

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 201690671 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2016.12.30

(51) Int. Cl. C04B 28/02 (2006.01)
C04B 40/02 (2006.01)
E04C 2/18 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки
2014.10.03

(54) ПУСТОТНЫЕ ИЗДЕЛИЯ И КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, СПОСОБЫ ИХ
ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ

(31) 61/886,936

(32) 2013.10.04

(33) US

(86) PCT/US2014/059024

(87) WO 2015/051243 2015.04.09

(88) 2015.05.28

(71) Заявитель:
СОЛИДИЯ ТЕКНОЛОДЖИЗ, ИНК.
(US)

(72) Изобретатель:
Маккендлиш Ларри Э., Нарин
Орландо, Кастро Даниэль, Атакан
Вахит, Паттен Девин, Капплер Джон
П. (US)

(74) Представитель:
Нилова М.И. (RU)

(57) В настоящем изобретении предложены новые изделия из композиционных материалов, содержащие полые внутренние каналы или проходы, или выдолбленные иным образом, и составы и способы для их производства и применения. Указанные пустотные объекты подходят для различных вариантов применения в строительстве, дорожных работах и благоустройстве и инфраструктуре.

A1

201690671

201690671

A1

ПУСТОТНЫЕ ИЗДЕЛИЯ И КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, СПОСОБЫ ИХ ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ

ПРИТЯЗАНИЕ НА ПРИОРИТЕТ И РОДСТВЕННЫЕ ПАТЕНТНЫЕ ЗАЯВКИ

[0001] Настоящая заявка на патент испрашивает приоритет на основании предварительной заявки на патент США № 61/886936, поданной 4 октября 2013 года, содержание которой в полном объеме включено в настоящий документ посредством ссылки.

ОБЛАСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0002] В общем, настоящее изобретение относится к изделиям из композиционных материалов, имеющим пустоты, каналы. Более конкретно, настоящее изобретение относится к новым изделиям из композиционных материалов, имеющим полые внутренние проходы, каналы и камеры или иного рода полученные пустоты, и к составам и способам для их производства и применения. Указанные пустотные объекты подходят для различных вариантов применения в строительстве, дорожных работах и благоустройстве, и инфраструктуре.

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0003] Пустотные плиты, иногда называемые канальными плитами или пустотными настилами, представляют собой сборные бетонные плиты. Указанные плиты часто используют при строительстве зданий, например, в качестве полов, стен или крыш в многоэтажных зданиях. Сборная бетонная плита обычно содержит трубчатые пустоты, проходящие по всей длине плиты, что делает указанную плиту более легкой, чем монолитная плита настила равной толщины или прочности. Уменьшенная масса позволяет понизить затраты на материал и транспортные расходы.

[0004] Обычная плита имеет ширину примерно 120 см при стандартной толщине от 15 см до 50 см. Сборные бетонные двутавровые балки содержат между отверстиями стальные проволочные тросы, обеспечивающие сопротивления изгибу при воздействии изгибающего момента при нагрузках. Технологический процесс включает экструдирование влажного бетона вокруг предварительно напряженного стального проволочного троса, выходящего из движущейся пресс-формы. После отверждения неразрезную плиту разрезают согласно требуемым значениям длины и ширины. Стеновые пустотные панели также изготавливают в армированном железобетоне (предварительно не напряженном). Стеновые пустотные панели изготавливают без армирования.

[0005] Большинство пустотных плит, производимых в настоящее время, изготавливают из обычного бетона. По большей части существующие бетонные пустотные плиты являются эффективными и надежными для реализации намеченных целей. Однако бетонные пустотные объекты не являются оптимальными как с точки зрения экономики, так и воздействия на окружающую среду. Существующие технологии производства включают большое потребление энергии и большие выбросы диоксида углерода, что приводит к неблагоприятным углеродным отпечаткам.

[0006] Таким образом, существует постоянная потребность в новых пустотных объектах, которые получены из композиционных материалов, соответствующих или превосходящих физические и эксплуатационные характеристики обычных пустотных объектов, изготовленных с применением общепринятых бетонов, и которые можно производить серийно при более низкой стоимости и улучшенном энергопотреблении и с более предпочтительным углеродным следом.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0007] Настоящее изобретение частично основано на неожиданном обнаружении новых пустотных объектов, изготовленных из новых композиционных материалов, которые обладают отличными физическими и эксплуатационными характеристиками, соответствующими или превосходящими характеристики существующих бетонных пустотных объектов, включая прочность, гибкость, устойчивость к истиранию и долговечность.

[0008] Пустотные объекты согласно настоящему изобретению можно легко получить из широко доступных, недорогих сырьевых материалов способом, подходящим для крупномасштабного производства, при более низком энергопотреблении, что, соответственно, позволяет обеспечить требуемые углеродные отпечатки при минимальном воздействии на окружающую среду. Сырьевые материалы включают материалы-прекурсоры, такие как силикат кальция в виде частиц. Материал-прекурсор силиката кальция обычно содержит смесь дискретных фаз силиката кальция, выбранных из одной или более фаз из CS (волластонита или псевдоволластонита), C₃S₂ (ранкинита), C₂S (белита или ларнита или бредигита) и аморфной фазы на основе силиката кальция, составляющей примерно 30% или более от общего содержания фаз, где «C» относится к оксиду кальция или извести, при этом «S» относится к диоксиду кремния или кремнезему, вместе с некоторыми следовыми количествами примесей, которые становятся связывающими элементами, и материалы-наполнители в виде частиц (например, материал, содержащий оксид кальция, такой как известняк, ксонотлит, микрокремнезем и кварц, легкие заполнители, такие как перлит или вермикулит, или даже промышленные отходы, такие как летучая зола, зольный остаток и шлак). Кроме того, используют жидкий

компонент в качестве реакционной среды, содержащей жидкую воду и/или водяной пар и реагент, диоксид углерода (CO_2), который потребляется при производстве в качестве реакционноспособного соединения и в результате оказывается секвестрированным в конечном продукте. Связывающие элементы взаимодействуют при контролируемых температурах и давлениях либо посредством процесса гидратации, при котором происходит реакция между водой и водяным паром, либо при применении водяного пара и CO_2 .

[0009] В зависимости от требований конечного потребителя можно использовать различные другие добавки, такие как диспергирующие добавки, добавки, модифицирующие реологию (для улучшения консистенции смеси), красящие пигменты, замедлители и ускорители. Добавочные материалы могут включать природные или вторичные материалы, и материалы, обогащенные карбонатом кальция и карбонатом магния, а также добавки в жидкий компонент, такие как водорастворимый диспергатор.

[0010] Согласно одному аспекту настоящее изобретение, в общем, относится к изделию промышленного производства, содержащему основную часть, изготовленную из композиционного материала. Основная часть содержит один или более внутренних проходов или каналов, имеющих одну или более поверхностей, способных сообщаться посредством переноса текучей среды с наружной стороной основной части. Композиционный материал состоит из: множества связывающих элементов, при этом каждый связывающий элемент содержит: сердцевину, содержащую в основном силикат кальция, обогащенный диоксидом кремния первый или внутренний слой и обогащенный карбонатом кальция второй или внешний слой; и частиц наполнителя, содержащих крупнодисперсные частицы наполнителя и/или мелкодисперсные частицы наполнителя, при этом множество связывающих элементов и множество частиц наполнителя вместе образуют одну или более связующих матриц, при этом указанные связывающие элементы и частицы наполнителя по существу равномерно распределены в указанной матрице и соединены друг с другом.

[0011] Согласно другому аспекту настоящее изобретение, в общем, относится к способу получения изделия промышленного производства. Предложенный способ включает: смешивание композиции в виде частиц и жидкой композиции с получением смеси; введение арматурного элемента в смесь; отливку или экструдирование или иным образом формование смеси в пресс-форме с получением отлитой или экструдированной или иным образом формованной основной части, содержащей встроенный в нее арматурный элемент и один или более внутренних проходов или каналов в формованной основной части, имеющих одну или более поверхностей и способных сообщаться посредством переноса текучей среды с внутренней частью стенки основной части; поддержание атмосферы CO_2 и/или водяного пара в одном или более внутренних проходов или каналов; и отверждение отлитой или экструдированной основной части при температуре в

диапазоне от примерно 20°C до примерно 150°C в течение от примерно 1 часа до примерно 80 часов в атмосфере воды и/или CO₂, имеющей давление в диапазоне от атмосферного давления до давления на примерно 60 psi (примерно 414 кПа) выше давления окружающей среды и содержащей концентрацию CO₂ в диапазоне от примерно 10% до примерно 90%. Композиция в виде частиц включает размельченный силикат кальция, содержащий одно или более веществ, выбранных из природного или синтетического волластонита, псевдоволластонита, ранкинита, геленита, белита и алита, и имеющий средний размер частиц в диапазоне от примерно 1 мкм до примерно 100 мкм. Жидкая композиция содержит воду.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

[0012] Задачи и особенности настоящего изобретения могут быть лучше поняты со ссылкой на чертежи, описанные ниже, и формулу изобретения. Чертежи не обязательно выполнены в масштабе, вместо этого основной упор в целом сделан на иллюстрирование принципов изобретения. На чертежах для обозначения аналогичных деталей на разных изображениях используются одинаковые цифры.

[0013] Фиг. 1 представляет собой фазовую диаграмму давление-температура, на которой показаны фазы, участвующие в обратимой реакции $\text{CaCO}_3 + \text{SiO}_2 \leftrightarrow \text{CaSiO}_3$ (силикат кальция) + CO₂.

[0014] Фиг. 2 представляет собой фазовую диаграмму давление-температура, на которой показаны фазы, участвующие в обратимой реакции $3\text{CaCO}_3 + 2\text{CaSiO}_3 \leftrightarrow 2\text{Ca}_2\text{SiO}_4 + \text{CaCO}_3 + \text{CO}_2$.

[0015] Фиг. 3 представляет собой фазовую диаграмму системы CaO-SiO₂-CO₂ при давлении в 1 килобар.

[0016] Фиг. 4 представляет собой фазовую диаграмму давление-температура, на которой показаны фазы, участвующие в обратимой реакции $\text{MgO} + \text{CO}_2 \leftrightarrow \text{MgCO}_3$.

[0017] Фиг. 5 представляет собой фазовую диаграмму давление-температура, на которой показаны кривые равновесия для обратимой реакции $\text{MgO} + \text{CO}_2 \leftrightarrow \text{MgCO}_3$ как функции доли CO₂ в инертном газе.

[0018] Фиг. 6 представляет собой фазовую диаграмму температура-состав, которая иллюстрирует области стабильности для различных фаз в системе CaCO₃-MgCO₃.

[0019] Фиг. 7 представляет собой тетраэдрическую диаграмму, на которой показаны фазовые соотношения для соединений CaO, MgO, SiO₂ и CO₂ и показана область дефицита CO₂, расположенная ниже плоскостей Cc-Di-Wo и Cc-Wo-Mo (заштрихованы), где Cc обозначает кальцит, Wo обозначает волластонит, Ak обозначает акерманит, Di обозначает диопсид и Mo обозначает монтichelлит (CaMgSiO₄).

[0020] Фиг. 8 представляет собой фазовую диаграмму давление-температура, иллюстрирующую фазовые соотношения для соединений CaO , MgO , SiO_2 и CO_2 , при этом моновариантные кривые исходят из четвертичной инвариантной точки, включающей фазы кальцит (Cc), диопсид (Di), форстерит (Fo), монтичеллит (Mo), акерманит (Ak) и CO_2 . Врезка представляет собой фазовую диаграмму для систем из трех соединений CaCO_3 , MgO и SiO_2 .

[0021] Фиг. 9 представляет собой принципиальную схему камеры отверждения композиционного материала с помощью CO_2 , обеспечивающую увлажнение согласно принципам настоящего изобретения.

[0022] Фиг. 10 представляет собой принципиальную схему камеры отверждения, в которой используют несколько способов регулирования влажности, также выполненную с возможностью контролирования и пополнения CO_2 путем непрерывного регулирования расхода или давления, при этом в указанной камере температуру можно регулировать согласно принципам настоящего изобретения.

[0023] Фиг. 11(a)-11(c) представляют собой схематические изображения поперечных сечений связывающих элементов согласно типичным вариантам реализации настоящего изобретения, в том числе три типичные морфологии сердцевин: (a) волокнистую, (b) эллиптическую и (c) равноосную.

[0024] Фиг. 12(a)-12(f) представляют собой схематические изображения вида сбоку и видов в разрезе композиционных материалов согласно типичным вариантам реализации настоящего изобретения, на которых показаны (a) 1D ориентированные связывающие элементы в форме волокна в разбавленной связывающей матрице (связывающие элементы не соприкасаются), (b) 2D ориентированные связывающие элементы пластинчатой формы в разбавленной связывающей матрице (связывающие элементы не соприкасаются), (c) 3D ориентированные связывающие элементы пластинчатой формы в разбавленной связывающей матрице (связывающие элементы не соприкасаются) и (d) беспорядочно ориентированные связывающие элементы пластинчатой формы в разбавленной связывающей матрице (связывающие элементы не соприкасаются), при этом указанные композиционные материалы содержат связывающую матрицу и компоненты наполнителя, такие как полимеры, металлы, неорганические частицы, заполнители и т.п., (e) концентрированная связывающая матрица (с объемной долей, достаточной для создания сети с перколяцией) из связывающих элементов, при этом указанная матрица 3D ориентирована, и (f) концентрированная связывающая матрица (с объемной долей, достаточной для создания сети с перколяцией) из беспорядочно ориентированных связывающих элементов, в которую могут быть включены компоненты наполнителя, такие как полимеры, металлы, неорганические частицы, заполнители и т.п.

[0025] На фиг. 13 показана типичная пустотная плита, изготовленная согласно настоящему изобретению.

[0026] На **фиг. 14** изображен типичный вариант реализации настоящего изобретения, в котором газовый поток CO_2 и водяного пара можно регулировать, например, для генерирования колебаний в различных направлениях при прохождении через внутренние проходы или каналы и вокруг наружных поверхностей для создания усредненной по времени зеркальной симметрии по длине изделия при одновременном сохранении поперечной зеркальной симметрии. Указанные симметрии позволяют уменьшить влияние градиентов температуры и газового состава, которые возникают во время процесса отверждения.

[0027] На **фиг. 15** показана влажность в камере, измеренная на торцевых стенках с помощью датчиков Vaisala на протяжении всего процесса отверждения, а также общее количество сконденсированной воды, собранной во время указанного процесса.

[0028] На **фиг. 16** показана фотография отверждающего устройства для отверждения сухой пустотной отливки.

[0029] На **фиг. 17** показана пустотная отливка, которая была подвергнута отверждению в устройстве, показанном на **фиг. 16**.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ НАСТОЯЩЕГО ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0030] В настоящем изобретении предложены необычные пустотные объекты, обладающие отличными физическими и эксплуатационными характеристиками, соответствующими или превосходящими характеристики существующих бетонных пустотных объектов. Пустотные объекты согласно настоящему изобретению можно легко изготовить из широкодоступных, недорогих сырьевых материалов способом, подходящим для крупномасштабного производства, при улучшенном энергопотреблении, сокращенном производственном цикле (например, при меньшем времени отверждения) и при более желательном углеродном отпечатке. В способе производства согласно настоящему изобретению происходит потребление больших количеств CO_2 , в результате чего образуется продукт, содержащий секвестрированный CO_2 , что, тем самым, делает его углеродно-нейтральным и безвредным для окружающей среды. В настоящем документе пустотные объекты относятся к объектам и изделиям, которые имеют пустоты, каналы или иные углубления (например, для уменьшения диффузионных расстояний и облегчения отверждения).

[0031] Пустотные объекты согласно настоящему изобретению можно использовать в качестве различных строительных и конструктивных компонентов, в том числе, например, для изготовления настилов, крыш, стен, дверей, плит, мостов, рам, помостов, перегородок, облицовок, фундаментов, ограждений, звукозащитных барьеров, труб, дренажных труб, кабельных коллекторов, септических резервуаров, сухих колодцев и ливнестоков. Указанные объекты можно изготовить со встроенными арматурными элементами, которые

подвергались предварительному растяжению и/или последующему растяжению и/или предварительному напряжению, особенности, которые увеличивают допустимую нагрузку и долговечность пустотных изделий. Арматурные элементы могут представлять собой сплошные стержни, проволоки или тросы, выполненные из материалов с требуемыми характеристиками, например, из стали, полимерных материалов, стекла или их комбинации.

[0032] Ключевой особенностью пустотного изделия согласно настоящему изобретению является то, что пустота или канал или проход или незаполненное пространство образует стенки, толщины которых являются маленькими по сравнению с общими размерами изделия. Доступ отверждающей жидкости к обеим сторонам стенки значительно сокращает максимально расстояние, на которое должны диффундировать диоксид углерода и вода, чтобы воздействовать на отверждение. Кроме того, незаполненное пространство позволяет уменьшить общее применение материала и массу продукта, что приводит к экономии материалов и других сопутствующих расходов на транспортировку и установку.

[0033] Согласно одному аспекту настоящее изобретение, в общем, относится к изделию промышленного производства, содержащему основную часть, изготовленную из композиционного материала. Основная часть содержит один или более внутренних проходов или каналов, имеющих одну или более поверхностей, способных сообщаться посредством переноса текучей среды с наружной стороной основной части. Композиционный материал состоит из: множества связывающих элементов, при этом каждый связывающий элемент содержит: сердцевину, содержащую в основном силикат кальция, обогащенный диоксидом кремния первый или внутренний слой и обогащенный карбонатом кальция второй или внешний слой; и частиц наполнителя, содержащих крупнодисперсные частицы наполнителя и/или мелкодисперсные частицы наполнителя, при этом множество связывающих элементов и множество частиц наполнителя вместе образуют одну или более связующих матриц, при этом указанные связывающие элементы и частицы наполнителя по существу равномерно распределены в указанной матрице и соединены друг с другом.

[0034] Любую подходящую композицию силиката кальция можно использовать в качестве прекурсора связывающих элементов. В настоящем документе термин «композиция силиката кальция», в общем, относится к природным минералам или синтетическим материалам, которые состоят из одной или более группы фаз силиката кальция, в том числе CS (волластонит или псевдоволластонит и иногда выраженный формулой CaSiO_3 или $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), C_3S_2 (ранкинит и иногда выраженный формулой $\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7$ или $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2$), C2S (белит, $\beta\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$ или ларнит, $\beta\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$ или бредигит, $\alpha\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$ или $\gamma\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$ и иногда выраженный формулой Ca_2SiO_4 или $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), аморфную фазу на основе силиката кальция, при этом каждый из указанных материалов может включать один или более ионов и оксидов других металлов (например, оксиды алюминия, магния, железа

или марганца) или их смеси или может включать определенное количество силиката магния в природной или синтетической форме(ах) в диапазоне от следового количества (1%) до примерно 50% или более по массе.

[0035] Композиции силиката кальция могут содержать аморфные (некристаллические) фазы силиката кальция наряду с кристаллическими фазами, описанными выше. Аморфная фаза может дополнительно включать ионы Al, Fe и Mg и другие примесные ионы, присутствующие в сырьевых материалах. Композиции силиката кальция также могут включать небольшие количества остаточного CaO (извести) и SiO₂ (диоксида кремния). Кроме того, композиция силиката кальция может содержать небольшие количества C3S (алита, Ca₃SiO₅).

[0036] Композиции силиката кальция также могут содержать определенные количества инертных фаз, таких как минералы типа мелилита (мелилит или геленит или акерманит) с общей формулой (Ca,Na,K)₂[(Mg, Fe²⁺, Fe³⁺, Al, Si)₃O₇] и минералы типа феррита (феррит или браунмиллерит или C4AF) с общей формулой Ca₂(Al,Fe³⁺)₂O₅. Согласно некоторым вариантам реализации изобретения композиция силиката кальция состоит только из аморфных фаз. Согласно некоторым вариантам реализации изобретения силикат кальция состоит только из кристаллических фаз. Согласно некоторым вариантам реализации изобретения часть композиции силиката кальция присутствует в аморфной фазе и часть присутствует в кристаллической фазе.

[0037] Следует отметить, что композиции силиката кальция согласно настоящему изобретению предпочтительно не гидратируются. Однако могут присутствовать незначительные количества фаз силиката кальция, способных к гидратации (например, C2S, C3S и CaO). C2S проявляет медленную кинетику гидратации при воздействии водой и быстро превращается в CaCO₃ во время процессов отверждения с помощью CO₂. C3S и CaO быстро гидратируются при воздействии воды и, таким образом, их количество должно быть ограничено <5% по массе.

[0038] Согласно некоторым предпочтительным вариантам реализации изобретения молярное отношение элементарного Ca к элементарному Si в композиции силиката кальция составляет от примерно 0,80 до примерно 1,20. Согласно некоторым предпочтительным вариантам реализации изобретения молярное отношение Ca к Si в указанной композиции составляет от примерно 0,85 до примерно 1,15. Согласно некоторым предпочтительным вариантам реализации изобретения молярное отношение Ca к Si в указанной композиции составляет от примерно 0,90 до примерно 1,10. Согласно некоторым предпочтительным вариантам реализации изобретения молярное отношение Ca к Si в указанной композиции составляет от примерно 0,95 до примерно 1,05. Согласно некоторым предпочтительным вариантам реализации изобретения молярное отношение Ca к Si в указанной композиции составляет от примерно 0,98 до примерно 1,02. Согласно некоторым

предпочтительным вариантам реализации изобретения молярное отношение Ca к Si в указанной композиции составляет от примерно 0,99 до примерно 1,01.

[0039] Оксиды металлов Al, Fe и Mg, содержащиеся в композиции силиката кальция, обычно регулируют таким образом, чтобы их содержание составляло менее примерно 30%. Согласно некоторым предпочтительным вариантам реализации изобретения композиция содержит примерно 20% или менее оксидов металлов Al, Fe и Mg в расчете на общую массу оксидов. Согласно некоторым предпочтительным вариантам реализации изобретения композиция содержит примерно 15% или менее оксидов металлов Al, Fe и Mg в расчете на общую массу оксидов. Согласно некоторым предпочтительным вариантам реализации изобретения композиция содержит примерно 12% или менее оксидов металлов Al, Fe и Mg в расчете на общую массу оксидов. Согласно некоторым предпочтительным вариантам реализации изобретения композиция содержит примерно 10% или менее оксидов металлов Al, Fe и Mg в расчете на общую массу оксидов. Согласно некоторым предпочтительным вариантам реализации изобретения композиция содержит примерно 5% или менее оксидов металлов Al, Fe и Mg в расчете на общую массу оксидов.

[0040] Любая из указанных фаз силиката кальция подходит для карбонизации с помощью CO₂. Далее дискретные фазы силиката кальция, подходящие для карбонизации, будут называть реакционноспособными фазами.

[0041] Различные реакционноспособные фазы могут составлять любые подходящие доли относительно всех реакционноспособных фаз. Согласно некоторым предпочтительным вариантам реализации изобретения реакционноспособные фазы CS присутствуют в количестве от примерно 10 до примерно 60 % масс. (например, от примерно 15 % масс. до примерно 60 % масс., от примерно 20 % масс. до примерно 60 % масс., от примерно 25 % масс. до примерно 60 % масс., от примерно 30 % масс. до примерно 60 % масс., от примерно 35 % масс. до примерно 60 % масс., от примерно 40 % масс. до примерно 60 % масс., от примерно 10 % масс. до примерно 50 % масс., от примерно 10 % масс. до примерно 40 % масс., от примерно 10 % масс. до примерно 30 % масс., от примерно 10 % масс. до примерно 25 % масс., от примерно 10 % масс. до примерно 20 % масс.); C3S2 присутствуют в количестве от примерно 5 до 50 % масс. (например, от примерно 10 % масс. до 50 % масс., от примерно 15 % масс. до 50 % масс., от примерно 20 % масс. до 50 % масс., от примерно 30 % масс. до 50 % масс., от примерно 40 % масс. до 50 % масс., от примерно 5 % масс. до 40 % масс., от примерно 5 % масс. до 30 % масс., от примерно 5 % масс. до 25 % масс., от примерно 5 % масс. до 20 % масс., от примерно 5 % масс. до 15 % масс.); и C2S присутствуют в количестве от примерно 5 % масс. до 60 % масс. (например, от примерно 10 % масс. до примерно 60 % масс., от примерно 20 % масс. до примерно 60 % масс., от примерно 25 % масс. до примерно 60 % масс., от примерно 30 % масс. до примерно 60 % масс., от примерно 35 % масс. до примерно 60 % масс., от примерно 40 % масс. до примерно 60 % масс., от примерно 5 % масс. до примерно 50 %

масс., от примерно 5 % масс. до примерно 40 % масс., от примерно 5 % масс. до примерно 30 % масс., от примерно 5 % масс. до примерно 25 % масс., от примерно 5 % масс. до примерно 20 % масс., от примерно 5 % масс. до примерно 20 % масс.) и С присутствуют в количестве от примерно 0 % масс. до 3 % масс. (например, 0 % масс., 1 % масс. или менее, 2 % масс. или менее, 3 % масс. или менее, от примерно 1 % масс. до 2 % масс., от примерно 1 % масс. до 3 % масс., от примерно 2 % масс. до 3 % масс.).

[0042] Согласно некоторым вариантам реализации изобретения реакционноспособные фазы содержат аморфную фазу на основе силиката кальция, например, в количестве примерно 40% или более (например, примерно 45% или более, примерно 50% или более, примерно 55% или более, примерно 60% или более, примерно 65% или более, примерно 70% или более, примерно 75% или более, примерно 80% или более, примерно 85% или более, примерно 90% или более, примерно 95% или более) по массе относительно общего количества фаз. Следует отметить, что аморфная фаза может дополнительно содержать примесные ионы, присутствующие в сырьевых материалах.

[0043] Композиции силиката кальция согласно настоящему изобретению подходят для карбонизации с помощью CO_2 . В частности, композиция силиката кальция подходит для карбонизации с помощью CO_2 при температуре от примерно 30 °C до примерно 90 °C с получением CaCO_3 при приросте массы примерно 20% или более. Прирост массы отражает фактическое секвестирование CO_2 в карбонизированных продуктах. Согласно некоторым предпочтительным вариантам реализации изобретения указанная композиция подходит для карбонизации с помощью CO_2 при температуре от примерно 30 °C до примерно 90 °C (например, от примерно 40 °C до примерно 90 °C, от примерно 50 °C до примерно 90 °C, от примерно 60 °C до примерно 90 °C, от примерно 30 °C до примерно 80 °C, от примерно 30 °C до примерно 70 °C, от примерно 30 °C до примерно 60 °C, от примерно 40 °C до примерно 80 °C, от примерно 40 °C до примерно 70 °C, от примерно 40 °C до примерно 60 °C) с получением CaCO_3 при приросте массы 10% или более (например, 15% или более, 20% или более, 25% или более, 30% или более).

[0044] Композиции прекурсора силиката кальция обычно используют в порошковой форме, средний размер частиц (d_{50}) в которой составляет от примерно 8 мкм до примерно 25 мкм, при этом 10% частиц (d_{10}) имеют размеры ниже от примерно 0,1 мкм до примерно 3 мкм и 90% частиц (d_{90}) имеют размеры выше от примерно 35 мкм до примерно 100 мкм.

[0045] Согласно некоторым вариантам реализации изобретения отношение $d_{90} : d_{10}$ выбирают таким образом, чтобы обеспечить улучшенный расход порошка или пониженное водопотребление, необходимое для отливки. Согласно некоторым вариантам реализации изобретения отношение $d_{50} : d_{10}$ выбирают таким образом, чтобы обеспечить улучшенную реакционную способность, улучшенное заполнение или пониженное водопотребление, необходимое для отливки. Согласно некоторым вариантам реализации изобретения отношение $d_{90} : d_{50}$ выбирают таким образом, чтобы обеспечить улучшенную

реакционную способность, улучшенное заполнение или пониженное водопотребление, необходимое для отливки.

[0046] Можно использовать любые подходящие частицы наполнителя, например, материалы, содержащие оксид кальция или диоксид кремния. Типичные частицы наполнителя включают известь, кварц (в том числе, песок), волластонит, ксонотлит, обожженные нефтяные сланцы, летучую золу или вулканический пепел, пылеунос из обжиговых печей, размельченную глину, порошкообразную пемзу. Кроме того, в качестве наполнителей можно использовать такие материалы, как промышленные отходы (например, летучую золу, шлак, тонкую кремнеземную пыль). Согласно некоторым предпочтительным вариантам реализации изобретения в качестве наполнителей также можно использовать легкие заполнители, такие как перлит или вермикулит. Согласно некоторым предпочтительным вариантам реализации изобретения частицы наполнителя изготавливают из материала, обогащенного оксидом кальция, такого как размельченная известь.

[0047] Частицы наполнителя содержат оксид кальция или диоксид кремния и имеют размер частиц (d_{50}) в диапазоне от примерно 0,25 мкм до примерно 200 мкм (например, от примерно 0,25 мкм до примерно 150 мкм, от примерно 0,25 мкм до примерно 100 мкм, от примерно 0,25 мкм до примерно 50 мкм, от примерно 0,25 мкм до примерно 20 мкм, от примерно 0,25 мкм до примерно 10 мкм, от примерно 0,5 мкм до примерно 200 мкм, от примерно 1 мкм до примерно 200 мкм, от примерно 5 мкм до примерно 200 мкм, от примерно 10 мкм до примерно 200 мкм, от примерно 20 мкм до примерно 200 мкм, от примерно 50 мкм до примерно 200 мкм).

[0048] Согласно некоторым вариантам реализации изобретения частицы наполнителя выбирают из летучей золы, зольного остатка, шлака с размерами частиц в диапазоне от примерно 0,5 мкм до примерно 300 мкм (например, от примерно 1 мкм до примерно 300 мкм, от примерно 5 мкм до примерно 300 мкм, от примерно 10 мкм до примерно 300 мкм, от примерно 50 мкм до примерно 300 мкм, от примерно 100 мкм до примерно 300 мкм, от примерно 0,5 мкм до примерно 200 мкм, от примерно 0,5 мкм до примерно 100 мкм, от примерно 0,5 мкм до примерно 50 мкм, от примерно 0,5 мкм до примерно 20 мкм, от примерно 0,5 мкм до примерно 10 мкм, от примерно 0,5 мкм до примерно 5 мкм).

[0049] Согласно некоторым вариантам реализации изобретения частицы наполнителя выбирают из известняка, микрокремнезема и кварца с размерами частиц в диапазоне от примерно 1 мкм до примерно 500 мкм (например, от примерно 1 мкм до примерно 400 мкм, от примерно 1 мкм до примерно 300 мкм, от примерно 1 мкм до примерно 200 мкм, от примерно 1 мкм до примерно 100 мкм, от примерно 1 мкм до примерно 50 мкм, от примерно 1 мкм до примерно 30 мкм, от примерно 5 мкм до примерно 500 мкм, от примерно 10 мкм до примерно 500 мкм, от примерно 20 мкм до примерно 500 мкм, от примерно 50 мкм до

примерно 500 мкм, от примерно 100 мкм до примерно 500 мкм, от примерно 200 мкм до примерно 500 мкм).

[0050] Согласно некоторым вариантам реализации изобретения частицы наполнителя выбирают из легких заполнителей с размерами частиц в диапазоне от примерно 20 мкм до примерно 500 мкм (например, от примерно 20 мкм до примерно 400 мкм, от примерно 20 мкм до примерно 300 мкм, от примерно 20 мкм до примерно 200 мкм, от примерно 20 мкм до примерно 100 мкм, от примерно 50 мкм до примерно 500 мкм, от примерно 100 мкм до примерно 500 мкм, от примерно 200 мкм до примерно 500 мкм, от примерно 300 мкм до примерно 500 мкм).

[0051] Согласно некоторым вариантам реализации изобретения добавку для регулирования схватывания выбирают из глюконата и сахарозы. Согласно некоторым вариантам реализации изобретения диспергирующий агент/агент, модифицирующий вязкость, представляет собой материал на основе поликарбоксилата.

[0052] Согласно типичным вариантам реализации изобретения размельченный силикат кальция представляет собой размельченный волластонит, частицы наполнителя содержат размельченный известняк и диоксид кремния, активирующий агент представляет собой размельченную известь, добавка для регулирования схватывания представляет собой глюконат, агент, модифицирующий вязкость, представляет собой материал на основе поликарбоксилата и вентилирующий агент представляет собой пасту из алюминиевой пудры.

[0053] Следует понимать, что композиции силиката кальция, фазы и способы, описанные в настоящем документе, можно адаптировать для применения фаз силиката магния вместо фаз силиката кальция или наряду с ними. В настоящем документе термин «силикат магния» относится к природным минералам или синтетическим материалам, состоящим из одной или более из групп соединений, содержащих магний и кремний, включая, например, Mg_2SiO_4 (также известный как «форстерит») и $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ (также известный как «талек»), при этом указанный материал может содержать один или более ионов и оксидов других металлов (например, оксидов кальция, алюминия, железа или марганца) или их смеси, или может содержать определенное количество силиката кальция в природной или синтетической форме(ах) в диапазоне от следового количества (1%) до примерно 50% или более по массе.

[0054] Пустотные изделия согласно настоящему изобретению можно изготовить таким образом, чтобы они имели различные размеры и габариты. После экструзии типичная пустотная плита может иметь длину от 300 (примерно 91 м) до 500 футов (примерно 152 м), длину даже до 1000 футов (примерно 305 м) и ширину 4 фута (примерно 1,2 м) перед разрезанием на куски с меньшими длинами, непосредственно применяемые при строительстве сооружений. Прямоугольная водопропускная труба из сборного бетона может составлять до 2 футов (примерно 0,6 м) на 3 фута (примерно 0,9 м) или вплоть до

12 футов (примерно 3,7 м) на 12 футов (примерно 3,7 м). Толщины стенок прямоугольной водопропускной трубы варьируют от 4 дюймов (10,16 см) до 12 дюймов (30,48 см). Труба из сборного бетона может составлять до 1 фута (примерно 0,3 м) в диаметре при толщине стенки 2 дюйма (5,08 см) и до 9 футов (примерно 2,7 м) в диаметре при толщине стенки 10 дюймов (25,4 см).

[0055] Наличие одной или более пустот или каналов, проходов или незаполненных пространств является важной особенностью и влияет на общие характеристики и эксплуатационные качества пустотного изделия, в том числе, на общую массу, механические свойства и функциональные возможности. Пустотные изделия могут иметь от примерно 1 до примерно 10 или более (например, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10) проходов или каналов, при необходимости. Проходы или каналы могут принимать различные формы (например, круглую, овальную, многоугольную, прямоугольную или квадратную). Количество, форма, размер и конфигурация проходов и каналов будут влиять на различные механические свойства пустотных изделий. Как более подробно описано в настоящем документе, количество, форму, размер и конфигурацию проходов и каналов также можно использовать для обеспечения преимуществ производства, например, для ускорения процесса отверждения и достижения более равномерного отверждения.

[0056] Проходы или каналы могут составлять любую подходящую долю от общего объема пустотного изделия в зависимости от требуемых свойств и предстоящих вариантов применения, например, от примерно 5 % об. до примерно 95 % об. (например, от примерно 10 % об. до примерно 95 % об., от примерно 20 % об. до примерно 95 % об., от примерно 30 % об. до примерно 95 % об., от примерно 50 % об. до примерно 95 % об., от примерно 70 % об. до примерно 95 % об., от примерно 5 % об. до примерно 90 % об., от примерно 5 % об. до примерно 70 % об., от примерно 5 % об. до примерно 50 % об., от примерно 5 % об. до примерно 30 % об., от примерно 5 % об. до примерно 20 % об.) от общего объема пустотного изделия.

[0057] Согласно некоторым предпочтительным вариантам реализации изобретения в изделие вставляют один или более арматурных элементов, встроенных в основную часть. Один или более арматурных элементов могут представлять собой стержни, проволоки или тросы или их комбинации. Согласно некоторым вариантам реализации изобретения один или более арматурных стержней выполнены из железа, стали, полимерных материалов, стекла или их комбинации. Согласно некоторым предпочтительным вариантам реализации изобретения один или более арматурных элементов являются предварительно напряженными.

[0058] Арматурные элементы могут представлять собой сплошные стержни, проволоки или тросы. Арматурные элементы могут иметь любые подходящие физические размеры, например, указанные элементы в виде сплошного стержня имеют диаметр поперечного сечения от примерно ¼ дюйма (0,635 см) до примерно 3 дюймов (7,62 см) (например, от

примерно $\frac{1}{4}$ дюйма (0,635 см) до примерно 2 и $\frac{1}{2}$ дюймов (6,35 см), от примерно $\frac{1}{4}$ дюйма (0,635 см) до примерно 2 дюймов (5,08 см), от примерно $\frac{1}{4}$ дюйма (0,635 см) до примерно 1 и $\frac{1}{2}$ дюймов (3,81 см), от примерно $\frac{1}{4}$ дюйма (0,635 см) до примерно 1 дюйма (2,54 см), от примерно $\frac{1}{2}$ дюйма (1,27 см) до примерно 3 дюймов (7,62 см), от примерно 1 дюйма (2,54 см) до примерно 3 дюймов (7,62 см), от примерно 1 и $\frac{1}{2}$ дюйма (3,81 см) до примерно 3 дюймов (7,62 см), от примерно 2 дюймов (5,08 см) до примерно 3 дюймов (7,62 см)) и длину до примерно 40 футов (примерно 12 м) или более (например, примерно 50 футов (примерно 15 м), примерно 80 футов (примерно 24 м), примерно 100 футов (примерно 30 м) или более), указанные элементы в виде гибкого троса имеют диаметр поперечного сечения от примерно $\frac{1}{4}$ дюйма (0,635 см) до 4 дюймов (10,16 см) (например, от примерно $\frac{1}{4}$ дюйма (0,635 см) до примерно 3 и $\frac{1}{2}$ дюймов (8,89 см), от примерно $\frac{1}{4}$ дюйма (0,635 см) до примерно 3 дюймов (7,62 см), от примерно $\frac{1}{4}$ дюйма (0,635 см) до примерно 2 и $\frac{1}{2}$ дюймов (6,35 см), от примерно $\frac{1}{4}$ дюйма (0,635 см) до примерно 2 дюймов (5,08 см), от примерно $\frac{1}{4}$ дюйма (0,635 см) до примерно 1 дюйма (2,54 см), от примерно $\frac{1}{2}$ дюйма (1,27 см) до примерно 4 дюймов (10,16 см), от примерно 1 дюйма (2,54 см) до примерно 4 дюймов (10,16 см), от примерно 1 и $\frac{1}{2}$ дюймов (3,81 см) до примерно 4 дюймов (10,16 см), от примерно 2 дюймов (5,08 см) до примерно 4 дюймов (10,16 см), от примерно 3 дюймов (7,62 см) до примерно 4 дюймов (10,16 см)) и длину до примерно 100 футов (примерно 30 м) или более (например, примерно 120 футов (примерно 37 м), примерно 150 футов (примерно 46 м), примерно 200 футов (примерно 61 м) или более).

[0059] Трос может представлять собой множество проволок или нитей, связанных вместе. Арматурные элементы могут быть выполнены из материалов с требуемыми характеристиками, например, из железа, стали, полимерных материалов, стекла или их комбинации. Согласно некоторым предпочтительным вариантам реализации изобретения арматурные элементы представляют собой стальные стержни. Согласно некоторым предпочтительным вариантам реализации изобретения арматурные элементы представляют собой стальные тросы. Согласно некоторым предпочтительным вариантам реализации изобретения арматурные элементы представляют собой стальные проволоки.

[0060] В композиционный материал также можно вводить химические добавки; например, пластификаторы, замедлители, ускорители, диспергаторы и другие агенты, модифицирующие реологию. Кроме того, могут быть включены некоторые коммерчески доступные химические добавки, такие как Glenium™ 7500 от компании BASF® Chemicals и Acumer™ от компании Dow Chemical Company. Согласно некоторым вариантам реализации изобретения один или более пигментов можно равномерно диспергировать или по существу неравномерно диспергировать в связующих матрицах в зависимости от требуемого композиционного материала. Пигмент может представлять собой любой подходящий пигмент, в том числе, например, оксиды различных металлов (например, черный оксид железа, оксид кобальта и оксид хрома). Пигмент может иметь любой цвет

или цвета, например, выбранные из черного, белого, синего, серого, розового, зеленого, красного, желтого и коричневого. Пигмент может присутствовать в любом подходящем количестве в зависимости от требуемого композиционного материала, например, в количестве от примерно 0,0% до примерно 10% по массе.

[0061] Согласно некоторым вариантам реализации изобретения пигмент может быть равномерно диспергирован или по существу неравномерно диспергирован в связующих матрицах в зависимости от требуемого композиционного материала. Пигмент может представлять собой любой подходящий пигмент, в том числе, например, оксиды различных металлов (например, черный оксид железа, оксид кобальта и оксид хрома). Пигмент может иметь любой цвет или цвета, например, выбранные из черного, белого, синего, серого, розового, зеленого, красного, желтого и коричневого. Пигмент может присутствовать в любом подходящем количестве в зависимости от требуемого композиционного материала, например, в количестве от примерно 0,0% до примерно 10% по массе (например, от примерно 0,0% до примерно 8%, от примерно 0,0% до примерно 6%, от примерно 0,0% до примерно 5%, от примерно 0,0% до примерно 4%, от примерно 0,0% до примерно 3%, от примерно 0,0% до примерно 2%, от примерно 0,0% до примерно 1%, от примерно 0,0% до примерно 0,5%, от примерно 0,0% до примерно 0,3%, от примерно 0,0% до примерно 2%, от примерно 0,0% до примерно 0,1%).

[0062] Согласно другому аспекту настоящее изобретение, в общем, относится к способу получения изделия промышленного производства. Предложенный способ включает: смешивание композиции в виде частиц и жидкой композиции с получением смеси; введение арматурного элемента в смесь; отливку или экструдирование или иным образом формование смеси в пресс-форме с получением отлитой или экструдированной или иным образом формованной основной части, содержащей встроенный в нее арматурный элемент и один или более внутренних проходов или каналов в формованной основной части, имеющих одну или более поверхностей и способных сообщаться посредством переноса текучей среды с внутренней частью стенки основной части; поддержание атмосферы CO_2 и/или водяного пара в одном или более внутренних проходов или каналов; и отверждение отлитой или экструдированной основной части при температуре в диапазоне от примерно 20°C до примерно 150°C в течение от примерно 1 часа до примерно 80 часов в атмосфере воды и/или CO_2 , имеющей давление в диапазоне от атмосферного давления до давления на примерно 60 psi (примерно 413 кПа) выше давления окружающей среды и содержащей концентрацию CO_2 в диапазоне от примерно 10% до примерно 90%. Композиция в виде частиц содержит размельченный силикат кальция, содержащий одно или более веществ, выбранных из синтетического волластонита, псевдоволластонита, ранкинита, геленита, белита и алита, и имеющий средний размер частиц в диапазоне от примерно 1 мкм до примерно 100 мкм. Жидкая композиция содержит воду.

[0063] Согласно некоторым предпочтительным вариантам реализации изобретения стадия получения смеси включает/предусматривает смешивание заполнителей, песка, силиката кальция и воды в смесителе. Указанный смеситель может представлять собой смеситель любого типа, обычно применяемый при смешивании обыкновенного бетона. Тщательно перемешивают заполнители, песок и количество воды, достаточное для небольшого увлажнения твердой фазы. Далее к полученной партии добавляют силикат кальция вместе с оставшейся водой и любыми добавками. Смесь тщательно перемешивают и регулируют количество воды для обеспечения требуемого уровня влажности.

[0064] Согласно некоторым предпочтительным вариантам реализации изобретения стадия отливки или экструдирования суспензионной смеси в пресс-форме, выполненной с возможностью получения отлитой или экструдированной или иным образом формованной основной части, имеющей один или более внутренних проходов или каналов, включает/предусматривает выливание смеси в пресс-форму или экструзионную машину. Например, в случае изготовления отливки смесь можно подвергнуть вибрации посредством вибрирования пресс-формы или путем вставления вибрирующих стержней в смесь внутри пресс-формы для облегчения удаления захваченного воздуха и содействия перераспределению частиц для загущения смеси. В случае экструзии экструдер может быть неподвижным или подвижным. Неподвижный экструдер проталкивает смесь через каналы, которые придают смеси требуемую форму и способствуют перераспределению частиц для уплотнения изделия. Изделие выталкивают из головки внутри экструдера, после чего его можно разрезать на куски требуемой длины и складировать для отверждения. Подвижный экструдер толкает смесь к неподвижному упору и через каналы, которые придают смеси требуемую форму. При проталкивании смеси к неподвижному упору давление внутри смеси увеличивается, частицы перегруппируются и смесь уплотняется. По мере экструдирования все большего количества материала уплотненная смесь толкает экструдер вдоль экструзионного основания.

[0065] Согласно некоторым предпочтительным вариантам реализации изобретения стадия поддержания атмосферы CO_2 и водяного пара в одном или более внутренних проходов или каналов включает/предусматривает содержание атмосферы внутри проходов или каналов и/или вокруг наружной стороны изделия; циркуляцию содержащейся атмосферы CO_2 и/или водяного пара; удаление или введение водяного пара в содержащуюся атмосферу или из содержащейся атмосферы; и нагревание содержащейся атмосферы. Для обеспечения быстрого и/или равномерного отверждения количество, форму, размер и конфигурацию проходов и каналов можно спроектировать таким образом, чтобы увеличить площадь контакта CO_2 и водяного пара со стенкой экструдированной основной части. Как правило, по мере протекания отверждения внутри содержащейся атмосферы и внутри самого изделия будут развиваться градиенты температуры и

концентрации. Указанные градиенты можно обнаружить и регулировать для обеспечения равномерного отверждения изделия. Например, можно регулировать расход CO_2 и водяного пара таким образом, чтобы генерировать колебания в противоположных направлениях для реверсирования градиентов при прохождении через внутренние проходы или каналы и за пределы наружной стороны изделия с тем, чтобы усреднить влияние градиентов температуры и концентрации на протяжении всего периода отверждения.

[0066] Согласно некоторым предпочтительным вариантам реализации изобретения стадия отверждения отливой или экструдированной основной части включает/предусматривает приведение изделия в контакт с атмосферой CO_2 и/или водяного пара в течение определенного периода времени.

[0067] Температуру и время отверждения можно корректировать в зависимости от требуемого готового продукта, например, установить температуру в диапазоне от примерно 20°C до примерно 150°C (например, от примерно 20°C до примерно 140°C , от примерно 20°C до примерно 120°C , от примерно 20°C до примерно 100°C , от примерно 20°C до примерно 90°C , от примерно 20°C до примерно 80°C , от примерно 20°C до примерно 70°C , от примерно 20°C до примерно 60°C , от примерно 30°C до примерно 100°C , от примерно 30°C до примерно 90°C , от примерно 30°C до примерно 80°C , от примерно 30°C до примерно 70°C , от примерно 30°C до примерно 60°C) в течение от примерно 1 часа до примерно 80 часов (например, в течение от примерно 1 часа до примерно 70 часов, в течение от примерно 1 часа до примерно 60 часов, в течение от примерно 6 часов до примерно 80 часов, в течение от примерно 6 часов до примерно 70 часов, в течение от примерно 6 часов до примерно 60 часов, в течение от примерно 10 часов до примерно 80 часов, в течение от примерно 10 часов до примерно 70 часов, в течение от примерно 10 часов до примерно 60 часов, в течение от примерно 15 часов до примерно 60 часов, в течение от примерно 15 часов до примерно 50 часов, в течение от примерно 20 часов) в атмосфере воды и CO_2 .

[0068] Относительную влажность в среде, в которой протекает процесс отверждения, можно корректировать таким образом, чтобы соответствовать требуемому результату, например, относительную влажность можно установить в диапазоне от примерно 10% до примерно 98% (например, от примерно 20% до примерно 98%, от примерно 30% до примерно 98%, от примерно 50% до примерно 98%, от примерно 80% до примерно 98%, от примерно 90% до примерно 98%, от примерно 10% до примерно 90%, от примерно 10% до примерно 70%, от примерно 10% до примерно 50%, от примерно 10% до примерно 40%, от примерно 10% до примерно 30%, от примерно 10% до примерно 20%) при давлении CO_2 в диапазоне от примерно атмосферного давления до давления примерно на 100 psi (примерно 690 кПа) выше атмосферного давления (например, от примерно атмосферного давления до давления примерно на 90 psi (примерно 621 кПа) выше давления окружающей

среды, от примерно атмосферного давления до давления примерно на 80 psi (примерно 552 кПа) выше давления окружающей среды, от примерно атмосферного давления до давления примерно на 70 psi (примерно 483 кПа) выше давления окружающей среды, от примерно атмосферного давления до давления примерно на 60 psi (примерно 413 кПа) выше давления окружающей среды, от давления примерно на 20 psi (примерно 138 кПа) выше давления окружающей среды до давления примерно на 100 psi (примерно 690 кПа) выше давления окружающей среды, от давления примерно на 30 psi (примерно 207 кПа) выше давления окружающей среды до давления примерно на 100 psi (примерно 690 кПа) выше давления окружающей среды) при концентрации CO_2 в диапазоне от примерно 10% до примерно 90% и выше (например, от примерно 20% до примерно 90%, от примерно 30% до примерно 90%, от примерно 40% до примерно 90%, от примерно 10% до примерно 70%, от примерно 10% до примерно 50%) с получением композиционного материала, проявляющего равномерную, однородную и пористую структуру.

[0069] При типичных способах производства, например, согласно некоторым вариантам реализации изобретения, применяемые материалы представляют собой размельченный силикат кальция.

[0070] Средний размер частиц размельченного силиката кальция может составлять от примерно 1 мкм до примерно 100 мкм (например, от примерно 1 мкм до примерно 80 мкм, от примерно 1 мкм до примерно 60 мкм, от примерно 1 мкм до примерно 50 мкм, от примерно 1 мкм до примерно 40 мкм, от примерно 1 мкм до примерно 30 мкм, от примерно 1 мкм до примерно 20 мкм, от примерно 1 мкм до примерно 10 мкм, от примерно 5 мкм до примерно 90 мкм, от примерно 5 мкм до примерно 80 мкм, от примерно 5 мкм до примерно 70 мкм, от примерно 5 мкм до примерно 60 мкм, от примерно 5 мкм до примерно 50 мкм, от примерно 5 мкм до примерно 40 мкм, от примерно 10 мкм до примерно 80 мкм, от примерно 10 мкм до примерно 70 мкм, от примерно 10 мкм до примерно 60 мкм, от примерно 10 мкм до примерно 50 мкм, от примерно 10 мкм до примерно 40 мкм, от примерно 10 мкм до примерно 30 мкм, от примерно 10 мкм до примерно 20 мкм, примерно 1 мкм, 10 мкм, 15 мкм, 20 мкм, 25 мкм, 30 мкм, 40 мкм, 50 мкм, 60 мкм, 70 мкм, 80 мкм, 90 мкм, 100 мкм), объемная плотность может составлять от примерно 0,5 г/мл до примерно 3,5 г/мл (в рыхлом состоянии, например, 0,5 г/мл, 1,0 г/мл, 1,5 г/мл, 2,0 г/мл, 2,5 г/мл, 2,8 г/мл, 3,0 г/мл, 3,5 г/мл) и от примерно 1,0 г/мл до примерно 1,2 г/мл (после уплотнения путем постукивания), площадь поверхности может составлять от примерно 1,5 м²/г до примерно 3,5 м²/г (например, 1,5 м²/г, 2,0 м²/г, 2,3 м²/г, 2,5 м²/г, 2,8 м²/г, 3,0 м²/г, 3,2 м²/г, 3,5 м²/г).

[0071] Согласно некоторым предпочтительным вариантам реализации изобретения композиция в виде частиц содержит от примерно 10 % масс. до примерно 95 % масс. материалов размельченного силиката кальция (например, от примерно 20 % масс. до примерно 95 % масс., от примерно 30 % масс. до примерно 95 % масс., от примерно 50 % масс. до примерно 95 % масс., от примерно 60 % масс. до примерно 95 % масс., от

примерно 20 % масс. до примерно 90 % масс., от примерно 20 % масс. до примерно 80 % масс., от примерно 20 % масс. до примерно 70 % масс., от примерно 30 % масс. до примерно 80 % масс., от примерно 50 % масс. до примерно 80 % масс.).

[0072] Таким образом, для обеспечения требуемого производственного процесса можно разработать различные комбинации условий отверждения, в том числе различные температуры реакции, давления и продолжительности реакции. Согласно первому типичному варианту реализации изобретения воду в жидкой форме вместе с газообразным CO_2 направляют в изделие, которое было предварительно высушено в сушильной печи, и осуществляют процесс отверждения при примерно 90°C и примерно 20 psig (примерно 138 кПа изб.) (т.е., при давлении на 20 psi (примерно 138 кПа) выше давления окружающей среды) в течение примерно 48 часов. Согласно второму типичному варианту реализации изобретения в материале-прекурсоре присутствует вода (например, в виде остаточной воды от предыдущей стадии смешивания) и газообразный CO_2 направляют в изделие и осуществляют процесс отверждения при примерно 60°C и 0 psig (0 кПа изб.) (при атмосферном давлении) в течение примерно 19 часов. Согласно третьему типичному варианту реализации изобретения воду направляют в изделие в форме пара вместе с CO_2 и осуществляют процесс отверждения при примерно 90°C и 20 psig (примерно 138 кПа изб.) (давлении на 20 psi (примерно 138 кПа) выше атмосферного давления) в течение примерно 19 часов.

[0073] Следует отметить, что свойства, время производства и размеры изделия можно точно регулировать на основе описания, приведенного в настоящем документе, например, путем корректировки технологии отверждения (например, подачи CO_2 , давления и температуры системы), а также количественных соотношений и компонентов смеси.

[0074] Наряду с применяемыми материалами и технологическим процессом, предлагающим выгодные экологические и экономические преимущества, пустотные изделия согласно настоящему изобретению обеспечивают ряд преимуществ в отношении эксплуатационных качеств по сравнению с пустотными продуктами, выполненными из обычного бетона, например, превосходные стабильные свойства можно обеспечить за гораздо более короткое время, чем в случае изделий из сборного бетона, изготовленных с применением обычного портландцемента.

Связывающие элементы, связующие матрицы и композиционные материалы

Обсуждение с химической точки зрения

[0075] В настоящем изобретении предложено устройство и способы, применяемые для производства новых композиционных материалов, которые отверждаются преимущественно посредством реакции поглощения CO_2 . Такие материалы обладают полезными свойствами и могут быть легко получены из широкодоступных недорогих

материалов-прекурсоров способом, подходящим для крупномасштабного производства, при минимальном воздействии на окружающую среду. Материалы-прекурсоры включают недорогие и широко распространенные композиции, обогащенные силикатом кальция, мелкодисперсные частицы и крупнодисперсные частицы. Композиции силиката кальция могут состоять из размельченного продукта, содержащего различные фазы силиката кальция (в том числе, например, CS, C3S2, C2S и аморфную фазу на основе силиката кальция). Мелкодисперсные и крупнодисперсные частицы могут состоять из размельченного известняка или других материалов на основе карбоната кальция, размельченного кварца или других материалов на основе SiO₂, песка и раздробленной породы. Мелкодисперсные и крупнодисперсные частицы также могут состоять из раздробленных минералов, таких как гранит, слюда и полевой шпат. Другие технологические компоненты включают воду и CO₂. Для модификации и тонкого регулирования внешнего вида и/или механических свойств полученного композиционного материала можно использовать различные добавки, такие как добавки, выбранные из одного или более пигментов (например, черного оксида железа, оксида кобальта и оксида хрома), цветного стекла и/или цветного кварца. Кроме того, можно использовать добавки, направленные на снижение потребления воды и изменения реологии.

[0076] Композиционные материалы можно получить, как описано в настоящем документе, используя энергосберегающий способ гидротермального жидкофазного спекания (HLPS) для создания связывающих элементов, которые удерживают вместе различные компоненты композиционного материала. Композиционные материалы можно произвести по низкой стоимости и при благоприятном воздействии на окружающую среду. Например, согласно предпочтительным вариантам реализации настоящего изобретения в качестве реакционноспособного соединения используют CO₂, что приводит к секвестированию CO₂ и созданию связывающих элементов в полученных композиционных материалах при углеродном отпечатке, который невозможно достичь при применении любой существующей технологии производства. Процесс HLPS термодинамически основан на свободной энергии химической реакции(ий) и уменьшении поверхностной энергии (площади) в результате роста кристаллов. Кинетика процесса HLPS развивается при низкой температуре с приемлемой скоростью, поскольку для перемещения реакционноспособного соединения используют раствор (водный или неводный) вместо применения жидкости с высокой точкой плавления или твердотельной среды с высокой температурой.

[0077] Обсуждение различных особенностей HLPS можно найти в патенте США № 8114367, в публикации США № US 2009/0143211 (заявка № 12/271566), публикации США № US 2011/0104469 (заявка № 12/984299), публикации США № 2009/0142578 (заявка № 12/271513), публикации США № 2013/0122267 (заявка № 13/411218), публикации США № 2012/0312194 (заявка № 13/491098), WO 2009/102360 (PCT/US2008/083606), WO

2011/053598 (PCT/US2010/054146), WO 2011/090967 (PCT/US2011/021623), в предварительной заявке на патент № 61/708423, поданной 1 октября 2012 года, и в заявках на патент США №№ 14/045758, 14/045519, 14/045766, 14/045540, которые все поданы 3 октября 2013 года, в заявках на патент США №№ 14/207413, 14/207421, поданных 12 марта 2014 года, в заявках на патент США №№ 14/207920, 14/209238, поданных 13 марта 2014 года, в заявках на патент США №№ 14/295601, 14/295402, поданных 4 июня 2014 года, каждая из которых в полном объеме явным образом включена в настоящий документ посредством ссылки для всех целей.

[0078] В настоящем документе термин «композиция силиката кальция» относится к природным минералам или синтетическим материалам, которые состоят из одной или более группы соединений, содержащих кальций и кремний, в том числе CS (волластонит или псевдоволластонит и иногда выраженный формулой CaSiO_3 или $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), C3S2 (ранкинит и иногда выраженный формулой $\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7$ или $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2$), C2S (белит, β - Ca_2SiO_4 или ларнит, β - Ca_2SiO_4 или бредигит, α - Ca_2SiO_4 или γ - Ca_2SiO_4 и иногда выраженный формулой Ca_2SiO_4 или $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), аморфную фазу, обогащенную силикатом кальция, при этом каждый из указанных материалов может содержать один или более ионов и оксидов других металлов (например, оксиды алюминия, магния, железа или марганца), или их смеси, или может содержать определенное количество силиката магния в природной или синтетической форме(ах) в диапазоне от следового количества (1%) до примерно 50% или более по массе. **Фиг. 1 - фиг. 8** представляют собой фазовые диаграммы, на которых показаны взаимозависимости различных фаз для некоторых из описанных материалов.

[0079] Следует понимать, что композиции и способы, описанные в настоящем документе, можно адаптировать для применения фаз силиката магния вместо фаз силиката кальция или наряду с указанными фазами. В настоящем документе термин «силикат магния» относится к природным минералам или синтетическим материалам, которые состоят из одной или более из групп соединений, содержащих магний и кремний, в том числе, например, Mg_2SiO_4 (также известный как «форстерит»), $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ (также известный как «талк») и CaMgSiO_4 (также известный как «монтичеллит»), при этом каждый из указанных материалов может содержать один или более ионов и оксидов других металлов (например, оксиды кальция, алюминия, железа или марганца) или их смеси, или может содержать определенное количество силиката кальция в природной или синтетической форме(ах) в диапазоне от следового количества (1%) до примерно 50% или более по массе.

[0080] В настоящем документе термин «кварц» относится к любому материалу на основе SiO_2 , включая обычный песок (строительный и каменный), а также стекло и стекло вторичной обработки. Указанный термин также включает любые другие вторичные природные и синтетические материалы, содержащие значительные количества SiO_2 (например, слюду, иногда выраженную формулой $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$).

[0081] Согласно некоторым предпочтительным вариантам реализации изобретения множество связывающих элементов получают путем химического превращения из композиций размельченного силиката кальция при их взаимодействии с CO_2 в процессе HLPS, протекающем с помощью газа.

[0082] Согласно некоторым вариантам реализации изобретения композиционный материал характеризуется прочностью на сжатие, составляющей от примерно 90 МПа до примерно 175 МПа (например, от примерно 90 МПа до примерно 150 МПа, от примерно 90 МПа до примерно 140 МПа, от примерно 90 МПа до примерно 130 МПа, от примерно 90 МПа до примерно 120 МПа, от примерно 90 МПа до примерно 110 МПа, от примерно 100 МПа до примерно 175 МПа, от примерно 120 МПа до примерно 175 МПа, от примерно 130 МПа до примерно 175 МПа, от примерно 140 МПа до примерно 175 МПа, от примерно 150 МПа до примерно 175 МПа, от примерно 160 МПа до примерно 175 МПа).

[0083] Согласно некоторым вариантам реализации изобретения композиционный материал характеризуется прочностью на изгиб, составляющей от примерно 5 МПа до примерно 30 МПа (например, от примерно 5 МПа до примерно 25 МПа, от примерно 5 МПа до примерно 20 МПа, от примерно 5 МПа до примерно 15 МПа, от примерно 5 МПа до примерно 10 МПа, от примерно 10 МПа до примерно 30 МПа, от примерно 20 МПа до примерно 30 МПа, от примерно 25 МПа до примерно 30 МПа).

[0084] Согласно некоторым вариантам реализации изобретения композиционный материал характеризуется водопоглощением, составляющим менее примерно 10% (например, менее примерно 8%, 5%, 4%, 3%, 2%, или 1%).

[0085] Композиционный материал может проявлять одно или более из требуемых свойств, выбранных из текстуры, структуры и физических свойств, в частности, свойств, которые характерны для природного камня. Согласно некоторым предпочтительным вариантам реализации изобретения композиционный материал имеет визуальную структуру, аналогичную природному камню. Другие характеристики включают цвета (например, черный, белый, синий, розовый, серый (от светлого до темного), зеленый, красный, желтый, коричневый, голубой (голубовато-зеленый) или фиолетовый) и текстуры.

Обсуждение оборудования и технологии

Регулирование CO_2

[0086] Согласно описанным вариантам реализации изобретения используют промышленный сорт CO_2 с чистотой примерно 99%, который могут предоставить различные промышленные газовые компании, такие как Praxair, Inc., Linde AG, Air Liquide и другие. Такой запас сырья можно держать в больших герметичных резервуарах для хранения в форме жидкого диоксида углерода, температуру которого регулируют таким образом, чтобы поддерживать давление его пара на уровне приблизительно 300 psig

(примерно 2068 кПа изб.). Затем указанный газ перекачивают по трубам в сосуд или камеру для отверждения с помощью CO_2 . В самой простой системе CO_2 проходит через сосуд со скоростью, достаточной для вытеснения окружающего воздуха в сосуде. В общем, время продувки будет зависеть от размера сосуда и скорости, с которой подают газообразный CO_2 . Во многих системах такой способ продувки сосуда с воздухом можно выполнить в сроки, измеряемые в минутах, и получить концентрацию CO_2 , достигающую приемлемого уровня, так что после указанной продувки можно осуществить отверждение. В простых системах газообразный CO_2 подают в систему с предварительно заданной скоростью для поддержания концентрации CO_2 , достаточной для запуска реакции отверждения.

[0087] В качестве примера, мы теперь опишем способ поддержания концентраций диоксида углерода во время реакции, который хорошо подходит для сохранения очень подходящей концентрации, хотя указанный способ относится к процессу «в замкнутом контуре», который обычно представляет собой наиболее дорогостоящую технологию. В таком способе используют измерение концентрации CO_2 непосредственно в системе и применяют регулирующее устройство, такое как PLC (программируемый логический контроллер), для регулирования концентрации CO_2 в заданной точке с помощью электронного/автоматического регулирующего клапана. Предпочтительно следует использовать измерительную технику, предназначенную для непосредственного измерения CO_2 , такую как NDIR (недисперсионный инфракрасный газовый анализатор). В способе измерения с применением NDIR пробу газового потока вытягивают из системы с помощью насоса низкой производительности. Для удаления влаги из газового потока перед его отбором с помощью устройства NDIR используют холодильник. Поэтому при измерении, выполняемом с помощью анализатора, не учитывается компонент газового потока, представляющий собой водяной пар, и указанное измерение необходимо скорректировать для учета влаги, которая была удалена из исследуемой пробы. Измерение влажности в газовом потоке в системе можно выполнить с помощью психрометрического метода с применением сухого и мокрого термометров, используя устройство для измерения влажности с применением сухого и мокрого термометров или другой тип датчика влажности. Истинную концентрацию CO_2 можно рассчитать с помощью компьютерной системы управления или PLC. После определения истинной концентрации CO_2 с помощью приведенного в действие дозирующего регулирующего клапана в систему можно добавлять сухой CO_2 в случае, если он был расходуем и его содержание уменьшилось ниже заданного значения, которое требуется в данный момент времени. Согласно различным вариантам реализации изобретения такое заданное значение может меняться со временем, при необходимости, на основе опыта проведения отверждения конкретных композиций, формы и размеров образцов композиционного материала.

Регулирование влажности

[0088] Фиг. 9 представляет собой принципиальную схему камеры для отверждения композиционного материала с помощью CO_2 , обеспечивающей увлажнение согласно принципам настоящего изобретения. Как показано на **фиг. 9**, обеспечивают подачу воды, при этом в атмосферу добавляют водяной пар, который циркулирует внутри камеры отверждения. Вода может представлять собой любой подходящий источник питьевой воды. Согласно некоторым вариантам реализации изобретения используют обычную водопроводную воду. Согласно некоторым вариантам реализации изобретения воду можно превратить в пар путем пропускания через сопло для аэрозольного орошения или сопло для распыления, электрический парогенератор, газовый парогенератор или путем нагревания до температуры выше температуры газа в камере с тем, чтобы вызвать испарение подаваемой жидкой воды; пример, представляющий собой барабанный реактор с нагревателем погружного типа. Согласно другому варианту реализации изобретения подачу CO_2 можно направлять в системы после барботирования через подаваемую нагретую воду для повышения относительной влажности входящего газового потока; пример, представляющий собой барабанный реактор, выполненный с возможностью обработки «в непрерывном потоке» или обработки «в разомкнутом контуре».

[0089] Относительная влажность представляет собой важный параметр, как в традиционном процессе отверждения бетона, так и при отверждении композиционного материала с помощью CO_2 . В обычной камере отверждения имеется влажная воздушная атмосфера, состоящая главным образом из азота, кислорода и водяного пара. В таких системах относительную влажность наиболее часто измеряют с помощью стандартной технологии с применением емкостного датчика. Однако камеры для отверждения с помощью CO_2 содержат газовую атмосферу, состоящую преимущественно из диоксида углерода, который несовместим с некоторыми типами указанных датчиков. В системах отверждения композиционных материалов с помощью CO_2 , описанных в настоящем документе, можно использовать сенсорную технологию, такую как методы с применением сухого и мокрого термометров, в которых применяют психрометрические соотношения диоксида углерода и водяного пара, или средства измерения водяного пара на основе дипольной полимеризации, или гигрометры с охлаждаемым зеркалом, или емкостные датчики влажности.

[0090] В зависимости от типа и геометрии продукта, подвергаемого отверждению, конструкции камеры и эффективности упаковки продукта в камере может возникнуть необходимость уменьшения или увеличения влажности и ее регулирования до определенного заданного значения. Заданные значения могут иметь любое значение в диапазоне от 1% до 99% относительной влажности. В процессах отверждения композиционных материалов с помощью CO_2 можно использовать три различных способа регулирования влажности, которые можно объединить в единую систему. Один из

способов увлажнения согласно одному из вариантов реализации системы для отверждения с помощью CO_2 представлен на **фиг. 9**. Другой способ позволяет удалить влагу из системы, предназначенной для отверждения продуктов из композиционного материала с помощью CO_2 . Простой способ понижения относительной влажности осуществляют путем вытеснения в системе влажного газа сухим газом, таким как диоксид углерода. Согласно другому варианту реализации изобретения можно уменьшить относительную влажность и, следовательно, удалить водяной пар из газа способом, не включающим продувку, в котором согласно одному из предпочтительных вариантов реализации изобретения используют охлаждаемый теплообменник, в котором происходит удаление воды.

[0091] **Фиг. 10** представляет собой принципиальную схему камеры отверждения, в которой используют несколько способов регулирования влажности, также выполненную с возможностью контроля и пополнения CO_2 путем непрерывного регулирования расхода или давления, при этом в указанной камере температуру можно регулировать согласно принципам настоящего изобретения. Такая система представляет собой пример системы, которая может обеспечить регулирование по замкнутому циклу или регулирование с помощью обратной связи, при котором можно обеспечить заданные значения рабочих параметров, таких как концентрация CO_2 , влажность и температура, требующиеся в определенные моменты времени в технологическом цикле, при этом измерения проводят, чтобы увидеть является ли фактическое значение параметра, подлежащего контролю, требуемым значением. Если определяют отклонение от требуемого значения, выполняют корректировку для приведения указанного значения параметра в соответствие с требуемым значением. Такие системы контроля могут быть дорогостоящими и сложными и могут применяться в отношении продуктов с высокой стоимостью или продуктов, которые требуют очень точных технологических условий.

Регулирование температуры

[0092] Согласно некоторым вариантам реализации изобретения температуру измеряют с помощью датчика, такого как термopара или RTD (резистивный датчик температуры). Измеряемый сигнал направляют обратно в регулирующее устройство или компьютер, который способен регулировать энергию в теплообменнике и тем самым корректировать температуру всей системы в течение определенного времени. Нагнетатель представляет собой важный компонент нагревательной системы, так как он может способствовать передаче тепловой энергии газу, который перемещается в продуктах и самой камере, что является важной частью регулирования влажности проб. Способ нагревания может быть электрическим или основан на сжигании газа. Можно использовать нагреватели с рубашкой для регулирования температуры CO_2 , который проходит через камеру, соприкасаясь с нагревательной рубашкой, при этом можно использовать любой

подходящий источник тепла. Средства внешнего нагрева могут включать, но не ограничиваются ими, электрическое нагревание, нагревание под действием горячей воды или нагревание под действием горячего масла. Для камер для отверждения с помощью CO_2 до сих пор использовались газовые системы с косвенным обогревом, при этом избегали применять газовые горелки с прямым обогревом, поскольку они будут затягивать воздух и продукты сгорания в систему, что, тем самым, приводит к разбавлению CO_2 и делает проблематичным регулирование концентрации CO_2 . В некоторых более мелкомасштабных системах, таких как барабанные реакторы, используют электрические нагреватели с рубашкой для нагревания всей поверхности камеры, а не нагревательного элемента внутри камеры.

Регулирование расхода газа

[0093] Другим контролируемым параметром является скорость потока газа через материал, который должен быть подвергнут отверждению в указанной системе. Скорость потока газа может очень зависеть от параметров технологического оборудования, в том числе, но не ограничиваясь ими, от конструкции камеры, конструкции перегородки, размера вентилятора, скорости/мощности вентилятора, количества вентиляторов, градиента температуры внутри системы, конструкции стойки внутри системы и геометрии образцов внутри систем. Самый простой способ контроля скорости потока газа внутри камеры состоит в регулировании скорости нагнетателя (числа оборотов в минуту), которое обычно выполняют путем применения частотно-регулируемого привода, позволяющего регулировать частоту вращения двигателя нагнетателя. Нагнетатель можно использовать для циркуляции газа с требуемой скоростью в камере отверждения. Скорость потока газа в системе измеряют в системе с помощью различных других методов, в том числе, но не ограничиваясь ими, путем измерения с применением трубок Пито и с помощью лазерных доплеровских систем обнаружения. Измеряемый сигнал скорости потока газа можно послать обратно в компьютерную систему или программируемый логический контроллер и использовать в качестве контролируемого параметра в профиле отверждения.

Способ получения композиционного материала

[0094] Далее описан способ получения композиционного материала. Предложенный способ включает: смешивание композиции в виде частиц и жидкой композиции с получением суспензионной смеси; формование суспензионной смеси для придания требуемой формы либо путем отливки суспензии в пресс-форме, прессования суспензии в пресс-форме, прессования суспензии в вибрирующей пресс-форме, экструдирования суспензии, формования суспензии через зажимное кольцо или раму, либо путем применения любого другого способа формования для придания формы, обычно применяемого при производстве бетона, и отверждение формованной суспензионной

смеси при температуре в диапазоне от примерно 20°C до примерно 150°C в течение от примерно 1 часа до примерно 80 часов в атмосфере пара, содержащего воду и CO₂ и имеющего давление в диапазоне от примерно атмосферного давления до давления примерно на 50 psi (примерно 345 кПа) выше атмосферного давления при концентрации CO₂ в диапазоне от примерно 10% до примерно 90%, с получением композиционного материала, имеющего текстуру и/или структуру и требуемые физические свойства, связанные с прочностью на сжатие, прочностью на изгиб, плотностью, сопротивляемостью разрушению и т.д.

[0095] Композиция в виде частиц включает композицию размельченного силиката кальция со средним размером частиц в диапазоне от примерно 1 мкм до примерно 100 мкм. Кроме того, композиция в виде частиц может содержать размельченный карбонат кальция или материал, содержащий SiO₂, со средним размером частиц в диапазоне от примерно 3 мкм до примерно 25 мм. Жидкая композиция содержит воду и может содержать водорастворимый диспергатор.

[0096] Перед отверждением отлитой смеси предложенный способ может дополнительно включать стадию сушки отлитой смеси. Композиция в виде частиц дополнительно содержит пигмент или краситель, как описано в настоящем документе.

[0097] Согласно некоторым вариантам реализации изобретения отверждение формованной суспензионной смеси осуществляют при температуре в диапазоне от примерно 30°C до примерно 120°C в течение от примерно 1 часа до примерно 70 часов в атмосфере пара, содержащего воду и CO₂ и имеющего давление в диапазоне от примерно атмосферного давления до давления примерно на 30 psi (примерно 207 кПа) выше атмосферного давления.

[0098] Согласно некоторым вариантам реализации изобретения отверждение формованной суспензионной смеси осуществляют при температуре в диапазоне от примерно 60°C до примерно 110°C в течение от примерно 1 часа до примерно 70 часов в атмосфере пара, содержащего воду и CO₂ и имеющего давление в диапазоне от примерно атмосферного давления до давления примерно на 30 psi (примерно 207 кПа) выше атмосферного давления.

[0099] Согласно некоторым вариантам реализации изобретения отверждение формованной суспензионной смеси осуществляют при температуре в диапазоне от примерно 80°C до примерно 100°C в течение от примерно 1 часа до примерно 60 часов в атмосфере пара, содержащего воду и CO₂ и имеющего давление в диапазоне от примерно атмосферного давления до давления примерно на 30 psi (примерно 207 кПа) выше атмосферного давления.

[00100] Согласно некоторым вариантам реализации изобретения отверждение формованной суспензионной смеси осуществляют при температуре, равной или ниже

примерно 60°C, в течение от примерно 1 часа до примерно 50 часов в атмосфере пара, содержащего воду и CO₂ и имеющего атмосферное давление.

[00101] Например, согласно некоторым вариантам реализации изобретения средний размер частиц композиции размельченного силиката кальция составляет от примерно 1 мкм до примерно 100 мкм (например, примерно 1 мкм, 10 мкм, 15 мкм, 20 мкм, 25 мкм, 30 мкм, 40 мкм, 50 мкм, 60 мкм, 70 мкм, 80 мкм, 90 мкм, 100 мкм), объемная плотность составляет от примерно 0,5 г/мл до примерно 3,5 г/мл (в рыхлом состоянии, например, 0,5 г/мл, 1,0 г/мл, 1,5 г/мл, 2,0 г/мл, 2,5 г/мл, 2,8 г/мл, 3,0 г/мл, 3,5 г/мл) и от примерно 1,0 г/мл до примерно 1,2 г/мл (после уплотнения путем постукивания), площадь поверхности по Блейну составляет от примерно 150 м²/кг до примерно 700 м²/кг (например, 150 м²/кг, 200 м²/кг, 250 м²/кг, 300 м²/кг, 350 м²/кг, 400 м²/кг, 450 м²/кг, 500 м²/кг, 550 м²/кг, 600 м²/кг, 650 м²/кг, 700 м²/кг).

[00102] Согласно некоторым предпочтительным вариантам реализации изобретения жидкая композиция содержит воду и водорастворимый диспергатор, содержащий соль полимера (например, соль акрилового гомополимера) с концентрацией от примерно 0,1% до примерно 2% масс./масс. относительно массы жидкой композиции.

[00103] Композиционные материалы, полученные согласно способу, описанному в настоящем документе, могут проявлять прочность на сжатие от примерно 3,0 МПа до примерно 30,0 МПа (например, примерно 3 МПа, 5 МПа, 10 МПа, 15 МПа, 20 МПа, 25 МПа, 30 МПа), и прочность на изгиб от примерно 0,3 МПа до примерно 4,0 МПа (например, примерно 0,3 МПа, 0,5 МПа, 1,0 МПа, 1,5 МПа, 2,0 МПа, 2,5 МПа, 3,0 МПа, 3,5 МПа, 4,0 МПа).

[00104] Далее также описано одно или более изделий промышленного производства, выполненных из композиционного материала.

[00105] Можно использовать любые подходящие материалы-прекурсоры, в том числе, например, частицы композиции силиката кальция, полученные из CS (волластонита или псевдоволластонита и иногда выраженного формулой CaSiO₃ или CaO·SiO₂), C3S2 (ранкинита и иногда выраженного формулой Ca₃Si₂O₇ или 3CaO·2SiO₂), C2S (белита, β-Ca₂SiO₄ или ларнита, β-Ca₂SiO₄ или «бредигита», α-Ca₂SiO₄ или γ-Ca₂SiO₄ и иногда выраженного формулой Ca₂SiO₄ или 2CaO·SiO₂) и аморфной фазы, обогащенной силикатом кальция. Полагают, что катионы кальция выщелачиваются из частиц композиции силиката кальция и трансформируют периферийную часть частицы композиции силиката кальция в состояние, характеризующееся дефицитом кальция. По мере того, как катионы кальция продолжают выщелачиваться из периферийной части частицы, структура периферийной части постепенно становится нестабильной и разрушается, что, тем самым, приводит к превращению обедненной кальцием периферийной части частиц в первый слой, преимущественно обогащенный диоксидом

кремния. Между тем, второй слой, содержащий преимущественно карбонат кальция, осаждается из воды.

[00106] Более конкретно, первый слой и второй слой можно получить из частицы прекурсора согласно следующим реакциям (1-3), в которых воду можно использовать в качестве реакционной среды, а не в качестве реагента (то есть, вода не расходуется):



[00107] Например, при реакции карбонизации силикатного минерала, например, с композициями силиката кальция, CO_2 вводят в виде газовой фазы, которая растворяется в пропитывающей жидкости, такой как вода. При растворении CO_2 образуются кислые углеродистые соединения (такие как угольная кислота, H_2CO_3), что приводит к понижению pH раствора. Слабо кислый раствор инконгруэнтно растворяет соединения кальция из фаз силиката кальция. Кальций может выщелачиваться из содержащих кальций аморфных фаз посредством аналогичного механизма. Высвобожденные катионы кальция и диссоциированные карбонатные соединения вызывают осаждение нерастворимых карбонатов. Как полагают, слои, обогащенные диоксидом кремния, остаются на минеральных частицах в виде слоев, объединенных кальцием.

[00108] Таким образом, согласно предпочтительному варианту реализации настоящего изобретения CO_2 предпочтительно взаимодействует с катионами кальция из сердцевины прекурсора композиции силиката кальция с обеспечением, тем самым, превращения периферийной части сердцевины прекурсора в обогащенный диоксидом кремния первый слой и обогащенный карбонатом кальция второй слой. Кроме того, наличие первого и второго слоев на сердцевине действует в качестве барьера для дальнейшей реакции между силикатом кальция и диоксидом углерода, в результате чего связывающий элемент имеет сердцевину, первый слой и второй слой.

[00109] Согласно некоторым вариантам реализации изобретения силикатные материалы, содержащие металлы, отличные от Ca, или наряду с Ca, например форстерит (Mg_2SiO_4), диопсид ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$) и тальк ($\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$), могут взаимодействовать с диоксидом углерода, растворенным в воде, способом, аналогичным реакции силиката кальция, описанной выше. Полагают, что такие силикатные материалы можно использовать в отдельности, в комбинации и/или в комбинации с силикатом кальция в качестве прекурсоров связывающих элементов согласно принципам настоящего изобретения.

[00110] В процессах HLPS, протекающих с помощью газа, предпочтительно используют частично пропитанное поровое пространство с тем, чтобы позволить газовой диффузии быстро проникать в пористую преформу и насыщать растворенным CO_2 тонкие жидкие межфазные пленки растворителя в порах. Соединения на основе CO_2 имеют низкую

растворимость в чистой воде (1,5 г/л при 25 °C, 1 атм.). Таким образом, значительное количество CO₂ следует непрерывно подавать и распределять по всей пористой преформе для обеспечения значительной степени превращения карбоната. Использование диффузии из газовой фазы обеспечивает огромное (примерно 100-кратное) увеличение длины диффузии по сравнению с длиной диффундирования растворимого CO₂ за эквивалентное время в жидкой фазе. («Handbook of chemistry and physics», Editor: D. R. Lide, Chapters 6 and 8, 87th Edition 2006-2007, CRC.) Такое частично пропитанное состояние позволяет указанной реакции протекать с обеспечением высокой степени карбонизации за фиксированный период времени.

[00111] Жидкая вода в порах увеличивает скорость реакции, поскольку она обеспечивает среду для ионизации как угольной кислоты, так и соединений кальция. Однако уровни воды должны быть достаточно низкими с тем, чтобы газообразный CO₂ мог диффундировать в пористую матрицу до растворения в водной фазе, граничащей с порами. Кроме того, активно растворяющаяся пористая преформа служит в качестве матрицы для экспансивного роста реакционноспособных кристаллов. Таким образом, связывающий элемент и матрицы можно сформировать при минимальных искажении и остаточных напряжениях. Это позволяет получить большие и сложные формы, такие как формы, необходимые для инфраструктурных и строительных материалов, а также многих других вариантов применения.

[00112] Таким образом, для обеспечения требуемого производственного процесса можно разработать различные комбинации условий отверждения, в том числе различные температуры реакции, давления и продолжительности реакции. Согласно первому типичному варианту реализации изобретения в материале-прекурсоре присутствует вода (например, в виде остаточной воды от предыдущей стадии смешивания), при этом жидкую воду подают в материалы-прекурсоры (например, для поддержания уровня воды и/или регулирования потери воды от испарения) вместе с CO₂ и осуществляют процесс отверждения при примерно 90°C и примерно 20 psig (примерно 138 кПа изб.) (т.е., при давлении на 20 psi (примерно 138 кПа) выше давления окружающей среды) в течение времени в диапазоне от примерно 2 до 90 часов.

[00113] Согласно второму типичному варианту реализации изобретения в материале-прекурсоре присутствует вода (например, в виде остаточной воды от предыдущей стадии смешивания), при этом водяной пар подают в материалы-прекурсоры (например, для поддержания уровня воды и/или регулирования потери воды от испарения) вместе с CO₂ и осуществляют процесс отверждения при примерно 90°C и примерно 20 psig (примерно 138 кПа изб.) (т.е., при давлении на 20 psi (примерно 138 кПа) выше давления окружающей среды) в течение времени в диапазоне от примерно 2 до 90 часов.

[00114] Согласно третьему типичному варианту реализации изобретения в материале-прекурсоре присутствует вода (например, в виде остаточной воды от предыдущей стадии

смешивания), при этом водяной пар подают в материалы-прекурсоры (например, для поддержания уровня воды и/или регулирования потери воды от испарения) вместе с CO_2 и осуществляют процесс отверждения при примерно от 25 до 90°C и 0 psig (0 кПа изб.) (при атмосферном давлении) в течение от примерно 2 до 72 часов.

[00115] Согласно описанным выше вариантам реализации изобретения время, необходимое для отверждения объекта из композиционного материала определяют по способности водяного пара и газообразного CO_2 диффундировать по всему объекту. В общем, более толстые объекты требуют больше времени для отверждения, чем более тонкие объекты. Аналогичным образом, объекты с высокой плотностью (и с меньшим открытым поровым пространством) требуют больше времени для отверждения, чем объекты с низкой плотностью (и с большим открытым поровым пространством). В приведенной ниже таблице приведены примеры того, как может меняться время отверждения относительно наименьшей толщины (или толщины стенки или толщины секции) для трех размеров и объемной плотности объекта, подлежащего изготовлению.

Таблица 1. Примеры времени отверждения и наименьшей толщины

Наименьшая толщина композиционного материала (мм)	Объемная плотность композиционного материала (г/см^3)	Приблизительное время отверждения (ч)
25	1,6 – 2,3	8 – 12
75	2,1 – 2,3	16
100	0,4 – 0,8	8 – 12
200	1,5	72
200	2,4	72

Обсуждение полученных микроструктур

[00116] Как схематически показано на **фиг. 11(a) – 11(c)**, связывающий элемент содержит сердцевину (изображенную в виде черной внутренней части), первый слой (изображенный в виде белой средней части) и второй или инкапсулирующий слой (изображенный в виде внешней части). Первый слой может включать только один слой или несколько подслоев и может полностью или частично покрывать сердцевину. Первый слой может существовать в кристаллической фазе, аморфной фазе или их смеси и может находиться в непрерывной фазе или в виде дискретных частиц. Второй слой может включать только один слой или несколько подслоев и также может полностью или частично покрывать первый слой. Второй слой может содержать множество частиц или может состоять из непрерывной фазы с минимальным количеством дискретных частиц.

[00117] Связывающий элемент может иметь любой размер и любую регулярную или нерегулярную, сплошную или полую морфологию в зависимости от предполагаемого применения. Типичные морфологии включают: кубы, кубоиды, призмы, диски, пирамиды,

многогранники или многогранные частицы, цилиндры, сферы, конусы, кольца, трубки, полумесяцы, иглы, волокна, нити, хлопья, сферы, субсферы, шарики, виноградины, гранулы, продолговатые или удлинённые объекты, стержни, чешуйки и т.д.

[00118] В целом, как более подробно описано в настоящем документе, связывающий элемент получают из реакционноспособных материалов-прекурсоров (например, частиц прекурсоров) посредством процесса превращения. Частицы прекурсора могут иметь любой размер и форму при условии, что они соответствуют потребностям предполагаемого применения. Процесс превращения, как правило, позволяет получить соответствующие связывающие элементы, имеющие похожие размеры и формы частиц прекурсора.

[00119] Внутри связывающей матрицы связывающие элементы можно расположить относительно друг друга в любой из нескольких ориентаций. На **фиг. 12(a) – 12(f)** схематически показана типичная связывающая матрица, содержащая связывающие элементы в форме волокон или пластинок в различных ориентациях, возможно разбавленные путем введения материала-наполнителя, который изображен в виде пространства между связывающими элементами. На **фиг. 12(a)**, например, показана связывающая матрица, содержащая связывающие элементы в форме волокон, расположенные в однонаправленной («1-D») ориентации (например, ориентированные относительно направления по оси X). На **фиг. 12(b)** показана связывающая матрица, содержащая связывающие элементы в пластинчатой форме, расположенные в двунаправленной («2-D») ориентации (например, ориентированные относительно направлений по осям X и Y). На **фиг. 12(c)** показана связывающая матрица, содержащая связывающие элементы в пластинчатой форме, расположенные в трехнаправленной («3-D») ориентации (например, ориентированные относительно направлений по осям X, Y и Z). На **фиг. 12(d)** показана связывающая матрица, содержащая связывающие элементы в пластинчатой форме в беспорядочной ориентации, при этом связывающие элементы не ориентированы относительно какого-либо конкретного направления. На **фиг. 12(e)** показана связывающая матрица, содержащая сравнительно высокую концентрацию связывающих элементов в пластинчатой форме, расположенных в 3-D ориентации. На **фиг. 12(f)** показана связывающая матрица, содержащая сравнительно низкую концентрацию связывающих элементов в пластинчатой форме, расположенных в беспорядочной ориентации (сеть с перколяцией). Композиционный материал, показанный на **фиг. 12(f)**, обеспечивает порог перколяции, поскольку большая часть связывающих элементов соприкасаются друг с другом таким образом, что образуется непрерывная сеть контактов от одного конца до другого конца материала. Порог перколяции представляет собой критическую концентрацию, выше которой связывающие элементы проявляют дальнедействующую связность либо с упорядоченной, например, **фиг. 12(e)**, либо с беспорядочной ориентацией, например, **фиг. 12(f)**, связывающих элементов. Примеры

образцов связности можно найти, например, в Newnham, *et al.*, «Connectivity and piezoelectric-pyroelectric composites», *Mat. Res. Bull. Vol. 13*, pp. 525-536, 1978).

[00120] Множество связывающих элементов можно подвергнуть химическому превращению с участием любых подходящих материалов-прекурсоров, например, с участием любого подходящего прекурсора композиции силиката кальция. Композиция прекурсора силиката кальция также может содержать один или более химических элементов, выбранных из алюминия, магния и железа.

Множество связывающих элементов могут иметь любой подходящий средний размер частиц и распределение по размерам в зависимости от требуемого композиционного материала. Согласно некоторым вариантам реализации изобретения средний размер частиц множества связывающих элементов составляет от примерно 1 мкм до примерно 100 мкм (например, от примерно 1 мкм до примерно 80 мкм, от примерно 1 мкм до примерно 60 мкм, от примерно 1 мкм до примерно 50 мкм, от примерно 1 мкм до примерно 40 мкм, от примерно 1 мкм до примерно 30 мкм, от примерно 1 мкм до примерно 20 мкм, от примерно 1 мкм до примерно 10 мкм, от примерно 5 мкм до примерно 90 мкм, от примерно 5 мкм до примерно 80 мкм, от примерно 5 мкм до примерно 70 мкм, от примерно 5 мкм до примерно 60 мкм, от примерно 5 мкм до примерно 50 мкм, от примерно 5 мкм до примерно 40 мкм, от примерно 10 мкм до примерно 80 мкм, от примерно 10 мкм до примерно 70 мкм, от примерно 10 мкм до примерно 60 мкм, от примерно 10 мкм до примерно 50 мкм, от примерно 10 мкм до примерно 40 мкм, от примерно 10 мкм до примерно 30 мкм, от примерно 10 мкм до примерно 20 мкм).

[00121] В некоторых случаях композиционный материал содержит: множество связывающих элементов и множество частиц наполнителя. Каждый связывающий элемент содержит: сердцевину, содержащую в основном композицию силиката кальция, обогащенный диоксидом кремния первый или внутренний слой и обогащенный карбонатом кальция второй или внешний слой. Множество связывающих элементов и множество частиц наполнителя вместе образуют одну или более связующих матриц, при этом указанные связывающие элементы и частицы наполнителя по существу равномерно распределены в указанной матрице и соединены друг с другом, благодаря чему композиционный материал проявляет одно или более из свойств, выбранных их текстур, структур и физических свойств. В некоторых случаях связывающие элементы могут иметь сердцевину из силиката магния и обогащенный диоксидом кремния первый или внутренний слой и обогащенный карбонатом магния второй или внешний слой. Силикат магния может содержать оксиды алюминия, кальция, железа или марганца.

[00122] Множество частиц наполнителя могут иметь любой подходящий средний размер частиц и распределение по размерам. Согласно некоторым вариантам реализации изобретения средний размер множества частиц наполнителя составляет от примерно 5 мкм до примерно 7 мм (например, от примерно 5 мкм до примерно 5 мм, от примерно 5 мкм

до примерно 4 мм, от примерно 5 мкм до примерно 3 мм, от примерно 5 мкм до примерно 2 мм, от примерно 5 мкм до примерно 1 мм, от примерно 5 мкм до примерно 500 мкм, от примерно 5 мкм до примерно 300 мкм, от примерно 20 мкм до примерно 5 мм, от примерно 20 мкм до примерно 4 мм, от примерно 20 мкм до примерно 3 мм, от примерно 20 мкм до примерно 2 мм, от примерно 20 мкм до примерно 1 мм, от примерно 20 мкм до примерно 500 мкм, от примерно 20 мкм до примерно 300 мкм, от примерно 100 мкм до примерно 5 мм, от примерно 100 мкм до примерно 4 мм, от примерно 100 мкм до примерно 3 мм, от примерно 100 мкм до примерно 2 мм, от примерно 100 мкм до примерно 1 мм).

[00123] Согласно некоторым предпочтительным вариантам реализации изобретения частицы наполнителя изготавливают из обогащенного карбонатом кальция материала, такого как известняк (например, размельченный известняк). В случае некоторых материалов частицы наполнителя изготавливают из одного или более материала на основе SiO_2 или на основе силиката, такого как кварц, слюда, гранит и полевошпат (например, размельченный кварц, размельченная слюда, размельченный гранит, размельченный полевошпат).

[00124] Согласно некоторым вариантам реализации изобретения частицы наполнителя могут включать природные, синтетические и вторичные материалы, такие как стекло, стекло вторичной обработки, угольный шлак, материал, обогащенный карбонатом кальция, и материал, обогащенный карбонатом магния.

[00125] Массовое отношение (связывающие элементы : частицы наполнителя) может представлять собой любые подходящие отношения в зависимости от требуемого композиционного материала, например, в диапазоне от примерно (10 : 50) до примерно (50 : 90).

[00126] Согласно некоторым вариантам реализации изобретения указанные композиционные материалы могут иметь различные структуры, текстуры и другие характеристики, такие как визуальные структуры различных цветов. Кроме того, композиционные материалы согласно настоящему изобретению проявляют прочность на сжатие, прочность на изгиб и свойства водопоглощения, аналогичные свойствам обычного бетона или соответствующих природных материалов.

[00127] Согласно некоторым вариантам реализации изобретения композиционный материал дополнительно содержит пигмент. Пигмент может быть равномерно распределен или по существу неравномерно распределен в связующих матрицах в зависимости от требуемого композиционного материала. Пигмент может представлять собой любой подходящий пигмент, в том числе, например, оксиды различных металлов (например, оксид железа, оксид кобальта, оксид хрома) Пигмент может иметь любой цвет или цвета, например, выбранные из черного, белого, синего, серого, розового, зеленого, красного, желтого и коричневого. Пигмент может присутствовать в любом подходящем количестве в зависимости от требуемого композиционного материала, например, в

количестве, составляющем от примерно 0,0% до примерно 10% по массе (например, от примерно 0,0% до примерно 8%, от примерно 0,0% до примерно 6%, от примерно 0,0% до примерно 5%, от примерно 0,0% до примерно 4%, от примерно 0,0% до примерно 3%, от примерно 0,0% до примерно 2%, от примерно 0,0% до примерно 1%, от примерно 0,0% до примерно 0,5%, от примерно 0,0% до примерно 0,3%, от примерно 0,0% до примерно 2%, от примерно 0,0% до примерно 0,1%,).

ПРИМЕРЫ

Пример 1: Отверждение пустотной плиты с применением способа изотермической десорбции

Смешивание

[00128] Для смешивания компонентов конструкции из бетонной смеси использовали планетарный смеситель Sicoma TO8 Series (модель MP 250/375 WWW/SW). Скорость планетарного смесителя составляла 18,5 об/мин. Материал-наполнитель в виде 293,8 кг заполнителя с размером частиц ¼" (0,635 см) и 160,3 кг песка смешивали сухим способом в течение 90 секунд. К сухой смеси добавляли пять кг воды, 168 г добавки Glenium 7500 (BASF) и 120 г воздухововлекающей добавки и перемешивали полученную смесь в течение дополнительных 90 секунд. К влажному материалу в смеситель добавляли связующее вещество в виде 80,1 кг цемента Solidia (Solidia Technologies) (4% псевдоволластонита, 19% волластонита, 13% ларнита, 2% кальцита и 62% аморфных оксидов) вместе с дополнительными 16 кг воды. Полученную смесь перемешивали в течение дополнительных 90 секунд. Как было обнаружено, конечное содержание влаги в смеси составляло 3,68% согласно измерению с применением анализатора влажности Sartorius MA100. В общей сложности три таких партии переносили в экструдер для экструзии пустотной плиты.

Экструзия:

[00129] Два стальных троса длиной 40' (примерно 102 см) и диаметром 3/8" (примерно 0,95 см) (7-проволочная прядь с низкой релаксацией, Sumiden Wire Products Corp.) растягивали до относительного удлинения 3" (7,62 см) вдоль длины стального экструзионного основания. Тросы устанавливали таким образом, чтобы разместить один из них симметрично между нижней частью плиты и сердцевинами 1 и 2; а другой разместить симметрично между нижней частью плиты и сердцевинами 5 и 6.

[00130] Пустотную плиту экструдировали на стальное основание с помощью промышленного экструдера Elematic EL 600/8, используя скорость шнека 55 об/мин. Экструдированная плита имела длину 18 футов (примерно 5,5 м), ширину 4 фута (примерно

1,2 м) и высоту 8 дюймов (примерно 20,3 см) и содержала шесть полых сердцевин (с диаметром 6" (15,24 см)). Соседние сердцевины были разделены стенкой толщиной 1,25" (примерно 3,18 см). На **фиг. 13** показана фотография пустотной плиты.

Отверждение

[00131] **Фиг. 14** представляет собой схематическое изображение отверждающего устройств. Во время отверждения основание нагревали путем циркуляции горячей воды через трубки внутри стального основания. Температуру воды для нагревания поддерживали с помощью газового котла на уровне 81°C. Температура на верхней поверхности стального основания составляла около 49°C. Холодная вода из холодильника (который поддерживали при температуре 10°C) циркулировала через конденсатор для удаления влаги из циркулирующего газового потока. Температуру электрического нагревателя (3,75 кВт) поддерживали при 87°C для нагревания высушенного циркулирующего газового потока перед его возвратом в камеру отверждения. Скорость циркуляционного нагнетателя регулировали с помощью частотно-регулируемого привода. Начальная скорость нагнетателя составляла 30 Гц. Сухой CO₂ подавали по требованию в систему отверждения через регулятор массового расхода Alicat. Камера отверждения содержала стальное экструзионное основание и полиэтиленовый лист, который функционировал в качестве навеса и отделял поток CO₂/H₂O от атмосферы окружающей среды. Навес покрывал пустотную плиту и был натянут между опорными стенками на каждом конце плиты. Навес герметично закрывали вдоль стального экструзионного основания и прикрепляли к торцевым стенкам с помощью магнитных полосок и заполняли циркулирующим газовым потоком. Перепад давления между внутренней и внешней сторонами навеса поддерживали несколько выше атмосферного давления (Перепад давления = +0,2 дюйма (5,08 см) водяного столба). Каждая торцевая стенка камеры отверждения имела такую же форму поперечного сечения, что и плита, за исключением того, что высота стенок составляла 9,25" (примерно 23,5 см), а не 8" (20,32 см). Каждая торцевая стенка служила в качестве передней стороны прямоугольного ящика, образующего камеру с 1 входным портом для газа, расположенным напротив 6 отверстий, через которые газ поступал в камеру отверждения или выходил из нее. Указанные 6 отверстий были покрыты перфорированным металлическим листом таким образом, чтобы торцевая камера действовала как приточная вентиляция, функционирующая для распределения и выравнивания газового потока, поступающего в камеру отверждения. Один из двух портов, принадлежащих датчику перепада давления, вставляли через одну торцевую стенку в камеру отверждения. Другой порт оставляли открытым для атмосферы окружающей среды. Зонд для отбора проб прибора NDIR для измерения CO₂ вставляли через торцевую стенку на другом конце камеры отверждения для мониторинга концентрации CO₂ в камере на всем протяжении процесса отверждения. Два датчика

влажности/температуры Veisele помещали внутри камеры отверждения, по одному на каждом торце прямо на внутренней стороне торцевых стенок.

[00132] Камеру отверждения продували в течение 10 минут с помощью газообразного CO₂. Во время процесса отверждения направление циркуляции газа меняли на противоположное каждые 60 минут. Скорость нагнетателя понижали до 15 Гц через 90 минут отверждения и затем увеличивали до 45 Гц через 209 минут отверждения, после чего указанная скорость оставалась неизменной до прекращения процесса отверждения через 490 минут.

[00133] На **фиг. 15** показана влажность в камере, измеренная на торцевых стенках с помощью датчиков Veisele на протяжении всего процесса отверждения, а также общее количество сконденсированной воды, собранной во время указанного процесса.

[00134] Прочность пустотной плиты оценивали с применением установки для определения твердости по отскоку в 44 точках на верхней поверхности плиты. Результаты измерения твердости по отскоку показали, что средняя прочность на сжатие составляет 30 МПа.

Пример 2: Отверждение пустотной отливки с помощью способа изотермической адсорбции

Смешивание

[00135] Состав смеси содержал шесть твердых компонентов: (1) заполнитель с размером частиц 3/8" (примерно 0,95 см), 29% (2) заполнитель с размером частиц 1/4" (0,635 см), 15% (3) раздробленный кварц с размером частиц 2 мм, 12% (4) строительный песок, 20% (5) белый мрамор 200, 11% и (6) волластонит NYCO 400 13%. Компоненты перемешивали «сухим» способом в лабораторном смесителе Kercher Industries 12" (30,48 см) в течение 2 минут. К сухим компонентам добавляли воду (570 г) с добавкой камеди и полученную смесь перемешивали дополнительные 4 минуты. Добавляли еще воды (265 г) и перемешивали смесь дополнительные 4 минуты. В заключении добавляли еще воды (260 г) и перемешивали смесь дополнительные 2 минуты.

Отливка

[00136] Влажную смесь отливали в прямоугольной пресс-форме размером 4" × 4" × 20" (10,16 см × 10,16 см × 50,8 см), разместив длинную сторону горизонтально. Полихлорвиниловую трубку диаметром 2" (5,08 см) и длиной 20" (50,8 см), завернутую в парафинированную бумагу, закрепляли в центре пресс-формы таким образом, чтобы получить сердцевину диаметром 2" (5,08 см), проходящую вдоль длины отливки. Бетонную смесь отливали из 6 слоев при воздействии вибрации в течение 30 секунд на каждый слой, за исключением последнего, который подвергался вибрации в течение 60 секунд.

Сушка

[00137] Пустотную отливку медленно высушивали для предотвращения растрескивания. Отливку оставляли сохнуть на воздухе на всю ночь и затем помещали в сушильную печь при 90°C в течение 51 часа, а затем в течение дополнительных 20 часов при 100°C. После сушки пустотную отливку вынимали из ее пресс-формы и удаляли полихлорвиниловую трубку из сердцевины отливки. Чистая масса пустотной отливки составляла 8769 граммов.

Отверждение

[00138] Фиг. 16 представляет собой фотографию установки для отверждения. Фитинг полихлорвиниловой трубки вставляли в каждый конец сердцевины с помощью трубных штуцеров, которые ввинчивали в фитинги трубки таким образом, чтобы отверждающие газы могли проходить через отливку. Пустотную отливку помещали в изоляционный материал из стекловолокна толщиной 1" (2,54 см) с подложкой из алюминиевой фольги. Один из трубных штуцеров из сердцевины (входная разборная труба) прикрепляли с помощью соединяющей трубки из нержавеющей стали размером ¼" (0,635 см) к газовому сатуратору (нагретому сосуду, содержащему воду). Другой трубный штуцер из сердцевины (выпускная разборная труба) прикрепляли к пластиковой трубе размером ¼" (0,635 см), ведущей к вентиляционной трубе. Каждую разборную трубу оборудовали термопарой, так что температуру отверждающего газа можно было измерить до и после прохождения через сердцевину. Каждая разборная труба была изолирована с помощью стекловолокнистого изоляционного материала.

[00139] Воду в сатураторе поддерживали при 65°C на всем протяжении процесса отверждения. Для насыщения газового потока водяным паром газообразный диоксид углерода барботировали через воду со скоростью 6,5 литров/минуту. Все тепло и вода для реакции отверждения поступали в полую сердцевину с помощью насыщенного потока диоксида углерода. Температуру на входе в сердцевину повышали от 26°C до 60°C на протяжении одного часа, после чего температура оставалась постоянной в течение оставшейся части процесса отверждения. Потребовалось еще 90 минут для повышения температуры на выходе из сердцевины до 53°C, после чего температура оставалась постоянной в течение оставшейся части процесса отверждения. Процесс отверждения завершился через 20 часов.

[00140] Удаляли изоляционный материал, окружающий пустотную отливку во время процесса отверждения. Первая треть отливки (впускной конец) выглядела влажной и более темной с наружной стороны, чем остальная часть отливки, которая казалась более светлой и сухой (фиг. 17). Отливку полностью высушивали в сушильной печи до постоянной массы, составляющей 8939 граммов, при приросте массы в 170 граммов вследствие

карбонизации. Средняя степень карбонизации согласно расчетам составляла 40% от прироста массы.

[00141] Для оценки равномерности отверждения высушенную пустотную отливку разрезали пополам, поскольку два конца отливки визуально различались. Некоторое количество материала из пропила было потеряно при разрезании отливки и некоторое количество материала было потеряно из-за откалывания наружных краев разреза под действием полотна пилы. Структура скола была симметричной и приблизительно одинаковой с обеих половинок отливки, таким образом, потери при разрезании были приблизительно одинаковыми для обоих кусков. Общая масса потерь при разрезании составила 137 грамм.

[00142] Внутренние края (например, поверхность сердцевин) были обрезаны аккуратно, что свидетельствует о том, что внутренняя часть отливки взаимодействовала лучше, чем наружная часть и что степень завершенности реакции менялась в радиальном направлении вокруг сердцевин. Масса впускной части высушенной отливки составляла 4429 грамма, тогда как масса выпускной части высушенной отливки составляла 4373 грамма. Таким образом, масса, оставшаяся после разрезания плиты, была равномерно распределена между двумя половинами (50,3% впускной конец; 49,7% выпускной конец). Следовательно, степень карбонизации равномерно распределялась вдоль длины пустотной отливки.

[00143] В описании изобретения и прилагаемой формуле изобретения существительные в единственном числе включают ссылку на существительные во множественном числе, если из контекста явно не следует иное.

[00144] Если не указано иное, все технические и научные термины, используемые в настоящем документе, имеют те же значения, которые, как правило, использует обычный специалист в данной области техники. Хотя при практическом осуществлении или испытании настоящего изобретения также можно использовать любые способы и материалы, похожие или эквивалентные способам и материалам, описанным в настоящем документе, предпочтительные способы и материалы представлены в настоящей заявке. Методы, указанные в настоящем документе, можно реализовать в любом порядке, который возможен с логической точки зрения, наряду с конкретным описанным порядком.

Включение посредством ссылки

[00145] В настоящем описании были приведены цитаты и ссылки на другие документы, такие как патенты, заявки на патенты, патентные публикации, журналы, книги, статьи, веб-контент. Все указанные документы в полном объеме включены в настоящее описание посредством ссылки для всех целей. Любой материал или его часть, которая была включена в настоящий документ посредством ссылки, но которая противоречит

существующим определениям, заявлениям или другому описанному материалу, изложенному в настоящем документе в явном виде, включена только в той степени, которая не вызывает противоречия между этим включенным материалом и материалом согласно настоящему изобретению. В случае противоречия конфликт должен быть решен в пользу настоящего описания как предпочтительного описания.

Эквиваленты

[00146] Репрезентативные примеры, описанные в настоящем документе, предназначены для иллюстрирования изобретения и не предназначены и не должны рассматриваться как ограничивающие объем настоящего изобретения. Действительно, различные модификации изобретения и многие дополнительные варианты его реализации наряду с вариантами, показанными и описанными в настоящем документе, станут очевидными для специалистов в данной области техники из полного содержания этого документа, включающего приведенные примеры и ссылки на научную и патентную литературу, цитируемые в настоящем документе. Следующие примеры содержат важную дополнительную информацию, иллюстративные примеры и рекомендации, которые можно адаптировать к практическому осуществлению настоящего изобретения в его различных вариантах реализации и их эквивалентов.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Изделие промышленного производства, содержащее основную часть, изготовленную из композиционного материала,

при этом

указанная основная часть содержит один или более внутренних проходов или каналов, имеющих одну или более поверхностей, способных сообщаться посредством переноса текучей среды с наружной стороной основной части, и

композиционный материал содержит:

множество связывающих элементов, при этом каждый связывающий элемент содержит: сердцевину, содержащую в основном силикат кальция, обогащенный диоксидом кремния первый или внутренний слой и обогащенный карбонатом кальция второй или внешний слой; и

частицы наполнителя, содержащие крупнодисперсные частицы наполнителя и/или мелкодисперсные частицы наполнителя, при этом множество связывающих элементов и множество частиц наполнителя вместе образуют одну или более связующих матриц, при этом указанные связывающие элементы и частицы наполнителя по существу равномерно распределены в указанной матрице и соединены друг с другом.

2. Изделие по п. 1, дополнительно содержащее один или более арматурных элементов, встроенных в основную часть.

3. Изделие по п. 2, отличающееся тем, что один или более арматурных элементов представляют собой стержни, проволоки или тросы.

4. Изделие по п. 2, отличающееся тем, что один или более арматурных стержней выполнены из железа, стали, полимерных материалов, стекла или их комбинации.

5. Изделие по п. 1, отличающееся тем, что один или более арматурных элементов являются предварительно напряженными.

6. Изделие по п. 1, отличающееся тем, что указанное изделие представляет собой пустотную плиту.

7. Изделие по п. 6, отличающееся тем, что продольный размер указанного изделия составляет от примерно 4 м до примерно 250 м, поперечный размер составляет от примерно 0,5 м до примерно 2 м и толщина составляет от примерно 10 см до примерно 50 см.

8. Изделие по п. 1, отличающееся тем, что средний частиц размер множества связывающих элементов составляет от примерно 5 мкм до примерно 100 мкм.

9. Изделие по п. 1, отличающееся тем, что множество связывающих элементов подвергаются химическому превращению с участием размельченного силиката кальция, содержащего одно или более веществ, выбранных из природного или синтетического волластонита, псевдоволластонита, ранкинита, геленита, белита, алита и аморфной фазы.

10. Изделие по п. 9, отличающееся тем, что множество связывающих элементов получают путем химического превращения размельченного силиката кальция посредством его взаимодействия с CO_2 в процессе регулируемого гидротермального жидкофазного спекания.

11. Изделие по п. 9, отличающееся тем, что множество связывающих элементов подвергаются химическому превращению с участием прекурсора силиката кальция, не являющегося синтетическим волластонитом или псевдоволластонитом.

12. Изделие по п. 1, отличающееся тем, что массовое отношение связывающих элементов к частицам наполнителя составляет примерно 1 : 5.

13. Изделие по п. 1, водопоглощение которого составляет менее примерно 10 %.

14. Изделие по п. 1, отличающееся тем, что основная часть является вытянутой по форме и содержит четыре или более продольно расположенных проходов или каналов.

15. Способ получения изделия промышленного производства, включающий:
смешивание композиции в виде частиц и жидкой композиции с получением смеси;
введение арматурного элемента в смесь;

отливку или экструдирование или иным образом формование смеси в пресс-форме с получением отлитой или экструдированной или иным образом формованной основной части, содержащей встроенный в нее арматурный элемент и один или более внутренних проходов или каналов в формованной основной части, имеющих одну или более поверхностей и способных сообщаться посредством переноса текучей среды с внутренней частью стенки основной части;

поддержание атмосферы CO_2 и/или водяного пара в одном или более внутренних проходов или каналов; и

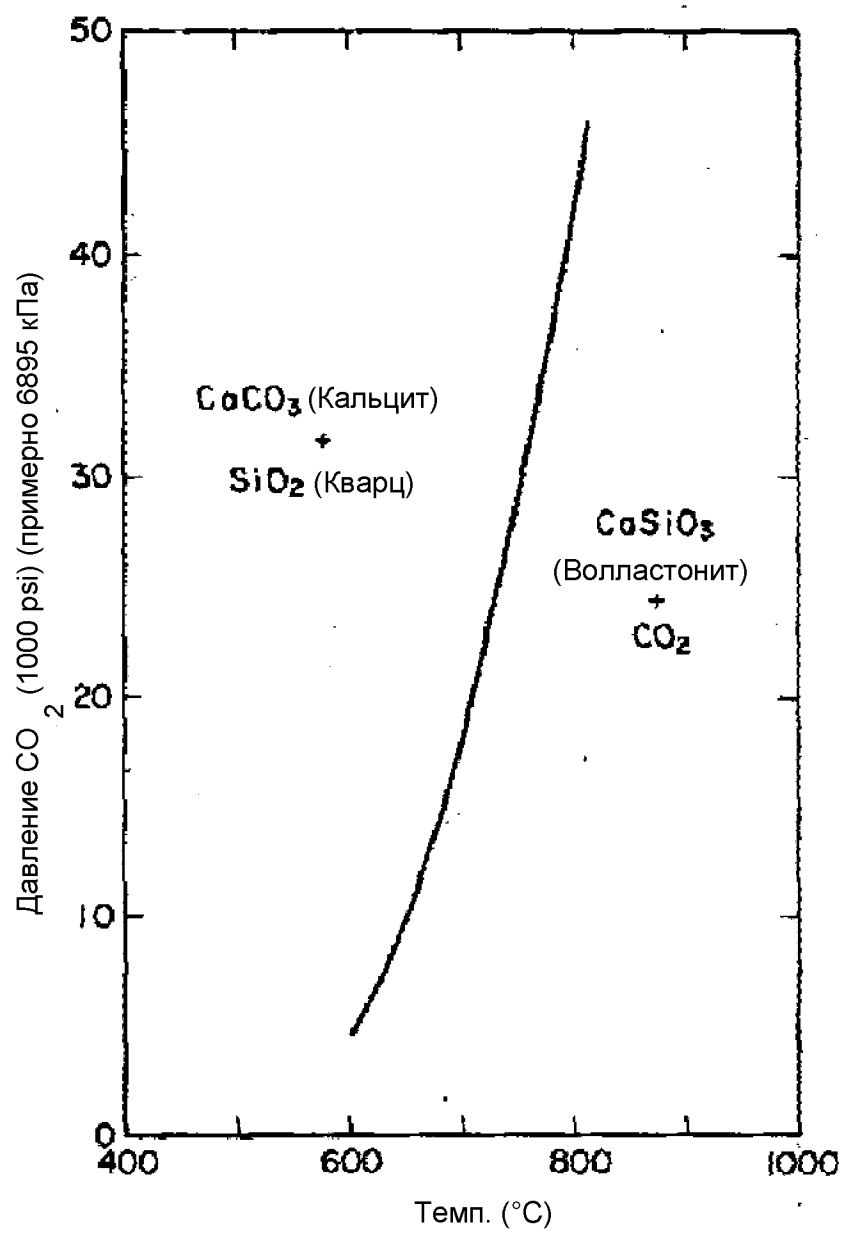
отверждение отлитой или экструдированной основной части при температуре в диапазоне от примерно 20°C до примерно 150°C в течение от примерно 1 часа до примерно 80 часов в атмосфере воды и/или CO_2 , имеющей давление в диапазоне от атмосферного давления до давления на примерно 60 psi (примерно 413 кПа) выше давления окружающей среды и содержащей концентрацию CO_2 в диапазоне от примерно 10% до примерно 90%,
при этом

композиция в виде частиц содержит размельченный силикат кальция, содержащий одно или более веществ, выбранных из природного или синтетического волластонита, псевдоволластонита, ранкинита, геленита, белита, алита и аморфной фазы, со средним размером частиц в диапазоне от примерно 1 мкм до примерно 100 мкм, и

жидкая композиция содержит воду.

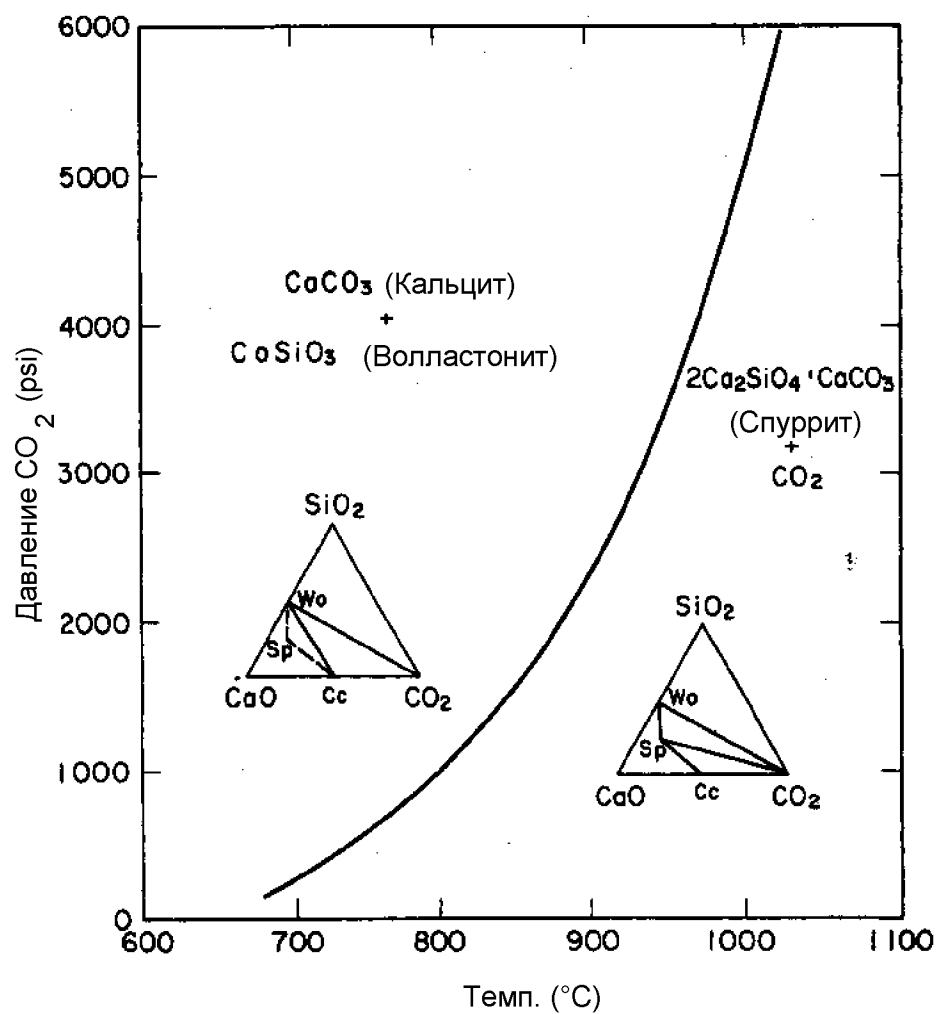
16. Способ по п. 15, отличающийся тем, что отверждение отлитой смеси осуществляют при температуре, равной или ниже примерно 60°C , в течение от примерно 10 до примерно 50 часов в атмосфере пара, содержащего воду и CO_2 и имеющего атмосферное давление окружающей среды.

17. Способ по п. 16, отличающийся тем, что размельченный силикат кальция представляет собой в основном размельченный волластонит.
18. Изделие, полученное способом согласно любому из п.п. 15-27.
19. Изделие по п. 18, отличающееся тем, что изделие представляет собой пустотную плиту.
20. Изделие по п. 18, отличающееся тем, что один или более арматурных элементов представляют собой стержни, проволоки или тросы.
21. Изделие по п. 18, отличающееся тем, что один или более арматурных стержней выполнены из железа, стали, полимерных материалов, стекла или их комбинации.



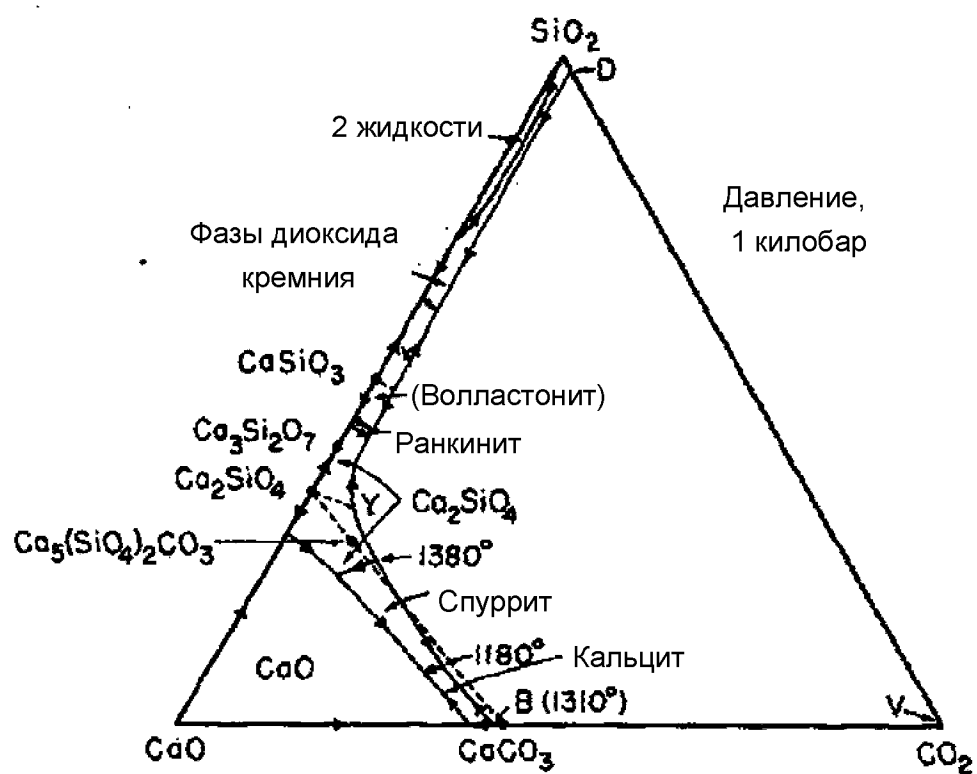
ФИГ. 1

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ



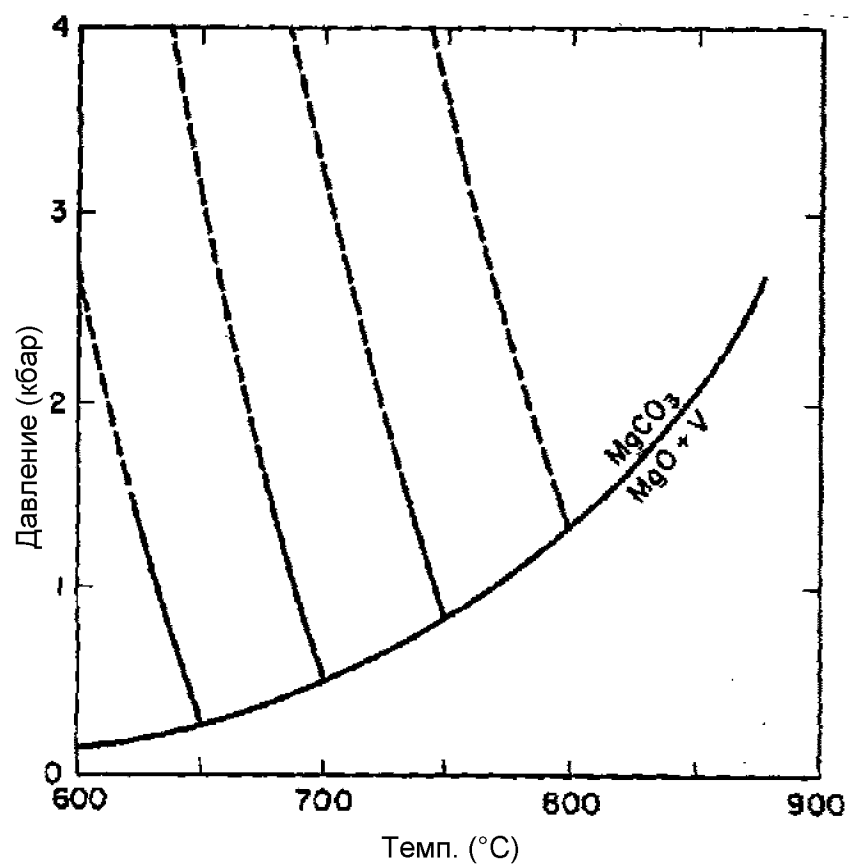
ФИГ. 2

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ



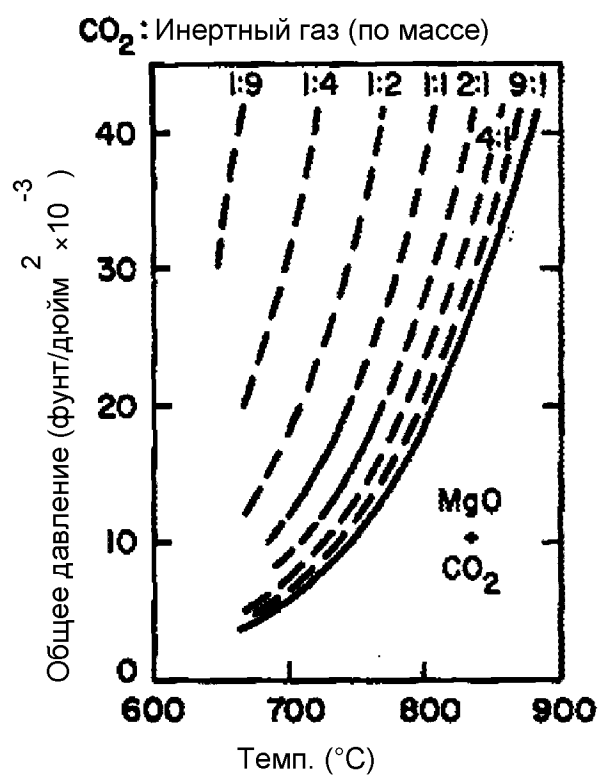
ФИГ. 3

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ



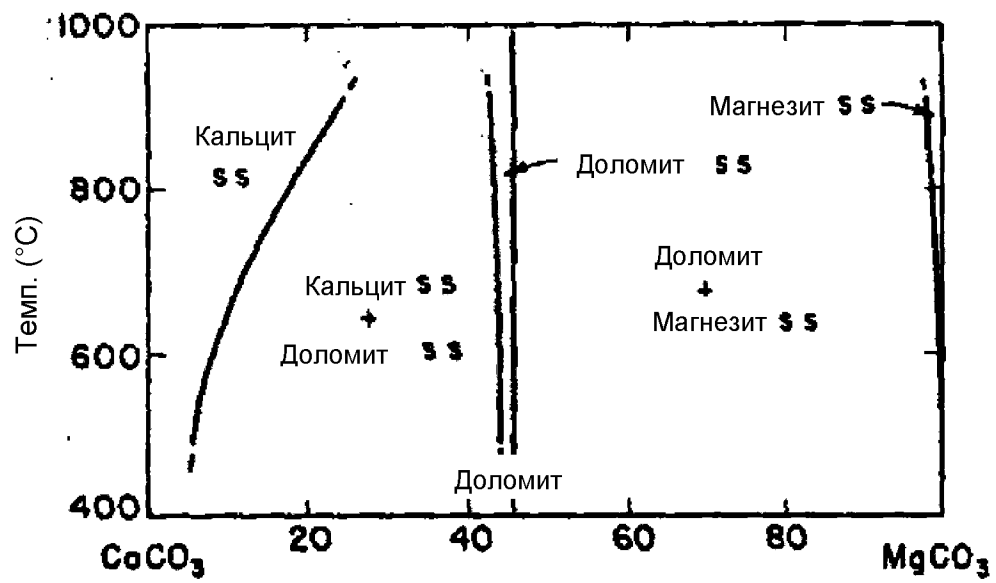
ФИГ. 4

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ



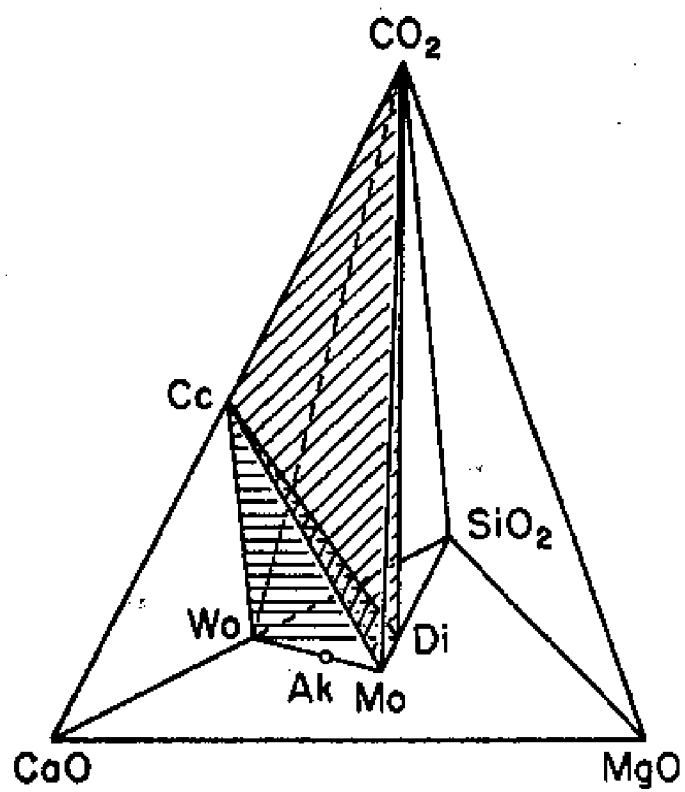
ФИГ. 5

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ



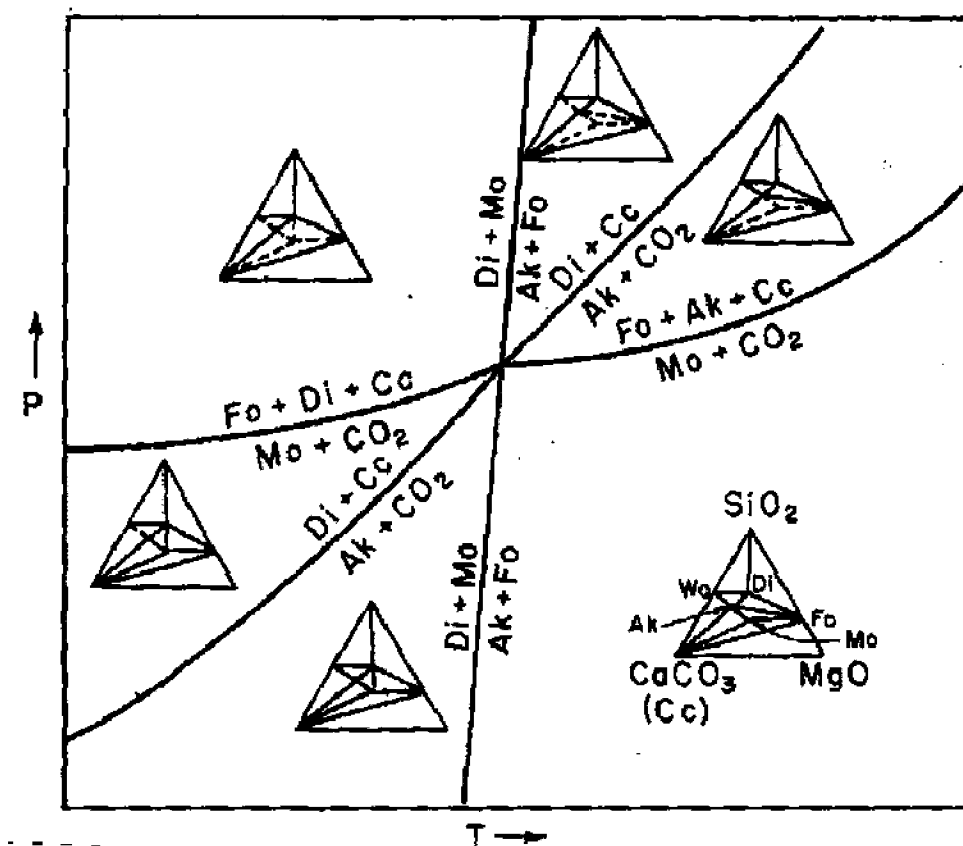
ФИГ. 6

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ



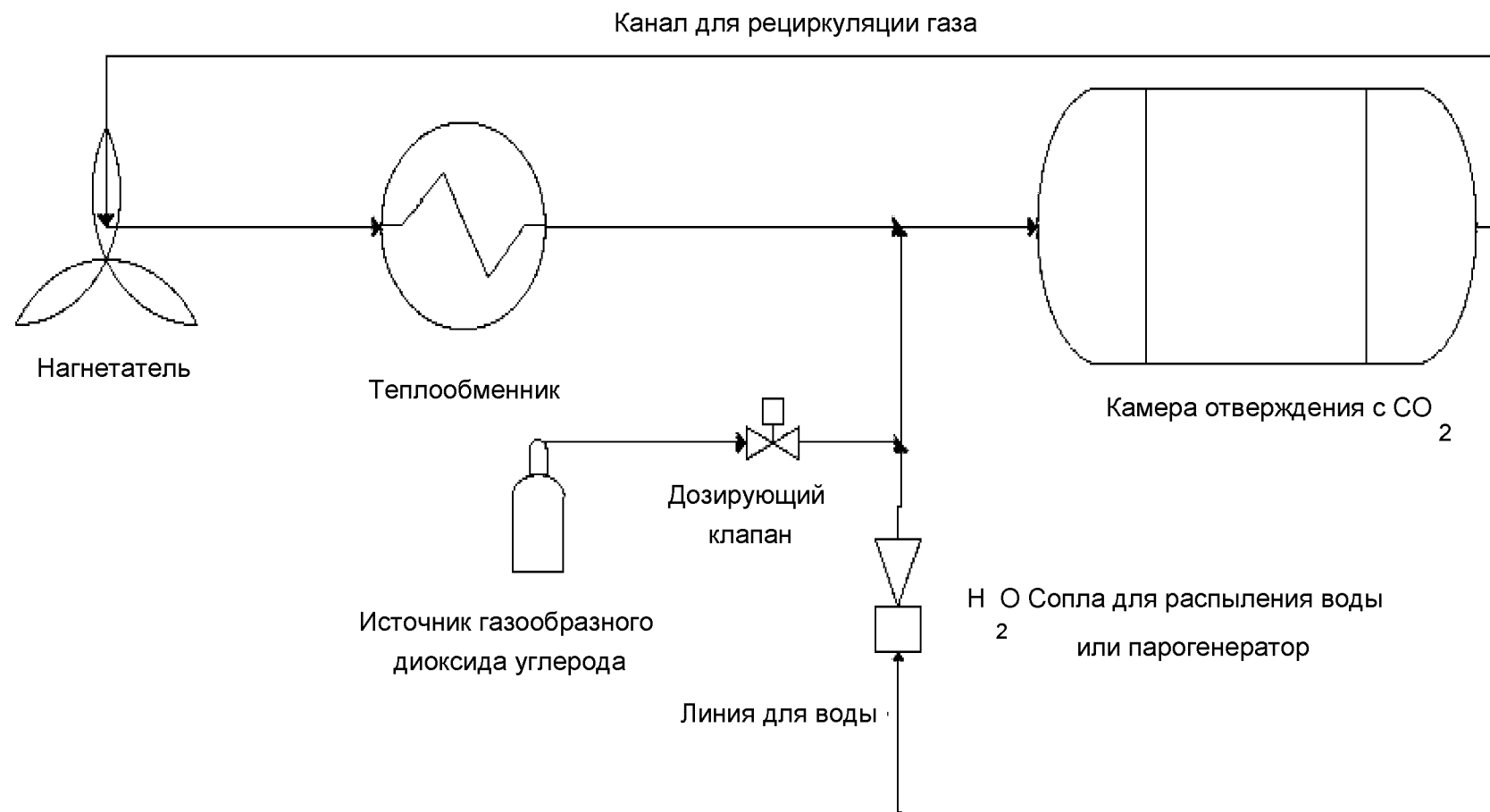
ФИГ. 7

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

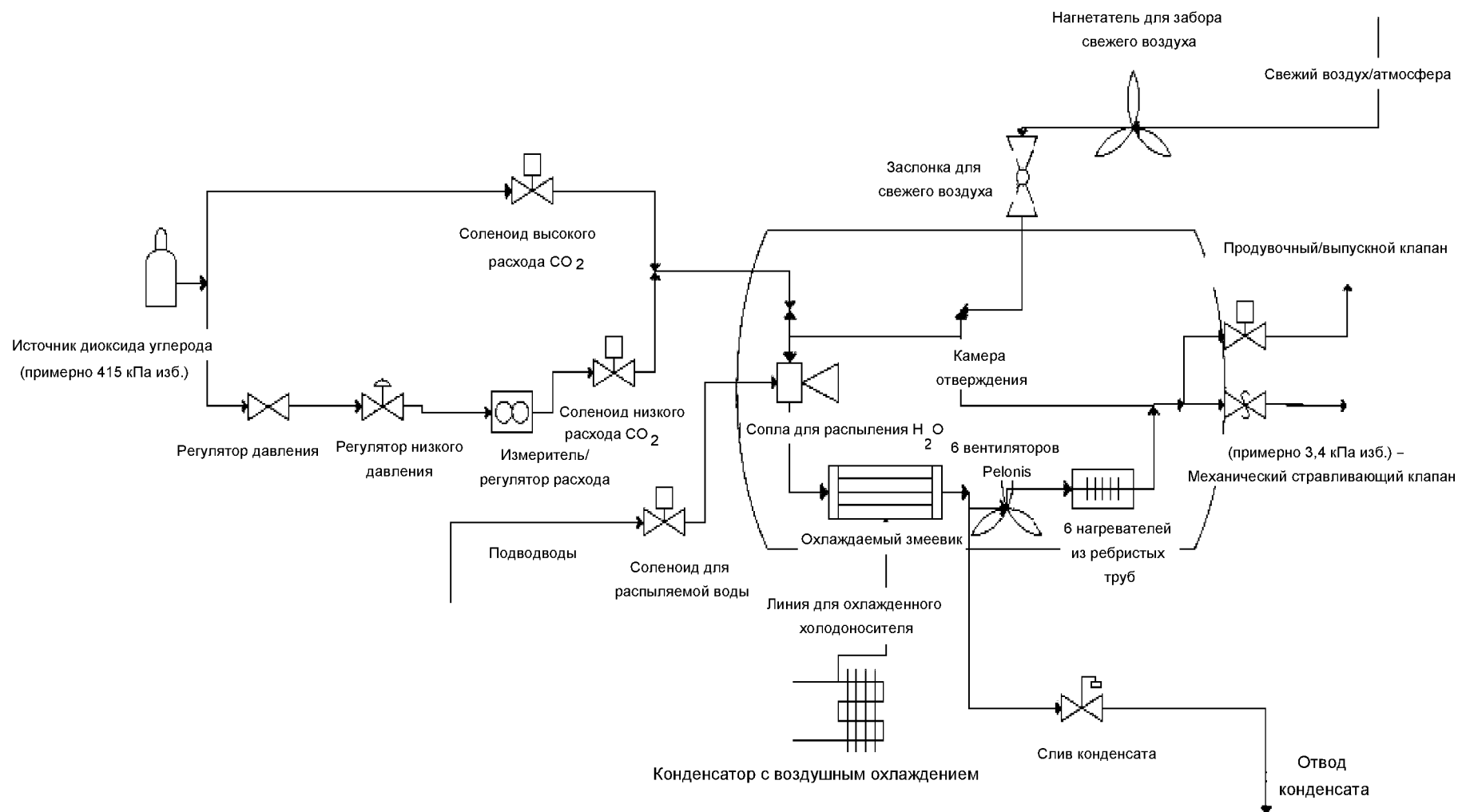


ФИГ. 8

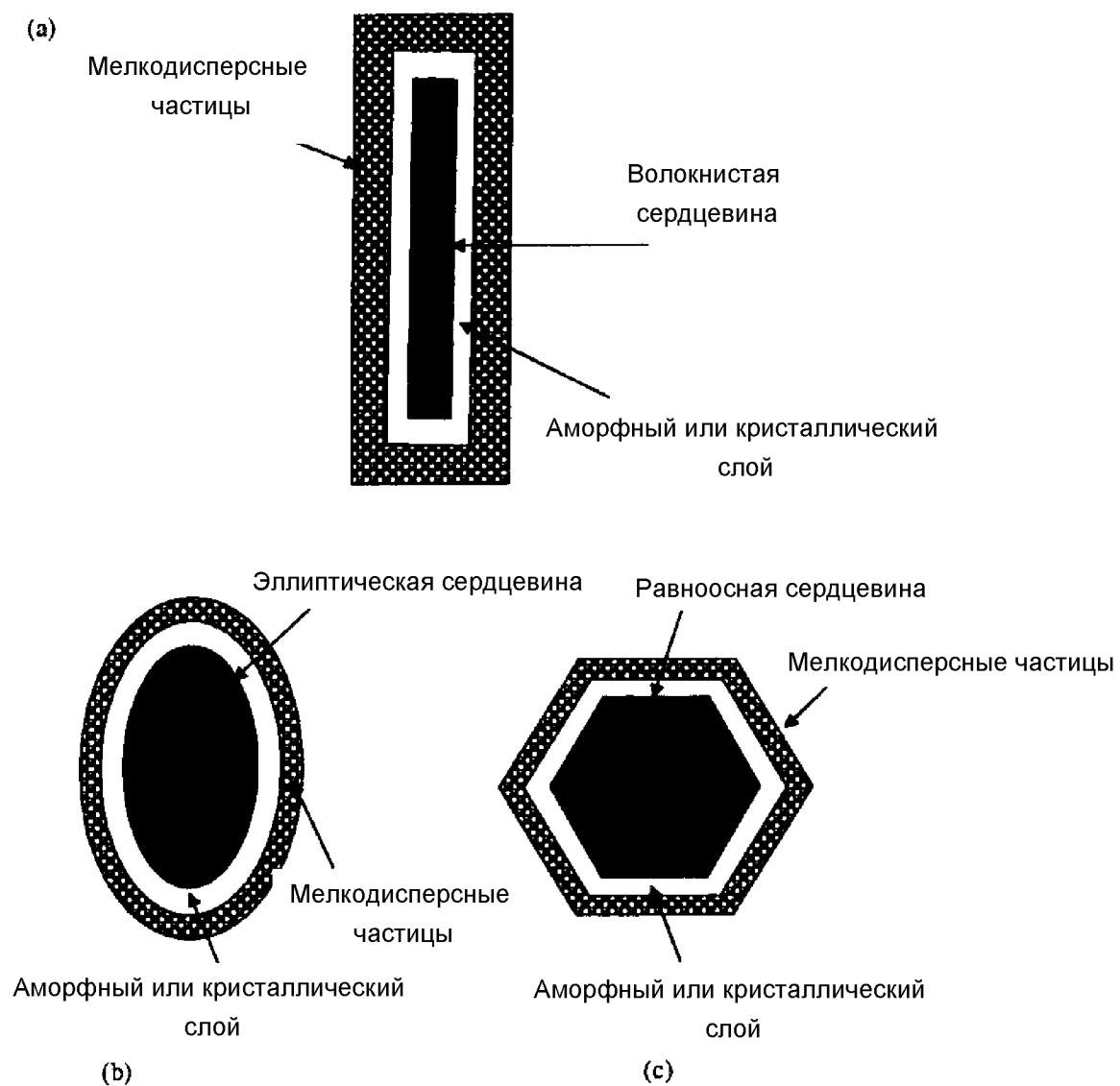
УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ



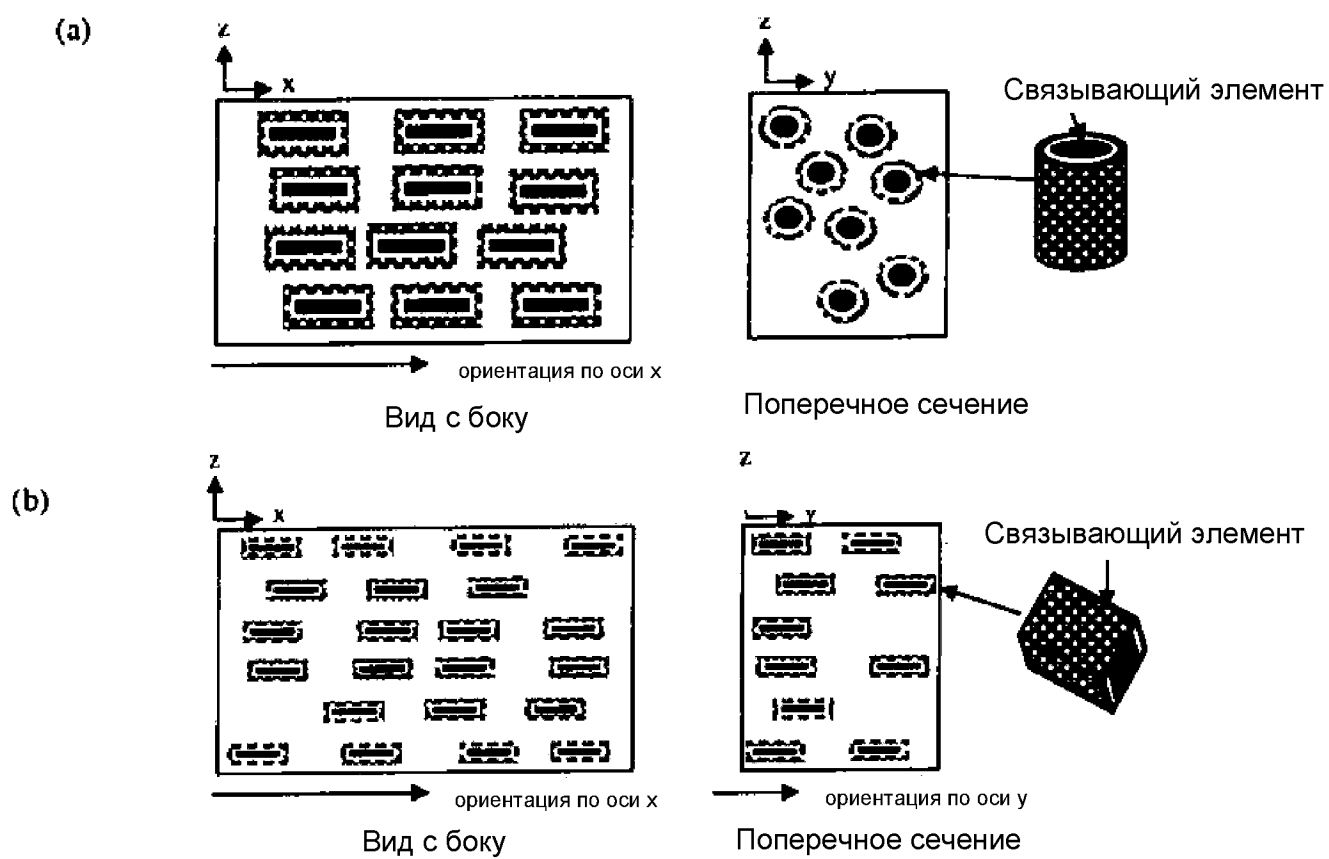
ФИГ. 9



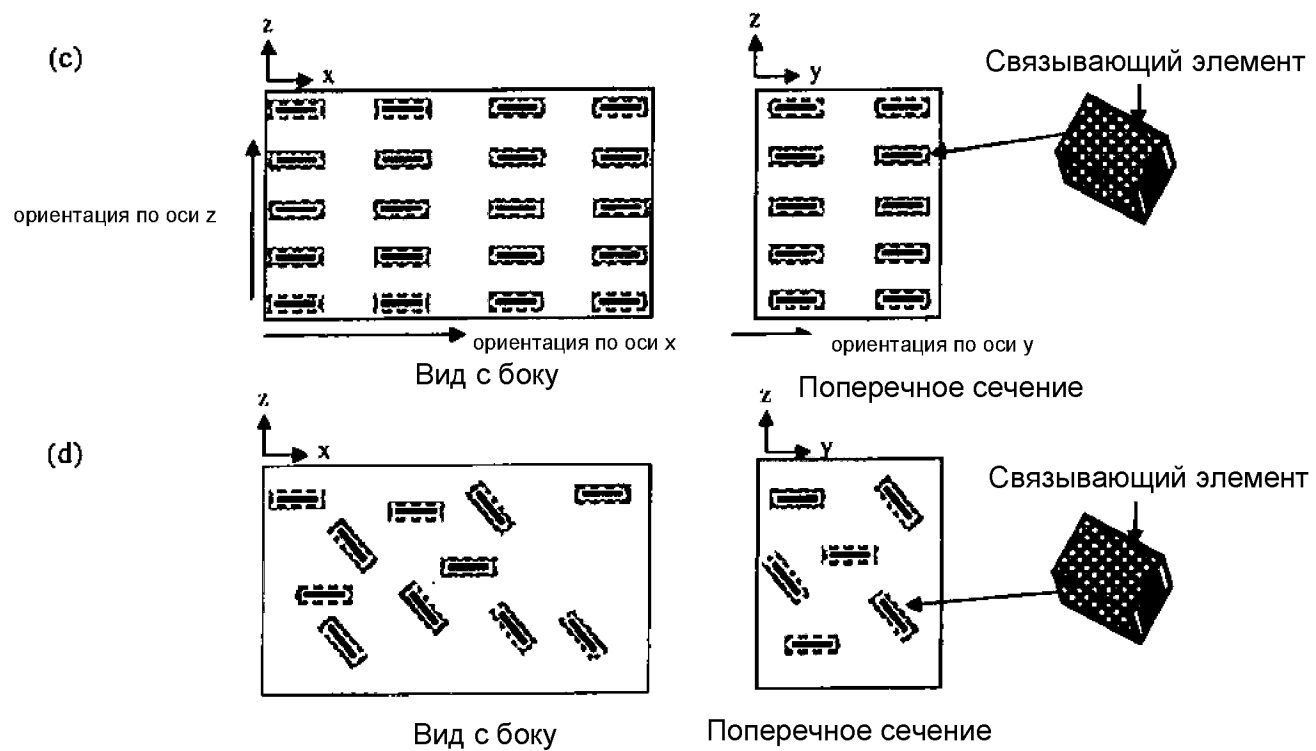
ФИГ. 10



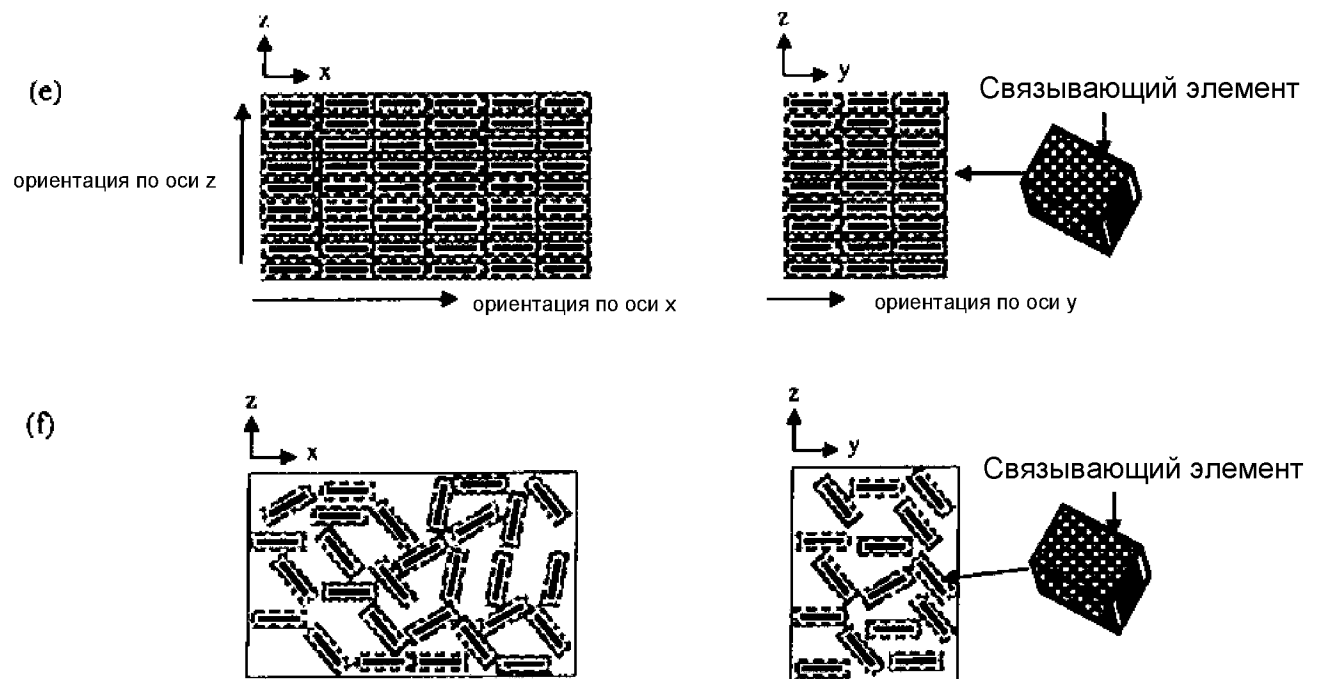
ФИГ. 11



ФИГ. 12



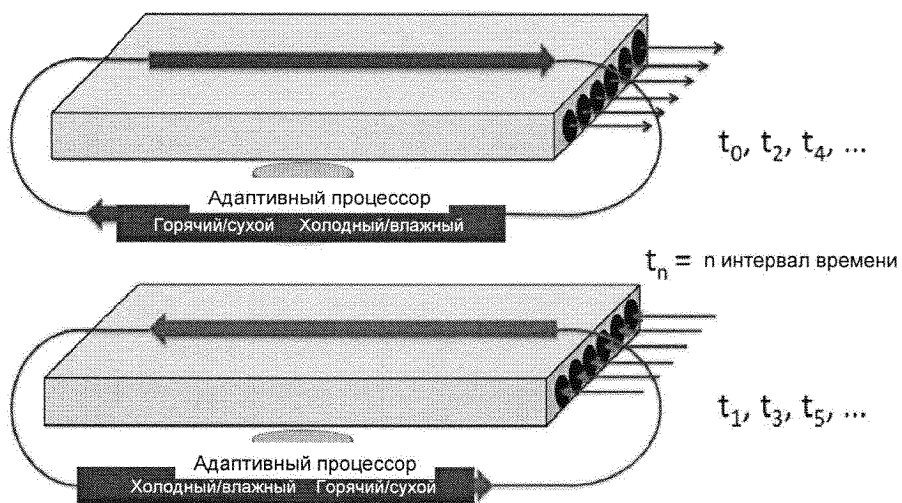
ФИГ. 12
(продолж.)



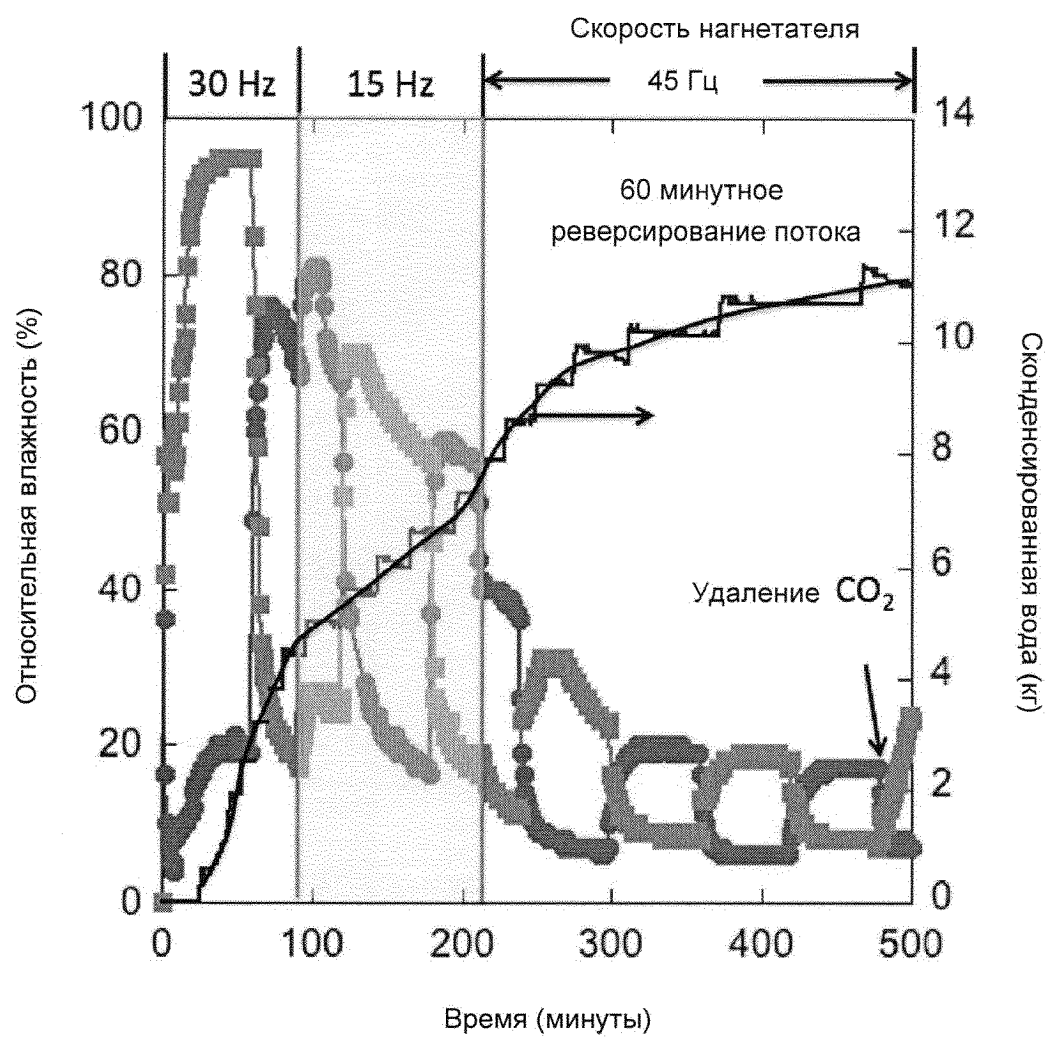
ФИГ. 12
(продолж.)



ФИГ. 13



ФИГ. 14



ФИГ. 15



ФИГ. 16



ФИГ. 17