

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **043300**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2023.05.10**

(51) Int. Cl. **C04B 35/64** (2006.01)  
**A61C 5/77** (2017.01)

(21) Номер заявки  
**202190313**

(22) Дата подачи заявки  
**2019.08.27**

---

(54) **МНОГОСТУПЕНЧАТОЕ ОТВЕРЖДЕНИЕ ЗАГОТОВОК БУДУЩЕГО ИЗДЕЛИЯ**

---

(31) **62/723,397**

(32) **2018.08.27**

(33) **US**

(43) **2021.06.17**

(86) **PCT/US2019/048335**

(87) **WO 2020/046927 2020.03.05**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**СОЛИДИЯ ТЕКНОЛОДЖИЗ, ИНК.**  
**(US)**

(72) Изобретатель:  
**Таш Ахмет Джунейт (US)**

(74) Представитель:  
**Микуцкая Т.Ю., Файбисович А.С.,**  
**Рогова Е.В. (RU)**

(56) **US-A1-20150001761**  
**US-A1-20060248848**  
**US-A1-20020100394**  
**US-A1-20150225295**  
**US-A-3789102**  
**EP-A-0850735**  
**JP-A-2006181924**

(57) Способ формования множества отвержденных бетонных изделий, каждое из которых обладает прочностью на сжатие отвержденного изделия, раскрытый способ включает введение жидкой смеси с составом компонентов бетона во множество форм; формование текучей смеси внутри множества форм с помощью одной или нескольких опор, тем самым образуя множество заготовок изделий; частичное отверждение заготовок изделий до значения, достаточного для обеспечения прочности на сжатие, которая ниже, чем прочность на сжатие отвержденного изделия, тем самым образуя множество предварительно отвержденных заготовок; объединение по меньшей мере части множества предварительно отвержденных заготовок с образованием их стопки, имеющей заданную геометрическую форму; и отверждение совокупности предварительно отвержденных заготовок до значения, достаточного для достижения прочности на сжатие отвержденного изделия, таким образом получая стопку отвержденных изделий, имеющих заданную геометрическую форму.

**B1**

**043300**

**043300**

**B1**

По заявке на данное изобретение испрашивается приоритет и преимущества по предварительной заявке на патент Соединенных Штатов № 62/723,397, поданной 27 августа 2018 г., все содержание которой включено в настоящее описание.

#### **Область техники**

В настоящем документе раскрыты способы отверждения изделий, таких как заготовки, связанные с ними устройства и системы.

#### **Уровень техники**

В настоящем описании, когда документ, акт или предмет знания упоминается или обсуждается, эта ссылка или обсуждение не является признанием того, что документ, акт или предмет знания или любая их комбинация были на дату приоритета общедоступными, известными специалистам в данной области техники, частью общих знаний или иным образом представляют собой предшествующий уровень техники в соответствии с действующим законодательством; или известно, что они имеют отношение к попытке решить любую задачу, связанную с заявкой на изобретение. Упрочнение необработанных или частично отвержденных "заготовок изделий" может быть связано с рядом различных технических проблем, особенно когда такие процессы проводятся в больших масштабах. Могут возникнуть такие проблемы, как эффективность, нестатические условия обработки, согласованность и воспроизводимость. Настоящее изобретение направлено на решение этих и других проблем.

Одним из примеров необработанного изделия или "заготовки изделия", которая подвергается процессу отверждения, является бетон или цемент. Бетон особенно повсеместно применяется. Наши дома, скорее всего, построены с использованием его, наши объекты инфраструктуры построены из него, как и большинство наших рабочих мест. Обычный бетон получают путем смешивания воды и заполнителей, таких как песок и щебень, с портландцементом, с материалом, полученным путем сжигания смеси измельченного известняка и глины или материалов аналогичного состава во вращающейся печи при температуре спекания около 1450°C. Производство портландцемента - это не только энергоемкий процесс, но и процесс, при котором выделяется значительное количество парникового газа (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. Традиционное производство и использование бетона не является оптимальным как с точки зрения экономики, так и с точки зрения воздействия на окружающую среду. Такие традиционные технологии производства бетона предполагают большое потребление энергии и выбросы углекислого газа, что приводит к неблагоприятным выбросам парниковых газов в атмосферу.

Это привело к разработке негидравлических составов цемента. Негидравлический цемент относится к цементу, который не отверждается при взаимодействии с водой при протекании химической реакции, а скорее в основном отверждается реакцией с углекислым газом CO<sub>2</sub> в любой из его форм, таких как газообразный CO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> в форме углекислоты, H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> или в других формах, которые обеспечивают протекание реакции CO<sub>2</sub> с негидравлическим цементным материалом. Процесс отверждения обусловлен углекислым газом с образованием твердых карбонатных частиц внутри отвержденного материала, обеспечивая тем самым очевидные экологические преимущества. Например, негидравлические составы Solidia Cement™ и Solidia Concrete™ были охарактеризованы как революционные технологии, признанные, например, одними из 100 лучших новых технологий по версии R&D 100 awards. Производство как Solidia Cement™, так и Solidia Concrete™ снижает выбросы углекислого газа до 70%, снижает расход топлива на 30% и снижает потребление воды до 80% по сравнению с производством традиционного гидравлического бетона и/или портландцемента.

Традиционные методы отверждения и устройства для многих составов материалов, включая обычный бетон, а также негидравлические бетонные составы, выполнены для обработки материалов, которые подвергаются специфическим химическим реакциям. Однако на практике использование традиционных методов и аппаратов для отверждения заготовок будущих изделий представляет определенные технические проблемы. Проблемы, связанные с традиционными методами и аппаратами отверждения, включают их стоимость, ограничения в отношении условий эксплуатации и местоположения, точность, с которой процесс отверждения может контролироваться и отслеживаться последовательным и повторяемым образом, а также производство отвержденных изделий с требуемыми свойствами. Таким образом, существует потребность в методах отверждения и аппаратах, которые обеспечивают повышенную универсальность, точность, получение продукции, консистенцию и снижение затрат.

Как схематически показано на фиг. 1, 2, изделия 10, выполненные из гидравлических цементных или бетонных композиционных материалов, а также негидравлических цементных или композиций бетона, например композиций бетона, содержащих силикат кальция, песок и заполнитель, такие как брусчатка (любых размеров) или блоки/плиты (опять же любых размеров), могут быть изготовлены с использованием пресса 20 в качестве способа формования/изготовления. Более конкретно, полые формы 30 расположены на опоре 40, такой как стальные (или пластиковые, или любые другие материалы необходимой прочности) подставки или плоские лотки. Затем бетонный состав вводят в полости 50 форм 30. Как вариант, формы 30 подвергаются воздействию вибрации для обеспечения оптимального заполнения

форм 30 бетонной смесью. После заполнения пресс 20 воздействует на бетонный материал, размещенный в форме 30. В результате на опоре 40 образуется одна или несколько прессованных заготовок изделий 10. Затем прессованные заготовки 10 вместе с опорами 40 подвергаются ряду возможных стадий обработки, таких как сушка, предварительное отверждение и в конечном итоге отверждение в камере (не показано) для обеспечения прочности. После отверждения заготовки (например, брусчатки) "укладывают на поддоны", снимая их с опор 40 и укладывая в штабель, как правило, с помощью машины, чтобы сформировать кубы готовых заготовок или брусчатки, уложенных на платформу для транспортировки, такую как поддон. Каждый куб может иметь, например, около 540 (или более) камней брусчатки, уложенных в формате 10 слоев брусчатки друг на друга, в то время как каждый слой содержит 54 камня брусчатки. Это называется "куб брусчатки". Такие кубы брусчатки затем могут быть доставлены заказчику. Основные этапы 60, связанные с вышеописанным процессом, схематически проиллюстрированы на фиг. 3. Как изображено на иллюстрации, компоненты, образующие состав цемента/бетона, дозируются и смешиваются, подаются в формы, где они прессуются, образуя таким образом одну или несколько заготовок. Затем заготовки отверждаются, а затем полностью отвержденные заготовки укладываются на поддон для отправки покупателю. Согласно современным крупномасштабным технологиям производства процесс отверждения длится очень долго, например от 50 до 80 ч или даже дольше. В течение такого длительного времени отверждения брусчатка остается на своих опорах или плитах для прессования. Использовать плиты для прессования в течение от 50 до 80 ч невыгодно в связи с низкой экономической и временной эффективностью всего процесса. Использование плит для прессования на протяжении всего процесса отверждения приводит к нежелательной нагрузке на оборудование для операций прессования производителя и требует от производителя приобретения большего количества плит для прессования, чем в идеальных ситуациях.

Кроме того, брусчатка формируется из негидравлических композиций, таких как Solidia Cement™ и Solidia Concrete™, упомянутых выше, с использованием газообразного реагента, т.е. углекислого газа (CO<sub>2</sub>). Углекислый газ действует как реагент только в том случае, если материалы, подлежащие карбонизационному отверждению, содержат определенное количество (например, от 2 до 5 мас.%) воды. Углекислый газ сначала растворяется в воде, а затем превращается в водные бикарбонатные или карбонатные ионы, которые затем вступают в реакцию с ионами Ca<sup>2+</sup>, находящимися в водном растворе и переходящими в него из негидравлического состава, с образованием хорошо связанных кристаллов/частиц карбоната кальция (CaCO<sub>3</sub>). С другой стороны, такие составы не могут быть отверждены, если брусчатка полностью высохла. Таким образом, отверждение брусчатки, сформированной из таких негидравлических композиций, включает в себя контроль содержания воды. Другим недостатком выдерживания брусчатки на плите для прессования в течение всего процесса отверждения заключается в том, что поверхности брусчатки контактируют с плитами, это предотвращает или препятствует выделению воды из заготовки, а также предотвращает или препятствует прямому воздействию реагентов в камере отверждения (например, газа CO<sub>2</sub>).

Таким образом, существует необходимость в усовершенствованных методах отверждения и устройстве, которое позволяет извлекать/обрабатывать прессованные плиты и возвращать их обратно в пресс-машину как можно скорее, а также улучшать воздействие на поверхности прессованных заготовок (например, брусчатки/изделий) реагента(ов) и облегчать выделение из них воды.

Хотя некоторые аспекты традиционных технологий были обсуждены для облегчения раскрытия изобретения, Заявители никоим образом не отказываются от этих технических аспектов, и предполагается, что заявленное изобретение может охватывать или включать один или несколько традиционных технических аспектов, охарактеризованных в описании.

#### **Раскрытие сущности изобретения**

Было установлено, что вышеупомянутые недостатки могут быть устранены, а некоторые преимущества достигнуты с помощью настоящего изобретения. Например, способы, устройства и системы настоящего изобретения обеспечивают отверждение заготовок, которые обеспечивают универсальность, воспроизводимость, выход готовых изделий, плотность и низкую стоимость.

Чтобы облегчить описание сущности настоящего изобретения, раскрытие, содержащееся в настоящем документе, заготовками изделий и/или отвержденными изделиями является "камень для мощения". Однако следует понимать, что принципы настоящего изобретения не ограничены. Принципы, описанные здесь, применимы к любому количеству различных заготовок или изделий, несмотря на любые конкретные упоминания в описании "камней для мощения". Например, способ, описанный в этом документе, может быть использован для производства бетонных изделий, при этом бетонное изделие необязательно изготавливается из связующей матрицы, которая затвердевает при воздействии углекислого газа. В некоторых вариантах осуществления изобретения бетонные изделия представляют собой пенобетонные изделия. В некоторых вариантах осуществления бетонные изделия представляют собой газобетонные изделия. В некоторых вариантах осуществления газобетонные изделия представляют собой газобетонные блоки и/или газобетонный элемент каменной кладки. В некоторых вариантах осуществления пенобетонные изделия представляют собой вентилируемые панели. В некоторых вариантах осуществления изо-

бретения вентилируемые панели имеют дополнительное конструктивное усиление в виде арматуры. В других вариантах осуществления бетонные изделия представляют собой отлитые бетонные изделия, такие как черепица, бетонные блоки, бетонные плиты, литые плиты, полученные мокрым способом, и многопустотные железобетонные плиты.

Далее будут описаны некоторые особенности настоящего изобретения. Следует понимать, что настоящее изобретение охватывает любой из упомянутых ранее признаков, используемых по отдельности или в сочетании с любым другим признаком (или признаками), описанным в следующих разделах описания или иным образом охарактеризованным в настоящем документе, без ограничения их конкретных комбинаций. Таким образом, например, подразумевается, что настоящее изобретение охватывает любую возможную комбинацию признаков формулы, содержащихся в настоящем описании, независимо от их нахождения в пунктах формулы.

В соответствии с одним аспектом настоящее изобретение относится к способу формования множества отвержденных бетонных изделий, каждое из которых является отвержденным и обладает прочностью на сжатие, причем способ включает введение текучей смеси с составом компонентов бетона во множество форм; формование текучей смеси внутри множества форм с помощью одного или нескольких пуансонов, тем самым формируя множество заготовок; частично отверждая заготовки до значения, достаточного для обеспечения прочности на сжатие, которая ниже, чем прочность на сжатие отвержденного изделия, при этом осуществляют множество предварительных отверждений заготовок; собирая по меньшей мере часть множества предварительно отвержденных заготовок, чтобы сформировать из них стопку, имеющую заданную геометрическую форму; и отверждая стопку предварительно отвержденных заготовок до значения, достаточного для достижения прочности на сжатие отвержденного изделия, тем самым производя стопку отвержденных изделий, имеющих заданную геометрическую форму.

Способ также включает в себя отправку стопки отвержденных изделий, имеющих заданную геометрическую форму, заказчику.

Способ, в котором компоненты, входящие в состав, включает один или несколько компонентов цемента, обеспечивающих возможность получения карбоната, и один или несколько заполнителей.

Способ, в котором один или несколько компонентов цемента, обеспечивающих возможность получения карбоната, содержат силикат кальция.

Способ, в котором жидкая смесь содержит воду.

Способ, в котором по меньшей мере одна из стадий введения и формования включает в себя одну или несколько стадий: заливку, виброобработку, прессование, экструзию или вспенивание.

Способ, в котором одна или несколько опор представляет собой плиту для прессования.

Способ, в котором одна или несколько плит являются металлическими.

Способ, в котором множество заготовок образуют камни для мощения, бетонные блоки, черепицу, многопустотные железобетонные плиты, литые плиты, полученные мокрым способом, бетонные плиты, пенобетонные изделия, газобетонные изделия, газобетонные элементы каменной кладки или вентилируемые панели.

Способ, в котором прочность на сжатие предварительно отвержденных заготовок достаточна для того, чтобы позволить снять заготовки с опоры, при этом заготовки остаются, по существу, неповрежденными.

Способ, в котором прочность на сжатие предварительно отвержденных заготовок составляет от около 2000 до около 5000 фунт/кв. дюйм и измерена в соответствии с ASTM C140 (стандарт американского общества по испытанию материалов).

Способ, в котором прочность на сжатие отвержденного изделия составляет по меньшей мере около 8000 фунт/кв. дюйм и измерена в соответствии с ASTM C140.

Способ, в котором этап частичного отверждения заготовок включает введение заготовок и одной или нескольких опор в камеру предварительного отверждения.

Способ, в котором этап частичного отверждения заготовок включает воздействие на заготовки и одну или несколько опор углекислым газом, воздухом или их смесью в течение заданного периода времени.

Способ, в котором этап частичного отверждения заготовок включает воздействие на заготовки углекислого газа в течение периода времени от около 60 до около 600 мин и температуры от около 50 до около 120°C.

Способ, в котором стадия частичного отверждения заготовок дополнительно включает нагрев по меньшей мере одной металлической опоры.

Способ, при котором нагрев по меньшей мере одной металлической опоры включает нагрев системной электрообогрева.

Способ, в котором этап объединения множества предварительно отвержденных заготовок включает удаление предварительно отвержденных заготовок с поверхности одной или нескольких опор.

Способ, в котором предварительно отвержденные заготовки снимают с одной или нескольких опор с помощью автоматического укладчика грузов на паллеты или системы транспортировки и загрузки материалов.

Способ, в котором заданная геометрическая форма представляет собой куб.

Способ, при котором куб содержит около 480 предварительно отвержденных заготовок или более.

Способ, в котором стадия отверждения предварительно отвержденных заготовок включает введение стопки предварительно отвержденных заготовок в камеру отверждения.

Способ, в котором стадия отверждения предварительно отвержденных заготовок включает воздействие на предварительно отвержденные заготовки углекислого газа в течение периода времени от около 10 до около 24 ч и температуры от около 60 до около 95°C.

Способ, в котором стадия частичного отверждения заготовок или стадия отверждения предварительно отвержденных заготовок дополнительно включает введение нагретого газа в камеру предварительного отверждения или камеру отверждения из места, расположенного вблизи дна камеры предварительного отверждения или камеры отверждения.

Способ, в котором стадия частичного отверждения заготовок или стадия отверждения предварительно отвержденных заготовок дополнительно включает отвод нагретого газа из камеры предварительного отверждения или камеры отверждения из места, расположенного вблизи верхней части камеры предварительного отверждения или камеры отверждения.

Способ, в котором стадия отверждения предварительно отвержденных заготовок дополнительно включает размещение стопки предварительно отвержденных заготовок на подвижной платформе для перемещения стопки предварительно отвержденных заготовок от одного конца камеры отверждения к противоположному концу.

Способ, в котором заготовки и их опоры имеют объем образца, а камера предварительного отверждения имеет внутренний объем и в котором отношение внутреннего объема камеры предварительного отверждения к объему образца составляет от примерно 1,05 до примерно 1,15.

Способ, в котором стопка предварительно отвержденных заготовок, имеющих заданную геометрическую форму, имеет объем образца, а камера отверждения имеет внутренний объем и в котором отношение внутреннего объема камеры отверждения к объему образца составляет от примерно 1,05 до примерно 1,15.

#### **Краткое описание чертежей**

Фиг. 1 - схематическое изображение устройства и способа формования одной или нескольких заготовок из жидкой смеси.

Фиг. 2 - изображение одной или нескольких заготовок, полученных в результате использования оборудования и порядка действий, отображенных на фиг. 1, расположенных на поверхности опоры.

Фиг. 3 - технологическая блок-схема обычной процедуры формования отвержденных бетонных изделий.

Фиг. 4 - изображение устройства для отверждения одной или нескольких заготовок.

Фиг. 5 - изображение конструкции камеры отверждения в соответствии с некоторыми вариантами настоящего изобретения.

Фиг. 6 - изображение стопки заготовок, образующих определенную геометрическую фигуру, и при необходимости платформы.

Фиг. 7 - изображение конструкции камеры отверждения в соответствии с дополнительными необязательными вариантами настоящего изобретения.

Фиг. 8 - изображение принципов способа и конструкции камеры отверждения в соответствии с дополнительным необязательным вариантом настоящего изобретения.

Фиг. 9 - схематическое изображение принципов способа и конструкции камеры отверждения в соответствии с еще одним дополнительным необязательным вариантом настоящего изобретения.

#### **Осуществление изобретения**

Используемый здесь термин "заготовка" относится к неотвержденной или частично отвержденной заготовке или изделию. В некоторых вариантах осуществления изобретения заготовка представляет собой цементное или бетонное (композитное) изделие.

Термин "получение карбоната", используемый здесь, относится к материалу, который реагирует с CO<sub>2</sub> посредством карбонизации. Материал "не способен образовывать карбонат", если он не реагирует с CO<sub>2</sub> с помощью карбонизации в условиях, описанных здесь. Согласно некоторым вариантам осуществления изобретения материал, обеспечивающий получение карбоната, может принимать форму цемента или бетона (композита).

В описании упоминается "жидкая смесь", представляющая собой смесь, из которой может быть сформована или иным образом получена заготовка, имеющая желаемую геометрическую форму и размеры.

Используемый в описании термин "по существу неповрежденный" означает сохранение, по большей части, общей формы и структуры заготовки или изделия. Этот термин не исключает образование относительно незначительных повреждений или крошение заготовки, до тех пор, пока сохраняется ее общая форма и структура.

Используемые здесь формы существительного в единственном числе предназначены также для форм существительного во множественном числе, если контекст явно не указывает на иное. Кроме того,

использование союза "или" предназначено для включения союзов "и/или", если контекст явно не указывает на иное.

Предлог "около" является термином приближения и предназначен для включения незначительных изменений в буквально заявленных количествах, что понятно специалистам в данной области техники. Такие варианты включают, например, стандартные отклонения, связанные со способами, обычно используемыми для измерения количеств составляющих простых веществ или компонентов композиционного материала, или других свойств и характеристик. Все значения, характеризуемые вышеописанным предлогом "около", также предназначены для указания точных числовых значений, раскрытых в документе. Более того, все диапазоны включают в себя верхний и нижний пределы, а также все значения в этих пределах.

Любые композиции, описанные в настоящем документе, предназначены для охвата композиций, которые состоят из, включают, по существу, различные компоненты, идентифицированных в настоящем описании, а также содержат их, если явно не указано обратное.

Некоторые аббревиатуры, используемые здесь, означают следующее:

ER = своевременное извлечение (своевременное удаление) прессованных плит камней для мощения;

PCC = заготовка для мощения в виде бруска;

VBUF = вертикальный поток снизу вверх;

CV = объем камеры (для предварительного отверждения и для отверждения);

SV = объем образца (образец может быть бруском или камнем для мощения на их прессующих опорах или может быть брусками или камнями, уложенными и плотно упакованными друг с другом для формирования определенной геометрической формы, такой как состоящих из отдельных частей куб или прямоугольная призма, для отверждения с дополнительной платформой или без нее);

CC = непрерывное отверждение отдельных камней для мощения, поступающих в камеру с одной стороны, где брусчатка может быть помещена с помощью системы транспортировки и загрузки материалов на движущийся (непрерывно или прерывисто) конвейер, и выходящих с другой стороны из той же камеры.

Получение жидкой композиции для производства заготовки.

Предполагается, что принципы настоящего изобретения могут найти применение к ряду различных по составу композиций и структуре и необязательно ограничиваются этим. Таким образом, нижеследующие сведения должны быть характеризующими изобретение, но не исчерпываются примерами составов и структурой заготовок. Согласно некоторым вариантам отверждаемые заготовки, пригодные для способов отверждения, устройств и композиций по настоящему изобретению, могут быть произведены из материала, обеспечивающего образование карбонатов. В соответствии с дополнительными и частными случаями изобретения отверждаемые заготовки, пригодные для способов отверждения, устройств и композиций по настоящему изобретению, могут быть произведены из силиката кальция, и/или силиката магния, и/или гидроксида магния.

Термин "силикат кальция", используемый здесь, обычно относится к природным минералам или синтетическим материалам, которые состоят из одной или нескольких групп фаз силиката кальция. Примеры фаз силиката кальция, способные образовывать карбонат, включают CS (волластонит или псевдо-волластонит, а иногда с формулой  $\text{CaSiO}_3$  или  $\text{CaO}\cdot\text{SiC}$ ),  $\text{C}_3\text{S}_2$  (ранкинит, а иногда с формулой  $\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7$  или  $3\text{CaO}_2\cdot\text{SiO}_2$ ),  $\text{C}_2\text{S}$  (белит,  $\beta\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$  или агвит,  $\text{Ca}_7\text{Mg}(\text{SiO}_4)_4$  или бредигит,  $\alpha\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$  или  $\gamma\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$ , а иногда с формулой:  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$  или  $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ). Аморфные фазы также могут образовывать карбонат в зависимости от их состава. Каждый из этих материалов могут включать один или несколько других ионов и оксидов металлов (например, оксиды алюминия, магния, железа или марганца) или их смеси или могут включать некоторое количество силиката магния в природной или синтетической форме (формах) в диапазоне от следового количества (1%) до примерно 50% или более по весу. Примеры веществ, которые не образуют карбонаты или представляют инертные фазы, включают геленит/мелилит ( $(\text{Ca}, \text{Na}, \text{K})_2[(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Al}, \text{Si})_3\text{O}_7]$ ) и кристаллический диоксид кремния ( $\text{SiO}_2$ ). Фазы силиката кальция, которые обеспечивают образование карбонатов, входящих в состав силиката кальция, не сильно гидратируются при воздействии воды. Благодаря этому композиционные материалы, полученные с использованием в качестве связующего силиката кальция, не создают значительной прочности при взаимодействии с водой. Обеспечение прочности контролируется воздействием на композиционные материалы, содержащие силикат кальция, специфических режимов отверждения в присутствии  $\text{CO}_2$ .

Используемый термин "силикат магния" относится к природным минералам или синтетическим материалам, которые состоят из одной или нескольких групп магния содержащих и кремнийсодержащих соединений, включающих, например,  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$  (также известный как "форстерит") и  $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$  (также известный как "тальк") и  $\text{CaMgSiO}_4$  (также известный как "монтицеллит"), каждый из которых может включать один или несколько других ионов металлов и оксидов (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% по весу или более.

В примерных вариантах осуществления изобретения используется измельченный силикат кальция. Измельченный силикат кальция может иметь средний размер частиц, от примерно 1 до 100 мкм (например, от около 1 до около 80 мкм, от около 1 до около 60 мкм, от около 1 до около 50 мкм, от около 1 до около 40 мкм, от около 1 до около 30 мкм, от около 1 до около 20 мкм, от около 1 до около 10 мкм, от около 1 до около 5 мкм, от около 5 до около 90 мкм, от около 5 до около 80 мкм, от около 5 до около 70 мкм, от около 5 до около 60 мкм, от около 5 до около 50 мкм, от примерно 5 до примерно 40 мкм, от примерно 10 до примерно 80 мкм, от примерно 10 до примерно 70 мкм, от примерно 10 до примерно 60 мкм, от примерно 10 до примерно 50 мкм, от примерно 10 до примерно 40 мкм, от примерно 10 до примерно 30 мкм, от около 10 до около 20 мкм, от около 1 мкм (контроль методом магнитного порошка), 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 или 100 мкм.

Измельченный силикат кальция может иметь насыпную плотность от около 0,5 до около 3,5 г/мл (например, 0,5, 1,0, 1,5, 2,0, 2,5, 2,8, 3,0 или 3,5 г/мл) и насыпную плотность от около 1,0 до около 1,2 г/мл.

Измельченный силикат кальция может иметь площадь удельной поверхности по Блейну от примерно 150 до примерно 700 м<sup>2</sup>/кг (например, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600, 650 или 700 м<sup>2</sup>/кг).

В примерных вариантах использования композиции силиката кальция измельченные частицы силиката кальция имеют общий диаметр 10% частиц, превышающий 1 мкм, в объемном распределении частиц по размерам. Любые подходящие наполнители могут быть использованы для формирования композиционных материалов из композиции, обеспечивающих образование карбоната, по настоящему изобретению, например содержащих оксид кальция, или кремнеземсодержащих материалов. Наполнители могут включать инертные материалы, такие как трапп, строительный песок, окатанный мелкий гравий.

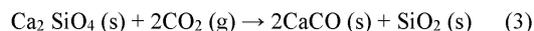
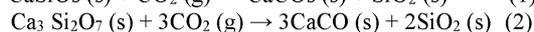
В некоторых предпочтительных вариантах осуществления изобретения в качестве наполнителей могут также использоваться легкие наполнители, такие как перлит или вермикулит. В качестве тонкодисперсных наполнителей могут также использоваться такие материалы, как промышленные отходы (например, зола уноса, шлак, кварцевая пыль). Многие наполнители могут иметь любой подходящий средний размер частиц и распределение по размерам.

В некоторых вариантах осуществления изобретения многие наполнители имеют 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").

В состав композиционного материала могут также входить химические добавки, например пластификаторы, замедлители, ускорители, диспергаторы и другие реологические модификаторы. Некоторые коммерчески доступные химические добавки, такие как Glenium™ 7500 от BASF® Chemical, HC-300 от SICA и Acumer™ от Dow Chemical Company, также могут быть включены. В некоторых вариантах осуществления изобретения один или несколько пигментов могут быть равномерно или, по существу, неравномерно диспергированы в связующих матрицах, в зависимости от желаемого композиционного материала. Пигмент может быть любым подходящим пигментом, включающим, например, оксиды различных металлов (например, краситель железа оксид чёрный, оксид кобальта и оксид хрома). Пигмент может быть любого цвета или любых оттенков, например выбран из черного, белого, синего, серого, розового, зеленого, красного, желтого и коричневого. Пигмент может присутствовать в любом подходящем количестве в зависимости от желаемого композиционного материала, например в количестве от примерно 0,0 до примерно 10% по весу.

Основным преимуществом используемой композиции является то, что она обеспечивает образование карбонатов с получением композиционных материалов, которые могут применяться в различных областях.

Предполагается, что при карбонизации силиката кальция протекают следующие реакции:



Как правило, CO<sub>2</sub> вводится в виде газовой фазы, которая растворяется в инфльтрационной среде, такой как вода. Растворение CO<sub>2</sub> образует кислые углекислые формы (такие как уголекислота, H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), что приводит к снижению pH раствора. Слабокислый раствор неконгруэнтно растворяет кальций из фаз силиката кальция, затем уголекислота превращается в водные карбонат-ионы. Кальций может быть выщелочен из кальцийсодержащих аморфных фаз по аналогичному механизму. Высвобождающиеся катионы кальция и водные карбонатные группы (такие как HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> и Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) приводят к осаждению нерастворимых твердых карбонатов. Соединения кремния при протекании химических реакций (1)-(3) превращены в SiO<sub>2</sub>(s) и представляют собой минеральные частицы.

$\text{CaCO}_3$ , полученный в результате этих или любых других реакций карбонизации  $\text{CO}_2$ , описанных здесь, может существовать как один или более из нескольких веществ, кристаллизующихся в различных формах  $\text{CaCO}_3$  (например, кальцит, арагонит и фатерит). Частицы  $\text{CaCO}_3$  предпочтительно находятся в форме кальцита, но могут также присутствовать в виде арагонита или фатерита или в виде комбинации двух или трех веществ, кристаллизующихся в различных формах, (например, кальцит/арAGONит, кальцит/фатерит, арагонит/фатерит или кальцит/арAGONит/фатерит).

В зависимости от желаемого результата карбонизации может быть использована любая подходящая марка  $\text{CO}_2$ . Например, может быть использован промышленный сорт  $\text{CO}_2$  с чистотой около 99%, который коммерчески доступен в различных промышленных газовых компаниях, таких как Praxair, Inc., Linde AG, Air Liquide и др.  $\text{CO}_2$  для подачи может храниться в больших резервуарах под давлением в виде жидкого углекислого газа, содержащегося при такой температуре, чтобы поддерживалось требуемое давление насыщенного пара, например, приблизительно 300 фунтов/кв. дюйм. Затем этот газ подается по трубопроводу в корпус или камеру отверждения  $\text{CO}_2$  (карбонизации). В простейшей системе  $\text{CO}_2$  пропускается через корпус с контролируемой скоростью, достаточной для вытеснения окружающего воздуха в корпусе. В общем случае время продувки будет зависеть от размера камеры или корпуса и скорости подачи газа  $\text{CO}_2$ . Во многих системах этот процесс продувки может быть выполнен за время, измеряемое в минутах, чтобы получить концентрацию  $\text{CO}_2$  до разумного уровня, чтобы затем можно было выполнить отверждение. В простых системах газ  $\text{CO}_2$  затем подается в систему с заданной скоростью, чтобы поддерживать концентрацию  $\text{CO}_2$ , достаточную для инициирования реакции отверждения.

Карбонизация, например, может быть осуществлена взаимодействием с  $\text{CO}_2$  с помощью контролируемого процесса гидротермического жидкофазного спекания (HLPS) для создания связующих элементов, которые удерживают вместе различные компоненты композиционного материала. Например, в предпочтительных вариантах осуществления  $\text{CO}_2$  используется в качестве реакционноспособного вещества, приводящего к реакции  $\text{CO}_2$  и созданию связующих элементов в получаемых композиционных материалах с углеродным следом, не имеющим аналогов ни в одной существующей технологии производства. Процесс HLPS термодинамически управляется посредством свободной энергии химической реакции(й) и уменьшением поверхностной энергии (площади), вызванной ростом кристаллов. Кинетика процесса HLPS протекает с разумной скоростью при низкой температуре, поскольку раствор (водный или неводный) используется для транспортировки реакционноспособных частиц вместо использования жидкости с высокой температурой плавления или высокотемпературной кристаллической среды.

В совокупности связующие элементы образуют взаимосвязанную связующую матрицу, обеспечивающую прочное соединение и удерживающую композиционный материал вместе. Например, микроструктурными связующими элементами может быть связующий элемент, содержащий сердцевину непрореагировавшей фазы силиката кальция, которая не содержит карбонат, полностью или частично окруженную оболочкой из кремния различной толщины, что полностью или частично заключена в частицы  $\text{CaCO}_3$ ; связующий элемент, содержащий сердцевину из кремния, образованную карбонизацией фазы силиката кальция, обеспечивающей образование карбоната, полностью или частично окруженную оболочкой из кремния различной толщины, что полностью или частично заключена в частицы  $\text{CaCO}_3$ ; связующий элемент, содержащий сердцевину из кремния, образованную карбонизацией фазы силиката кальция, обеспечивающей образование карбоната, и полностью или частично заключенную в частицы  $\text{CaCO}_3$ ; связующий элемент, содержащий сердцевину из фазы, не обеспечивающей образование карбоната, полностью или частично заключенную в частицы  $\text{CaCO}_3$ ; связующий элемент, содержащий многофазную сердцевину, состоящую из кремния, образованного карбонизацией фазы силиката кальция, обеспечивающей образование карбоната, и частично прореагировавшего силиката кальция, причем многофазная сердцевина полностью или частично окружена оболочкой из кремния различной толщины, что полностью или частично заключен в частицы  $\text{CaCO}_3$ ; связующий элемент, содержащий многофазное ядро, состоящее из фазы, не обеспечивающей образование карбоната, и частично прореагировавшего силиката кальция, причем многофазное ядро полностью или частично окружено оболочкой из кремния различной толщины, что полностью или частично заключена в частицы  $\text{CaCO}_3$ ; связующий элемент, содержащий частицы частично прореагировавшего силиката кальция без отчетливого ядра и оболочки из кремния, заключенной в частицы  $\text{CaCO}_3$ ; и связующий элемент, содержащий пористые частицы без отчетливой оболочки из кремния, заключенной в частицы  $\text{CaCO}_3$ .

Богатая кремнием оболочка обычно имеет различную толщину внутри связующего элемента и от связующего элемента к связующему элементу обычно варьируется от примерно 0,01 до примерно 50 мкм. В некоторых предпочтительных вариантах осуществления оболочка, богатая кремнием, имеет толщину в диапазоне от примерно 1 до примерно 25 мкм. Термин "богатый кремнием" обычно относится к содержанию кремния, концентрация которого является значительной среди компонентов материала, например концентрация кремния превышает около 50% по объему. Остальная часть оболочки из кремния состоит в основном из  $\text{CaCO}_3$ , например от 10 до примерно 50%  $\text{CaCO}_3$  по объему.

Богатая кремнием оболочка может также включать инертные или непрореагировавшие частицы, например от 10 до примерно 50% мелилита по объему. Богатая кремнием оболочка обычно имеет переход от части, состоящей в основном из кремния, к части, содержащей в основном  $\text{CaCO}_3$ . Кремний и

$\text{CaCO}_3$  могут присутствовать в виде смешанных или обособленных областей. Богатая кремнием оболочка также характеризуется различным содержанием кремния, от связующего элемента к связываемому элементу обычно варьируется от примерно 50 до примерно 90% по объему (например, от примерно 60 до примерно 80%). В некоторых вариантах осуществления богатая кремнием оболочка обычно характеризуется содержанием кремния в диапазоне от примерно 50 до примерно 90% по объему и содержанием  $\text{CaCO}_3$  в диапазоне от примерно 10 до примерно 50% по объему. В некоторых вариантах осуществления богатая кремнием оболочка характеризуется содержанием кремния в диапазоне от примерно 70 до примерно 90% по объему и содержанием  $\text{CaCO}_3$  в диапазоне от примерно 10 до примерно 30% по объему. В некоторых вариантах осуществления богатая кремнием оболочка характеризуется содержанием кремния в диапазоне от примерно 50 до примерно 70% по объему и содержанием  $\text{CaCO}_3$  в диапазоне от примерно 30 до примерно 50% по объему.

Богатая кремнием оболочка может окружать ядро с различной степенью покрытия в любом месте от примерно 1 до примерно 99% (например, от примерно 10 до примерно 90%). В некоторых вариантах осуществления богатая кремнием оболочка окружает ядро со степенью покрытия менее около 10%. В некоторых вариантах осуществления изобретения богатая кремнием оболочка различной толщины окружает сердечник со степенью покрытия, превышающей примерно 90%.

Связующий элемент может иметь любой размер и любую правильную или неправильную, твердую или полую структуру, которая может так или иначе быть обусловлена выбором сырья и производственным процессом с учетом предполагаемого применения. Примерные структуры включают кубы, кубоиды, призмы, диски, пирамиды, многогранники или многогранные частицы, цилиндры, сферы, конусы, кольца, трубки, полумесяцы, иглы, волокна, нити, хлопья, сферы, субсферы, бусины, гранулы, продолговатые тела, стержни, чешуйки и т.д.

Множество связующих элементов может иметь любой подходящий средний размер частиц и распределение по размерам в зависимости от желаемых свойств и эксплуатационных характеристик изделия из композиционных материалов. В некоторых вариантах осуществления изобретения, например, множество связующих элементов имеют средний размер частиц в диапазоне от примерно 1 до примерно 100 мкм (например, от примерно 1 до примерно 80 мкм, от примерно 1 до примерно 60 мкм, от примерно 1 до примерно 50 мкм, от примерно 1 до примерно 40 мкм, от примерно 1 до примерно 30 мкм, от примерно 1 до примерно 20 мкм, от примерно 1 до примерно 10 мкм, от примерно 5 до примерно 90 мкм, от примерно 5 до примерно 80 мкм, от примерно 5 до примерно 70 мкм, от примерно 5 до примерно 60 мкм, от примерно 5 до примерно 50 мкм, от примерно 5 до примерно 40 мкм, от примерно 10 до примерно 80 мкм, от примерно 10 до примерно 70 мкм, от примерно 10 до примерно 60 мкм, от примерно 10 до примерно 50 мкм, от примерно 10 до примерно 40 мкм, от примерно 10 до примерно 30 мкм или от примерно 10 до примерно 20 мкм).

Взаимосвязанная сеть связующих элементов (связующая матрица) может также включать в себя множество крупных или мелких частиц наполнителя, которые могут быть выполнены из любого подходящего материала, иметь любой подходящий размер частиц и распределение по размерам. В некоторых предпочтительных вариантах осуществления изобретения, например, частицы наполнителя изготавливаются из богатого карбонатом кальция материала, такого как известняк (например, молотый известняк). В некоторых материалах частицы наполнителя изготавливаются из одного или нескольких материалов на основе  $\text{SiO}_2$  или силикатов, таких как кварц, слюда, гранит и полевошпат (например, молотый кварц, молотая слюда, молотый гранит, молотый полевошпат).

В некоторых вариантах осуществления изобретения частицы наполнителя могут включать природные, синтетические и утилизируемые материалы, такие как стекло, утилизируемые отходы стекла, угольный шлак, зола уноса, богатый карбонатом кальция материал и богатый карбонатом магния материал.

В некоторых вариантах осуществления изобретения множество частиц наполнителя имеет средний размер частиц в диапазоне от примерно 5 до примерно 7 мм (например, от примерно 5 до примерно 5 мм, от примерно 5 до примерно 4 мм, от примерно 5 до примерно 3 мм, от примерно 5 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 около 20 до примерно 500 мкм, от около 20 до примерно 300 мкм, от около 100 мкм до примерно 5 мм, от около 100 мкм до примерно 4 мм, от около 100 мкм до примерно 3 мм, от примерно 100 мкм до примерно 2 мм или от около 100 мкм до около 1 мм).

Массовое соотношение связующих элементов к частицам наполнителя может быть любым подходящим соотношением, зависящим от предполагаемого применения изделия из композиционного мате-

риала. Например, массовое соотношение связующих элементов к частицам наполнителя может находиться в диапазоне около (от 50 до 99):около (от 1 до 50), например, около (от 60 до 99):около (от 1 до 40),

около (от 80 до 99):около (от 1 до 20), около (от 90 до 99):около (от 1 до 10), около (от 50 до 90):около (от 10 до 50) или около (от 50 до 70):около (от 30 до 50). В некоторых вариантах осуществления изобретения в зависимости от применения массовое соотношение связующих элементов к частицам наполнителя может находиться в диапазоне около (от 10 до 50):около (от 50 до 90), например, около (от 30 до 50):около (от 50 до 70), около (от 40 до 50):около (от 50 до 60).

Заготовки, пригодные для отверждения в соответствии с принципами настоящего изобретения, обычно обладают значительной пористостью. Когда заготовка формируется из материала, обеспечивающего образование карбоната,  $\text{CO}_2$  должен диффундировать по всей заготовке, чтобы он мог реагировать с химическими компонентами заготовки на всех глубинах и в объеме, достаточном для создания желательных физических и химических свойств внутри изделия, насыщенного углекислым газом. Поскольку диффузия газа  $\text{CO}_2$  происходит значительно быстрее, чем диффузия  $\text{CO}_2$ , растворенного в воде или любой из связанных с ней водных форм, желательно, чтобы поры заготовки были "открыты", чтобы облегчить диффузию газообразного  $\text{CO}_2$  через них. С другой стороны, присутствие воды может быть необходимо для облегчения реакции образования карбоната. Например, в отношении силиката кальция, как описано в документе, растворение  $\text{CO}_2$  образует кислые соединения (такие как угольная кислота,  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), что приводит к снижению pH раствора. Слабокислый раствор неконгруэнтно растворяет виды кальция из фаз силиката кальция. Высвобожденные катионы кальция и диссоциированные карбонатные частицы могут привести к образованию вышеописанных связующих элементов. Количество воды, содержащейся в заготовках, выбирается таким образом, чтобы обеспечить соответствующую диффузию углекислого газа, как отмечалось выше. Например, в соответствии с некоторыми неограниченными вариантами осуществления изобретения заготовка может содержать воду в количестве от 2 до 5% по весу.

Получение жидкой смеси для получения одной или нескольких заготовок.

Жидкая смесь может быть получена или иным образом произведена для одного или нескольких заготовок, имеющих желаемую геометрическую форму и размеры. Нет никаких особых ограничений на подходящие формы или размеры заготовок. Так, например, заготовки могут быть предоставлены в виде камней для мощения, бетонных блоков, черепицы, бетонных плит, литых плит, полученных мокрым способом, и многопустотных железобетонных плит, газобетонных изделий, пенобетонных изделий, газобетонных стеновых камней, пористы бетонных панелей. Аналогичным образом, конкретный процесс или техника формования из жидкой смеси заготовки, имеющей желаемую геометрическую форму и размеры, не особенно ограничены. Любая традиционная технология формования может быть использована, и предполагается, что она используется в рамках настоящего изобретения. Подходящие методы формования включают, но не ограничиваются ими, заливку, формование, литье волокон, прессование, экструзию и/или вспенивание. В качестве одного конкретного неограниченного примера можно использовать обычную технологию прессования, которая описана выше и проиллюстрирована на фиг. 1, 2.

Независимо от конкретной технологии, используемой для формования, согласно некоторым аспектам настоящего изобретения формование может осуществляться с помощью одной или нескольких опор, таких как опора 40 на фиг. 1-2. Опора может помочь в формовании заготовок во многих возможных отношениях. Например, жидкая смесь подвергается воздействию давления на поверхности опоры, чтобы облегчить процесс формования. Однако особая роль опоры в процессе формования не настолько ограничена. Таким образом, опора может быть использована в качестве отдельного элемента, помимо действительного средства прессования, в результате чего, после того как заготовки уже были сформованы отдельными элементами, сформированные заготовки также могут быть затем помещены на поверхность опоры. Ряд различных возможных применений опоры в процессе формования также возможен и обеспечивается принципами настоящего изобретения.

Согласно некоторым возможным вариантам осуществления настоящего изобретения опоры могут быть выполнены в виде того, что в технике называется плиты для прессования. Такие плиты для прессования могут быть сформированы из различных материалов, если они обеспечивают требуемую степень жесткости для поддержки одной или нескольких заготовок на их поверхности. Подходящие материалы включают пластмассы, металлы и композиционные материалы. Согласно одному примеру осуществления настоящего изобретения опора может быть сформирована, по крайней мере частично, из металла. Предполагается, что опора может быть выполнена полностью из металлического сплава или, возможно, в виде композиционного материала, включающего в себя металлический компонент. Независимо от этого, согласно этому варианту осуществления опора может быть выполнена электропроводящей. Эта особенность имеет то преимущество, что позволяет нагревать и эффективно передавать тепловую энергию заготовкам на последующих стадиях отверждения. Согласно некоторым вариантам металлическая опора может нагреваться с помощью методов электроконтактного нагрева с целью повышения температуры заготовок, расположенных на ее поверхности.

Предварительное отверждение одной или нескольких заготовок.

В соответствии с некоторыми вариантами настоящего изобретения одна или несколько заготовок

необязательно подвергаются частичному или предварительному процессу отверждения. Основным критерием для разработки соответствующей процедуры частичного или предварительного отверждения является обеспечение у одной или нескольких заготовок достаточной прочности, чтобы они могли быть сняты с одной или нескольких опор и оставаться по существу неповрежденными. В качестве дополнительной возможной задачи или критериев для разработки соответствующей процедуры частичного или предварительного отверждения является обеспечение у одной или нескольких заготовок достаточной прочности, чтобы выдержать вес нескольких дополнительных заготовок, укладываемых поверх них, таких как тело камня, для нижнего ряда паллетированного куба из заготовок, сформированного для окончательного отверждения, как описано далее в настоящем документе.

Как упоминалось ранее, возможность снятия заготовок с их опор до завершения отверждения дает ряд достоинств и преимуществ. Во-первых, опоры, или плиты для прессования, могут быть возвращены более быстро для использования в последующих операциях прессования и производства, что приводит к повышению эффективности в том, что меньше плит для прессования необходимо использовать для производства, чтобы обеспечить тот же объем изготавливаемой продукции. Во-вторых, цементно-бетонные составы, обеспечивающие образование карбоната, по настоящему изобретению имеют преимущества от максимального воздействия газообразного реагента (например, углекислого газа), а также от контролируемой потери влаги. Наличие большой поверхности заготовки в контакте с поверхностью опоры или плиты для прессования препятствует как поступлению газообразного реагента в заготовку, так и выделению из него влаги. Снятие заготовок с опор или плит для прессования может повысить и улучшить эффективность дальнейших операций отверждения. В-третьих, раннее снятие заготовки с их опор позволяет собрать их в стопку, имеющую заданную геометрическую форму. Эта стопка может принимать форму плотно сложенного из заготовок куба или другой геометрической фигуры. Подвергать такой плотно уложенный куб или другую форму дальнейшим операциям отверждения может быть выгодно по сравнению с отверждением заготовок, размещенных на опорах по отдельности, с точки зрения удержания влаги/потери свойств строительных материалов и удержания тепла заготовками во время дальнейших операций отверждения. В-четвертых, раннее снятие заготовок с их опор позволяет собрать их в стопку, пригодную для транспортировки, после завершения окончательного отверждения, что устраняет необходимость в последующем этапе обработки материала.

Прочность частично или предварительно отвержденных заготовок может быть охарактеризована любой соответствующей величиной, такой как прочность на растяжение, прочность на сжатие или и то, и другое. В качестве примера, не ограничивающего объем испрашиваемой правовой охраны, одна или несколько заготовок могут быть частично или предварительно отверждены до прочности на сжатие от около 2000 до около 5000 фунт/кв. дюйм или от около 2400 до около 4500 фунт/кв. дюйм, измеренной с использованием стандарта ASTM C140. Минимальная прочность, по крайней мере около 2000 фунт/кв. дюйм, является предпочтительной для обеспечения заготовки достаточной прочностью, чтобы произвести обработку, по существу не повредив изделие. С другой стороны, частичное или предварительное отверждение заготовок для достижения прочности на сжатие, значительно превышающей 5000 фунт/кв. дюйм, может оказаться невыгодным с точки зрения уменьшения количества воды, содержащейся в заготовке, что может препятствовать проведению дополнительных операций по отверждению и ограничивать конечную прочность на сжатие отвержденного изделия (например, по меньшей мере около 8000 фунт/кв. дюйм).

Согласно некоторым вариантам осуществления изобретения частичное или предварительное отверждение заготовок включает введение заготовок и одной или нескольких опор в камеру предварительного отверждения, а в случае заготовок, сформированных из цементной/бетонной композиции, обеспечивающей образование карбоната, воздействие на заготовки и их опоры атмосферы, содержащей углекислый газ, воздух или их смесь, в течение заданного периода времени. Конкретные условия, используемые в камере, могут изменяться в зависимости от конструкции самой камеры, химической природы компонентов, образующих цементный/бетонный состав заготовок, желаемой степени предварительно отвержденной прочности и т.д. Вообще говоря, согласно некоторым примерам, не ограничивающим объем правовой охраны, процедура частичного или предварительного отверждения может проводиться при одном или нескольких из следующих режимах работы: от примерно 4 до примерно 200°C, от примерно 50 до примерно 130°C или от примерно 60 до примерно 85°C; время отверждения от примерно 60 до примерно 600 мин, от примерно 60 до примерно 360 мин, от примерно 60 до примерно 300 мин, от примерно 60 до примерно 240 мин, от примерно 60 до примерно 180 мин, от примерно 60 до примерно 120 мин или от примерно 60 до примерно 90 мин; давление от примерно 0,01 до примерно 0,04 фунтов/кв. дюйм, относительная влажность от около 1 до около 80% и концентрация CO<sub>2</sub> от около 1 до около 99%.

Согласно одному дополнительному варианту осуществления опоры 40 могут быть изготовлены из проводящего материала, такого как металл, и опоры могут нагреваться с помощью подходящей технологии, такой как нагрев с помощью системы электрообогрева. Этот дополнительный нагрев опор может происходить в течение всего времени предварительного отверждения. В течение этого нагрева заготовки подвергаются предварительному отверждению или опоры могут нагреваться только в течение части об-

шего времени предварительного отверждения, например в течение начального периода линейного нарастания (например, первый 1 ч предварительного отверждения). В соответствии с этим дополнительным вариантом осуществления изобретения возможность повышения температуры заготовок 10 обеспечивается за счет нагрева опор 40, контактирующих с ними.

Дополнительные необязательные и неограничивающие принципы процесса частичного или предварительного отверждения для одной или нескольких заготовок и их опор могут включать в себя один или несколько:

(1) расход углекислого газа через камеру предварительного отверждения: от около 1 до около 250 л/мин, от около 10 до около 125 л/мин или от около 40 до около 80 л/мин;

(2) температура газа CO<sub>2</sub> на входе в камеру предварительного отверждения: от около 4 до около 225°C или от около 90 до около 100°C;

(3) температура непрерывной работы камеры предварительного отверждения: от около 4 до около 200°C, от около 50 до около 130°C или от около 60 до около 85°C;

(4) давление в камере предварительного отверждения: от около 0,05 до около 1,0 дюймов водяного столба, от около 0,3 до около 0,7 дюймов водяного столба или от около 0,4 до около 0,5 дюймов водяного столба;

(5) время достижения 50°C в камере предварительного отверждения: примерно до 1 ч, или около 20 мин, или меньше;

(6) время достижения 70°C в камере предварительного отверждения: примерно до 3 ч, или около 90 мин, или меньше;

(7) время достижения относительной влажности воздуха от 30 до 40% (RH) в камере предварительного отверждения: примерно до 1 ч, или около 30 мин, или меньше;

(8) время достижения 10% относительной влажности в камере предварительного отверждения: около 90 мин, или около 60 мин, или меньше;

(9) время достижения 5% относительной влажности в камере предварительного отверждения: около 2,5 ч, или около 2 ч, или меньше;

(10) остаточная вода (остающаяся в камнях для мощения в конце процесса частичного или предварительного отверждения) в весовом проценте от массы отдельного камня для мощения: от около 0,5 до около 3%, от около 1 до около 2,5% или от около 1,2 до около 1,6%;

(11) прочность на сжатие (измеряется с использованием стандарта ASTM C140) камней в конце частичного или предварительного отверждения: от около 1500 до около 8000 фунтов/кв. дюйм, приблизительно от 2000 до приблизительно 5000 фунтов/кв. дюйм или около от 2500 до около 3500 фунтов/кв. дюйм.

Конкретное устройство самой камеры частичного или предварительного отверждения не является особенно ограниченным, если она способна обеспечить соответствующие условия частичного или предварительного отверждения для заготовок и их опор.

Согласно одному поясняющему и неограничивающему варианту осуществления примеру частичное или предварительное отверждение 100 может быть обеспечено компонентами и конструктивными особенностями, схематически и в целом проиллюстрированными на фиг. 4. Как показано на фигуре, устройство частичного или предварительного отверждения 100 может включать камеру предварительного отверждения 120. Камера предварительного отверждения 120 может иметь любую подходящую форму или размеры и может быть выполнена из любого подходящего материала. Согласно некоторым примерам без ограничения объема прав камера предварительного отверждения 120 может быть выполнена из твердого материала, такого как металл, керамика или пластик. В частных случаях выполнения камера предварительного отверждения 120 может быть выполнена из металлического материала, такого как алюминий. Согласно дополнительным вариантам осуществления изобретения камера предварительного отверждения может быть выполнена из материала, обладающего изоляционными свойствами, чтобы улучшить удержание тепла в ней. В качестве альтернативы камера предварительного отверждения может быть выполнена из металлического материала, такого как алюминий, и дополнительно содержать еще изоляционный материал. В соответствии с дополнительным вариантом осуществления изобретения камера предварительного отверждения 120 может быть выполнена из гибкого материала. Гибкий материал может принимать любую подходящую форму, но предпочтительно обладает некоторой степенью термостойкости и, по меньшей мере, сопротивляется проникновению в материал газообразных реагентов, содержащихся во внутренней части камеры предварительного отверждения 120. Согласно одному примеру выполнения изобретения гибкая камера предварительного отверждения 120 может быть сформирована из тканого материала, покрытого полимером. Камера предварительного отверждения 120, как бы она ни была сформирована, имеет полую внутреннюю полость с заданным внутренним объемом камеры, как показано на CV на фиг. 4.

Как показано далее на фиг. 4, заготовки 10 вместе с их опорами 40 помещаются внутрь камеры предварительного отверждения 120, а дверца или торцевая крышка (не показаны) используются для герметизации заготовок 10 и их опор 40 внутри камеры предварительного отверждения таким образом, чтобы можно было контролировать условия режимов работы внутри камеры предварительного отвержде-

ния. Примерные условия камеры предварительного отверждения подробно описаны выше. В соответствии с некоторыми аспектами опорная система 130, такая как стеллажи/стеллажные системы, может быть дополнительно предусмотрена внутри камеры предварительного отверждения 120 для размещения и расположения заготовок 10 и их опор 40 во время частичного или предварительного отверждения. Камера предварительного отверждения 120 может быть дополнительно снабжена подходящей системой циркуляции газа для обеспечения газовой среды внутри камеры предварительного отверждения. При использовании для частичного или предварительного отверждения цементной/бетонной композиции, обеспечивающей образование карбоната, устройство 120 включает соответствующие конструктивные элементы для введения  $\text{CO}_2$  во внутреннюю часть камеры предварительного отверждения. Такие конструктивные элементы могут включать газовпускные патрубки 140 и газовыпускные патрубки 150, как показано далее на фиг. 4. Следует понимать, что как расположение, так и количество газовпускных патрубков 140 и/или газовыпускных патрубков 150 могут варьироваться в зависимости от размера камеры предварительного отверждения, желаемых скоростей потока и т.д. Согласно некоторым примерам без ограничения объема прав камера предварительного отверждения 120 имеет 1-16, 1-12, 1-8 или 1-4 газовпускных патрубков 140. Согласно дальнейшим иллюстративным вариантам осуществления газопускные патрубки 140 могут быть расположены любым подходящим образом. Например, один или несколько газопускных патрубков 140 могут быть расположены в месте, расположенном рядом с дном камеры предварительного отверждения 120. Это расположение может иметь преимущества, поскольку газ, вводимый через газопускные патрубки 140, может нагреваться. Когда нагретый газ попадает внутрь камеры предварительного отверждения 120, он имеет тенденцию подниматься вертикально к верхней части камеры предварительного отверждения и, таким образом, естественным образом распространяться в заготовки 10, расположенные внутри камеры предварительного отверждения. Нагретый газ естественным образом перемещается к одному или нескольким газовыпускным патрубкам 150, которые могут быть дополнительно предусмотрены в месте, расположенном рядом с верхней частью камеры предварительного отверждения 120.

Согласно еще одному варианту осуществления, как показано на фиг. 5, камера предварительного отверждения 120 и предметы, загруженные в нее для частичного или предварительного отверждения, могут быть сконструированы таким образом, чтобы внутренний объем (CV) камеры 120 предварительного отверждения 120 был лишь немного больше общего объема заготовок и их опор (SV), загруженных в нее, как схематически показано на фигуре. Так, например, камера предварительного отверждения 120 может быть сконструирована таким образом, чтобы она имела отношение внутреннего объема камеры (CV) к объему заготовки/опоры (SV) от примерно 1,05 до примерно 1,15. Такая конструкция камеры предварительного отверждения 120 позволяет более эффективно контролировать ее режимы работы. Это, в свою очередь, обеспечивает возможность более быстрого достижения оптимальных условий отверждения и завершения общего частичного или предварительного процесса отверждения за более короткий период времени по сравнению с камерами, имеющими конструкцию с меньшей эффективностью.

После завершения процесса частичного или предварительного отверждения заготовок 10 и их опоры 40 удаляются из камеры предварительного отверждения, а заготовки 10 снимаются с опор 40. Заготовки 10 могут быть сняты с опор 40 либо вручную, либо с помощью любого подходящего устройства или оборудования. Согласно некоторым примерам заготовки 10 могут быть сняты с опор 40 с помощью обычного автоматического укладчика грузов на паллеты (не показан), а заготовки 10 размещены в заданной геометрической форме, такой как куб. Этот пример, конечно, показателен, так как возможно любое количество подходящих геометрических форм, с помощью или без помощи механического устройства или оборудования. Подходящие геометрические формы, образованные извлеченными заготовками 10, могут представлять следующие: куб, пирамиду, конус, трехмерный усеченный конус, цилиндр, трехмерный пятиугольник, трехмерный шестиугольник, трехмерный семиугольник, трехмерный восьмиугольник или трехмерный девятиугольник. Согласно некоторым частным вариантам изобретения количество заготовок 10, полученных при одном частичном или предварительном процессе отверждения, является достаточным для формирования одной или нескольких вышеупомянутых геометрических форм. В качестве варианта осуществления заготовки 10 могут быть получены в результате нескольких частичных или предварительных групповых операций отверждения, собраны и использованы для формирования одной или нескольких из вышеупомянутых геометрических фигур. Предполагается, что в рамках принципов настоящего изобретения любое подходящее количество частично или предварительно отвержденных заготовок 10 может быть собрано и использовано для формирования одной или нескольких из вышеупомянутых геометрических фигур. Согласно иллюстративным и неограничивающим объем прав примерам 480 или более или 540 или более заготовок могут быть собраны для формирования вышеупомянутой геометрической фигуры, которая затем подвергается дальнейшим операциям отверждения, как единая структура. В соответствии с дополнительными частными случаями заготовки могут быть камнями для мощения, а совокупность заготовок может образовывать куб из брусчатки.

Характеристики камеры отверждения и технологического процесса.

Совокупность предварительно отвержденных заготовок, собранных в одну или несколько из вышеупомянутых геометрических фигур, затем может быть дополнительно отверждена вместе в виде одной

или нескольких унифицированных структур. Одна такая стопка 170 схематически проиллюстрирована на фиг. 6 в виде трехмерного куба, расположенного на дополнительной платформе 180, такой как поддон. Как уже упоминалось ранее, для формирования такой конфигурации можно использовать любое подходящее количество предварительно отвержденных заготовок. Примеры без ограничений объема прав включают 480 или более предварительно отвержденных заготовок или 540 или более предварительно отвержденных заготовок. Основным критерием разработки соответствующего способа отверждения является то, что он обеспечивает предварительно отвержденные заготовки с требуемыми прочностными характеристиками по завершении стадии отверждения. Прочность отвержденных изделий может быть охарактеризована любой соответствующей величиной, такой как прочность на растяжение, прочность на сжатие или и то, и другое. В качестве примера без ограничений объема прав одно или несколько отвержденных изделий могут быть отверждены до прочности на сжатие от около 8000 до около 17000 фунтов/кв. дюйм, от около 9000 до 15000 фунтов/кв. дюйм или по крайней мере от около 9200 фунтов/кв. дюйм, измеренной с использованием стандарта ASTM C140. Минимальная прочность по меньшей мере около 8000 фунтов/кв. дюйм является предпочтительной для обеспечения отвержденного изделия достаточной прочностью, чтобы соответствовать определенным отраслевым стандартам, используемым при конкретном применении по назначению отвержденного изделия, таким как камень для мощения, плиты и т.п. Отверждение до такой степени, которая обеспечивает значения прочности, значительно превышающие принятую стандартную минимальную прочность, является неэкономичным и ненужным.

В соответствии с некоторыми частными случаями выполнения изобретения отверждение заготовок, имеющих определенную геометрическую форму, включает введение стопки 170, при необходимости расположенной на платформе 180, в камеру отверждения, а в случае предварительно отвержденных заготовок, сформированных из цементной/бетонной композиции, обеспечивающей образование карбоната, воздействие на заготовки атмосферы, содержащей углекислый газ, воздух или их смесь, в течение заданного периода времени. Конкретные условия, используемые в камере, могут изменяться в зависимости от конструкции самой камеры, химической природы компонентов, образующих цементный/бетонный состав заготовок, желаемой степени прочности и т.д. Согласно некоторым неограниченным объемам прав примерам процесс отверждения может проводиться при одном или нескольких из следующих режимов: от примерно около 4 до около 200°C, от примерно 50 до примерно 30°C, от примерно 60 до примерно 95°C, от примерно 88 до примерно 95°C; время отверждения от около 6 до около 24 ч; давление от около 0,01 до около 0,04 фунтов/кв. дюйм, относительная влажность от около 1 до около 80% и концентрация CO<sub>2</sub> от около 1 до около 99%.

Дополнительные необязательные и неограничивающие объем прав режимы отверждения для производства отвержденных изделий могут включать в себя один или несколько следующих:

- (1) расход углекислого газа в камере отверждения: от около 1 до около 250 л/мин, от около 10 до около 125 л/мин или от около 50 до около 80 л/мин;
- (2) температура газа CO<sub>2</sub> на входе в камеру отверждения: от около 4 до около 225°C, от около 90 до около 40°C или от около 110 до около 20°C;
- (3) температура непрерывной работы камеры отверждения: от около 4 до около 200°C, от около 50 до около 130°C или от около 88 до около 95°C;
- (4) давление в камере отверждения: от около 0,05 до около 1,0 дюймов водяного столба, от около 0,3 до около 0,7 дюймов водяного столба или около 0,5 дюймов водяного столба;
- (5) время достижения 50°C в камере отверждения: примерно до 2 ч, или около 60 мин, или меньше;
- (6) время достижения 75°C в камере отверждения: примерно до 5 ч, или около 150 мин, или меньше;
- (7) время достижения 95°C в камере отверждения: примерно до 10 ч, или около 4 ч, или меньше;
- (8) время достижения от 30 до 40% относительной влажности воздуха в камере отверждения: примерно до 4 ч, или около 30 мин, или меньше;
- (9) время достижения 10% относительной влажности воздуха в камере отверждения: примерно до 6 ч, или около 100 мин, или меньше;
- (10) время достижения 5% относительной влажности воздуха в камере отверждения: примерно до 2,5 ч, или около 2 ч, или меньше;
- (11) остаточная вода (остающаяся в камне для мощения или бетоне в конце процесса отверждения) в мас.% отдельного камня: от около 0,1 до около 2%, от около 0,3 до около 1,5% или от около 0,2 до около 0,9%;
- (12) прочность на сжатие (измеренная с помощью стандарта ASTM C140) изделий в конце процесса отверждения: от около 8000 до около 17000 фунтов/кв. дюйм или от около 9000 до около 15000 фунтов/кв. дюйм.

Отверждение стопки заготовок вместе как единой структуры (например, 170) обеспечивает определенные выгоды и преимущества, которые не обеспечиваются обычными методами отверждения, которые обычно проводят всю операцию отверждения на заготовках, расположенных на поверхности опоры или плиты для прессования (например, 10, 40). Такие преимущества включают, но не ограничиваются ими:

(1) профиль распределения температур единой структуры является более однородным по сравнению с внутренней частью камеры, загруженной заготовками, уложенными на опоры, причем опоры действуют как физические разделители и изоляторы между различными слоями заготовок;

(2) профиль относительной влажности единой структуры является более однородным по сравнению с внутренней частью камеры, загруженной заготовками, уложенными на опоры, причем опоры и расположенные на них заготовки более подвержены влиянию изменений состава газового потока от уровня к уровню и в различных областях внутренней части камеры;

(3) распределение водяного пара внутри единой структуры в целом имеет тенденцию быть более однородным и устойчивым к пересушиванию наружных поверхностей и площадей заготовок по сравнению с заготовками, уложенными на опоры; и

(4) плотная укладка заготовок для формирования единой структуры, имеющей определенную геометрическую форму, обеспечивает минимальную разницу между внутренним объемом камеры (CV) и объемом стопки заготовок (SV), что позволяет достичь большей эффективности и контролировать режим внутренней части камеры.

Конкретное конструктивное выполнение самой камеры отверждения не особенно ограничено, если она способна обеспечить соответствующие условия отверждения для стопки заготовок. Согласно одному частному варианту осуществления изобретения отверждение может быть выполнено в той же камере, что и процесс предварительного отверждения. Таким образом, камера отверждения может иметь то же конструктивное выполнение и особенности, что и камера предварительного отверждения, как описано ранее, и предыдущее описание конструктивных особенностей для нее такое же. Например, камера отверждения может иметь те же особенности и может быть выполнена из тех же материалов, что и описанная ранее камера, схематически проиллюстрированная на фиг. 4. В степени, необходимой для размещения стопки заготовок (например, 170), опорная система или стеллаж 130, используемые для размещения опор 40, могут быть не включены или удалены из внутренней части камеры 120. Более того, как ранее обсуждалось выше, камера отверждения может быть сконструирована таким образом, чтобы ее внутренний объем (CV) был лишь немного больше объема стопки заготовок (SV). В связи с этим, ссылаясь на фиг. 5, элемент 120 может относиться к камере отверждения, а элемент 160 может схематически представлять стопку заготовок 170 и любую дополнительную платформу 180. Согласно некоторым вариантам осуществления изобретения отношение внутреннего объема камеры отверждения 120 к объему стопки заготовок, или CV/SV, составляет от около 1,05 до около 1,15. Как уже описывалось ранее, минимизация этого соотношения позволяет лучше и эффективнее контролировать режим в камере отверждения 120. Как отображено на фиг. 7, согласно некоторым альтернативным вариантам осуществления изобретения камера 120 может быть увеличена или спроектирована с достаточным объемом для размещения множества стопок заготовок 170А, 170В, 170С. Каждая стопка заготовок 170А-170С может быть снабжена конструктивным элементом для придания ей подвижности внутри камеры 120. Для этого может быть предусмотрено любое подходящее техническое средство. Согласно одному примеру рельсы 135 могут быть уложены вдоль подины 145 камеры 120, а платформы 180 снабжены колесами 155, которые обеспечивают возможность установки их на рельсы 135 и передвижения по ним так, что платформы 180 и стопки с заготовками 170 могли перемещаться по рельсам 135 внутри камеры 120 от одного конца камеры к другому. По возможности, соседние платформы 180/стопки заготовок 170 расположены близко друг от друга и, возможно, соединены друг с другом 165, как вагоны поезда. Такое близкое расположение минимизирует разницу между внутренним объемом камеры (CV) и общим объемом образца платформ 180/стопки заготовок 170 (SV).

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления изобретения отверждение может быть выполнено в отдельной камере, отличной от камер для стадии частичного или предварительного отверждения. Далее будут описаны некоторые дополнительные конструктивные особенности камер отверждения и условия эксплуатации в соответствии с аспектами настоящего изобретения.

Вертикальная прямоочная снизу вверх камера (VBUF) и технические характеристики процесса отверждения.

Как было описано ранее и показано на фиг. 4, один или несколько газопускных патрубков 140 могут быть предусмотрены в боковой(ых) части камеры. В качестве альтернативы камера отверждения сконструирована таким образом, что она имеет проницаемый элемент в нижней части или полу камеры, который позволяет нагретому газообразному реагенту (например, содержащему газ CO<sub>2</sub>) поступать в стопку заготовок от ее нижней части, и нагретый газообразный реагент проходит вверх сквозь поры заготовок.

На фиг. 8 показан частный случай такого расположения. Как отображено, устройство 200 включает камеру 210, показанную на изображении в разобранном изометрическом виде, которая включает в себя пол или нижнюю поверхность 220. Проницаемый элемент 230 предусмотрен в полу или нижней поверхности 220 камеры 210. Проницаемый элемент 230 может быть изготовлен из любого подходящего материала и иметь любую подходящую форму. Согласно одному примеру осуществления изобретения, проницаемый элемент 230 выполнен в виде стальной решетки. Как показано на фиг. 8, газообразный реагент, такой как газообразный CO<sub>2</sub> или смесь воздуха или другого газа и CO<sub>2</sub>, вводится через проницае-

мый элемент 230 и поступает вверх через платформу 180 и через стопку заготовок 170, как показано стрелками, отображенными на фиг. 8. По мере того, как нагретый газ поступает вверх, он немного охлаждается, проникая через стопку заготовок, таким образом обеспечивается тепловой градиент *in situ*, так что химический реагентный газ течет из более горячих областей (т.е. снизу) в верхние более холодные зоны. Таким образом, в камере 210 возможны быстрые режимы нагрева. Камера 210 может включать в себя один или несколько газовых выпускных патрубков в своей верхней части (например, фиг. 4, 150).

Камера 210 также может быть сконструирована так, чтобы иметь лишь немного больший внутренний объем (CV), чем объем стопки заготовок 170 и ее опоры 180, расположенных в ней (SV). Эта особенность схематически проиллюстрирована на фиг. 5. Таким образом, в соответствии с этим вариантом осуществления изобретения соотношение (CV/SV) внутреннего объема камеры отверждения (CV) к объему образца (SV) предпочтительно составляет от около 1,05 до около 1,15. Минимизация этого соотношения позволяет эффективно контролировать режим внутри камеры 210.

В соответствии с другим дополнительным вариантом осуществления изобретения камера VBUF 210 также может быть увеличена в размерах таким образом, чтобы она могла вместить множество стопок заготовок 170 и их дополнительные платформы 180. В соответствии с этим вариантом осуществления изобретения множество стопок заготовок 170 и их дополнительные платформы предпочтительно расположены плотно и близко друг от друга, чтобы уменьшить соотношение CV/SV. Например, соотношение CV/SP при такой компоновке находится в пределах ранее описанного диапазона от примерно 1,05 до примерно 1,15.

В соответствии с дополнительным вариантом осуществления изобретения устройство, изображенное на фиг. 7, может быть модифицировано с использованием концепции VBUF путем конструирования пола 145 камеры 120 с большим проницаемым элементом 230, таким как стальная решетка. В качестве альтернативы пол 145 может быть изменен путем выполнения в нем множества разнесенных друг от друга проницаемых элементов 230.

Эти варианты конструктивного выполнения обеспечивают расположение, изображенное на фиг. 7, с дополнительными преимуществами ранее описанного вертикального потока снизу вверх газообразного реагента, который облегчает отверждение заготовок.

Дополнительные и предпочтительные технологические характеристики камеры отверждения VBUF для производства отвержденных заготовок могут включать в себя один или несколько следующих:

- (1) расход углекислого газа в камеру отверждения VBUF: от около 1 до около 250 л/мин, от около 10 до около 125 л/мин или от около 50 до около 80 л/мин;
- (2) температура газа CO<sub>2</sub> на входе в камеру отверждения VBUF: от около 4 до около 250°C, от около 90 до около 200°C или от около 140 до около 150°C (температура газа на входе в VBUF означает температуру газа на нижней поверхности платформы 180/стопки заготовок 170, которая находится на проницаемом элементе 230);
- (3) VBUF температура непрерывной работы камеры: от около 4 до около 200°C, от около 50 до около 120°C или от около 80°C до около 98°C;
- (4) давление в камере VBUF: от около 0,05 до 1,0 дюймов водяного столба, или от около 0,3 до около 0,7 дюймов водяного столба, или от около 0,5 дюймов водяного столба;
- (5) время достижения 50°C в камере VBUF: примерно до 20 мин, или около 10 мин, или меньше;
- (6) время достижения 75°C в камере VBUF: примерно до 1 ч, или около 30 мин, или меньше;
- (7) время достижения 90°C в камере VBUF: примерно до 2 ч, или около 1 ч, или меньше;
- (8) время достижения относительной влажности воздуха (RH) в камере VBUF от 30 до 40%: примерно до 1 ч, или около 30 мин, или меньше;
- (9) время достижения 10% относительной влажности в камере VBUF: примерно до 90 мин, или около 30 мин, или меньше;
- (10) время достижения 5% относительной влажности в камере VBUF: примерно до 2,5 ч, или около 1 ч, или меньше.

Вертикальная прямоточная снизу вверх камера непрерывного отверждения (CC-VBUF) и характеристики процесса отверждения.

В настоящем изобретении также рассматриваются дальнейшие модификации вышеупомянутой конструкции камеры VBUF. Одна из таких модифицированных схем VBUF 200' показана на фиг. 9. Как показано на фигуре, модифицированная камера VBUF 210' снабжена модифицированным полом камеры 220' и модифицированным проницаемым элементом 230'. В соответствии с некоторыми дополнительными аспектами движущийся конвейер с несущей колосниковой решеткой или решеткой 230' в качестве предварительно отвержденной поверхности держателя заготовки 10 образует дно камеры CC-VBUF. Движение конвейера может быть непрерывным или прерывистым. Предварительно отвержденные заготовки 10 помещаются на колосниковую решетку/решетку 230' в один слой. Таким образом, в отличие от предыдущих вариантов осуществления, описанных здесь, после того как заготовки были подвергнуты процессу предварительного отверждения, они снимаются со своих опор 40, но не собираются или не компоновываются в какую-либо конкретную фигуру для дополнительного отверждения в качестве единой структуры. Предпочтительнее они помещаются на конвейер 230' в виде одного слоя с близким

расположением для дальнейшего отверждения в СС-VBUF. Такая форма в виде одного слоя предварительно отвержденных заготовок 10 в камере СС-VBUF позволяет завершить отверждение с помощью  $\text{CO}_2$  за значительно меньшее время. Например, отверждение предварительно отвержденных заготовок 10 может быть завершено за 6 ч или меньше. Предпочтительное соотношение CV к SV камеры VBUF тождественно соотношению для камеры VBUF (т.е.  $\text{CV/SV} =$  от около 1,05 до около 1,15).

Предварительно отвержденные заготовки, подлежащие отверждению, поступают с одной стороны камеры СС-VBUF, и конвейер перемещает их в направлении горизонтальных стрелок, показанных на фиг. 9, чтобы переместить отвержденные изделия к другой стороне камеры. В соответствии с некоторыми дополнительными вариантами осуществления отвержденные изделия затем могут быть собраны подходящим устройством и подготовлены к отправке. В соответствии с одним примером отвержденные изделия могут быть собраны машиной для штабелирования грузов и уложены в штабель, чтобы сформировать геометрическую фигуру, такую как куб. Геометрическая фигура 170 может быть сформирована на опоре 180 для облегчения транспортировки.

Химический газ-реагент (например,  $\text{CO}_2$  или смесь воздуха и/или другого газа и  $\text{CO}_2$ ) вводится из нижней части колосниковой решетки или решетки, в принципе идентичной конструкции и используемой в работе камеры VBUF, как показано вертикальными стрелками на фиг. 9. Скорость, с которой движется конвейерная лента 230', может быть использована для определения общего времени отверждения и, следовательно, общего времени пребывания изделий в камере СС-VBUF 210'. В качестве альтернативы конвейер 220' может перемещать изделия 10 в определенное место внутри камеры 210', останавливаясь на заданное время, а затем начиная свое перемещение, чтобы обеспечить выход из камеры 210' изделий 10. Температура поддерживается равномерной на протяжении большей части объема камеры, за исключением быстрого и короткого места входа и выхода заготовок с каждой стороны камеры СС-VBUF 210'. Минимизация соотношения CV/SV (например,  $\text{CV/SV} =$  от примерно 1,05 до примерно 1,15) облегчает поддержание равномерного распределения температуры и относительной влажности в камере 210'. Расход углекислого газа, температура и относительная влажность воздуха в камере СС-VBUF 210' аналогичны или совпадают с указанными выше для камеры VBUF 210'.

В соответствии с дополнительным вариантом осуществления изобретения устройство, изображенное на фиг. 7, может быть изменено с использованием описанного выше принципа СС-VBUF путем формирования пола 145 камеры 120 в виде подвижного транспортера 220'. Другими словами, рельсы 135 и колеса 155 могут быть заменены подвижным конвейером 220', имеющим проницаемую для газа ленту 230'. Это конструктивное изменение обеспечивает расположение, изображенное на фиг. 7, с дополнительными преимуществами описанного выше вертикального потока снизу вверх газообразного реагента, который облегчает отверждение заготовок. После завершения основной фазы отверждения, независимо от конкретных условий, конструкции камеры или используемых методов, отвержденные изделия подготавливаются к отправке или "доставляются" заказчику. Этот конкретный этап процесса охватывает широкий спектр действий, характерных для производства отвержденных заготовок. Например, отвержденные изделия могут быть просто перемещены в определенное место установки для окончательного извлечения отвержденных изделий из установки, в которой они изготовлены для транспортировки заказчику. В соответствии с другим примером осуществления уведомление может быть отправлено третьей стороне, которая осуществляет процесс извлечения и транспортировки отвержденных изделий клиенту. Такие уведомления предназначены для понимания этого этапа. "Отправка стопки отвержденных изделий заказчику" никоим образом не подразумевает, что фактическая доставка или транспортировка отвержденных изделий имеет место на этом этапе.

С учетом вышеизложенного очевидно, что обеспечивается ряд преимуществ изобретения и достигаются другие преимущества.

Поскольку в вышеописанные способы и композиции могут быть внесены различные изменения, не выходя за рамки сущности изобретения, предполагается, что все материалы, содержащиеся в приведенном выше описании, должны интерпретироваться как иллюстративные, а не ограничивающие объем прав. Предполагается, что настоящее изобретение охватывает любую возможную совокупность признаков изобретения, независимо от существенности этих признаков. Любые числовые значения, выражающие количества ингредиентов, компонентов, условий реакции и т.д., используемые в описании, должны интерпретироваться как охватывающие точные числовые значения, определенные здесь, а также изменяемые с учетом предлога "около". Несмотря на то, что численные диапазоны и параметры, изложенные в настоящем описании, являются приближенными, приведенные числовые значения указаны как наиболее точные. Однако любое числовое значение может по своей сути содержать погрешность или неточность, что очевидно из стандартного отклонения, обнаруженного в соответствующих методах измерения. Ни одна из приведенных здесь особенностей не должна интерпретироваться как ссылка на п.6 статьи 35 Свода законов США § 112, если только термин "средства" не используется явно.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ формования множества отвержденных бетонных изделий, каждое из которых обладает прочностью на сжатие отвержденного изделия, включающий:

введение текучей смеси с составом компонентов бетона во множество форм;

формование указанной текучей смеси внутри множества форм с помощью одной или более опор, тем самым образуя множество заготовок изделий;

частичное отверждение заготовок изделий до значения, достаточного для обеспечения прочности на сжатие, которая ниже, чем прочность на сжатие отвержденного изделия, тем самым образуя множество предварительно отвержденных заготовок;

объединение по меньшей мере части множества предварительно отвержденных заготовок с образованием стопки, имеющей заданную геометрическую конфигурацию, причем указанная геометрическая конфигурация представляет собой объемную форму, а объединение предварительно отвержденных заготовок представляет собой их удаление с поверхности указанных одной или более опор и укладывание этих предварительно отвержденных заготовок одну поверх другой;

введение полученной стопки предварительно отвержденных заготовок в камеру отверждения;

отверждение указанной стопки предварительно отвержденных заготовок до значения, достаточного для достижения прочности на сжатие отвержденного изделия, таким образом получая стопку отвержденных изделий, имеющую указанную геометрическую конфигурацию, причем стадия отверждения предварительно отвержденных заготовок включает воздействие на предварительно отвержденные заготовки углекислым газом в течение периода времени от примерно 6 до примерно 24 ч и температуры от примерно 60 до примерно 95°C.

2. Способ по п.1, дополнительно включающий отправку стопки отвержденных изделий, имеющей заданную геометрическую конфигурацию, заказчику.

3. Способ по п.1, в котором указанный состав компонентов включает один или более компонент цемента, обеспечивающий возможность получения карбоната, и один или более заполнителей, причем указанный один или более компонент цемента необязательно содержит силикат кальция, а указанная текучая смесь необязательно содержит воду.

4. Способ по п.1, в котором по меньшей мере одна из стадий введения и формования включает в себя одну или более стадий: заливку, виброобработку, прессование, экструзию или вспенивание.

5. Способ по п.1, в котором одна или более опор представляет собой плиту для прессования.

6. Способ по п.1, в котором множество заготовок образуют камни для мощения, бетонные блоки, черепицу, многопустотные железобетонные плиты, литые плиты, полученные мокрым способом, бетонные плиты, пенобетонные изделия, газобетонные изделия, газобетонные элементы каменной кладки или вентилируемые панели.

7. Способ по п.1, в котором прочность на сжатие предварительно отвержденных заготовок составляет от примерно 2000 фунтов/кв. дюйм (примерно 13,8 МПа) до примерно 5000 фунтов/кв. дюйм (примерно 34,5 МПа), измеренная в соответствии с ASTM C140, а прочность на сжатие отвержденного изделия составляет по меньшей мере примерно 8000 фунтов/кв. дюйм (примерно 55,2 МПа), измеренная в соответствии с CASTMC 140.

8. Способ по п.1, в котором стадия частичного отверждения заготовок дополнительно включает нагрев по меньшей мере одной опоры.

9. Способ по п.1, в котором предварительно отвержденные заготовки снимают с одной или более опор необязательно с помощью автоматического укладчика грузов на паллеты или системы транспортировки и загрузки материалов.

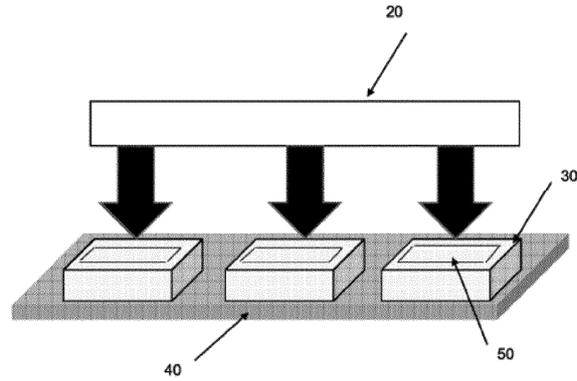
10. Способ по п.1, в котором заданная геометрическая конфигурация представляет собой куб.

11. Способ по п.1, в котором стадия частичного отверждения заготовок или стадия отверждения предварительно отвержденных заготовок включает введение заготовок или предварительно отвержденных заготовок в камеру предварительного отверждения или камеру отверждения соответственно и дополнительно включает введение нагретого газа в камеру предварительного отверждения или камеру отверждения из места, расположенного вблизи дна камеры предварительного отверждения или камеры отверждения, а также удаление нагретого газа из камеры предварительного отверждения или камеры отверждения из места, расположенного вблизи верхней части камеры предварительного отверждения или камеры отверждения.

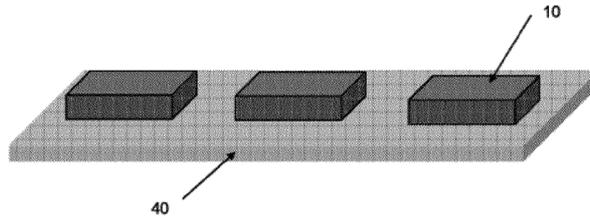
12. Способ по п.1, в котором стадия отверждения предварительно отвержденных заготовок дополнительно включает введение заготовок в камеру отверждения, размещение стопки предварительно отвержденных заготовок на подвижной платформе для перемещения комплекта предварительно отвержденных заготовок от одного конца камеры отверждения к противоположному концу.

13. Способ по п.1, в котором стадия частичного отверждения заготовок или стадия отверждения предварительно отвержденных заготовок включает введение заготовок или предварительно отвержденных заготовок в камеру предварительного отверждения или камеру отверждения соответственно, причем

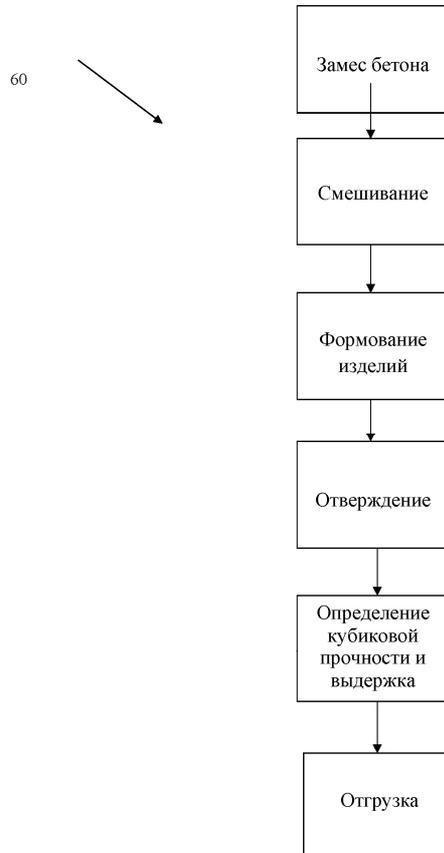
заготовки или предварительно отвержденные заготовки и их подложки имеют объем образца, а камера предварительного отверждения или камера отверждения имеет внутренний объем, и в котором отношение внутреннего объема камеры предварительного отверждения или камеры отверждения к объему образца составляет от примерно 1,05 до примерно 1,15.



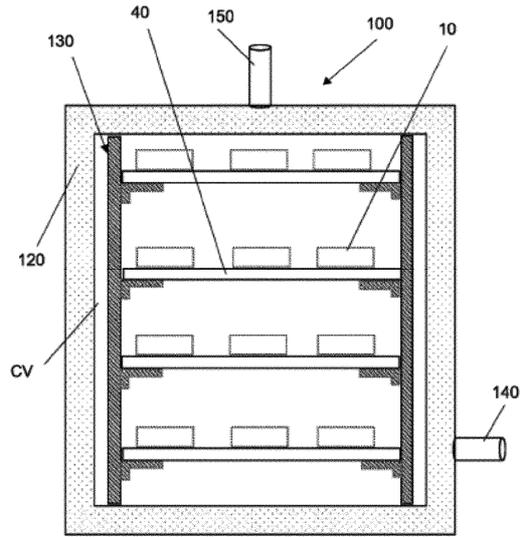
Фиг. 1



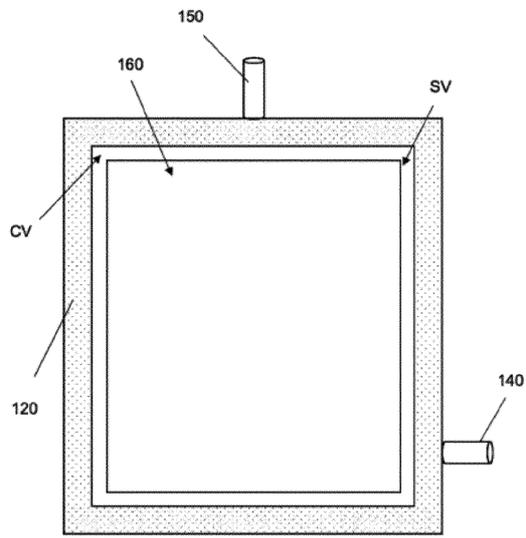
Фиг. 2



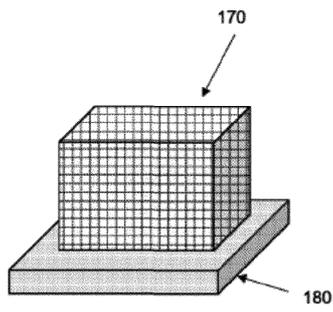
Фиг. 3



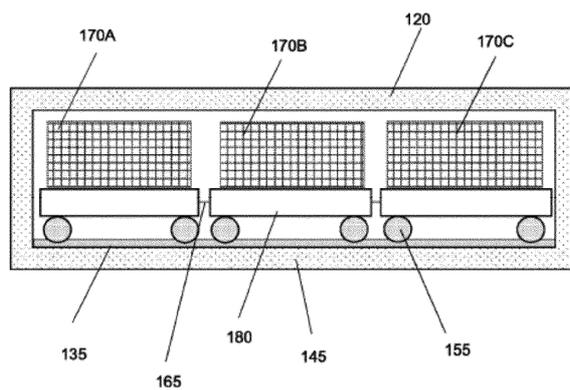
Фиг. 4



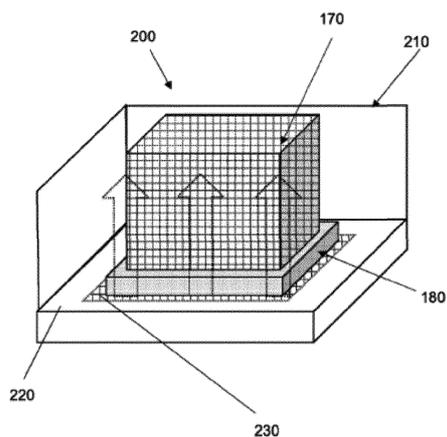
Фиг. 5



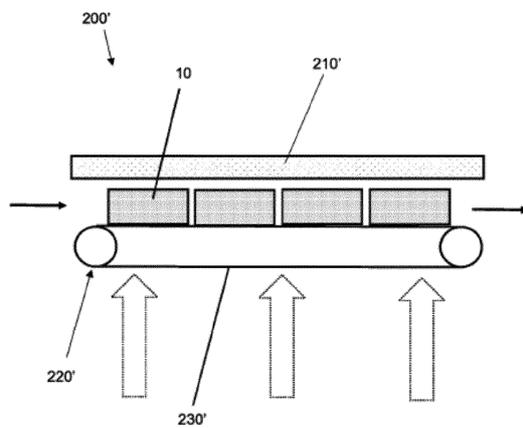
Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8



Фиг. 9