



(51) МПК

*C04B 40/00* (2006.01)  
*B33Y 10/00* (2015.01)  
*B33Y 70/00* (2015.01)  
*C04B 14/04* (2006.01)  
*C04B 22/06* (2006.01)  
*C04B 22/08* (2006.01)  
*C04B 22/12* (2006.01)  
*C04B 22/14* (2006.01)  
*C04B 24/16* (2006.01)  
*C04B 24/26* (2006.01)

*C04B 24/32* (2006.01)  
*C04B 24/34* (2006.01)  
*C04B 24/38* (2006.01)  
*C04B 28/02* (2006.01)  
*E04G 21/04* (2006.01)

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

*B28B 1/001* (2020.08); *B28B 3/20* (2020.08); *B29C 64/106* (2020.08); *B33Y 10/00* (2020.08); *B33Y 70/00* (2020.08); *C04B 14/045* (2020.08); *C04B 22/06* (2020.08); *C04B 22/085* (2020.08); *C04B 22/124* (2020.08); *C04B 22/148* (2020.08); *C04B 24/16* (2020.08); *C04B 24/2652* (2020.08); *C04B 24/32* (2020.08); *C04B 24/34* (2020.08); *C04B 24/38* (2020.08); *C04B 24/383* (2020.08); *C04B 28/02* (2020.08); *C04B 40/0028* (2020.08); *E04G 21/04* (2020.08)

(21)(22) Заявка: 2019100803, 02.06.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
02.06.2017Дата регистрации:  
23.10.2020

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:  
22.06.2016 EP 16 290 112.8

(43) Дата публикации заявки: 22.07.2020 Бюл. № 21

(45) Опубликовано: 23.10.2020 Бюл. № 30

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на национальной фазе: 22.01.2019

(86) Заявка РСТ:  
IV 2017/000672 (02.06.2017)(87) Публикация заявки РСТ:  
WO 2017/221058 (28.12.2017)Адрес для переписки:  
101000, Москва, ул. Мясницкая, д. 13, стр. 5,  
ООО "Союзпатент"

(72) Автор(ы):

ЭЗНО Вивьен (FR),  
ЖЕЗЕКЕЛЬ Пьер-Анри (FR),  
ТУССЭН Фабрис (FR),  
ЛАБЬЯД Абдельазиз (FR)

(73) Патентообладатель(и):

ХОЛСИМ ТЕХНОЛОГИ ЛТД (СН)

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: US 2015072068 A1, 12.03.2015. RU 2585703 C2, 10.06.2016. EP 0577604 B1, 18.09.1996. US 5803665 A, 08.09.1998. FR 1178272 A, 05.05.1959.

## (54) РЕГУЛИРОВАНИЕ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ

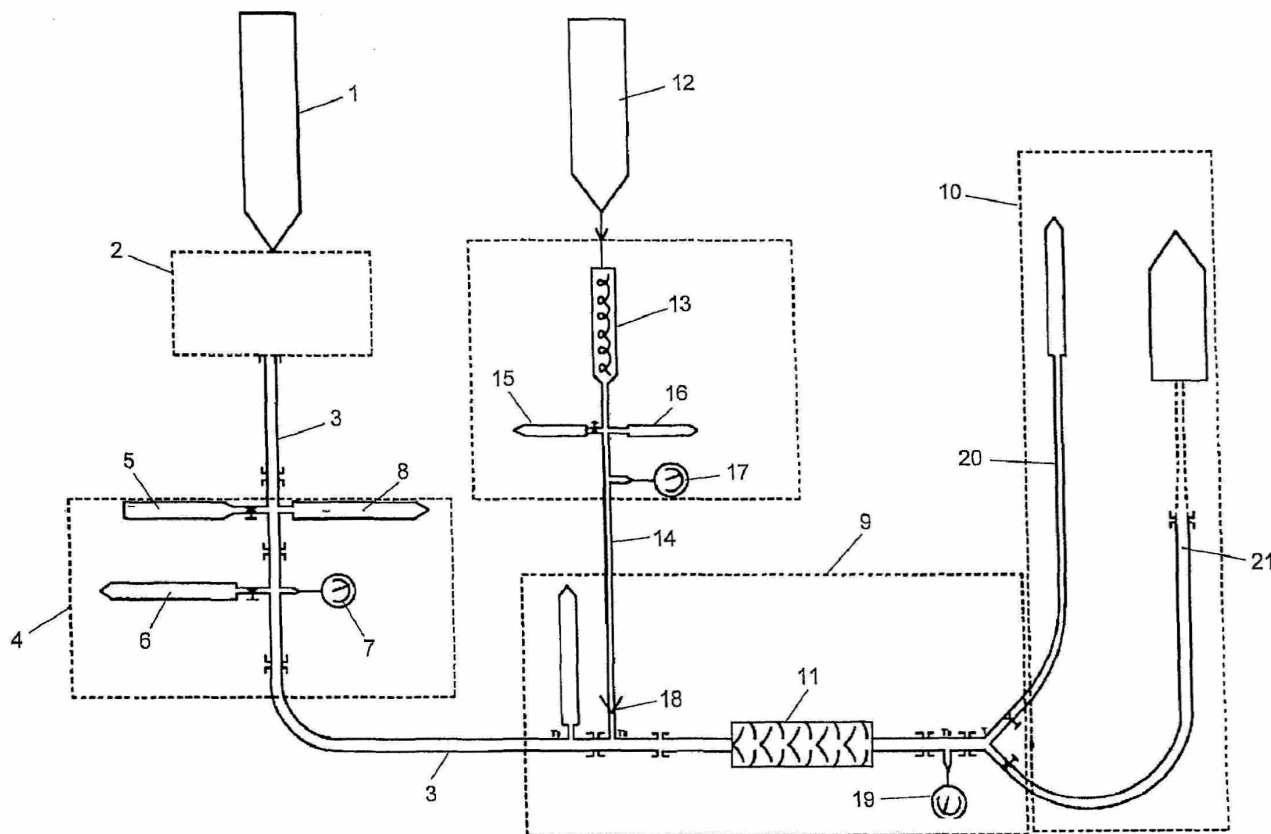
(57) Реферат:

Группа изобретений относится к способу укладки текучего конструкционного материала, содержащего гидравлическое вяжущее вещество, для послойного создания конструкционных элементов, такого как 3D-печать бетона или строительного раствора. Способ включает

транспортировку текучего конструкционного материала к укладываемой головке. Укладывают конструкционный материал через выпускное отверстие укладываемой головки для формирования слоя конструкционного материала. Причем стадия укладки конструкционного

материала включает экструдирование конструкционного материала в пастообразной форме через наконечник укладываемой головки. При этом перед укладкой конструкционного материала добавляют к конструкционному материалу модификатор реологии с тем, чтобы уложенный материал перед происхождением схватывания имел увеличенный предел текучести по сравнению с данным материалом во время стадии транспортировки. После укладки первого слоя конструкционного материала на данный

первый слой укладывается по меньшей мере один последующий слой конструкционного материала. При этом количество модификатора реологии, добавляемого к конструкционному материалу, выбирается так, чтобы увеличить предел текучести так, чтобы первый слой не разрушался под нагрузкой указанного по меньшей мере одного последующего слоя. Техническим результатом является повышение эффективности 3D-печати. 10 з.п. ф-лы, 1 ил.



Фиг. 1

RU 2734812 C2

RU 2734812 C2



(51) Int. Cl.

*C04B 40/00* (2006.01)*B33Y 10/00* (2015.01)*B33Y 70/00* (2015.01)*C04B 14/04* (2006.01)*C04B 22/06* (2006.01)*C04B 22/08* (2006.01)*C04B 22/12* (2006.01)*C04B 22/14* (2006.01)*C04B 24/16* (2006.01)*C04B 24/26* (2006.01)*C04B 24/32* (2006.01)*C04B 24/34* (2006.01)*C04B 24/38* (2006.01)*C04B 28/02* (2006.01)*E04G 21/04* (2006.01)**(12) ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

*B28B 1/00* (2020.08); *B28B 3/20* (2020.08); *B29C 64/106* (2020.08); *B33Y 10/00* (2020.08); *B33Y 70/00* (2020.08); *C04B 14/045* (2020.08); *C04B 22/06* (2020.08); *C04B 22/085* (2020.08); *C04B 22/124* (2020.08); *C04B 22/148* (2020.08); *C04B 24/16* (2020.08); *C04B 24/2652* (2020.08); *C04B 24/32* (2020.08); *C04B 24/34* (2020.08); *C04B 24/38* (2020.08); *C04B 24/383* (2020.08); *C04B 28/02* (2020.08); *C04B 40/0028* (2020.08); *E04G 21/04* (2020.08)

(21)(22) Application: 2019100803, 02.06.2017

(24) Effective date for property rights:  
02.06.2017Registration date:  
23.10.2020

Priority:

(30) Convention priority:  
22.06.2016 EP 16 290 112.8

(43) Application published: 22.07.2020 Bull. № 21

(45) Date of publication: 23.10.2020 Bull. № 30

(85) Commencement of national phase: 22.01.2019

(86) PCT application:  
IB 2017/000672 (02.06.2017)(87) PCT publication:  
WO 2017/221058 (28.12.2017)Mail address:  
101000, Moskva, ul. Myasnitskaya, d. 13, str. 5,  
OOO "Soyuzpatent"

(72) Inventor(s):

EZNO Viven (FR),  
ZHEZEKEL Per-Anri (FR),  
TUSSEN Fabris (FR),  
LABYAD Abdelaziz (FR)

(73) Proprietor(s):

KHOLSIM TEKHNOLOGI LTD (CH)

**(54) REAL-TIME CONTROL OF RHEOLOGICAL PROPERTIES OF CONSTRUCTION MATERIAL FOR 3D PRINTING**

(57) Abstract:

FIELD: technological processes.

SUBSTANCE: group of inventions relates to a method of laying a fluid structural material, comprising a hydraulic binder, for layer-by-layer creation of structural elements, such as 3D printing of concrete or mortar. Proposed method comprises transfer of fluid structural material to laying head. Structural material

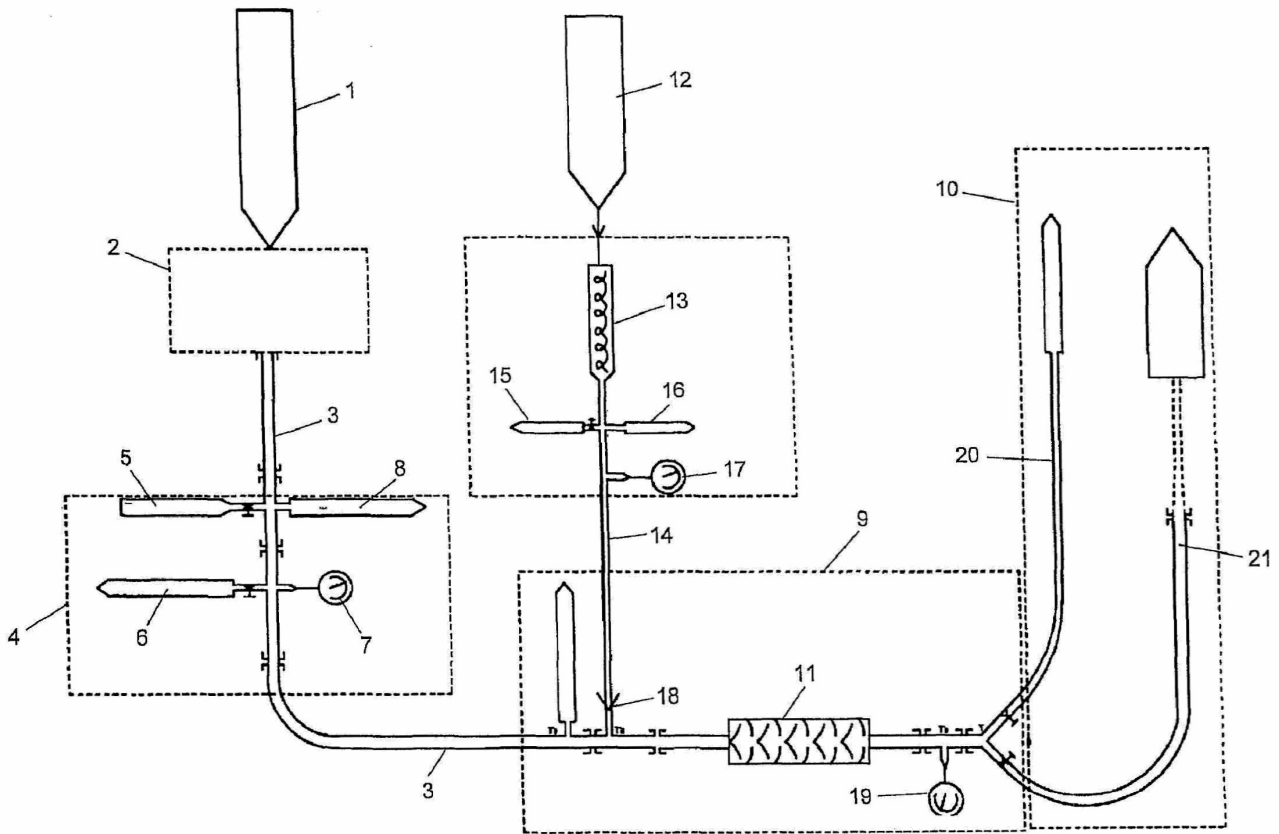
is laid through the outlet hole of the laying head to form a layer of structural material. At that, the stage of structural material laying includes extrusion of structural material in paste-like form through the tip of the placing head. Before placing the structural material, a rheology modifier is added to the structural material so that the laid material before the setting origin has an increased

yield point compared to the given material during the transportation step. After laying the first layer of structural material, at least one next layer of structural material is laid on said first layer. Amount of rheology modifier added to the structural material is selected so

as to increase the yield strength so that first layer does not break under load of said at least one next layer.

EFFECT: technical result is higher efficiency of 3D printing.

11 cl, 1 dwg



Фиг. 1

RU 2734812 C2

RU 2734812 C2

Изобретение относится к способу укладки текучего конструкционного материала, содержащего гидравлическое вяжущее вещество, для послойного создания конструктивных элементов, такого как 3D-печать бетона или строительного раствора.

3D-печать представляет собой технологию создания объектов, которую обычно называют «аддитивным производством» и которая состоит из послойного соединения материала для получения объектов по данным трехмерных моделей или с привлечением другого источника компьютерных данных. В частности, последовательные слои материала образуются под управлением компьютера с помощью промышленного робота. Уже было предложено разработать трехмерные принтеры, способные к созданию строительных конструкций из конструкционных материалов, которые могут быть строительным раствором или бетоном. Согласно этим предложениям конструкционный материал экструдируется через наконечник для послойного создания конструктивных элементов без использования опалубочных конструкций или какой-либо последующей вибрации. Возможность построения конструкций без опалубки является значительным преимуществом в том, что касается темпов производства, свободы архитектурных решений и снижения производственных затрат.

Обычно 3D-печать конструкционных материалов представляет собой непрерывный процесс, который включает транспортировку свежеприготовленной бетонной смеси или строительного раствора к укладываемой головке и укладку конструкционного материала через выпускное отверстие головки, для формирования слоя бетона. При укладке бетона или строительного раствора укладываемая головка перемещается под управлением компьютерного устройства для создания слоя конструкционного материала в соответствии с лежащей в основе 3D-моделью. В частности, укладываемая головка укладывает полосу свежеприготовленного бетона или строительного раствора. Чтобы сделать возможным плавное прохождение свежеприготовленной бетонной смеси или строительного раствора через каждый участок процесса транспортировки к укладываемой головке, необходимо обеспечение стабильных реологических свойств свежеприготовленного материала.

Однако конструкционный материал должен быть не только достаточно текучим, чтобы обеспечивать цели транспортировки и экструзии, но также и достаточно жестким для обеспечения необходимой механической стабильности трехмерной печатной структуры до схватывания гидравлического вяжущего. В частности, нижележащие слои конструкционного материала должны без разрушения выдерживать нагрузку, накладываемую верхними слоями. Поэтому специалистам в данной области необходимо стремиться контролировать процесс твердения и схватывания материала с течением времени. Материал должен схватываться достаточно рано и достаточно затвердевать, чтобы выдерживать массу накладываемых далее слоев. Однако твердение материала в типичном случае требует длительного времени, что не только приводит к продолжительному периоду производства, но также и к снижению прочности связи между слоями. Для повышения прочности связывания между слоями было бы полезным выполнение укладки слоя в то время, пока предыдущий слой все еще остается свежим. Это, в свою очередь, имеет тот недостаток, что слой свежеложенного бетона не обладает надлежащей механической прочностью, способной удерживать массу размещаемых далее слоев.

Поэтому настоящее изобретение нацелено на улучшение способа 3D-печати изначально определенного типа с тем, чтобы преодолеть указанные выше проблемы. В частности, изобретение стремится предоставить особую гидравлическую композицию и способ, делающий возможным быстрое продвижение процесса производства с

короткими промежутками времени между размещением последовательных слоев конструкционного материала и в то же самое время обеспечивающий достаточную механическую прочность таких слоев, способных к удержанию массы слоев, укладываемых далее.

5 Для достижения этой цели способ согласно данному изобретению включает: транспортировку текучего конструкционного материала к укладываемой головке, укладку конструкционного материала через выпускное отверстие укладываемой головки для формирования слоя конструкционного материала, перед укладкой конструкционного материала добавление к конструкционному материалу модификатора реологии с тем, чтобы уложенный материал имел увеличенный предел текучести по сравнению с материалом на стадии транспортировки.

10 Таким образом, подход изобретения основывается на том, что способность уложенных слоев выдерживать собственную массу связана с их реологическими свойствами и, более конкретно, с их пределом текучести. Во время послойного создания конструкции слой, уложенный первым, подвергается самой большой нагрузке. Для обеспечения устойчивости конструкции, создаваемой в ходе реализации данного способа, предел текучести должен быть достаточным для выдерживания такой нагрузки. При добавлении модификатора реологии к текучему конструкционному материалу лишь незадолго до его укладки такой конструкционный материал сохраняет свою способность к течению к укладываемой головке под относительно низким сдвигающим напряжением в своем свежем состоянии, но приобретает достаточно высокий предел текучести, когда оказывается уложенным – для того, чтобы не допускать разрушения материала под его собственной массой или массой последующих слоев. Поэтому способ по изобретению объединяет две, казалось бы, противоположных характеристики: конструкционный материал легко перекачивается и имеет повышенный предел текучести, когда материал оказывается уложенным.

Данный конструкционный материал может быть строительным раствором, то есть смесью гидравлического вяжущего вещества и, возможно, дополнительных минеральных компонентов, таких как молотый известняк, вода, песок и химические добавки.

30 Данный конструкционный материал также может быть бетоном, то есть смесью гидравлического вяжущего вещества и, возможно, дополнительных минеральных компонентов, таких как молотый известняк, вода, песок, гравий и химические добавки.

В предпочтительном воплощении конструкционный материал является текучим бетоном сверхвысокого качества, то есть смесью цемента, тонкодисперсного известнякового материала, микропеска и/или песка, высокоэффективной добавки, уменьшающей водопотребность, возможно, ускорителя схватывания и воды, который за 28 дней развивает предел прочности при сжатии по меньшей мере в 100 МПа.

40 Модификатор реологии может добавляться к конструкционному материалу непосредственно перед достижением укладываемой головки или в самой укладываемой головке.

Предпочтительно модификатор реологии и конструкционный материал смешиваются друг с другом перед укладкой конструкционного материала, при этом для выполнения смешивания предпочтительно используется статический смеситель.

Предпочтительно модификатор реологии добавляется к потоку транспортируемого конструкционного материала в непрерывном режиме, так, чтобы достигалась непрерывность выполнения способа. Предпочтительно не только добавление модификатора реологии, но также и смешивание модификатора реологии с потоком транспортируемого конструкционного материала выполняется в непрерывном режиме,

так, чтобы могло достигаться непрерывное укладывание смеси конструкционного материала и модификатора реологии при перемещении укладываемой головки в соответствии с лежащими в основе 3D-данными.

Количество модификатора реологии, который непрерывно добавляется к потоку конструкционного материала в единицу времени, предпочтительно регулируется так, чтобы поддерживать определенное соотношение модификатора реологии и конструкционного материала в конечной смеси, которая укладывается слой за слоем. В частности, измеряется расход конструкционного материала, который транспортируется к укладываемой головке, а расход модификатора реологии, добавляемого к потоку конструкционного материала, приспособливается так, чтобы достигнуть заданного соотношения. В качестве альтернативного варианта, устанавливается фиксированный расход конструкционного материала, транспортируемого к укладываемой головке, и выбирается расход модификатора реологии, добавляемого к потоку конструкционного материала, таким образом, чтобы достигнуть заданного соотношения.

Предпочтительно стадия укладки конструкционного материала включает экструдирование конструкционного материала в пастообразной форме через наконечник укладываемой головки.

Количество модификатора реологии, добавляемого к конструкционному материалу, предпочтительно выбирается таким, чтобы слой уложенного материала имел устойчивость, достаточную для того, чтобы не разрушаться под собственной массой или массой последующего слоя(-ев), размещаемого поверх него. В этой связи, предпочтительный режим работы состоит в том, чтобы после укладки первого слоя конструкционного материала на этот первый слой укладывался по меньшей мере один следующий слой конструкционного материала, при этом количество модификатора реологии, добавляемого к конструкционному материалу, выбирается так, чтобы повысить предел текучести таким образом, чтобы первый слой не разрушался под нагрузкой указанного по меньшей мере одного последующего слоя.

При этом «не разрушающийся» означает, что высота слоя под грузом по меньшей мере одного последующего слоя не уменьшается более чем на 10%, предпочтительно не более чем на 5%.

Так как способ по изобретению нацелен на обеспечение возможности быстрого продвижения процесса производства, указанные выше критерии стабильности предпочтительно должны удовлетворяться на минимальной скорости производства, в соответствии с ограничениями, накладываемыми максимальным интервалом времени между размещением двух последовательных слоев материала. Согласно предпочтительному режиму работы, конструкционный материал первого слоя оставляется на период времени не более 2 минут, предпочтительно в течение интервала времени 30-60 с, прежде чем на упомянутый конструкционный материал первого слоя укладывается конструкционный материал последующего слоя.

Согласно одному предпочтительному воплощению изобретения, предел текучести свежешелюженного конструкционного материала составляет 600 - 4000 Па. Поэтому предпочтительно, чтобы количество модификатора реологии, добавляемого к конструкционному материалу, выбиралось таким образом, чтобы повысить предел текучести до 600 - 4000 Па. Предел текучести измеряется с помощью устройства для определения сопротивления сдвигу (scissometer). Устройство для определения сопротивления сдвигу состоит из лопасти, погружаемой в испытуемый материал, к которой прикладывается возрастающий вращающий момент. Когда в материале

происходит слом, лопасть начинает вращаться, обычно как только вращающий момент достигает своего предельного значения, которое рассматривается в качестве характеристической величины, являющейся представительной для предела текучести данного материала. Измерение предела текучести предпочтительно выполняется в пределах 30-60 с после выполнения укладки материала.

Добавление модификатора реологии согласно изобретению приводит к тому, что увеличение показателя предела текучести достигается почти немедленно после укладки, то есть прежде, чем происходит схватывание. Поэтому увеличение предела текучести, которое достигается в соответствии с изобретением, является независимым от процесса схватывания гидравлического вяжущего вещества конструкционного материала. Таким образом, изобретение в целом обходится без регулирования или ускорения процесса схватывания.

Однако в предпочтительном воплощении изобретения в результате ускорения процесса схватывания могут быть достигнуты даже лучшие результаты. Это позволяет еще больше увеличивать скорость производства. В частности, соляной ускоритель схватывания или твердения, такой как, например, хлорид натрия, хлорид кальция, гидроксид алюминия, сульфат алюминия-калия, силикат натрия, нитрат кальция и/или нитрит кальция, тиацианат натрия и/или кальция, предпочтительно добавляются к гидравлическому вяжущему веществу до, во время и/или после стадии транспортировки. Также могут использоваться ускоряющие добавки, которые действуют и как ускоритель схватывания, и как модификатор реологии. В качестве примеров добавок, которые обеспечивают обе эти функции, могут быть упомянуты сульфат алюминия-калия и силикат натрия.

Может также использоваться коммерчески доступный ускоритель, обычно используемый для случаев применения торкретбетона, такой как Sika 40 AF или продукты CHRYSO®Jet, в дозировках, находящихся от 1,0 до 10%, более предпочтительно от 3,0% до 7% от общей массы гидравлического вяжущего вещества.

Модификатором реологии может быть любая добавка, которая увеличивает предел текучести уложенного материала до того, как происходит схватывание гидравлического вяжущего вещества. В качестве указанного модификатора реологии предпочтительно используется загуститель или увеличивающий вязкость агент. Этот агент предпочтительно используется в жидкой форме. В частности, в качестве модификатора реологии или компонента модификатора реологии используется простой эфир крахмала, простой эфир целлюлозы и/или велановая смола. В частности, хорошие результаты были достигнуты со следующей добавкой: Foxcrete S200 (простой эфир крахмала), предоставленный Avebe, Aquasorb 2611 (растворимый в воде полиакриламид), предоставленный SNF Floerger SAS, Tylose MHS 300000 P6 (растворимая в воде, неионогенная, высокоэтерифицированная метилгидроксиэтилцеллюлоза), предоставленная SE Tylose GmbH и Co. KG, KelcoCrete (диутановая смола), предоставленная CP Kelco, и казеин.

Стадия транспортировки способа по изобретению включает транспортировку конструкционного материала в текучем состоянии к укладываемой головке. В частности, транспортирование конструкционного материала выполняется посредством перекачивания. Предпочтительно материал транспортируется во влажном состоянии и готов к укладке без необходимости в добавлении каких-либо дополнительных компонентов за исключением модификатора реологии.

Предпочтительно свежий конструкционный материал, такой как свежая бетонная смесь или свежий строительный раствор, запасается в бункере или любой другой



накопительной емкости, или в смесительном устройстве автобетоновоза и транспортируется от участка хранения непосредственно к укладываемой головке.

Предпочтительно конструкционный материал разработан таким образом, чтобы в течение стадии транспортировки, то есть перед добавлением модификатора реологии, обладать свойствами самовыравнивания. В частности, предел текучести подлежащего транспортировке материала составляет от 200 до 400 Па согласно измерениям с помощью устройства для определения сопротивления сдвигу.

Для достижения описанной выше пригодности к транспортировке или прокачиваемости перед выполнением стадии транспортировки к конструкционному материалу предпочтительно добавляется добавка, снижающая водопотребность, в частности, пластификатор или суперпластификатор, предпочтительно пластификатор, основанный на полиоксиполикарбоксилате или фосфонатах.

Снижающая водопотребность добавка позволяет уменьшить количество воды затворения для данной удобоукладываемости в типичном случае на 10-15%. В качестве примера снижающих водопотребность добавок могут быть упомянуты лигносульфонаты, гидроксикарбоновые кислоты, углеводы и некоторые другие органические соединения, например, глицерин, поливиниловый спирт, алюмометилсиликонат натрия и парааминобензолсульфо кислота, как описано в Concrete Admixtures Handbook, Properties Science and Technology, V.S. Ramachandran, Noyes Publications, 1984.

Суперпластификаторы принадлежат к новому классу снижающих водопотребность добавок и способны к снижению водонасыщенности воды затворения для данной удобоукладываемости приблизительно на 30 масс.%. В качестве примера суперпластификаторов могут быть отмечены РСР-суперпластификаторы. Термин "РСР" или «полиоксиполикарбоксилат» согласно настоящему изобретению должен пониматься как сополимер акриловых кислот или метакриловых кислот и их сложных эфиров полиоксиэтилена (РОЕ).

Хорошие результаты были достигнуты со следующими типами суперпластификаторов: CHRYSO®Premia, основанная на РСР широкодиапазонная снижающая водопотребность добавка, BASF MasterGlenium 27, основанная на РСР широкодиапазонная снижающая водопотребность добавка, и CHRYSO®Optima 100, широкодиапазонная снижающая водопотребность добавка на фосфонатной основе.

Предпочтительно конструкционный материал содержит от 0,05 до 1%, более предпочтительно от 0,05 до 0,5% снижающей водопотребность добавки, пластификатора или суперпластификатора, здесь процентная доля выражает массу относительно сухой массы цемента.

Для уменьшения и регулирования количеств вовлеченного в строительный раствор воздуха может добавляться противопенный реагент. Неконтролируемые высокие уровни содержания воздуха в строительном растворе или бетоне способны снижать механическую прочность на всех стадиях старения бетона и нерегулируемым образом увеличивают реологию свежего конструкционного материала.

Противопенный реагент может быть выбран, например, из группы, состоящей из минеральных масел, органических полимеров, поверхностно-активных веществ и минеральных смесей, смесей полиэфир-силоксана и пирогенного диоксида кремния, полидиметилсилоксана и их смесей.

Хорошие результаты были получены с Dehydran 1922. Этот противопенный реагент, выпускаемый BASF, представляет собой смесь поверхностно-активных веществ и минеральных веществ. Предпочтительно конструкционный материал содержит 0,1-0,3

масс.% этой добавки.

Конструкционный материал, используемый в способе по изобретению, представляет собой материал на основе гидравлического вяжущего вещества, то есть любой материал, который генерирует создающие прочность фазы в результате твердения и выдерживания при контакте с водой, таким как строительный раствор или бетон. Гидравлическое вяжущее вещество предпочтительно содержит или состоит из обычного или белого портландцемента. Портландцемент, который используется в данном изобретении, может быть портландцементом любого типа. Подходящими цементами являются цементы, описанные в Европейском стандарте NF EN 197-1 от апреля 2012 г., или их смеси, предпочтителен цемент типов СЕМ I, СЕМ II, СЕМ III, СЕМ IV или СЕМ V.

Хорошие результаты были достигнуты при использовании белого цемента СЕМ I 52.5N, производимого на цементном заводе Le Teil, или цемента HTS, выпускаемого на цементном заводе Le Teil.

К портландцементу могут добавляться различные минеральные добавки, такие как, например, гранулированный доменный шлак (gbfs), зола-унос, природные пуццоланы, кальцинированные глины или молотый известняк, для получения в результате композитного портландцемента. Минеральные добавки, в типичном случае составляющие от 10 до 50 масс.% от общей массы вяжущего вещества, в большинстве применений представлены гранулированным доменным шлаком, золой-уносом, пуццоланами, молотым известняком или их смесями.

Отношение вода/вяжущее (мас./мас. отношение) конструкционного материала, используемого в данном изобретении, предпочтительно составляет от 0,25 до 0,5, более предпочтительно от 0,3 до 0,4. Отношение вода/вяжущее может варьировать, например, из-за водопотребности минеральных добавок в случае их использования. Отношение вода/вяжущее определяется как параметр, представляющий собой массовое отношение количества воды к сухой массе гидравлического вяжущего вещества (портландцемент и минеральные добавки).

В предпочтительном воплощении конструкционный материал является самовыравнивающейся строительной смесью, изготовленной из песка, портландцемента, известнякового наполнителя и суперпластификатора.

Далее изобретение будет описано более подробно с обращением к следующему примеру и к примеру осуществления оборудования, показанного на фиг. 1, которое является подходящим для реализации способа данного изобретения.

#### Пример 1

Был приготовлен строительный раствор, имеющий следующую композицию:

- 2058,6 г премикса NAG3 Ductal;
- 11,33 г CHRYSO®Optima 100;
- 201,7 г воды.

Этот строительный раствор показывает результаты испытаний на расплыв, выполненных согласно стандарту ASTM C230 (Американское общество по испытанию материалов) способом виброплощадки, составляющие 140 мм. Поскольку свежий строительный раствор является самоуплотняющимся, его предел текучести невысок и находится ниже 400 Па.

Материал прокачивался с расходом от 0,7 до 1,3 л/мин. В укладываемой головке работа количества Sika 40 AF смешивались со строительным раствором в дозировке от 21 до 36 г на 1 л строительного раствора.

Измеренный с помощью устройства для определения сопротивления сдвигу предел текучести уложенного материала был оценен как составляющий от 800 до 1200 Па.

Последовательные слои материала укладывались друг поверх друга на протяжении 2 часов с достижением общей высоты приблизительно 1 метр.

Наблюдалось, что слои не разрушались и желаемая форма печатаемого объекта была полностью соблюдена.

5 Прежде, чем напечатанный элемент мог подвергаться каким-либо манипуляциям, слои оставались для схватывания и твердения на 24 часа.

#### Пример 2

Был приготовлен строительный раствор, имеющий следующую композицию:

- 10 - 569,3 г белого цемента CEM I 52.5N Le Teil;
- 350,1 г известнякового наполнителя BL 200 от Omya;
- 1004,8 г песка Sablon 0/0.315 от Sibelco;
- 11,16 г Glenium 27 от BASF;
- 270,0 г воды.

15 Этот строительный раствор показывает результаты испытаний на расплыв, выполненных согласно стандарту ASTM C230 способом виброплощадки с конусом Марша, составляющие 210 мм. Поскольку свежий строительный раствор является самоуплотняющимся, его предел текучести невысок и находится ниже 400 Па.

Эта рецептура была проверена на насосной системе без какого-либо автоматизированного укладываемого устройства.

20 Материал прокачивался с расходом 1,9 л/мин. В экструзионной головке добавлялся Foxcrete S200 в дозировке 0,4 г на 1 л конструкционного раствора.

Измерения предела текучести уложенного материала дали результат в 2500 Па.

25 Прошедший стадию экструзии материал показал способность к самоподдерживанию. Друг поверх друга размещалось вручную спустя 20 мин вплоть до 4 слоев и эти слои не разрушались.

Фиг. 1 демонстрирует оборудование, которое является подходящим для реализации способа данного изобретения. На фиг. 1 самовыравнивающийся строительный раствор 1 поступал из емкости для хранения или с находящегося на рабочем участке бетоносмесительного узла. Строительный раствор транспортировался к насосу 2 для 30 раствора, который транспортировал раствор через трубу 3. Труба 3 проходит через зону 4 безопасности, которая содержит различные присоединения к трубе 3. Первое присоединение служит для соединения с трубой 3 источника 5 промывной воды, предназначенного для периодической очистки трубопровода системы подачи. Кроме того, с трубой 3 соединен аварийный выпуск 6 для удаления конструкционного раствора в случае развития в трубе 3 избыточного давления. Давление в трубе 3 измеряется с 35 помощью манометра 7. Кроме того, обеспечивается разрывной предохранительный диск 8, который может быть предусмотрен в качестве однократно применяемого устройства сброса давления, которое защищает трубу 3 от избыточного давления.

40 После выхода из зоны 4 безопасности труба 3 ведет к роботу 9, который содержит укладываемую головку 10. Робот 9 содержит приводное устройство (не показано), которое перемещает укладываемую головку 10 по маршруту, который задается электронным модулем управления на основе данных трехмерных моделей для создаваемого объекта. Робот 9 содержит статический смеситель 11, к которому строительный раствор транспортируется через трубу 3. Смеситель 11 служит для 45 смешивания конструкционного раствора с модификатором реологии, который подается к роботу 9 из бака-хранилища 12. Модификатор реологии поставляется к насосу 13, который транспортирует агент через трубу 14 к роботу 9. Труба 14 содержит несколько присоединений, которые расположены ниже по ходу потока от насоса 13, а именно,

одно присоединение для аварийного выпуска 15, одно присоединение для разрывного диска 16 и одно присоединение для манометра 17.

Труба 14 входит в трубу 3 с расположенными между ними обратным клапаном 18. Давление после смесителя 11 измеряется с помощью манометра 19. Смесь, выходящая из смесителя 11, может быть подана либо к трубе 20, которая служит для выгрузки бракованных порций смеси, или к трубе 21, которая ведет к укладываемой головке для экструдирования смеси через наконечник.

#### (57) Формула изобретения

1. Способ укладки текучего конструкционного материала, содержащего гидравлическое вяжущее вещество, для послойного создания конструктивных элементов, такого как 3D-печать бетона, при этом указанный способ включает:

а) транспортировку текучего конструкционного материала к укладываемой головке, б) укладку конструкционного материала через выпускное отверстие укладываемой головки для формирования слоя конструкционного материала,

с) перед укладкой конструкционного материала добавление к конструкционному материалу модификатора реологии с тем, чтобы уложенный материал перед происхождением схватывания имел увеличенный предел текучести по сравнению с данным материалом во время стадии транспортировки,

д) при этом стадия укладки конструкционного материала включает экструдирование конструкционного материала в пастообразной форме через наконечник укладываемой головки,

е) причем после укладки первого слоя конструкционного материала на данный первый слой укладывается по меньшей мере один последующий слой конструкционного материала, при этом количество модификатора реологии, добавляемого к конструкционному материалу, выбирается так, чтобы увеличить предел текучести так, чтобы первый слой не разрушался под нагрузкой указанного по меньшей мере одного последующего слоя.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что предел текучести свежееуложенного конструкционного материала составляет 600-4000 Па.

3. Способ по п. 1 или 2, отличающийся тем, что конструкционный материал первого слоя оставляется на период времени не более 2 минут, предпочтительно на период времени 30-60 с, перед тем как на упомянутый конструкционный материал первого слоя укладывается конструкционный материал последующего слоя.

4. Способ по любому из пп. 1-3, отличающийся тем, что модификатор реологии добавляется к потоку транспортируемого конструкционного материала в непрерывном режиме.

5. Способ по любому из пп. 1-4, отличающийся тем, что модификатор реологии и конструкционный материал смешиваются друг с другом перед укладкой конструкционного материала, при этом для смешивания предпочтительно используется статический смеситель.

6. Способ по любому из пп. 1-5, отличающийся тем, что снижающая водопотребность добавка, в частности пластификатор или суперпластификатор, предпочтительно пластификатор на основе полиоксиполикарбоната или фосфонатов, добавляется к гидравлическому вяжущему веществу перед стадией транспортировки, при этом такая транспортировка конструкционного материала выполняется перекачиванием.

7. Способ по любому из пп. 1-6, отличающийся тем, что перед стадией транспортировки к гидравлическому вяжущему веществу предпочтительно добавляется

ускоритель схватывания, такой как, например, хлорид натрия, хлорид кальция, гидроксид алюминия, сульфат алюминия-калия, силикат натрия, нитрат кальция и/или нитрит кальция, тиоцианат натрия и/или кальция.

5 8. Способ по любому из пп. 1-7, отличающийся тем, что в качестве указанного модификатора реологии используется загуститель или увеличивающий вязкость агент.

9. Способ по любому из пп. 1-8, отличающийся тем, что в качестве или в составе модификатора реологии используется простой эфир крахмала, простой эфир целлюлозы, растворимый в воде полиакриламид, казеин и/или велановая смола.

10 10. Способ по любому из пп. 1-9, отличающийся тем, что конструкционный материал является бетоном или цементным раствором.

11. Способ по любому из пп. 1-9, отличающийся тем, что конструкционный материал является бетоном сверхвысокого качества.

15

20

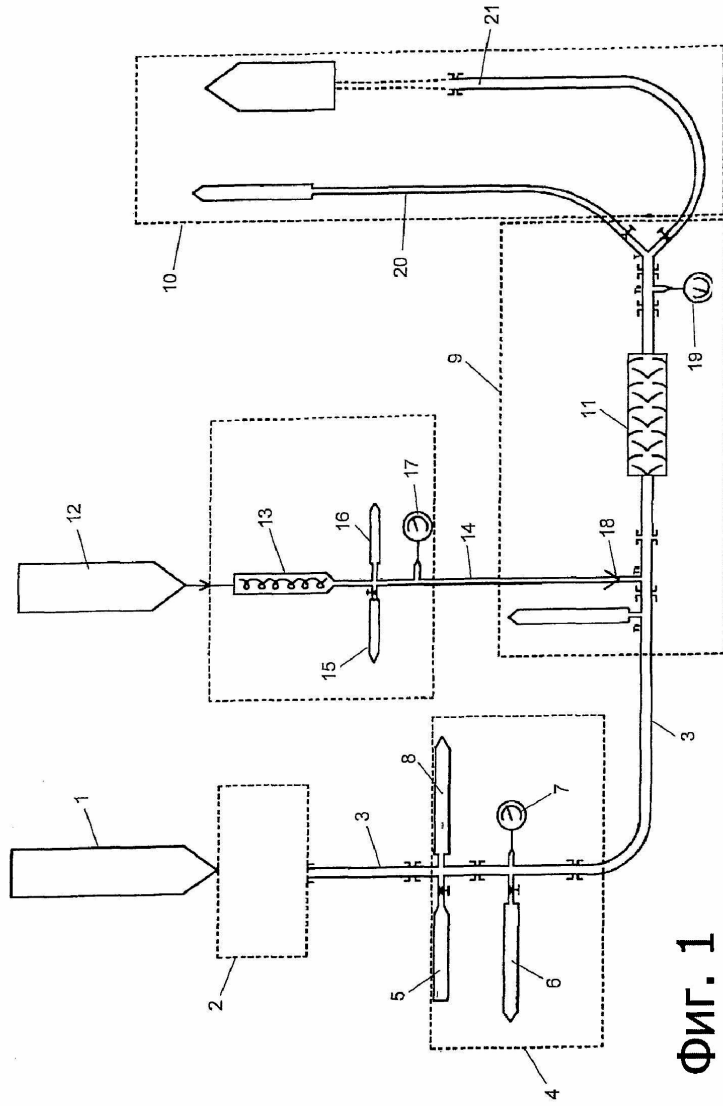
25

30

35

40

45



ФИГ. 1