

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **045027**

(13) **B1**

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

- |                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (45) Дата публикации и выдачи патента<br><b>2023.10.26</b> | (51) Int. Cl. <i>C04B 7/02</i> (2006.01)<br><i>C04B 22/06</i> (2006.01)<br><i>C04B 22/08</i> (2006.01)<br><i>C04B 22/12</i> (2006.01)<br><i>C04B 22/14</i> (2006.01)<br><i>C04B 28/02</i> (2006.01)<br><i>C04B 28/18</i> (2006.01)<br><i>C04B 40/02</i> (2006.01)<br><i>C04B 111/20</i> (2006.01) |
| (21) Номер заявки<br><b>201991989</b>                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| (22) Дата подачи заявки<br><b>2018.03.22</b>               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

(54) **КАРБОНИЗИРУЕМАЯ КОМПОЗИЦИЯ НА ОСНОВЕ СИЛИКАТА КАЛЬЦИЯ, СОДЕРЖАЩАЯ МИНЕРАЛЬНЫЕ ДОБАВКИ, И СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БЕТОННОГО ИЗДЕЛИЯ**

- |                                                                                              |                                           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| (31) <b>62/475,384</b>                                                                       | (56) WO-A1-2016022485<br>WO-A1-2014159832 |
| (32) <b>2017.03.23</b>                                                                       |                                           |
| (33) <b>US</b>                                                                               |                                           |
| (43) <b>2020.05.18</b>                                                                       |                                           |
| (86) <b>PCT/US2018/023807</b>                                                                |                                           |
| (87) <b>WO 2018/175748 2018.09.27</b>                                                        |                                           |
| (71)(73) Заявитель и патентовладелец:<br><b>СОЛИДИЯ ТЕКНОЛОДЖИЗ, ИНК.<br/>(US)</b>           |                                           |
| (72) Изобретатель:<br><b>Таш Ахмет Джунейт, Равикумар<br/>Дипак, Брайант Джейсон И. (US)</b> |                                           |
| (74) Представитель:<br><b>Микуцкая Т.Ю., Файбисович А.С.,<br/>Рогова Е.В. (RU)</b>           |                                           |

(57) В изобретении предложена новая карбонируемая композиция добавок и ее применение при изготовлении бетона для улучшения свойств бетонных материалов, таких как долговечность и эстетичность. Карбонируемая композиция содержит силикат кальция, включая фазу аморфного силиката кальция в количестве 10% по массе или более от суммарных фаз, одну или более фаз типа мелилит или типа феррит, один или более минералов, выбранных из субмикронного порошка оксида магния, нитрата магния, сульфата магния, хлорида магния, ацетата магния и их комбинаций, элементарный Са и элементарный Si в молярном отношении от 0,5 до 1,5 и оксиды металлов Al, Fe и Mg в количестве 30% или менее от общей массы оксидов. Также предложен способ изготовления бетонного изделия, включающий приготовление карбонируемой композиции путем смешивания силиката кальция с одной или более фаз типа мелилит или типа феррит для образования бетонной смеси, с последующим добавлением к этой бетонной смеси добавки, включающей один или более минералов, и отверждение полученной таким образом карбонируемой композиции с получением бетонного изделия. Способы и композиции согласно настоящему изобретению можно применять в различных цементных и бетонных компонентах в инфраструктуре, строительстве, дорожном покрытии и ландшафтном дизайне.

**B1**

**045027**

**045027**

**B1**

### **Притязание на приоритет и родственные патентные заявки**

Настоящая заявка испрашивает преимущество приоритета по предварительной заявке США № 62/475384, поданной 23-го марта 2017 г., полное содержание которой включено в настоящий документ посредством ссылки.

#### **Область техники**

Настоящее изобретение в целом относится к цементам и бетонам на основе силиката кальция. Более конкретно, настоящее изобретение относится к новым композициям добавок и их применению в широком диапазоне изготовления бетона (например, сухого или мокрого способа) для улучшения свойств бетонных материалов, таких как долговечность и эстетические качества. Способы и композиции согласно настоящему изобретению могут быть применены в различных цементных и бетонных компонентах в инфраструктуре, строительстве, дорожном покрытии и ландшафтном дизайне.

#### **Уровень техники**

Бетон является наиболее потребляемым в мире созданным человеком материалом. Типичный бетон изготавливают путем смешивания портландцемента, воды и наполнителей, таких как песок и щебень. Портландцемент представляет собой синтетический материал, полученный путем высокотемпературной обработки смеси измельченного известняка и глины или материалов аналогичного состава во вращающейся печи при температуре спекания примерно 1450°C. Производство портландцемента это не только энергоемкий процесс, но и процесс, при котором выделяется значительное количество парниковых газов (CO<sub>2</sub>). На цементную промышленность приходится примерно 5% глобальных антропогенных выбросов CO<sub>2</sub>. Более 60% такого CO<sub>2</sub> образуется в результате химического разложения или прокаливания известняка.

Недавно появилась принципиально новая форма цемента, основанная на карбонизируемых материалах из силиката кальция, как многообещающая замена традиционным цементам. Изготовление карбонизируемых цементов на основе силиката кальция значительно снижает выбросы CO<sub>2</sub> и потребление энергии. Кроме того, указанный новый цемент улавливает CO<sub>2</sub> при отверждении в бетонные изделия, поскольку CO<sub>2</sub> необходим для реакции с карбонизируемыми материалами из силиката кальция в процессе отверждения для получения бетонных изделий.

Сборный бетон широко используется во многих разнообразных областях и включает заливку бетона в многоразовые формы, который часто отверждают в контролируемых условиях. Во многих областях применения эстетические качества изделий не менее важны, чем их физические или механические свойства. В результате, значительная часть ценности многих сборных изделий, таких как стеновые панели, блоки, брусчатка и каменная кладка, основывается на соблюдении строгих и часто очень требовательных эстетических критериев.

Следовательно, существует потребность в области изготовления бетона, в частности, сборного бетона, изготавливаемого с использованием карбонизируемых цементов на основе силиката кальция, в отношении недорогих материалов и надежных и эффективных способов, которые будут обеспечивать превосходные механические свойства и долговечность, сопровождаемые высокими эстетическими качествами, бетонных изделий.

#### **Сущность изобретения**

В настоящем изобретении предложены новые способы и композиции для улучшения, как эстетических качеств, так и физических свойств (например, механических свойств и долговечности) карбонизируемых цементных изделий на основе силиката кальция и бетонных изделий.

Цементная композиция на основе карбонизируемого силиката кальция по настоящему изобретению включает специально отобранные минеральные добавки, обычно в крупной, мелкой и ультрамелкой форме частиц или порошка, используемые для улучшения долговечности и эстетических свойств бетонных изделий, особенно в различных сборных приложениях. Например, порошок оксида магния (MgO) используется для изменения водопроницаемости сборных бетонных изделий, изготовленных из карбонизируемых цементов на основе силиката кальция, посредством утончения или модификации структур пор, улучшенной градации частиц и индуцированной морфологии кристаллов. Ультрамелкий оксид магния может также использоваться в ускоренном процессе отверждения карбонизацией для стабилизации некоторых полиморфных форм карбоната кальция, таких как арагонит и даже доломит, и улучшения долговечности связующих на основе силиката кальция за счет стабилизации матрицы и повышения водостойкости или водопроницаемости.

В одном аспекте настоящее изобретение в целом относится к карбонизируемой композиции. Карбонизируемая композиция включает: силикат кальция; одну или более дискретных фаз силиката кальция, выбранных из CS (волластонит или псевдоволластонит), C3S2 (ранкинит), C2S (белит, ларнит, бредигит) и аморфной фазы силиката кальция в количестве примерно 10% или более по массе от суммарных фаз; и один или более минералов, где минералы включают магний, оксид магния, нитрат магния, сульфат магния, хлорид магния, ацетат магния, измельченный доломит, измельченный известняк, суспензию гидроксида магния и их комбинации, так что минералы в них составляют от примерно 0,02 до примерно 20% по массе от карбонизируемой композиции. Элементарный Ca и элементарный Si присутствуют в композиции, как правило, в молярном отношении от примерно 0,5 до примерно 1,5. Оксиды металлов Al, Fe и

Mg обычно присутствуют в композиции в количестве примерно 30% или менее по массе. Карбонизируемая композиция пригодна для карбонизации с помощью  $\text{CO}_2$  в качестве реакционноспособного вещества при температуре от примерно 30 до примерно  $90^\circ\text{C}$  с получением  $\text{CaCO}_3$  и с увеличением массы на примерно 10% или более.

В другом аспекте настоящее изобретение в целом относится к способу изготовления бетонного изделия. Способ включает: перед отверждением цемента для получения бетонного изделия добавление к бетонной смеси добавки, включающей один или более минералов, где минералы включают магний, оксид магния, нитрат магния, сульфат магния, хлорид магния, ацетат магния, измельченный доломит, измельченный известняк, суспензию гидроксида магния и их комбинации, и отверждение цемента с получением бетонного изделия. Цемент представляет собой карбонизируемый цемент на основе силиката кальция. Упомянутые выше минералы присутствуют в бетонной смеси в количестве от примерно 0,02% до примерно 20% по массе от карбонизируемого цемента на основе силиката кальция.

В еще одном аспекте настоящее изобретение в целом относится к бетонному изделию, изготовленному способом, раскрытым в настоящем изобретении.

В еще одном аспекте настоящее изобретение в целом относится к композитному материалу, изготовленному карбонизацией силиката кальция с  $\text{CO}_2$ , включающему переплетенные игольчатые полиморфы карбоната кальция.

В еще одном аспекте настоящее изобретение в целом относится к композитному материалу. Композитный материал включает множество связующих элементов, где каждый связующий элемент включает сердцевину, включающую в основном силикат кальция, внутренний слой, богатый диоксидом кремния, и внешний слой, богатый карбонатом кальция. Композитный материал включает в себя множество частиц наполнителя. Множество связующих элементов и множество частиц наполнителя вместе образуют один или более переплетенных игольчатых полиморфов.

#### Краткое описание графических материалов

Цели и признаки настоящего изобретения могут быть лучше поняты со ссылкой на графические материалы, описанные ниже, и формулу изобретения. Графические материалы не обязательно выполнены в масштабе, вместо этого, как правило, делается акцент на иллюстрацию принципов изобретения. На графических материалах одинаковые цифры используются для обозначения одинаковых деталей на различных видах.

Фиг. 1 представляет собой фазовую диаграмму давление-температура, показывающую фазы, относящиеся к обратимой реакции  $\text{CaCO}_3 + \text{SiO}_2 \leftrightarrow \text{CaSiO}_3$  (силикат кальция) +  $\text{CO}_2$ .

Фиг. 2 представляет собой фазовую диаграмму давление-температура, показывающую фазы, относящиеся к 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 фазовую диаграмму системы  $\text{CaO-SiO}_2\text{-CO}_2$  при давлении 1 килобар.

Фиг. 4 представляет собой фазовую диаграмму давление-температура, показывающую фазы, относящиеся к обратимой реакции  $\text{MgO} + \text{CO}_2 \leftrightarrow \text{MgCO}_3$ .

Фиг. 5 представляет собой фазовую диаграмму давление-температура, показывающую кривые равновесия для обратимой реакции  $\text{MgO} + \text{CO}_2 \leftrightarrow \text{MgCO}_3$  как функцию от доли  $\text{CO}_2$  в инертном газе.

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

Фиг. 7 представляет собой диаграмму в виде тетраэдра, показывающую фазовые соотношения между соединениями  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{SiO}_2$  и  $\text{CO}_2$  и показывающую область с дефицитом  $\text{CO}_2$  ниже плоскостей  $\text{Cc-Di-Wo}$  и  $\text{Cc-Wo-Mo}$  (заштрихована), где  $\text{Cc}$  обозначает кальцит,  $\text{Wo}$  обозначает волластонит,  $\text{Ak}$  обозначает акерманит,  $\text{Di}$  обозначает диопсид, а  $\text{Mo}$  обозначает монтчеллит ( $\text{CaMgSiO}_4$ ).

Фиг. 8 представляет собой фазовую диаграмму давление-температура, показывающую фазовые соотношения между соединениями  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{SiO}_2$  и  $\text{CO}_2$ , с инвариантными кривыми, исходящими из четвертичной инвариантной точки с участием фаз кальцит ( $\text{Cc}$ ), диопсид ( $\text{Di}$ ), форстерит ( $\text{Fo}$ ), монтчеллит ( $\text{Mo}$ ), акерманит ( $\text{Ak}$ ) и  $\text{CO}_2$ .

Вставка представляет собой фазовую диаграмму для систем из трех соединений  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgO}$  и  $\text{SiO}_2$ .

Фиг. 9 представляет собой принципиальную схему камеры для  $\text{CO}_2$  отверждения композитного материала, которая обеспечивает увлажнение в соответствии с принципами настоящего изобретения.

Фиг. 10 представляет собой принципиальную схему камеры для отверждения с несколькими способами контроля влажности, а также способностью контролировать и пополнять  $\text{CO}_2$  с помощью регулирования постоянного потока или давления, и которая может регулировать температуру в соответствии с принципами настоящего изобретения.

Фиг. 11 показывает результаты испытаний растворного куба для цемента с добавкой тетрагидрата Mg-ацетата.

Фиг. 12 показывает результаты испытаний растворного куба для цемента с раствором MagCet (раствор MgO-уксусная кислота).

Фиг. 13 показывает выцветание (светлая область в центре), наблюдаемое на поверхности брусчатки

после воздействия условий, имитирующих жизненный цикл.

Фиг. 14 показывает иллюстративное СЭМ изображение поверхности брусчатки перед воздействием условий, имитирующих жизненный цикл.

Фиг. 15 показывает иллюстративное СЭМ изображение поверхности отложений, наблюдаемых в светлых областях брусчатки, изготовленной без добавления оксида магния.

Фиг. 16 показывает иллюстративное СЭМ изображение поверхности кристаллов арагонита, наблюдаемых в брусчатке, изготовленной с применением оксида магния.

Фиг. 17(A) показывает брусчатку без добавления оксида магния, демонстрирующую неоднородность цвета в результате развития светлых областей на поверхностях брусчатки; (B) брусчатка, изготовленная с добавлением оксида магния, не показывает выцветания на поверхности.

Фиг. 18(A) показывает контрольную брусчатку (A) и брусчатку с добавлением оксида магния (B), показанные сразу после воздействия 1 часа имитированной дождевой воды; контрольную брусчатку (C) и брусчатку с добавлением оксида магния (D), показанные через 1 ч сушки при условиях окружающей среды.

### Подробное описание изобретения

Настоящее изобретение обеспечивает новые подходы для улучшения прочности, долговечности и эстетических свойств карбонизируемых цементов на основе силиката кальция и бетонных изделий.

Цементная композиция на основе карбонизируемого силиката кальция по настоящему изобретению включает крупные, мелкие и ультрамелкие специально отобранные минеральные добавки для улучшения прочности, долговечности и эстетических свойств бетонных изделий в различных областях применения сборного бетона.

Карбонизируемые цементы и бетоны на основе силиката кальция представляют собой принципиально новую замену традиционным цементным и бетонным изделиям. Указанные материалы могут быть изготовлены и использованы со значительно сниженными потребностями в энергии и выбросах  $\text{CO}_2$ . Карбонизируемые композиции силиката кальция изготавливают из широко доступного недорогого сырья способом, подходящим для крупномасштабного производства с универсальными оборудованием и производственными требованиями. Этот уникальный подход сопровождается исключительной способностью постоянного и безопасного улавливания  $\text{CO}_2$ . Настоящее изобретение может быть полезным в самых разнообразных областях применения благодаря улучшенному энергопотреблению и более желательному углеродному следу, от строительства, дорожного покрытия и ландшафтного дизайна до инфраструктуры и транспорта.

Конкретное применение изобретения включает цементы на основе силиката кальция, которые формируют прочность в результате процессов реакции карбонизации, в которых диоксид углерода улавливается в присутствии воды. Хотя вода и необходима для конкретных мероприятий, таких как диспергирование и формование, она не является основным компонентом конечных продуктов реакции. В некоторых случаях это может привести к пористой матрице, которая может позволять проникновение воды и впоследствии привести к эстетическим дефектам и поверхностным отложениям.

Как раскрыто в настоящем изобретении, неожиданно было обнаружено, что добавление конкретных минеральных композиций (например, оксида магния) к бетонной смеси может ослаблять или уменьшать эстетические дефекты и поверхностные осадения.

Не желая ограничиваться какой-либо теорией, полагают что образование иголок или нитевидных кристаллов гидратированных или безводных карбонатов магния, карбонатов кальция-магния и/или гидроксикарбонатов магния, в том случае и в тот момент, когда они образуются внутри капилляров с открытыми концами или отверстий богатых связывающими элементами областей брусчатки или строительных материалов, может изменить характер и степень транспорта воды в указанные структуры. Вода может легко проникать и проходить через капилляры, отверстия и каналы взаимосвязанных пор размером более 1,4 мкм при атмосферных давлении и температуре, но образование таких кристаллов субмикронного размера в таких водных путях резко изменит характер потока воды и сделает ситуацию более похожей на случай брусчатки на основе обыкновенного портландцемента (ОПС).

Кроме того, также было неожиданно обнаружено, что добавление конкретных минеральных композиций (например, оксида магния) к бетонной смеси может также значительно улучшить механические свойства и долговечность изделия.

Не желая ограничиваться какой-либо теорией, полагают что формирование прочности при карбонизации порошков силиката кальция, которые не содержат отверждающегося при гидратировании минерала хатрурита (C3S) и которые имеют молярное отношение Ca/Si намного ниже, чем у обыкновенного портландцемента, происходит в два этапа: (i) формирование на измельченных частицах силиката кальция рентгеноаморфного слоя богатого силикатами (или обедненного Ca) геля, через который  $\text{Ca}^{2+}$  должен диффундировать к внешней поверхности, контактирующей с  $\text{CO}_2$  (г), и (ii) получение отдельных кристаллов  $\text{CaCO}_3$  на указанном рентгеноаморфном слое геля и дальнейшее развитие таких отдельных кристаллов  $\text{CaCO}_3$  в трехмерную, взаимосвязанную, переплетенную сеть  $\text{CaCO}_3$ .

Было обнаружено, что, как описано в настоящем изобретении, намеренное добавление катиона щелочноземельного металла с ионным радиусом, меньшим ионного радиуса  $\text{Ca}^{2+}$  (114 мкм), такого как  $\text{Mg}^{2+}$

(86 мкм), является эффективным для уменьшения количества непрореагировавшего силиката кальция, оставшегося в конце карбонизации, что приводит к заметному увеличению прочности.  $Mg^{2+}$  способен диффундировать на большие расстояния через самый первый продукт  $CO_2$  отверждения (то есть, выветривания) (который представляет собой слой обедненного Ca, рентгеноаморфного геля на основе силиката), образующийся на частицах цемента на основе силиката кальция.

Также, не желая ограничиваться какой-либо теорией, полагают что оксид магния обеспечивает *in situ* внутреннее обезвоживание конструкционного материала и блоков, подвергающихся  $CO_2$  карбонизации, благодаря высокому сродству оксида магния к динамическим пленкам воды или молекулам воды, которые могут проникать через поры и поровые каналы тела.

Гидроксид магния (брусит,  $Mg(OH)_2$ ) первоначально получают во время приготовления бетонной смеси, при добавлении магния, оксида магния или соли магния к жидкой части добавки бетонной смеси и способен *in situ* сам карбонизироваться при  $CO_2$  отверждении, превращаясь в один или более из магнезита ( $MgCO_3$ ), доломита ( $CaMg(CO_3)_2$ ), Mg-кальцита (магнезиального), гидромагнезита ( $Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 4H_2O$ ), несквегонита ( $Mg(HCO_3)(OH) \cdot 2H_2O$  или  $MgCO_3 \cdot 3H_2O$ ), дипингита ( $Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 5H_2O$ ), артинита ( $Mg_2CO_3(OH)_2 \cdot 3H_2O$ ), баррингтонита ( $MgCO_3 \cdot 2H_2O$ ) или лансфордита ( $MgCO_3 \cdot 5H_2O$ ). Это те фазы, которые присутствуют в тройной системе  $MgO-CO_2-H_2O$ . Формирование таких фаз требует динамического удаления воды *in situ* и в реальное время из их непосредственного окружения. Такие основные (т.е. с собственными значениями pH выше нейтральных) фазы обычно кристаллизуются в игловидных или игольчатых формах, и сцепление/переплетение этих игл друг с другом дополнительно способствует повышению прочности изделий (например, композитных строительных материалов, таких как стеновые панели, блоки, брусчатка и каменная кладка). Образование таких иголок или нитевидных кристаллов карбоната магния, карбонатов кальция и магния и/или гидрокарбонатов магния может изменять природу и степень транспорта воды в них, поскольку такие фазы мгновенно увеличивают шероховатость поверхности водных путей, присущих бетонным изделиям, отвержденных с помощью  $CO_2$ .

Было также показано, что присутствие небольшого количества ацетат-ионов и/или уксусной кислоты в образующихся водах партий бетона и цементного раствора увеличивает среднюю прочность в образцах на основе силиката кальция при карбонизации (фиг. 11).

В отличие от системы  $CaO-CO_2-H_2O$  на тройной диаграмме  $MgO-CO_2-H_2O$  присутствует ряд гидратированных и карбонизированных фаз (например, магнезит, гидромагнезит, несквегонит, дипингит, баррингтонит, протогидромагнезит, артинит и лансфордит).

Было обнаружено, что добавление водорастворимых солей магния или порошков магния или оксида магния с различными группами распределения размера частиц и реакционной способности к влажным партиям образцов пасты, цементного раствора и бетона способствует формированию прочности при карбонизации во влажной атмосфере путем образования кристаллов одной или более из вышеупомянутых фаз системы  $MgO-CO_2-H_2O$ . Добавление небольшого количества водорастворимой соли ацетата магния ( $Mg(CH_3COO)_2 \cdot 4H_2O$ ) или раствора с контролируемым значением pH, приготовленного путем растворения заданного количества порошка  $MgO$  в заданном объеме разбавленной уксусной кислоты, в образующуюся воду образцов пасты, цементного раствора или бетона приводит к заметному увеличению прочности при карбонизации. (фиг. 12)

Было показано, что магний даже при низких концентрациях (<1%) является сильным промотором арагонита, когда он присутствует в водных системах, склонных к образованию центров кристаллизации  $CaCO_3$ , независимо от температуры обработки.

В конкретных вариантах осуществления настоящего изобретения, ультрамелький (например, средний размер частиц примерно 100 нм) порошок оксида магния в количестве от примерно 0,02 до примерно 20% (например, от примерно 0,1 до примерно 20%, от примерно 0,5 до примерно 20%, от примерно 1 до примерно 20%, от примерно 5 до примерно 20%, от примерно 0,02 до примерно 10%, от примерно 0,02 до примерно 5%, от примерно 0,02 до примерно 1%, от примерно 0,02 до примерно 0,1%) добавляют к жидким добавкам, которые обычно представляют собой кислотные растворы, используемые из-за суперпластификаторов/диспергаторов со значениями pH менее 5, чтобы помочь повысить pH указанных растворов, например, до pH примерно 9 (например, от примерно 8,5 до примерно 9,5, от примерно 8,7 до примерно 9,3, от примерно 8,8 до примерно 9,2). Это способствует получению *in situ* гидроксида магния, или брусита, для улучшения доступности магния для различных полезных тройных фаз.

В конкретных вариантах осуществления настоящего изобретения оксид магния добавляют для регулирования вязкости паст или цементных растворов посредством образования молекул гидроксидированного магния в водных растворах.

В конкретных вариантах осуществления настоящего изобретения оксид магния добавляют, так что ионы магния в растворе могут улучшить реакционную способность кальцийсодержащих силикатных фаз через кристаллографическое искажение или модификацию орто- или пиросиликатных сеток, содержащих кальций.

В конкретных вариантах осуществления настоящего изобретения оксид магния добавляют к смесям карбонизируемых цементных смесей на основе силиката кальция для уменьшения или устранения воз-

никновения метастабильных полиморфов карбоната кальция и для уменьшения или предотвращения образования эстетических дефектов поверхностей, возникающих в результате осаждения метастабильных фаз, таких как ватерит.

В конкретных вариантах осуществления настоящего изобретения оксид магния в небольших процентах от примерно 0,02 до 20% (например, от примерно 0,1 до примерно 20%, от примерно 0,5 до примерно 20%, от примерно 1 до примерно 20%, от примерно 5 до примерно 20%, от примерно 0,02 до примерно 10%, от примерно 0,02 до примерно 5%, от примерно 0,02 до примерно 1%, от примерно 0,02 до примерно 0,1%) добавляют к карбонизируемым цементным смесям на основе силиката кальция для содействия получению фаз Mg-кальцита, таких как магнезиальный.

В конкретных вариантах осуществления настоящего изобретения оксид магния добавляют в количестве от примерно 0,02 до 20% (например, от примерно 0,1 до примерно 20%, от примерно 0,5 до примерно 20%, от примерно 1 до примерно 20%, от примерно 5 до примерно 20%, от примерно 0,02 до примерно 10%, от примерно 0,02 до примерно 5%, от примерно 0,02 до примерно 1%, от примерно 0,02 до примерно 0,1%) к карбонизируемым цементным смесям на основе силиката кальция для содействия получению игольчатых фаз карбоната кальция, таких как арагонит.

В конкретных вариантах осуществления настоящего изобретения оксид магния добавляют в количестве от примерно 0,02 до 20% (например, от примерно 0,1 до примерно 20%, от примерно 0,5 до примерно 20%, от примерно 1 до примерно 20%, от примерно 5 до примерно 20%, от примерно 0,02 до примерно 10%, от примерно 0,02 до примерно 5%, от примерно 0,02 до примерно 1%, от примерно 0,02 до примерно 0,1%) к карбонизируемым цементным смесям на основе силиката кальция для содействия получению доломита.

В конкретных вариантах осуществления настоящего изобретения оксид магния добавляют в количестве от примерно 0,02 до 20% (например, от примерно 0,1 до примерно 20%, от примерно 0,5 до примерно 20%, от примерно 1 до примерно 20%, от примерно 5 до примерно 20%, от примерно 0,02 до примерно 10%, от примерно 0,02 до примерно 5%, от примерно 0,02 до примерно 1%, от примерно 0,02 до примерно 0,1%) к карбонизируемым цементным смесям на основе силиката кальция для стабилизации Mg-кальцита и/или арагонита и для минимизации получения ватерита.

В конкретных вариантах осуществления настоящего изобретения оксид магния добавляют в количестве от примерно 0,02 до 10% (например, от примерно 0,1 до примерно 10%, от примерно 0,5 до примерно 10%, от примерно 1 до примерно 10%, от примерно 5 до примерно 10%, от примерно 0,02 до примерно 5%, от примерно 0,02 до примерно 2%, от примерно 0,02 до примерно 1%, от примерно 0,02 до примерно 0,1%) к карбонизируемым цементным смесям на основе силиката кальция для обогащения микроструктурного разнообразия связующей матрицы и снижения вероятности появления структурной и эстетической деградации в результате проникновения воды.

В конкретных вариантах осуществления настоящего изобретения оксид магния добавляют в количестве от примерно 0,02 до 20% (например, от примерно 0,1 до примерно 20%, от примерно 0,5 до примерно 20%, от примерно 1 до примерно 20%, от примерно 5 до примерно 20%, от примерно 0,02 до примерно 10%, от примерно 0,02 до примерно 5%, от примерно 0,02 до примерно 1%, от примерно 0,02 до примерно 0,1%) к карбонизируемым цементным смесям на основе силиката кальция для содействия получению тройных фаз, устойчивых к потенциальной структурной и эстетической деградации в применении бетона, связанном с воздействием кислых химических веществ (например, из-за кислотных дождей).

В конкретных вариантах осуществления настоящего изобретения оксид магния добавляют в количестве от примерно 0,02 до 20% (например, от примерно 0,1 до примерно 20%, от примерно 0,5 до примерно 20%, от примерно 1 до примерно 20%, от примерно 5 до примерно 20%, от примерно 0,02 до примерно 10%, от примерно 0,02 до примерно 5%, от примерно 0,02 до примерно 1%, от примерно 0,02 до примерно 0,1%) к карбонизируемым цементным смесям на основе силиката кальция для модификации структур пор путем получения мелких игловидных или игольчатых полиморфных форм карбоната кальция. Указанная модификация структуры пор может препятствовать транспорту водных фаз, содержащих соли, органические остатки, минералы и другие загрязнители, которые могут ухудшать эстетические качества и долговечность карбонизируемого бетона на основе силиката кальция.

В конкретных вариантах осуществления настоящего изобретения оксид магния добавляют в количестве от примерно 0,02 до 20% (например, от примерно 0,1 до примерно 20%, от примерно 0,5 до примерно 20%, от примерно 1 до примерно 20%, от примерно 5 до примерно 20%, от примерно 0,02 до примерно 10%, от примерно 0,02 до примерно 5%, от примерно 0,02 до примерно 1%, от примерно 0,02 до примерно 0,1%) к карбонизируемым цементным смесям на основе силиката кальция для уменьшения усадки при высыхании, возникающей при режимах быстрой сушки или при смесях с высоким соотношением вода/твердое вещество.

В конкретных вариантах осуществления настоящего изобретения оксид магния добавляют в количестве от примерно 0,02 до 20% (например, от примерно 0,1 до примерно 20%, от примерно 0,5 до примерно 20%, от примерно 1 до примерно 20%, от примерно 5 до примерно 20%, от примерно 0,02 до примерно 10%, от примерно 0,02 до примерно 5%, от примерно 0,02 до примерно 1%, от примерно 0,02 до примерно 0,1%) к карбонизируемым цементным смесям на основе силиката кальция для повышения сте-

пени карбонизации и улавливания диоксида углерода.

В конкретных вариантах осуществления настоящего изобретения измельченный известняк или доломитовый известняк добавляют в количестве от примерно 0,02 до 10% (например, от примерно 0,1 до примерно 10%, от примерно 0,5 до примерно 10%, от примерно 1 до примерно 10%, от примерно 5 до примерно 10%, от примерно 0,02 до примерно 5%, от примерно 0,02 до примерно 2%, от примерно 0,02 до примерно 1%, от примерно 0,02 до примерно 0,1%) к карбонизируемым цементным смесям на основе силиката кальция для утончения структуры пор карбонизируемых связующих на основе силикатов кальция и подавления транспорта водных фаз, содержащих соли, органические остатки, минералы и другие загрязняющие вещества, которые могут ухудшать эстетические качества и долговечность карбонизируемого бетона на основе силиката кальция.

В конкретных вариантах осуществления настоящего изобретения, измельченный доломит добавляют в количестве от примерно 0,02 до 20% (например, от примерно 0,1 до примерно 20%, от примерно 0,5 до примерно 20%, от примерно 1 до примерно 20%, от примерно 5 до примерно 20%, от примерно 0,02 до примерно 10%, от примерно 0,02 до примерно 5%, от примерно 0,02 до примерно 1%, от примерно 0,02 до примерно 0,1%) к карбонизируемым цементным смесям на основе силиката кальция для утончения структуры пор карбонизируемых связующих на основе силикатов кальция и подавления транспорта водных фаз, содержащих соли, органические остатки, минералы и другие загрязняющие вещества, которые могут ухудшать эстетические качества и долговечность карбонизируемого бетона на основе силиката кальция.

В конкретных вариантах осуществления настоящего изобретения суспензии гидроксида магния, или магнезимального молока добавляют в количестве от примерно 0,02 до 20% (например, от примерно 0,1 до примерно 20%, от примерно 0,5 до примерно 20%, от примерно 1 до примерно 20%, от примерно 5 до примерно 20%, от примерно 0,02 до примерно 10%, от примерно 0,02 до примерно 5%, от примерно 0,02 до примерно 1%, от примерно 0,02 до примерно 0,1%) к карбонизируемым цементным смесям на основе силиката кальция для изменения структуры пор карбонизируемых связующих на основе силикатов кальция и подавления транспорта водных фаз, содержащих соли, органические остатки, минералы и другие загрязняющие вещества, которые могут ухудшать эстетические качества и долговечность карбонизируемого бетона на основе силиката кальция.

В конкретных вариантах осуществления настоящего изобретения комбинации крупного и мелкоизмельченного известняка с различным распределением частиц по размерам в количестве от примерно 0,02 до 20% (например, от примерно 0,1 до примерно 20%, от примерно 0,5 до примерно 20%, от примерно 1 до примерно 20%, от примерно 5 до примерно 20%, от примерно 0,02 до примерно 10%, от примерно 0,02 до примерно 5%, от примерно 0,02 до примерно 1%, от примерно 0,02 до примерно 0,1%) могут быть добавлены к карбонизируемым цементным смесям на основе силиката кальция для улучшения упаковки частиц карбонизируемых цементов на основе силиката кальция и для снижения проницаемости пасты, тем самым препятствуя проникновению воды. Указанный подход можно использовать для ограничения транспорта солей, органических остатков, минералов и других загрязняющих веществ, которые могут ухудшить эстетические качества и долговечность карбонизируемого бетона на основе силиката кальция.

Таким образом, в одном аспекте настоящее изобретение в целом относится к карбонизируемой композиции. Карбонизируемая композиция содержит: силикат кальция; одну или более дискретных фаз силиката кальция, выбранных из CS (волластонит или псевдоволластонит), C3S2 (ранкинит), C2S (белит, ларнит, бредигит) и аморфной фазы силиката кальция в количестве примерно 10% или более по массе от суммарных фаз; и один или более минералов, включающих оксид магния, так что оксид магния в них составляет от примерно 0,02 до примерно 20% по массе от карбонизируемой композиции. Элементарный Ca и элементарный Si присутствуют в композиции в молярном отношении от примерно 0,5 до примерно 1,5; и оксиды металлов Al, Fe и Mg присутствуют в композиции в количестве примерно 30% или менее по массе. Карбонизируемая композиция пригодна для карбонизации с помощью CO<sub>2</sub> при температуре от примерно 30°C до примерно 90°C с получением CaCO<sub>3</sub> и с увеличением массы на примерно 10% или более. В некоторых вариантах осуществления, карбонизируемая композиция включает одну или более остаточных фаз SiO<sub>2</sub> и CaO.

В некоторых вариантах осуществления карбонизируемая композиция включает одну или более фаз типа мелилит с общей формулой (Ca,Na,K)<sub>2</sub>[(Mg, Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Al, Si)<sub>3</sub>O<sub>7</sub>] или фаз типа феррит с общей формулой Ca<sub>2</sub>(Al, Fe<sup>3+</sup>)<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

В некоторых вариантах осуществления карбонизируемая композиция включает примерно 20% (например, 15%, 10%, 5%) или менее оксидов металлов Al, Fe и Mg общей массы оксидов.

В некоторых вариантах осуществления, карбонизируемая композиция включает реакционноспособные фазы в количестве примерно 50% или более по массе.

В некоторых вариантах осуществления один или более минералов дополнительно включают один или более из магния, нитрата магния, сульфата магния, хлорида магния и ацетата магния.

В некоторых вариантах осуществления раствор нитрата магния без осадка готовят путем растворения порошков оксида магния с любым размером частиц в интервале типичного среднего размера частиц

от примерно 0,05 до примерно 100 мкм в разбавленной водой концентрированной азотной кислоте технического качества для приготовления базовых растворов ионов  $Mg^{2+}$  с диапазоном концентраций от примерно 0,001 до примерно 1 М (например, от примерно 0,01 до примерно 1 М, от примерно 0,1 до примерно 1 М, от примерно 0,001 до примерно 0,1 М, от примерно 0,001 до примерно 0,01 М) в качестве замены добавлению порошкообразной соли нитрата магния.

В некоторых вариантах осуществления раствор нитрата магния без осадка готовят путем растворения порошков оксида магния с любым размером частиц в интервале типичного среднего размера частиц от примерно 0,05 до примерно 100 мкм в разбавленной водой концентрированной соляной кислоте технического качества для приготовления базовых растворов ионов  $Mg^{2+}$  с диапазоном концентраций от примерно 0,001 до примерно 1 М (например, от примерно 0,01 до примерно 1 М, от примерно 0,1 до примерно 1 М, от примерно 0,001 до примерно 0,1 М, от примерно 0,001 до примерно 0,01 М) в качестве замены добавлению порошкообразной соли нитрата магния.

В некоторых вариантах осуществления раствор нитрата магния без осадка готовят путем растворения порошков оксида магния с любым размером частиц в интервале типичного среднего размера частиц от примерно 0,05 до примерно 100 мкм в разбавленной водой концентрированной серной кислоте технического качества для приготовления базовых растворов ионов  $Mg^{2+}$  с диапазоном концентраций от примерно 0,001 до примерно 1 М (например, от примерно 0,01 до примерно 1 М, от примерно 0,1 до примерно 1 М, от примерно 0,001 до примерно 0,1 М, от примерно 0,001 до примерно 0,01 М) в качестве замены добавлению порошкообразной соли нитрата магния.

В некоторых вариантах осуществления карбонизируемая композиция дополнительно включает диспергатор или суперпластификатор (например, полимер на поликарбоксилатной основе).

В некоторых вариантах осуществления карбонизируемая композиция дополнительно включает краситель (например, один или более из оксида железа, оксида кобальта и оксида хрома).

Раскрытая в настоящем изобретении карбонизируемая композиция может быть использована при изготовлении бетона сухим или мокрым способом.

В другом аспекте изобретение в целом относится к способу изготовления бетонного изделия. Способ включает: добавление к бетонной смеси добавки, включающей один или более минералов, включающих оксид магния, перед отверждением цемента с получением бетонного изделия; и отверждение цемента с получением бетонного изделия. Цемент представляет собой карбонизируемый цемент на основе силиката кальция. Оксид магния, присутствующий в одном или более минералах, составляет от примерно 0,02 до примерно 20% (например, от примерно 0,02 до примерно 10%, от примерно 0,05 до примерно 7%, от примерно 0,05 до примерно 6%, от примерно 0,05 до от примерно 5%, от примерно 0,05 до примерно 4%, от примерно 0,05 до примерно 3%, от примерно 0,05 до примерно 2%, от примерно 0,05 до примерно 1%, от примерно 0,05 до примерно 0,5%, от примерно 0,05 до примерно 0,25%, от примерно 0,1 до примерно 8%, от примерно 0,5 до примерно 8%, от примерно 1 до примерно 8%, от примерно 2 до примерно 8%, от примерно 3 до примерно 8%, от примерно 4 до примерно 8%, от примерно 5 до примерно 8%, от примерно 6 до примерно 8%, от примерно 0,25 до примерно 1%, от примерно 0,5 до примерно 2%) по массе от карбонизируемого цемента на основе силиката кальция.

В некоторых вариантах осуществления способ дополнительно включает регулирование pH бетонной смеси перед отверждением цемента с получением бетонного изделия.

В еще одном аспекте, настоящее изобретение в целом относится к бетонному изделию, изготовленному способом, раскрытым в настоящем изобретении.

В еще одном аспекте настоящее изобретение в целом относится к композитному материалу, полученному карбонизацией силиката кальция с  $CO_2$ , включающий переплетенные игольчатые полиморфы карбоната кальция.

В еще одном аспекте настоящее изобретение в целом относится к композитному материалу. Композитный материал включает: множество связующих элементов, причем каждый связующий элемент включает сердцевину, включающую в основном силикат кальция, внутренний слой, богатый диоксидом кремния, и внешний слой, богатый карбонатом кальция. Композитный материал включает в себя множество частиц наполнителя. Множество связующих элементов и множество частиц наполнителя вместе образуют один или более переплетенных игольчатых полиморфов.

В некоторых вариантах осуществления частицы наполнителя изготовлены из материала, богатого диоксидом кремния. В некоторых вариантах осуществления множество частиц наполнителя включает один или более из кварца, слюды и полевого шпата.

В некоторых вариантах осуществления множество связующих элементов химически преобразовывается из измельченного волластонита. В некоторых вариантах осуществления множество связующих элементов химически преобразовывается из предшественника силиката кальция, отличного от волластонита.

В некоторых вариантах осуществления композитный материал дополнительно включает краситель, например один или более из оксида железа, оксида кобальта и оксида хрома. В некоторых вариантах осуществления краситель присутствует в количестве от 0 до примерно 10% по массе от композитного материала.



В некоторых вариантах осуществления композитный материал дополнительно включает добавку для контроля выцветания, например один или более из магния, оксида магния, нитрата магния, сульфата магния, хлорида магния и ацетата магния.

В некоторых вариантах осуществления добавка для контроля выцветания присутствует в количестве от 0,02 до примерно 20% по массе от связующих элементов. В некоторых вариантах осуществления бетонное изделие включает одну или более фаз  $\text{CaCO}_3$ , выбранных из кальцита-арагонита, арагонита, кальцита-арагонита-доломита, кальцита-доломита, арагонита-доломита и доломита.

В некоторых вариантах осуществления бетонное изделие характеризуется устойчивостью к кислотным дождям.

В некоторых вариантах осуществления бетонное изделие включает одну или более фаз  $\text{CaCO}_3$ , выбранных из кальцита-арагонита-доломита, кальцита-доломита, арагонита-доломита и доломита.

В конкретных вариантах осуществления способа цемент представляет собой карбонизируемый цемент на основе силиката кальция. В конкретных вариантах осуществления способа карбонизируемый цемент на основе силиката кальция включает силикат кальция и одну или более дискретных фаз силиката кальция, выбранных из  $\text{CS}$  (воластонит или псевдоволластонит),  $\text{C3S2}$  (ранкинит),  $\text{C2S}$  (белит, ларнит, бредигит) и аморфной фазы силиката кальция в количестве примерно 30% или более по массе от суммарных фаз.

В конкретных предпочтительных вариантах осуществления молярное отношение  $\text{Ca}$  к  $\text{Si}$  в композиции составляет от примерно 0,5 до примерно 1,5. В конкретных предпочтительных вариантах осуществления молярное отношение  $\text{Ca}$  к  $\text{Si}$  в композиции составляет от примерно 0,5 до примерно 1,2. В конкретных предпочтительных вариантах осуществления молярное отношение  $\text{Ca}$  к  $\text{Si}$  в композиции составляет от примерно 0,5 до примерно 1,15. В конкретных предпочтительных вариантах осуществления молярное отношение  $\text{Ca}$  к  $\text{Si}$  в композиции составляет от примерно 0,8 до примерно 1,5. В конкретных предпочтительных вариантах осуществления молярное отношение  $\text{Ca}$  к  $\text{Si}$  в композиции составляет от примерно 0,8 до примерно 1,2. В конкретных предпочтительных вариантах осуществления молярное отношение  $\text{Ca}$  к  $\text{Si}$  в композиции составляет от примерно 0,8 до примерно 1,15. В конкретных предпочтительных вариантах осуществления молярное отношение  $\text{Ca}$  к  $\text{Si}$  в композиции составляет от примерно 0,85 до примерно 1,15. В конкретных предпочтительных вариантах осуществления молярное отношение  $\text{Ca}$  к  $\text{Si}$  в композиции составляет от примерно 0,90 до примерно 1,10. В конкретных предпочтительных вариантах осуществления молярное отношение  $\text{Ca}$  к  $\text{Si}$  в композиции составляет от примерно 0,95 до примерно 1,05. В конкретных предпочтительных вариантах осуществления молярное отношение  $\text{Ca}$  к  $\text{Si}$  в композиции составляет от примерно 0,98 до примерно 1,02. В конкретных предпочтительных вариантах осуществления молярное отношение  $\text{Ca}$  к  $\text{Si}$  в композиции составляет от примерно 0,99 до примерно 1,01.

Содержание оксидов металлов  $\text{Al}$ ,  $\text{Fe}$  и  $\text{Mg}$  в композиции силиката кальция обычно удерживают в количестве менее примерно 30%. В конкретных предпочтительных вариантах осуществления композиция содержит примерно 20% или менее оксидов металлов  $\text{Al}$ ,  $\text{Fe}$  и  $\text{Mg}$  общей массы оксидов. В конкретных предпочтительных вариантах осуществления композиция содержит примерно 15% или менее оксидов металлов  $\text{Al}$ ,  $\text{Fe}$  и  $\text{Mg}$  общей массы оксидов. В конкретных предпочтительных вариантах осуществления композиция содержит примерно 12% или менее оксидов металлов  $\text{Al}$ ,  $\text{Fe}$  и  $\text{Mg}$  общей массы оксидов. В конкретных предпочтительных вариантах осуществления композиция содержит примерно 10% или менее оксидов металлов  $\text{Al}$ ,  $\text{Fe}$  и  $\text{Mg}$  общей массы оксидов. В конкретных предпочтительных вариантах осуществления композиция содержит примерно 5% или менее оксидов металлов  $\text{Al}$ ,  $\text{Fe}$  и  $\text{Mg}$  общей массы оксидов.

Композиции силиката кальция могут содержать аморфные (некристаллические) фазы силиката кальция в дополнение к кристаллическим фазам, описанным выше. Аморфная фаза может дополнительно включать ионы  $\text{Al}$ ,  $\text{Fe}$  и  $\text{Mg}$  и другие примесные ионы, присутствующие в сырье.

Композиции силиката кальция также могут включать небольшие количества остаточного  $\text{CaO}$  (известь) и  $\text{SiO}_2$  (диоксид кремния). Композиция силиката кальция также может включать небольшие количества  $\text{C3S}$  (алит,  $\text{Ca}_3\text{SiO}_5$ ).

Фаза  $\text{C2S}$ , присутствующая в композиции силиката кальция, может существовать в виде любого полиморфа  $\alpha\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$ ,  $\beta\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$  или  $\gamma\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$  или их комбинации.

Композиции силиката кальция также могут включать некоторые количества инертных фаз, таких как минералы типа мелилит (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 феррит (феррит или браунмилерит или  $\text{C4AF}$ ) с общей формулой  $\text{Ca}_2(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})_2\text{O}_5$ . В конкретных вариантах осуществления композиция силиката кальция состоит только из аморфных фаз. В конкретных вариантах осуществления силикат кальция состоит только из кристаллических фаз. В конкретных вариантах осуществления некоторая часть композиции силиката кальция существует в аморфной фазе и некоторая часть существует в кристаллической фазе.

В конкретных вариантах осуществления карбонизируемая композиция включает реакционноспособные фазы, которые присутствуют в количестве примерно 50% или более (например, 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.

В конкретных вариантах осуществления карбонизируемая композиция включает примерно 20% или менее оксидов металлов Al, Fe и Mg общей массы оксидов. Композиция силиката кальция", в целом, относится к природным минералам или синтетическим материалам, которые состоят из одной или более групп фаз силиката кальция, включая CS (волластонит или псевдоволластонит, и иногда обозначаемый формулой  $\text{CaSiO}_3$  или  $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ), C3S2 (ранкинит, иногда обозначаемый формулой  $\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7$  или  $3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2$ ), C2S (белит,  $\beta\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$  или ларнит,  $\beta\text{-Ca}_7\text{Mg}(\text{SiO}_4)_4$  или бредигит,  $\alpha\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$  или  $\gamma\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$ , и иногда обозначаемый формулой  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$  или  $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ), аморфную фазу на основе силиката кальция, каждая из которых может включать один или более ионов и оксидов металлов (например, оксиды алюминия, магния, железа или марганца) или их смеси, или может включать некоторое количество силиката магния в природной или синтетической форме (формах) в диапазоне от следового количества (1%) до примерно 50% или более по массе.

Отмечено, что предпочтительно карбонизируемые композиции силиката кальция по настоящему изобретению не гидратируются. Однако незначительные количества гидратируемых фаз силиката кальция (например, C2S, C3S и CaO) могут иметь место. C2S демонстрирует медленную кинетику гидратации при воздействии воды и быстро превращается в  $\text{CaCO}_3$  во время процессов  $\text{CO}_2$  отверждения. C3S и CaO быстро гидратируются при воздействии воды и поэтому должны быть ограничены до <5% по массе. Следует понимать, что композиции, фазы и способы, относящиеся к силикату кальция, раскрытые в настоящем изобретении, могут быть применены и для фаз силиката магния вместо или в дополнение к фазам силиката кальция. В контексте настоящего изобретения термин "силикат магния" относится к природным минералам или синтетическим материалам, состоящим из одной или более групп магний-кремнийсодержащих соединений, включая, например,  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$  (также известный как "форстерит"),  $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$  (также известный как "оливин"),  $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$  (также известный как "тальк"),  $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$  (также известный как "диопсид") и  $\text{CaMgSiO}_4$  (также известный как "монтichelлит"), каждый из которых может включать 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 (формах) в диапазоне от следового количества (1%) до примерно 50% или более по массе.

Основная полезность карбонизируемой композиции заключается в том, что она может быть карбонизирована с получением композитных материалов, которые могут быть использованы в различных областях применения. Например, карбонизацию можно проводить, позволяя указанной композиции реагировать с  $\text{CO}_2$  посредством контролируемого процесса гидротермального жидкофазного спекания (HLPS), для создания связующих элементов, удерживающих вместе различные компоненты композитного материала. Например, в предпочтительных вариантах осуществления  $\text{CO}_2$  используют в качестве реакционно-способного вещества, что приводит к улавливанию  $\text{CO}_2$  и созданию связующих элементов в изготовленных композитных материалах с углеродным следом, не имеющим аналогов в любой существующей технологии производства. Процесс HLPS термодинамически обусловлен свободной энергией химической реакции (реакций) и уменьшением поверхностной энергии (площади), вызванным ростом кристаллов. Кинетически процесс HLPS протекает с приемлемой скоростью при низкой температуре, потому что для транспорта реакционноспособных веществ используется раствор (водный или неводный) вместо жидкости с высокой температурой плавления или высокотемпературной твердотельной среды.

Обсуждение различных характеристик карбонизируемых посредством HLPS цементов на основе силиката кальция, карбонизации и получения связующих элементов, аппаратуры и способов для их получения, и родственные темы можно найти в патенте США № 8114367, опубликованной патентной заявке США № 2009/0143211 (серийный номер заявки 12/271566), опубликованной патентной заявке США № 2011/0104469 (серийный номер заявки 12/984299), опубликованной патентной заявке США № 2009/0142578 (серийный номер заявки 12/271513), опубликованной патентной заявке США № 2013/0122267 (серийный номер заявки 13/411218), опубликованной патентной заявке США № 2012/0312194 (серийный номер заявки 13/491098), WO 2009/102360 (PCT/US 2008/083606), WO 2011/053598 (PCT/U S2010/054146), WO 2011/090967 (PCT/US 2011/021623), предварительной заявке на патент США № 61/708423, поданной 1-го октября 2012 г. и опубликованной патентной заявке США № 2014/0127450 (серийный номер заявки 14/045758), опубликованной патентной заявке США № 2015/0266778 (серийный номер заявки 14/045519), опубликованной патентной заявке США № 2014/0127458 (серийный номер заявки 14/045766), опубликованной патентной заявке США № 2014/0342124 (серийный номер заявки 14/045540), опубликованной патентной заявке США № 2014/0272216 (серийный номер заявки 14/207413), опубликованной патентной заявке США № 2014/0263683 (серийный номер заявки 14/207421), опубликованной патентной заявке США № 2014/0314990 (серийный номер заявки 14/207920), патенте США № 9221027 (серийный номер заявки 14/209238), опубликованной патентной заявке США № 2014/0363665 (серийный номер заявки 14/295601), опубликованной патентной заявке США № 2014/0361471 (серийный номер заявки

14/295402), опубликованной патентной заявке США № 2016/0355439 (серийный номер заявки 14/506079), опубликованной патентной заявке США № 2015/0225295 (серийный номер заявки 14/602313), опубликованной патентной заявке США № 2015/0056437 (серийный номер заявки 14/463901), опубликованной патентной заявке США № 2016/0168720 (серийный номер заявки 14/584249), опубликованной патентной заявке США № 2015/0336852 (серийный номер заявки 14/818629), опубликованной патентной заявке США № 2016/0031757 (серийный номер заявки 14/817193), опубликованной патентной заявке США № 2016/0272544 (серийный номер заявки 15/074659), опубликованной патентной заявке США № 2016/0096773 (серийный номер заявки 14/874350), опубликованной патентной заявке США № 2016/0340261 (серийный номер заявки 14/715497), опубликованной патентной заявке США № 2016/0272545 (серийный номер заявки 15/074692), опубликованной патентной заявке США № 2017/0102373 (серийный номер заявки 15/290328), опубликованной патентной заявке США № 2017/0121223 (серийный номер заявки 15/335520), опубликованной патентной заявке США № 2017/0204010 (серийный номер заявки 15/409352), опубликованной патентной заявке США № 2017/0253530 (серийный номер заявки 15/449736), опубликованной патентной заявке США № 2017/0260096 (серийный номер заявки 15/451344), опубликованной патентной заявке США № 2017/0320781 (серийный номер заявки 15/587705), опубликованной патентной заявке США № 2017/0341989 (серийный номер заявки 15/609908), заявке США № 15/716392, поданной 26 сентября 2017 г., заявке США № 15/831135, поданной 4 декабря 2017 г., каждый из которых явным образом полностью включен в настоящее изобретение посредством ссылок для всех целей.

Фиг. 1-8 представляют собой фазовые диаграммы, показывающие различные фазовые взаимоотношения среди некоторых из описанных материалов. Фиг. 9 представляет собой принципиальную схему камеры CO<sub>2</sub> отверждения композитного материала, которая обеспечивает увлажнение в соответствии с принципами настоящего изобретения. На фиг. 9 обеспечивают подачу воды и водяной пар добавляют в атмосферу, циркулирующую внутри камеры отверждения. Фиг. 10 представляет собой принципиальную схему камеры отверждения с несколькими способами контроля влажности, а также способностью контролировать и пополнять CO<sub>2</sub> с помощью регулирования постоянного потока или давления, и которая может регулировать температуру в соответствии с принципами настоящего изобретения. Указанная система является примером системы, которая может обеспечивать управление в замкнутом контуре или управление с обратной связью, в которой предоставляются заданные значения рабочих параметров, таких как концентрация CO<sub>2</sub>, влажность и температура, требуемые в определенные моменты времени в цикле процесса, и производятся измерения, чтобы определить, является ли фактическое значение контролируемого параметра желаемым значением.

В иллюстративных вариантах осуществления карбонизации композиции по настоящему изобретению используются измельченные частицы силиката кальция. Измельченные частицы силиката кальция могут 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 мкм, 10 мкм, 15 мкм, 20 мкм, 25 мкм, 30 мкм, 40 мкм, 50 мкм, 60 мкм, 70 мкм, 80 мкм, 90 мкм, 100 мкм), насыпную плотность от примерно 0,5 г/мл до примерно 3,5 г/мл (свободная, например, 0,5 г/мл, 1,0 г/мл, 1,5 г/мл, 2,0 г/мл, 2,5 г/мл, 2,8 г/мл, 3,0 г/мл, 3,5 г/мл) и от примерно 1,0 г/мл до примерно 1,2 г/мл (после утряски), площадь поверхности по Блейну от примерно 150 м<sup>2</sup>/кг до примерно 700 м<sup>2</sup>/кг (например, 150 м<sup>2</sup>/кг, 200 м<sup>2</sup>/кг, 250 м<sup>2</sup>/кг, 300 м<sup>2</sup>/кг, 350 м<sup>2</sup>/кг, 400 м<sup>2</sup>/кг, 450 м<sup>2</sup>/кг, 500 м<sup>2</sup>/кг, 550 м<sup>2</sup>/кг, 600 м<sup>2</sup>/кг, 650 м<sup>2</sup>/кг, 700 м<sup>2</sup>/кг). В иллюстративных вариантах осуществления карбонизации композиции силиката кальция по настоящему изобретению используемые измельченные частицы силиката кальция имеют размер частиц, имеющий совокупный 10% диаметр более 1 мкм в объемном распределении распределения размеров частиц.

Любые подходящие наполнители могут быть использованы для изготовления композитных материалов из карбонизируемой композиции по настоящему изобретению, например, материалы, содержащие оксид кальция или кремнезем. Иллюстративные наполнители включают инертные материалы, такие как трапп, строительный песок, окатанный мелкий гравий. В конкретных предпочтительных вариантах осуществления легкие наполнители, такие как перлит или вермикулит, также могут использоваться в качестве наполнителей. Такие материалы, как промышленные отходы (например, летучая зола, шлак, микрокремнезём) также могут быть использованы в качестве мелких наполнителей.

Множество наполнителей может иметь любой подходящий средний размер частиц и распределение по размерам. В конкретных вариантах осуществления множество наполнителей имеет средний размер

частиц в диапазоне от примерно 0,25 до примерно 25 мм (например, от примерно 5 до примерно 20 мм, от примерно 5 до примерно 18 мм, от примерно 5 до примерно 15 мм, от примерно 5 до примерно 12 мм, от примерно 7 до примерно 20 мм, от примерно 10 до примерно 20 мм, примерно 1/8", примерно 1/4" примерно 3/8", примерно 1/2" примерно 3/4").

Химические добавки также могут быть включены в композитный материал; например, пластификаторы, замедлители, ускорители, диспергаторы и другие модифицирующие реологию средства. Также могут быть включены некоторые имеющиеся в продаже химические добавки, такие как Glenium™ 7500 от BASF® Chemicals и Acumer™ от Dow Chemical Company. В конкретных вариантах осуществления один или более пигментов могут быть равномерно распределены или по существу неравномерно распределены в связующих матрицах в зависимости от желаемого композитного материала. Пигмент может представлять собой любой подходящий пигмент, включая, например, оксиды различных металлов (например, черный оксид железа, оксид кобальта и оксид хрома). Пигмент может быть любого цвета или цветов, например выбранного из черного, белого, синего, серого, розового, зеленого, красного, желтого и коричневого. Пигмент может присутствовать в любом подходящем количестве в зависимости от желаемого композитного материала, например, в количестве от примерно 0,0 до примерно 10% по массе.

Разнообразные композитные изделия могут быть изготовлены из карбонизируемых композиций силиката кальция по настоящему изобретению способом, который не требует автоклава (автоклавы) и подходит для непрерывного крупномасштабного производства. Способы изготовления являются значительно улучшенными по сравнению со способами изготовления обычных бетонов с точки зрения как рентабельности, так и воздействия на окружающую среду.

### Примеры

Брусчатку используют в качестве примеров, чтобы проиллюстрировать применение раскрытого изобретения в строительных изделиях. Те же принципы могут быть применены для изготовления других бетонных изделий.

Брусчатка или камень для мощения представляют собой бетонные блоки, изготавливаемые с использованием процесса литья, прессования, уплотнения или комбинации вибрации и прессования. Брусчатку, как правило, укладывают плетеным узором, и она может быть удалена при повреждении в течение жизненного цикла, при этом новая брусчатка сокращает любые перерывы в обслуживании. Переплетенная брусчатка может быть спроектирована с зазором в узоре, обеспечивающим дренаж воды в нижние слои.

ASTM C 936 предоставляет критерии, которым должна удовлетворять бетонная брусчатка, но не ограничивается ими: средняя прочность на сжатие 8000 psi (~562,5 кг/см<sup>2</sup>); среднее водопоглощение не более 5% и устойчивость по меньшей мере к 50 циклам замораживания-оттаивания со средней потерей материала, не превышающей 1%. В дополнение к требованиям ASTM также желательно, чтобы брусчатка удовлетворяла дополнительным требованиям, включая уменьшенное высолообразование (например, уменьшенное вымывание продукта реакции вследствие градиента концентрации); хорошее сохранение цвета и сопротивление истиранию, в зависимости от того, где используют брусчатку.

Различные добавки могут быть использованы для подгонки и точного подбора внешнего вида, эстетики и механических свойств брусчатки или композитных строительных материалов, такие как красители, включая частицы цветных материалов (например, цветного стекла, цветного песка и цветные частицы кварца) и пигменты (например, черный оксид железа, красный оксид железа, оксид кобальта и оксид хрома). Для того чтобы моделировать внешний вид камня для мощения и строительных блоков, состоящие из частиц наполнители могут включать мелкие частицы. Мелкие частицы могут быть материалами на основе SiO<sub>2</sub> для обеспечения твердости или они могут включать широкий спектр материалов, включая песок, измельченные, размолотые или иным образом превращенные в порошок вещества, выбранные из минералов и материалов добавок.

Указанные композитные материалы камня для мощения и строительных блоков имеют характерные для камня особенности поверхности и демонстрируют приемлемую прочность на сжатие и водопоглощение при сравнении с природным камнем.

Чтобы проиллюстрировать применение раскрытого изобретения, бетонную брусчатку изготавливали из цемента на основе силиката кальция и традиционных материалов, состоящих из песка и размолотого заполнителя. Указанную брусчатку изготавливали с использованием обычного промышленного оборудования и отверждали в диоксид углеродной камере отверждения в соответствии с процедурами, известными специалисту в данной области техники.

После отверждения указанную брусчатку подвергали воздействию условий, аналогичных тем, с которыми можно столкнуться в течение фактического жизненного цикла в сырых или влажных средах. После указанного воздействия у брусчатки появлялось неравномерное выцветание, как показано на фиг. 13.

Сканирующая электронная микроскопия образцов брусчатки до воздействия показывает плотно упакованные поверхности карбоната кальция (фиг. 14), в то время как образцы, исследованные после воздействия, показывают развитие поверхностных отложений в светлых областях брусчатки с дискообразной морфологией, характерной для ватерита (фиг. 15).

Как описано в раскрытом изобретении, возникновение поверхностных отложений, проявляющихся как макроскопические эстетические дефекты, может быть уменьшено или устранено путем добавления субмикронного оксида магния во время процесса смешивания бетона. В этом процессе субмикронный оксид магния добавляют к добавкам органических полимеров перед добавлением в бетонную смесь.

Указанное добавление помогает нейтрализовать кислотность добавок, одновременно обеспечивая диспергирование порошка оксида магния.

Как показано на фиг. 16, сканирующая электронная микроскопия поверхностей брусчатки, содержащих оксид магния, показывает, что карбонат кальция может быть вместо этого стабилизирован в виде арагонита в бетонной матрице, чтобы предотвратить латентное осаждение на поверхности метастабильного ватерита.

Как проиллюстрировано на фиг. 12 и как показано на фиг. 17(B), брусчатка, изготовленная с добавлением субмикронного оксида магния к органическим добавкам, не имеет макроскопических эстетических дефектов, наблюдаемых на брусчатке, изготовленной без добавления оксида магния фиг. 17(A).

Как также показано в раскрытом изобретении, добавление субмикронного порошка оксида магния также улучшает долговечность и эстетичность цемента и бетона на основе силиката кальция за счет утончения структуры пор цемента и стабилизации мелких кристаллов арагонита в матрице. Это позволяет уменьшить проникновение и транспорт воды, а также уменьшить транспорт загрязняющих веществ, содержащихся в воде. Эффект этого аспекта показан на фиг. 18, которая демонстрирует более низкую степень проникновения воды и последующую более высокую скорость сушки брусчатки, изготовленной с добавлением порошка оксида магния.

Заявленное раскрытие описано в настоящем изобретении в предпочтительных вариантах осуществления со ссылкой на фигуры, на которых одинаковые номера представляют одинаковые или подобные элементы. Ссылка во всем настоящем описании на "один вариант осуществления", "вариант осуществления" или подобные формулировки означает, что конкретный признак, структура или характеристика, описанные в связи с вариантом осуществления, включены по меньшей мере в один вариант осуществления настоящего изобретения. Таким образом, появления фраз "в одном варианте осуществления", "в варианте осуществления" и подобных формулировок в настоящем описании могут, но не обязательно, все относиться к одному и тому же варианту осуществления.

Описанные признаки, структуры или характеристики заявленного раскрытия могут быть скомбинированы любым подходящим способом в одном или более вариантах осуществления. В приведенном в настоящем изобретении описании многочисленные конкретные подробности приведены для обеспечения полного понимания вариантов осуществления настоящего изобретения. Однако специалист в соответствующей области техники признает, что заявленные композиция и/или способ могут быть применены на практике без одной или более конкретных деталей или с другими способами, компонентами, материалами и так далее. В иных случаях общеизвестные структуры, материалы или операции не показаны или не описаны подробно, чтобы избежать затруднения понимания аспектов настоящего раскрытия.

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

Если не указано иное, все технические и научные термины, используемые в настоящем изобретении, имеют то же значение, которое обычно понимают средние специалисты в данной области техники. Хотя любые способы и материалы, подобные или эквивалентные таким, описанным в настоящем изобретении, также могут быть использованы при практическом применении или испытании настоящего раскрытия, предпочтительные способы и материалы описаны в настоящем. Способы, изложенные в настоящем изобретении, могут быть выполнены в любом логически возможном порядке в дополнение к конкретному раскрытому порядку.

#### **Включение путем ссылки**

В настоящем раскрытии были использованы ссылки и цитаты на другие документы, такие как патенты, патентные заявки, патентные публикации, журналы, книги, документы, веб-содержимое. Все такие документы включены в настоящее изобретение посредством ссылки во всей их полноте для любых целей. Любой материал или его часть, которые, как говорят, включены в настоящее изобретение посредством ссылки, но которые противоречат существующим определениям, заявлениям или другим материалам раскрытия, явно изложенным в настоящем изобретении, включены только в той степени, в которой не возникает никакого противоречия между указанным включенным материалом и материалом настоящего раскрытия. В случае противоречия указанное противоречие должно быть разрешено в пользу настоящего раскрытия, как предпочтительного раскрытия.

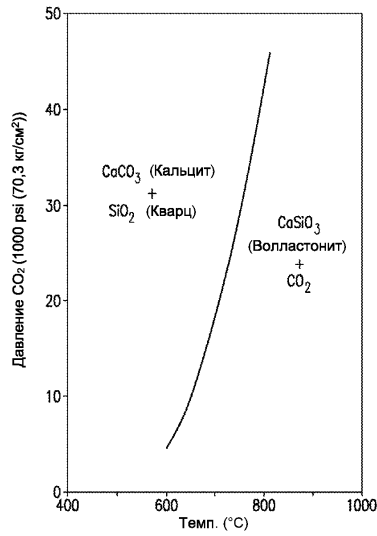
#### **Эквиваленты**

Типичные примеры, раскрытые в настоящем изобретении, предназначены для того, чтобы помочь проиллюстрировать изобретение, и не предназначены и не должны истолковываться как ограничивающие объем изобретения. Действительно, различные модификации настоящего изобретения и многие другие его варианты осуществления, в дополнение к тем, которые показаны и описаны в настоящем изобретении, станут очевидными для специалистов в данной области техники из полного содержания настоящего документа, включая последующие примеры и ссылки на цитируемую в настоящем изобретении

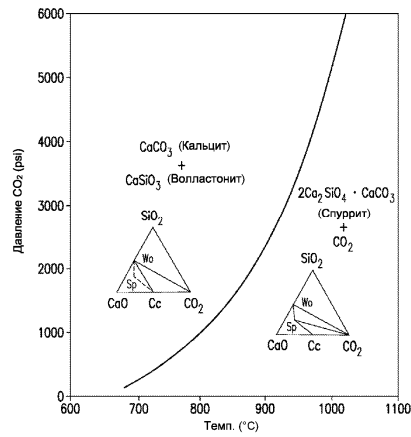
научную и патентную литературу. Последующие примеры содержат важную дополнительную информацию, примеры и руководство, которые могут быть применены к практическому использованию настоящего изобретения в его различных вариантах осуществления и их эквивалентах.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

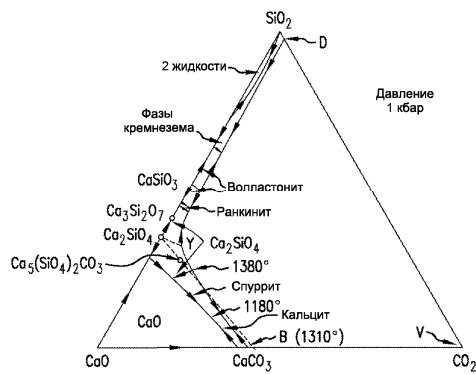
1. Карбонизируемая композиция, включающая
  - силикат кальция, где силикат кальция включает одну или более дискретных фаз силиката кальция CS, представляющих собой волластонит или псевдоволластонит, дискретных фаз силиката кальция C<sub>3</sub>S<sub>2</sub>, представляющих собой ранкинит, или дискретных фаз силиката кальция C<sub>2</sub>S, представляющих собой белит, ларнит или бредигит, причем силикат кальция дополнительно включает фазу аморфного силиката кальция в количестве 10% по массе или более от суммарных фаз;
  - одну или более фаз типа мелилит, имеющих общую формулу (Ca,Na,K)<sub>2</sub>[(Mg, Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Al, Si)<sub>3</sub>O<sub>7</sub>] или фаз типа феррит, имеющих общую формулу Ca<sub>2</sub>(Al, Fe<sup>3+</sup>)<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; и
  - один или более минералов, где один или более минералов выбраны из группы, состоящей из субмикронного порошка оксида магния, из нитрата магния, сульфата магния, хлорида магния, ацетата магния и их комбинаций,
  - элементарный Ca и элементарный Si присутствуют в композиции в молярном отношении от 0,5 до 1,5 и оксиды металлов Al, Fe и Mg присутствуют в композиции в количестве 30% или менее от общей массы оксидов.
2. Карбонизируемая композиция по п.1, в которой один или более минералов составляет от 0,02 до 20% по массе от карбонизируемой композиции.
3. Карбонизируемая композиция по любому из пп.1, 2, включающая одну или более остаточных фаз SiO<sub>2</sub> и CaO.
4. Карбонизируемая композиция по любому из пп.1-3, включающая 20% или менее оксидов металлов Al, Fe и Mg общей массы оксидов.
5. Карбонизируемая композиция по любому из пп.1-4, дополнительно включающая диспергатор или суперпластификатор, при этом диспергатор или суперпластификатор включает полимер на поликарбоксилатной основе.
6. Карбонизируемая композиция по любому из пп.1-5, дополнительно включающая краситель, при этом краситель включает один или более из оксида железа, оксида кобальта и оксида хрома.
7. Способ изготовления бетонного изделия с использованием композиции по п.1, включающий
  - приготовление карбонизируемой композиции путем смешивания силиката кальция и одной или более фаз типа мелилит или типа феррит для образования бетонной смеси с последующим добавлением к этой бетонной смеси добавки, включающей один или более минералов; и
  - отверждение полученной таким образом карбонизируемой композиции с получением бетонного изделия,
  - причем силикат кальция включает одну или более из дискретных фаз силиката кальция CS, представляющих собой волластонит или псевдоволластонит, дискретных фаз силиката кальция C<sub>3</sub>S<sub>2</sub>, представляющих собой ранкинит, дискретных фаз силиката кальция C<sub>2</sub>S, представляющих собой белит, ларнит или бредигит, причем силикат кальция дополнительно включает аморфную фазу силиката кальция в количестве 10% по массе или более от общих фаз;
  - причем одна или более фаз типа мелилит имеет общую формулу (Ca,Na,K)<sub>2</sub>[(Mg, Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Al, Si)<sub>3</sub>O<sub>7</sub>] или фаза типа феррит имеет общую формулу Ca<sub>2</sub>(Al, Fe<sup>3+</sup>)<sub>2</sub>O<sub>5</sub>;
  - где элементарный Ca и элементарный Si присутствуют в карбонизируемой композиции в молярном отношении от 0,5 до 1,5, а оксиды металлов Al, Fe и Mg присутствуют в карбонизируемой композиции в количестве 30% от общей массы оксидов или менее и
  - указанный один или более минералов выбирают из группы, состоящей из субмикронного порошка оксида магния, из нитрата магния, сульфата магния, хлорида магния, ацетата магния и их комбинаций.
8. Способ по п.7, в котором один или более минералов составляют от 0,02 до 20% по массе от карбонизируемого цемента на основе силиката кальция.
9. Способ по п.7 или 8, дополнительно включающий регулирование pH бетонной смеси перед отверждением цемента с получением бетонного изделия.
10. Способ по любому из пп.7-9, в котором в карбонизируемом цементе на основе силиката кальция элементарный Ca и элементарный Si присутствуют в композиции в молярном отношении от 0,8 до 1,2.
11. Способ по любому из пп.7-10, в котором бетонная смесь дополнительно содержит диспергатор или суперпластификатор, при этом диспергатор или суперпластификатор включает в себя полимер на поликарбоксилатной основе.
12. Способ по любому из пп.7-11, в котором смесь дополнительно содержит краситель, при этом краситель включает в себя один или более из оксида железа, оксида кобальта и оксида хрома.
13. Способ по любому из пп.7-12, в котором субмикронный порошок оксида магния составляет от 0,02 до 20% по массе от карбонизируемой композиции.



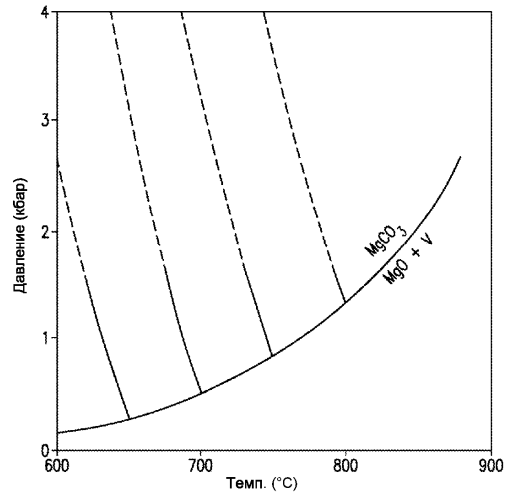
Фиг. 1  
Уровень техники



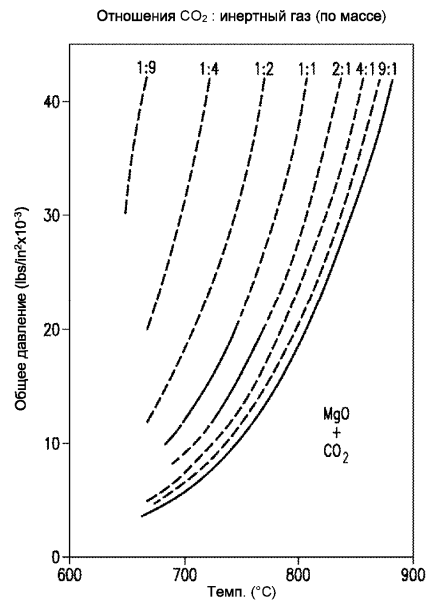
Фиг. 2  
Уровень техники



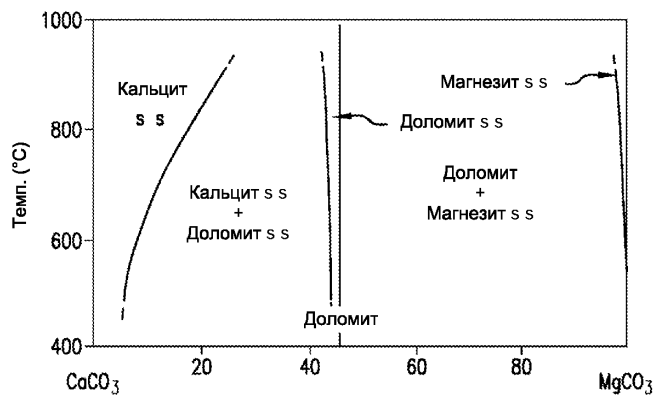
Фиг. 3  
Уровень техники



Фиг. 4  
Уровень техники

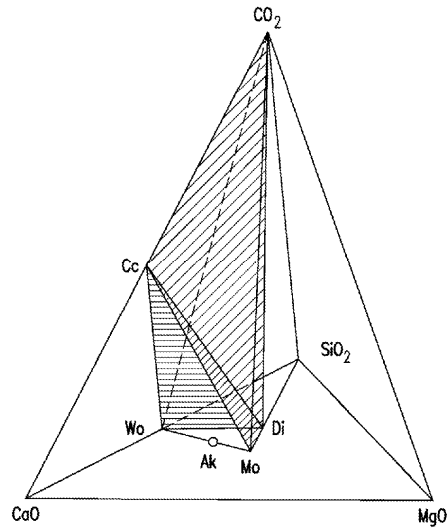


Фиг. 5  
Уровень техники

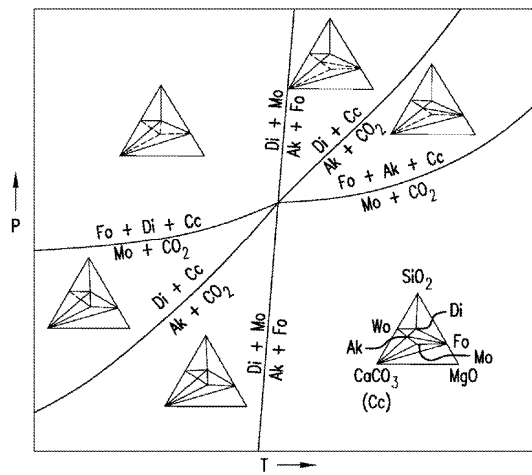


Фиг. 6  
Уровень техники

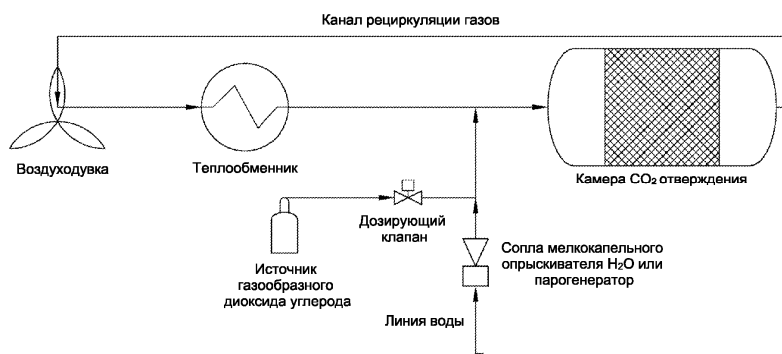




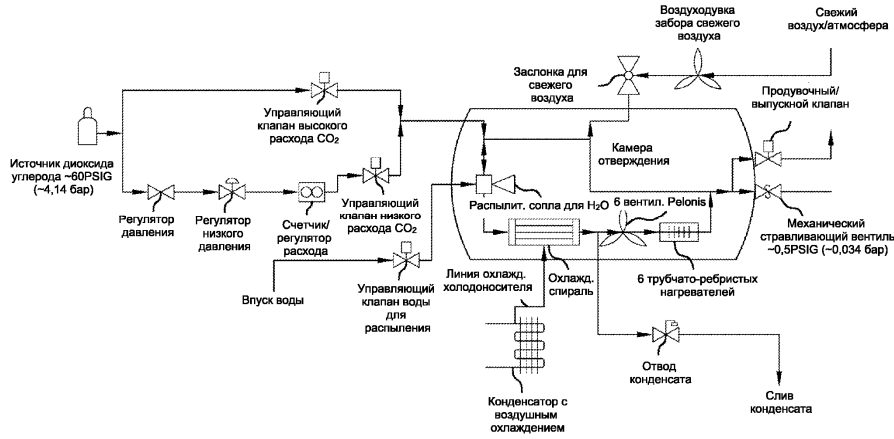
Фиг. 7  
Уровень техники



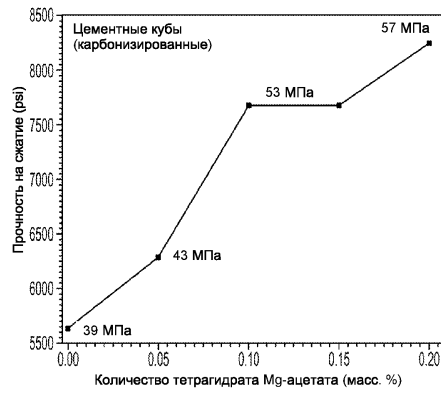
Фиг. 8  
Уровень техники



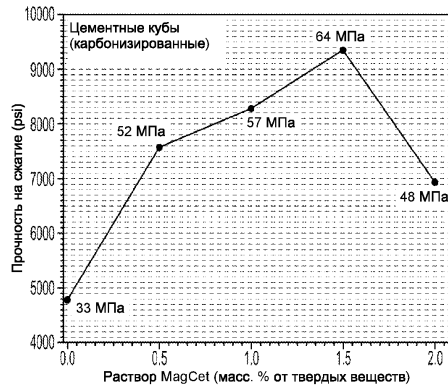
Фиг. 9



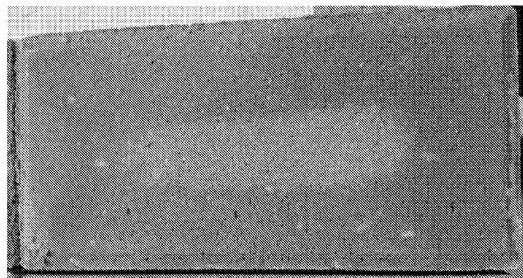
Фиг. 10



Фиг. 11

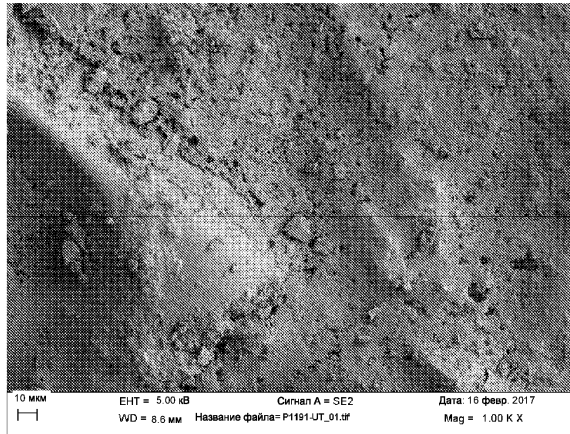


Фиг. 12

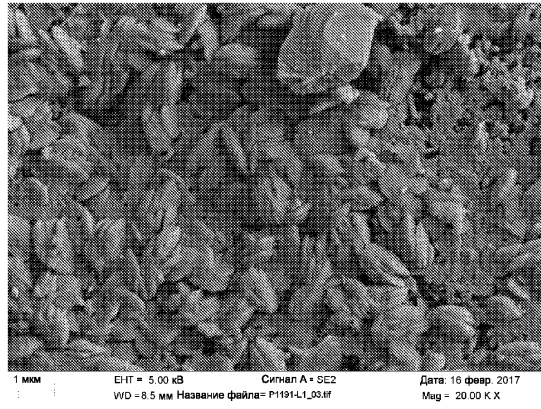


Фиг. 13

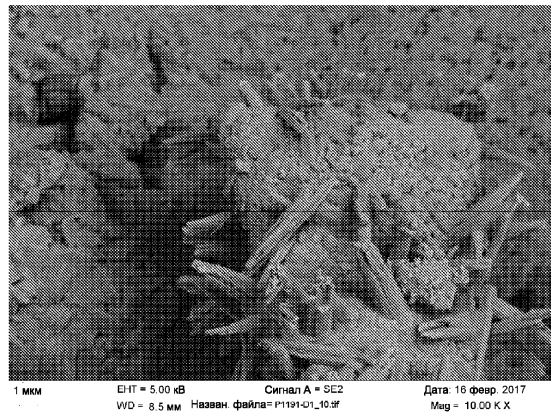
045027



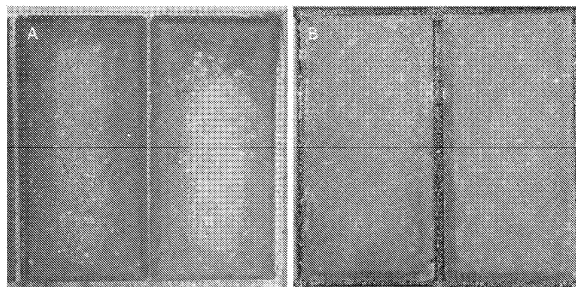
Фиг. 14



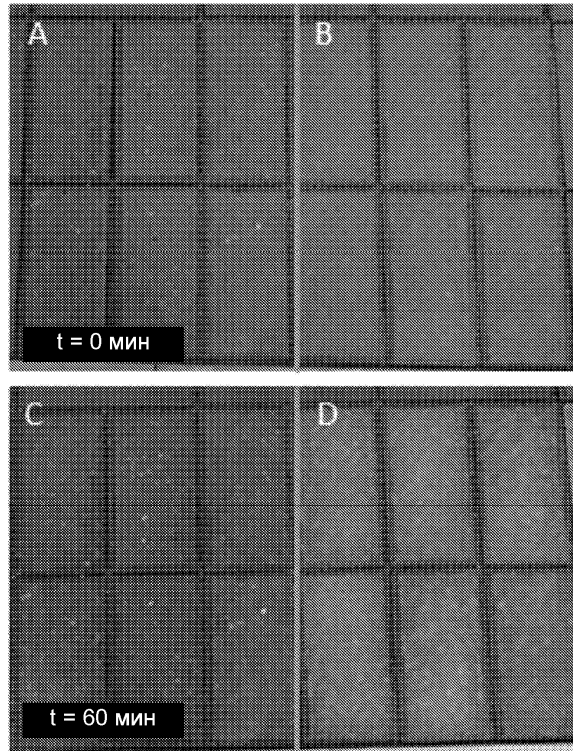
Фиг. 15



Фиг. 16



Фиг. 17(A)-(B)



Фиг. 18