

(19)



Евразийское  
патентное  
ведомство

(21) 202491166 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки  
2024.08.12

(51) Int. Cl. C03B 5/12 (2006.01)  
C03B 5/235 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки  
2022.11.04

(54) СПОСОБ ПОДГОТОВКИ РАСПЛАВА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИСКУССТВЕННЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОЛОКОН

(31) 21206795.3

(32) 2021.11.05

(33) EP

(86) PCT/EP2022/080868

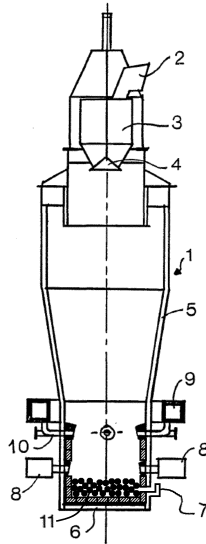
(87) WO 2023/079108 2023.05.11

(71) Заявитель:  
РОКВУЛ А/С (DK)

(72) Изобретатель:  
Эльмекильде Хансен Ларс, Чжоу  
Хаошэн (DK)

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

(57) Изобретение относится к способу подготовки минерального расплава в ваграночной печи, при этом в зоне плавления печи, где собирается расплав, находится множество керамических опорных элементов, при этом подвод тепловой энергии к печи осуществляется при помощи по меньшей мере одной плазменной горелки. Сочетание плазменной горелки и керамических опорных элементов позволяет уменьшить или, по существу, исключить необходимость использования в печи кокса. Благодаря этому сокращается образование вредных для окружающей среды газов, таких как CO и CO<sub>2</sub>, содержащихся в отходящем газе печи.



A1

202491166

202491166

A1

## ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

2420-581182EA/025

### СПОСОБ ПОДГОТОВКИ РАСПЛАВА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИСКУССТВЕННЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОЛОКОН

#### ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

Изобретение относится к способу подготовки минерального расплава в ваграночной печи, по меньшей мере, с одной плазменной горелкой, обеспечивающей подвод к печи тепловой энергии, при этом в зоне плавления печи, где собирается расплав, находится множество керамических опорных элементов. Сочетание плазменной горелки и керамических опорных элементов позволяет уменьшить или, по существу, исключить необходимость использования в печи кокса. Благодаря этому сокращается образование вредных для окружающей среды газов, таких как CO и CO<sub>2</sub>, содержащихся в отходящем газе печи.

#### УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

Как известно, способы подготовки минерального расплава для производства искусственных стекловидных волокон (man-made vitreous fibres, MMVF) осуществляют в шахтных печах, таких как ваграночная печь. Эти способы включают нагревание минерального материала в присутствии кокса и содержащего кислород газа с целью получения минерального расплава. Использование кокса в качестве средства подвода к печи тепловой энергии и восстановителя сопряжено с образованием значительного количества CO и CO<sub>2</sub>, которые оказывают неблагоприятное воздействие на окружающую среду. Учитывая роль, которую играет кокс в образовании минерального расплава, эффективное производство расплава в ваграночной печи с уменьшенными или, по существу, равными нулю выбросами CO и CO<sub>2</sub> представляется перспективным, хотя и сложным.

Кокс в ваграночной печи также выполняет функцию опоры столба минерального материала (исходного материала, из которого получают минеральный расплав). Без опоры на кокс нерасплавленный минеральный материал оказывался бы в расплаве, собирающемся (или накапливающимся) внизу зоны плавления, что приводило бы к загрязнению минерального расплава, отводимого из печи.

Ваграночные печи обычно подразделяются на несколько температурных зон, в том числе, зону плавления, зону окисления, зону восстановления и зону предварительного нагревания.

Нижняя часть ваграночной печи образует зону плавления. В зоне плавления находится получаемый в печи минеральный расплав, который обычно занимает пространство между кусками кокса, опирающимися на под печи и поддерживающими материал, расположенный выше. В типичной ваграночной печи температура расплава в зоне плавления лежит в диапазоне от 1450°C до 1550°C, и изменение температуры минерального расплава в этой зоне требует относительно длительного времени. Кроме этого, расстояние между верхом и низом зоны плавления довольно большое. В

традиционных ваграночных печах это нужно для того, чтобы обеспечить поддержание надлежащей температуры в зоне окисления.

Зона окисления (также известная как кислородная зона) обычно находится над зоной плавления. В нижней части зоны окисления обычно располагают газоподводящие сопла, также известные как фурмы, через которые в печь подают подогретый воздух или другой газ, содержащий кислород. Нагревание традиционно происходит за счет сжигания кокса. Сжигание кокса, наряду со сгоранием других форм углерода, которые могут присутствовать в минеральном материале, например, масел и связующих, содержащихся в повторно используемом материале, является одним из источников образования  $\text{CO}_2$  в печи.

Сжигание кокса и других источников углерода происходит во время перемещения подогретого воздуха вверх через зону окисления, и температура газа может увеличиваться от примерно  $500^\circ\text{C}$  до примерно  $2000^\circ\text{C}$ , поэтому минеральный материал, который перемещается через зону окисления вниз, нагревается до температуры плавления. Расплавленный минеральный материал стекает в зону плавления у основания, или пода, ваграночной печи. Высота зоны окисления по вертикали определяется количеством кислорода, подаваемого в печь.

Зона восстановления находится над зоной окисления и начинается на том уровне, где подаваемый через фурмы кислород израсходован на сжигание кокса. В зоне восстановления, температура в которой обычно составляет от  $1000^\circ\text{C}$  до  $1500^\circ\text{C}$ , кокс вступает в реакцию с  $\text{CO}_2$ , образовавшимся в зоне окисления, с образованием  $\text{CO}$  в количестве, которое по объему в два раза больше количества израсходованного  $\text{CO}_2$ .

Эта реакция является эндотермической и вызывает потерю около 20-25% энергии, выделившейся в результате горения в зоне окисления, в виде скрытой теплоты отходящего газа. Обычно отходящий газ может быть использован для нагревания подлежащих плавлению в ваграночной печи минеральных материалов в зоне предварительного нагревания.

В документе US 4556418 описан способ получения расплавленного железа из лома черных металлов, стального лома, чугуна в болванках, железа прямого восстановления или их смесей с использованием в качестве основного окислителя обогащенного воздуха. Тепловую энергию для плавления железа получают за счет сжигания природного газа, нефтяного топлива или угольной пыли. Ванна расплавленного металла образуется в нижней части печи. Для предотвращения охлаждения ванны расплава нерасплавленными порциями черного металла в шахте печи может быть предусмотрено наличие керамических элементов, например, на выступах, расположенных по внутреннему периметру шахтной печи, над нижней частью печи и ванной расплавленного металла. Расплавленный металл может быть выпущен из ванны через сифон. В ванне расплава керамических элементов нет.

В документе US 5107517 описан способ получения минеральной расплава для производства минеральной ваты с использованием плавильной печи, включающей

охлаждаемую водой решетку, расположенную над камерой сгорания, на которой размещен слой керамических заполняющих элементов, а также исходные материалы. Расплав, стекающий каплями из шахты, собирается в нижней части камеры сгорания. Недостаток, свойственный этой конструкции, состоит в том, что во время эксплуатации печи через решетку необходимо пропускать воду, чтобы предотвратить ее разрушение в высокотемпературной среде печи. Подвод тепла в камеру сгорания обеспечивают за счет обычного газа (природного или сжиженного) или жидкого топлива, например, нефти. Дополнительно для нагревания печи может быть использована электроэнергия, однако ее количество ограничивается, максимум, 20% всей необходимой энергии. Расплав может отводиться через сифон, расположенный на некоторой высоте над подом камеры сгорания и ниже уровня охлаждаемой водой решетки.

В документе JPH 10141629 описан способ и устройство обработки отходов путем сжигания и термического разложения промышленных и бытовых отходов с использованием вертикальной плавильной печи. Указанные отходы включают древесные отходы, образуемые бумагой и древесными стружками, гниющий мусор, металлические отходы негодных автомобилей и т.п., невоспламеняющиеся отходы, например, стеклянные или фарфоровые, и пластиковый мусор. Как и в случае US 5107517, в печи над камерой сгорания необходимо наличие охлаждаемых водой труб, на которых расположен огнеупорный материал. Тепло подводят в печь при помощи обычных газовых горелок (электрический или плазменный нагрев не упоминается), находящихся в области под охлаждаемыми водой трубами, откуда тепло поднимается вверх через обрабатываемые отходы. Такая конструкция предусматривает только стекание расплавленного материала, проходящего через область охлаждаемых водой труб, в камеру сгорания.

Одним из недостатков печей, описанных в US 5107517 и JPH 10141629, является то, что стандартную ваграночную печь, предназначенную для подготовки минерального расплава, нужно модифицировать путем установки охлаждаемых водой труб и системы охлаждения. Со временем трубы разрушаются и требуют замены, поэтому эксплуатационные расходы и время вынужденного простоя печи увеличиваются.

В документе EP 2284130 описан способ производства минеральной ваты из минерального расплава, полученного в ваграночной печи. Печь включает решетку, расположенную над камерой сгорания, предотвращающую попадание минерального материала в камеру сгорания. Расплав образуется под действием тепла, подводимого при помощи горелок на жидком или газообразном топливе. Выпуск для отведения расплава из печи расположен в камере сгорания.

В документе WO 2019/201182 описано оборудование для выплавки литейного чугуна с подведением тепла при помощи плазменной горелки. В печи минеральный материал поддерживается сферами с высоким содержанием углерода, нагреваемыми плазмой. В силу состава сфер и условий в плазменной среде сферы с высоким содержанием углерода со временем изнашиваются и нуждаются в замене, которую производят путем добавления новых сфер с высоким содержанием углерода

вместе с дополнительным исходным материалом. Углерод, содержащийся в сферах, также может вносить вклад в образование CO и CO<sub>2</sub> в отходящем газе.

Кокс при формировании минерального расплава выполняет несколько функций. И разработка способов, позволяющих уменьшить или, по существу, исключить зависимость процесса от наличия кокса остается трудной задачей, хотя и сулит преимущества как с точки зрения охраны окружающей среды, так и экономических выгод.

Таким образом, имеется потребность в более эффективных, безопасных для окружающей среды ваграночных печах, пригодных для подготовки минерального расплава, например, используемого для производства MMVF, например, стекловолокна или каменной ваты. Желательно, чтобы количество кокса и/или других источников углерода в печи было уменьшено или, по существу, сведено к нулю, так как это ведет к сокращению вредных выбросов CO и CO<sub>2</sub>. Также имеется потребность в более эффективном способе перегрева минерального расплава в ваграночной печи.

Эти требования могут быть удовлетворены путем использования для нагревания минеральных материалов (т.е., исходных материалов, применяемых для получения минерального расплава) плазменной горелки в сочетании со множеством керамических опорных элементов, расположенных в той части зоны плавления, где собирается минеральный расплав перед выпуском из печи.

#### КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

На фиг.1 схематично показана конструкция ваграночной печи, которая может быть использована для осуществления настоящего изобретения.

#### СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

В первом аспекте изобретением обеспечивается способ подготовки минерального расплава в ваграночной печи, при этом ваграночная печь включает расположенную у ее основания зону плавления и выпуск расплава, предпочтительно, сифонный выпуск расплава, расположенный в зоне плавления, при этом

(i) в печи имеется, по меньшей мере, одна плазменная горелка, которая обеспечивает плазменный нагрев зоны плавления;

(ii) более 50% тепловой энергии подводится к печи, по меньшей мере, одной плазменной горелкой;

(iii) в печи имеется множество керамических опорных элементов, расположенных в той части зоны плавления, где собирается минеральный расплав перед выпуском из печи через выпуск расплава,

при этом подаваемый в печь минеральный материал плавится с образованием минерального расплава, который собирается в пустотах между керамическими опорными элементами.

Во втором аспекте изобретением обеспечивается способ производства MMVF, включающий следующие стадии, на которых:

(i) готовят минеральный расплав способом, соответствующим первому аспекту изобретения;

- (ii) формируют из расплава волокна способом внутреннего или наружного формирования; предпочтительно, с использованием каскадного устройства; и
- (iii) собирают полученные волокна.

#### ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Преимущества настоящего изобретения достигаются благодаря тому, что используется печь, в которой имеется множество керамических опорных элементов, расположенных в той части зоны плавления, где собирается минеральный расплав перед выпуском из печи, при этом нагревание зоны плавления обеспечивается за счет плазменного нагрева, по меньшей мере, одной плазменной горелкой. Это означает, что количество кокса, используемое в процессе, может быть уменьшено или, по существу, сведено к нулю, и, соответственно, сокращены выбросы CO и CO<sub>2</sub>.

Керамические опорные элементы расположены в той части зоны плавления, где собирается (или накапливается) минеральный расплав перед выпуском из печи через выпуск расплава, предпочтительно, сифонный выпуск расплава. В идеальном случае керамические опорные элементы покоятся на внутреннем основании печи, однако они также могут быть приподняты над внутренним основанием. Важно то, что керамические опорные элементы расположены в печи таким образом, что минеральный расплав, образовавшись, собирается (или накапливается) в пустотах между керамическими опорными элементами перед выпуском. Это является ключевым отличием от печей, описанных в US 5107517 и JPH 10141629, где минеральный расплав стекает вдоль керамических заполняющих элементов/огнеупорного материала и собирается у основания печи, т.е., минеральный расплав не собирается в пустотах между керамическими заполняющими элементами/в огнеупорном материале перед выпуском из печи.

Указанное расположение керамических опорных элементов в печи также должно предотвращать контакт между существенной частью минерального материала и накопившегося минерального расплава. В этом смысле керамические опорные элементы могут быть использованы для отделения минерального расплава от исходных материалов до выпуска расплава из печи, как то отведения через выпуск расплава, предпочтительно, сифонный выпуск расплава. В традиционных ваграночных печах, используемых для получения минерального расплава, это может быть достигнуто при помощи кокса. Однако в данном случае был обнаружен эффективный способ фильтрования минерального расплава без использования кокса.

Также было обнаружено, что керамические опорные элементы могут увеличивать тепловой КПД при перегреве минерального расплава, например, отвечающего требованиям производства MMVF. Важно подавать минеральный расплав на следующую технологическую стадию, например, формирования MMVF, при заданной температуре. Будучи выведенным из печи, минеральный расплав начинает остывать, следовательно, чтобы компенсировать это охлаждение перед выпуском из печи, минеральный расплав может быть перегрет. Традиционные способы перегрева минерального расплава малоэффективны, особенно когда в накопившемся минеральном расплаве присутствует

кокс, поддерживающий столб минерального материала. Сочетание плазменного нагрева и керамических опорных элементов согласно настоящему изобретению обеспечивает более эффективный перегрев накопившегося минерального расплава. Без связи с какой-либо теорией полагают, что вследствие сочетания плазменного нагрева и керамических опорных элементов в печи может образовываться меньше СО. Из-за сокращения количества СО в отходящем газе может увеличиваться тепловой КПД печи, что, в свою очередь, ведет к более эффективному перегреву накопившегося минерального расплава.

Опорные элементы могут быть изготовлены из любого пригодного материала керамического типа, способного выдерживать условия, имеющие место в печи. Понятно, что для использования в контексте настоящего изобретения подходят многие материалы керамического типа, несмотря на то, что со временем при использовании в печи они разрушаются. Разрушение может быть термическим, химическим или физическим. Обычно разрушение наступает в результате плавления и/или реакции с минеральным материалом, используемым для получения минерального расплава. В этой связи является предпочтительным, чтобы керамические опорные элементы обладали высокой температурой плавления и/или большой устойчивостью к химическому и/или физическому разрушению. В этом случае срок службы керамических опорных элементов увеличивается, и они не нуждаются в частой замене.

Следовательно, является предпочтительным, чтобы температура плавления керамических опорных элементов составляла, по меньшей мере, 1400°C, предпочтительно, по меньшей мере, 1600°C, более предпочтительно, по меньшей мере, 1800°C. Понятно, что керамические опорные элементы с более высокой температурой плавления будут медленнее разрушаться при температуре, имеющей место в зоне плавления печи.

Также является предпочтительным, чтобы керамические опорные элементы были устойчивыми к химическому разрушению в ваграночной печи во время образования минерального расплава. Химическое разрушение может наступать в результате реакции керамических опорных элементов с минеральным материалом, используемым для получения минерального расплава.

Керамические опорные элементы также должны быть устойчивыми к физическому разрушению. Это означает, что они не должны терять конструктивную целостность под действием прикладываемых к ним сил, как то вес столба минерального материала, при рабочей температуре печи.

Для специалистов в данной области очевидно значение термина «керамический» в настоящем контексте. Керамика часто является кристаллической, хотя может также включать сочетание стекловидной и кристаллической фаз. Керамика, пригодная для изготовления опорных элементов, обычно содержит оксид металла или, более предпочтительно, сочетание оксидов металлов. Надлежащими оксидами металла являются, помимо прочего,  $Al_2O_3$ ,  $FeO$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $Cr_2O_3$ ,  $ZrO_2$ ,  $MgO$  и их сочетания. Свойства керамики могут быть подрегулированы путем изменения соотношения оксидов металлов. Особенно хорошо подходят керамические опорные элементы, которые

содержат сочетание  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  или  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  и  $\text{ZrO}_2$ . В этих случаях является желательным, чтобы  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  или  $\text{ZrO}_2$  присутствовали в керамическом опорном элементе в количестве, по меньшей мере, 5% вес. относительно общего веса керамического опорного элемента. Подходящими керамическими опорными элементами, содержащими  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , являются продаваемые под торговой маркой Durital, такие как Durital RK10 и RK50 (содержащие 10 и 50% вес.  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , соответственно). Подходящими керамическими опорными элементами, содержащими  $\text{ZrO}_2$ , являются продаваемые под торговой маркой SCIMOS Z. Типичный состав этих материалов приведен в нижеследующих таблицах.

Марка	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{Cr}_2\text{O}_3$	Другие
Durital RK10	85,0	0,6	0,8	10,5	3,1
Марка	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{ZrO}_2$	Другие
SCIMOS Z	0,6	4,4	0,3	94,0	0,7

Керамические опорные элементы могут быть изготовлены из материала, применяемого в качестве облицовки печи, рассчитанной на то, чтобы выдерживать рабочие условия в печи. Часто этот материал называют огнеупорными кирпичами; он представляет собой кирпичи, изготовленные из описанных выше керамических материалов.

Как уже упоминалось, керамические опорные элементы при использовании в печи со временем могут разрушаться. Из-за этого компоненты керамических опорных элементов могут присутствовать в минеральном расплаве, отводимом из печи. Специалисты в данной области смогут учесть наличие компонентов керамических опорных элементов в итоговом составе минерального расплава.

Керамические опорные элементы могут иметь любую форму, при которой они могут обеспечивать указанные выше преимущества, например, когда они уложены на поде печи, их форма должна обуславливать наличие пустот между отдельными керамическими опорными элементами, предпочтительно, без необходимости предварительной подготовки их конфигурации с этой целью. Также является преимущественным уменьшение отношения поверхности керамических опорных элементов к их объему, так как разрушение по большей части происходит на поверхности. Нет необходимости в том, чтобы описывать форму керамических опорных элементов в терминах геометрии. Фактически, они могут иметь неправильную форму. Однако их общая форма может быть описана как форма цилиндра, диска, стержня или шара. В этой связи является предпочтительным, чтобы цилиндры имели длину, составляющую от 0,3 до 3 (предпочтительно, от 0,5 до 2) их диаметров. Длина стержней обычно намного больше их диаметра, тогда как длина дисков намного меньше их диаметра. Эти формы характеризуются надлежащим отношением поверхности к объему, при котором уменьшается скорость разрушения. Однако является предпочтительным, чтобы керамические опорные элементы были цилиндрическими или шарообразными, также с точки зрения уменьшения отношения поверхности к объему. Преимуществом цилиндров является то, что их легче изготавливать, тогда как шарообразные керамические опорные



элементы характеризуются намного более благоприятным отношением поверхности к объему, благодаря чему скорость их разрушения в печи может быть меньше. Отношение поверхности керамических опорных элементов к объему может составлять от 0,07 до 0,21, предпочтительно, от 0,8 до 0,15, более предпочтительно, от 0,9 до 0,13, наиболее предпочтительно, от 0,10 до 0,11.

Является предпочтительным, чтобы форма керамических опорных элементов была описана через их «эквивалентный сферический диаметр». Этот термин означает диаметр сферы равного объема, который может быть вычислен для любой трехмерной формы, например, для цилиндров, стержней, сплюснутых и растянутых сфероидов. Эта величина может быть рассчитана путем измерения объема тела и вычисления диаметра сферы, имеющей такой же объем, с использованием уравнения

$$d = \sqrt[3]{\frac{6V}{\pi}}$$

в котором  $d$ —диаметр (мм);  $V$ —объем (мм<sup>3</sup>).

Объем тела может быть измерен способом вытеснения воды. В соответствии с этим способом тело погружают в воду и измеряют объем вытесненной воды, например, с использованием чаши Эврика или подобного резервуара.

Может оказаться преимущественным, чтобы керамические опорные элементы имели эквивалентный сферический диаметр от 60 мм до 250 мм, предпочтительно, от 70 мм до 200 мм, более предпочтительно, от 80 мм до 150 мм, наиболее предпочтительно, от 90 мм до 110 мм. Керамические опорные элементы с таким эквивалентным сферическим диаметром могут быть пригодны для использования в ваннах расплава типичных печей. В идеальном случае эквивалентный сферический диаметр должен быть меньше глубины ванны расплава, чтобы иметь возможность использовать множество слоев, например, два или более слоев (предпочтительно, 2 или 3 слоя) керамических опорных элементов ввиду предотвращения частичного погружения столба минерального материала в минеральный расплав. Глубина ванны расплава может быть измерена от внутреннего основания печи до поверхности минерального расплава в ходе работы. На практике керамические опорные элементы могут присутствовать в печи не в упорядоченном расположении и не образовывать выраженные слои. Напротив, их расположение может быть произвольным. Следовательно, выражение «множество слоев», по существу, означает, что общая высота совокупности керамических опорных элементов в печи больше их эквивалентного сферического диаметра. Кроме этого, общая высота совокупности керамических опорных элементов должна превышать уровень расположения выпуска минерального расплава. Когда выпуск является сифонным, общая высота совокупности керамических опорных элементов должна превышать уровень впуска сифона (область, где минеральный расплав переходит из ванны расплава в сифон), и может оказаться выгодным, чтобы общая высота совокупности керамических опорных элементов превышала уровень выпуска сифона. Это может способствовать предотвращению частичного погружения столба минерального

материала в минеральный расплав.

Использование описанных выше керамических опорных элементов должно способствовать технологичности и обеспечивать наличие между керамическими опорными элементами пустот надлежащего размера, где может собираться и накапливаться минеральный расплав перед отведением через выпуск расплава, такой как сифон. Кроме этого, если керамические опорные элементы слишком маленькие, они могут уноситься из печи через выпуск расплава вместе с минеральным расплавом или блокировать выпуск расплава. Если керамические опорные элементы слишком большие, они могут ненадлежащим образом поддерживать минеральный материал в печи.

Ввиду изложенного выше, настоящим изобретением обеспечивается преимущественный способ поддержания минерального материала в ваграночной печи при значительно уменьшенном количестве кокса или даже без использования кокса, также позволяющий предотвратить вынос нерасплавленного минерального материала из печи в потоке расплава, и все это без необходимости модифицировать существующие ваграночные печи. Это является существенным преимуществом над печами, описанными в US 5107517 и JPH 10141629, где требуется модификация, заключающаяся в установке охлаждаемых водой труб и системы охлаждения.

Как и обычно, процесс получения минерального расплава может быть непрерывным, когда минеральный расплав непрерывно отводят из печи через выпуск расплава и подают в печь дополнительный минеральный материал через загрузочный бункер. Если в процессе эксплуатации печи керамические опорные элементы разрушаются, дополнительные опорные элементы могут быть введены в печь вместе со свежим минеральным материалом. По мере того, как минеральный материал плавится и выводится из печи, дополнительные керамические опорные элементы перемещаются по печи вниз до тех пор, пока не оседают на дне зоны плавления. Скорость разрушения керамических опорных элементов и, следовательно, скорость, с которой их нужно добавлять в печь со свежим минеральным материалом, можно рассчитать или определить экспериментально путем эксплуатации печи некоторое время, ее охлаждения и осмотра оставшихся керамических опорных элементов. Дополнительные керамические опорные элементы могут быть введены в печь в любом надлежащем количестве, позволяющем поддерживать их должное функционирование. Это количество обычно составляет от 1 до 5% вес., более предпочтительно, от 1 до 2% вес. относительно общего количества дополнительных керамических опорных элементов и дополнительного минерального материала. Если керамические опорные элементы разрушаются быстрее, например, если они более низкого качества, вместе с дополнительным минеральным материалом нужно вводить в печь большее количество. Если керамические опорные элементы разрушаются медленнее, например, если они более высокого качества, вместе с дополнительным минеральным материалом нужно вводить в печь меньшее количество.

Печь оборудована, по меньшей мере, одной плазменной горелкой, которая обеспечивает плазменный нагрев зоны плавления. Плазменные горелки генерируют

термическую плазму посредством использования постоянного тока (DC), переменного тока (AC), радиочастотного излучения (RF) и других источников энергии. Термическая плазма излучает тепло, которое в плазменной горелке генерируется в результате создания электрической дуги между двумя электродами, через которую сквозь узкое отверстие пропускают газ-носитель. В результате температура газа увеличивается до такой степени, что он переходит в четвертое состояние материи, плазменное. Плазменные горелки могут быть плазменными горелками прямого нагрева и дуговыми горелками прямой полярности. В дуговых горелках прямой полярности электроды находятся внутри корпуса горелки, тогда как в плазменных горелках прямого нагрева электроды расположены вне корпуса горелки, и дуга генерируется снаружи плазменной горелки и распространяется на большее расстояние. В контексте настоящего изобретения предпочтительно использовать дуговые горелки прямой полярности, более предпочтительно, дуговые горелки прямой полярности постоянного тока.

В плазменных горелках могут применяться разнообразные газы-носители, такие как кислород ( $O_2$ ), азот ( $N_2$ ), аргон (Ar), гелий (He), воздух, водород ( $H_2$ ), монооксид углерода (CO), диоксид углерода ( $CO_2$ ) или их смеси. В соответствии с настоящим изобретением газ-носитель, предпочтительно, выбирают из группы, состоящей из  $N_2$ , CO,  $CO_2$  или их смесей. Было обнаружено, что образование  $NO_x$  может быть значительно уменьшено, если в тех зонах ваграночной печи, где присутствует азот, и где температура составляет  $1400^\circ C$  или выше, отсутствует кислород ( $O_2$ ). Для сведения количества образующегося  $NO_x$  к минимуму газ-носитель должен содержать, самое большее, только следовые количества кислорода. Это означает, что газ-носитель должен содержать менее 5% вес. кислорода, например, менее 2% вес., предпочтительно, менее 0,8% вес. относительно общего веса газа-носителя. В идеальном случае газ-носитель не содержит кислород.

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

Энтальпия газа-носителя, используемого в плазменной горелке, составляет, предпочтительно, от 2,0 до 6,0 кВт·ч/м<sup>3</sup>, предпочтительно, от 3,0 до 5,0 кВт·ч/м<sup>3</sup>. Энтальпия равна измеренной энергии, деленной на измеренный расход газа-носителя. Величина энтальпии имеет значение для регулирования температуры и производительности плавления.

Ваграночная печь, пригодная для осуществления способа настоящего изобретения, может включать одну плазменную горелку. В качестве альтернативы, может быть установлено множество плазменных горелок, например, две, три, четыре или более плазменных горелок. В настоящем контексте указание на «одну» («a» или «the» на англ. яз.) плазменную горелку означает «одну или несколько плазменных горелок». Мощность каждой плазменной горелки обычно лежит в диапазоне от 1 до 6 МВт.

Несмотря на преимущества использования плазменной горелки для подвода тепловой энергии к ваграночной печи, тепловая энергия также может быть обеспечена альтернативными средствами. В соответствии с настоящим изобретением более 50% тепловой энергии печи подводится посредством плазменной горелки. Может оказаться предпочтительным, чтобы посредством плазменной горелки обеспечивалась большая доля нагрева ваграночной печи, например, более 60%, предпочтительно, более 70%, более предпочтительно, более 80%, еще более предпочтительно, более 90%. Учитывая преимущества плазменного нагрева, является предпочтительным, чтобы вся тепловая энергия была подведена посредством плазменной горелки. Тепловая энергия может подводиться к печи во множестве точек, однако является предпочтительным, чтобы тепловая энергия была подведена в зоне плавления только посредством плазменной горелки.

Если нагревание печи обеспечивается не только плазменной горелкой, оставшая часть тепловой энергии может быть подведена, например, традиционно, т.е., путем сжигания топлива, такого как природный газ или кокс, в присутствии источника кислорода. Кислород подают в печь в зону окисления, находящуюся над зоной плавления. Источник кислорода может быть подан любым надлежащим способом, например, при помощи, по меньшей мере, одной фурмы и/или, по меньшей мере, одного выпуска кислорода.

«Источник кислорода» может представлять собой любой надлежащий источник, в том числе, газообразный кислород, воздух или их сочетание, т.е., обогащенный кислородом воздух. Подаваемый кислород может окислять любой углерод, присутствующий в минеральном материале или коксе, как описано далее.

Фурмы обычно размещают внизу зоны окисления. Ваграночная печь может быть снабжена одной фурмой или множеством фурм, например, двумя, тремя, четырьмя, пятью, шестью, семью, восемью, девятью, десятью, одиннадцатью, двенадцатью, тринадцатью, четырнадцатью, пятнадцатью или более фурмами. Если фурмы используются, их количество составляет, предпочтительно, от девяти до тринадцати, наиболее предпочтительно, одиннадцать фурм. В этом случае является предпочтительным, чтобы фурмы были равномерно распределены по периферии печи за исключением места расположения выпуска расплава, например, сифонного выпуска расплава. В любом случае является предпочтительным, чтобы в области, где находится плазменная горелка, фурм не было, т.е., чтобы в зоне плавления фурм не было. Благодаря этому можно исключить наличие кислорода в зоне ваграночной печи с температурой более 1400°C.

Через фурмы может быть подан воздух с расходом от 70 до 250  $\text{нм}^3$  воздуха на тонну загрузки печи. Отверстие каждой фурмы, через которое воздух поступает в ваграночную печь, обычно расположено на расстоянии от 0 до, максимум, 1 диаметра печи над плазменными горелками. Диаметр печи равен внутреннему диаметру внутренней камеры ваграночной печи.

Поскольку фурмы обычно располагают по периметру ваграночной печи, подача кислорода в центр печи большого диаметра может быть недостаточной. В этом случае в печи предусматривают наличие, по меньшей мере, одного впуска кислорода, облегчающего подачу кислорода в центр печи. Как известно в данной области, впуск кислорода может представлять собой трубу или патрубок, через который кислород может поступать в надлежащее место в ваграночной печи.

$\text{NO}_x$  могут образовываться из азота и кислорода при высоких температуре и давлении. С точки зрения сокращения образования  $\text{NO}_x$  температура в зоне окисления ваграночной печи должна составлять от  $600^\circ\text{C}$  до  $1400^\circ\text{C}$ . Для еще большего подавления образования  $\text{NO}_x$  предпочтительно поддерживать температуру в зоне окисления в диапазоне от  $600^\circ\text{C}$  до  $1300^\circ\text{C}$ , более предпочтительно, от  $600^\circ\text{C}$  до  $1200^\circ\text{C}$ , еще более предпочтительно, от  $600^\circ\text{C}$  до  $1100^\circ\text{C}$ , в частности, от  $600^\circ\text{C}$  до  $1000^\circ\text{C}$ , наиболее предпочтительно, от  $600^\circ\text{C}$  до  $900^\circ\text{C}$ , особенно, от  $600^\circ\text{C}$  до менее  $850^\circ\text{C}$ .

Температура зоны плавления должна быть выше температуры зоны окисления. Это означает, что температура в зоне плавления может быть выше  $800^\circ\text{C}$ , предпочтительно, выше  $900^\circ\text{C}$ , более предпочтительно, выше  $1000^\circ\text{C}$ , более предпочтительно, выше  $1100^\circ\text{C}$ , более предпочтительно, выше  $1200^\circ\text{C}$ , более предпочтительно, выше  $1300^\circ\text{C}$ , более предпочтительно, выше  $1400^\circ\text{C}$ .

С учетом изложенного выше, при осуществлении способа настоящего изобретения может образовываться отходящий газ, содержащий  $\text{NO}_x$  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. Специалистам в данной области понятно, что содержание газа в частях на миллион дано по объему. Следовательно, в любом указании содержания газа в частях на миллион имеются в виду объемные части.

Другим неожиданным преимуществом нагревания зоны плавления при помощи плазменной горелки с использованием газа-носителя, например, азота, монооксида углерода, диоксида углерода или их смеси является то, что высота зоны плавления может быть значительно уменьшена по сравнению с соответствующей ваграночной печью, нагреваемой иначе, нежели при помощи плазменной горелки.

Еще одним преимуществом использования плазменной горелки является то, что существенно сокращается время реакции, необходимое для изменения температуры в определенных зонах ваграночной печи, в частности, температуры минерального расплава. Обычно, при использовании плазменной горелки температура минерального расплава поддается изменению за 20 мин, предпочтительно, 15 мин, более предпочтительно, за 10 мин. Это время изменения может быть меньше, чем в случае применения других средств нагрева.

Было обнаружено, что необходимо исключить наличие воды в любой зоне печи с температурой более  $750^\circ\text{C}$ . Благодаря этому сводится к минимуму количество образующегося водорода, входящего в состав отходящего газа ваграночной печи.

Предпочтительно, в печи образуется 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. Наиболее предпочтительно, водород содержится в отходящем газе в количестве ниже предела обнаружения. Как указано выше, содержание газа в частях на миллион дано по объему.

Благодаря применению, по меньшей мере, одной плазменной горелки количество используемого в ваграночной печи кокса может быть существенно уменьшено, по существу, исключено или исключено совсем. «Существенно уменьшено» означает, что используемое количество кокса может быть менее 5% вес., предпочтительно, менее 3% вес., более предпочтительно, менее 2% вес. относительно общего количества кокса и минерального материала. «По существу, исключено» означает, что используемое количество кокса может быть менее 0,5% вес. относительно общего количества кокса и минерального материала. Предпочтительно, кокс не добавляют совсем, или кокс присутствует только в следовых количествах. В этом случае считается, что кокс в процессе не используется, т.е., использование кокса исключено. Наиболее предпочтительно, кокс в процессе не используется.

Совместное использование, по меньшей мере, одной плазменной горелки и множества керамических опорных элементов, как описано в настоящем документе, означает, что минеральный расплав может быть получен в ваграночной печи без использования кокса. Следствием этого является преимущество, заключающееся в уменьшении или сведении к нулю количества определенных компонентов в отходящем газе, например, уменьшение выбросов CO и/или CO<sub>2</sub> с отходящим газом.

Минеральный материал, используемый для приготовления минерального расплава, может содержать углерод. Например, углерод может присутствовать в повторно используемом минеральном материале, являющемся сырьем для приготовления минерального расплава. Повторно используемый минеральный материал может быть получен из целого ряда источников, включая отходы MMVF. MMVF обычно содержат связующее или масло, тип которого зависит от назначения MMVF. Связующие обычно включают значительное количество углерода (примерно 40-70% вес.). Масла могут содержать углерод в количестве до 90% вес. или более. Если в качестве минерального материала используют значительную долю повторно используемого материала, количество образующихся в процессе CO и CO<sub>2</sub> будет больше. В результате этого, если для приготовления минерального расплава используется повторно используемый минеральный материал, является предпочтительным, чтобы этот минеральный материал содержал менее 5% вес. углерода, предпочтительно, менее 2% вес. углерода относительно общего веса минерального материала. Тогда в процессе плавления будет образовываться только небольшое количество CO или CO<sub>2</sub>.

Несмотря на изложенное выше, минеральный материал, в состав которого не входит повторно используемый материал, все же может содержать углерод в качестве примеси. В этом случае, когда минеральный материал не содержит повторно используемый материал, содержание углерода в нем составляет менее 1% вес., предпочтительно, менее 0,5% вес. относительно общего веса минерального материала. Одной из целей настоящего изобретения является уменьшение количества образующихся в ходе получения минерального расплава CO и CO<sub>2</sub>, следовательно, является наиболее предпочтительным, чтобы минеральный материал, по существу, не содержал углерод, то есть, чтобы углерод присутствовал в минеральном материале только в следовых количествах.

Если в печи используют кокс, либо в минеральном материале присутствует другой источник углерода, то над зоной плавления ваграночной печи, где, как описано выше, образуется зона окисления, должно быть обеспечено наличие источника кислорода.

Может оказаться выгодным, чтобы минеральный расплав содержал довольно большое количество Fe<sup>2+</sup> (в форме FeO) относительно Fe<sup>3+</sup> (в форме Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) или металлического железа. Восстановление железа обычно достигается с использованием источника углерода, такого как уголь, кокс или другое углеродсодержащее топливо в форме частиц. Поскольку является предпочтительным, чтобы углерод был исключен из данного процесса, железо может быть восстановлено при помощи металлического алюминия. Металлический алюминий может иметь форму гранулированного алюминия или алюминиевого шлака. Алюминиевый шлак представляет собой отходы алюминиевой промышленности в форме частиц и содержит, главным образом (обычно от 50 до 90% вес.), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и, примерно, от 0,5 до 10% вес. металлического алюминия. Алюминий может быть добавлен в минеральный материал в количестве, достаточном для достижения заданного соотношения Fe<sup>2+</sup>/Fe<sup>3+</sup> в минеральном расплаве. Обычно алюминиевый шлак может составлять от 8 до 12% вес. минерального материала. Если используемое количество кокса менее 0,5% вес. относительно общего веса кокса и минерального материала, является предпочтительным использовать в процессе металлический алюминий. Дополнительным преимуществом использования алюминия для восстановления железа является то, что алюминий окисляется до Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, который часто является необходимым компонентом минерального расплава.

Отходящий газ ваграночных печей, нагреваемых при помощи плазменных горелок, может содержать N<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> и H<sub>2</sub>. Отходящий газ может также содержать другие компоненты, такие как вода и частицы, т.е., частицы твердого материала. Весь отходящий газ или его часть может быть использован в качестве газа-носителя для одной или нескольких плазменных горелок. В этой связи газ-носитель может содержать или состоять, по меньшей мере, из одного компонента отходящего газа, образующегося в печи. По существу, отходящий газ может быть рециркулирован и использован в качестве газа-носителя плазменной горелки. Перед использованием в качестве газа-носителя компоненты отходящего газа могут быть разделены. Компоненты отходящего газа могут

быть отделены друг от друга, либо сочетание из двух и более 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 такие компоненты отходящего газа, как  $N_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$  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 очистке перед использованием в газе-носителе. Является предпочтительным, чтобы в ходе очистки отходящего газа были удалены частицы, суспендированные в отходящем газе, и/или вода. Очистка отходящего газа может быть проведена в отношении всего отходящего газа или, по меньшей мере, одного его компонента, отделенного от остальной части 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 «пополнен» дополнительным газом.

Минеральный расплав, приготовленный способом настоящего изобретения, может быть пригоден для производства MMVF, например, стекловолокна или каменной ваты. Является предпочтительным, чтобы полученный минеральный расплав подходил для формирования MMVF. Следовательно, во втором аспекте изобретением обеспечивается способ производства MMVF, включающий следующие стадии, на которых:

- (i) готовят минеральный расплав способом, описанным в настоящем документе;
- (ii) формируют из расплава волокна способом внутреннего или наружного формирования; предпочтительно, с использованием каскадного устройства; и
- (iii) собирают полученные волокна.

Волокна, в частности MMVF, могут быть изготовлены из минерального расплава традиционным способом. Вообще, волокна изготавливают способом центробежного волокнообразования. Например, волокна могут быть сформированы при помощи вращающегося стакана, из которого они выбрасываются наружу через перфорацию во вращающемся стакане; либо минеральный расплав может сбрасываться со вращающегося диска, а формированию волокон могут способствовать реактивные струи газа, продуваемого через минеральный расплав. Волокна могут быть сформированы путем наливания минерального расплава на первый ротор каскадного устройства. В этом случае предпочтительно наливать минеральный расплав на первый ротор из двух, трех, четырех или даже более роторов, каждый из которых вращается вокруг, по существу, горизонтальной оси, в результате чего с первого ротора минеральный расплав сбрасывается, преимущественно на второй (ниже расположенный) ротор, хотя некоторое



количество может сбрасываться в первого ротора уже в форме волокон, со второго ротора минеральный расплав сбрасывается в форме волокон, хотя некоторое количество может сбрасываться на третий (ниже расположенный) ротор, и так далее. Вообще, является предпочтительным использовать для формирования волокон каскадное устройство.

Свойства, которыми должен обладать минеральный расплав, используемый в каждом из способов формирования, известны специалистам в данной области, и состав минерального расплава может быть настроен в соответствии с этими условиями. Например, Специалисты могут подобрать минеральные материалы, из которых в ваграночной печи может быть получен минеральный расплав определенного состава, подходящего для формирования волокна конкретным способом.

В ходе формирования волокон расплав превращается в облако волокон, увлекаемое воздухом, их собирают в форме волокнистой ткани на конвейере и отводят от волокнообразующего устройства. Затем волокнистую ткань закрепляют, для чего может потребоваться складывание внахлест и/или продольное сжатие и/или вертикальное сжатие и/или намотка на сердечник с целью производства цилиндрического продукта, применяемого для изоляции труб. Также могут быть проведены другие процессы закрепления.

Композицию связующего наносят на волокна обычным способом, предпочтительно, когда они имеют форму облака, захваченного воздухом. В качестве альтернативы, связующее может быть нанесено после сбора волокон на конвейер, однако это менее предпочтительно. Может быть применено связующее обычных типов, используемых в минеральной вате.

После закрепления волокнистую ткань 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, чтобы отверждение происходило в обычной печи отверждения, предназначенной для производства минеральной ваты, где через закрепленную волокнистую ткань продувают горячий воздух, и рабочая температура которой, предпочтительно, составляет 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 в течение времени от 30 с до 20 мин, например, от 1 до 15 мин, например, от 2 до 10 мин. В типичном случае отверждение проводят при температуре от 150 до 250°C в течение от 30 с до 20 мин.

Процесс отверждения может начинаться сразу после нанесения связующего на волокна. Отверждение представляет собой процесс, в ходе которого в композиции связующего происходит физическая и/или химическая реакция; в случае химической реакции обычно увеличивается молекулярный вес входящих в композицию связующего соединений, в результате чего увеличивается вязкость композиции связующего, обычно до тех пор, пока композиция связующего не переходит в твердое состояние.

Отвержденная композиция связующего соединяет волокна в структурно взаимосвязанную матрицу волокон.

В качестве альтернативы, отверждение связующего в контакте с минеральными волокнами может быть осуществлено в обогреваемом прессе. Особым преимуществом отверждения связующего в контакте с минеральными волокнами в обогреваемом прессе является то, что возможно производство продуктов высокой плотности.

Вообще, волокна и минеральный расплав, из которого они сформированы, может иметь элементный состав (выражаемый в % вес. оксидов) разных диапазонов, которые задаются следующими нормальными и предпочтительными величинами нижнего и верхнего пределов.

SiO<sub>2</sub> - от 35 до 50, предпочтительно, от 38 до 48, более предпочтительно, от 33 до 44

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - от 12 до 30, предпочтительно, от 15 до 28, более предпочтительно, от 16 до 24

TiO<sub>2</sub> - до 2

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - от 2 до 12

CaO - от 5 до 30, предпочтительно, от 5 до 18

MgO - от 0 до 15, предпочтительно, от 1 до 8

Na<sub>2</sub>O - от 0 до 15

K<sub>2</sub>O - от 0 до 15

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - от 0 до 3

MnO - от 0 до 3

B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - от 0 до 3.

В этом случае, когда из расплава производят MMVF, является предпочтительным, чтобы доля Fe<sup>2+</sup> в минеральном расплаве превышала 80% относительно всего Fe и составляла, предпочтительно, по меньшей мере, 90%, более предпочтительно, по меньшей мере, 95%, наиболее предпочтительно, по меньшей мере, 97% относительно всего Fe. В таких случаях является предпочтительным производить MMVF при помощи каскадного устройства. Дополнительные подробности в отношении этих примеров минерального расплава можно найти в документе WO 2012/140173 (включаемом в настоящий документ путем ссылки).

Количество Fe<sup>2+</sup> и Fe<sup>3+</sup> может быть определено методом Mossbauer, описанным в «The ferric/ferrous ratio in basalt melts at different oxygen pressures» (Отношение Fe<sup>3+</sup>/Fe<sup>2+</sup> в базальтовых расплавах при разном давлении кислорода), Helgason et al, Hyperfine Interact., 45 (1989) pp 287-294.

Общее количество железа в расплаве или композиции волокон относительно общего количества оксидов в расплаве или волокнах выражают как Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Это стандартный способ указания количества железа в MMVF, загрузке печи или расплаве. Реальное весовое процентное содержание FeO и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> будет изменяться в зависимости от соотношения оксидов железа и/или окислительно-восстановительного состояния

расплава.

В приведенном выше примере минерального расплава и изготавливаемых из него волокон является предпочтительным, чтобы количество железа в минеральном расплаве составляло от 2 до 15% вес., предпочтительно, от 5 до 12% вес. Атмосфера в ваграночных печах с большей вероятностью восстановительная, в частности, если используется какое-либо количество кокса, что может приводить к восстановлению оксидов железа и образованию металлического железа. Предпочтительно, металлическое железо не внедряется в минеральный расплав и волокна и подлежит удалению из печи. Поэтому условия в печи могут тщательно поддерживаться таким образом, чтобы исключить чрезмерное восстановление железа. Однако авторами обнаружено, что можно производить конечный продукт, волокна, содержащие значительное количество оксида железа.

Способ настоящего изобретения может быть использован для формирования волокон, растворимых в физиологическом растворе. Соответствующие биологически растворимые волокна с высоким содержанием алюминия, которые могут быть с успехом изготовлены способом настоящего изобретения, описаны в документах WO96/14454 и WO96/14274, другие описаны в WO97/29057, DE-U-2970027 и WO97/30002 (все эти документы включаются в настоящий документ путем ссылки).

Такие волокна, предпочтительно, характеризуются адекватной растворимостью в бронхоальвеолярном секрете, как показано в испытаниях *in vivo* и *in vitro*, обычно проводимых в физиологическом растворе с буферной добавкой и pH, примерно, 4,5. Надлежащий уровень растворимости приведен в WO 69/14454. Обычно скорость растворения в таком растворе составляет, по меньшей мере, 10 или 20 нм в день. Волокна, предпочтительно, характеризуются температурой спекания более 800°C, более предпочтительно, более 1000°C. Вязкость расплава при температуре формирования волокон составляет, предпочтительно, от 5 до 100 Пуаз, предпочтительно, от 10 до 70 Пуаз при 1400°C. Дополнительные варианты осуществления этого примера можно найти в документе WO 99/28252 (включаемом в настоящий документ путем ссылки).

В этом конкретном примере вязкость минерального расплава лежит в диапазоне, предпочтительно, от 10 до 30 Пуаз при 1400°C, более предпочтительно, в диапазоне от 15 до 25 Пуаз. Одним из преимуществ выбора такой вязкости является то, что производимое MMVF имеет меньший диаметр по сравнению со случаем, когда вязкость расплава больше. Кроме этого, для достижения заданной рабочей вязкости можно использовать расплав при более низкой температуре. Поскольку расплав используется при более низкой температуре, можно сэкономить энергию. При этом также уменьшается износ роторов, применяемых для производства волокон, так как при меньшей температуре роторы меньше изнашиваются. Дополнительные подробности в отношении этого примера минерального расплава можно найти в документе WO 2015/055758 (включаемом в настоящий документ путем ссылки). Вязкость расплава определяют в соответствии с ASTM C 965-96.

Ваграночная печь, пригодная для использования в контексте способа настоящего изобретения, может включать описанные выше компоненты и зоны, а также следующее. Обычно минеральный расплав образует в зоне плавления ванну, из которой его выпускают через выпуск расплава, такой как сифонный выпуск расплава, и направляют на формирование волокон. Минеральный расплав может быть слит из основания ваграночной печи в другую камеру, где он накапливается в форме ванны, и откуда его направляют на формирование волокон.

Исходные материалы (минеральный материал) могут иметь форму брикетов. Брикеты изготавливают известным способом путем формования смеси определенных материалов в форме частиц и связующего и отверждения связующего.

Связующее может представлять собой гидравлическое вяжущее вещество, т.е., вещество, активируемое водой, например, портландцемент. Могут быть использованы другие гидравлические вяжущие вещества, полностью или частично заменяющие цемент; их примерами являются известь, порошкообразный доменный шлак и некоторые другие типы шлака и даже цементная пыль и размолотые частицы MMVF (JP-A-51075711, US 4662941 и US 4724295, каждый из которых включается в настоящий документ путем ссылки). Альтернативным связующим является глина. В брикетах также может быть использовано органическое связующее, такое как меласса, как описано, например, в документе WO 95/34514 (включаемом в настоящий документ путем ссылки). Такие брикеты можно описать как каменные блоки.

MMVF могут быть произведены в форме материала со связующим, содержащего MMVF, описанные выше, или MMVF, изготовленные способом, описанным выше, и отвержденную композицию связующего.

Расплав, полученный способом настоящего изобретения, и изготовленные из него искусственные волокна (предпочтительно, MMVF) могут быть пригодны для применения в ряде продуктов, таких как элементы изоляции (как термической, так и акустической) и элементы огнезащиты, а также субстраты для выращивания растений.

В соответствии с третьим аспектом изобретением обеспечивается применение керамических опорных элементов в ваграночной печи для

(А) обеспечения опоры минерального материала и сокращения количества кокса, необходимого для подготовки минерального расплава, пригодного для производства MMVF; и/или

(В) увеличения теплового КПД при перегреве минерального расплава, пригодного для производства MMVF.

Это применение может соответствовать описанному в отношении способа, определенного выше.

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

На чертеже, представленном на фиг. 1, показана ваграночная печь 1, снабженная загрузочным бункером 2, сообщающимся с резервуаром 3, дно которого образовано

конусом 4, смещающимся вдоль оси. Под резервуаром 3 находится плавильная камера, заключенная в охлаждаемую водой рубашку 5. Снизу ваграночная печь 1 оканчивается плоским подом 6, над подом 6 на надлежащем расстоянии расположен выпуск расплава, такой как сифонный выпуск 7 расплава. Несколько плазменных горелок 8 встроено в стенку печи на некотором расстоянии над уровнем выпуска 7 расплава. Если в печи нужен источник кислорода, то еще выше располагают кольцевую трубу 9 впуска кислорода, которая сообщается с несколькими фурмами 10 и/или несколькими впускными отверстиями кислорода (не показаны). Зона плавления ваграночной печи 1 снабжена внутренней облицовкой, выполненной из кирпичей. Облицовка закрывает под 6 печи и внутреннюю стенку печи до высоты, по меньшей мере, уровня фурм 10. Множество керамических опорных элементов размещено в той части зоны плавления, где собирается минеральный расплав перед выпуском из печи.

Минеральный материал, т.е., исходные материалы, состав которых соответствует заданному составу расплава, подают в плавильную камеру через бункер 2 и резервуар 3, при этом дозирование осуществляется путем установки конуса 4 в надлежащее положение. Если требуется углеродсодержащий материал, такой как кокс, он может быть добавлен в минеральный материал.

Верхняя часть плавильной камеры выполняет функцию зоны предварительного нагрева, так как материалы нагреваются восходящими дымовыми газами. Из зоны предварительного нагрева материалы опускаются через зону окисления, если она есть. Нижний предел зоны окисления находится на уровне введения кислорода через фурмы 10 и/или впускное(ые) отверстие(я) для кислорода. Если используется какое-то количество кокса, он сгорает в зоне окисления с образованием  $\text{CO}_2$ . Температуру в зоне окисления поддерживают на таком уровне, чтобы температура в той части зоны предварительного нагрева, которая находится 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  $\text{CO}$ . Собственно плавление происходит в той части плавильной камеры, которая находится под зоной окисления, и где обеспечен сильный нагрев посредством плазменных горелок 8. Во время плавления минеральный материал опирается на керамические опорные элементы 11. Образующийся расплав опускается на под печи, где он собирается (накапливается) в пустотах между керамическими опорными элементами 11. Расплав выпускают через выпуск 7 расплава.

#### ПРИМЕРЫ

Далее изобретение поясняется на примерах, не имеющих ограничительного характера.

Минеральный расплав приготовили в ваграночной печи с плазменным обогревом, при этом газом-носителем в плазменных горелках являлся  $\text{N}_2$ . Печь была снабжена керамическими элементами, кокс не добавляли. Состояние окисления железа в расплаве регулировали путем введения в минеральную загрузку печи 10% вес. Serox W

(алюминиевый шлак) (приблизительно 2% вес. металлического алюминия). Минеральный материал, используемый в печи, имел форму брикетов, содержащих повторно используемые отходы минеральной ваты, из-за чего в отходящем газе присутствовали CO и CO<sub>2</sub>. В приведенной ниже таблице выполнено сравнение параметров и результатов, полученных в печи с керамическими опорными элементами (столбец А), и теоретической печи без керамических опорных элементов, в которую вместе с минеральным материалом добавляли кокс (столбец В).

	А	В
Плазменная горелка		
мощность, кВт·ч/(тонна исходного материала)	1100	980
газ-носитель N <sub>2</sub> , расход, нм <sup>3</sup> /(тонна исходного материала)	262	245
энтальпия, кВт·ч/нм <sup>3</sup>	4,2	4,0
Кокс		
кВт·ч/(тонна исходного материала)	0	215
Керамические опорные элементы		
кг/(тонна исходного материала)	15	0
Воздух в фурмах		
нм <sup>3</sup> /(тонна исходного материала)	80	177
Химический состав отходящего газа		
CO% об.	0,5	2,4
CO <sub>2</sub> % об.	5,5	7,2
H <sub>2</sub> % об.	0,8	0,9
O <sub>2</sub> % об.	3,5	1,2

Представленные данные указывают на то, что при использовании керамических опорных элементов в отсутствие кокса количество CO и CO<sub>2</sub> в отходящем газе значительно уменьшается. Количество образующихся CO и CO<sub>2</sub>, приведенное в столбце А, может рассматриваться как минимально неизбежное, так как соответствует количеству углерода, присутствующему в брикетах, содержащих повторно используемые отходы минеральной ваты (до 50% измельченных отходов минеральной ваты), подаваемых в печь в качестве сырья.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ подготовки минерального расплава в ваграночной печи, при этом ваграночная печь включает расположенную у ее основания зону плавления и выпуск расплава, расположенный в зоне плавления, при этом

(i) в печи имеется по меньшей мере одна плазменная горелка, которая обеспечивает плазменный нагрев зоны плавления;

(ii) более 50% тепловой энергии подводится к печи, по меньшей мере, одной плазменной горелкой;

(iii) в печи имеется множество керамических опорных элементов, расположенных в той части зоны плавления, где собирается минеральный расплав перед выпуском из печи через выпуск расплава,

при этом подаваемый в печь минеральный материал плавится с образованием минерального расплава, который собирается в пустотах между керамическими опорными элементами.

2. Способ по п. 1, в котором

(I) более 60%, предпочтительно, более 70%, более предпочтительно, более 80%, еще более предпочтительно, более 90%, наиболее предпочтительно, вся тепловая энергия, подводимая к ваграночной печи, обеспечивается по меньшей мере одной плазменной горелкой; и/или

(II) нагрев зоны плавления осуществляется только, по меньшей мере, одной плазменной горелкой.

3. Способ по п. 1 или 2, в котором в ваграночной печи над зоной плавления находится зона окисления, и в котором в зону окисления подают источник кислорода, предпочтительно, при помощи, по меньшей мере, одной фурмы и/или, по меньшей мере, одного впуска кислорода, и

температура в зоне окисления составляет от 600°C до 1400°C, предпочтительно, от 600°C до 1300°C, более предпочтительно, от 600°C до 1200°C, еще более предпочтительно, от 600°C до 1100°C, в частности, от 600°C до 1000°C, наиболее предпочтительно, от 600°C до 900°C, особенно, от 600°C до менее 850°C.

4. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором

(a) температура в зоне плавления составляет более 800°C, предпочтительно, более 900°C, более предпочтительно, более 1000°C, более предпочтительно, более 1100°C, более предпочтительно, более 1200°C, более предпочтительно, более 1300°C, более предпочтительно, более 1400°C; и/или

(b) наличие воды в любой зоне печи с температурой более 750°C, по существу, исключено.

5. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором множество керамических опорных элементов

(A) характеризуются температурой плавления, по меньшей мере, 1400°C, предпочтительно, по меньшей мере, 1600°C, более предпочтительно, по меньшей мере,

1800°C; и/или

(В) являются устойчивыми к химическому разложению в рабочих условиях ваграночной печи.

6. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором каждый керамический опорный элемент содержит  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  в количестве, по меньшей мере, 5% вес. и/или  $\text{ZrO}_2$  в количестве, по меньшей мере, 5% вес. относительно общего веса керамического опорного элемента.

7. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором множество керамических опорных элементов

(I) характеризуется эквивалентным сферическим диаметром от 60 мм до 250 мм, предпочтительно, от 70 мм до 200 мм, более предпочтительно, от 80 мм до 150 мм, наиболее предпочтительно, от 90 мм до 110 мм; и/или

(II) керамические опорные элементы являются шарообразными.

8. Способ по любому из предшествующих пунктов, при этом способ осуществляют непрерывно и вводят в ваграночную печь дополнительные керамические опорные элементы и дополнительный минеральный материал, при этом, предпочтительно, дополнительные керамические опорные элементы вводят в количестве от 1 до 5% вес., более предпочтительно, от 1 до 2% вес. относительно общего количества дополнительных керамических опорных элементов и дополнительного минерального материала.

9. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором в качестве газаносителя, по меньшей мере, одной плазменной горелки используется азот, монооксид углерода, диоксид углерода или их смесь, и в котором, предпочтительно, энтальпия газаносителя составляет от 2,0 до 6,0 кВт·ч/нм<sup>3</sup>, предпочтительно, от 3,0 до 5,0 кВт·ч/нм<sup>3</sup>.

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

$\text{SiO}_2$  - от 35 до 50, предпочтительно, от 38 до 48, более предпочтительно, от 33 до

44

$\text{Al}_2\text{O}_3$  - от 12 до 30, предпочтительно, от 15 до 28, более предпочтительно, от 16 до

24

$\text{TiO}_2$  - до 2

$\text{Fe}_2\text{O}_3$  - от 2 до 12

$\text{CaO}$  - от 5 до 30, предпочтительно, от 5 до 18

$\text{MgO}$  - от 0 до 15, предпочтительно, от 1 до 8

$\text{Na}_2\text{O}$  - от 0 до 15

$\text{K}_2\text{O}$  - от 0 до 15

$\text{P}_2\text{O}_5$  - от 0 до 3

$\text{MnO}$  - от 0 до 3

$\text{B}_2\text{O}_3$  - от 0 до 3,

при этом доля  $\text{Fe}^{2+}$  в расплаве составляет, предпочтительно, более 80% относительно всего Fe, предпочтительно, по меньшей мере, 90%, более предпочтительно,



по меньшей мере, 95%, наиболее предпочтительно, по меньшей мере, 97% относительно всего Fe.

11. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором минеральный материал содержит металлический алюминий, который уменьшает степень окисления железа.

12. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором

(a) наличие кислорода ( $O_2$ ) исключено в тех зонах ваграночной печи, где присутствует азот, и где температура составляет  $1400^\circ C$  или выше, так что в печи образуется отходящий газ, содержащий  $NO_x$  в количестве менее 400 об. частей на миллион, предпочтительно, менее 300 об. частей на миллион, более предпочтительно, менее 250 об. частей на миллион, еще более предпочтительно, менее 200 об. частей на миллион, более предпочтительно, менее 150 об. частей на миллион; и/или

(b) наличие воды исключено в тех зонах печи, где температура превышает  $750^\circ C$ , так что в печи образуется отходящий газ, содержащий водород в количестве менее 20000 об. частей на миллион, предпочтительно, менее 10000 об. частей на миллион, предпочтительно, менее 5000 об. частей на миллион, предпочтительно, менее 2000 об. частей на миллион, предпочтительно, менее 1000 об. частей на миллион, предпочтительно, менее 500 об. частей на миллион, предпочтительно, менее 100 об. частей на миллион, предпочтительно, менее 50 об. частей на миллион, наиболее предпочтительно, водород содержится в отходящем газе в количестве ниже предела обнаружения.

13. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором, по меньшей мере, в одной плазменной горелке используется газ-носитель, и этот газ-носитель содержит по меньшей мере один компонент отходящего газа, образующегося в печи или состоит из по меньшей мере одного компонента отходящего газа, образующегося в печи, при этом, предпочтительно, по меньшей мере, один компонент отходящего газа подвергают очистке перед использованием в газе-носителе, более предпочтительно, в ходе очистки из отходящего газа удаляют твердые частицы и/или воду.

14. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором

(i) когда минеральный материал содержит повторно используемый минеральный материал, например, отходы искусственных стекловидных волокон, то содержание углерода в минеральном материале составляет менее 5% вес., предпочтительно, менее 2% вес. относительно общего веса минерального материала; или

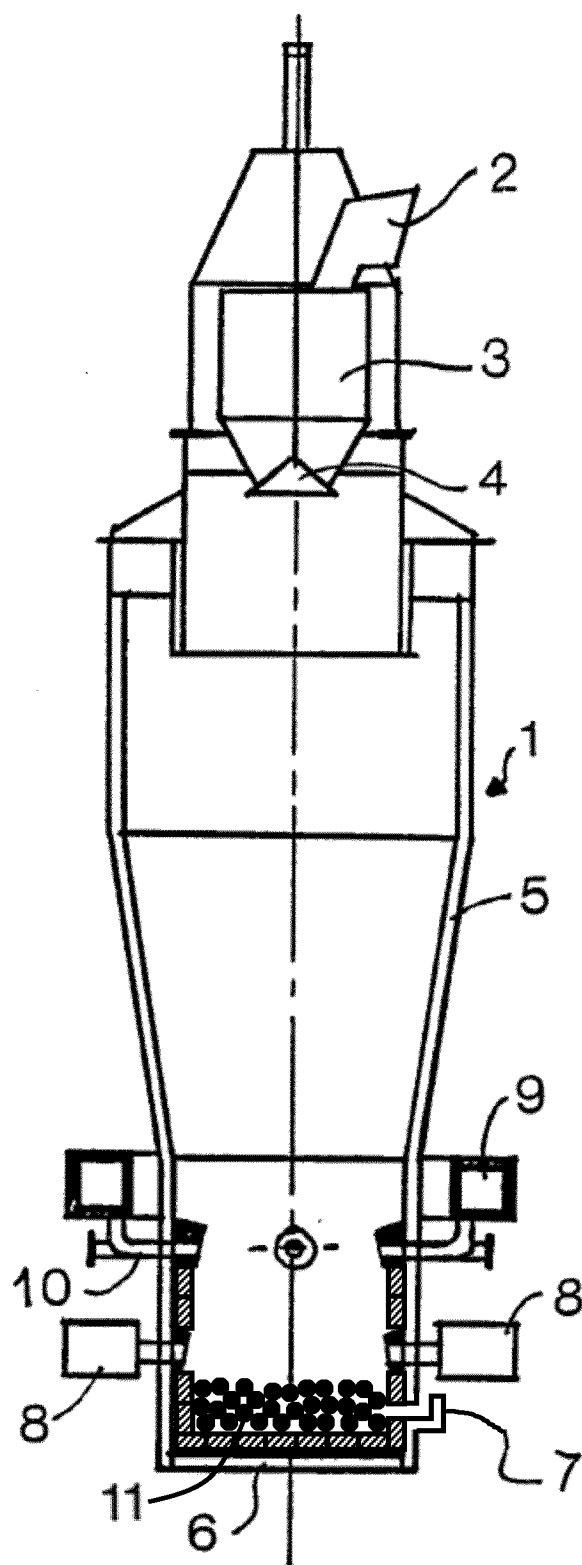
(ii) когда минеральный материал не содержит повторно используемый материал, например, отходы искусственных стекловидных волокон, то содержание углерода в нем составляет менее 1% вес., предпочтительно, менее 0,5% вес. относительно общего веса минерального материала, наиболее предпочтительно, минеральный материал, по существу, не содержит углерода.

15. Способ производства искусственных стекловидных волокон (MMVF), включающий следующие стадии, на которых:

- (i) готовят минеральный расплав способом по любому из пп. 1-14;
- (ii) формируют из расплава волокна способом внутреннего или наружного прядения; предпочтительно, с использованием каскадного устройства; и
- (iii) собирают полученные волокна.

По доверенности

1/1



ФИГ.1