

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(11) 041963

(13) B1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2022.12.20

(21) Номер заявки
202092116

(22) Дата подачи заявки
2019.04.10

(51) Int. Cl. C03B 5/42 (2006.01)

(54) ТЕПЛОИЗОЛИРОВАННЫЙ ЗУБ СТЕКЛОВАРЕННОЙ ПЕЧИ

(31) 1853127

(32) 2018.04.10

(33) FR

(43) 2021.02.11

(86) PCT/EP2019/059122

(87) WO 2019/197484 2019.10.17

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
СЕН-ГОБЕН САНТР ДЕ РЕШЕРШ Э
Д'ЭТИЮД ЭРОПЕН (FR)

(72) Изобретатель:
Кабоди Изабель, Веспа Пьеррик,
Вийермо Франселин Маргерит Луиза,
Ис Кристиан (FR)

(74) Представитель:
Харин А.В., Буре Н.Н., Стойко Г.В.
(RU)

(56) JP-A-2017065985

Wolfgang Trier. "Construction elements and dimensions" In: Glass furnaces, page 22, 23, 56, 57, 01 January 1987 (1987-01-01), XP055527023 figures 3.22 and 3.99

(57) Теплоизолированный зуб стекловаренной печи, включающий базовый зуб (20); теплоизолирующий слой (40), имеющий теплопроводность ниже $2,0 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ при $20\text{-}500^\circ\text{C}$, имеющий достаточную жесткость, чтобы быть самонесущим, и покрывающий теплоизолированную поверхность базового зуба, где указанная теплоизолированная поверхность включена в нижнюю поверхность 20_3 указанного базового зуба, которая продолжается в нижнюю переходную поверхность 20_{14-12} , и составляет более 20% нижней переходной поверхности 20_{14-12} , указанный теплоизолированный слой имеет химический состав в массовых процентах относительно оксидов, при котором суммарное содержание Al_2O_3 , SiO_2 , ZrO_2 , CaO , Na_2O , MgO , K_2O , TiO_2 , Fe_2O_3 , HfO_2 , P_2O_5 и Y_2O_3 больше 80%.

B1

041963

041963

B1

Область техники

Изобретение относится к теплоизолированному зубу для стекловаренных печей и к стекловаренной печи, содержащей такой теплоизолированный зуб.

Уровень техники

Многочисленные изделия из стекла производятся путем плавления и очистки остеклованной смеси сырья, содержащего такие соединения, как оксиды, карбонаты, сульфаты и нитраты. Эти два этапа выполняют в печах, ключевыми составляющими элементами которых являются огнеупорные изделия, способные выдерживать термические и механические нагрузки, возникающие в этих печах, и, в частности, высокие температуры. Стекловаренные печи, таким образом, обычно содержат большое количество огнеупорных изделий, расположенных в различных местах в соответствии с их свойствами. Для каждой части печи выбирается такой продукт, который не вызывает дефектов, которые делают стекло непригодным для использования (так как это снизит производительность), и который имеет достаточную износостойкость, чтобы печь имела удовлетворительный срок службы.

На фиг. 1 схематично изображена половина поперечного сечения стекловаренной печи 10. Особенно выделяются резервуар 12, металлическая конструкция 14 и надстройка 16.

Резервуар 12, предназначенный для хранения расплавленного стекла, содержит вертикальную боковую стенку 22 и дно 24. Боковая стенка 22 обычно состоит из боковых блоков резервуара, которые проходят по всей высоте резервуара до верхнего края 25.

Надстройка 16 обычно содержит в своем основании промежуточный ряд 18, через который она опирается на металлическую конструкцию, боковую стенку 26, опирающуюся на промежуточный ряд 18, и свод 28. Горелки (не изображены) расположены в боковой стенке 26 и работают поочередно.

Металлическая конструкция 14, обычно выполненная из чугуна, снаружи окружает боковую стенку 22 резервуара. Она поддерживает вес надстройки 16.

Промежуточный ряд 18 содержит и предпочтительно состоит из базовых зубьев 20, которые обычно имеют форму, изображенную на фиг. 2а. Обычно каждый базовый зуб 20 в целом имеет форму с L-образным профилем в поперечном сечении. В процессе эксплуатации длинная опора L или "опора 30 надстройки" проходит горизонтально. Короткая опора L, или "опора 32 резервуара", проходит вертикально под опорой 30 надстройки.

Наружная поверхность базового зуба 20 состоит из первой и второй торцевых поверхностей 20₁ и 20₂, соответственно, образующих длину L₂₀ базового зуба, а именно участка профиля,

нижней поверхности 20₃, включающей горизонтальную укладочную поверхность 20₁₄, опирающуюся во время работы на металлическую конструкцию 14, резервуарную поверхность 20₁₂, которая предпочтительно является горизонтальной, обращенной в процессе эксплуатации к верхнему краю 25 резервуара 12, и нижнюю переходную поверхность 20₁₄₋₁₂, соединяющую укладочную поверхность 20₁₄ и резервуарную поверхность 20₁₂,

внешней боковой поверхности 20₄, которая предпочтительно является вертикальной, верхней поверхности 20₅, включающей поверхность 20₂₆ надстройки, которая предпочтительно является горизонтальной, на которую во время эксплуатации опирается боковая стенка 26, и верхней переходной поверхности 20₂₆₋₃, соединяющей поверхность 20₂₆ надстройки и нижнюю поверхность 20₃, и, в частности, резервуарную поверхность 20₁₂.

На фиг. 2b резервуарная поверхность 20₁₂, укладочная поверхность 20₁₄ и поверхность 20₂₆ надстройки очерчены пунктирной линией.

Базовый зуб 20 должен выдерживать значительные термические воздействия, поскольку опора 30 надстройки частично находится в окружающей среде при температуре порядка сотни или около того градусов, как правило, из-за наличия воздушного охлаждения, в то время как опора 32 резервуара, которая частично находится внутри печи, находится при температуре около 1500°C.

Кроме того, базовый зуб испытывает термические циклы из-за чередования работы горелок и операций технического обслуживания, таких как операции, называемые "ремонт резервуара", которые влекут за собой остановку и последующее возобновление внешнего охлаждения печи, или операции по изменению горелки или блоков горелок, что влечет за собой остановку, а затем повторный запуск горелок.

Для того чтобы выдерживать эти нагрузки, базовый зуб выполнен из огнеупорного продукта, в частности продукта типа оксида алюминия-циркония-диоксида кремния (AZS для краткости), как правило, содержащего от 30 до 45 мас.% диоксида циркония, продукта с очень высоким содержанием диоксида циркония (обычно больше 85 мас.% диоксида циркония), продукта с высоким содержанием оксида алюминия (обычно больше 90 мас.% оксида алюминия) или продукта из диоксида циркония.

Однако способность базовых зубьев противостоять растрескиванию иногда недостаточна для удовлетворения текущих меняющихся потребностей производителей стекла, которые требуют продления срока службы печей. В частности, растрескивание базового зуба может привести к разрушению, которое вызывает падение обломков в ванну с расплавленным стеклом, создавая дефекты в стекле. Более того, базовый зуб больше не защищает должным образом металлическую конструкцию и резервуар. Остальная

часть надстройки также может оказаться разбалансированной.

Следовательно, существует потребность в улучшении устойчивости базовых зубьев к растрескиванию. Задача изобретения - удовлетворить эту потребность.

Краткое описание изобретения

Изобретение относится к теплоизолированному зубу стекловаренной печи, включающему базовый зуб, образующий внешнюю поверхность, как описано выше;

теплоизолирующий слой с теплопроводностью ниже $2,0 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ при $20\text{--}500^\circ\text{C}$, покрывающий теплоизолированную поверхность базового зуба, где указанная теплоизолированная поверхность включена в нижнюю поверхность 20_3 указанного базового зуба, которая продолжается в нижнюю переходную поверхность 20_{14-12} , и составляет больше 20% нижней переходной поверхности 20_{14-12} ,

указанный теплоизолирующий слой имеет химический состав, в массовых процентах относительно оксидов, при котором суммарное содержание Al_2O_3 , SiO_2 , ZrO_2 , CaO , Na_2O , MgO , K_2O , TiO_2 , Fe_2O_3 , HfO_2 , P_2O_5 и Y_2O_3 , или " $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2 + \text{ZrO}_2 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{TiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{HfO}_2 + \text{P}_2\text{O}_5 + \text{Y}_2\text{O}_3$ " больше 80%.

Неожиданно авторы обнаружили, что наличие такого теплоизолирующего слоя значительно улучшает сопротивление растрескиванию базового зуба и, следовательно, его срок службы.

В оставшейся части описания такой зуб, включающий базовый зуб и теплоизолирующий слой, обозначается как "теплоизолированный зуб" или "зуб согласно изобретению".

Предпочтительно теплоизолирующий слой имеет достаточную жесткость, чтобы быть самонесущим.

В предпочтительном варианте теплоизолирующий слой имеет прочность на раздавливание больше 10 МПа, что улучшает стабильность зуба и его теплозащиты.

В одном особенно предпочтительном варианте теплоизолирующий слой представляет собой композитный материал с керамической матрицей или "СМС". СМС показал особенную устойчивость к термическому разложению. СМС также демонстрирует хорошую устойчивость к коррозии, вызываемой парами, содержащими соду. Обычно он имеет достаточную жесткость для образования самонесущего теплоизолирующего слоя, прочность на сжатие больше 1 МПа и прочность на раздавливание больше 10 МПа.

Изобретение также относится к способу изготовления печи, включающей резервуар для плавления стекла, надстройку, продолжающуюся над резервуаром, и металлическую конструкцию, поддерживающую боковую стенку надстройки, причем указанный способ предусматривает включение теплоизолированного зуба согласно изобретению в промежуточный ряд между металлической конструкцией и указанной боковой стенкой надстройки, причем

боковая стенка надстройки опирается непосредственно или опосредованно, предпочтительно непосредственно, на поверхность надстройки базового зуба,

укладочная поверхность базового зуба опирается непосредственно или опосредованно, предпочтительно непосредственно, на металлическую конструкцию, и

резервуарная поверхность базового зуба обращена к верхнему краю резервуара.

Наконец, изобретение относится к стекловаренной печи, включающей

резервуар, имеющий верхний край;

металлическую конструкцию и

надстройку, включающую промежуточный ряд, включающий теплоизолированный зуб согласно изобретению, причем

боковая стенка надстройки опирается непосредственно или опосредованно, предпочтительно непосредственно, на поверхность надстройки базового зуба,

укладочная поверхность базового зуба опирается непосредственно или опосредованно, предпочтительно непосредственно, на металлическую конструкцию, и

резервуарная поверхность базового зуба обращена к верхнему краю резервуара.

В предпочтительном варианте промежуточный ряд состоит из теплоизолированных зубьев согласно изобретению.

Теплоизолированный зуб согласно настоящему изобретению может дополнительно включать один или несколько из следующих необязательных признаков:

теплоизолированная поверхность продолжается, по меньшей мере, до укладочной поверхности;

теплоизолированная поверхность составляет больше 60% нижней переходной поверхности;

нижняя переходная поверхность включает нижнюю стыковочную поверхность, соединяющую указанную опору надстройки и опору резервуара, и теплоизолированная поверхность продолжается таким образом, чтобы покрывать, по меньшей мере, указанную нижнюю стыковочную поверхность;

нижняя стыковочная поверхность соединяет горизонтальную поверхность опоры надстройки, включая укладочную поверхность, и горизонтальную поверхность опоры резервуара, включая резервуарную поверхность;

теплоизолированная поверхность продолжается по меньшей мере на часть горизонтальной части нижней переходной поверхности, образуемой опорой надстройки;

теплоизолированная поверхность продолжается по крайней мере по части укладочной поверхности;

теплоизолированная поверхность продолжается по всей укладочной поверхности;

теплоизолированная поверхность продолжается до горизонтальной части нижней переходной поверхности, образуемой опорой резервуара, не покрывая указанную горизонтальную часть, или теплоизолированная поверхность продолжается по меньшей мере на часть горизонтальной части нижней переходной поверхности, образуемой опорой резервуара;

теплоизолированная поверхность продолжается до резервуарной поверхности;

теплоизолирующий слой присоединен к теплоизолированной поверхности;

теплоизолирующий слой выбран из войлока, теплоизолирующей панели, пенокерамики, композитного материала с керамической матрицей и их комбинаций;

теплоизолирующий слой имеет химический состав в массовых процентах относительно оксидов, при котором суммарное содержание Al_2O_3 , SiO_2 , ZrO_2 , CaO , Na_2O , MgO , K_2O , TiO_2 , Fe_2O_3 , HfO_2 , P_2O_5 и Y_2O_3 составляет больше 90%;

больше 90% массы теплоизолирующего слоя составляют оксиды;

теплоизолирующий слой выполнен из спеченного материала;

теплоизолирующий слой содержит, предпочтительно состоит из композитного материала с керамической матрицей, состоящего из волокон, связанных вместе керамической матрицей, причем волокна предпочтительно составляют больше 30% и/или меньше 70% объема композитного материала с керамической матрицей;

волокна изготовлены из оксидного материала, содержащего больше 50% Al_2O_3 , и/или SiO_2 , и/или ZrO_2 , в массовых процентах относительно оксидов;

волокна выбраны из

- волокон, состоящих из оксида алюминия больше чем на 95 мас.%,
- волокон, состоящих из диоксида кремния больше чем на 95 мас.%,
- волокон, состоящих из муллита больше чем на 95 мас.%, и
- волокон, состоящих из стекла больше чем на 95 мас.%;

матрица содержит Al_2O_3 и/или SiO_2 ;

матрица содержит больше 65 мас.% Al_2O_3 и/или 15-35 мас.% SiO_2 и/или содержит меньше 3 мас.% оксидов, отличных от Al_2O_3 и SiO_2 , относительно матрицы;

композит с керамической матрицей демонстрирует следующий химический состав в массовых процентах относительно оксидов, составляющий в сумме 100%:

- SiO_2 - 47-67%,
- Al_2O_3 - 32-52%;

разновидности оксидов, кроме Al_2O_3 и SiO_2 - меньше 5%;

теплоизолирующий слой имеет теплопроводность ниже $0,6 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ при 20-500°C;

теплоизолирующий слой имеет многослойную структуру, содержащую в верхнем положении первый слой композита с керамической матрицей, заполняющий материал, имеющий теплопроводность ниже $2,0 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ при 20-500°C, и второй слой композита с керамической матрицей.

Определения

Для ясности проводится различие между "базовым" зубом и "теплоизолированным" зубом, при этом теплоизолированный зуб состоит из базового зуба и теплоизолирующего слоя, который его покрывает, а именно контактирует с частью его нижней наружной поверхности.

Поперечная плоскость - это плоскость, перпендикулярная направлению длины. Поперечная срединная плоскость - это поперечная плоскость, проходящая посередине по длине.

"Нижний" и "верхний", "внутренний" и "внешний", "горизонтальный" и "вертикальный" относятся к ориентациям или положениям, когда теплоизолированный базовый зуб находится в рабочем положении в стекловаренной печи, как показано на фиг. 1.

Под "горизонтальным" и "вертикальным" подразумевают ориентацию, при которой плоскость, которая является идеально горизонтальной и идеально вертикальной, соответственно, имеет угол меньше 5°, или даже меньше 2°, или даже меньше 1°.

Под "литым продуктом", часто называемым "электроплавленным", подразумевают продукт, полученный путем полного отверждения композиции в жидком состоянии, который получают путем плавления смеси подходящего сырья в электродуговой печи или при использовании любой другой подходящей техники.

Под "спеченным продуктом" подразумевают продукт, полученный путем смешивания подходящего сырья, затем придания этой смеси сырой формы и обжига полученного сырьевого компонента при температуре и в течение времени, достаточных для достижения спекания этого сырого компонента, при этом указанное спекание можно проводить на месте во время использования.

Под "композитным материалом с керамической матрицей" или "СМС" обычно подразумевают продукт, состоящий из волокон, жестко связанных вместе керамической матрицей.

Под "керамическим" подразумевают продукт, который не является ни металлическим, ни органическим. В контексте настоящего изобретения углерод не считается керамическим изделием.

Под "коркой" обычно подразумевают периферийную область расплавленного блока, состоящую из расплавленного материала, который откладывается меньше чем в 5 мм от стенки формы по мере его затвердевания.

Поверхность проявляет "микроструктуру корки", когда она показывает плотность кристаллов больше чем в 4 раза, или даже больше чем в 6 раз, или даже больше чем в 7 раз, или даже больше чем в 9 раз больше плотности кристаллов, измеренной на глубине 4 см ниже указанной поверхности.

"Плотность кристаллов" поверхности определяют путем подсчета кристаллов, видимых на микроскопическом снимке этой поверхности, после того, как указанная поверхность была отполирована абразивной тканью до степени 1 мкм. Каждый кристалл ограничен стекловидной фазой. Подсчитывают только те кристаллы, площадь поверхности которых превышает 12 мкм^2 . Чтобы проверить, демонстрирует ли поверхность базового зуба микроструктуру корки, подсчитывают кристаллы, видимые на снимке этой поверхности после его полировки, затем в базовом зубе делают вырез на глубину 4 см под этой поверхностью, и кристаллы, видимые на снимке экспонированной таким образом поверхности, подсчитывают после того, как эта поверхность была отполирована.

Под "обработкой" подразумевают операцию шлифования, при которой поверхность огнеупорного компонента подвергается механической обработке для того, чтобы получить точную геометрию поверхности. Обычно и в одном конкретном варианте осуществления изобретения механическая обработка приводит к удалению по меньшей мере корки.

Если говорится, что компонент "поддерживает" или "опирается на" другой компонент, эти два компонента упираются друг в друга. Два компонента могут находиться в контакте или могут быть разделены промежуточным элементом, в частности теплоизолирующим слоем.

Резервуарная поверхность представляет собой поверхность, которая в рабочем положении "обращена" к верхнему краю резервуара, а именно проходит, по существу, параллельно этому краю, выше и в непосредственной близости от этого края. Таким образом, резервуарная поверхность образуется совокупностью точек внешней поверхности, которые находятся на минимальном расстоянии от края резервуара. Поэтому резервуарная поверхность, которая предпочтительно является горизонтальной, не продолжается по направлению к внешней стороне резервуара за внутренний край 35, ограничивающий нижнюю горизонтальную поверхность опоры резервуара (фиг. 2b). Внутренний край 35 может, в частности, образовывать прямоугольный угол.

Для ясности химические формулы оксидов используют для обозначения содержания этих оксидов в составе. Например, " ZrO_2 ", " SiO_2 " или " Al_2O_3 " обозначают содержание этих оксидов, а термины "диоксид циркония", "диоксид кремния" и "оксид алюминия" используют для обозначения фаз этих оксидов, состоящих из ZrO_2 , SiO_2 и Al_2O_3 соответственно.

Если не указано иное, все содержания оксидов обозначены массовыми процентами относительно оксидов. Массовое содержание оксида металлического элемента относится к общему содержанию этого элемента в форме наиболее стабильного оксида, в соответствии с обычными условностями, используемыми в промышленности.

HfO_2 химически неотделим от ZrO_2 . Однако согласно настоящему изобретению HfO_2 не добавляют намеренно. Следовательно, HfO_2 относится только к следовым количествам оксида гафния, причем этот оксид всегда естественно присутствует в источниках диоксида циркония при массовом содержании, как правило, ниже 5%, обычно ниже 2%. В базовом зубе массовое содержание HfO_2 составляет предпочтительно меньше 5%, предпочтительно меньше 3%, предпочтительно меньше 2%. Для ясности общее содержание оксида циркония и следов оксида гафния может быть обозначено либо как " ZrO_2 ", либо как " $\text{ZrO}_2 + \text{HfO}_2$ ".

Суммарное содержание оксидов не означает, что все эти оксиды присутствуют.

Термины "состоит из", "содержит" или "проявляет"/"имеет" следует толковать неограниченно.

Краткое описание чертежей

Дополнительные признаки и преимущества изобретения станут более очевидными из последующего подробного описания и из изучения прилагаемых фигур, где

на фиг. 1 схематично изображено полусечение стекловаренной печи;

на фиг. 2 (2a, 2b, 2c) показан схематический вид в перспективе образцов теплоизолированных зубьев в соответствии с изобретением, при этом форма изображенного теплоизолированного зуба является традиционной формой обычных зубьев;

на фиг. 3 показан схематический вид в перспективе одного образца теплоизолированного зуба в одном предпочтительном варианте осуществления изобретения;

на фиг. 4 схематично изображена установка, используемая для измерения пироскопического сопротивления теплоизолирующего слоя;

на фиг. 5 (5a, 5b, 5c, 5d) показано устройство, используемое для тестирования образцов;

на фиг. 6 (6a, 6b) после второго испытания образцов изображены зуб в соответствии с изобретением и зуб не в соответствии с изобретением, при этом трещины идентифицированы маркером.

Подробное описание изобретения

Теплоизолированный зуб в соответствии с изобретением включает базовый зуб 20 и теплоизоли-

рующий слой 40.

Базовый зуб.

Поскольку фиг. 1 уже была описана в начале, далее внимание будет уделено фиг. 2а, частично описанной в начале.

Форма базового зуба 20 может иметь форму, которая известна для традиционных зубьев.

Длина L_{20} базового зуба 20 предпочтительно больше 10 см и предпочтительно меньше 100 см. Его ширина l_{20} предпочтительно больше 30 см и/или меньше 100 см, и высота h_{20} предпочтительно больше 10 см и/или меньше 50 см.

В поперечной плоскости сечения, а именно в плоскости, перпендикулярной направлению длины L_{20} , линия, проходящая посередине между верхней поверхностью 20₅ и нижней поверхностью 20₃, называется "осью Х". Толщина его базового зуба в точке на оси Х, находящейся на поперечной срединной плоскости, представляет собой самый короткий размер, измеренный перпендикулярно оси Х в этой точке. Предпочтительно средняя толщина базового зуба по оси Х больше 10 см и/или меньше 50 см. Предпочтительно эта толщина постоянна вдоль оси Х.

Предпочтительно, чтобы в любом поперечном сечении толщина базового зуба была постоянной.

Базовый зуб предпочтительно имеет профильное сечение, что означает, что его размеры в поперечной плоскости не зависят от рассматриваемой поперечной плоскости сечения.

Как и в варианте на фиг. 2, верхняя поверхность и/или нижняя поверхность могут состоять из плоских граней.

В одном предпочтительном варианте (фиг. 3) верхняя поверхность и/или нижняя поверхность содержат по меньшей мере одну изогнутую поверхность.

В предпочтительном варианте верхняя переходная поверхность 20_{26,3} базового зуба образует в части, включающей стык между опорой надстройки и опорой резервуара, верхнюю стыковочную поверхность 21, которая изогнута, т.е. не является плоской, без каких-либо острых краев и которая в предпочтительном варианте содержит или даже составляет часть цилиндра с круглым основанием. В предпочтительном варианте, как показано, эта цилиндрическая часть продолжается под углом больше 90° (одна четверть сегмента цилиндра).

В предпочтительном варианте эта верхняя соединительная поверхность соединяет горизонтальную поверхность опоры надстройки, в частности горизонтальную поверхность, которая включает поверхность надстройки, и горизонтальную поверхность опоры резервуара, в частности резервуарную поверхность.

В предпочтительном варианте нижняя переходная поверхность 20_{14,12} базового зуба образует в части, включающей стык между опорой надстройки и опорой резервуара, изогнутую нижнюю стыковочную поверхность 23 без острых краев, которая предпочтительно содержит или даже составляет часть цилиндра с круглым основанием. В предпочтительном варианте, как показано, эта цилиндрическая часть продолжается под углом больше 90°.

В предпочтительном варианте эта нижняя стыковочная поверхность соединяет горизонтальную поверхность опоры надстройки, в частности горизонтальную поверхность, которая включает укладочную поверхность, и горизонтальную поверхность опоры резервуара, предпочтительно горизонтальную поверхность, которая включает резервуарную поверхность.

В одном варианте осуществления эта цилиндрическая часть, по существу, соосна цилиндрической части верхней переходной поверхности.

Когда базовый зуб получают путем отливки в форму, форму предпочтительно изготавливают с помощью 3D-печати, поскольку это позволяет легче создавать поверхности, не имеющие острых краев, в частности верхнюю переходную поверхность и/или нижнюю переходную поверхность и особенно цилиндрические части этих переходных поверхностей. Таким образом повышается механическая прочность базового зуба.

Торцевые поверхности 20₁ и 20₂ базового зуба предпочтительно являются плоскими и, в частности, лишены разрывов, предпочтительно, по существу, параллельны друг другу и предпочтительно, по существу, вертикальны.

Кроме того, в одном варианте осуществления первая и вторая торцевые поверхности базового зуба, соответственно, определяют выступ и форму гнезда, комплементарного указанному выступу, так что в рабочем положении упомянутый выступ помещается в гнездо первого соседнего базового зуба и так, что в указанном гнезде находится выступ второго соседнего базового зуба (соединение типа "папа-мама").

Химический состав базового зуба может представлять собой состав, известный для традиционных базовых зубьев.

Больше 95%, предпочтительно больше 97%, предпочтительно больше 99%, предпочтительно больше 99,5%, предпочтительно больше 99,9% массы базового зуба состоит из оксидов.

В предпочтительном варианте базовый зуб имеет химический состав в массовых процентах от оксидов, при котором суммарное содержание Al_2O_3 , ZrO_2 и SiO_2 больше 80,0%.

В одном варианте осуществления базовый зуб, который предпочтительно отливают, имеет химический состав, включающий в массовых процентах относительно оксидов больше 0,5%, или даже больше

1,5%, или даже больше 3,0%, или даже больше 4,0%, или даже больше 5,0%, или даже больше 6,0%, и/или меньше 10,0%, или даже меньше 9,0%, или даже меньше 8,0% стабилизатора диоксида циркония, в частности CaO, и/или Y_2O_3 , и/или MgO, и/или CeO_2 , предпочтительно Y_2O_3 и/или CaO, предпочтительно Y_2O_3 .

В одном варианте осуществления базовый зуб, который предпочтительно отлит, имеет химический состав в массовых процентах относительно оксидов, составляющий в сумме 100%:

Al_2O_3 , ZrO_2 и SiO_2 суммарно больше 80,0%, предпочтительно больше 84,0%, предпочтительно больше 86,0% и/или меньше 97,0%, или даже меньше 95,0% или даже меньше 94,0%,

Y_2O_3 меньше 5,0%, или даже меньше 4,0%, или даже меньше 3,0% и предпочтительно больше 0,5%, или даже больше 1,5%, или даже больше 2,0%,

Na_2O больше 0,1% или даже больше 0,2% и/или меньше 1,5%, предпочтительно меньше 1%, предпочтительно меньше 0,6%, предпочтительно меньше 0,5% или даже меньше 0,4%,

B_2O_3 больше 0,1% или даже больше 0,2% и меньше 0,6%, предпочтительно меньше 0,5% или даже меньше 0,4%,

оксиды, отличные от Al_2O_3 , ZrO_2 , SiO_2 , Y_2O_3 , Na_2O и B_2O_3 , меньше 13,0%, предпочтительно меньше 9,0%, предпочтительно меньше 8,0%, предпочтительно меньше 5,0%, или даже меньше 3,0%, или даже меньше 2,0%, или даже меньше 1,0%, или даже меньше 0,5%.

В одном варианте осуществления базовый зуб, который предпочтительно отливают, предпочтительно имеет химический состав в массовых процентах относительно оксидов, составляющий в сумме 100%:

ZrO_2 больше 12,0%, предпочтительно больше 20,0%, предпочтительно больше 25,0%, предпочтительно больше 30,0% и/или меньше 46,0%, предпочтительно меньше 42,0%, и

SiO_2 больше 8,0%, предпочтительно больше 10,0% и/или меньше 24,0%, предпочтительно меньше 20,0%, предпочтительно меньше 17,0%, и

Al_2O_3 больше 35,0%, предпочтительно больше 40,0% и/или меньше 60,0%, предпочтительно меньше 55,0%, предпочтительно меньше 50,0%, и

оксиды, отличные от Al_2O_3 , ZrO_2 и SiO_2 , меньше 10,0%, предпочтительно меньше 8,0%, предпочтительно меньше 6,0% или даже меньше 4,0% или даже меньше 3,0%, или

ZrO_2 больше 80,0%, предпочтительно больше 85,0% и/или меньше 97,0%, предпочтительно меньше 96,0%; а также

SiO_2 больше 0,5%, предпочтительно больше 1,0%, предпочтительно больше 2,0%, предпочтительно больше 3,0% и/или меньше 15,0%, предпочтительно меньше 12,0%, предпочтительно меньше 10,0%, и

Al_2O_3 больше 0,2% и/или меньше 3,0%, предпочтительно меньше 2,0%, и

оксиды, отличные от Al_2O_3 , ZrO_2 и SiO_2 , меньше 8,0%, предпочтительно меньше 6,0%, предпочтительно меньше 4,0%, или

Al_2O_3 больше 90,0%, предпочтительно больше 91,0% и/или меньше 98,0%, предпочтительно меньше 97,0%, и

SiO_2 больше 0,2% и/или меньше 7,0%, предпочтительно меньше 6,0%, или даже меньше 4,0%, или даже меньше 3,0%, и

оксиды, отличные от Al_2O_3 и SiO_2 , меньше 8,0%, предпочтительно меньше 6,0%, предпочтительно меньше 5,0%, или

ZrO_2 больше 62,0%, предпочтительно больше 64,0% и/или меньше 71,0%, предпочтительно меньше 69,0%, и

SiO_2 больше 26,0%, предпочтительно больше 28,0% и/или меньше 36,0%, предпочтительно меньше 34,0%, и

оксиды, отличные от ZrO_2 и SiO_2 , меньше 6,0%, предпочтительно меньше 4,0%, предпочтительно меньше 3,0%, или

SiO_2 больше 90,0%, предпочтительно больше 93,0%, и

оксиды, отличные от SiO_2 , меньше 10,0%, предпочтительно меньше 7,0%.

Микроструктура зуба может иметь микроструктуру, известную для традиционных зубьев.

В предпочтительном варианте зуб представляет собой литой продукт и может дополнительно включать один или несколько из следующих необязательных признаков:

по меньшей мере часть, предпочтительно вся нижняя переходная поверхность базового зуба имеет микроструктуру корки;

по меньшей мере часть, предпочтительно вся поверхность базового зуба, которая подвергается воздействию среды внутри печи, имеет микроструктуру корки. В частности, предпочтительно по меньшей мере часть, предпочтительно вся резервуарная поверхность и/или верхняя переходная поверхность имеют микроструктуру корки;

по меньшей мере часть, предпочтительно вся укладочная поверхность 20_{14} базового зуба, предпочтительно вся нижняя поверхность 20_3 и/или вся или часть верхней переходной поверхности 20_{26-3} , предпочтительно, по меньшей мере, не горизонтальная часть верхней переходной поверхности 20_{26-3} и/или вся или часть внешней боковой поверхности 20_4 имеют микроструктуру корки. Таким образом повыша-

ется устойчивость к растрескиванию и уменьшается время обработки;

по меньшей мере поверхность надстройки и торцевые поверхности базового зуба не имеют микроструктуры корки;

поверхность с микроструктурой корки имеет плотность кристаллов, которая менее чем в 30 раз, или даже менее чем в 25 раз, или даже менее чем в 20 раз превышает плотность кристаллов, измеренную на глубине 4 см под указанной поверхностью;

поверхность с микроструктурой корки, в частности по меньшей мере часть нижней переходной поверхности имеет плотность кристаллов, составляющую больше 130 кристаллов на квадратный миллиметр, предпочтительно больше 150 кристаллов на мм², предпочтительно больше 180 кристаллов на мм², предпочтительно больше 200 кристаллов на мм², больше 230 кристаллов на мм² или даже больше 250 кристаллов на мм²;

базовый зуб содержит ZrO₂ в количестве более 80,0 мас.% относительно оксидов, а поверхность с микроструктурой корки и, в частности, по крайней мере часть нижней переходной поверхности имеет плотность кристаллов, составляющую больше 600 кристаллов на мм², предпочтительно больше 650 кристаллов на мм², предпочтительно больше 700 кристаллов на мм², предпочтительно больше 800 кристаллов на мм², больше 900 кристаллов на мм², больше 1000 кристаллов на мм² или даже больше 1100 кристаллов на мм²;

базовый зуб содержит ZrO₂ в количестве более 80,0 мас.% относительно оксидов, и средний эквивалентный диаметр указанных кристаллов поверхности с микроструктурой корки, в частности по меньшей мере части нижнего слоя переходной поверхности, составляет меньше 45 мкм, предпочтительно меньше 40 мкм и/или предпочтительно больше 20 мкм или больше 30 мкм.

Получение микроструктуры корки на поверхности зуба, т.е. зуба, изготовленного в виде литого изделия, не представляет для специалиста особых трудностей. В частности, специалисту в данной области известно, что микроструктуру можно сделать более мелкой на поверхности, увеличив скорость затвердевания расплавленного материала.

Когда ванна с расплавленным материалом заливается в форму, свойства формы и температура формы могут быть адаптированы, в частности, для обеспечения охлаждения, которое является достаточно быстрым для получения микроструктуры корки. Например, когда форма изначально находится при температуре окружающей среды, микроструктура корки образуется на поверхности, контактирующей со стенками формы или вблизи них. Если, в отличие от того, что делается в рамках повседневной практики, эта корка не удаляется во время механической обработки, микроструктура корки, таким образом, образуется на тех поверхностях базового зуба, которые не были обработаны.

Однако ограниченная механическая обработка (выравнивание) позволяет сохранить микроструктуру корки.

В одном варианте осуществления базовый зуб снабжен анкерным устройством 42 для закрепления в металлическом корпусе стекловаренной печи. Это анкерное устройство состоит, например, из винта, крюка, металлической пластины или выреза. Это анкерное устройство предпочтительно прикрепляют на расстоянии меньше 20 см, предпочтительно меньше 10 см, предпочтительно меньше 5 см от поверхности надстройки или даже прикрепляют к поверхности надстройки (фиг. 3).

Базовый зуб может быть спеченным изделием.

Конечно, размеры, формы и микроструктуры, описанные выше, не являются ограничивающими.

Теплоизолирующий слой.

Предпочтительно теплоизолирующий слой 40 имеет химический состав в массовых процентах относительно оксидов, при котором суммарное содержание Al₂O₃, SiO₂, ZrO₂, CaO, Na₂O, MgO, K₂O, TiO₂, Fe₂O₃, HfO₂, P₂O₅ и Y₂O₃ больше 85%, предпочтительно больше 90% или даже больше 95%.

Предпочтительно теплоизолирующий слой 40 имеет химический состав в массовых процентах относительно оксидов, при котором суммарное содержание Al₂O₃, SiO₂, ZrO₂, CaO, Na₂O, MgO, K₂O, TiO₂, Fe₂O₃ и HfO₂ больше 80%, предпочтительно больше 85%, предпочтительно больше 90% или даже больше 95%.

Предпочтительно теплоизолирующий слой имеет химический состав в массовых процентах относительно оксидов, при котором суммарное содержание Al₂O₃, SiO₂, ZrO₂, CaO и HfO₂ больше 80%, предпочтительно больше 85%, предпочтительно больше 90% или даже больше 95%.

В одном варианте осуществления теплоизолирующий слой имеет химический состав в массовых процентах относительно оксидов, при котором суммарное содержание Al₂O₃ и SiO₂ больше 80%, предпочтительно больше 85%, предпочтительно больше 90% или даже больше 95%.

Предпочтительно больше 90 мас.%, предпочтительно больше 95 мас.%, предпочтительно больше 98 мас.% предпочтительно больше 99 мас.%, предпочтительно больше 99,5 мас.% теплоизолирующего слоя состоит из оксидов.

Предпочтительно теплоизолирующий слой 40 выбран из

войлока, предпочтительно войлока, изготовленного из керамических волокон, предпочтительно с содержанием Al₂O₃ и SiO₂ больше 80 мас.%, или даже больше 85 мас.%, или даже больше 90 мас.%,

теплоизолирующей панели или жесткой волокнистой теплоизолирующей панели,

керамической пены, предпочтительно содержащей Al_2O_3 и SiO_2 больше 80 мас.%, или даже больше 85 мас.%, или даже больше 90 мас.%,

композитного материала с керамической матрицей (СМС), в котором предпочтительно больше чем 90% его массы, предпочтительно больше чем 95% его массы, предпочтительно больше чем 98% его массы, предпочтительно больше чем 99% его массы, предпочтительно больше чем 99,5% его массы составляют оксиды,

и их комбинации.

Теплоизолирующий слой 40 имеет теплопроводность меньше $2,0 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$, предпочтительно меньше $1,8 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$, предпочтительно меньше $1,5 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$, предпочтительно меньше $1,3 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$, предпочтительно меньше $1 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$, предпочтительно меньше $0,9 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$, предпочтительно меньше $0,8 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$, предпочтительно меньше $0,7 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$, предпочтительно меньше $0,6 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$, предпочтительно меньше $0,5 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$ при $20\text{-}500^\circ\text{C}$, предпочтительно при $20\text{-}600^\circ\text{C}$, предпочтительно при $20\text{-}700^\circ\text{C}$, предпочтительно при $20\text{-}800^\circ\text{C}$, предпочтительно при $20\text{-}900^\circ\text{C}$, предпочтительно при $20\text{-}1000^\circ\text{C}$.

В предпочтительном варианте теплоизолирующий слой 40 покрывает больше 40%, больше 60%, больше 70%, больше 80%, больше 90% или даже 100% нижней переходной поверхности 20_{14-12} .

Поверхность базового зуба, которая включена в нижнюю поверхность и покрыта теплоизолирующим слоем, а именно контактирует с этим слоем, называется "теплоизолированной поверхностью".

Теплоизолированная поверхность продолжается по меньшей мере на часть нижней переходной поверхности 20_{14-12} , которая соединяет укладочную поверхность 20_{14} и резервуарную поверхность 20_{12} указанного базового зуба, предпочтительно по всей нижней переходной поверхности 20_{14-12} .

Как показано на фиг. 2с, теплоизолирующий слой не обязательно продолжается до укладочной поверхности на нижней переходной поверхности 20_{14-12} . Однако предпочтительно он продолжается до расстояния менее 30 мм, предпочтительно менее 20 мм, предпочтительно менее 10 мм от укладочной поверхности. Предпочтительно теплоизолированная поверхность продолжается до укладочной поверхности, а именно по меньшей мере до линии 44, указанной на фиг. 2а, 2b и 3.

В изображенных вариантах изобретения теплоизолированная поверхность, таким образом, продолжается по меньшей мере на часть горизонтальной части нижней переходной поверхности 20_{14-12} , образуемой опорой надстройки, по меньшей мере до тех пор, пока она не достигнет укладочной поверхности 20_{14} .

В одном варианте осуществления теплоизолированная поверхность не продолжается настолько, чтобы покрывать даже частично укладочную поверхность (фиг. 2а и 2b).

В одном варианте осуществления теплоизолированная поверхность частично или даже полностью продолжается до укладочной поверхности, как показано на фиг. 3. Таким образом, в рабочем положении (фиг. 1) она зажата между укладочной поверхностью 20_{14} и металлической конструкцией 14. Когда теплоизолирующий слой является жестким, зажатие теплоизолирующего слоя между укладочной поверхностью и металлической конструкцией предпочтительно позволяет удерживать этот теплоизолирующий слой на теплоизолированной поверхности без необходимости прикрепления его к базовому зубу.

В частности, теплоизолированная поверхность может занимать больше 50, 60, 70, 80, 90 или даже 100% укладочной поверхности.

Предпочтительно теплоизолированная поверхность продолжается, по меньшей мере, до нижней стыковочной поверхности 23, которая соединяет опору надстройки и опору резервуара, как показано на фиг. 2а.

В предпочтительном варианте теплоизолированная поверхность продолжается, по меньшей мере, до укладочной поверхности и, по меньшей мере, до стыковочной поверхности. Этот вариант особенно эффективен для предотвращения появления трещин при эксплуатации.

В одном варианте осуществления теплоизолированная поверхность не продолжается, на стороне опоры резервуара, за нижнюю стыковочную поверхность 23 на стороне опоры резервуара. Таким образом, на фиг. 2b теплоизолированная поверхность не продолжается до нижней горизонтальной поверхности опоры резервуара, а именно за нижний край 35, и это упрощает использование теплоизолированного плоского блока.

В одном предпочтительном варианте теплоизолированная поверхность продолжается по всей укладочной поверхности до нижнего края 35.

В другом варианте осуществления теплоизолированная поверхность продолжается на стороне опоры резервуара за нижнюю стыковочную поверхность 23. Таким образом, в варианте осуществления, изображенном на фиг. 2а, она частично покрывает нижнюю горизонтальную поверхность опоры резервуара.

Предпочтительно, как показано на фиг. 2а, она продолжается до резервуарной поверхности. Однако предпочтительно, чтобы она не продолжалась на стороне опоры резервуара настолько, чтобы покрывать, даже частично, резервуарную поверхность, а именно за линию 46, показанную на фиг. 2а, 2b и 3.

В одном предпочтительном варианте осуществления (фиг. 2а) теплоизолированная поверхность продолжается на всю нижнюю переходную поверхность 20_{14-12} базового зуба.

В одном предпочтительном варианте осуществления теплоизолированная поверхность продолжает-

ся по всей укладочной поверхности и по всей нижней переходной поверхности 20₁₄₋₁₂ базового зуба.

Предпочтительно теплоизолированная поверхность является сплошной, а именно цельной.

Теплоизолирующий слой может удерживаться на теплоизолированной поверхности любыми известными средствами уровня техники.

Предпочтительно теплоизолирующий слой жестко прикреплен к базовому зубу, а именно образует с ним единое целое, что упрощает обращение с ним во время изготовления стекловаренной печи. Теплоизолирующий слой предпочтительно приклеивают к теплоизолируемой поверхности, как показано на фиг. 2а.

Предпочтительно клей, используемый для прикрепления теплоизолирующего слоя к теплоизолируемой поверхности, выбирают из смесей керамических порошков и связующих, предпочтительно применяемых в жидкой форме.

Предпочтительно порошки представляют собой порошкообразный оксид алюминия, и/или диоксид кремния, и/или муллит. Предпочтительно связующие выбирают из коллоидного диоксида кремния, силиката натрия, органических смол, органических клеев и их смесей. Используемый клей также может быть коммерчески доступным клеем, таким как клей Fixwool FX от компании Unifrax.

В одном варианте теплоизолированная поверхность локально структурирована для улучшения прикрепления теплоизолирующего слоя 40. Например, одна или несколько бороздок, например круглых, закрытых сами по себе, могут быть сформированы для создания одной или нескольких зон прикрепления.

Он также может быть прикреплен с помощью застёжек, например с помощью скобы, размещенной в углублении, образующем нижнюю переходную поверхность 20₁₄₋₁₂, находящимся между укладочной поверхностью 20₁₄ и внутренним краем 35, так, чтобы теплоизолирующий слой находился между упомянутыми поверхностями.

Предпочтительно теплоизолирующий слой 40 имеет среднюю толщину, которая предпочтительно является постоянной, меньше 40 мм, предпочтительно меньше 32 мм, предпочтительно меньше 28 мм, предпочтительно меньше 22 мм или даже меньше 18 мм, или больше 15 мм, и/или предпочтительно больше 3 мм, предпочтительно больше 5 мм, предпочтительно больше 10 мм.

Предпочтительно теплоизолирующий слой 40 обладает достаточной жесткостью, чтобы быть самонесущим, а именно, чтобы сохранять свою форму при обращении с ним при температуре окружающей среды. Предпочтительно он имеет форму, которая комплементарна форме теплоизолируемой поверхности.

Теплоизолирующий слой 40 предпочтительно содержит керамические волокна, в частности оксид алюминия, и/или диоксид кремния, и/или диоксид циркония, и/или стеклянные волокна, предпочтительно выщелоченные стеклянные волокна.

В предпочтительном варианте теплоизолирующий слой содержит, предпочтительно состоит из СМС. СМС обеспечивает то преимущество, что имеет достаточную механическую прочность, чтобы выдерживать нагрузку, и достаточную жесткость для облегчения обращения с ним и его сборки с базовым зубом без деформации.

В предпочтительном варианте СМС имеет один или несколько из следующих необязательных признаков:

предпочтительно СМС является спеченным;

СМС имеет открытую пористость, измеренную методом пропитывания в соответствии с принципом архимедовой силы, составляющую больше 25%, предпочтительно больше 30% и меньше 45%, предпочтительно меньше 35%;

больше 90 мас.%, предпочтительно больше 95 мас.%, предпочтительно больше 98 мас.%, предпочтительно больше 99 мас.%, предпочтительно больше 99,5 мас.% СМС состоит из оксидов;

предпочтительно СМС включает больше 30 об.%, предпочтительно больше 40 об.%, предпочтительно больше 50 об.%, предпочтительно больше 60 об.%, и/или меньше 70 об.% волокон;

волокна изготовлены из оксидного материала, предпочтительно содержащего больше 50 мас.%, предпочтительно больше 60 мас.%, или даже больше 70 мас.%, или даже больше 80 мас.%, или даже больше 90 мас.% Al₂O₃, и/или SiO₂, и/или ZrO₂;

волокна выбраны из волокон, состоящих из оксида алюминия больше чем на 95 мас.%, предпочтительно больше чем на 98 мас.%, предпочтительно больше чем на 99 мас.%, предпочтительно практически на 100 мас.%; волокон, состоящих из диоксида кремния больше чем на 95 мас.%, предпочтительно больше чем на 98 мас.%, предпочтительно больше чем на 99 мас.%, предпочтительно, по существу, на 100 мас.%, предпочтительно состоящего из аморфного кремнезема больше чем на 95 мас.%, предпочтительно больше чем на 98 мас.%, предпочтительно больше чем на 99 мас.%, предпочтительно практически на 100 мас.%; волокон, состоящих из муллита больше чем на 95 мас.%, предпочтительно больше чем на 98 мас.%, предпочтительно больше чем на 99 мас.%, предпочтительно практически на 100 мас.%; волокон, состоящих из стекла, предпочтительно выщелоченного стекла, больше чем на 95 мас.%, предпочтительно больше чем на 98 мас.%, предпочтительно больше чем на 99 мас.%, предпочтительно практически на 100 мас.%,

волокна предпочтительно связаны в виде нитей, причем нить обычно содержит от нескольких сотен до нескольких тысяч волокон;

волокна, предпочтительно нити, предпочтительно являются непрерывными и имеют длину больше 50 мм или даже больше 100 мм.

В одном варианте осуществления волокна, предпочтительно нити, расположены в виде тканого материала (имеющего уточные нити и нити основы) или мата (нетканого материала). В предпочтительном варианте тканые материалы и/или маты располагаются в СМС таким образом, чтобы проходить, по существу, параллельно теплоизолированной поверхности базового зуба;

матрица состоит из оксидов более чем на 90 мас.%, предпочтительно более чем на 95 мас.%, предпочтительно более чем на 99 мас.% оксидов; в предпочтительном варианте матрица почти полностью состоит из оксидов;

матрица содержит Al_2O_3 и/или SiO_2 ;

предпочтительно матрица содержит Al_2O_3 и SiO_2 ;

предпочтительно содержание Al_2O_3 в матрице составляет больше 65 мас.%, предпочтительно больше 70 мас.% относительно массы матрицы;

предпочтительно содержание SiO_2 в матрице составляет больше 15 мас.%, предпочтительно больше 20 мас.%, и/или меньше 35 мас.%, предпочтительно меньше 30 мас.% относительно массы матрицы;

в предпочтительном варианте содержание оксидов, отличных от Al_2O_3 и SiO_2 , в матрице составляет меньше 3 мас.%, предпочтительно меньше 2 мас.%, предпочтительно меньше 1 мас.% относительно массы матрицы;

предпочтительно содержание Al_2O_3 составляет больше 60%, предпочтительно больше 65%;

в одном варианте осуществления общее содержание Al_2O_3 и SiO_2 составляет больше 80 мас.%, предпочтительно больше 85 мас.%, предпочтительно больше 90 мас.%, предпочтительно больше 95 мас.% относительно массы матрицы относительно оксидов;

в одном варианте диоксид кремния в матрице является аморфным;

в одном варианте осуществления СМС имеет следующий химический состав, в массовых процентах относительно оксидов в сумме 100%:

SiO_2 - 47-67%,

Al_2O_3 - 32-52%;

разновидности оксидов, отличные от Al_2O_3 и SiO_2 - меньше 5%, предпочтительно меньше 4%, предпочтительно меньше 3%, предпочтительно 2%;

СМС имеет теплопроводность меньше $1,3 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$, предпочтительно меньше $1 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$, предпочтительно меньше $0,9 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$, предпочтительно меньше $0,8 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$, предпочтительно меньше $0,7 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$, предпочтительно меньше $0,6 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$, предпочтительно меньше $0,5 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ при 20-500°C, предпочтительно 20-600°C;

СМС имеет кажущуюся плотность больше $1,4 \text{ г/см}^3$ или даже больше $1,50 \text{ г/см}^3$, и/или меньше 2 г/см^3 , предпочтительно меньше $1,9 \text{ г/см}^3$, предпочтительно меньше $1,80 \text{ г/см}^3$.

В одном варианте теплоизолирующий слой имеет многослойную структуру, содержащую, в порядке наложения, первый лист, заполняющий материал, и второй лист.

Первый и второй листы могут быть прикреплены друг к другу предпочтительно таким образом, чтобы образовывать трубку, открытую с обоих концов, втулку, открытую с одного из ее концов, или герметичную оболочку.

По меньшей мере один, предпочтительно каждый из первого и второго листов состоит из СМС.

По меньшей мере один, предпочтительно каждый из первого и второго листов имеет толщину больше 2 мм, предпочтительно больше 3 мм, предпочтительно больше 5 мм.

Наполнитель предпочтительно имеет теплопроводность меньше $2,0 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$, предпочтительно меньше $1,8 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$, предпочтительно меньше $1,5 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$, предпочтительно меньше $1,3 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$, предпочтительно меньше $1 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$, предпочтительно меньше $0,9 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$, предпочтительно меньше $0,8 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$, предпочтительно меньше $0,7 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$, предпочтительно меньше $0,6 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$, предпочтительно меньше $0,5 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ при 20-500°C, предпочтительно 20-600°C, предпочтительно 20-700°C, предпочтительно 20-800°C, предпочтительно 20-900°C, предпочтительно 20-1000°C. Наполнитель предпочтительно имеет более низкую теплопроводность, чем у первого и второго листов.

Наполнитель может быть жестким или рыхлым, например, в форме полых шариков из оксида алюминия, из волокнистой ваты, например из ваты из оксида алюминия.

Предпочтительно теплоизолирующий слой 40 имеет такую конфигурацию, чтобы обеспечивать предел текучести при трехточечном изгибе, измеренный в соответствии со стандартом ASTM C1341-13, больше 3 МПа, предпочтительно больше 6 МПа, предпочтительно больше 10 МПа. Таким образом, обеспечивается преимущество в том, что улучшается механическая прочность изоляционного слоя, в частности его ударная вязкость.

Предпочтительно и это обязательно, когда теплоизолирующий слой 40 расположен по меньшей мере на части нижней поверхности опоры резервуара базового зуба (нижняя горизонтальная поверхность

опоры резервуара на чертежах), теплоизолирующий слой имеет такую конфигурацию, чтобы иметь термосопротивление больше 400°C , предпочтительно больше 600°C , предпочтительно больше 800°C , предпочтительно больше 1000°C . Преимущество состоит в том, что за счет этого повышается стабильность теплоизолированного базового зуба.

Пироскопическое сопротивление теплоизолирующего слоя теплоизолированного зуба толщиной e при температуре T определяют с использованием следующего метода: испытательный образец указанного теплоизолирующего слоя длиной a , равной 500 мм, шириной b , равной 400 мм, и толщиной e помещается в электропечь на блоки 48 из RI34 толщиной 60 мм по схеме, изображенной на фиг. 4, где размер x равен 250 мм. В этой схеме один из блоков RI34 ориентирован относительно теплоизолирующего слоя, как и металлическая конструкция, когда теплоизолированный зуб находится в рабочем положении.

Затем выполняется следующий тепловой цикл:

температуру окружающей среды повышают до температуры T со скоростью, равной $50^{\circ}\text{C}/\text{ч}$,

температуру T поддерживают в течение 24 ч

и затем понижают до температуры окружающей среды со скоростью, равной $50^{\circ}\text{C}/\text{ч}$.

После полного охлаждения определяют деформацию пластины под собственным весом, оцениваемую по среднему значению прогибов, измеренных по каждой диагонали.

Считается, что теплоизолирующий слой демонстрирует пироскопическое сопротивление, превышающее температуру T , если деформация листа под его собственным весом меньше или равна 5 мм.

Для измерения прочности на сжатие теплоизолирующего слоя теплоизолированного базового зуба толщиной e берут образец для испытаний размером $50 \times 50 \times 10 \text{ мм}^3$ из теплоизолирующего слоя этого базового зуба толщиной 10 мм в направлении толщины e .

Затем прикладывают нагрузку ко всей площади поверхности испытуемого образца $50 \times 50 \text{ мм}^2$ при температуре окружающей среды в направлении толщины со скоростью перемещения 0,1 мм/мин. Эту нагрузку увеличивают до тех пор, пока испытуемый образец не выйдет из строя. Прочность на сжатие равна указанной нагрузке, выраженной в ньютонах, деленной на площадь поверхности, на которую прилагается указанная нагрузка (в данном случае 25 см^2).

Предпочтительно теплоизолирующий слой 40 имеет такую конфигурацию, которая обеспечивает прочность на сжатие, например, измеренную, как описано выше, больше 5 МПа, предпочтительно больше 10 МПа.

Для измерения прочности на раздавливание теплоизолирующего слоя толщиной e извлекают образец для испытаний размером $50 \times 50 \times 10 \text{ мм}^3$, толщиной 10 мм в направлении толщины e .

Затем прикладывают нагрузку ко всей площади поверхности испытуемого образца $50 \times 50 \text{ мм}^2$ при температуре окружающей среды в направлении толщины со скоростью продавливания 0,1 мм/мин. Нагрузку увеличивают до тех пор, пока толщина испытуемого образца не уменьшится вдвое (или, другими словами, на 5 мм). Прочность на раздавливание равна указанной нагрузке, выраженной в ньютонах, деленной на площадь поверхности, на которую прилагается указанная нагрузка (в данном случае 25 см^2).

Обычно для изоляции зуба металлической конструкции используют теплоизолирующие слои, состоящие из матов из волокон ("изолирующие маты"). В отличие от этих слоев теплоизолирующий слой 40 предпочтительно имеет прочность на раздавливание, например измеренную, как описано выше, больше 10 МПа, что улучшает стабильность надстройки.

Предпочтительно теплоизолирующий слой 40 имеет такую конфигурацию, которая обеспечивает прочность на раздавливание, например измеренную, как описано выше, больше 20 МПа, предпочтительно больше 30 МПа, предпочтительно больше 50 МПа, тем самым повышая стабильность надстройки.

Теплоизолирующий слой 40, таким образом, демонстрирует более высокую прочность на раздавливание, чем у теплоизолирующих слоев, состоящих из матов из волокон ("изолирующих матов"), обычно размещаемых между базовым зубом и металлической структурой.

Предпочтительно теплоизолирующий слой 40 имеет конфигурацию, обеспечивающую высокую стойкость к тепловым ударам.

Предпочтительно теплоизолирующий слой 40 имеет конфигурацию, обеспечивающую высокую стойкость к коррозии от натриевых паров. Тем самым обеспечивается преимущество в том, что увеличивается срок его службы в стекловаренной печи.

Использование СМС и, в частности, типа СМС, описанного выше, особенно хорошо подходит для достижения этих характеристик.

Производство.

Могут быть использованы все обычные способы производства зубьев.

Могут быть использованы все способы производства, позволяющие получить СМС.

Способ производства может, в частности, включать следующие стадии:

пропитка совокупности тканых материалов или матов, предпочтительно тканого материала или матов из нитей, суспензией, способной образовывать матрицу после сушки и/или спекания;

наслоение указанных тканых материалов и/или матов,

указанное наслоение можно изготавливать прессованием или вакуумным формованием.

Тканые материалы или маты могут быть уложены таким образом, чтобы волокна различных тканых материалов или матов, по существу, все имели одно и то же направление или разные направления, например под углом 45° , в частности, в соответствии с желаемыми механическими свойствами. Наслоение может быть выполнено на жесткой подложке, имеющей профиль теплоизолированной поверхности зуба, с тем, чтобы получить СМС, который имеет профиль, близкий к профилю указанной теплоизолированной поверхности.

Когда теплоизолирующий слой жесткий, его форма предпочтительно соответствует теплоизолированной поверхности. Эта форма может быть результатом способа, использованного для изготовления теплоизолирующего слоя, или она может быть получена впоследствии, например, путем механической обработки или деформации.

В одном варианте осуществления базовый зуб и/или теплоизолированный слой располагаются в рабочем положении в необработанном состоянии, а именно перед спеканием. Базовый зуб предпочтительно находится в форме бетона. Затем спекание базового зуба и/или теплоизолирующего слоя выполняется по месту в печи.

Примеры

Для воспроизведения стрессовых нагрузок, испытываемых в процессе эксплуатации, базовые зубья, имеющие L-образный профиль в поперечном сечении, имеющие длину L_{20} , равную 270 мм, ширину l_{20} , равную 625 мм, высоту h_{20} , равную 230 мм, и толщину e_{20} , равную 170 мм (фиг. 2а), помещают в печь, в которой воссозданы рабочие условия, как показано на фиг. 5а, 5b, 5с и 5d. На фиг. 5а и 5b изображены поперечные сечения испытательной установки для испытания зуба, не соответствующего изобретению, и согласно изобретению, соответственно, в поперечной средней плоскости указанного зуба. Размеры t , u , w , y и z равны 440 мм, 160 мм, 160 мм, 330 мм и 500 мм соответственно. На фиг. 5с и 5d показан вид в перспективе установки для базовых зубьев.

Периодически воздух под давлением 4 бара и при температуре окружающей среды (20°C) продувается на нижнюю переходную поверхность зубьев через канал из оксида алюминия с внутренним диаметром, равным 25 мм, закрытым на конце и содержащим прорезь шириной 4,5 мм и длиной 270 мм, позволяющим воздуху выходить в направлении, указанном стрелкой 56 на фиг. 5а и 5b.

Укладочная поверхность каждого зуба лежит на двух рядах 50₁ и 50₂ блоков RI34, а резервуарная поверхность опирается на ряд 52 блоков RI34, блоки имеют толщину, равную 60 мм. Блоки RI34 54₁ и 54₂ опираются на два ряда блоков RI30, каждый ряд имеет толщину, равную 60 мм.

Обрабатывают только торцевые поверхности зубьев. Остальные поверхности сохраняют состояние после литья и имеют микроструктуру корки. Торцевые поверхности теплоизолированы вертикальной стеной, состоящей из слоя блоков RI28 и двух слоев блоков RI30 (только одна из двух стен изображена на фиг. 5с), причем каждый слой блоков имеет толщину, равную 60 мм.

Войлок 55 Insulfrax® толщиной 12 мм, продаваемый компанией Unifrax, за которым следует ряд 57 блоков RI30 толщиной 60 мм, укладываемых на верхнюю поверхность каждого базового зуба.

Блоки RI28, RI30 и RI34 продаются компанией Saint-Gobain Performance Ceramics & Refractories.

Испытание проводили на двух базовых зубьях, изготовленных из одного и того же материала ER1195, продаваемого компанией Saint-Gobain SEFPRO, размещенных рядом, причем один из базовых зубьев не имеет теплоизолирующего слоя и выступает в роли эталона, а другой базовый зуб покрыт теплоизолирующим слоем, при этом теплоизолированная поверхность проходит по всей укладочной поверхности и по всей нижней переходной поверхности, образуя теплоизолированный зуб. Теплоизолирующий слой изготовлен из войлока Insulfrax®, имеющего постоянную толщину, равную 12 мм, и теплопроводность при $20\text{--}1000^\circ\text{C}$, составляющую меньше $0,5 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, продаваемого компанией Unifrax. Его приклеивают на место с помощью Fixwool® FX, продаваемого компанией Unifrax.

Термопара Т, расположение которой указано на фиг. 5с, используется для регулирования газовой горелки, так что температура на стороне верхней переходной поверхности двух зубьев может регулироваться.

Испытание проводится следующим образом:

температуру регулируют с помощью термопары Т:

температуру повышают от комнатной до 1400°C со скоростью $25^\circ\text{C}/\text{ч}$ без обдувки воздухом,

температуру поддерживают на уровне 1400°C в течение 1 ч без обдувки воздухом,

температуру поддерживают на уровне 1400°C в течение 6 ч с обдувкой воздухом,

температуру поддерживают на уровне 1400°C в течение 6 ч без обдувки воздухом,

2 предыдущие стадии повторяют 5 раз подряд,

температуру понижают до комнатной со скоростью $25^\circ\text{C}/\text{ч}$.

Повреждения зубьев оценивают визуальным осмотром. Этот осмотр, выполняемый до и после испытания, позволяет выявить возможные трещины.

Анализ и определение характеристик микроструктуры продуктов могут быть выполнены с использованием оптического микроскопа Richert Polyvar 2, предпочтительно с увеличением $\times 5$, в сочетании с программным обеспечением для анализа изображений image J. Программное обеспечение для анализа

изображений позволяет вычленять независимые кристаллы (т.е. кристаллы, окруженные стекловидной фазой) и определить их площадь поверхности. В частности, можно выделить кристаллы свободного диоксида циркония или эвтектики оксид алюминия-диоксид циркония. Сохраняются только кристаллы с площадью поверхности больше 12 мкм^2 .

Оценивают количество кристаллов (N_c) на 1 мм^2 поверхности с микроструктурой корки (N_c поверхности) и на поверхности, расположенной на 4 см внутри исследуемого образца (N_c внутренний). Приведенные значения соответствуют средним значениям для 4 наборов измерений. Рассчитывают соотношение между показателями для N_c поверхности и N_c внутреннего. Отношение выше 4 указывает на микроструктуру корки.

Химический анализ продуктов измеряют с помощью "Индуктивно связанной плазмы" или ICP после того, как материал, который должен быть проанализирован, был прокален при 1000°C в течение 1 ч для элементов, количество которых не превышает 0,5%, и для бора и лития. Чтобы определить содержание других элементов, гранулу материала, который должен быть проанализирован, изготавливают путем плавления материала, затем проводят химический анализ с использованием рентгеновского излучения.

Теплопроводность теплоизолирующего слоя обычно определяют как произведение коэффициента температуропроводности, кажущейся плотности и удельной массовой теплоемкости.

Коэффициент диффузии теплоизолирующего слоя измеряют методом вспышки с использованием галогенной лампы мощностью 1000 Вт.

Кажущуюся плотность определяют путем взвешивания известного кажущегося объема теплоизолирующего слоя, кажущаяся плотность является отношением результата указанного взвешивания и указанного кажущегося объема.

Удельную теплоемкость измеряют с помощью дифференциальной сканирующей калориметрии (или ДСК).

Проведенное испытание показывает, что эталонный зуб после испытания имеет две трещины, расположенные на нижней переходной поверхности и на резервуарной поверхности длиной больше 100 мм и просветом от 0,5 до 1 мм. Теплоизолированный зуб согласно изобретению не имеет трещин.

Второй тест проводят на двух базовых зубьях, сделанных из одного и того же материала ER1681, продаваемого компанией Saint-Gobain SEFPRO, расположенных рядом.

Первый базовый зуб не имеет теплоизолирующего слоя и выступает в роли эталона.

Второй из указанных базовых зубьев покрыт теплоизолирующим слоем, при этом теплоизолированная поверхность проходит по всей укладочной поверхности и всей нижней переходной поверхности, образуя теплоизолированный зуб в соответствии с изобретением.

Теплоизолирующий слой состоит из композитного материала с керамической матрицей (СМС), имеющего постоянную толщину, равную 13 мм, и теплопроводность при $20\text{-}500^\circ\text{C}$ меньше $0,6 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Указанный СМС состоит на 44 мас.% из тканых материалов, изготовленных из выщелоченных стеклянных волокон, имеющих содержание диоксида кремния больше 90 мас.%, и из матрицы оксида алюминия и диоксида кремния для дополнения. Он имеет открытую пористость, равную 38%, кажущуюся плотность, равную $1,65 \text{ г/см}^3$, содержание Al_2O_3 , равное 42%, содержание SiO_2 , равное 57%, и содержание других оксидов, равное 1%, содержание Al_2O_3 , SiO_2 и других оксидов выражено в массовых процентах от оксидов указанного композитного материала с керамической матрицей.

После испытания теплоизолированный зуб согласно изобретению (фиг. 6а) практически не имеет трещин, тогда как эталонный зуб (фиг. 6б) пронизан трещинами, обозначенными черным маркером, чтобы сделать их больше заметными на изображении.

Теперь ясно видно, что изобретение позволяет повысить стойкость к растрескиванию и, таким образом, увеличить срок службы печи.

Конечно, изобретение не ограничивается примерами, которые приведены только для иллюстрации. Само собой разумеется, что описанные варианты осуществления являются просто примерами и что они могут быть изменены, в частности, путем замены техническими эквивалентами, не выходя, таким образом, за рамки объема изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Стекловаренная печь (10), включающая резервуар (12), имеющий верхний край (25); металлическую конструкцию (14) и надстройку (16), включающую боковую стенку (26) и промежуточный ряд (18), включающий теплоизолированный базовый зуб, при этом указанный теплоизолированный зуб предназначен для размещения в промежуточном ряду (18) указанной стекловаренной печи (10); указанный теплоизолированный базовый зуб включает литой или спеченный базовый зуб (20), имеющий L-образный профиль в поперечном сечении, который включает опору (30) надстройки и опору (32) резервуара, причем указанный базовый зуб образует

внешнюю поверхность, состоящую из

первой и второй торцевых поверхностей (20_1 ; 20_2), образующих длину (L_{20}) базового зуба, нижней поверхности (20_3), включающей горизонтальную укладочную поверхность (20_{14}), опирающуюся на металлическую конструкцию (14), резервуарную поверхность (20_{12}), обращенную к верхнему краю (25) резервуара (12), и нижнюю переходную поверхность (20_{14-12}), соединяющую укладочную поверхность (20_{14}) и резервуарную поверхность (20_{12});

внешней боковой поверхности (20_4);

верхней поверхности (20_5), включающей поверхность (20_{26}) надстройки, на которую опирается боковая стенка (26), и верхнюю переходную поверхность (20_{26-3}), соединяющую поверхность 20_{26} надстройки и нижнюю поверхность (20_3);

теплоизолирующий слой (40), имеющий теплопроводность ниже $2,0 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ при $20-500^\circ\text{C}$, обладающий достаточной жесткостью, чтобы быть самонесущим, и покрывающий теплоизолированную поверхность базового зуба,

указанная теплоизолированная поверхность включена в нижнюю поверхность (20_3) указанного базового зуба, продолжается до нижней переходной поверхности (20_{14-12}) и составляет больше 20% нижней переходной поверхности (20_{14-12}),

указанный теплоизолирующий слой имеет химический состав в массовых процентах относительно оксидов, при котором суммарное содержание Al_2O_3 , SiO_2 , ZrO_2 , CaO , Na_2O , MgO , K_2O , TiO_2 , Fe_2O_3 , HfO_2 , P_2O_5 и Y_2O_3 больше 80%,

где теплоизолированная поверхность не продолжается настолько, чтобы покрывать даже частично укладочную поверхность, или теплоизолирующий слой (40) зажат между укладочной поверхностью (20_{14}) и металлической конструкцией (14).

2. Стекловаренная печь по п.1, где нижняя переходная поверхность (20_{14-12}) включает нижнюю стыковочную поверхность (23), соединяющую указанную опору (30) надстройки и опору (32) резервуара, и теплоизолированная поверхность продолжается так, чтобы покрывать, по меньшей мере, указанную нижнюю стыковочную поверхность (23), причем нижняя стыковочная поверхность (23) предпочтительно соединяет горизонтальную поверхность опоры (30) надстройки, включая укладочную поверхность (20_{14}), и горизонтальную поверхность опоры (32) резервуара, включая резервуарную поверхность (20_{12}).

3. Стекловаренная печь по п.1 или 2, где теплоизолирующий слой (40) имеет прочность на раздавливание больше 10 МПа.

4. Стекловаренная печь по любому из пп.1-3, в которой теплоизолирующий слой (40) содержит композитный материал с керамической матрицей, состоящий из волокон, связанных вместе керамической матрицей.

5. Стекловаренная печь по п.4, в которой теплоизолирующий слой (40) состоит из композитного материала с керамической матрицей, состоящего из волокон, связанных вместе керамической матрицей.

6. Стекловаренная печь по п.4 или 5, где волокна изготовлены из оксидного материала, содержащего больше 50 мас.% Al_2O_3 , и/или SiO_2 , и/или ZrO_2 относительно оксидов, и/или где волокна составляют больше 30% и предпочтительно меньше 70% объема композитного материала с керамической матрицей.

7. Стекловаренная печь по п.6, где волокна выбраны из

волокон, состоящих из оксида алюминия больше чем на 95 мас.%,

волокон, состоящих из диоксида кремния больше чем на 95 мас.%,

волокон, состоящих из муллита больше чем на 95 мас.%, и

волокон, состоящих из стекла больше чем на 95 мас.%.

8. Стекловаренная печь по любому из пп.4-7, где матрица содержит Al_2O_3 и/или SiO_2 .

9. Стекловаренная печь по любому из пп.4-8, где матрица содержит больше 65 мас.% Al_2O_3 и/или больше 15 и меньше 35 мас.% SiO_2 , и/или содержит меньше 3 мас.% оксидов, отличных от Al_2O_3 и SiO_2 , относительно матрицы.

10. Стекловаренная печь по любому из пп.4-9, где композитный материал с керамической матрицей имеет следующий химический состав в массовых процентах относительно оксидов, составляющий в сумме 100%:

SiO_2 - 47-67%,

Al_2O_3 - 32-52%;

разные оксиды, отличные от Al_2O_3 и SiO_2 - меньше 5%.

11. Стекловаренная печь по любому из пп.1-10, в которой теплоизолирующий слой (40) прикреплен к теплоизолированной поверхности.

12. Стекловаренная печь по любому из пп.1-11, в которой теплоизолированная поверхность продолжается, по меньшей мере, до укладочной поверхности и/или до резервуарной поверхности (20_{12}).

13. Стекловаренная печь по любому из пп.1-12, в которой теплоизолированная поверхность составляет больше 60% нижней переходной поверхности (20_{14-12}).

14. Стекловаренная печь по любому из пп.1-13, в которой теплоизолированная поверхность продолжается по меньшей мере до части горизонтальной части нижней переходной поверхности (20_{14-12}), образуемой опорой надстройки.

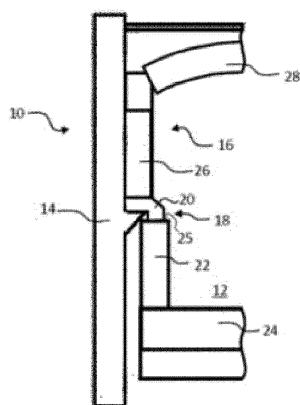
15. Стекловаренная печь по любому из пп.1-14, где теплоизолированная поверхность продолжается по меньшей мере до части укладочной поверхности (20₁₄).

16. Стекловаренная печь по любому из пп.1-15, где теплоизолированная поверхность продолжается до горизонтальной части нижней переходной поверхности (20₁₄₋₁₂), образуемой опорой резервуара, не покрывая указанную горизонтальную часть.

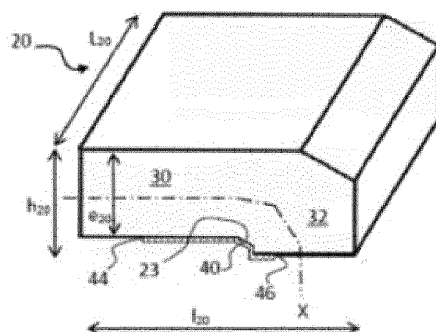
17. Стекловаренная печь по любому из пп.1-14, где теплоизолированная поверхность продолжается по меньшей мере до части горизонтальной части нижней переходной поверхности (20₁₄₋₁₂), образуемой опорой резервуара.

18. Стекловаренная печь по любому из пп.1-17, где теплоизолирующий слой (40) изготовлен из спеченного материала и/или обладает теплопроводностью меньше $0,6 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ при 20-500°C.

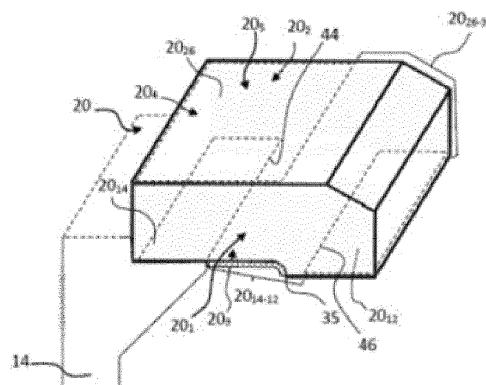
19. Стекловаренная печь по любому из пп.1-18, где теплоизолирующий слой (40) имеет многослойную структуру, включающую при наложении друг на друга первый слой композитного материала с керамической матрицей, заполняющий материал, имеющий теплопроводность меньше $2,0 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ при 20-500°C, и второй слой композитного материала с керамической матрицей.



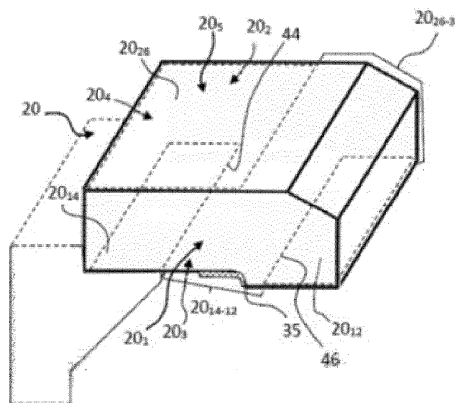
Фиг. 1



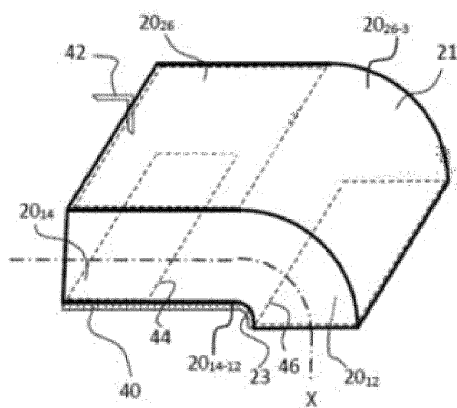
Фиг. 2a



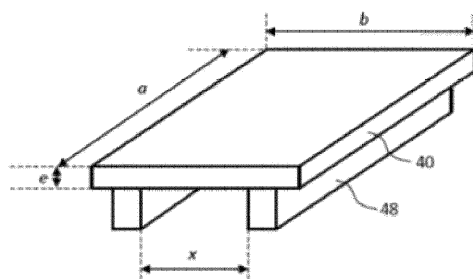
Фиг. 2b



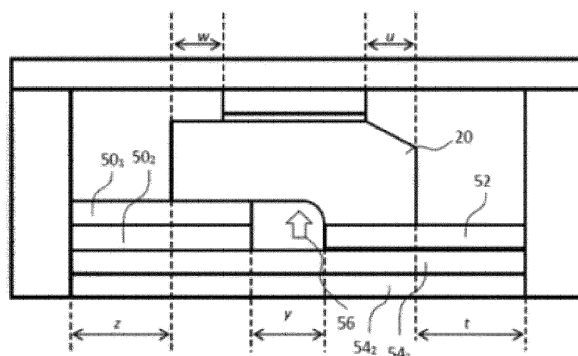
Фиг. 2с



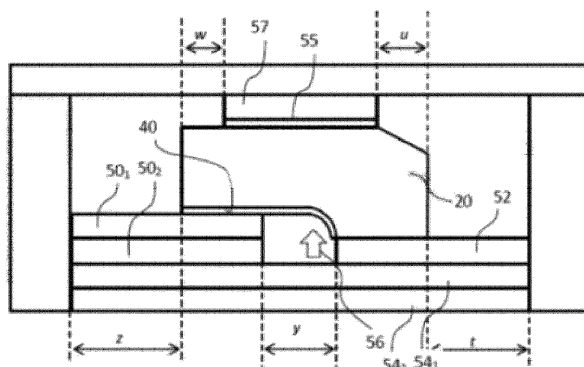
Фиг. 3



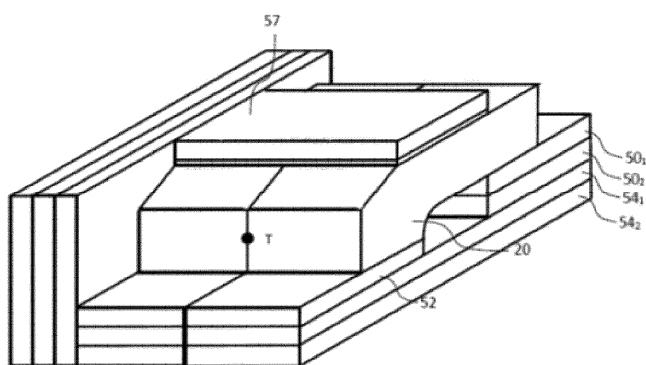
Фиг. 4



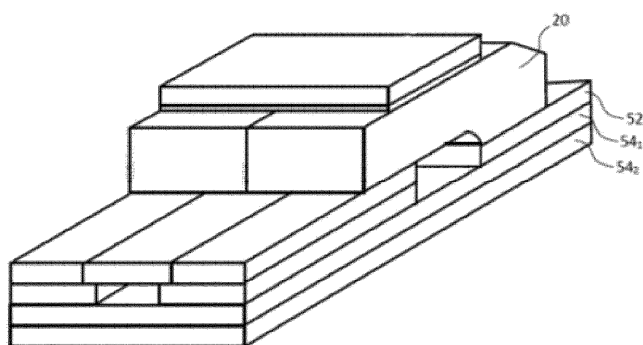
Фиг. 5а



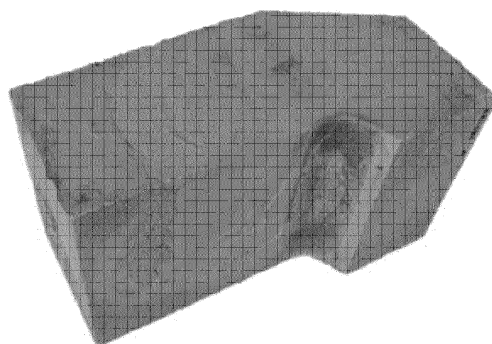
Фиг. 5b



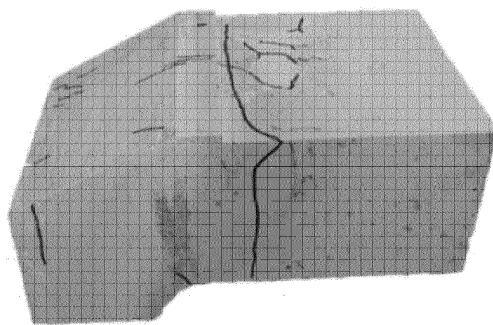
Фиг. 5c



Фиг. 5d



Фиг. 6a



Фиг. 6b

