

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **044255**

(13) **B1**

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

- | | |
|--|--|
| (45) Дата публикации и выдачи патента
2023.08.08 | (51) Int. Cl. C04B 28/02 (2006.01)
C04B 7/00 (2006.01)
C04B 40/00 (2006.01)
C04B 40/02 (2006.01)
E04C 2/18 (2006.01)
C04B 11/00 (2006.01) |
| (21) Номер заявки
202091075 | |
| (22) Дата подачи заявки
2017.12.04 | |

(54) **КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, СПОСОБЫ ИХ ПОЛУЧЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ**

- | | |
|---|--|
| (43) 2020.12.15 | (56) EA-A1-201690671
WO-A1-2016022485
EA-A1-201591669
EA-A1-201300991 |
| (86) PCT/US2017/064544 | |
| (87) WO 2019/112555 2019.06.13 | |
| (71)(73) Заявитель и патентовладелец:
СОЛИДИЯ ТЕКНОЛОДЖИЗ, ИНК.
(US) | |
| (72) Изобретатель:
Маккендлиш Ларри Э., Нарин
Орландо, Касторо Даниэль, Атакан
Вахит, Патген Девин, Каплер
Джон П., Куинн Шон Кэмрон (US) | |
| (74) Представитель:
Микуцкая Т.Ю., Файбисович А.С.,
Рогова Е.В. (RU) | |

-
- (57) В изобретении предложены новые изделия из композиционных материалов, содержащие полые внутренние каналы или проходы или сделанные полыми иным образом, и составы и способы их получения и применения. Такие пустотелые изделия подходят для различных применений в строительстве, дорожных покрытиях, ландшафтной архитектуре и инфраструктуре.

B1

044255

044255 B1

Область техники

Настоящее изобретение в целом относится к изделиям из композиционных материалов и системам и способам их получения. Более конкретно, настоящее изобретение относится к новым изделиям или сборным изделиям из композиционных материалов (например, дорожным плитам, блокам, черепице и многопустотным плитам), а также к составам и способам их получения и применения. Такие бетонные изделия подходят для различных применений в строительстве, дорожных покрытиях, ландшафтной архитектуре и инфраструктуре.

Уровень техники

Бетон является наиболее потребляемым искусственным материалом в мире. Типичный бетон получают путем смешивания портландцемента, воды и заполнителей, таких как песок и щебень. Портландцемент представляет собой синтетический материал, получаемый путем сжигания смеси молотого известняка и глины или материалов аналогичного состава во вращающейся печи при температуре спекания примерно 1450°C.

Дорожные плиты представляют собой бетонные блоки, изготовленные посредством процесса литья, процесса прессования, процесса уплотнения или комбинации процессов вибрации и прессования. В общем случае дорожные плиты укладывают по схеме "в перевязку". Такие дорожные плиты также иногда называют брусчаткой. Указанные дорожные плиты могут быть заменены при повреждении во время срока службы на новые плиты, что уменьшает перерыв в эксплуатации. Дорожные плиты для укладки "в перевязку" могут быть выполнены таким образом, чтобы иметь зазор между плитами, обеспечивающий отведение воды в нижележащие слои.

Стандарт ASTM C 936 содержит критерии, которым должны удовлетворять бетонные дорожные плиты, но не ограничивается следующими параметрами: средняя прочность при сжатии 8000 psi (примерно 55 МПа); среднее водопоглощение не более 5%; и устойчивость по меньшей мере к 50 циклам замораживания и оттаивания при средней потере материала, не превышающей 1%. В дополнение к требованиям ASTM желательно, чтобы дорожные плиты соответствовали дополнительным требованиям, включая уменьшенное выветривание (например, уменьшенное вымывание продукта реакции вследствие градиентов концентрации); хорошую цветостойкость; и сопротивление истиранию в зависимости от того, где используют дорожные плиты.

Как и дорожные плиты, блоки также представляют собой сборный бетон, полученный с применением либо процессов литья или прессования, либо аналогичных процессов уплотнения. Блоки также называют бетонными строительными блоками (CMU), пустотелыми блоками и бетонными блоками. Когда такие блоки изготовлены с применением летучей золы, их называют шлакобетонными блоками. Указанные блоки обычно имеют полую структуру. С целью замены дорогостоящего и дефицитного природного материала на недорогие, легко получаемые имитирующие материалы были исследованы синтетические или искусственные камни для мощения и материалы для строительных блоков. Однако такие попытки еще должны привести к получению синтетического материала, обладающего требуемым внешним видом, текстурой, плотностью, твердостью, пористостью и другими эстетическими характеристиками камня, при одновременной возможности производства в больших количествах при низких затратах с минимальным воздействием на окружающую среду.

Как ожидают, указанные блоки обеспечат лучшие структурные свойства по сравнению с глиняными кирпичами (для несущего нагрузку каменного сооружения) и более гладкую поверхность при изготовлении каменной стены. Кроме того, бетонные строительные блоки для укладки "в перевязку" не требуют применения строительного раствора для соединения блоков. Некоторые блоки можно использовать для создания полых конструкций, обеспечивающей хорошую звуко- и теплоизоляцию по сравнению с твердотельной конструкцией.

В общем случае, блоки должны соответствовать требованиям ASTM C90, Standard Specification for Loadbearing Concrete Masonry Units. Можно гарантировать, что блоки, соответствующие данному стандарту, являются приемлемыми с точки зрения прочности, геометрических размеров, долговечности и огнестойкости, и в целом подходят для применения в типовых коммерческих строительных проектах.

Многопустотные плиты, иногда называемые канальными плитами или полыми плитами перекрытия, представляют собой сборные плиты из бетона. Их часто используют в строительных конструкциях, например, в качестве полов, стен или крыш в многоэтажных зданиях. Сборная бетонная плита обычно имеет трубчатые пустоты, проходящие полную длину плиты, что делает такую плиту более легкой, чем массивная плита для пола равной толщины или прочности. Уменьшенная масса позволяет снизить материальные и транспортные расходы.

Типичные плиты имеют ширину примерно 120 см при стандартной толщине от 15 до 50 см. Двутавровые балки из сборного бетона содержат между отверстиями стальные проволочные канаты, обеспечивающие сопротивление изгибу в отношении изгибающего момента, возникающего при нагрузках. Производственный процесс включает экструдирование влажного бетона вокруг предварительно напряженного стального проволочного каната из движущейся пресс-формы. После отверждения сплошную плиту разрезают в соответствии с требуемой длиной и шириной. Многопустотные плиты для пола также изготавливают из арматурного железобетона (без предварительного напряжения). Пустотелые стеновые

панели изготавливают без армирования.

Однако бетонные продукты не являются оптимальными с точки зрения как экономики, так и воздействия на окружающую среду. Существующие технологии производства характеризуются большим расходом энергии и выбросами диоксида углерода, что приводит к неблагоприятным углеродным отпечаткам. Производство портландцемента представляет собой не только энергоемкий процесс, но также процесс, при котором выделяется значительные количества парниковых газов (CO_2). На цементную промышленность приходится приблизительно 5% глобальных антропогенных выбросов CO_2 . Более 60% такого CO_2 образуется в результате химического разложения или обжига известняка.

Недавно в качестве перспективной замены традиционным цементам появилась революционная форма цемента, основанная на кальций-силикатных материалах, способных к карбонизации. Производство цемента на основе силиката кальция, способного к карбонизации, характеризуется значительным снижением выбросов CO_2 и потребления энергии. Кроме того, такой новый цемент позволяет изолировать CO_2 при отверждении в бетонных изделиях, поскольку CO_2 необходим для взаимодействия с кальций-силикатными материалами, способными к карбонизации, во время процесса отверждения для получения бетонных продуктов.

Таким образом, существует постоянная потребность в новых и улучшенных цементных и бетонных продуктах и технологиях производства, которые можно использовать в массовом производстве при более низких затратах с улучшенным потреблением энергии и более желательным углеродным отпечатком.

Краткое описание изобретения

Настоящее изобретение частично основано на неожиданном обнаружении улучшенных продуктов и технологий производства для получения различных бетонных объектов (например, дорожных плит, блоков, черепицы и многослойных плит) из силиката кальция, способного к карбонизации. Такие полученные изделия обладают превосходными физическими и эксплуатационными характеристиками, соответствующими или превосходящими характеристики существующих бетонных изделий, включая ударную вязкость, гибкость, сопротивление истиранию и долговечность.

Бетонные объекты согласно настоящему изобретению можно легко получить из широкодоступных недорогих сырьевых материалов посредством способа, подходящего для крупномасштабного производства, при более низком потреблении энергии, следовательно, с обеспечением требуемых углеродных отпечатков при минимальном воздействии на окружающую среду. Сырьевые материалы включают материалы-предшественники, такие как силикат кальция в виде частиц. Материал-предшественник на основе силиката кальция обычно содержит смесь отдельных фаз силиката кальция, выбранных из одной или более фаз, включающих CS (волластонит или псевдоволластонит), C_3S_2 (ранкинит), C_2S (белит или ларнит или бредигит) и аморфную фазу на основе силиката кальция, составляющую примерно 30% или более от общего количества фаз, где "С" относится к оксиду кальция или извести, где "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, компонент текучей среды используют в качестве реакционной среды, содержащей жидкую воду и/или водяной пар и реагент, диоксид углерода (CO_2), который расходуется при производстве в качестве реакционноспособного соединения и в конечном итоге изолируется в готовом продукте. Связывающие элементы взаимодействуют при регулируемых температурах и давлениях либо посредством процесса гидратации, в котором между водой и водяным паром протекает реакция, либо с применением водяного пара и CO_2 .

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

Согласно одному из аспектов настоящее изобретение в целом относится к изделию, содержащему композиционный материал, распределенный в виде множества отдельных бетонных объектов. Один или более проходов или каналов расположены между указанным множеством отдельных бетонных объектов или проходят через них с формированием системы транспортировки текучей среды внутри одного или более проходов или каналов и/или с наружной части множества отдельных объектов. Композиционный материал содержит: множество связывающих элементов, при этом каждый связывающий элемент имеет ядро, содержащее преимущественно силикат кальция, первый или внутренний слой, обогащенный диоксидом кремния, и второй или внешний слой, обогащенный карбонатом кальция; и частицы наполнителя, содержащие крупные частицы наполнителя и/или мелкие частицы наполнителя. Множество связывающих элементов и множество частиц наполнителя вместе образуют одну или более связывающих матриц, при этом указанные связывающие элементы и частицы наполнителя по существу равномерно распределены в указанной матрице и связаны вместе. Согласно определенным вариантам реализации множество отдельных бетонных объектов расположены внутри оболочки или камеры.

Согласно другому аспекту настоящее изобретение в целом относится к системе для изготовления изделия. Указанная система включает оболочку или камеру и заключенный в нее композиционный материал, распределенный в виде множества отдельных бетонных объектов. Один или более проходов или каналов расположены между указанным множеством отдельных бетонных объектов или проходят через них с формированием системы транспортировки текучей среды внутри одного или более проходов и каналов и с наружной части множества отдельных объектов. Предложенная система также необязательно включает одну или более плит, на которых размещено множество отдельных бетонных объектов, и один или более стеллажей, брезентовых тентов, стенок или панелей с планарными, плоскими, выпуклыми или вогнутыми лицевыми поверхностями, образующими один или более проходов или каналов и обеспечивающими профиль потока текучей среды в системе транспортировки текучей среды.

Согласно еще одному аспекту настоящее изобретение в целом относится к способу получения изделия. Предложенный способ включает: смешивание композиции в виде частиц и жидкой композиции с получением смеси; литье или экструдирование или формование иным способом указанной смеси в пресс-форме с получением отлитой или экструдированной или иным образом формованной прессовки ("green body"), содержащей множество отдельных бетонных объектов, при этом один или более проходов или каналов расположены между указанным множеством отдельных бетонных объектов и наружной частью множества отдельных объектов или проходят через них; поддержание атмосферы CO_2 и/или водяного пара в одном или более внутренних проходах или каналах и наружной части множества отдельных объектов; и отверждение множества отдельных объектов при температуре в диапазоне от примерно 20°C до примерно 150°C в течение от примерно 1 ч до примерно 80 ч в атмосфере воды и/или CO_2 , давление которой составляет от внешнего атмосферного давления до давления, примерно на 60 psi (примерно 413 кПа) выше внешнего давления, и концентрация CO_2 в которой составляет от примерно 10% до примерно 90%.

Согласно некоторым вариантам реализации поддержание атмосферы CO_2 и/или водяного пара в одном или более внутренних проходах или каналах и/или наружной части множества отдельных объектов включает: удержание атмосферы внутри одного или более внутренних каналов и/или наружной части множества отдельных объектов; циркуляцию удерживаемой атмосферы CO_2 и/или водяного пара; удаление водяного пара из удерживаемой атмосферы или добавление водяного пара к удерживаемой атмосфере; и нагревание удерживаемой атмосферы.

Согласно еще одному аспекту предложенное изобретение в целом относится к изделию, полученному способом, описанным в настоящем документе. Изделие согласно настоящему изобретению может иметь любой подходящий размер или форму или подходить для любых подходящих целей, например, выбранных из дорожных плит, блоков, черепицы, многопустотных плит, сборных бетонных изделий с армированием или без него.

Краткое описание графических материалов

Объекты и особенности настоящего изобретения могут быть лучше поняты со ссылкой на описанные ниже чертежи и формулу изобретения. Указанные чертежи не обязательно выполнены в масштабе, вместо этого особое внимание в целом уделено иллюстрации принципов настоящего изобретения. На чертежах одинаковые цифры используют для обозначения одинаковых деталей на всех различных изображениях.

Фиг. 1 представляет собой диаграмму фазового состояния давление-температура, на которой показаны фазы, присутствующие в обратимой реакции $\text{CaCO}_3 + \text{SiO}_2 \leftrightarrow \text{CaSiO}_3 + \text{CO}_2$ (силикат кальция) + CO_2 .

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

Фиг. 3 представляет собой диаграмму фазового состояния системы $\text{CaO-SiO}_2\text{-CO}_2$ при давлении 1 килобар.

Фиг. 4 представляет собой диаграмму фазового состояния давление-температура, на которой показаны фазы, присутствующие в обратимой реакции $\text{MgO} + \text{CO}_2 \leftrightarrow \text{MgCO}_3$.

Фиг. 5 представляет собой диаграмму фазового состояния давление-температура, на которой показаны кривые равновесия для обратимой реакции $\text{MgO} + \text{CO}_2 + \text{MgCO}_3$ в зависимости от доли CO_2 в инертном газе.

Фиг. 6 представляет собой диаграмму фазового состояния температура-состав, иллюстрирующую области стабильности для различных фаз в системе $\text{CaCO}_3\text{-MgCO}_3$.

Фиг. 7 представляет собой тетраэдральную диаграмму, на которой проиллюстрированы фазовые соотношения между соединениями CaO , MgO , SiO_2 и CO_2 и показана область с дефицитом CO_2 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 монтичеллит (CaMgSiO_4).

Фиг. 8 представляет собой диаграмму фазового состояния давление-температура, иллюстрирующую фазовые соотношения между соединениями CaO , MgO , SiO_2 и CO_2 , при этом одновариантные кривые исходят из четвертичной инвариантной точки, включающей фазы кальцита (Cc), диопсида (Di), форстерита (Fo), монтичеллита (Mo), акерманита (Ak) и CO_2 . На вставке приведена диаграмма фазового со-

стояния для систем из трех соединений CaCO_3 , MgO и SiO_2 .

Фиг. 9 представляет собой схематическое изображение камеры отверждения композиционного материала с помощью CO_2 , обеспечивающей увлажнение согласно принципам настоящего изобретения.

Фиг. 10 представляет собой схематическое изображение камеры отверждения с несколькими способами регулирования влажности, а также способностью регулировать и пополнять CO_2 путем регулирования постоянного потока или давления, в которой можно регулировать температуру согласно принципам настоящего изобретения.

Фиг. 11(a)-11(c) представляют собой схематические изображения поперечных сечений связывающих элементов согласно иллюстративным вариантам реализации настоящего изобретения, в том числе морфологии трех типичных ядер: (а) волокнистых, (б) эллиптических и (в) равноосных.

Фиг. 12(a)-12(f) представляют собой схематические изображения вида сбоку и видов в разрезе композиционных материалов согласно иллюстративным вариантам реализации настоящего изобретения, на которых показаны (а) 1D ориентированные связывающие элементы в форме волокон в разбавленной связывающей матрице (связывающие элементы не соприкасаются), (б) 2D ориентированные связывающие элементы пластинчатой формы в разбавленной связывающей матрице (связывающие элементы не соприкасаются), (с) 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.д., (е) концентрированная связывающая матрица (с объемной долей, достаточной для создания перколяционной сети) связывающих элементов, при этом указанная матрица 3D ориентирована, и (f) концентрированная связывающая матрица (с объемной долей, достаточной для создания перколяционной сети) беспорядочно ориентированных связывающих элементов, в которую могут быть включены такие компоненты наполнителя, как полимеры, металлы, неорганические частицы, заполнители и т.д.

На фиг. 13 приведены иллюстративные изображения примера связывающих элементов (а)-(с), на которых показано химическое картирование, полученное методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (EDS), связывающей матрицы согласно иллюстративному варианту реализации настоящего изобретения, иллюстрирующее суперпозицию карты расположения Si (а) и Ca (b). На изображении (с) области CaSiO , SiO_2 и CaCO_3 обозначены стрелками. Частицы с ядром из волластонита (CaSiO_3) в форме волокон инкапсулированы в областях, обогащенных SiO_2 , и окружены частицами CaCO_3 .

На фиг. 14 показан иллюстративный вариант реализации, в котором множество отдельных объектов (201) отлиты в сухом виде на плиту (202) и размещены внутри оболочки или камеры (203). Поток текучей среды направляют между одним или более проходами или каналами (101) и между наружной частью множества отдельных объектов и оболочкой или камерой (102), и наружной частью множества отдельных бетонных объектов и компонентом (103) камеры. В таком примере компонент камеры представляет собой плиту. Можно использовать и другие варианты реализации компонентов камеры, такие как перегородки, пластины, регулирующие и направляющие поток, компоненты стеллажа и аналогичные конструкции.

На фиг. 15 показана иллюстративная фотография системы отверждения с регулируемым стеллажом. Высота канала между верхней частью бетонных объектов и нижней частью следующей плиты (101) для размещения продукта можно регулировать для изменения скорости технологического газа (102).

На фиг. 16 показан иллюстративный чертеж типичной системы отверждения с обратимым потоком. Направление потока можно изменять таким образом, чтобы следовать направлениям, указанным стрелкой (101) и стрелкой (102). Поток и направление газа регулируют с помощью внешней системы кондиционирования, соединенной с предложенной системой на фланцах, обозначенных как (103).

На фиг. 17 показано иллюстративное увеличенное изображение системы отверждения с обратимым потоком. Приемная камера для газа выполнена с возможностью распределения потока в каналы между бетонными объектами (101) и каналы, образованные внешними поверхностями бетонных объектов и стенками камеры (102).

На фиг. 18 показана иллюстративная многопустотная плита, полученная согласно настоящему изобретению.

На фиг. 19 изображен иллюстративный вариант реализации настоящего изобретения, в котором газовый поток CO_2 и водяного пара можно регулировать таким образом, чтобы он двигался в различных направлениях при прохождении через внутренние проходы или каналы и вокруг наружных поверхностей для создания усредненной по времени зеркальной симметрии вдоль длины при сохранении зеркальной симметрии в поперечном направлении ("бок-бок"). Такие симметрии уменьшают влияние градиентов температуры и состава газа, возникающих во время процесса отверждения.

На фиг. 20 показано измерение влажности в типичной камере на торцевых стенках с помощью датчиков Vaisala в течение всего процесса отверждения, а также суммарное количество сконденсированной воды, собранной на протяжении всего цикла.

На фиг. 21 показано иллюстративное изображение устройства отверждения для отверждения сухой

пустотелой отливки.

На фиг. 22 показана иллюстративная пустотелая отливка, которая была отверждена в устройстве, показанном на фиг. 21.

Подробное описание изобретения

В настоящем изобретении предложены уникальные бетонные объекты, обладающие превосходными физическими и эксплуатационными характеристиками, которые соответствуют или превосходят существующие бетонные объекты. Бетонные объекты согласно настоящему изобретению можно легко получить из широкодоступных недорогих сырьевых материалов посредством способа, подходящего для крупномасштабного производства, при уменьшенном потреблении энергии, сокращенном производственном цикле (например, меньшем времени отверждения) и более желательном углеродном отпечатке. При применении способа производства согласно настоящему изобретению потребляются большие количества CO_2 , в результате чего получают продукт, изолирующий CO_2 , что, тем самым, делает предложенный способ нейтральным в отношении углерода и экологически безопасным. Бетонные объекты, описанные в настоящем документе, относятся к объектам и изделиям с геометрическими размерами, типичными для потребительского рынка, и включают ими: дорожные плиты, кирпичи, сегментированные подпорные стенки, каменные плиты, полученные путем мокрого литья, бетонные строительные блоки (CMU) или бетонные пустотелые объекты. Пустотелые объекты, описанные в настоящем документе, относятся к объектам и изделиям, имеющим полые сердечники, каналы или сделанные полыми иным образом (например, для уменьшения диффузионных расстояний и облегчения отверждения).

Бетонные объекты согласно настоящему изобретению можно использовать в качестве различных компонентов зданий и сооружений, в том числе, например, в качестве тротуаров, полов, крыш, стен, дверей, плиток, мостов, рам, дорожек, барьеров, облицовок, фундаментов, заборов, звукозащитных барьеров, труб, водопропускных труб, подземных колодцев для инженерных сетей, септических емкостей, сухих колодцев и дождевых водостоков. Указанные объекты могут быть изготовлены с применением или без применения встроенных арматурных элементов (например, с предварительным натяжением, и/или с последующим натяжением, и/или с предварительным напряжением), компонентов, которые увеличивают производительность и долговечность изделий. Арматурные элементы, если они присутствуют, могут представлять собой сплошные стержни, проволоку или канаты, изготовленными с применением материалов с требуемыми характеристиками, например, стали, полимерных материалов, стекла или их комбинации.

Согласно одному из аспектов настоящее изобретение в целом относится к изделию, содержащему композиционный материал, распределенный в виде множества отдельных бетонных объектов. Один или более проходов или каналов расположены между указанным множеством отдельных бетонных объектов или проходят через них с формированием системы транспортировки текучей среды внутри одного или более проходов или каналов и/или с наружной части множества отдельных объектов. Композиционный материал содержит: множество связывающих элементов, при этом каждый связывающий элемент имеет ядро, содержащее преимущественно силикат кальция, первый или внутренний слой, обогащенный диоксидом кремния, и второй или внешний слой, обогащенный карбонатом кальция; и частицы наполнителя, содержащие крупные частицы наполнителя и/или мелкие частицы наполнителя. Множество связывающих элементов и множество частиц наполнителя вместе образуют одну или более связывающих матриц, при этом указанные связывающие элементы и частицы наполнителя по существу равномерно распределены в указанной матрице и связаны вместе.

Ключевой особенностью изделия согласно настоящему изобретению является то, что проходы или каналы (в том числе полое пространство) создают внутренние объемы, толщина которых мала по сравнению с общим объемом изделия. Доступ отверждающей текучей среды к лицевым поверхностям со стороны внутреннего объема значительно увеличивает площадь поверхности, на которой диоксид углерода и вода должны диффундировать, чтобы воздействовать на отверждение. Кроме того, для монолитных прессонок такие проходы или каналы уменьшают общее потребление материала и массу продукта, что приводит к экономии материалов и других сопутствующих затрат при транспортировке и монтаже.

Согласно определенным вариантам реализации множество отдельных бетонных объектов расположены внутри камеры или оболочки. Для целей настоящего описания термины "камера" и "оболочка" используют взаимозаменяемо.

Бетонные объекты, при получении в большом массиве, можно расположить и/или ориентировать посредством процесса формования или во время процесса загрузки камеры отверждения таким образом, чтобы внутренние или внешние лицевые поверхности были расположены с возможностью максимизирования воздействия отверждающей текучей среды (например, CO_2 и водяного пара) и минимизирования диффузионного расстояния CO_2 и воды относительно общего объема отдельных объектов. Расположение внутренних или внешних лицевых поверхностей отдельных объектов относительно профиля потока текучей среды является критическим фактором для обеспечения равномерного и/или быстрого процесса отверждения.

Отдельные объекты могут быть расположены в камере отверждения относительно профиля потока

текучей среды таким образом, чтобы максимизировать диффузию диоксида углерода и воды. Расстоянием между бетонными объектами, расположенными в камере, можно управлять для создания каналов, параллельных потоку текущей среды, при одновременном сохранении аналогичного объема оболочки бетона. Концентрирование потока текущей среды в каналах, в которых лицевые поверхности отдельных объектов являются открытыми, улучшает равномерность и/или скорость отверждения. Геометрия отдельных объектов и профиля потока текущей среды в системе отверждения определяет оптимальное расстояние между объектами, ориентацию объекта и расстояние между отдельными объектами и системой распределения текущей среды с тем, чтобы индуцировать высокие скорости диффузии диоксида углерода и воды через лицевые поверхности объектов, образующие канал.

Изменение расстояния между бетонными объектами, расположенными в камере, и компонентами камеры, такими как стеллажи, плиты и компоненты распределения текущей среды, такие как впускные отверстия для газа, выпускные отверстия для газа, полости или перфорированные пластины, позволяет создавать каналы между лицевыми поверхностями бетонных объектов и компонентами камеры.

Лицевые поверхности отдельных объектов в непосредственной близости от компонентов камеры, таких как стеллажи, образуют каналы, прилегающие к отдельным объектам и камере и/или расположенные между ними, при этом поток текущей среды является концентрированным. Концентрирование потока текущей среды в каналах между лицевыми поверхностями отдельных объектов и компонентами камеры улучшает равномерность и скорость отверждения. Геометрия отдельных объектов и профиля потока текущей среды в системе отверждения определяет оптимальную ориентацию объекта, расстояние между отдельными объектами и компонентами камеры и расстояние между отдельными объектами и системой распределения текущей среды с тем, чтобы индуцировать высокие скорости диффузии диоксида углерода и воды через лицевые поверхности отдельных объектов, образующие канал, и компоненты камеры.

Согласно определенным вариантам реализации каждый из множества отдельных бетонных объектов не содержит никаких арматурных элементов.

Согласно определенным вариантам реализации каждый из множества отдельных бетонных объектов содержит один или более арматурных элементов, встроенных в указанный объект.

Согласно определенным вариантам реализации один или более арматурных элементов выбирают из стержней, проволоки и канатов. Один или более арматурных стержней могут быть выполнены из любых подходящих материалов, например, железа, стали, полимерных материалов, стекла или их комбинации.

Согласно некоторым вариантам реализации множество связывающих элементов подвергаются химическому превращению из композиции измельченного силиката кальция, содержащей одно или более вещество, выбранное из природного или синтетического волластонита, псевдоволластонита, ранкинита, геленита, белита, алита и аморфной фазы.

Согласно определенным вариантам реализации газ содержит диоксид углерода. Согласно некоторым вариантам реализации множество связывающих элементов получают путем химического превращения из измельченного силиката кальция путем взаимодействия его с CO_2 посредством контролируемого процесса гидротермального жидкофазного спекания.

Согласно определенным вариантам реализации газ содержит диоксид углерода. Согласно некоторым вариантам реализации множество связывающих элементов подвергаются химическому превращению из силиката кальция в качестве предшественника, отличного от синтетического волластонита или псевдоволластонита.

Согласно определенным вариантам реализации массовое отношение связывающих элементов: частиц наполнителя составляет примерно 1:5.

Согласно определенным вариантам реализации водопоглощение множества отдельных бетонных объектов составляет менее примерно 10%.

Согласно определенным вариантам реализации предложенная система транспортировки текущей среды выполнена с возможностью прохождения газа через один или более проходов или каналов и наружную часть множества отдельных объектов.

Согласно некоторым вариантам реализации текущая среда, проходящая через один или более проходов или каналов и наружную часть множества отдельных объектов, изменяет свое направление по меньшей мере один раз.

Согласно определенным вариантам реализации текущая среда, проходящая через один или более проходов или каналов и наружную часть множества отдельных объектов, изменяет свою скорость по меньшей мере один раз.

Согласно некоторым вариантам реализации предложенная система транспортировки текущей среды внутри наружной части множества отдельных объектов содержит поток между оболочкой или камерой или компонентом камеры внутри оболочки или камеры.

В качестве предшественника для связывающих элементов можно использовать любую подходящую композицию силиката кальция. В настоящем документе термин "композиция силиката кальция" в общем случае относится к природным минералам или синтетическим материалам, которые состоят из одной или более группы фаз силиката кальция, включающих фазу CS (волластонит или псевдоволластонит, и иногда выражаемую формулами CaSiO_3 или CaOSiO_2), фазу C_3S_2 (ранкинит, и иногда выражаемую форму-

лами $\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7$ или $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$), фазу C_2S (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 выражаемую формулами Ca_2SiO_4 or $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$), аморфную фазу на основе силиката кальция, при этом каждый из перечисленных веществ может содержать один или более ионов и оксидов других металлов (например, оксиды алюминия, магния, железа или марганца) или их смеси, или может содержать некоторое количество силиката магния в природной или синтетической форме(ах) в диапазоне от следового количества (1%) до примерно 50% или более по массе.

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 могут также содержать небольшие количества остаточного CaO (известки) и SiO_2 (диоксида кремния). Композиция силиката кальция также может включать небольшие количества фазы C_3S (алита, Ca_3SiO_5).

Композиции силиката кальция могут также содержать некоторое количество инертных фаз, таких как минералы типа мелилита (мелилит, или геленит, или акерманит) с общей формулой $(\text{Ca},\text{Na},\text{K})_2[(\text{Mg},\text{Fe}^{2+},\text{Fe}^{3+},\text{Al},\text{Si})_3\text{O}_7]$ и минералы типа феррита (феррит или браунмиллерит или C4AF) с общей формулой $\text{Ca}_2(\text{Al},\text{Fe}^{3+})_2\text{O}_5$. Согласно определенным вариантам реализации предложенная композиция силиката кальция состоит только из аморфных фаз. Согласно определенным вариантам реализации силикат кальция содержит только кристаллические фазы. Согласно определенным вариантам реализации некоторая часть композиции силиката кальция находится в аморфной фазе, а другая часть находится в кристаллической фазе.

Следует отметить, что композиции силиката кальция согласно настоящему изобретению предпочтительно не гидратируются. Однако могут присутствовать незначительные количества гидратируемых фаз силиката кальция (например, C_2S , C_3S и CaO). C_2S демонстрирует медленную кинетику гидратации при воздействии воды и быстро превращается в CaCO_3 во время процессов отверждения в присутствии CO_2 , C_3S и CaO быстро гидратируются при воздействии воды и, таким образом, должны быть ограничены до <5% по массе.

Согласно некоторым предпочтительным вариантам реализации молярное отношение элементарного Ca к элементному Si в композиции силиката кальция составляет от примерно 0,80 до примерно 1,20. Согласно некоторым предпочтительным вариантам реализации молярное отношение Ca к Si в предложенной композиции составляет от примерно 0,85 до примерно 1,15. Согласно некоторым предпочтительным вариантам реализации молярное отношение Ca к Si в предложенной композиции составляет от примерно 0,90 до примерно 1,10. Согласно некоторым предпочтительным вариантам реализации молярное отношение Ca к Si в предложенной композиции составляет от примерно 0,95 до примерно 1,05. Согласно некоторым предпочтительным вариантам реализации молярное отношение Ca к Si в предложенной композиции составляет от примерно 0,98 до примерно 1,02. Согласно некоторым предпочтительным вариантам реализации молярное отношение Ca к Si в предложенной композиции составляет от примерно 0,99 до примерно 1,01.

Содержание оксидов Al, Fe и Mg в предложенной композиции силиката кальция в общем случае регулируют таким образом, чтобы оно составляло менее примерно 30%. Согласно некоторым предпочтительным вариантам реализации предложенная композиция содержит примерно 20% или менее оксидов Al, Fe и Mg в расчете на общую массу оксидов. Согласно определенным предпочтительным вариантам реализации предложенная композиция содержит примерно 15% или менее оксидов Al, Fe и Mg в расчете на общую массу оксидов. Согласно некоторым предпочтительным вариантам реализации предложенная композиция содержит примерно 12% или менее оксидов Al, Fe и Mg в расчете на общую массу оксидов. Согласно определенным предпочтительным вариантам реализации предложенная композиция содержит примерно 10% или менее оксидов Al, Fe и Mg в расчете на общую массу оксидов. Согласно некоторым предпочтительным вариантам реализации предложенная композиция содержит примерно 5% или менее оксидов Al, Fe и Mg в расчете на общую массу оксидов.

Каждая из перечисленных фаз силиката кальция подходит для карбонизации с помощью CO_2 . Далее отдельные фазы силиката кальция, подходящие для карбонизации, будут называть реакционноспособными фазами.

Различные реакционноспособные фазы могут присутствовать в любых подходящих пропорциях относительно всех реакционноспособных фаз. Согласно некоторым предпочтительным вариантам реализации реакционноспособные фазы присутствуют: CS в количестве от примерно 10 до примерно 60 мас.%, (например, от примерно 15 мас.% до примерно 60 мас.%, от примерно 20 мас.% до примерно 60 мас.%, от примерно 25 мас.% до примерно 60 мас.%, от примерно 30 мас.% до примерно 60 мас.%, от примерно 35 мас.% до примерно 60 мас.%, от примерно 40 мас.% до примерно 60 мас.%, от примерно 10 мас.% до примерно 50 мас.%, от примерно 10 мас.% до примерно 40 мас.%, от примерно 10 мас.% до примерно 30 мас.%, от примерно 10 мас.% до примерно 25 мас.%, от примерно 10 мас.% до примерно 20 мас.%; C_3S_2 в количестве примерно от 5 до 50 мас.%, (например, примерно от 10 до 50 мас.%, примерно от 15 до 50 мас.%, примерно от 20 до 50 мас.%, примерно от 30 до 50 мас.%, примерно от 40 до 50 мас.%, примерно

от 5 до 40 мас.%, примерно от 5 до 30 мас.%, примерно от 5 до 25 мас.%, примерно от 5 до 20 мас.%, примерно от 5 до 15 мас.%) и C_2S в количестве примерно от 5 до 60 мас.%, (например, от примерно 10 мас.% до примерно 60 мас.%, от примерно 20 мас.% до примерно 60 мас.%, от примерно 25 мас.% до примерно 60 мас.%, от примерно 30 мас.% до примерно 60 мас.%, от примерно 35 мас.% до примерно 60 мас.%, от примерно 40 мас.% до примерно 60 мас.%, от примерно 5 мас.% до примерно 50 мас.%, от примерно 5 мас.% до примерно 40 мас.%, от примерно 5 мас.% до примерно 30 мас.%, от примерно 5 мас.% до примерно 25 мас.%, от примерно 5 мас.% до примерно 20 мас.%) и C в количестве примерно от 0 до 3 мас.%, (например, 0 мас.%, 1 мас.%, или менее, 2 мас.%, или менее, 3 мас.%, или менее, примерно от 1 до 2 мас.%, примерно от 1 до 3 мас.%, примерно от 2 до 3 мас.%).

Согласно определенным вариантам реализации реакционноспособные фазы включают 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 массы всех фаз. Следует отметить, что аморфная фаза может дополнительно включать примесные ионы, присутствующие в сырьевых материалах.

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, составляющем примерно 20% или более. Прирост массы соответствует фактической изоляции CO_2 в карбонизированных продуктах. Согласно некоторым предпочтительным вариантам реализации предложенная 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 образованием $CaCO_3$ при приросте массы, составляющем 10% или более (например, 15% или более, 20% или более, 25% или более, 30% или более).

Композиции силиката кальция в качестве предшественников обычно используют в форме порошка, средний размер (d_{50}) частиц которого составляет от примерно 8 мкм до примерно 25 мкм, при этом 10% частиц (d_{10}) имеют размер менее от примерно 0,1 мкм до примерно 3 мкм, и 90% частиц (d_{90}) имеют размер более от 35 мкм до 100 мкм.

Согласно определенным вариантам реализации отношение $d_{90}:d_{10}$ выбирают таким образом, чтобы обеспечить улучшенную текучесть порошка или уменьшенную потребность в воде для литья. Согласно определенным вариантам реализации отношение $d_{50}:d_{10}$ выбирают таким образом, чтобы обеспечить улучшенную реакционную способность, улучшенную упаковку или уменьшенную потребность в воде для литья. Согласно некоторым вариантам реализации отношение $d_{90}:d_{50}$ выбирают таким образом, чтобы обеспечить улучшенную реакционную способность, улучшенную упаковку или уменьшенную потребность в воде для литья.

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, обожженный нефтеносный сланец, летучую или вулканическую золу, пылеунос из печей, измельченную глину, пыль пемзы. В качестве наполнителей также можно использовать такие материалы, как промышленные отходы (например, летучую золу, шлак, тонкий кремнеземный порошок). Кроме того, согласно некоторым предпочтительным вариантам реализации в качестве наполнителей можно использовать легкие заполнители, такие как перлит или вермикулит. Согласно некоторым предпочтительным вариантам реализации частицы наполнителя изготовлены из материала, обогащенного оксидом кальция, такого как молотая известь.

Частицы наполнителя включают оксид кальция или диоксид кремния и имеют размер (d_{50}) 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).

Согласно определенным вариантам реализации частицы наполнителя выбирают из летучей золы, зольного остатка, шлака с размерами частиц 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).

Согласно иллюстративным вариантам реализации карбонизации композиции силиката кальция,

предложенной в настоящем изобретении, частицы измельченного силиката кальция имеют размер, при котором в общей сложности 10% указанных частиц имеют диаметр, превышающий 1 мкм, при объемном распределении частиц по размерам.

Согласно некоторым вариантам реализации частицы наполнителя выбирают из известняка, микрокремнезема и кварца, размеры частиц которых составляют 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).

Согласно определенным вариантам реализации частицы наполнителя выбирают из легких заполнителей, размеры частиц которых составляют 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).

Согласно определенным вариантам реализации добавку, регулирующую схватывание, выбирают из глюконата и сахарозы. Согласно некоторым вариантам реализации диспергирующий агент/модификатор вязкости представляет собой материал на основе поликарбоксилата.

Согласно иллюстративным вариантам реализации измельченный силикат кальция представляет собой измельченный волластонит, частицы наполнителя содержат молотый известняк и диоксид кремния, активирующий агент представляет собой молотую известь, добавка, регулирующая схватывание, представляет собой глюконат, модификатор вязкости представляет собой материал на основе поликарбоксилата, и вентилирующий агент представляет собой пасту из алюминиевой пудры.

Следует понимать, что композиции силиката кальция, фазы силиката кальция 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 веществам, состоящим из одной или более групп соединений, содержащих магний и кремний, в том числе, например, к Mg_2SiO_4 (также известному как "фостерит") и $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ (также известному как "тальк"), при этом указанный материал может содержать один или более других ионов и оксидов металлов (например, оксиды кальция, алюминия, железа или марганца) или их смеси, или может включать некоторое количество силиката кальция в природной или синтетической форме(ах) в диапазоне от следового количества (1%) до примерно 50% или более по массе.

В настоящем документе термин "кварц" относится к любому материалу на основе SiO_2 , в том числе к обычным пескам (строительным пескам и пескам для кладочных растворов), а также стеклу и стеклу вторичной обработки. Указанный термин также включает любые другие вторичные природные и синтетические материалы, содержащие значительные количества SiO_2 (например, слюду, иногда выражаемую формулой $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$).

Согласно другому аспекту настоящее изобретение в целом относится к системе для изготовления изделия. Такая система включает оболочку или камеру и заключенный в нее композиционный материал, распределенный в виде множества отдельных бетонных объектов. Один или более проходов или каналов расположены между указанным множеством отдельных бетонных объектов или проходят через них с формированием системы транспортировки текучей среды внутри одного или более проходов и каналов и с наружной части множества отдельных объектов. Предложенная система также необязательно включает одну или более плит, на которых размещено множество отдельных бетонных объектов, и один или более стеллажей, брезентовых тентов, стенок или панелей с планарными, плоскими, выпуклыми или вогнутыми лицевыми поверхностями, образующими один или более проходов или каналов и обеспечивающими профиль потока текучей среды в системе транспортировки текучей среды.

Согласно определенным вариантам реализации предложенная система включает компонент распределения текучей среды, регулирующий профиль потока текучей среды по меньшей мере части оболочки или камеры.

Согласно определенным вариантам реализации предложенная система включает компонент распределения текучей среды, регулирующий профиль потока текучей среды по всей оболочке или камере.

Согласно некоторым вариантам реализации компонент распределения текучей среды, регулирующий профиль потока текучей среды по всей оболочке или камере, изменяет направление газового потока по меньшей мере один раз.

Согласно некоторым вариантам реализации компонент распределения текучей среды, регулирующий профиль потока текучей среды по всей оболочке или камере, изменяет скорость газового потока по меньшей мере один раз.

Согласно определенным вариантам реализации компонент распределения текучей среды включает один или более компонент, выбранный из впускных отверстий для текучей среды, выпускных отверстий для текучей среды, полостей или перфорированных плит или их комбинаций.

Согласно определенным вариантам реализации оболочка или камера изготовлена из материала, выбранного из металла, сплава, пластмассы, полимера, полимерного композиционного материала, керамического композиционного материала или их комбинаций. Согласно некоторым вариантам реализации оболочка или камера изготовлена из бетонного материала, или стали, или брезента, или их комбинаций.

Согласно еще одному аспекту настоящее изобретение в целом относится к способу получения изделия. Предложенный способ включает: смешивание композиции в виде частиц и жидкой композиции с получением смеси; литье или экструдирование или формование иным способом указанной смеси в пресс-форме с получением отлитой или экструдированной или иным образом формованной прессовки ("green body"), содержащей множество отдельных бетонных объектов, при этом один или более проходов или каналов расположены между указанным множеством отдельных бетонных объектов и наружной частью множества отдельных объектов или проходят через них; поддержание атмосферы CO_2 и/или водяного пара в одном или более внутренних проходах или каналах и наружной части множества отдельных объектов; и отверждение множества отдельных объектов при температуре в диапазоне от примерно 20°C до примерно 150°C в течение от примерно 1 ч до примерно 80 ч в атмосфере воды и/или CO_2 , давление которой составляет от внешнего атмосферного давления до давления, примерно на 60 psi (примерно 413 кПа) выше внешнего давления, и концентрация CO_2 в которой составляет от примерно 10% до примерно 90%.

Согласно определенным вариантам реализации поддержание атмосферы CO_2 и/или водяного пара в одном или более внутренних проходах или каналах и/или наружной части множества отдельных объектов включает: удержание атмосферы внутри одного или более внутренних каналов и/или наружной части множества отдельных объектов; циркуляцию удерживаемой атмосферы CO_2 и/или водяного пара; удаление водяного пара из удерживаемой атмосферы или добавление водяного пара к удерживаемой атмосфере; и нагревание удерживаемой атмосферы.

Согласно некоторым вариантам реализации поддержание атмосферы CO_2 и/или водяного пара в одном или более внутренних проходах или каналах включает изменение направления или скорости потока CO_2 и/или водяного пара по меньшей мере один раз в течение периода отверждения прессовки.

Согласно определенным вариантам реализации указанная композиция в виде частиц включает измельченный силикат кальция, содержащий одно или более веществ, выбранное из природного или синтетического волластонита, псевдоволластонита, ранкинита, геленита, белита и алита, средний размер частиц которого составляет от примерно 1 мкм до примерно 100 мкм, при этом указанная жидкая композиция содержит воду.

Согласно некоторым вариантам реализации отверждение отлитой смеси осуществляют при температуре, равной или меньшей примерно 60°C , в течение от примерно 10 ч до примерно 50 ч в атмосфере пара, содержащего воду и CO_2 и имеющего внешнее атмосферное давление.

Согласно определенным вариантам реализации измельченный силикат кальция представляет собой по существу силикат кальция в виде измельченного волластонита.

Согласно определенным вариантам реализации предложенный способ дополнительно включает введение в смесь одного или более арматурных элементов.

Один или более арматурных стержней могут быть выполнены из любых подходящих материалов, например, железа, стали, полимерных материалов, стекла или их комбинации.

Один или более арматурных элементов могут иметь любой подходящий размер и форму, например, быть в форме стержней, проволоки и канатов.

Согласно еще одному аспекту настоящее изобретение в целом относится к изделию, полученному способом, описанным в настоящем документе.

Предложенное изделие может иметь любой подходящий размер или форму или подходить для любых подходящих целей, например, выбранных из дорожных плит, блоков, черепицы, многопустотных плит, сборных бетонных изделий с армированием или без него.

Один или более проходов или каналов (в том числе полые пространства) являются важной особенностью и влияют на общие характеристики и свойства отдельных объектов, в том числе общую массу, механические свойства и функциональные возможности. Отдельные объекты, наряду с компонентами камеры и самой камерой, могут формировать любое подходящее количество проходов или каналов согласно предварительно разработанной схеме и взаимосвязанности. Такие проходы или каналы могут иметь любые подходящие размеры и формы (например, круглые, овальные, многоугольные, прямоугольные или квадратные). Они могут быть расположены согласно любой подходящей схеме или взаимосвязанности.

Количество, форма, размер и конфигурация проходов и каналов будут влиять на различные механические свойства пустотелых изделий. Как более подробно обсуждается в настоящем документе, количество, форму, размер и конфигурацию проходов и каналов также можно использовать для получения преимуществ при производстве, например, для ускорения процесса отверждения и обеспечения более равномерного отверждения.

Объем проходов или каналов может составлять любую подходящую долю от объема множества отдельных объектов в зависимости от геометрических размеров пресс-формы для продукта и любых по-

слеформовочных изменений в расположении продукта, 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.%) относительно общего объема множества бетонных объектов.

Отдельные объекты согласно настоящему изобретению могут быть изготовлены с различными размерами и габаритами. Типичные дорожные плиты, полученные путем сухого литья, имеют высоту от 40 мм до 120 мм и могут быть спрессованы на площади до 1,45 м×1,45 м, что приводит к распределению множества бетонных объектов с объемом до 0,26 м³ на плиту для размещения продукта. Например, типичные бетонные строительные блоки (CMU), полученные путем сухого литья, имеют высоту 200 мм и могут быть спрессованы на площади до 1,45 м×1,45 м, что приводит к распределению множества бетонных объектов с объемом до 0,43 м³ на плиту для размещения продукта. Количество, форму, размер и конфигурацию каналов можно использовать для улучшения производственного процесса путем повышения скорости и улучшения равномерности отверждения.

Согласно некоторым вариантам реализации, в которых отдельные объекты представляют собой дорожные плиты, указанные размеры составляют от 1 дюйма (примерно 2,5 см) до 24 дюймов (примерно 61 см) в длину, от 1 дюйма (примерно 2,5 см) до 24 дюймов (примерно 61 см) в ширину и от 0,5 дюйма (1,27 см) до 6 дюймов (примерно 15 см) в высоту. Согласно некоторым вариантам реализации такие размеры составляют от 4 дюймов (примерно 10 см) до 12 дюймов (примерно 30 см) в длину, от 4 дюймов (примерно 10 см) до 12 дюймов (примерно 30 см) в ширину и от 1,5 дюймов (примерно 3,8 см) до 5 дюймов (примерно 13 см) в высоту.

Согласно определенным вариантам реализации, в которых отдельные объекты представляют собой блоки, указанные размеры составляют от 7/4 дюймов (примерно 19 см) до 16 дюймов (примерно 41 см) в длину, от 3/4 дюймов (примерно 9 см) до 12 дюймов (примерно 30 см) в ширину и от 4 дюймов (примерно 10 см) до 16 дюймов (примерно 41 см) в высоту. Согласно некоторым вариантам реализации такие размеры составляют от 7/4 дюймов (примерно 19 см) до 16 дюймов (примерно 41 см) в длину, от 3/4 дюймов (примерно 9 см) до 12 дюймов (примерно 30 см) в ширину и от 6 дюймов (примерно 15 см) до 12 дюймов (примерно 30 см) в высоту.

Согласно некоторым вариантам реализации, в которых отдельные объекты представляют собой черепицу, указанные размеры составляют от 2 дюймов (примерно 5,1 см) до 24 дюймов (примерно 61 см) в длину, от 2 дюймов (примерно 5,1 см) до 24 дюймов (примерно 61 см) в ширину и от 0,25 дюйма (примерно 0,64 см) до 2 дюймов (примерно 5,1 см) в толщину. Согласно некоторым вариантам реализации такие размеры составляют от 4 дюймов (примерно 10 см) до 12 дюймов (примерно 30 см) в длину, от 4 дюймов (примерно 10 см) до 12 дюймов (примерно 30 см) в ширину и от 0,25 дюйма (примерно 0,64 см) до 1 дюйма (примерно 2,5 см) в толщину.

Согласно некоторым вариантам реализации, в которых отдельные объекты представляют собой плиты, указанные размеры составляют от 4 дюймов (примерно 10 см) до 48 дюймов (примерно 122) в длину, от 4 дюймов (примерно 10 см) до 48 дюймов (примерно 122) в ширину и от 1,5 дюймов (примерно 3,8 см) до 5 дюймов (примерно 13 см) в высоту. Согласно некоторым вариантам реализации такие размеры составляют от 4 дюймов (примерно 10 см) до 48 дюймов (примерно 122) в длину, от 4 дюймов (примерно 10 см) до 48 дюймов (примерно 122) в ширину и от 1,5 дюймов (примерно 3,8 см) до 5 дюймов (примерно 13 см) в высоту и, как правило, имеют площадь основания более 144 квадратных дюймов (примерно 929 см²).

Отдельные объекты обычно прижимают к плите для размещения продукта таким образом, чтобы максимизировать производимый объем бетона на плиту для размещения продукта. При получении продуктов с одинаковыми горизонтальными геометрическими размерами между объектами остаются параллельные зазоры, в результате чего между множеством отдельных объектов образуются каналы. Количество, форму, размер и конфигурацию каналов также можно использовать для получения преимуществ при производстве, например, для ускорения процесса отверждения и обеспечения более равномерного отверждения.

Множество бетонных объектов загружают в камеру в регулярном режиме. Согласно некоторым вариантам реализации камера отверждения образует камеру или оболочку. Внутри камеры плиты укладывают штабелем и размещают для отверждения. В камере можно регулировать ориентацию и расстояние между плитами для создания каналов, состоящих из наружной плоскости множества отдельных объектов, состоящей из нескольких лицевых поверхностей отдельных объектов, и компонента камеры, такого как еще одна уложенная штабелем плита для размещения продукта, куда можно направить поток текучей среды. Геометрия отдельных объектов и профиля потока текучей среды в системе отверждения определяет оптимальную ориентацию объектов, расстояние между объектами и компонентами камеры, а также расстояние между объектами и системой распределения текучей среды с тем, чтобы индуцировать высокие скорости диффузии диоксида углерода и воды через лицевые поверхности объектов, образующие

канал.

Согласно определенным вариантам реализации бетонную пресс-форму, применяемую для получения набора отдельных объектов, модифицируют для изменения расстояния между множеством отдельных объектов в соответствии с профилем распределения потока в камерах и для увеличения скоростей диффузии диоксида углерода и воды через лицевые поверхности объектов, образующие канал.

Согласно определенным вариантам реализации отдельные объекты разделяют или иным образом перемещают после операции формования для изменения расстояния между бетонными объектами в соответствии с профилем распределения потока в камерах и для увеличения скоростей диффузии диоксида углерода и воды через лицевые поверхности объектов, образующие канал.

Согласно некоторым вариантам реализации размещение плиты для размещения продукта и/или ориентацию плиты для размещения продукта можно регулировать относительно системы распределения текучей среды с тем, чтобы увеличить поток текучей среды через канал, созданный наружной частью лицевых поверхностей множества отдельных объектов и оболочкой и множеством отдельных объектов и компонентами камеры. Это позволяет увеличить скорости диффузии диоксида углерода и воды между соответствующими внешними лицевыми поверхностями множества отдельных объектов и камерой и соответствующими внешними лицевыми поверхностями множества отдельных объектов и компонентами камеры.

Согласно определенным вариантам реализации 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 обычного бетона. Заполнители, песок и некоторое количество воды, достаточное для небольшого увлажнения твердых веществ, тщательно перемешивают. Затем к партии добавляют силикат кальция вместе с оставшейся водой и любыми добавками. Смесь тщательно перемешивают и регулируют количество воды для достижения требуемого уровня влажности.

Согласно некоторым предпочтительным вариантам реализации стадия отливки или экструдирования суспензионной смеси в пресс-форме, выполненной с возможностью создания отлитой или экструдированной или иным образом формованной прессовки, содержащей один или более внутренних проходов или каналов, включает/предусматривает вливание указанной смеси в пресс-форму или экструдер. Например, в случае изготовления отливки смесь можно подвергнуть вибрированию путем вибрации пресс-формы или путем введения в смесь вибрационных зондов внутри пресс-формы для облегчения удаления захваченного воздуха и содействия перегруппировке частиц для уплотнения указанной смеси. В случае экструзии экструдер может быть неподвижным или подвижным. Неподвижный экструдер проталкивает смесь через каналы, которые придают смеси требуемую форму, и способствует перегруппировке частиц для уплотнения изделия. Изделие выталкивают из матрицы внутри экструдера, после чего его можно разрезать до требуемой длины, и укладывают изделие штабелем для отверждения. Движущийся экструдер проталкивает смесь вплотную к неподвижному упору и через каналы, придающие смеси требуемую форму. Когда смесь прижимают вплотную к неподвижному упору, давление внутри смеси возрастает, частицы перегруппируются и смесь уплотняется. По мере того, как все больше материала подвергается экструзии, уплотненная смесь давит на экструдер вдоль экструзионной рамы.

Согласно некоторым предпочтительным вариантам реализации стадия поддержания атмосферы CO_2 и водяного пара в одном или более внутренних проходах или каналах включает/предусматривает удержание атмосферы внутри проходов или каналов и/или вблизи наружной части изделия; циркуляцию удерживаемой атмосферы CO_2 и/или водяного пара; удаление водяного пара из удерживаемой атмосферы или добавление водяного пара к удерживаемой атмосфере; и нагревание удерживаемой атмосферы. Для достижения 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 прессовки. В общем случае, в процессе отверждения внутри удерживаемой атмосферы и внутри самого изделия будут создаваться градиенты температуры и концентрации. Такие градиенты выявляют и регулируют для достижения равномерного отверждения изделия. Газовый поток CO_2 и водяного пара можно регулировать, например, таким образом, чтобы он двигался в противоположных направлениях для реверсирования градиентов при прохождении через внутренние проходы или каналы и за пределы наружной части изделия с тем, чтобы усреднить влияние градиентов температуры и концентрации в течение периода отверждения.

Согласно некоторым предпочтительным вариантам реализации стадия поддержания атмосферы CO_2 и водяного пара в одном или более каналах внутри множества бетонных объектов или между множеством бетонных объектов и оболочкой или между множеством бетонных объектов и компонентом камеры включает/предусматривает удержание атмосферы внутри каналов и/или вблизи наружной части бетонного объекта; циркуляцию удерживаемой атмосферы CO_2 и/или водяного пара; удаление водяного пара из удерживаемой атмосферы или добавление водяного пара к удерживаемой атмосфере; и нагревание удерживаемой атмосферы.

Для достижения быстрого и/или равномерного отверждения количество, форму, размер и конфигурацию каналов можно спроектировать таким образом, чтобы увеличить площадь контакта CO_2 и водяно-

го пара со стенкой экструдированной прессовки. В общем случае, в процессе отверждения внутри удерживаемой атмосферы и внутри самого изделия будут создаваться градиенты температуры и концентрации. Такие градиенты выявляют и регулируют для достижения равномерного отверждения изделия. Например, можно регулировать газовый поток CO_2 и водяного пара, при этом направление газового потока изменяют попеременно от одного направления к другому для реверсирования градиентов при прохождении через каналы и за пределы внешних лицевых поверхностей изделия с тем, чтобы усреднить влияние градиентов температуры и концентрации в течение периода отверждения.

Согласно некоторым предпочтительным вариантам реализации стадия отверждения литой или экструдированной прессовки включает/предусматривает приведение изделия в контакт с атмосферой CO_2 и/или водяного пара в течение определенного периода времени.

Температуру и время отверждения можно регулировать в соответствии с требуемым конечным продуктом, например, отверждение можно проводить при температуре 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 ч до примерно 80 ч (например, в течение от примерно 1 ч до примерно 70 ч, в течение от примерно 1 ч до примерно 60 ч, в течение от примерно 6 ч до примерно 80 ч, в течение от примерно 6 ч до примерно 70 ч, в течение от примерно 6 ч до примерно 60 ч, в течение от примерно 10 ч до примерно 80 ч, в течение от примерно 10 ч до примерно 70 ч, в течение от примерно 10 ч до примерно 60 ч, от примерно 15 ч до примерно 60 ч, от примерно 15 ч до примерно 50 ч, в течение примерно 20 ч) в атмосфере воды и CO_2 .

Относительную влажность среды в процессе отверждения можно регулировать таким образом, чтобы соответствовать требуемому результату, например, 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%), с давлением CO_2 в диапазоне от примерно внешнего атмосферного давления до давления, примерно на 100 psi (примерно 689 кПа) выше внешнего атмосферного давления (например, от примерно внешнего атмосферного давления до давления, примерно на 90 psi (примерно 621 кПа) выше внешнего атмосферного давления, от примерно внешнего атмосферного давления до давления, примерно на 80 psi (примерно 552 кПа) выше внешнего атмосферного давления, от примерно внешнего атмосферного давления до давления, примерно на 70 psi (примерно 483 кПа) выше внешнего атмосферного давления, от примерно внешнего атмосферного давления до давления, примерно на 60 psi (примерно 413 кПа) выше внешнего атмосферного давления, от давления, примерно на 20 psi (примерно 138 кПа) выше внешнего атмосферного давления до давления, примерно на 100 psi (примерно 689 кПа) выше внешнего атмосферного давления, от давления, примерно на 100 psi (примерно 689 кПа) выше внешнего атмосферного давления до давления, примерно на 100 psi (примерно 689 кПа) выше внешнего атмосферного давления) и концентрацией 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, имеющего однородную, гомогенную и пористую структуру.

При типичном производстве, например, согласно некоторым вариантам реализации настоящего изобретения, применяемые материалы представляют собой измельченный силикат кальция. Согласно иллюстративным вариантам реализации композиция силиката кальция, предложенная в настоящем изобретении, применяемые частицы измельченного силиката кальция имеют размер, при котором в общей сложности 10% указанных частиц имеют диаметр, превышающий 1 мкм, при объемном распределении частиц по размерам.

Измельченный силикат кальция может иметь средний размер частиц 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, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 мкм), объемную плотность от примерно 0,5 г/мл до примерно 3,5 г/мл (насыпную плотность, например, 0,5, 1,0, 1,5, 2,0, 2,5, 2,8, 3,0, 3,5 г/мл) и от примерно 1,0 г/мл до примерно 1,2 г/мл (насыпную плотность после уплотнения), площадь поверхности от примерно $1,5 \text{ м}^2/\text{г}$ до примерно $3,5 \text{ м}^2/\text{г}$ (например, 1,5, 2,0, 2,3, 2,5, 2,8, 3,0, 3,2, $3,5 \text{ м}^2/\text{г}$).

Согласно определенным предпочтительным вариантам реализации предложенная композиция в виде частиц содержит от примерно 10 мас.% до примерно 95 мас.%, измельченных кальций-силикатных материалов (например, от примерно 20 мас.% до примерно 95 мас.%, от примерно 30 мас.% до примерно 95 мас.%, от примерно 50 мас.% до примерно 95 мас.%, от примерно 60 мас.% до примерно 95 мас.%, от примерно 20 мас.% до примерно 90 мас.%, от примерно 20 мас.% до примерно 80 мас.%, от примерно 20 мас.% до примерно 70 мас.%, от примерно 30 мас.% до примерно 80 мас.%, от примерно 50 мас.% до примерно 80 мас.%).

Для получения указанных отдельных объектов могут быть введены химические добавки, например, пластификаторы, замедлители, ускорители, диспергаторы и другие агенты, модифицирующие реологические свойства. Также могут быть включены некоторые имеющиеся в продаже химические добавки, такие как Glenium™ 7500 от компании BASF® Chemicals и Acumer™ от компании Dow Chemical Company. Согласно некоторым вариантам реализации в зависимости от требуемого композиционного материала в связывающих матрицах могут быть равномерно распределены или по существу неравномерно распределены один или более пигментов. Такой пигмент может представлять собой любой подходящий пигмент, в том числе, например, оксиды различных металлов (например, черный железистоокисный пигмент, 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.

Согласно некоторым вариантам реализации пигмент может быть равномерно распределен или по существу неравномерно распределен в связывающих матрицах в зависимости от требуемого композиционного материала. Пигмент может представлять собой любой подходящий пигмент, в том числе, например, оксиды различных металлов (например, черный железистоокисный пигмент, 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%).

Таким образом, могут быть разработаны различные комбинации условий отверждения для обеспечения требуемого производственного процесса, в том числе различные температуры реакции, давления и продолжительности реакции. Согласно первому иллюстративному варианту реализации воду в жидкой форме вместе с газообразным CO₂ подают к изделию, которое было предварительно высушено в сушильной печи, и проводят процесс отверждения при температуре примерно 90°C и давлении примерно 20 psig (примерно 138 кПа изб.) (т.е. на 20 psi (примерно 138 кПа) выше внешнего давления) в течение примерно 48 ч. Согласно второму иллюстративному варианту реализации вода присутствует в материале-предшественнике (например, в виде остаточной воды от предыдущей стадии смешивания), и к изделию подают газообразный CO₂, при этом процесс отверждения осуществляют при температуре примерно 60°C и давлении 0 psig (примерно 0 кПа изб.) (при внешнем атмосферном давлении) в течение примерно 19 ч. Согласно третьему иллюстративному варианту реализации воду подают к изделию в форме пара вместе с CO₂, и процесс отверждения осуществляют при температуре примерно 90°C и давлении 20 psig (примерно 138 кПа изб.) (на 20 psi (примерно 138 кПа) выше внешнего атмосферного давления) в течение примерно 19 ч.

Следует отметить, что свойства, время производства и размер изделия можно тонко регулировать на основе приведенного в настоящем документе описания, например, путем корректировки способов отверждения (например, подачи CO₂, давления и температуры в системе), а также пропорций и составных компонентов смеси.

Наряду с применяемыми материалами и производственным процессом, обеспечивающими благоприятные экологические и экономические преимущества, пустотелые изделия согласно настоящему изобретению предоставляют ряд преимуществ в отношении эксплуатационных характеристик по сравнению с пустотелыми изделиями, изготовленными из обычного бетона, например, превосходные стабильные свойства можно обеспечить в гораздо более сжатые сроки, чем в случае сборных бетонных изделий, изготовленных с применением обычного портландцемента.

Связывающие элементы, связывающие матрицы и композиционные материалы.

Обсуждение с точки зрения химии.

В настоящем изобретении предложено устройство и способы, применяемые для получения новых композиционных материалов, которые отверждаются преимущественно посредством реакции поглощения CO₂. Предложенные материалы обладают полезными свойствами и могут быть легко получены из широкодоступных недорогих материалов-предшественников способом, подходящим для крупномасштабного производства с минимальным воздействием на окружающую среду. Материалы-предшественники вклю-

чают недорогие и широко распространенные композиции, обогащенные силикатом кальция, мелкие частицы и крупные частицы. Композиции силиката кальция могут состоять из измельченного продукта, содержащего различные фазы силиката кальция (в том числе, например, CS , C_3S_2 , C_2S и аморфную фазу на основе силиката кальция). Мелкие и крупные частицы могут состоять из молотого известняка или других материалов на основе карбоната кальция, измельченного кварца или других материалов на основе SiO_2 , песка и щебня. Мелкие и крупные частицы могут также состоять из измельченных минералов, таких как гранит, слюда и полевой шпат. Другие технические компоненты включают воду и CO_2 . Для модификации и тонкой регулировки физического внешнего вида и/или механических свойств полученного композиционного материала можно использовать различные добавки, такие как добавки, выбранные из одного или более пигментов (например, черного железистоокисного пигмента, оксида кобальта и оксида хрома), цветного стекла и/или цветного кварца. Также можно использовать добавки, относящиеся к снижению потребления воды и изменению реологических свойств.

Композиционные материалы можно получить, как описано в настоящем документе, с применением энергоэффективного процесса гидротермального жидкофазного спекания (HLPS) для создания связывающих элементов, которые удерживают вместе различные компоненты композиционного материала. Такие композиционные материалы можно получить с малыми затратами и с благоприятным воздействием на окружающую среду. Например, согласно предпочтительным вариантам реализации настоящего изобретения в качестве реакционноспособного соединения используют CO_2 , что приводит к изоляции CO_2 и созданию связывающих элементов в полученных композиционных материалах с углеродным отпечатком, несравнимым с любой существующей технологией производства. Процесс HLPS термодинамически инициируют за счет свободной энергии химической реакции(ий) и уменьшения поверхностной энергии (площади), вызванного ростом кристаллов. Кинетика процесса HLPS протекает с разумной скоростью при низкой температуре, поскольку для транспортировки реакционноспособных веществ используют раствор (водный или неводный) вместо применения текучей среды с высокой температурой плавления или высокотемпературной среды в твердом состоянии.

Обсуждение различных особенностей HLPS, цементов на основе способного к карбонизации силиката кальция, карбонизации и получения связывающих элементов, соответствующего устройства и процессов, а также сопутствующих проблем можно найти в патенте США № 8114367, публикации патента США № US 2009/0143211 (№ заявки 12/271566), публикации патента США № US 2011/0104469 (№ заявки 12/984299), публикации патента США № 2009/0142578 (№ заявки 12/271513), публикации патента США № 2013/0122267 (№ заявки 13/411218), публикации патента США № 2012/0312194 (№ заявки 13/491098), WO 2009/102360 (PCT/US2008/083606), WO 2011/053598 (PCT/US2010/054146), WO 2011/090967 (PCT/US2011/021623), предварительной заявке на патент США № 61/708423, поданной 1 октября 2012 г., и публикации патента США № 2014/0127450 (№ заявки 14/045758), публикации патента США № 2015/0266778 (№ заявки 14/045519), публикации патента США № 2014/0127458 (№ заявки 14/045766), публикации патента США № 2014/0342124 (№ заявки 14/045540), публикации патента США № 2014/0272216 (№ заявки 14/207413), публикации патента США № 2014/0263683 (№ заявки 14/207421), публикации патента США № 2014/0314990 (№ заявки 14/207920), патенте США № 9221027 (№ заявки 14/209238), публикации патента США № 2014/0363665 (№ заявки 14/295601), публикации патента США № 2014/0361471 (№ заявки 14/295402), публикации патента США № 2016/0355439 (№ заявки 14/506079), публикации патента США № 2015/0225295 (№ заявки 14/602313), публикации патента США № 2015/0056437 (№ заявки 14/463901), публикации патента США № 2016/0168720 (№ заявки 14/584249), публикации патента США № 2015/0336852 (№ заявки 14/818629), публикации патента США № 2016/0031757 (№ заявки 14/817193), публикации патента США № 2016/0272544 (№ заявки 15/074659), публикации патента США № 2016/0096773 (№ заявки 14/874350), публикации патента США № 2016/0340261 (№ заявки 14/715497), публикация патента США № 2016/0272545 (№ заявки 15/074692), публикации патента США № 2017/0102373 (№ заявки 15/290328), публикации патента США № 2017/0121223 (№ заявки 15/335520), публикации патента США № 2017/0204010 (№ заявки 15/409352), публикации патента США № 2017/0253530 (№ заявки 15/449736), публикации патента США № 2017/0260096 (№ заявки 15/451344), публикации патента США № 2017/0320781 (№ заявки 15/587705), заявке на патент США № 15/609908, поданной 31 мая 2017 г., заявке на патент США № 15/716392, поданной 26 сентября 2017 г., при этом каждый из перечисленных документов в полном объеме и явным образом включен в настоящее описание посредством ссылки для всех целей.

Фиг. 1-8 представляют собой диаграммы фазового состояния, на которых показаны различные фазовые соотношения между некоторыми из описанных материалов.

Согласно некоторым предпочтительным вариантам реализации множество связывающих элементов получают посредством химического превращения из композиций измельченного силиката кальция путем взаимодействия их с CO_2 в процессе HLPS с применением газа.

Согласно некоторым вариантам реализации композиционный материал характеризуется прочностью при сжатии, 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 175 МПа, от примерно 160 МПа до примерно 175 МПа).

Согласно некоторым вариантам реализации 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).

Согласно определенным вариантам реализации композиционный материал характеризуется водопоглощением, составляющем менее примерно 10% (например, менее примерно 8, 5, 4, 3, 2 или 1%).

Композиционный материал может иметь одну или более из требуемых текстур, рисунков и физических свойств, в частности, тех, которые характерны для натурального камня. Согласно определенным предпочтительным вариантам реализации композиционный материал имеет видимый рисунок, подобный натуральному камню. Другие характеристики включают цвета (например, черный, белый, синий, розовый, серый (от бледного до темного), зеленый, красный, желтый, коричневый, голубой (голубовато-зеленый) или фиолетовый) и текстуры.

Обсуждение оборудования и обработки.

Регулирование CO₂.

Согласно описанным вариантам реализации используют CO₂ технического сорта с чистотой примерно 99%, который предоставляется рядом различных промышленных газовых компаний, таких как Praxair, Inc., Linde AG, Air Liquide и другие. Такое поставляемое сырье можно содержать в больших герметизированных резервуарах для хранения в форме жидкого диоксида углерода, температуру которого регулируют таким образом, чтобы она позволяла поддерживать давление пара приблизительно равным 300 psig (примерно 2068 кПа изб.). Затем такой газ подают по трубам в оболочку или камеру отверждения с помощью CO₂. В самой простой системе CO₂ пропускают через оболочку со скоростью, достаточной для вытеснения окружающего воздуха, содержащегося в оболочке. В общем случае, время продувки будет зависеть от размера оболочки и скорости, с которой подают газообразный CO₂. Во многих системах такой процесс продувки оболочки от воздуха можно осуществить за время, измеренное в минутах, необходимое для доведения концентрации CO₂ до разумного уровня с тем, чтобы впоследствии можно было провести процесс отверждения. В простых системах газообразный CO₂ далее подают в указанную систему с заданной скоростью для поддержания концентрации CO₂, достаточной для инициирования реакции отверждения.

В качестве примера, авторы изобретения описывают в настоящем документе способ поддержания концентраций диоксида углерода во время реакции, хорошо подходящий для поддержания довольно постоянной концентрации, хотя указанный способ представляет собой процесс с "замкнутым контуром", который, как правило, является наиболее дорогостоящим процессом. В таком способе использует измерение концентрации CO₂ непосредственно в системе и применяют контроллер, такой как PLC (программируемый логический контроллер), для регулирования концентрации CO₂ в заданной точке с помощью электронного/автоматического регулирующего клапана. Для непосредственного измерения CO₂ предпочтительно использовать такой метод измерения, как NDIR (детектирование ближнего инфракрасного излучения). В методе измерения путем NDIR поток газовой пробы отбирают из системы с помощью насоса низкой производительности. Для удаления влаги из газового потока перед отбором проб газа с помощью прибора для NDIR используют охладитель. Соответственно, в измерениях, проведенных с помощью такого анализатора, отсутствует компонент газового потока в виде водяного пара, и результаты таких измерения необходимо скорректировать для учета влаги, которая была удалена из испытуемого образца. Измерение влажности в газовом потоке указанной системы можно осуществить с помощью психрометрического метода с применением сухого и смоченного термометров, используя прибор для измерения влажности, оборудованный сухим и смоченным термометрами (психрометр), или используя датчик влажности другого типа. Истинную концентрацию CO₂ можно рассчитать с помощью компьютерной системы управления или PLC. После того, как истинная концентрация CO₂ будет известна, с помощью приводного дозирующего регулирующего клапана в систему можно добавить сухой CO₂, если он был израсходован и его уровень опустился ниже заданного значения, необходимого в данный момент времени. Согласно различным вариантам реализации заданное значение может изменяться со временем, при необходимости, на основании опыта отверждения конкретных композиций, формы и размеров образцов композиционных материалов.

Регулирование влажности.

Фиг. 9 представляет собой схематическое изображение камеры отверждения композиционного материала с помощью CO₂, обеспечивающей увлажнение согласно принципам настоящего изобретения. Как показано на фиг. 9, осуществляют подачу воды, при этом в атмосферу, циркулирующую внутри камеры отверждения, добавляют водяной пар. Вода может представлять собой любой подходящий источник питьевой воды. Согласно некоторым вариантам реализации используют обычную водопроводную воду. Согласно некоторым вариантам реализации воду можно превратить в пар путем пропускания через

туmanoобразующее сопло или распылительное сопло, электрический парогенератор, парогенератор, работающий на газе, или путем нагревания выше температуры газа в камере с тем, чтобы вызвать испарение подаваемой жидкой воды, при этом одним из примеров является барабанный реактор с погружным нагревателем. Согласно еще одному варианту реализации подаваемый CO_2 можно направлять в указанные системы после барботирования через подаваемую горячую воду для повышения относительной влажности входящего газового потока, при этом одним из примеров является барабанный реактор, выполненный с возможностью "проточной" обработки или обработки в "разомкнутом контуре".

Относительная влажность является важным параметром как при традиционном отверждении бетона, так и при отверждении композиционного материала с помощью CO_2 . В камере для традиционного отверждения существует влажная воздушная атмосфера, состоящая в основном из азота, кислорода и водяного пара. В таких системах относительную влажность чаще всего измеряют с помощью стандартной технологии на основе емкостного датчика. Однако камеры отверждения с помощью CO_2 содержат газовую атмосферу, состоящую преимущественно из диоксида углерода, который несовместим с некоторыми датчиками такого типа. В описанных в настоящем документе системах отверждения композиционных материалов с помощью CO_2 можно использовать сенсорные технологии, такие как методы с применением сухого и смоченного термометров, в которых используют психрометрические соотношения диоксида углерода и водяного пара, или приборы для измерения дипольной поляризации водяного пара, гигрометры с охлажденным зеркалом или емкостные датчики влажности.

В зависимости от типа и геометрических размеров отверждаемого продукта, конструкции камеры и эффективности укладки продукта в камере может потребоваться либо уменьшение, либо увеличение влажности, а также ее регулировка до установленного заданного значения. Заданные значения могут составлять примерно от 1 до 99% относительной влажности. Способы отверждения композиционных материалов с помощью CO_2 могут включать три разных способа регулирования влажности, которые можно объединить в одну систему. Один из способов увлажнения согласно одному из вариантов реализации системы отверждения с помощью CO_2 показан на фиг. 9. Другой способ позволяет удалять влагу из системы с отверждением продуктов на основе композиционного материала с помощью CO_2 . Простой способ снижения относительной влажности состоит в вытеснении влажного газа в указанной системе сухим газом, таким как диоксид углерода. Согласно еще одному варианту реализации можно уменьшить относительную влажность и, следовательно, удалить водяной пар из газа с помощью безпродувочного способа, который согласно одному из предпочтительных вариантов реализации представляет собой охлажденный теплообменник, в котором осуществляют удаление воды.

Фиг. 10 представляет собой схематическое изображение камеры отверждения с несколькими способами регулирования влажности, а также способностью регулировать и пополнять CO_2 путем регулирования постоянного потока или давления, при этом указанная камера позволяет регулировать температуру согласно принципам настоящего изобретения. Предложенная система является примером системы, в которой можно осуществлять управление в замкнутом контуре или управление с обратной связью и в которой установлены заданные значения рабочих параметров, таких как концентрация CO_2 , влажность и температура, необходимые в определенных моменты времени в производственном цикле, при этом проводятся измерения для определения, является ли фактическое значение контролируемого параметра требуемым значением. При определении отклонения от требуемого значения предпринимают корректирующие действия, чтобы привести значение параметра в соответствие с требуемым значением. Такие системы управления могут быть дорогостоящими и сложными и могут быть полезными в отношении высокоценных продуктов или продуктов, требующих очень точных технологических условий.

Регулирование температуры.

Согласно некоторым вариантам реализации температуру измеряют с применением датчика, такого как термопара или RTD (резистивный датчик температуры).

Измеряемый сигнал направляют обратно в контроллер или компьютер, способный регулировать энергию в теплообменнике и, тем самым, корректировать температуру всей системы в течение некоторого времени. Воздуходувка представляет собой важный компонент системы нагревания, поскольку она может способствовать передаче тепловой энергии газу, который передает ее продуктам и самой камере, что является важной частью регулирования влажности образцов. Способ нагревания может быть электрическим или за счет сжигания газа. Нагреватели рубашки можно использовать для регулирования температуры CO_2 , проходящего через камеру в контакте с нагревательной рубашкой, при этом можно использовать любой подходящий источник тепла. Средства наружного нагревания могут включать, но не ограничиваются ими, электрическое нагревание, нагревание с помощью горячей воды или нагревание с помощью горячего масла. Для камер отверждения с помощью CO_2 до сих пор использовали системы с непрямым сжиганием газа и избегали применения горелок с прямым сжиганием газа, поскольку они будут втягивать воздух и продукты сгорания в систему, разбавляя, тем самым, CO_2 и делая регулирование концентрации CO_2 проблематичным. В некоторых более мелкомасштабных системах, таких как барабанные реакторы, используют электрические нагреватели рубашки для нагревания всей поверхности камеры, а не нагревательный элемент внутри камеры.

Регулирование расхода газа.

Другим контролируемым параметром является скорость газа через материал, который подлежит отверждению в системе. Скорость газа может сильно зависеть от переменных параметров технологического оборудования, в том числе, но не ограничиваясь ими, конструкции камеры, конструкции перегородки, размера вентилятора, скорости/мощности вентилятора, количества вентиляторов, градиента температуры внутри системы, конструкции стеллажа внутри системы и геометрических размеров образца внутри системы. Самый простой способ регулирования скорости газа внутри камеры основан на регулировании скорости воздухоудвки (об/мин), обычно осуществляемом путем применения привода с частотным регулированием, позволяющего регулировать скорость двигателя воздухоудвки. Воздуходувку можно использовать для циркуляции газа с требуемой скоростью в камере отверждения. Скорость газа в предложенной системе измеряют в системе с применением ряда различных методов, в том числе, но не ограничиваясь ими, с применением систем измерения на основе трубки Пито и лазерных доплеровских систем обнаружения. Измеряемый сигнал скорости газа можно отправить обратно в компьютерную систему или программируемый логический контроллер и использовать в качестве контролируемого параметра в профиле отверждения.

Способ получения композиционного материала.

Общий способ получения композиционного материала включает: смешивание композиции в виде частиц и жидкой композиции с получением суспензионной смеси; формование суспензионной смеси с получением требуемой формы либо путем заливки суспензии в пресс-форму, прессования суспензии в пресс-форме, прессования суспензии в вибрационной пресс-форме, экструдирования суспензии, формования суспензии через зажимное кольцо или раму, либо с применением любого другого формообразующего способа, 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 ч до примерно 80 ч в атмосфере пара, содержащего воду и CO₂ и имеющего давление в диапазоне от примерно внешнего атмосферного давления до давления, примерно на 50 psi (примерно 345 кПа) выше внешнего атмосферного давления, и концентрацию CO₂ в диапазоне от примерно 10% до примерно 90%, с получением композиционного материала, имеющего текстуру и/или рисунок и требуемые физические свойства, относящиеся к прочности при сжатии, прочности на изгиб, плотности, устойчивости к разрушению и т.д.

Композиция в виде частиц включает композицию измельченного силиката кальция, средний размер частиц которой составляет от примерно 1 мкм до примерно 100 мкм. Кроме того, композиция в виде частиц может включать измельченный карбонат кальция или материал, содержащий SiO₂, средний размер частиц которого составляет от примерно 3 мкм до примерно 25 мм. Жидкая композиция включает воду и может включать водорастворимый диспергатор.

Предложенный способ может дополнительно включать стадию сушки отлитой смеси перед отверждением указанной отлитой смеси. Композиция в виде частиц дополнительно содержит пигмент или краситель, как описано в настоящем документе.

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

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

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

Согласно определенным вариантам реализации отверждение формованной суспензионной смеси осуществляют при температуре, равной или меньшей примерно 60°C, в течение от примерно 1 ч до примерно 50 ч в атмосфере пара, содержащего воду и CO₂ и имеющего внешнее атмосферное давление.

Например, согласно некоторым вариантам реализации предложенная композиция измельченного силиката кальция имеет средний размер частиц от примерно 1 мкм до примерно 100 мкм (например, примерно 1, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 мкм), объемную плотность от примерно 0,5 г/мл до примерно 3,5 г/мл (насыпную плотность, например, 0,5, 1,0, 1,5, 2,0, 2,5, 2,8, 3,0, 3,5 г/мл) и от примерно 1,0 г/мл до примерно 1,2 г/мл (насыпную плотность после уплотнения), удельную поверхность по Блейну от примерно 150 м²/кг до примерно 700 м²/кг (например, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600, 650, 700 м²/кг).

Согласно некоторым предпочтительным вариантам реализации жидкая композиция включает воду

и водорастворимый диспергатор, содержащий соль полимера (например, соль акрилового гомополимера) с концентрацией от примерно 0,1 до примерно 2 мас./мас.%, относительно массы жидкой композиции.

Композиционные материалы, полученные согласно способу, описанному в настоящем документе, могут иметь прочность при сжатии, составляющую от примерно 3,0 МПа до примерно 30,0 МПа (например, примерно 3, 5, 10, 15, 20, 25, 30 МПа), и прочность на изгиб, составляющую от примерно 0,3 МПа до примерно 4,0 МПа (например, примерно 0,3, 0,5, 1,0, 1,5, 2,0, 2,5, 3,0, 3,5, 4,0 МПа).

Можно использовать любые подходящие материалы-предшественники, в том числе, например, композицию силиката кальция, описанную в настоящем документе. Предполагается, что катионы кальция выщелачиваются из частиц композиции силиката кальция и превращают периферийную часть частицы композиции силиката кальция в состояние с дефицитом кальция. Поскольку катионы кальция продолжают выщелачиваться из периферийной части такой частицы, структура периферийной части становится с течением времени нестабильной и разрушается, превращая, тем самым, обедненную кальцием периферийную часть частицы в первый слой, преимущественно обогащенный диоксидом кремния. Между тем, из воды осаждается второй слой, содержащий преимущественно карбонат кальция. Пример такой трехслойной структуры показан на фиг. 13, перепечатанной из публикации патента США № 2013/0122267 A1 (фиг. 6 (a)-6 (c)), на которой приведены примеры химического картирования, полученного методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (EDS), типичной связывающей матрицы и показана суперпозиция карты расположения Si (фиг. 13a) и Ca (фиг. 13b). На фиг. 13c области CaSiO_3 , SiO_2 и CaCO_3 обозначены стрелками. Частицы с ядром из волластонита (CaSiO_3) инкапсулированы в областях, обогащенных SiO_2 , и окружены частицами CaCO_3 . Различные элементы связывающей матрицы удерживаются вместе с помощью частиц CaCO_3 . Рентгенограмма (XRD) такой композиции выявила, что CaSiO_3 и CaCO_3 (кальцит) представляют собой кристаллические фазы, тогда как области, обогащенные диоксидом кремния, являются аморфными.

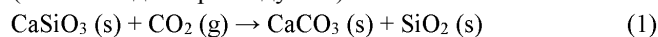
В настоящем документе термин "крупные" и "мелкие" частицы наполнителя относится к любому подходящему материалу, имеющему подходящий размер частиц и распределение по размерам. Согласно некоторым предпочтительным вариантам реализации, например, частицы наполнителя изготовлены из материала, обогащенного карбонатом кальция, такого как известняк (например, молотый известняк). В некоторых материалах частицы наполнителя изготовлены из одного или более материала на основе SiO_2 или на основе силиката, такого как кварц, слюда, гранит и полевошпатовый шпат (например, измельченный кварц, измельченная слюда, измельченный гранит, измельченный полевошпатовый шпат).

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

Согласно некоторым вариантам реализации средний размер частиц множества "крупных" и "мелких" 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).

Согласно некоторым вариантам реализации массовое отношение связывающих элементов к "крупным" и "мелким" частицам наполнителя может представлять собой любое подходящее отношение, зависящее от предполагаемого применения продукта из композиционного материала. Например, массовое отношение связывающих элементов к "крупным" или "мелким" частицам наполнителя может составлять от примерно (50-99) : до примерно (1-50), например, от примерно (60-99) : до примерно (1-40), от примерно (80-99) : до примерно (1-20), от примерно (90-99) : до примерно (1-10), от примерно (50-90) : до примерно (10-50), от примерно (50-70) : до примерно от (30-50). Согласно определенным вариантам реализации в зависимости от применения массовое отношение связывающих элементов к частицам наполнителя может составлять от примерно (10-50) : до примерно (50-90), например, от примерно (30-50) : до примерно (50-70), от примерно (40-50) : до примерно (50-60).

Более конкретно, первый слой и второй слой могут быть выполнены из частицы предшественника согласно следующим реакциям (1-3), в которых можно использовать воду в качестве реакционной среды, а не в качестве реагента (то есть вода не расходуется):



Например, в реакции карбонизации силикатных минералов, таких как композиции силиката каль-

ция, CO_2 вводят в виде газовой фазы, которая растворяется в инфильтрационной текучей среде, такой как вода. При растворении CO_2 образуются кислые углеродные соединения (такие как угольная кислота, H_2CO_3), что приводит к снижению pH раствора. Слабокислый раствор инконгруэнтно растворяет соединения кальция из фаз силиката кальция. Кальций может выщелачиваться из кальцийсодержащих аморфных фаз посредством аналогичного механизма. Высвобожденные катионы кальция и диссоциированные карбонатные соединения приводят к осаждению нерастворимых карбонатов. Предполагается, что обогащенные диоксидом кремния слои остаются на минеральных частицах в виде слоев, обедненных кальцием.

Таким образом, согласно предпочтительному варианту реализации настоящего изобретения CO_2 предпочтительно взаимодействует с катионами кальция, содержащимися в ядре композиции-предшественника силиката кальция, превращая, тем самым, периферийную часть ядра предшественника в первый слой, обогащенный диоксидом кремния, и второй слой, обогащенный карбонатом кальция. Кроме того, наличие первого и второго слоев на ядре действует в качестве барьера для дальнейшей реакции между силикатом кальция и диоксидом углерода, в результате чего связывающий элемент имеет ядро, первый слой и второй слой.

Согласно некоторым вариантам реализации силикатные материалы, содержащие металлы, отличные от Ca, или в дополнение к Ca, например, фостерит (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. Предполагается, что такие силикатные материалы можно использовать по отдельности, в комбинации и/или в комбинации с силикатом кальция в качестве предшественников для получения связывающих элементов согласно принципам настоящего изобретения.

В способах HLPS с применением газа предпочтительно используют частично инфильтрированное пористое пространство с тем, чтобы обеспечить возможность газовой диффузии быстро инфильтрировать пористую заготовку 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 CO_2 необходимо непрерывно подавать и распределять по всей пористой заготовке с тем, чтобы обеспечить значительное превращение карбоната. Применение диффузии в газовой фазе обеспечивает огромное (примерно в 100 раз) увеличение длины диффузии по сравнению с длиной диффузии растворимого CO_2 в течение эквивалентного времени в жидкой фазе. ("Handbook of chemistry and physics", Editor: D. R. Lide, Chapters 6 and 8, 87th Edition 2006-2007, CRC). Такое частично инфильтрированное состояние позволяет протекать реакции с высокой степенью карбонизации в течение фиксированного периода времени.

Жидкая вода в порах ускоряет скорость реакции, поскольку она обеспечивает среду для ионизации как угольной кислоты, так и соединений кальция. Однако уровень воды должен быть достаточно низким, чтобы газообразный CO_2 мог диффундировать в пористую матрицу до растворения в водной фазе, связанной с порами. Кроме того, активно растворяющаяся пористая заготовка служит в качестве шаблона для экспансивного роста реакционноспособных кристаллов. Таким образом, связывающий элемент и матрицы можно получить с минимальными искажениями и остаточными напряжениями. Это позволяет получать в результате большие и сложные формы, такие как формы, необходимые для инфраструктуры и строительных материалов, наряду со многими другими применениями.

Таким образом, могут быть разработаны различные комбинации условий отверждения для обеспечения требуемого производственного процесса, в том числе различные температуры реакции, давления реакции и продолжительности реакции. Согласно первому иллюстративному варианту реализации в материале-предшественнике присутствует вода (например, в виде остаточной воды от предыдущей стадии смешивания), при этом жидкую воду направляют к материалам-предшественникам (например, для поддержания уровня воды и/или регулирования потери воды в результате испарения) вместе с CO_2 , и проводят процесс отверждения при температуре примерно 90°C и давлении примерно 20 psig (примерно 138 кПа изб.) (т.е. на 20 psi (примерно 138 кПа) выше внешнего давления) в течение времени, составляющего от примерно 2 до 90 ч.

Согласно второму иллюстративному варианту реализации вода присутствует в материале-предшественнике (например, в виде остаточной воды от предыдущей стадии смешивания), при этом водяной пар направляют к материалам-предшественникам (например, для поддержания уровня воды и/или регулирования потери воды в результате испарения) вместе с CO_2 и проводят процесс отверждения при температуре примерно 90°C и давлении примерно 20 psig (примерно 138 кПа изб.) (т.е. на 20 psi (примерно 138 кПа) выше внешнего давления) в течение времени, составляющего от примерно 2 до 90 ч.

Согласно третьему иллюстративному варианту реализации вода присутствует в материале-предшественнике (например, в виде остаточной воды от предыдущей стадии смешивания), при этом водяной пар направляют к материалам-предшественникам (например, для поддержания уровня воды и/или регулирования потери воды в результате испарения) вместе с CO_2 и осуществляют процесс отверждения при температуре от 25 до 90°C и давлении 0 psig (примерно 0 кПа изб.) (при атмосферном давлении) в течение от 2 до 72 ч.

Согласно описанным выше вариантам реализации время, необходимое для отверждения объекта из

композиционного материала, определяется способностью водяного пара и газообразного CO_2 диффундировать по всему объекту. В общем случае, более толстые объекты требуют больше времени для отверждения, чем более тонкие объекты. Аналогичным образом, объекты с высокой плотностью (и меньшим объемом открытых пор) требуют больше времени для отверждения, чем объекты с низкой плотностью (и большим объемом открытых пор). В следующей таблице приведены примеры того, как время отверждения может меняться в зависимости от наименьшей толщины (или толщины стенки или толщины сечения) из трех измерений и объемной плотности получаемого объекта.

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.

Как схематично показано на фиг. 11(a)-11(c), связывающий элемент содержит ядро (изображено в виде черной внутренней части), первый слой (изображен в виде белой средней части) и второй или инкапсулирующий слой (изображен в виде наружной части). Первый слой может включать только один слой или несколько подслоев и может полностью или частично покрывать ядро. Первый слой может находиться в кристаллической фазе, аморфной фазе или их смеси, а также может существовать 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 включать множество частиц или может представлять собой непрерывную фазу с минимальным количеством дискретных частиц.

Связывающий элемент может иметь любой размер и любую регулярную или нерегулярную морфологию, морфологию твердотельного или полого материала 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 элементы, стержни, чешуйки и т.д.

В общем случае, как более подробно описано в настоящем документе, связывающий элемент получают из реакционноспособных материалов-предшественников (например, частиц предшественников) посредством процесса превращения. Частицы предшественника могут иметь любой размер и форму при условии, что они соответствуют требованиям предполагаемого применения. Процесс превращения обычно приводит к получению соответствующих связывающих элементов, имеющих сходные размеры и формы частиц предшественников.

Внутри связывающей матрицы связывающие элементы могут быть расположены относительно друг друга в любой из нескольких ориентации. На фиг. 12(a)-12(f) схематично показана типичная связывающая матрица, содержащая связывающие элементы в форме волокон или пластин в разных ориентациях, возможно разбавленная введением материала-наполнителя, как изображено в виде расстояния между связывающими элементами. На фиг. 12(a), например, показана связывающая матрица, содержащая связывающие элементы в форме волокон, расположенные в ряд в однонаправленной ("1-D") ориентации (например, расположенные по одной линии относительно направления x). На фиг. 12(b) показана связывающая матрица, содержащая пластинчатые связывающие элементы, расположенные в ряд в двухнаправленной ориентации ("2-D") (например, расположенные по одной линии относительно направлений x и y). На фиг. 12(c) показана связывающая матрица, содержащая пластинчатые связывающие элементы, расположенные в ряд в трехнаправленной ориентации ("3-D") (например, расположенные по одной линии относительно направлений x, y и z). На фиг. 12(d) показана связывающая матрица, содержащая пластинчатые связывающие элементы в беспорядочной ориентации, при этом указанные связывающие элементы не выровнены относительно какого-либо конкретного направления. На фиг. 12(e) показана связывающая матрица, содержащая относительно высокую концентрацию пластинчатых связывающих элементов, расположенных в ряд в трехмерной ориентации. На фиг. 12(f) показана связывающая матрица, содержащая относительно низкую концентрацию пластинчатых связывающих элементов, расположенных в беспорядочной ориентации (в виде перколяционной сети). Композиционный материал, показанный на фиг. 12(f), обеспечивает порог перколяции, поскольку большая часть связывающих элементов соприкасаются друг с другом, так что образуется непрерывная сеть контактов от одного конца материала к другому концу. Порог перколяции представляет собой критическую концентрацию, выше которой свя-

связывающие элементы проявляют дальнедействующую связанность с любой упорядоченной, например, фиг. 12(e), или беспорядочной ориентацией, например, фиг. 12(f), связывающих элементов. Примеры образцов связанности можно найти, например, в Newnham et al., "Connectivity and piezoelectric-piezoelectric composites", Mat. Res. Bull. Vol. 13, pp. 525-536, 1978).

Множество связывающих элементов могут подвергаться химическому превращению из любых подходящих материалов-предшественников, например, из любой подходящей композиции силиката кальция в качестве предшественника. Композиция силиката кальция в качестве предшественника может также 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 средний размер частиц множества связывающих элементов составляет от примерно 1 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).

В некоторых случаях композиционный материал содержит: множество связывающих элементов и множество частиц наполнителя. Каждый связывающий элемент содержит: ядро, содержащее преимущественно композицию силиката кальция, первый или внутренний слой, обогащенный диоксидом кремния, и второй или внешний слой, обогащенный карбонатом кальция. Множество связывающих элементов и множество частиц наполнителя вместе образуют одну или более связывающих матриц, при этом указанные связывающие элементы и частицы наполнителя по существу равномерно распределены в указанной матрице и связаны вместе, в результате чего полученный композиционный материал обладает одним или более свойствами, выбранными из текстур, рисунков и физических свойств. В некоторых случаях связывающие элементы могут иметь ядро из силиката магния и первый или внутренний слой, обогащенный диоксидом кремния, и второй или внешний слой, обогащенный карбонатом магния. Силикат магния может включать оксиды алюминия, кальция, железа или марганца.

Согласно определенным вариантам реализации такие композиционные материалы могут иметь различные рисунки, текстуры и другие характеристики, такие как видимые рисунки различных цветов. Кроме того, композиционные материалы согласно настоящему изобретению имеют прочность при сжатии, прочность на изгиб и характеристики водопоглощения, аналогичные обычному бетону или соответствующим природным материалам.

Согласно некоторым вариантам реализации композиционный материал дополнительно содержит пигмент. Пигмент может быть равномерно распределен или по существу неравномерно распределен в связывающих 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 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.

Система отверждения с регулируемым расстоянием между компонентами камеры.

Была изготовлена система отверждения, в которой можно регулировать расстояние между плитами для размещения продукта. Увеличение или уменьшение расстояния между плитами, на которых были размещены отдельные бетонные объекты, приводило к изменению размера канала 101, сформированного между верхней частью отдельных бетонных объектов и нижней частью плиты, расположенной над отдельным бетонным объектом. Размер такого канала 101, определяемый зазором между плитами и размерами отдельных бетонных объектов, влиял на скорость движения текучей среды через объекты. При постоянном объеме потока текучей среды между плитами меньший канал 101 увеличивал скорость, а расширение канала 101 приводило к уменьшению скорости.

В зависимости от отношения связывающего элемента к наполнителю, содержания воды, степени уплотнения и размеров неотвержденных отдельных бетонных объектов желательное изменение скорости потока текучей среды через канал 101 увеличенного или уменьшенного размера. Изображение такой сис-

темы показано на фиг. 15

Согласно некоторым вариантам реализации, в которых отношение связывающего элемента к наполнителю является высоким, может быть желательно увеличить размер канала 101 для улучшения свойств готовых объектов и оптимизации требования к общей продолжительности процесса.

Согласно некоторым вариантам реализации, в которых отношение связывающего элемента к наполнителю является низким, может быть желательно уменьшить размер канала 101 для улучшения свойств готовых объектов и оптимизации требования к общей продолжительности процесса.

Согласно некоторым вариантам реализации несколько категорий отдельных бетонных объектов с разным отношением связывающего элемента к наполнителю, содержанием воды, степенью уплотнения или размерами будут обрабатывать в одной и той же камере или оболочке. Согласно такому варианту реализации размер канала 101 можно независимо регулировать для каждой плиты для размещения продукта в соответствии с типом бетонного объекта, прилегающего к каналу. Такой способ позволяет регулировать скорость технологического газа в соответствии с оптимальной скоростью для каждой категории бетонных объектов с тем, чтобы унифицировать свойства готовых объектов и оптимизировать требования к общей продолжительности процесса.

Пример 2.

Система отверждения с обратимым потоком.

Была разработана система отверждения, в которой поток технологического газа направляли в каналы между отдельными бетонными объектами, а также между отдельными бетонными объектами и компонентами камеры. Направление потока в обоих каналах было обратимым. В оболочках или камерах, способных вместить множество отдельных бетонных объектов, указанные объекты размещали в виде массива при прохождении текучей среды через такие бетонные объекты. При прохождении текучей среды через множество отдельных объектов изменялись условия текучей среды, такие как температура, относительная влажность или влагосодержание и скорость. После прохождения определенной длины, которая определяется начальным состоянием текучей среды и свойствами множества отдельных бетонных объектов, такими как отношение связывающего элемента к наполнителю, содержание воды, степень уплотнения и размеры, состояние текучей среды в каналах между компонентами камеры и каналах между отдельными бетонными объектами становилось неподходящим для оптимального отверждения. Другими словами, температура текучей среды падала, а относительная влажность или влагосодержание текучей среды увеличивалось и выходило за пределы порогового значения, подходящего для отверждения отдельных бетонных объектов.

Согласно некоторым вариантам реализации текучую среду считают неподходящей для применения, когда температура текучей среды уменьшается ниже 60°C, или ниже 55°C, или ниже 50°C, или ниже 45°C, или ниже 40°C, или ниже 35°C, или ниже 30°C, или ниже 25°C.

Согласно некоторым вариантам реализации текучую среду считают неподходящей для применения для отверждения, когда содержание влаги в текучей среде, выраженное в виде относительной влажности, составляет более 20%, или более 30%, или более 40%, или более 50%, или более 60%, или более 70%, или более 80%, или более 90%.

Однако путем реверсирования по меньшей мере один раз направления потока текучей среды во время цикла отверждения можно увеличить длину массива отдельных бетонных объектов, которые могут быть отверждены. Тем самым, отдельные бетонные объекты, расположенные ниже по потоку, которые подвергаются воздействию более холодной текучей среды с более высоким влагосодержанием, теперь подвергаются воздействию более сухой текучей среды с более низким влагосодержанием в течение по меньшей мере части цикла отверждения. Согласно некоторым вариантам реализации указанную длину можно увеличить с целью удвоения длины, при которой параметры газа становятся неподходящими для применения газа для отверждения в установке с однонаправленным потоком на протяжении всего цикла отверждения. В целом, такая концепция помогает увеличить вместимость оболочки или камеры.

Чертеж иллюстративной системы в крупном масштабе показан на фиг. 16. Приближенный чертеж предложенной системы с расположенными внутри бетонными объектами показан на фиг. 17.

Согласно другому варианту реализации продукты могут быть уложены на плиты один на другой, как показано на фиг. 15 и введены внутрь модифицированной версии предложенной системы, показанной на фиг. 16 и 17, в которой высота камеры увеличена для размещения нескольких стеллажей.

Пример 3.

Отверждение многопустотной плиты с применением метода изотермической десорбции.

Смешивание.

Для смешивания компонентов при проектировании состава бетонной смеси использовали планетарный смеситель серии Sicoma TO8 (модель MP 250/375 WWWSW). Скорость планетарного смесителя составляла 18,5 об/мин. Материал-наполнитель в форме 293,8 кг заполнителя с размером частиц $1/4$ дюйма (примерно 0,64 см) и 160,3 кг песка смешивали в сухом состоянии в течение 90 с. К сухой смеси добавляли 5 кг воды, 168 г добавки Glenium 7500 (компания BASF) и 120 г воздухововлекающей добавки, и перемешивали полученную комбинацию в течение дополнительных 90 с. К влажному материалу в смесителе добавляли связующее вещество в форме 80,1 кг цемента Solidia (компания Solidia Technologies)

(4% псевдоволластонита, 19% волластонита, 13% ларнита, 2% кальцита и 62% аморфных оксидов) вместе с дополнительными 16 кг воды. Полученную комбинацию перемешивали в течение еще 90 с. Было установлено, что конечное влагосодержание смеси составляло 3,68% при измерении с помощью анализатора влажности Sartorius MA100. В общей сложности три такие партии были перенесены в экструдер для экструзии многопустотной плиты.

Экструзия.

Два стальных каната длиной 40 дюймов (примерно 102 см) и диаметром 3/8 дюйма (примерно 0,95 см) (7-жильный провод с низкой степенью релаксации, компания Sumiden Wire Products Corp.) растягивали до удлинения на 3 дюйма (примерно 7,6 см) вдоль длины стальной экструзионной рамы. Канаты устанавливали таким образом, чтобы разместить один из них симметрично между дном плиты и сердечниками 1 и 2; а другой симметрично между дном плиты и сердечниками 5 и 6.

Многопустотную плиту экструдировали на стальной раме с применением 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 см) и содержала шесть полых сердечников (диаметром 6 дюймов (примерно 15 см)). Соседние сердечники были разделены стенкой толщиной 1,25 дюйма (примерно 3,18 см). На фиг. 18 показано изображение такой многопустотной плиты.

Отверждение.

Фиг. 19 представляет собой схематический чертеж устройства для отверждения. Во время отверждения раму нагревали путем циркуляции горячей воды по трубам внутри стальной рамы. Температуру воды для нагревания поддерживали с помощью работающего на газе котла, температуру в котором устанавливали на уровне 81°C. Температура на верхней поверхности стальной рамы составляла примерно 49°C. Для удаления влаги из потока циркулирующего газа через конденсатор циркулировали холодную воду из охладителя (поддерживали при 10°C). Температуру в электрическом нагревателе (3,75 кВт) поддерживали при 87°C для нагревания потока высушенного циркулирующего газа перед его возвратом в камеру отверждения. Скорость циркуляционной воздуходувки регулировали с помощью привода с частотным регулированием. Начальная скорость воздуходувки составляла 30 Гц. Сухой CO₂ подавали по мере необходимости в систему отверждения через регулятор массового расхода Alicat. Камера отверждения содержала стальную экструзионную раму и полиэтиленовый лист, который выполнял функцию навеса и отделял поток CO₂/H₂O от окружающей атмосферы. Навес покрывал многопустотную плиту и был натянут между опорными стенками на каждом конце плиты. Навес был герметизирован вдоль стальной экструзионной рамы и у торцевых стенок с помощью магнитных полосок и наполнен потоком циркулирующего газа. Перепад давления между внутренней частью навеса и наружной стороной навеса поддерживали немного выше атмосферного давления (перепад давления = +0,2 дюйма (примерно 0,5 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 дюймов (примерно 23,50 см), а не 8 дюймов (примерно 20 см). Каждая торцевая стенка служила в качестве передней стороны прямоугольной коробки, образуя камеру с 1 входным отверстием для газа, расположенным напротив 6 отверстий, через которые газ входил или выходил из камеры отверждения. 6 указанных отверстий были покрыты перфорированным металлическим листом с тем, чтобы концевая камера действовала как полость, функционирующая для распределения и выравнивания газового потока, поступающего в камеру отверждения. Одно из двух отверстий, принадлежащих датчику перепада давления, было встроено через одну из торцевых стенок в камеру отверждения. Другое отверстие оставалось открытым для окружающей атмосферы. Для мониторинга концентрации CO₂ в камере на протяжении всего цикла отверждения через торцевую стенку на другом конце камеры отверждения был встроены пробоотборный зонд NDIR прибора для измерения CO₂. Два датчика влажности/температуры Vaisala были размещены внутри камеры отверждения, по одному на каждом конце непосредственно внутри торцевых стенок.

Камеру отверждения продували газообразным CO₂ в течение 10 мин.

Во время процесса отверждения направление циркуляции газа изменяли каждые 60 мин. Скорость воздуходувки уменьшали до 15 Гц через 90 мин после начала отверждения, а затем увеличивали до 45 Гц через 209 мин после начала отверждения, каковой она оставалась до завершения цикла отверждения через 490 мин.

На фиг. 20 показана влажность в камере, измеренная на торцевых стенках с помощью датчиков Vaisala, на протяжении всего процесса отверждения, а также суммарное количество конденсированной воды, собранной на протяжении всего цикла.

Прочность многопустотной плиты оценивали методом по упругому отскоку молотка в 44 точках на верхней поверхности плиты. Параметры отскока показали, что средняя прочность при сжатии составляет 30 МПа.

Пример 4.

Отверждение пустотелой отливки с применением метода изотермической адсорбции.

Смешивание.

Подбор состава смеси включал применение шести твердых компонентов: (1) заполнителя с разме-

ром частиц 3/8 дюйма (примерно 0,95 см), 29%; (2) заполнителя с размером частиц 1/4 дюйма (примерно 0,64 см), 15%; (3) измельченного кварца с размером частиц 2 мм, 15%; (4) строительного песка, 20%; (5) белого мрамора 200, 11%; и (6) волластонита NYCO 400, 13%. Компоненты смешивали в сухом состоянии в лабораторном смесителе Kercher Industries 12" в течение 2 мин. К сухим компонентам добавляли воду (570 г) с добавкой камеди и перемешивали полученную смесь еще 4 мин. Добавляли еще воды (265 г) и перемешивали смесь дополнительные 4 мин. Наконец, добавляли еще воды (260 г) и перемешивали смесь дополнительные 2 мин.

Литье.

Влажную смесь отливали в прямоугольную пресс-форму размером 4×4×20 дюймов (примерно 10×10×51 см), при этом сторону с наибольшим размером размещали горизонтально. Поливинилхлоридную трубу диаметром 2 дюйма (примерно 5,1 см) и длиной 20 дюймов (примерно 51 см), обернутую вошечной бумагой, закрепляли в центре пресс-формы таким образом, чтобы сформировать сердечник диаметром 2 дюйма (примерно 5,1 см) вдоль длины отливки. Отливали 6 слоев бетонной смеси, при этом каждый слой подвергали вибрации в течение 30 с, за исключением последнего, который подвергали вибрации в течение 60 с.

Сушка.

Пустотелую отливку медленно высушивали для предотвращения растрескивания. Указанную отливку оставляли сохнуть на воздухе в течение ночи и затем помещали в сушильную печь при 90°C на 51 ч, а затем еще на дополнительные 20 ч при 100°C. После сушки пустотелую отливку вынимали из пресс-формы и удаляли из сердцевины отливки поливинилхлоридную трубу. Чистая масса пустотелой отливки составляла 8769 г.

Отверждение.

Фиг. 21 представляет собой изображение установки для отверждения.

Трубопроводная арматура из поливинилхлорида была вставлена в каждый конец сердечника с помощью трубных штуцеров, привинченных к трубной арматуре таким образом, чтобы отверждающие газы могли проходить через отливку. Пустотелую отливку заключали в стекловолоконный изоляционный материал толщиной 1 дюйм (примерно 2,5 см) на подложке из алюминиевой фольги. Один из трубных штуцеров от сердечника (входной патрубков) прикрепляли с помощью трубки из нержавеющей стали размером 1/4 дюйма (примерно 0,64 см) к газовому сатуратору (обогреваемый сосуд, содержащий воду). Другой трубный штуцер от сердечника (выходной патрубков) прикрепляли к пластмассовой трубе размером 1/4 дюйма (примерно 0,64 см), ведущей к вентиляционному отверстию. Каждый патрубок был снабжен термопарой, чтобы можно было измерять температуру отверждающего газа до и после прохождения через сердечник. Каждый патрубок был изолирован с помощью стекловолоконного изоляционного материала.

Воду в сатураторе поддерживали при температуре 65°C на протяжении всего цикла отверждения. Газообразный диоксид углерода барботировали через воду со скоростью 6,5 л/мин для насыщения газового потока водяным паром. Все тепло и воду для реакции отверждения переносили в полый сердечник с помощью потока насыщенного диоксида углерода. Температура на входе в сердечник повышалась с 26°C до 60°C в течение одного часа, каковой она оставалась до конца цикла отверждения. Потребовалось еще 90 мин, чтобы температура на выходе из сердечника поднялась до 53°C, каковой она оставалась до конца периода отверждения. Процесс отверждения был завершен через 20 ч.

Изоляционный материал, окружающий пустотелую отливку во время процесса отверждения, удаляли. Первая треть отливки (входной конец) выглядела влажной и темнее на вид, чем остальная часть отливки, которая выглядела более светлой и сухой (фиг. 22). Отливку полностью высушивали в сушильной печи до постоянной массы 8939 г с получением прироста в 170 г вследствие карбонизации. Согласно расчетам средняя степень карбонизации составляла 40% от прироста массы.

Высушенную пустотелую отливку разрезали пополам для оценки равномерности отверждения, поскольку два конца отливки визуально различались. Некоторое количество материала было потеряно из-за пропила при разрезании отливки, и некоторое количество материала было потеряно из-за скола наружных кромок разреза, вызванного лезвием пилы. Структура скола была симметричной и приблизительно одинаковой на обеих половинах отливки, поэтому потери при разрезании были примерно одинаковыми для обеих частей. Общая масса потерь при разрезании составляла 137 г. Внутренние кромки (например, поверхность сердечника) были разрезаны чисто, что указывает на то, что внутренняя часть отливки прореагировала лучше, чем внешняя часть, и что степень взаимодействия изменялась в радиальном направлении вокруг сердечника. Масса входной половины высушенной отливки составляла 4429 г, тогда как масса выходной половины высушенной отливки составляла 4373 г. Таким образом, масса, оставшаяся после разрезания плиты, была равномерно распределена по двум половинам (50,3% входной конец; 49,7% выходной конец). Таким образом, степень карбонизации была равномерно распределена вдоль длины пустотелой отливки.

Изобретение, представленное заявителем, описано в настоящем документе согласно предпочтительным вариантам реализации со ссылкой на фигуры, на которых одинаковые номера представляют

одинаковые или похожие элементы. В настоящем описании ссылка на "один из вариантов реализации", "вариант реализации" или подобное выражение означает, что конкретный признак, структура или характеристика, описанные в связи с указанным вариантом реализации, включены в по меньшей мере один из вариантов реализации настоящего изобретения. Таким образом, появление в настоящем описании фраз "согласно одному из вариантов реализации", "согласно варианту реализации" и аналогичных выражений может, но не обязательно, относиться к одному и тому же варианту реализации.

Описанные признаки, структуры или характеристики изобретения, представленного заявителем, могут быть объединены любым подходящим способом в одном или более вариантах реализации. Для обеспечения полного понимания вариантов реализации настоящего изобретения в приведенном в настоящем документе описании приведены многочисленные конкретные подробности. Однако специалист в соответствующей области техники поймет, что композиция и/или способ, предложенные заявителем, могут быть реализованы на практике без применения одной или более конкретных деталей или с применением других способов, компонентов, материалов и т.п. В других случаях общеизвестные структуры, материалы или операции не показаны или не описаны подробно во избежание затруднения понимания аспектов настоящего изобретения.

В данном описании и прилагаемой формуле настоящего изобретения формы единственного числа включают ссылку на множественное число, если контекст явно не указывает иное.

Если не указано иное, все технические и научные термины, применяемые в настоящем документе, имеют то же значение, которое обычно используют средние специалисты в данной области техники. Хотя любые способы и материалы, подобные или эквивалентные тем, что описаны в настоящем документе, также можно использовать при практическом применении или испытании настоящего изобретения, в данном документе описаны предпочтительные способы и материалы. Способы, изложенные в настоящем документе, можно осуществить в любом порядке, который логически возможен, наряду с описанным конкретным порядком.

Включение посредством ссылки.

В настоящем описании были сделаны ссылки и процитированы другие документы, такие как патенты, заявки на патент, патентные публикации, журналы, книги, документы, содержимое веб-сайтов. Тем самым, все перечисленные документы в полном объеме включены в настоящий документ посредством ссылки для любых целей. Любой материал или его часть, который, как указано, включен в настоящий документ посредством ссылки, но который противоречит существующим определениям, утверждениям или другому раскрытому материалу, явно изложенному в настоящем документе, включен только в той степени, в которой не возникает какого-либо противоречия между таким включенным материалом и материалом, описанным в настоящем изобретении. В случае такого противоречия оно должно быть решено в пользу настоящего описания как предпочтительного описания.

Эквиваленты.

Репрезентативные примеры, описанные в настоящем документе, предназначены для помощи в иллюстрации настоящего изобретения и не предназначены для ограничения объема настоящего изобретения и не должны трактоваться таким образом. Действительно, различные модификации настоящего изобретения и многие дополнительные варианты его реализации, наряду с вариантами, показанными и описанными в настоящем документе, станут очевидны специалистам в данной области техники из полного содержания данного документа, включающего следующие примеры и ссылки на научную и патентную литературу, цитируемую в настоящем документе. Приведенные примеры содержат важную дополнительную информацию, иллюстративные примеры и руководство, которые могут быть адаптированы к практическому применению настоящего изобретения согласно его различным вариантам реализации и их эквивалентам.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Система для изготовления изделия, содержащая оболочку или камеру и заключенный в нее компонент распределения текучей среды, выполненный с возможностью изменения направления газового потока внутри указанной оболочки или камеры по меньшей мере однократно,

композиционный материал, распределенный в виде множества отдельных бетонных объектов, где множество отдельных бетонных объектов расположено вдоль множества параллельных плоскостей; причем один или более проходов или каналов расположены между всеми указанными отдельными бетонными объектами или проходят через каждый из них с формированием системы транспортировки текучей среды внутри указанных одного или более проходов и каналов и с наружной части множества отдельных объектов;

один или более стеллажей, брезентовых тентов, стенок или панелей с планарными, плоскими, выпуклыми или вогнутыми лицевыми поверхностями, образующими один или более проходов или каналов и обеспечивающими профиль потока текучей среды в системе транспортировки текучей среды.

2. Система по п.1, в которой компонент распределения текучей среды регулирует профиль потока

текучей среды по меньшей мере части оболочки или камеры.

3. Система по п.1, в которой компонент распределения текучей среды изменяет скорость газа внутри указанной оболочки или камеры по меньшей мере однократно.

4. Система по любому из пп.1-3, в которой компонент распределения текучей среды включает один или более компонент, выбранный из впускных отверстий для текучей среды, выпускных отверстий для текучей среды, полостей или перфорированных плит или их комбинаций.

5. Система по любому из пп.1-4, в которой оболочка или камера изготовлена из материала, выбранного из металла, сплава, пластмассы, полимера, полимерного композиционного материала, керамического композиционного материала или их комбинаций.

6. Система по любому из пп.1-5, в которой оболочка или камера изготовлена из бетонного материала, стали, или брезента, или их комбинаций.

7. Система по п.1, которая дополнительно содержит одну или более плит, на которых размещено указанное множество отдельных бетонных объектов.

8. Способ получения изделия, включающий:

смешивание композиции в виде частиц и жидкой композиции с получением смеси;

литье или экструдирование указанной смеси в пресс-форме с получением отлитого или экструдированного сырца, содержащего множество отдельных бетонных объектов;

причем один или более проходов или каналов расположены между каждым из указанных отдельных бетонных объектов и снаружи множества отдельных объектов или проходят через все из них;

поддержание атмосферы CO_2 и/или водяного пара в одном или нескольких внутренних проходах или каналах и снаружи множества отдельных объектов; и

отверждение множества отдельных объектов при температуре в диапазоне от примерно 20°C до примерно 150°C в течение от примерно 1 ч до примерно 80 ч в атмосфере воды и/или CO_2 , давление которой находится в диапазоне от внешнего атмосферного давления до давления, примерно на 60 psi (примерно на 413 кПа) выше внешнего давления, и концентрация CO_2 в которой составляет от примерно 10% до примерно 90%,

причем поддержание атмосферы CO_2 и/или водяного пара в одном или нескольких внутренних проходах включает в себя изменение направления потока CO_2 и/или водяного пара по меньшей мере однократно во время отверждения указанного сырца.

9. Способ по п.8, в котором поддержание атмосферы CO_2 и/или водяного пара в одном или более внутренних проходах или каналах и/или наружной части множества отдельных объектов включает:

удержание атмосферы внутри одного или более внутренних каналов и/или наружной части множества отдельных объектов;

циркуляцию удерживаемой атмосферы CO_2 и/или водяного пара;

удаление водяного пара из удерживаемой атмосферы или добавление водяного пара к удерживаемой атмосфере; и

нагревание удерживаемой атмосферы.

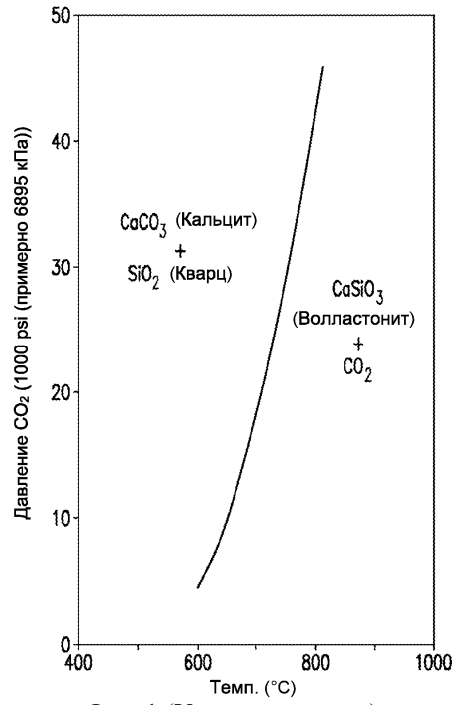
10. Способ по п.8 или 9, в котором поддержание атмосферы CO_2 и/или водяного пара в указанном одном или более внутренних проходах или каналах включает в себя изменение скорости потока CO_2 и/или водяного пара по меньшей мере один раз в течение периода отверждения сырца.

11. Способ по любому из пп.8-10, в котором композиция в виде частиц включает измельченный силикат кальция, содержащий одно или более вещество, выбранное из природного или синтетического волластонита, псевдоволластонита, ранкинита, геленита, белита и алита, средний размер частиц которого составляет от примерно 1 мкм до примерно 100 мкм, при этом указанная жидкая композиция содержит воду.

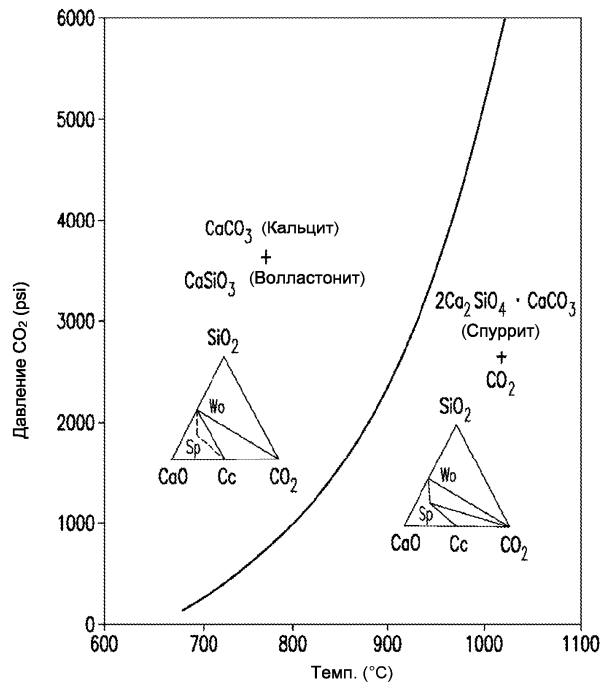
12. Способ по любому из пп.8-11, в котором отверждение отлитой смеси осуществляют при температуре, равной или меньшей примерно 60°C , в течение от примерно 10 до примерно 50 ч в атмосфере пара, содержащего воду и CO_2 и имеющего внешнее атмосферное давление.

13. Способ по любому из пп.8-12, в котором измельченный силикат кальция представляет собой по существу силикат кальция в виде измельченного волластонита.

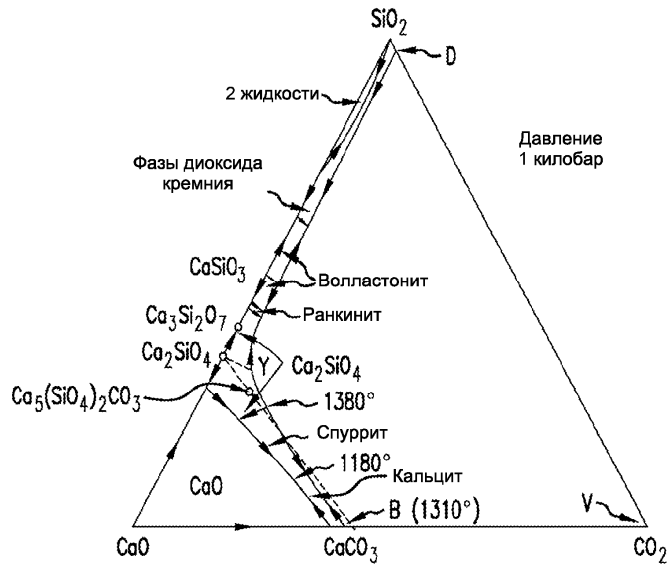
14. Способ по любому из пп.8-13, дополнительно включающий введение в смесь одного или более арматурных элементов.



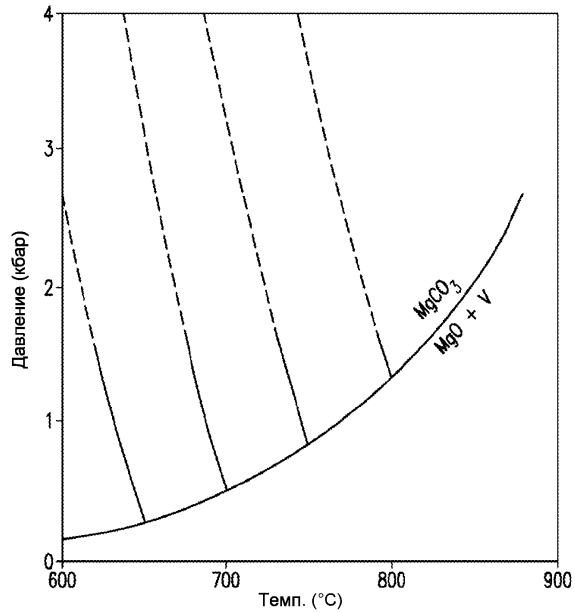
Фиг. 1 (Уровень техники)



Фиг. 2 (Уровень техники)

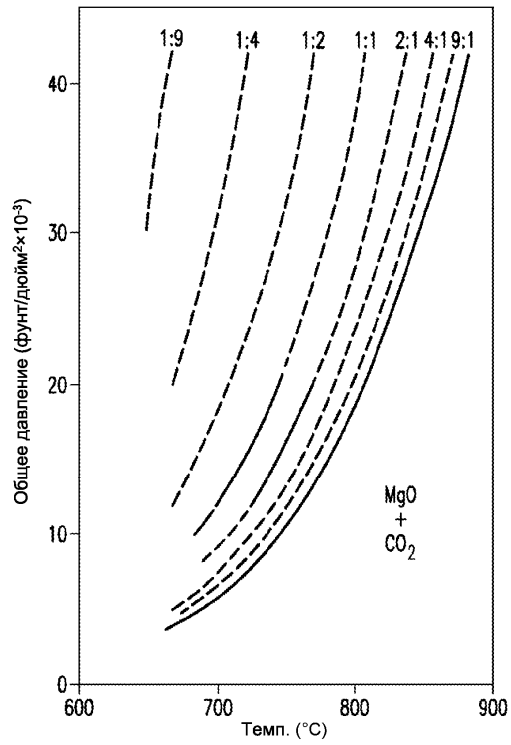


Фиг. 3 (Уровень техники)

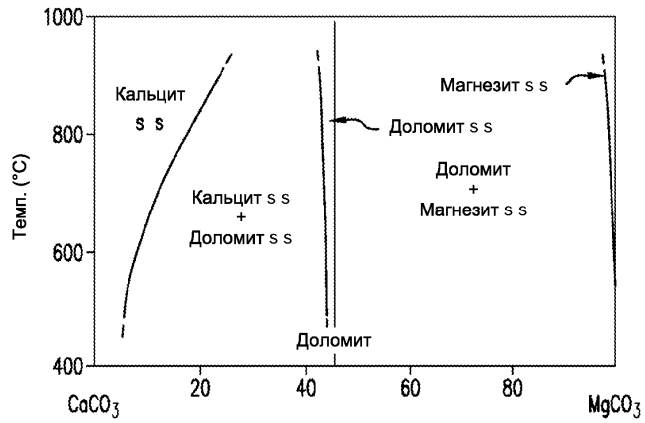


Фиг. 4 (Уровень техники)

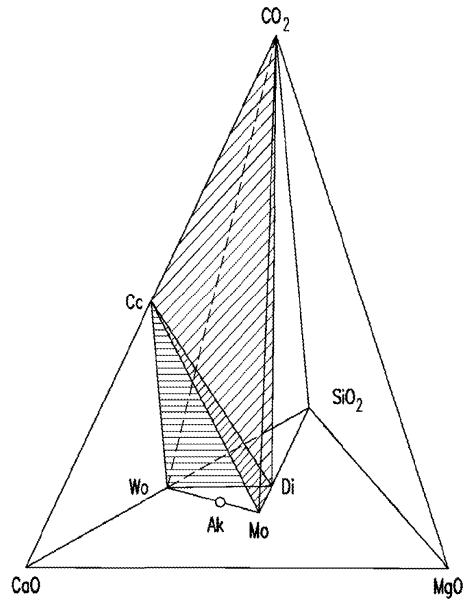
Отношения CO₂ : инертный газ (по массе)



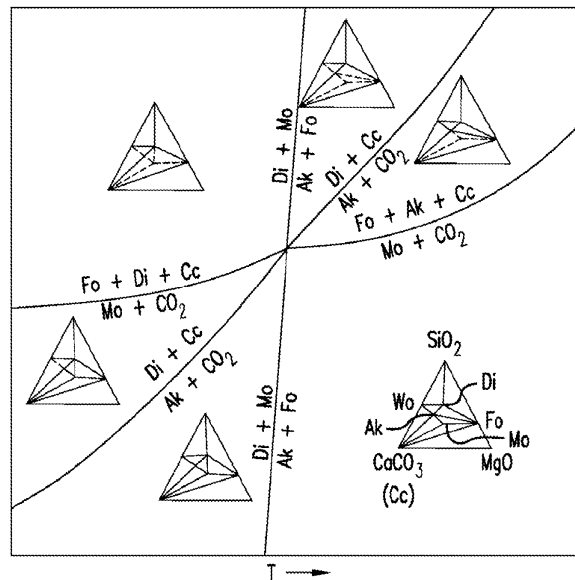
Фиг. 5 (Уровень техники)



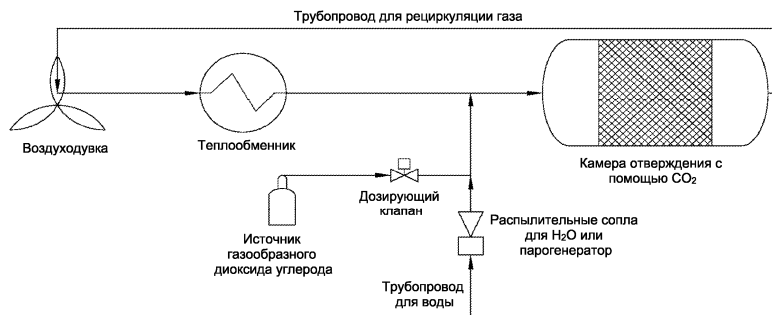
Фиг. 6 (Уровень техники)



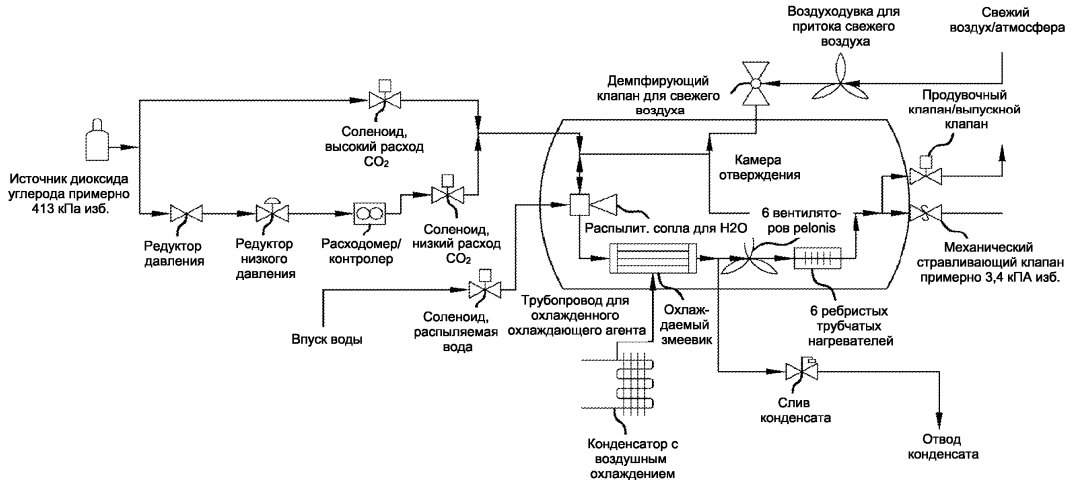
Фиг. 7 (Уровень техники)



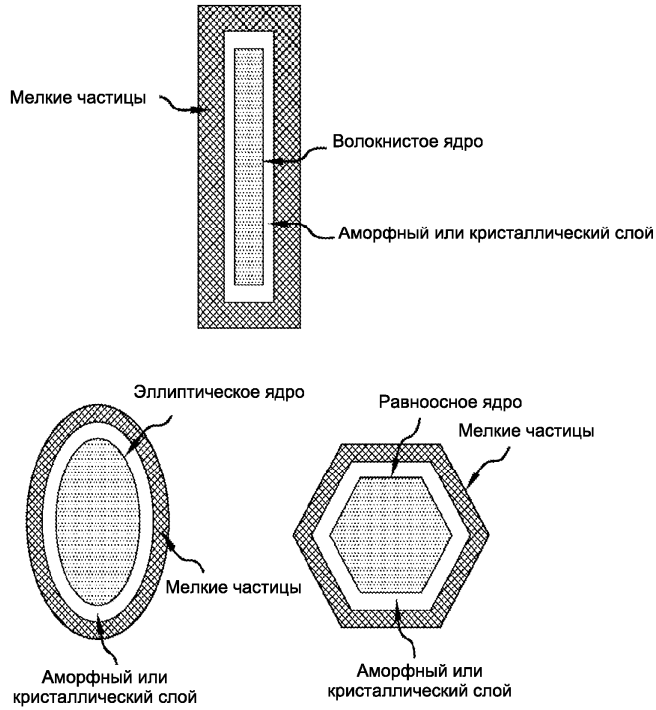
Фиг. 8 (Уровень техники)



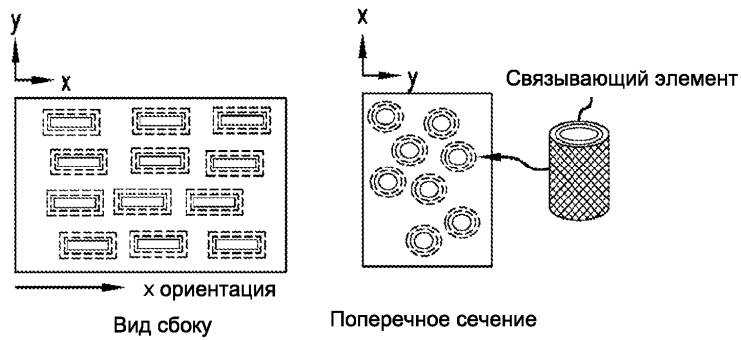
Фиг. 9



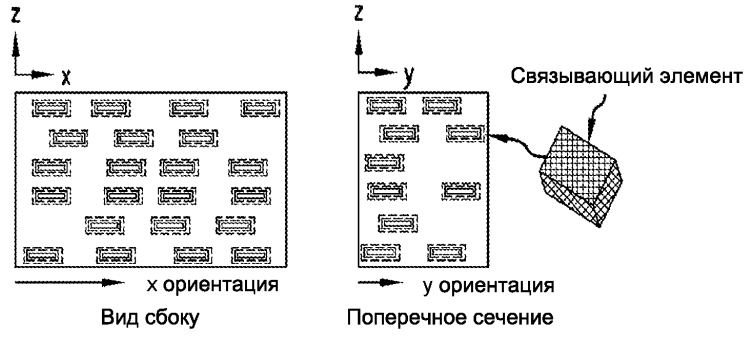
Фиг. 10



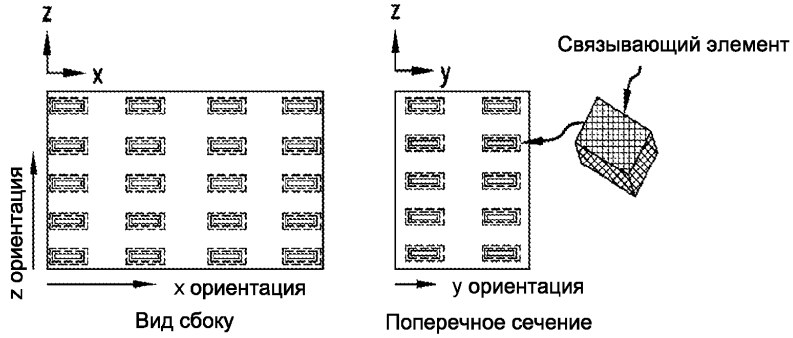
Фиг. 11



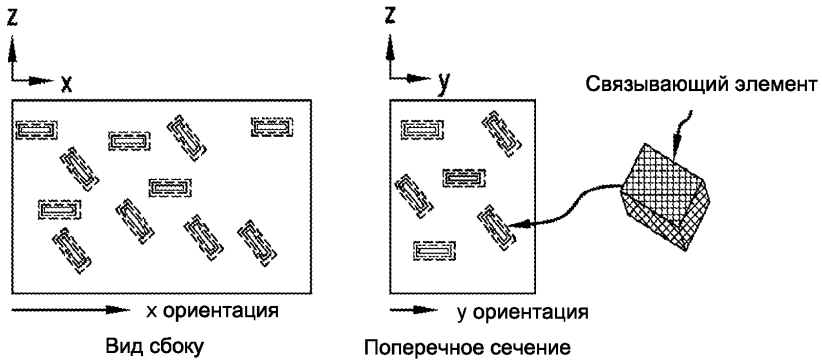
Фиг. 12A



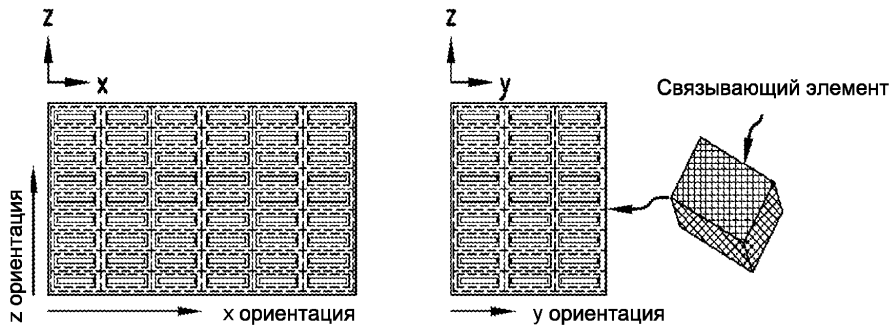
Фиг. 12B



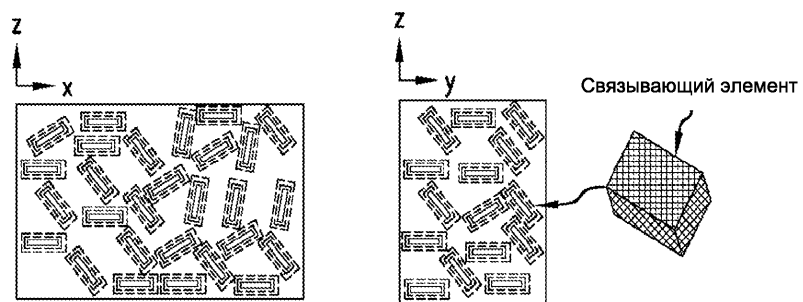
Фиг. 12C



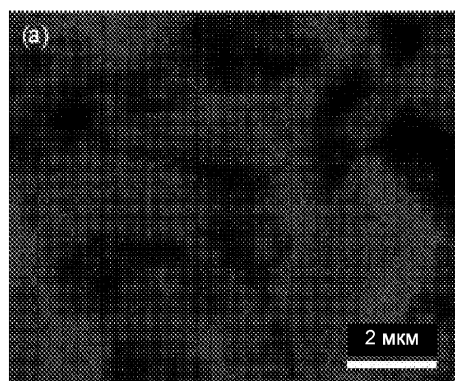
Фиг. 12D



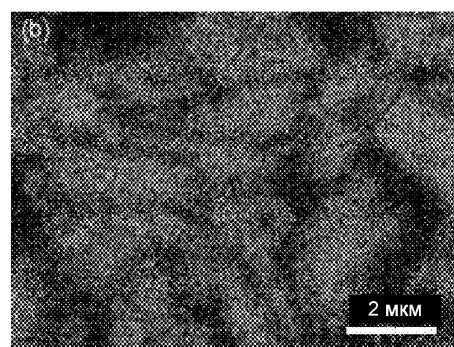
Фиг. 12E



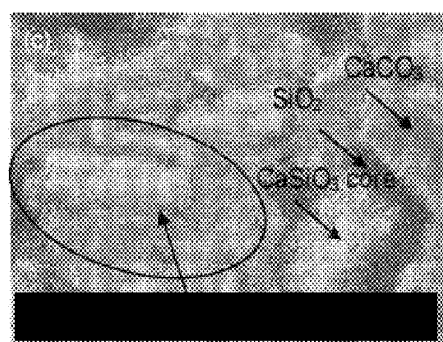
Фиг. 12F



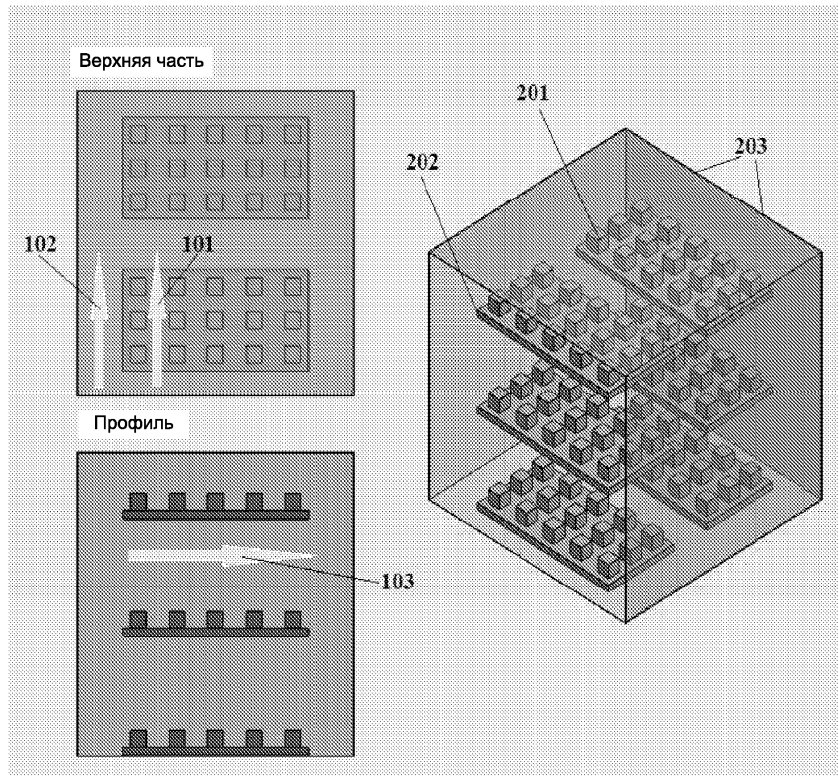
Si Ka1



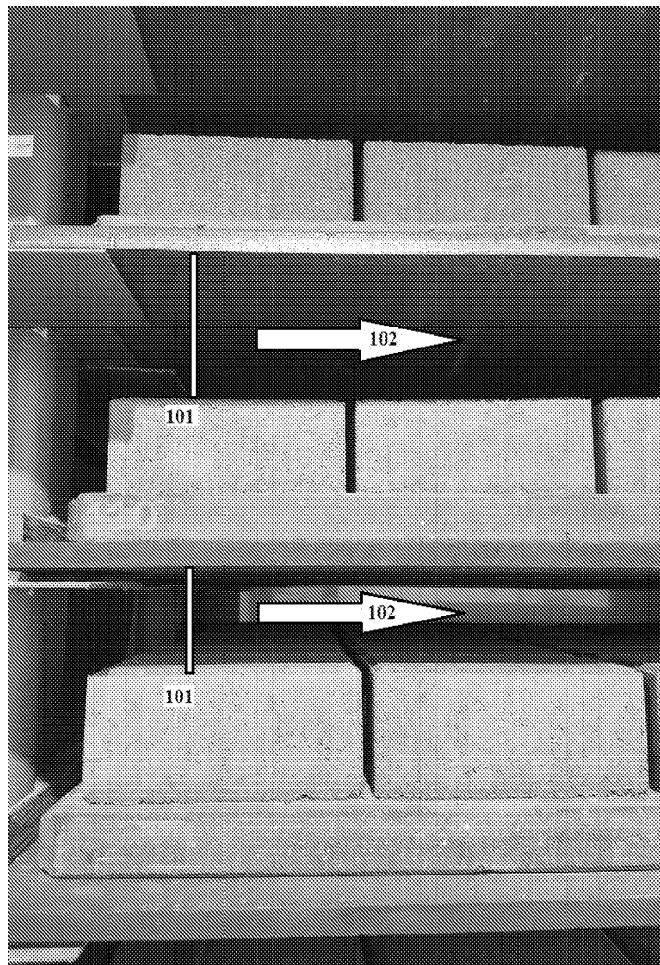
Ca Ka1



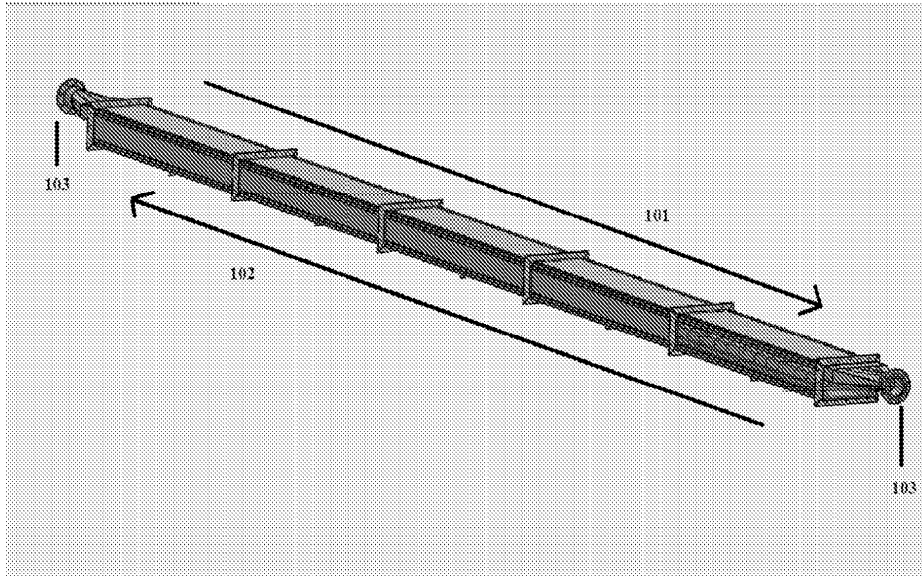
Фиг. 13



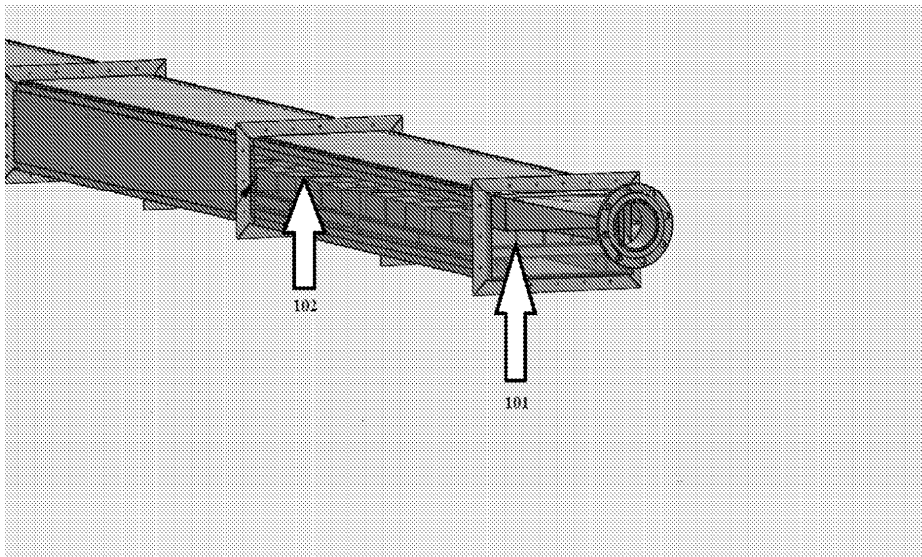
Фиг. 14



Фиг. 15



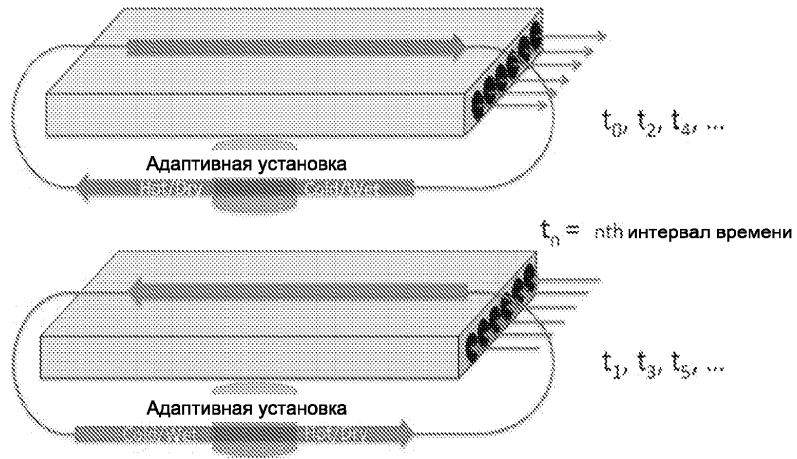
Фиг. 16



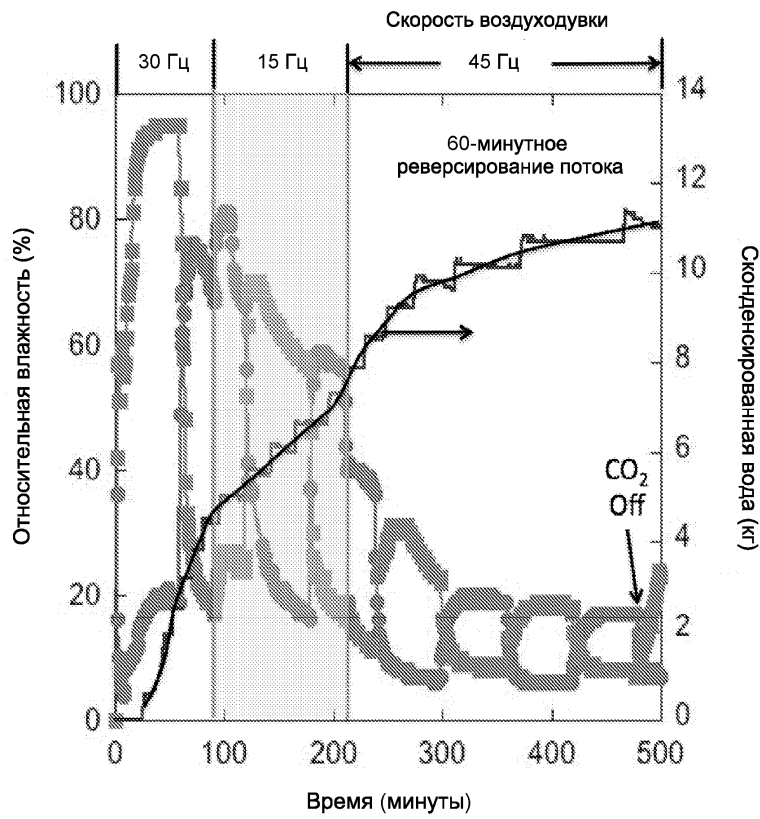
Фиг. 17



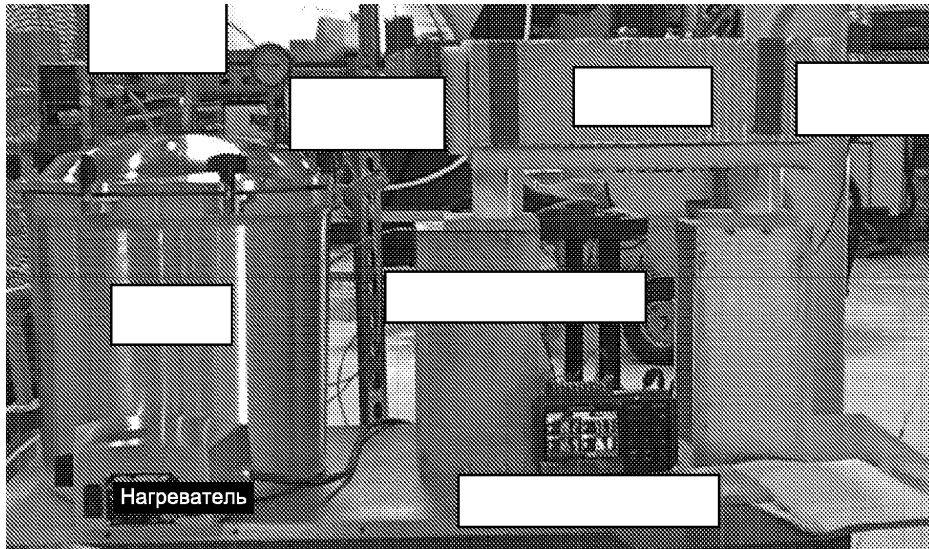
Фиг. 18



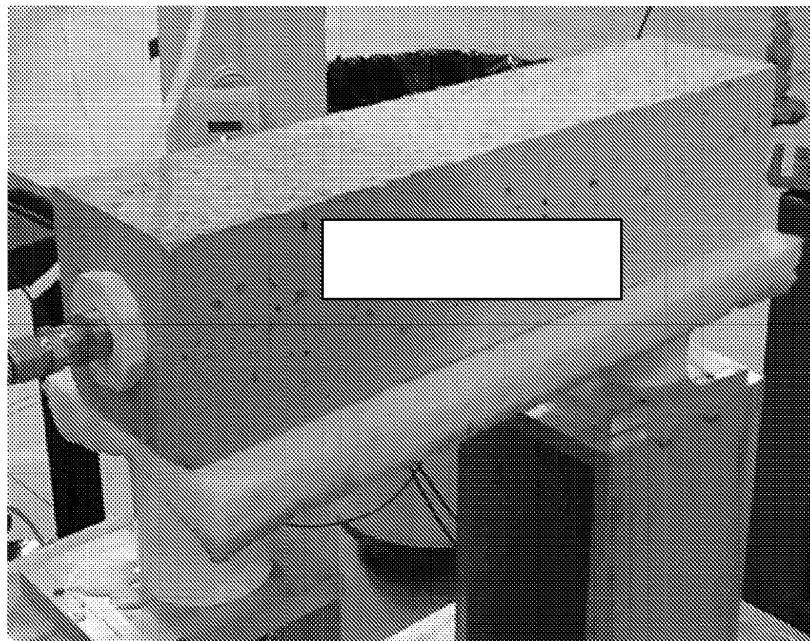
Фиг. 19



Фиг. 20



Фиг. 21



Фиг. 22