта с открытым пламенем (языками пламени) в зоне (а) горения за счет следующего:

- добавление частиц-прекурсоров к потоку горючего газа и/или
 - добавление частиц-прекурсоров к потоку негорючего газа,
- с получением пустотелых сферических стеклянных частиц в потоке газа,

(II-4') охлаждение пустотелых сферических стеклянных частиц в потоке отработанного газа путем их пропускания через зону (b) охлаждения посредством вращательного движения, и

(II-5') извлечение пустотелых сферических стеклянных частиц через выходное отверстие для пустотелых сферических стеклянных частиц неподвижного заднего блока и/или путем отделения пустотелых сферических стеклянных частиц от потока отработанного газа, выходящего через выходное отверстие для отработанных газов.

27. Способ по п. 26, **отличающийся тем**, что угол наклона цилиндрической вращаемой реакционной камеры составляет от более 0° до 10° .

28. Способ по пп. 26 или 27, **отличающийся тем**, что внутренние стенки реакционной камеры в зоне (а) горения защищены огнеупорным материалом.

29. Способ по любому из пп. 26 - 28, **отличающийся тем**, что в зоне (а) горения предусмотрено множество форсунок для горючего газа.

30. Способ по п. 29, **отличающийся тем**, что множество форсунок расположено таким образом, что пламя присутствует во всем поперечном сечении зоны (а) горения.

31. Способ по любому из пп. 26 - 30, **отличающийся тем**, что зона (b) охлаждения содержит средства для подачи охлаждающего газа в реакционную камеру.

32. Способ по любому из пп. 26 - 31, **отличающийся тем**, что этап (II-5) выполняют с использованием циклона.

33. Способ по любому из пп. 26 - 32, **отличающийся тем**, что смесь отработанного газа, образующегося при сгорании, и отделенного на этапе (II-5) негорючего газа, рециркулируют.

34. Нагревательное устройство для термообработки частиц-прекурсоров, содержащих SiO_2 , Al_2O_3 и оксид щелочного металла, при температуре 1000 - 1800°C, с получением пустотелых сферических стеклянных частиц, содержащее, по меньшей мере, следующее:

- продольная реакционная камера, в которой предусмотрены, по меньшей мере, две разные зоны (a) и (b), причем
 - (a) зона горения, которая может нагреваться, по меньшей мере, одним открытым пламенем, при этом в зоне горения расположена, по меньшей мере, одна форсунка горелки, соединенная с входным отверстием подачи горючего газа,
 - (b) зона охлаждения, и
- входное отверстие подачи горючего газа,
- входное отверстие ввода негорючего газа в зону (a) горения,
- средство для добавления частиц-прекурсоров, содержащих SiO_2 , Al_2O_3 и оксид щелочного металла, к горючему и/или негорючему газу, причем частицы-прекурсоры диспергированы в воспламеняющемся газе, который подает пламя (языки пламени) в нагревательное устройство, и/или частицы-прекурсоры диспергированы в воспламеняющемся газе, который добавляют в нагревательное устройство в точке до места нахождения пламени (языков пламени),
- выходное отверстие для извлечения пустотелых сферических стеклянных частиц, отвода негорючих газов и отходов из зоны (b) охлаждения.

35. Нагревательное устройство по п. 34, **отличающееся тем**, что внутренние стенки реакционной камеры в зоне (a) горения защищены огнеупорным материалом.

36. Нагревательное устройство по п. 35, **отличающееся тем**, что нагревательное устройство содержит средства для охлаждения огнеупорного материала.

37. Нагревательное устройство по любому из пп. 34 - 36, **отличающееся тем**, что в зоне (а) горения предусмотрено множество форсунок для горючего газа.

38. Нагревательное устройство по п. 37, **отличающееся тем**, что множество форсунок расположено таким образом, что пламя присутствует во всем поперечном сечении зоны (а) горения.

39. Нагревательное устройство по любому из пп. 34 - 38, **отличающееся тем**, что зона (b) охлаждения содержит средства для дополнительной подачи охлаждающего газа в зону охлаждения.

40. Нагревательное устройство по любому из пп. 34 - 41, **отличающееся тем**, что стенки зоны (b) охлаждения являются двойными и содержат, по меньшей мере, входное и выходное отверстие для охлаждающего газа.

41. Нагревательное устройство по любому из пп. 34 - 40, **отличающееся тем**, что нагревательное устройство содержит циклон, соединенный с выходным отверстием.

42. Нагревательное устройство для термообработки частиц-прекурсоров, содержащих SiO_2 , Al_2O_3 и оксид щелочного металла, при температуре 1000 - 1800°C, с получением пустотелых сферических стеклянных частиц, содержащее, по меньшей мере, следующее:

- входное отверстие подачи горючего газа,
- при необходимости, входное отверстие подачи негорючего газа,
- цилиндрическая вращаемая реакционная камера, которая закреплена на концах с возможностью вращения в неподвижном переднем узле и неподвижном заднем узле, отличающаяся тем, что эта цилиндрическая вращаемая реакционная камера расположена горизонтально или наклонно к ее заднему концу, и при этом в ней имеется, по меньшей мере, две разные зоны (а) и (b), причем
 - (а) зона горения, которая может нагреваться, по меньшей мере, одним открытым пламенем, при этом в зоне горения расположена, по меньшей мере, одна форсунка горелки, соединенная с входным отверстием подачи горючего газа,
 - (b) зона охлаждения, и

- неподвижный передний блок, содержащий, по меньшей мере, крепление для цилиндрической вращаемой реакционной камеры, входное отверстие для потока горючего газа, которое соединено с форсункой горелки, и расположено в зоне (а), и, при необходимости, входное отверстие для негорючего газа,
- неподвижный задний блок, содержащий, по меньшей мере, крепление для цилиндрической вращаемой реакционной камеры, выходное отверстие для пустотелых сферических стеклянных частиц и выходное отверстие для отработанного газа, и
- привод для вращения цилиндрической вращаемой реакционной камеры вокруг ее продольной оси.

43. Нагревательное устройство по п. 42, **отличающееся тем**, что угол наклона цилиндрической вращаемой реакционной камеры составляет от более 0° до 10° .

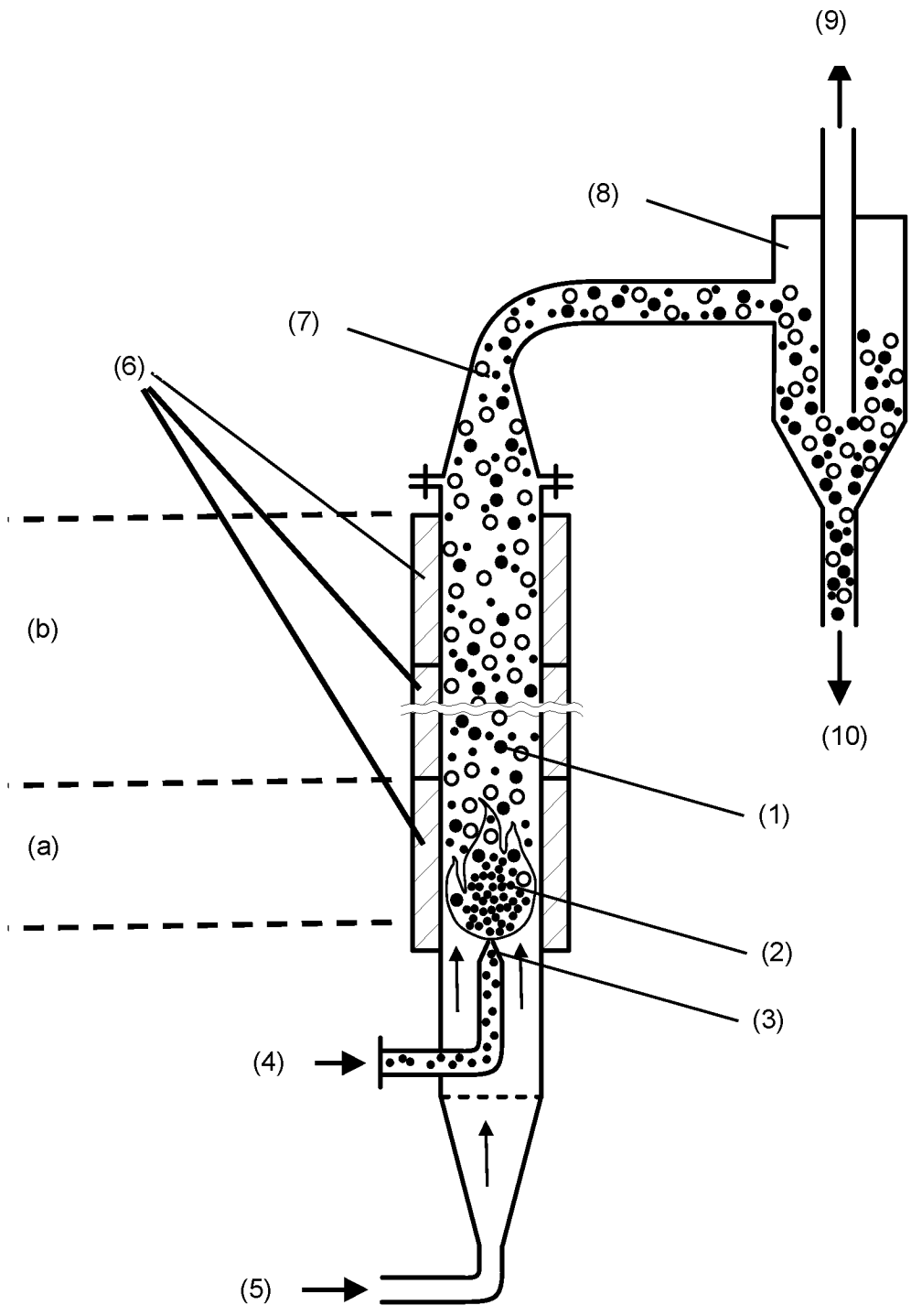
44. Нагревательное устройство по пп. 42 или 43, **отличающееся тем**, что внутренние стенки реакционной камеры в зоне (а) горения защищены огнеупорным материалом.

45. Нагревательное устройство по любому из пп. 42 - 44, **отличающееся тем**, что зона (а) горения содержит множество форсунок для горючего газа.

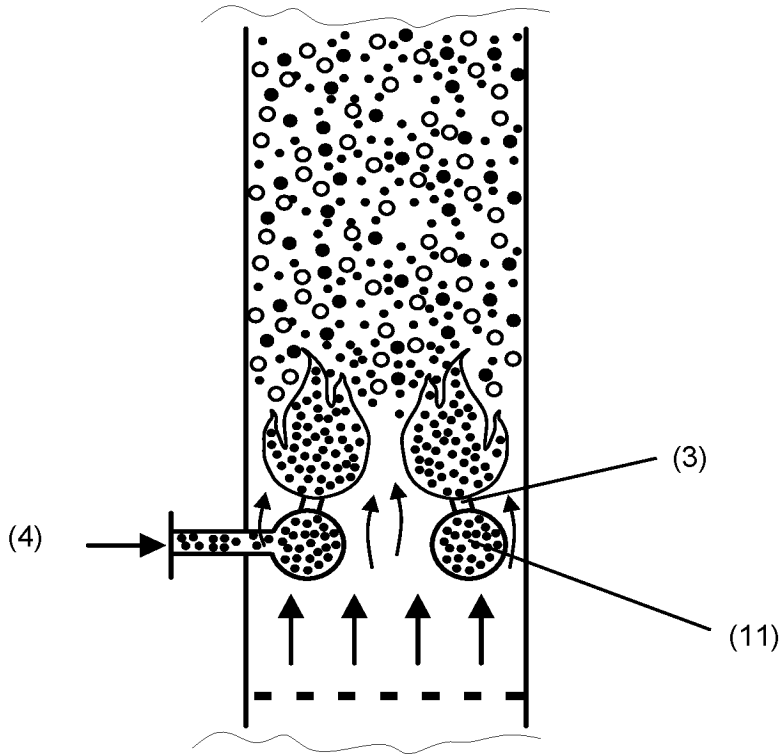
46. Нагревательное устройство по п. 45, **отличающееся тем**, что множество форсунок расположено таким образом, что пламя присутствует во всем поперечном сечении зоны (а) горения.

47. Нагревательное устройство по любому из пп. 42 - 46, **отличающееся тем**, что зона (b) охлаждения содержит средства для подачи охлаждающего газа в реакционную камеру.

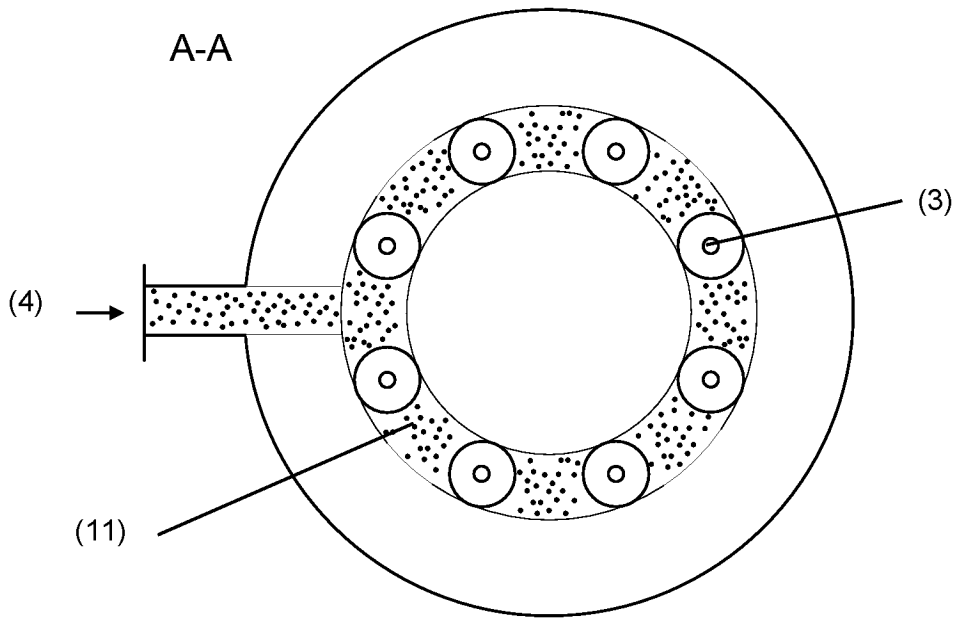
48. Нагревательное устройство по любому из пп. 42 - 47, **отличающееся тем**, что нагревательное устройство содержит циклон, соединенный с патрубком для сбросного газа.



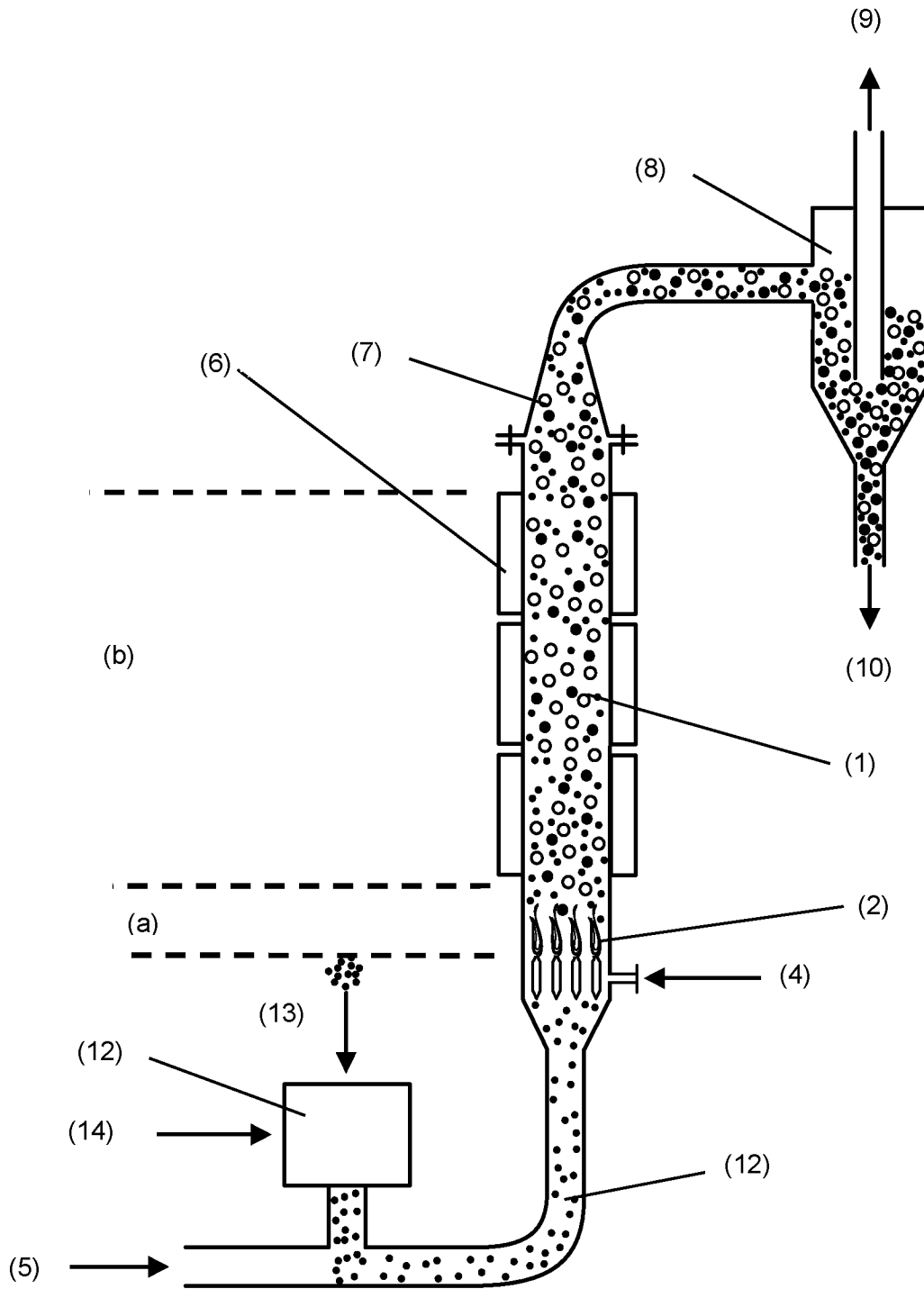
Фигура 1



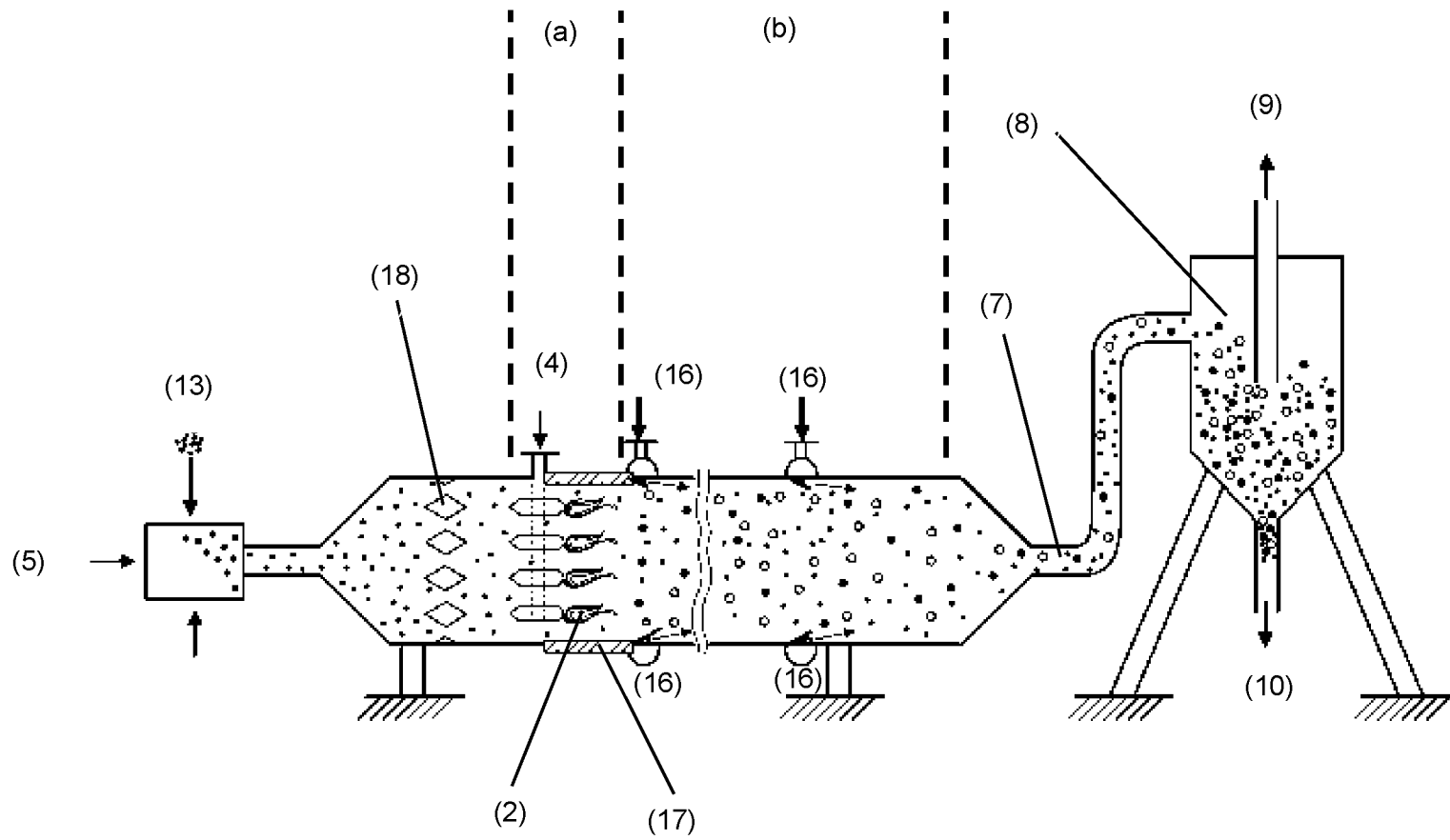
Фигура 2



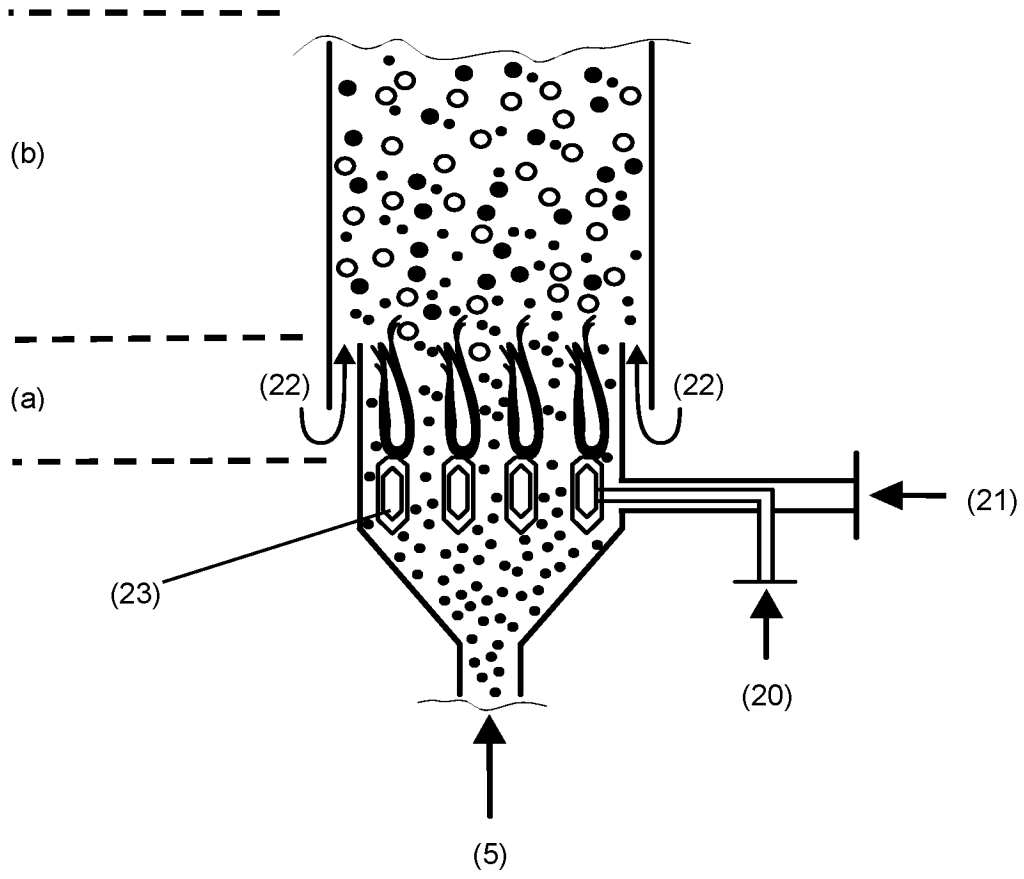
Фигура 3



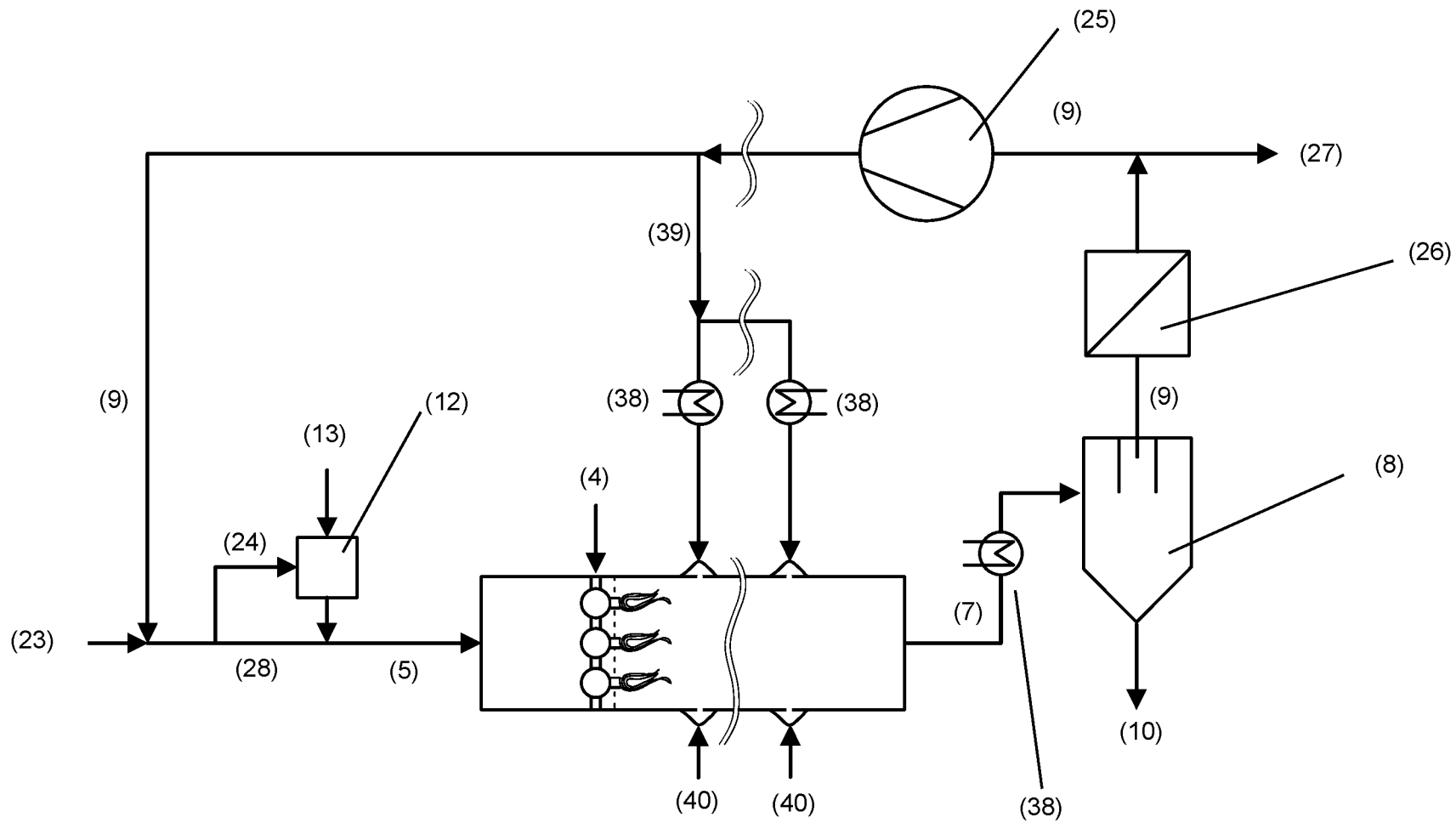
Фигура 4



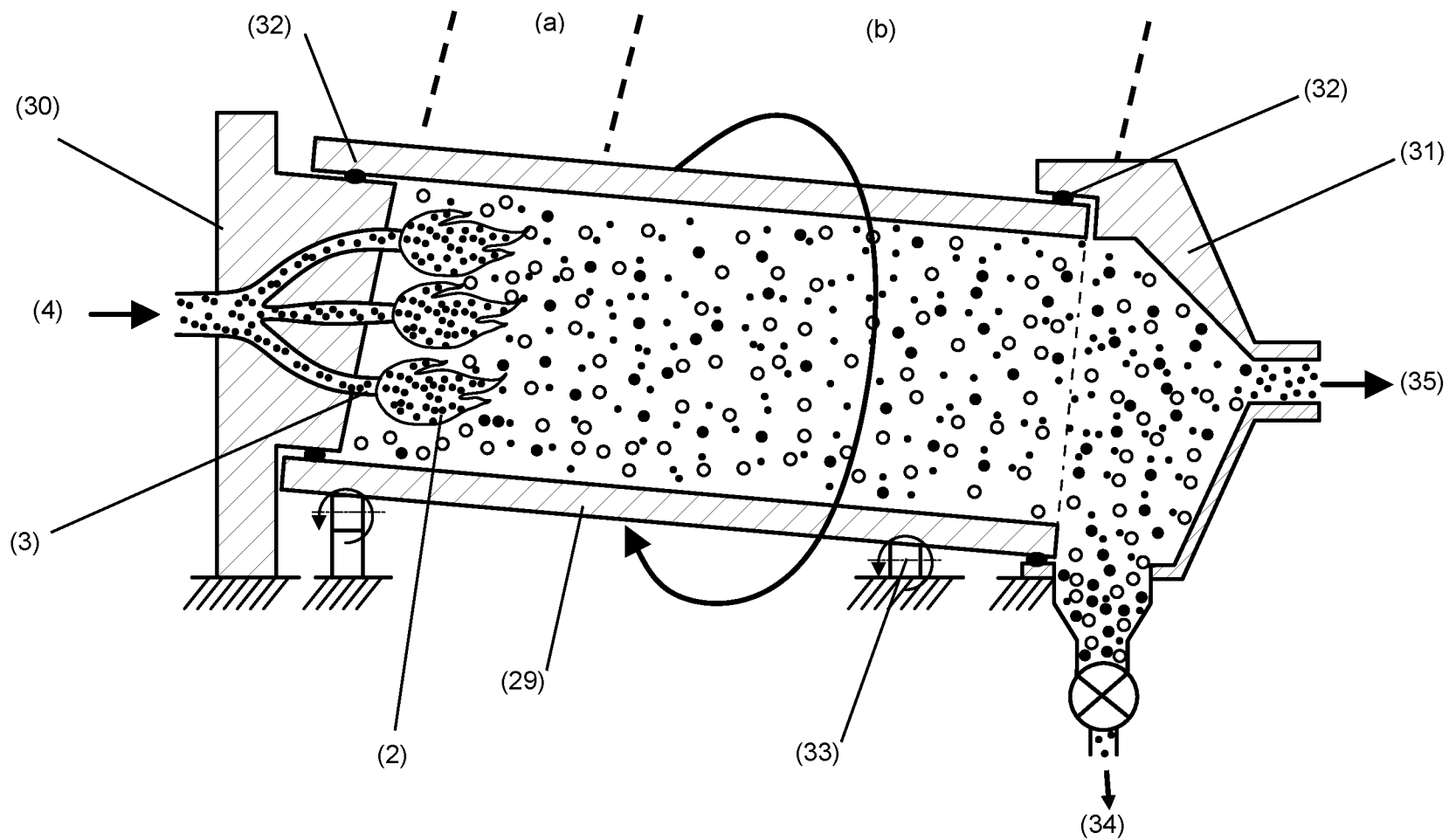
Фигура 5



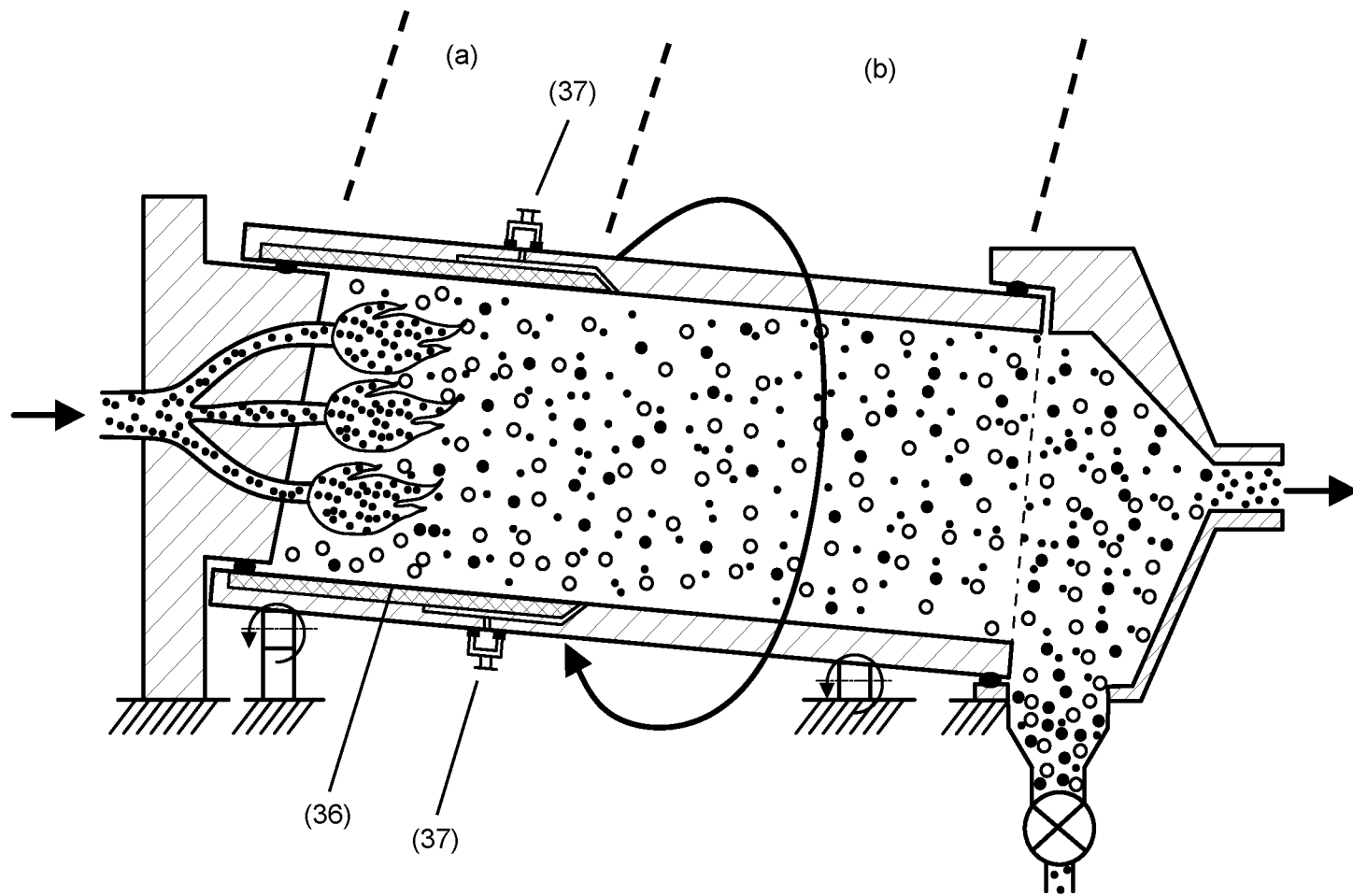
Фигура 6



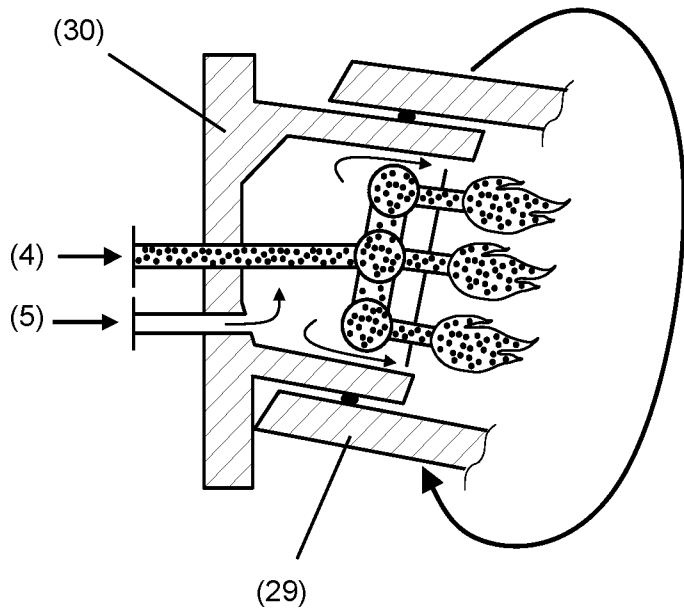
Фигура 7



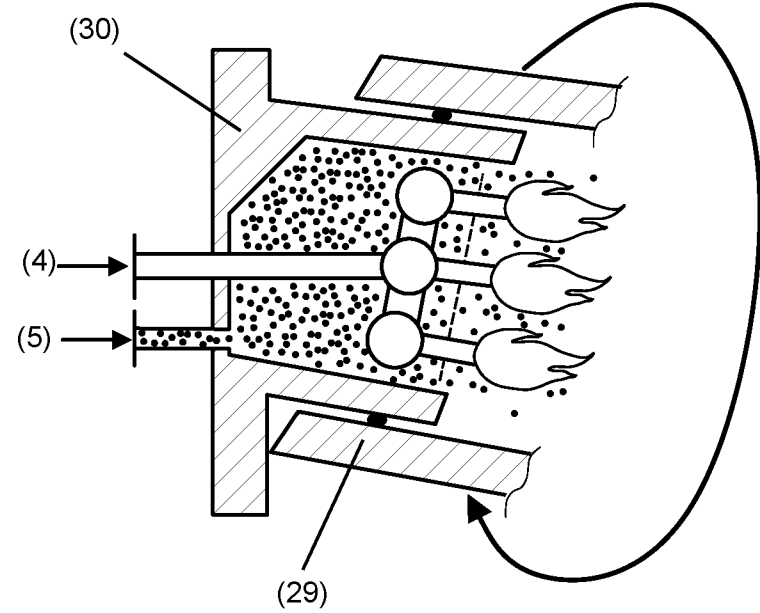
Фигура 8



Фигура 9



Фигура 10



Фигура 11