

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **047215**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2024.06.21**

(21) Номер заявки  
**202391521**

(22) Дата подачи заявки  
**2021.11.19**

(51) Int. Cl. **C03B 5/12** (2006.01)  
**C03B 5/235** (2006.01)  
**H05H 1/26** (2006.01)

---

(54) **СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РАСПЛАВА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИСКУССТВЕННОГО МИНЕРАЛЬНОГО ВОЛОКНА**

---

(31) **20208659.1**

(32) **2020.11.19**

(33) **EP**

(43) **2023.07.19**

(86) **PCT/EP2021/082247**

(87) **WO 2022/106592 2022.05.27**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**РОКВУЛ А/С (DK)**

(72) Изобретатель:  
**Хансен Ларс Эльмекилле, Чжоу  
Хаошэн (DK)**

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

(56) EP-A1-1431403  
WO-A1-02070412  
US-A-4797142  
US-A-5046144

---

(57) Изобретение относится к способу изготовления минерального расплава в ваграночной печи, в которой для подведения тепловой энергии используется по меньшей мере одна плазменная горелка. В качестве газа-носителя в плазменной горелке используется азот, монооксид углерода, диоксид углерода или их смесь. Изобретение также относится к ваграночной печи для изготовления минерального расплава и применению плазменной горелки в ваграночной печи для снижения количества NO<sub>x</sub> и/или водорода в отходящем газе печи.

**047215**

**B1**

**047215**  
**B1**

### Область техники

Изобретение относится к способу изготовления минерального расплава в ваграночной печи, в которой для подвода тепловой энергии используется по меньшей мере одна плазменная горелка. В плазменной горелке в качестве газа-носителя используется азот, монооксид углерода, диоксид углерода или их смесь.

### Уровень техники

Известны способы изготовления минерального расплава для производства искусственного минерального волокна (*man-made vitreous fibre*, ММВФ), осуществляемые в шахтных печах, таких как ваграночные печи. Они включают нагревание минерального материала в присутствии кокса и кислородсодержащего газа с образованием минерального расплава. Довольно сложно изготовить минеральный расплав таким образом, чтобы сократить вредные выбросы отходящего газа из ваграночной печи.

Обычно, в ваграночной печи имеется несколько температурных зон, включающих горячую зону, зону окисления, зону восстановления и зону предварительного нагревания.

Нижняя часть ваграночной печи образует горячую зону. В горячей зоне находится минеральный расплав, изготавливаемый в вагранке, располагающийся в пространстве между кусками кокса, лежащими на дне вагранки и поддерживающими материал, лежащий сверху. В обычных ваграночных печах температура расплава в горячей зоне соответствует диапазону от 1450 до 1550°C, и изменение температуры минерального расплава в этой зоне занимает относительно длительное время. Кроме этого, расстояние между верхом и низом горячей зоны сравнительно большое. В традиционных ваграночных печах это нужно для поддержания надлежащей температуры в зоне окисления.

Зона окисления (также известная как зона горения) расположена над горячей зоной. Нижняя часть зоны окисления обычно снабжена газоподводящими соплами, известными как фурмы, через которые в печь вводят подогретый воздух или другой окисляющий газ. Нагревание обычно обеспечивается за счет сжигания кокса. Горение кокса происходит во время движения подогретого воздуха вверх через зону окисления, и температура газа может увеличиваться от, примерно, 500 до, примерно, 2000°C, в результате чего исходный материал, перемещающийся по зоне окисления вниз, нагревается до температуры плавления. Расплавленный минеральный материал стекает в горячую зону у основания ваграночной печи. Протяженность зоны окисления по вертикали определяется количеством кислорода, вводимого в печь.

Зона восстановления находится над зоной окисления и начинается на том уровне, где кислород, поданный через фурмы, израсходовался на горение кокса. В зоне восстановления, где температура обычно составляет от 1000 до 1500°C, кокс вступает в реакцию с CO<sub>2</sub>, образовавшимся в зоне окисления, с образованием СО в количестве, вдвое превышающем количество израсходованного СО<sub>2</sub> по объему.

Эта эндотермическая реакция является причиной потери, примерно, 20-25% энергии, выделившейся при горении в зоне окисления, в форме скрытой теплоты отходящего газа. В соответствии с обычной практикой, отходящий газ можно использовать в зоне предварительного нагревания для нагревания исходных материалов, подлежащих плавлению в ваграночной печи. Зона предварительного нагревания находится над зоной восстановления.

В документе WO 87/06926 описан способ производства минерального расплава, в соответствии с которым нагревание в некоторой степени может быть обеспечено посредством плазменной горелки. В этом способе СО, присутствующий в отходящем газе, восстанавливают. Это может быть выполнено путем использования кокса для обеспечения по меньшей мере двух третей энергии для нагревания печи. Остальная часть может быть обеспечена, помимо других способов, плазменной горелкой. Различие между газами-носителями, пригодными для использования в плазменной горелке, не проводится.

Хотя есть выгода в том, чтобы использовать плазменную горелку для подвода в печь тепловой энергии, авторами обнаружено, что при использовании для изготовления минерального расплава плазменных горелок с воздухом в качестве газа-носителя, образуется отходящий газ, содержащий относительно больше количество NO<sub>x</sub>, как-то от 7000 до 10000 частей на миллион. NO<sub>x</sub> вредны как для окружающей среды и животных, так и для людей. Обычно их количество уменьшают путем введения восстановителя, например, газообразных углеводородов. Отходящий газ таких ваграночных печей может все еще содержать более 3100 частей на миллион NO<sub>x</sub>, что во много раз превышает пределы, установленные во многих странах. Следовательно, было бы желательно наличие систем очистки, позволяющих свести к минимуму выброс NO<sub>x</sub> в атмосферу. Кроме этого, водород может составлять до 20% отходящего газа, образующегося в ваграночных печах, нагреваемых плазменными горелками с использованием в качестве газа-носителя воздуха. Для печи это сопряжено с риском взрыва.

Желательно наличие способа изготовления минерального расплава, пригодного для производства ММВ волокна, такого как стекловолокно или каменное волокно, обеспечивающего снижение количества NO<sub>x</sub> и H<sub>2</sub> в отходящем газе ваграночной печи даже при использовании плазменных горелок. Также желательно свести к минимуму использование кокса в таких процессах. Кроме этого, желательно уменьшить расстояние между низом и верхом горячей зоны, не в последнюю очередь, для того, чтобы шахта печи была более компактной. Кроме этого, может оказаться выгодным сведение к минимуму времени изменения температуры минерального расплава.

Эти преимущества могут быть достигнуты путем подведения к ваграночной печи более 50% тепловой энергии посредством плазменной горелки, при этом в плазменной горелке в качестве газа-носителя используется азот ( $N_2$ ), монооксид углерода (CO), диоксид углерода ( $CO_2$ ) или их смесь, и присутствие воды исключено в любой зоне ваграночной печи с температурой более  $750^\circ C$ .

#### Краткое описание чертежей

На фигуре схематично показана конструкция ваграночной печи, которая может быть использована для осуществления изобретения.

#### Сущность изобретения

В первом аспекте настоящим изобретением обеспечивается способ изготовления минерального расплава в ваграночной печи, при этом в ваграночной печи имеется по меньшей мере две температурные зоны, включающие горячую зону у основания печи и зону окисления над горячей зоной:

(i) печь оборудована по меньшей мере одной фурмой, обеспечивающей подведение в зону окисления источника кислорода;

(ii) в печи имеется по меньшей мере одна плазменная горелка, в которой в качестве газа-носителя используется азот, монооксид углерода, диоксид углерода или их смесь, и которая обеспечивает плазменное нагревание горячей зоны;

(iii) более 50% тепловой энергии в печи обеспечивается плазменной горелкой;

(iv) температура в зоне окисления составляет менее  $1400^\circ C$ ;

(v) температура в горячей зоне выше, чем температура в зоне окисления;

(vi) вода, по существу, отсутствует в какой-либо зоне печи с температурой более  $750^\circ C$ ; и

при этом в печь подают минеральный материал и расплавляют с образованием минерального расплава, который скапливается у основания печи, при этом образуется отходящий газ.

Плазменные горелки генерируют термическую плазму с использованием постоянного тока (DC), переменного тока (AC), радиочастот (RF) и других средств создания разряда. Термическая плазма выделяет тепло, что в плазменных горелках DC реализуется посредством создания электрической дуги между двумя электродами и подачи в нее через узкое отверстие газа-носителя. Вследствие этого температура газа увеличивается до такой степени, что он переходит в четвертое состояние материи, т.е. плазму. Плазменные горелки могут быть горелками прямого нагрева или косвенного нагрева. В плазменных горелках DC косвенного нагрева электроды находятся внутри корпуса горелки, тогда как в плазменных горелках прямого нагрева один электрод расположен вне корпуса горелки, что позволяет создавать дугу снаружи горелки и распространять ее на большее расстояние. Предпочтительно, чтобы в контексте настоящего изобретения плазменная горелка была плазменной горелкой косвенного нагрева. Наиболее предпочтительна плазменная горелка прямого тока и косвенного нагрева.

В плазменных горелках могут использоваться разные газы-носители, такие как кислород, азот, аргон, гелий, воздух, водород и их смеси. В соответствии с настоящим изобретением, газ-носитель выбран из группы, состоящей из азота, монооксида углерода, диоксида углерода и их смесей. Предпочтительно, газом-носителем является азот. Было обнаружено, что образование  $NO_x$  может быть значительно уменьшено, если исключить присутствие кислорода в тех зонах ваграночной печи, где присутствует азот, и где температура составляет  $1400^\circ C$  или выше. Чтобы свести к минимуму образование  $NO_x$ , газ-носитель должен содержать, самое большее, лишь следовые количества кислорода. Это означает, что газ-носитель должен содержать менее 5% вес. кислорода, как-то менее 2% вес., предпочтительно менее 0,8% вес. относительно общего веса газа-носителя. В идеальном случае, газ-носитель не содержит кислород. Это означает, что в нем присутствуют, самое большее, лишь следовые количества кислорода.

Энтальпия газа-носителя, используемого в плазменной горелке, составляет, предпочтительно от 2,0 до 6,0 кВт·ч/Н·м<sup>3</sup>, более предпочтительно от 3,0 до 5,0 кВт·ч/Н·м<sup>3</sup>.

Для расчета энтальпии величину измеренной мощности делят на измеренный расход газа-носителя. Энтальпия имеет значение с точки зрения регулирования температуры плавления и производительности плавления.

Ваграночная печь, применимая в контексте способа настоящего изобретения, может включать одну плазменную горелку. В качестве альтернативы, она может включать множество плазменных горелок, как-то две, три, четыре или более плазменных горелок. Мощность каждой плазменной горелки обычно лежит в диапазоне от 1 до 6 МВт.

В настоящем контексте, если не указано иное, термины "кислород", "азот", "монооксид углерода", "диоксид углерода" и "водород" соответствуют  $O_2$ ,  $N_2$ , CO,  $CO_2$  и  $H_2$ , соответственно. Термин " $NO_x$ " известен в данной области и охватывает такие оксиды азота, как оксид азота (II) (NO) и диоксид азота ( $NO_2$ ).

Несмотря на выгоды от использования плазменной горелки для подвода тепловой энергии в ваграночную печь, тепловая энергия также может быть подведена альтернативными средствами. В соответствии с настоящим изобретением, более 50% тепловой энергии подводится посредством плазменной горелки. Может быть предпочтительным подведение большего количества тепла посредством плазменной горелки, например, более 60%, предпочтительно более 70%, более предпочтительно более 80%, наиболее предпочтительно, более 90%. Остальное количество тепла может быть подведено, например, традицион-

ным образом, т.е. путем сжигания топлива, такого как природный газ или кокс, в воздухе, подводимом через фурмы. Обычно фурмы расположены в нижней части зоны окисления. Ваграночная печь может включать одну фурму или множество фурм, как-то две, три, четыре, пять, шесть, семь, восемь, девять, десять, одиннадцать, двенадцать, тринадцать, четырнадцать, пятнадцать или более фурм. Является предпочтительным наличие от девяти до тринадцати фурм, наиболее предпочтительно, одиннадцать фурм. В этом случае является предпочтительным, чтобы фурмы были равномерно распределены по окружности печи за исключением места, где расположен сифон (выпуск расплава). В любом случае является предпочтительным, чтобы фурмы не находились в той же зоне, где и плазменная горелка, то есть в горячей зоне фурмы отсутствуют. Таким образом можно исключить присутствие кислорода в зоне ваграночной печи с температурой более 1400°C. Является предпочтительным, чтобы нагревание обеспечивалось в горячей зоне только за счет плазменной горелки.

Фурмы могут обеспечивать подачу воздуха с расходом от 70 до 250 н.м<sup>3</sup> воздуха на тонну загрузки. Отверстие каждой фурмы, через которое воздух поступает в ваграночную печь, обычно расположено над плазменными горелками на расстоянии от 0 до, максимум, 1 диаметра печи. Диаметр печи - это внутренний диаметр внутренней камеры ваграночной печи.

Поскольку NO<sub>x</sub> могут образовываться из азота и кислорода при высоких температуре и давлении, температура в зоне окисления ваграночной печи должна быть меньше 1400°C. Для дополнительного уменьшения образования NO<sub>x</sub> является предпочтительным, чтобы температура в зоне окисления была меньше 1300°C, предпочтительно меньше 1200°C, более предпочтительно меньше 1100°C, еще более предпочтительно, меньше 1000°C, в частности, меньше 900°C, в том числе, меньше 800°C. В любом случае температура горячей зоны должна быть больше, чем температура зоны окисления. Это означает, что температура в горячей зоне может быть больше 800°C, предпочтительно больше 900°C, более предпочтительно больше 1000°C, более предпочтительно больше 1100°C, более предпочтительно больше 1200°C, более предпочтительно больше 1300°C, более предпочтительно больше 1400°C.

Исходя из вышеизложенного, способ настоящего изобретения может обеспечивать образование отходящего газа, содержащего NO<sub>x</sub> в количестве менее 400 частей на миллион, предпочтительно менее 300 частей на миллион, более предпочтительно менее 250 частей на миллион, еще более предпочтительно, менее 200 частей на миллион, более предпочтительно менее 150 частей на миллион.

Другое неожиданное преимущество нагревания горячей зоны при помощи плазменной горелки с использованием газа-носителя, представляющего собой азот, монооксид углерода, диоксид углерода или их смесь, заключается в том, что в этом случае может быть существенно уменьшена высота горячей зоны по сравнению с соответствующей ваграночной печью, нагреваемой иначе, нежели чем плазменной горелкой.

Использованию плазменной горелки свойственно дополнительное преимущество, заключающееся в значительном сокращении времени отклика, необходимого для изменения температуры в определенных зонах ваграночной печи, в частности, температуры минерального расплава. Обычно, при использовании плазменной горелки температура минерального расплава может быть изменена за 20 мин, предпочтительно за 15 мин, более предпочтительно за 10 мин. Это может оказаться более быстрым изменением температуры, чем при использовании других средств нагревания.

Было обнаружено, что присутствие воды должно быть исключено в любой зоне печи, где температура превышает 750°C. Благодаря этому сводится к минимуму количество образующегося водорода, присутствующего затем в отходящем газе ваграночной печи. Является предпочтительным, чтобы в печи образовывался отходящий газ, содержащий водород в количестве менее 20000 частей на миллион, предпочтительно менее 10000 частей на миллион, предпочтительно менее 5000 частей на миллион, предпочтительно менее 2000 частей на миллион, предпочтительно менее 1000 частей на миллион, предпочтительно менее 500 частей на миллион, предпочтительно менее 100 частей на миллион, предпочтительно менее 50 частей на миллион. Является наиболее предпочтительным, чтобы отходящий газ не содержал обнаружимого количества водорода.

Благодаря использованию в ваграночной печи плазменной горелки, используемое в ней количество кокса может быть значительно уменьшено. Например, используемое количество кокса может составлять менее 80% количества, используемого в эквивалентной ваграночной печи без плазменных горелок. Предпочтительно, используемое количество кокса менее 70%, как-то менее 60%, например, менее 40%, более предпочтительно менее 20%, наиболее предпочтительно, менее 10% количества, используемого в эквивалентной ваграночной печи без плазменных горелок. Выгодным следствием этого является снижение выбросов отходящего газа, например, образование меньшего количества CO и/или CO<sub>2</sub> в отходящем газе.

Отходящий газ ваграночных печей, нагреваемых с использованием плазменных горелок, может содержать N<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> и H<sub>2</sub>, каждый из которых является компонентом отходящего газа. Отходящий газ может содержать дополнительные компоненты, такие как вода и частицы, т.е. твердые частицы материи. В одном из частных вариантов первого аспекта изобретения отходящий газ, в целом или его часть, может быть использован в составе газа-носителя для одной или нескольких плазменных горелок. Компоненты отходящего газа могут быть отделены до их использования в качестве газа-носителя. Компоненты

отходящего газа могут быть отделены друг от друга, либо сочетание двух или нескольких компонентов может быть отделено от других компонентов. Это означает, что газ-носитель может содержать по меньшей мере один компонент отходящего газа, например, один, два, три, четыре, пять или более компонентов отходящего газа. Является предпочтительным, чтобы газ-носитель содержал следующие компоненты отходящего газа:  $N_2$ , CO,  $CO_2$  или их сочетание. В качестве альтернативы, газ-носитель может содержать один компонент отходящего газа, такой как  $N_2$ , CO или  $CO_2$ .

Один или несколько компонентов отходящего газа могут быть подвергнуты обработке на стадии очистки отходящего газа до их использования в составе газа-носителя. Является предпочтительным, чтобы очистка отходящего газа представляла собой удаление суспендированных в отходящем газе частиц и/или воды. Очистка отходящего газа может быть проведена в отношении отходящего газа в целом или по меньшей мере одного его компонента, отделенного от остального отходящего газа.

Газ-носитель может состоять из отходящего газа или по меньшей мере одного компонента отходящего газа. В качестве альтернативы, он может содержать отходящий газ или по меньшей мере один компонент отходящего газа. В последнем случае в газ-носитель перед его использованием может быть введен дополнительный газ, не являющийся частью отходящего газа. В этом случае газ-носитель является «пополненным» дополнительным газом. Минеральный расплав, изготовленный способом настоящего изобретения, может быть пригоден для производства искусственного стекловидного волокна, такого как стекловолокно или каменное волокно. Является предпочтительным, чтобы полученный минеральный расплав был пригоден для производства искусственного стекловидного волокна (MMVF). Следовательно, во втором аспекте изобретением обеспечивается способ производства MMVF, включающий следующие стадии, на которых:

- (i) формируют расплав способом, описанным в настоящем документе;
- (ii) формируют из расплава волокна способом внутреннего или наружного вытягивания волокна;
- (iii) собирают сформированные волокна.

Волокна, в частности MMVF, могут быть изготовлены из минерального расплава обычным способом. Обычно, их изготавливают центробежным способом. Например, волокна могут быть изготовлены способом с использованием вращающегося стакана, из которого волокна выбрасываются наружу через перфорацию стенки стакана, либо минеральный расплав может сбрасываться с вращающегося диска, при этом образование волокон может стимулироваться путем продувки минерального расплава газовыми струями. Формирование волокна может быть осуществлено путем наливания минерального расплава снаружи на первый ротор в каскадном устройстве. В этом случае является предпочтительным наливать минеральный расплав на первый ротор из каскада, состоящего из двух, трех или четырех роторов, каждый из которых вращается вокруг, по существу, горизонтальной оси, при этом минеральный расплав, главным образом, сбрасывается с первого ротора на второй (расположенный ниже) ротор, хотя частично может сбрасываться с первого ротора в форме волокон, со второго ротора минеральный расплав сбрасывается в форме волокон, хотя частично может сбрасываться на третий (расположенный ниже) ротор, и так далее.

Предпочтительно проводить формирование волокна с использованием каскадного устройства.

Свойства, которыми должен обладать минеральный расплав, используемый в каждом из способов формирования волокна, известны специалистам в данной области, и состав минерального расплава может быть отрегулирован в соответствии с требуемыми свойствами. Например, в компетенцию специалистов входит выбор исходных материалов, вводимых в ваграночную печь и позволяющих получить определенный состав минерального расплава.

Таким образом, расплав преобразуют в скопление волокон, захваченных воздухом; эти волокна собирают в форме слоя на конвейере и отводят от устройства формирования волокна. Слой волокон затем консолидируют, что может включать перекрестное соединение внахлестку и/или продольное сжатие и/или вертикальное сжатие и/или намотку на сердечник с получением цилиндрического продукта, предназначенного для изоляции труб. Также могут быть применены другие способы консолидации.

Обычно на волокна наносят композицию связующего, предпочтительно когда волокна имеют форму скопления, захваченного воздухом. В качестве альтернативы, связующее может быть нанесено после сбора волокон на конвейере, но это менее предпочтительно. Могут быть использованы обычные связующие, применяемые при изготовлении минеральной ваты.

После консолидации консолидированный слой волокон пропускают через устройство отверждения для отверждения связующего.

Отверждение может быть проведено при температуре от 100 до 300°C, например, от 170 до 270°C, например, от 180 до 250°C, например, от 190 до 230°C.

Является предпочтительным проводить отверждение в обычной печи для отверждения, применяемой при производстве минеральной ваты, в которой через консолидированный слой продувают горячий воздух, предпочтительно при температуре от 150 до 300°C, например, от 170 до 270°C, например, от 180 до 250°C, например, от 190 до 230°C.

Отверждение может происходить за период времени от 30 с до 20 мин, например, от 1 до 15 мин, например, от 2 до 10 мин.

Обычно отверждение проводят при температуре от 150 до 250°C в течение периода времени от 30 с до 20 мин.

Процесс отверждения может начинаться непосредственно после нанесения связующего на волокна. Отверждением называют процесс, в ходе которого композиция связующего претерпевает физическое и/или химическое превращение, при этом в случае химической реакции обычно увеличивается молекулярный вес соединений, входящих в состав композиции связующего, тем самым, повышается вязкость композиции связующего, обычно вплоть до перехода композиции связующего в твердое состояние. Отвержденная композиция связующего скрепляет волокна с образованием структурно сцепленной матрицы волокон.

В качестве альтернативы, отверждение связующего в контакте с минеральными волокнами может быть осуществлено в прессе горячего прессования. Отверждение связующего в контакте с минеральными волокнами в прессе горячего прессования может быть особенно предпочтительным, так как позволяет производить продукты высокой плотности.

Вообще, волокна и минеральный расплав, из которого они изготовлены, может иметь элементный состав (определяемый аналитически в % вес. оксидов), отвечающий различным диапазонам, задаваемым следующими нормальными и предпочтительными нижними и верхними пределами:

SiO<sub>2</sub> 35-50, предпочтительно 38-48, более предпочтительно 33-44;  
 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 12-30, предпочтительно 15-28, более предпочтительно 16-24;  
 TiO<sub>2</sub> до 2;  
 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 2-12;  
 CaO 5-30, предпочтительно 5-18;  
 MgO 0-15, предпочтительно 1-8;  
 Na<sub>2</sub>O 0-15;  
 K<sub>2</sub>O 0-15;  
 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0-3;  
 MnO 0-3;  
 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0-3.

В этом случае является предпочтительным, чтобы в расплаве, предназначенном для изготовления MMVF, доля Fe(2+) составляла более 80% относительно общего содержания Fe, предпочтительно по меньшей мере 90%, более предпочтительно по меньшей мере 95%, наиболее предпочтительно по меньшей мере 97% всего Fe. В таких случаях является предпочтительным изготавливать MMVF с использованием каскадного устройства. Дополнительную информацию об этих примерных минеральных расплавах можно найти в документе WO 2012/140173, включаемом в настоящий документ путем ссылки.

Как принято в данной области, ссылка на содержание FeO в минеральном расплаве или композиции волокна означает общее количество железа (в пересчете на FeO) в указанном расплаве или композиции независимо от количества каждого состояния окисления железа в композиции.

В отношении приведенного выше примера минерального расплава и получаемого из него волокна является предпочтительным, чтобы количество железа в минеральном расплаве составляло от 2 до 15 вес.%, предпочтительно от 5 до 12 вес.%. Атмосфера в ваграночных печах обычно является восстановительной, что может приводить к восстановлению оксидов железа и образованию металлического железа. Предпочтительно, металлическое железо не включается в минеральный расплав и волокна и подлежит удалению из печи. Таким образом, условия в печи следует тщательно регулировать, чтобы предотвратить чрезмерное восстановление железа. Однако, авторами обнаружено, что возможно изготовить готовый волоконный продукт, содержащий значительное количество оксида железа.

Способ настоящего изобретения может быть использован для производства волокна, которое может характеризоваться растворимостью в физиологическом растворе. Надлежащие растворимые в биологических жидкостях волокна с высоким содержанием алюминия, которые могут быть успешно изготовлены способом настоящего изобретения, описаны в документах WO 96/14454 и WO 96/14274, другие описаны в документах WO 97/29057, DE-U-2970027 и WO 97/30002, включаемых в настоящий документ путем ссылки.

Такое волокно, предпочтительно характеризуется адекватной растворимостью в легочных жидкостях, что подтверждено испытаниями *in vivo* и *in vitro*, обычно проводимыми в физиологическом растворе, буферизованном до pH, примерно, 4,5. Надлежащие величины растворимости описаны в документе WO 96/14454. Обычно скорость растворения в таком растворе составляет по меньшей мере 10 или 20 н.м в день. Предпочтительно, волокно характеризуется температурой спекания более 800°C, более предпочтительно более 1000°C. Предпочтительно, расплав характеризуется вязкостью при температуре формирования волокна от 5 до 100 пауз, предпочтительно от 10 до 70 пауз при 1400°C. Дополнительные варианты осуществления этого примера можно найти в документе WO 99/28252, включаемом в настоящий документ путем ссылки.

Предпочтительно, в этом частном примере вязкость минерального расплава составляет от 10 до 30 пауз при 1400°C, более предпочтительно лежит в диапазоне от 20 до 25 пауз. Преимущество этого диапазона вязкости заключается в том, что изготавливаемое MMVF имеет меньший диаметр, чем при более

высокой вязкости расплава. Кроме этого, можно использовать расплав с меньшей температурой, имеющий требуемую рабочую вязкость. И поскольку температура расплава может быть меньше, экономится энергия. Кроме этого, уменьшается износ роторов, используемых для изготовления волокон, так как расплав с меньшей температурой вызывает меньший износ.

Дополнительную информацию об этом примере минерального расплава можно найти в документе WO 2015/055758, включаемом в настоящий документ путем ссылки. Вязкость расплава может быть определена в соответствии со стандартом ASTM C 965-96.

Ваграночная печь, применимая для осуществления способа настоящего изобретения, может включать описанные выше элементы и зоны, а также следующее. Обычно минеральный расплав образует в горячей зоне бассейн, из которого вытекает через сифон и поступает в устройство вытяжки волокон. Минеральный расплав может быть отведен из основания ваграночной печи в другую камеру, где он собирается в бассейне и оттуда подается в устройство вытяжки волокон.

Исходные материалы могут иметь форму брикетов. Брикеты изготавливают известным образом путем формования смеси заданных материалов в форме частиц и связующего с получением в результате отверждения связующего брикетов заданной формы.

Связующее может представлять собой гидравлическое связующее, т.е. связующее, активируемое водой, например, портландцемент. Могут быть использованы другие гидравлические связующие, частично или полностью замещающие цемент, к их примерам относятся известь, порошкообразный доменный шлак и некоторые другие виды шлака и даже цементная пыль и размолотые крошки MMVF (JP-A-51075711, US 4662941 и US 4724295, включаемые в настоящий документ путем ссылки). Альтернативные варианты связующего содержат глину. Брикеты также могут быть изготовлены с использованием органического связующего, такого как меласса, например, как описано в документе WO 95/34514, включаемом в настоящий документ путем ссылки. Такие брикеты можно описать как облицовочный камень.

В третьем аспекте настоящим изобретением обеспечивается ваграночная печь для изготовления минерального расплава в соответствии со способом первого аспекта изобретения. Ваграночная печь может иметь отличительные особенности, описанные ранее.

В четвертом аспекте настоящим изобретением обеспечивается применение плазменной горелки в ваграночной печи для уменьшения содержания  $\text{NO}_x$ , CO,  $\text{CO}_2$  и/или водорода в отходящем газе относительно соответствующего процесса, в котором газом-носителем в плазменной горелке является воздух или кислород.

Предпочтительно, такое применение направлено на снижение содержания  $\text{NO}_x$  и/или водорода в отходящем газе.

MMVF может быть изготовлено в форме рулонного материала со связующим, включающего MMVF, как описано выше, или MMVF, изготовленное описанным выше способом, или MMVF, изготовленное с использованием описанного выше устройства и отверждаемой композиции связующего.

Расплав, изготовленный способом настоящего изобретения, и произведенные из него искусственные волокна (предпочтительно, MMVF), могут быть пригодны для использования в широком диапазоне продуктов, как-то элементы изоляции (тепловой и/или звуковой) и элементы огнестойкой изоляции.

Далее изобретение описано более подробно со ссылкой на чертеж, на котором показана печь для осуществления способа, соответствующего изобретению.

На фигуре показана ваграночная печь 1, снабженная загрузочной воронкой 2, сообщающейся с резервуаром 3, дно которого образовано смещающимся по оси конусом 4. Под резервуаром 3 находится плавильная камера, заключенная в рубашку 5 водяного охлаждения. На нижнем конце ваграночной печи 1 находится плоский под 6 печи, и на надлежащем расстоянии над подом 6 выполнен выпуск 7 расплава. На некотором расстоянии над уровнем, на котором находится выпуск 7 расплава, в стенку печи встроено несколько плазменных горелок 8. Еще выше расположен кольцевой входной воздуховод 9, сообщающийся с несколькими фурмами 10. Горячая зона ваграночной печи 1 снабжена внутренней футеровкой, изготовленной из кирпичей. Футеровка покрывает под 6 и внутренние стенки печи по меньшей мере до высоты расположения фурм 10.

Твердые материалы, т.е. исходные материалы, состав которых соответствует заданному составу расплава, подают в плавильную камеру через воронку 2 и резервуар 3, при этом дозирование осуществляют путем надлежащего положения конуса 4. Если нужно, вместе с твердыми материалами может быть добавлен углеродсодержащий материал, например, кокс.

Верхняя часть плавильной камеры выполняет роль зоны предварительного нагревания, поскольку материалы нагреваются восходящими дымовыми газами. Из зоны предварительного нагревания материал опускается в зону окисления, нижняя граница которой находится на уровне подачи воздуха через фурмы 10. В зоне окисления кокс сгорает с образованием  $\text{CO}_2$ . Температуру в зоне окисления поддерживают на таком уровне, чтобы температура части зоны предварительного нагревания, находящейся непосредственно над верхним концом зоны окисления, не превышала  $1000^\circ\text{C}$ , чтобы исключить или значительно ослабить реакцию между  $\text{CO}_2$ , образовавшимся в зоне окисления, и углеродом с образованием CO. Настоящее плавление происходит в той части плавильной камеры, которая находится ниже зоны окисления, и которую подвергают сильному нагреванию при помощи плазменных горелок 8. Образую-

щийся расплав опускается на дно печи и выводится через выпуск 7 расплава.

### Примеры

Изобретение дополнительно пояснено нижеследующими примерами, не имеющими ограничительного характера.

В ваграночной печи с плазменным нагреванием, при котором в плазменные горелки в качестве газа-носителя подавали либо воздух, либо  $N_2$ , изготавливали расплав. В таблице ниже приведены условия в ваграночной печи для каждого типа газа-носителя, а также состав отходящего газа (в об.% или частях на миллион). При использовании в качестве газа-носителя воздуха нужно уменьшить образование  $NO_x$ , чего, очевиднее всего, можно достичь путем введения сжиженного пропана (liquid petroleum gas, LPG) через плазменную горелку одновременно с газом-носителем. Этим объясняется разница в мощности и расходе газа-носителя в плазменной горелке. Из-за этих различий в рабочих условиях отличается количество воздуха, вводимого через фурму.

Ваграночная печь с плазменным нагреванием

	Газ-носитель воздух	Газ-носитель $N_2$
Плазменная горелка		
Мощность, кВтч/(тонна исходного материала)	790	870
Расход газа-носителя, н.м <sup>3</sup> /(тонна исходного материала)	165	180
Энтальпия, кВтч/н.м <sup>3</sup>	4,8	4,8
Сжиженный пропан для подавления образования $NO_x$ , н.м <sup>3</sup> /(тонна исходного материала)	6,9	0
Кокс		
кВтч/(тонна исходного материала)	210	210
Воздух через фурмы, н.м <sup>3</sup> /(тонна исходного материала)	64	135
Состав отходящего газа		
CO, %	3,1	1,6
CO <sub>2</sub> , %	13,6	6,2
H <sub>2</sub> , %	12,5	<0,1
O <sub>2</sub> , %	4,6	3,5
NO <sub>x</sub> , частей на миллион	3100	250

Из приведенных в таблице данных явствует, что количество каждого компонента отходящего газа существенно уменьшается, когда в качестве газа-носителя используется  $N_2$ . В частности, показано значительное уменьшение содержания  $NO_x$  и  $H_2$  в отходящем газе. Количество  $H_2$ , образовавшееся в случае, когда газом-носителем являлся  $N_2$ , было ниже предела обнаружения прибора.

### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ изготовления минерального расплава в ваграночной печи, при этом в ваграночной печи имеется по меньшей мере две температурные зоны, включающие горячую зону у основания печи и зону окисления над горячей зоной:

(i) печь оборудована по меньшей мере одной фурмой, обеспечивающей подведение в зону окисления источника кислорода;

(ii) в печи имеется по меньшей мере одна плазменная горелка, в которой в качестве газа-носителя используется азот, монооксид углерода, диоксид углерода или их смесь, и которая обеспечивает плазменное нагревание горячей зоны;

(iii) более 50% тепловой энергии в печи обеспечивается плазменной горелкой;

(iv) температура в зоне окисления составляет менее 1400°C;

(v) температура в горячей зоне выше, чем температура в зоне окисления;

(vi) вода, по существу, отсутствует в какой-либо зоне печи с температурой более 750°C; и

при этом в печь подают минеральный материал и расплавляют с образованием минерального расплава, который скапливается у основания печи, при этом образуется отходящий газ.

2. Способ по п.1, в котором более 60%, предпочтительно более 70%, более предпочтительно более 80%, наиболее предпочтительно более 90% тепловой энергии в ваграночной печи обеспечивается плазменной горелкой.

3. Способ по п.1 или 2, в котором температура в зоне окисления меньше 1300°C, предпочтительно меньше 1200°C, более предпочтительно меньше 1100°C, еще более предпочтительно меньше 1000°C, в частности меньше 900°C, в том числе меньше 800°C.

4. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором нагревание горячей зоны обеспечивается только плазменной горелкой.

5. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором температура в горячей зоне больше 800°C, предпочтительно больше 900°C, более предпочтительно больше 1000°C, более предпочтительно

больше 1100°C, более предпочтительно больше 1200°C, более предпочтительно больше 1300°C, более предпочтительно больше 1400°C.

6. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором энтальпия газа-носителя составляет от 2,0 до 6,0 кВт·ч/Н·м<sup>3</sup>, предпочтительно от 3,0 до 5,0 кВт·ч/Н·м<sup>3</sup>.

7. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором расплав имеет следующий состав, выраженный в вес.% оксидов:

SiO<sub>2</sub> 35-50, предпочтительно 38-48, более предпочтительно 33-44;  
Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 12-30, предпочтительно 15-28, более предпочтительно 16-24;  
TiO<sub>2</sub> до 2;  
Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 2-12;  
CaO 5-30, предпочтительно 5-18;  
MgO 0-15, предпочтительно 1-8;  
Na<sub>2</sub>O 0-15;  
K<sub>2</sub>O 0-15;  
P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0-3;  
MnO 0-3;  
B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0-3;

при этом предпочтительно доля Fe(2+) в расплаве составляет более 80% относительно общего содержания Fe, предпочтительно по меньшей мере 90%, более предпочтительно по меньшей мере 95%, наиболее предпочтительно по меньшей мере 97% всего Fe.

8. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором в печи образуется отходящий газ, содержащий:

(a) NO<sub>x</sub> в количестве менее 400 частей на миллион, предпочтительно менее 300 частей на миллион, более предпочтительно менее 250 частей на миллион, еще более предпочтительно, менее 200 частей на миллион, более предпочтительно менее 150 частей на миллион; и/или

(b) водород в количестве менее 20000 частей на миллион, предпочтительно менее 10000 частей на миллион, предпочтительно менее 5000 частей на миллион, предпочтительно менее 2000 частей на миллион, предпочтительно менее 1000 частей на миллион, предпочтительно менее 500 частей на миллион, предпочтительно менее 100 частей на миллион, предпочтительно менее 50 частей на миллион, наиболее предпочтительно, отходящий газ не содержит обнаружимого количества водорода.

9. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором газом-носителем является азот.

10. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором газ-носитель содержит по меньшей мере один компонент отходящего газа.

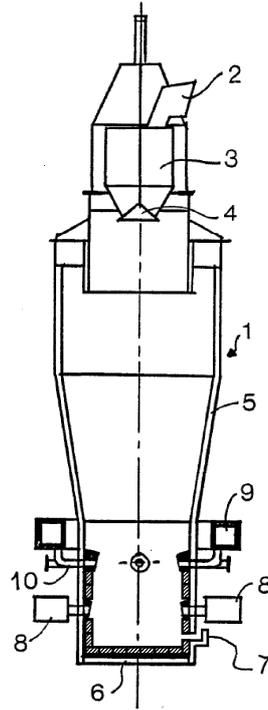
11. Способ по п.10, в котором по меньшей мере один компонент отходящего газа подвергают обработке на стадии очистки отходящего газа до его использования в составе газа-носителя, и очистка отходящего газа, предпочтительно направлена на удаление суспендированных частиц и/или воды.

12. Способ по п.10 или 11, в котором газ-носитель состоит по меньшей мере из одного компонента отходящего газа.

13. Способ производства искусственного стекловидного волокна (MMVF), включающий следующие стадии, на которых:

- (i) формируют расплав способом по любому из пп.1-12;
- (ii) формируют из расплава волокна способом внутреннего или наружного вытягивания волокна, предпочтительно с использованием каскадного устройства; и
- (iii) собирают сформированные волокна.

047215



Евразийская патентная организация, ЕАПВ  
Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2