

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **036774**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента
2020.12.21

(21) Номер заявки
201900048

(22) Дата подачи заявки
2018.12.20

(51) Int. Cl. **C03C 4/00** (2006.01)
C03C 4/02 (2006.01)
C03C 11/00 (2006.01)
C03B 19/00 (2006.01)
C03B 19/08 (2006.01)
C03B 19/10 (2006.01)

(54) **СПОСОБ ПРОИЗВОДСТВА ПЕНОСТЕКЛА**

(43) **2019.08.30**

(96) **2018000165 (RU) 2018.12.20**

(71)(72)(73) Заявитель, изобретатель и
патентовладелец:

**ЗИНОВЬЕВ АНДРЕЙ
АДОЛЬФОВИЧ; ДУДКО МИХАИЛ
ПЕТРОВИЧ; ДУДКО ПЕТР
МИХАЙЛОВИЧ; ЗИНОВЬЕВ
МАКСИМ АНДРЕЕВИЧ (RU)**

(56) EA-B1-013986
EA-B1-006793
RU-C2-2323191
RU-C1-2167112
SU-A-1071587

(74) Представитель:
Скоморохова Т.С. (RU)

(57) Изобретение относится к производству строительных материалов с низкими значениями теплопроводности и плотности, в частности касается способа производства пеностекла. Изобретение позволяет увеличить производительность способа получения пеностекла за счет сокращения длительности этапа приготовления исходной водной суспензии путем использования четырехкомпонентной сырьевой смеси, состоящей из тонкомолотого порошка стеклобоя, газообразователя, воды и щелочесодержащих веществ, взятых в заданных диапазонах концентраций.

036774

B1

036774

B1

Изобретение относится к производству строительных материалов с низкими значениями теплопроводности и плотности, в частности касается способа производства пеностекла. Более конкретно, изобретение относится к способу производства пеностекла, имеющему высокие прочностные характеристики, и который может быть применен при получении пеностекла со структурой закрытых ячеек из переработанного боя стекла.

Изобретение касается эффективного по производительности способа промышленного производства пеностекла, эффективного по себестоимости для коммерческого использования с оптимальными энергетическими затратами при высоком качестве конечного продукта. Пеностекло обладает рядом характеристик, которые делают его полезным в качестве теплоизоляционного материала. Концепция использования пеностекла как теплоизоляционного материала также хорошо известна. Пеностекло представляет собой долговечный и негорючий теплоизоляционный материал, применяемый в широком диапазоне температур от минус (-) 268°C до плюс (+) 500°C, имеющий высокую прочность при малой плотности, сохраняющий при многолетнем эксплуатационном режиме стабильность свойств.

Что касается исходного сырья для получения пеностекла, то коммерческое пеностекло, как правило, получают на основе измельченного стекла, который смешивают с газообразователем и различными добавками. Полученную смесь измельчают и далее нагревают в печи до температуры вспенивания с последующим охлаждением. Размер частиц измельченного стекла влияет на свойства конечного продукта вспенивания, поэтому стеклобой измельчается в мельницах до частиц определенного микронного размера и сортируется или классифицируется до получения требуемого размера частиц. При сортировке стеклобоя частицы неподходящего размера отделяются и удаляются или могут быть направлены на повторное измельчение. Измельчение частиц до заданного размера осуществляют либо во влажном состоянии, либо в сухом. Желаемый размер частиц исходного стеклобоя и степень его измельчения выбираются для получения желаемой толщины стенок и диаметра ячеек, которые влияют на свойства пеностекла, являющиеся структурно чувствительными. Теплоизоляционное пеностекло представляет собой легкий высокопористый теплоизоляционный материал ячеистой структуры, имеющей многочисленные небольшие закрытые (герметичные) ячейки, размером 1500 мкм/10-25 Å, толщина стенок которых составляет величину от 1 до 15 мкм. Поскольку каждая маленькая ячейка является фактически изолированным, герметичным пространством, то структура пеностекла с закрытыми порами обеспечивает его превосходные тепло-, звуко- и пароизоляционные свойства, которые могут быть использованы в качестве изоляционных материалов для строительной и химической промышленности (см. патенты US 8197932; US 7976939; US 6964809). В дополнение к своим превосходным изоляционным свойствам пеностекло является жестким материалом, обладает высокой прочностью на сжатие, а также является огнестойким, химически стойким, не коррозионным и устойчивым к воздействию воды и пара (см., например, патенты US 4430108; US 5151228; US 4798758, а также опубликованные патентные заявки US Patent Appln. 2005/0019542; US Patent Appln. 2005/0016093; US Patent Appln. 2004/0080063). Для сравнения, другие известные изоляционные материалы, такие как стекловолокно, полистирол и полиуретан, не имеют структурной прочности и не подходят для высокотемпературных применений. Некоторые (полистирол и полиуретан) выделяют токсичные продукты при воздействии повышенных температур и огня. Пеностекло может быть изготовлено в различных формах и конфигурациях в зависимости от применений.

Характеристика "термическая проводимость" указывает на эффективность материала как термического изолятора. Для использования в теплоизоляции пеностекло с низкими значениями теплопроводности является наиболее эффективной теплоизоляцией.

Сочетание свойств "прочность/теплопроводность/водопоглощение" является основным комплексным показателем, отражающим уровень эффективности теплоизоляционного материала, в том числе теплоизоляционного пеностекла. Чем выше прочность и ниже значение коэффициента теплопроводности и водопоглощения, тем выше потребительские и эксплуатационные свойства пеностекла, а именно его тепловая эффективность и долговечность.

Экспериментально установлено, что при производстве высококачественного теплоизоляционного пеностекла для достижения такого сочетания значений упомянутых выше параметров "прочность/теплопроводность/водопоглощение" необходимо добиться в период всего технологического процесса сохранения аморфного состояния продукта, характеризующегося наличием только ближнего порядка связей, т.е. не допустить образования кристаллической фазы в структуре пеностекла. Появление при производстве пеностекла в его структуре кристаллической фазы даже в небольшом количестве (1-2 об.%) резко снижает его потребительские качества, а именно увеличивает как теплопроводность, так и водопоглощение, а следовательно, снижает эффективность и долговечность пеностекла. Появление в структуре пеностекла кристаллических включений второй фазы приводит к появлению как поверхностных дефектов в виде микрограней раздела между аморфной структурой пеностекла и кристаллическими включениями, так и объемных дефектов в виде нарушений гомогенной пористой структуры пеностекла. Появление в объеме пеностекла как поверхностных дефектов, так и объемных создает условия нестабильности структуры в процессе эксплуатации пеностекла, вызывая его растрескивание и разрушение.

Известно, что в качестве исходного сырья для производства пеностекла применяют отходы стекольного производства, бой оконного или тарного стекла, гранулят из специально сваренного стекла,

легкоплавкие щелочесодержащие горные породы (см. патенты US 4833015; US 4992321; US 5516351; US 3951632; US 4758538). Использование несортированного боя стекла вследствие неоднородности его состава создает существенные трудности для получения пеностекла со стабильными свойствами, однако использование стеклобоя в качестве сырья для получения пеностекла позволяет значительно снизить себестоимость продукта и утилизировать отходы при производстве тарного или оконного стекла.

Стекла массового спроса по химическому составу представлены в основном оксидами Si, Al, Na, K, Ca, Mg, Fe. при этом в составе стекла в основном присутствуют оксиды Na, Ca, Si. Известно, что хорошими свойствами обладают стекла, содержащие в своем составе, мас. %: 60-72,5 SiO₂, 0.10-0,20 Fe₂O₃, 4,5-6 CaO, 1,5-2,5 MgO, 12,5-15,0 Na₂O, 0,4-0,2 K₂O. Поведение практически всех стекол такого состава при их высокотемпературной обработке может быть описано с помощью диаграммы состояния трехкомпонентной системы Na₂O - CaO - SiO₂.

Еще одним основным видом сырья в производстве пеностекла являются газообразователи.

Известны различные способы получения пеностекла, в которых контроль за процессом вспенивания осуществляется регулированием температуры и природой ингредиентов, из которых формируют сырьевую композицию. Практика показывает, что одним из определяющих факторов, влияющих на процесс получения качественного пеностекла, является сырьевая композиция для его получения, поскольку от состава композиции зависит его физико-химическая структура, определяющая его теплотехнические и механические свойства. Например, американская компания Pittsburgh Corning Corporation ("PCC"), Питтсбург, разработала и выпустила на рынок пеностекло, известное как Foam Glas® (см., например, патенты US 3995541, US 4119422, US 4192224, US 4571321 и US 4623585, а также статью "Pittsburg Corning Foamglas Insulation, 2004, Pittsburg Corning Corporation"). Плитка теплоизоляционного пеностекла, маркированного как Foam Glas® и коммерчески продаваемая PCC, относительно легкая, т.к. имеет относительно низкую плотность, однако такие плитки легко ломаются при воздействии на них нагрузок, обычно действующих на внешних стенах зданий или в других конструкциях зданий.

Патент US 4192664, Pittsburgh Corning Corporation, раскрывает способ производства пеностекла с использованием специально сваренного стекла, для улучшения свойств которого используют дефицитные и дорогостоящие ингредиенты. Измельченное специально сваренное стекло механически смешивается с измельченным газообразователем, причем оба компонента находятся в твердофазном состоянии. Производимое корпорацией "Pittsburg Corning Corp.", США, теплоизоляционное пеностекло марки Foam Glas® характеризуется низкой прочностью при малой плотности, то есть незначительной способностью материала выдерживать нагрузки на сжатие при малой плотности пеностекла. При этом применение известного способа характеризуется высокой себестоимостью пеностекла, поскольку он связан с проблемной энерго- и трудоемкой операции варки стекла специального состава, при этом перемешивание исходных компонентов проводят в состоянии твердой фазы.

Патент US 4826788 раскрывает композицию для производства блочного пеностекла, содержащую в качестве основы тонкоизмельченное специально сваренное стекло с размером зерна менее 250 мкм. Известная композиция содержит по крайней мере 95 вес. % тонкоизмельченного специально сваренного стекла, содержащего, по крайней мере, 25 вес. % оксида щелочного металла, тонкоизмельченный стеклобой, содержащий менее 16 вес. % оксида щелочного металла, воду, вспенивающий углеродсодержащий агент и наполнитель. В качестве вспенивающего агента композиция содержит органическое вещество, выделяющее углерод и монооксид углерода при температуре не менее 600°C, а также выделяющее кислород при температуре не менее 700°C. В качестве неорганического наполнителя известная композиция содержит вещество из ряда: карбонат кальция, карбонат бария, доломит и их смесь.

Способ производства пеностекла и композиция для его производства раскрыты также в патенте US 4430107. Известная композиция содержит 95 вес. % специально сваренного тонкоизмельченного стекла с размером зерна менее 0,1 мм, а также тонкомолотый стеклобой. Для приготовления исходной композиции используют воду, имеющую температуру из диапазона 50-95°C. Перед вспениванием гранулированную исходную композицию нагревают до 300°C.

Патент US 4198224 раскрывает способ получения пеностекла, в котором специальным образом приготовленный стеклобой используют в качестве ингредиента порошкообразного сырьевого материала, при этом пеностекло получают путем предварительного помола стеклобоя в шаровой мельнице с газообразователем, содержащим углерод, до достижения среднего размера частиц порошкообразного материала порядка 4-5 мкм. Порошкообразную шихту, содержащую тонкомолотый стеклобой и газообразователь, затем спекают, а после охлаждения подвергают вспениванию при температуре 871-899°C.

В патенте RU 2176219 раскрыт способ получения теплоизоляционного пеностекла с использованием композиции, содержащей дробленый стеклобой с размером зерна не более 5 мм, карбонат натрия, щелочь, сажу и воду. Приготавливают суспензию путем мокрого измельчения ингредиентов до величины фракций 0,63 мкм, добавляют в нее флокулянт, высушивают промежуточный продукт и после формования подвергают вспениванию.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому результату к заявленному способу является способ получения пеностекла, раскрытый заявителями в их евразийском патенте EA 013986. Из-

вестный способ включает этап смешивания трех ингредиентов: тонкомолотого порошка стекла с размером зерна 2-4 мкм, углеродсодержащего газообразователя и воды, взятых в соотношении, мас. %: вода - 7-25; углеродсодержащий газообразователь - 0,5-3,0 и тонкомолотый порошок стекла - остальное. В результате смешивания трех компонент образуется водная суспензия. Затем проводят высушивание полученной водной суспензии путем двухстадийной термообработки так, что на первом этапе температуру суспензии задают менее 100°C и выдерживают в течение 30-40 мин, а затем на втором этапе задают температуру из диапазона 200-550°C и выдерживают до полного удаления свободной и химически связанной воды. После этого проводят охлаждение высушенного продукта до температуры окружающей среды и его измельчение с получением порошкообразной гомогенной смеси. После этого проводят многостадийную термообработку указанной порошкообразной гомогенной смеси путем ее предварительного нагрева до температуры спекания из диапазона 570-650°C, при этом нагрев указанной смеси в диапазоне температур от 300±10°C до температуры спекания ведут в течение 60-90 мин. Затем последовательно проводят выдержку полученного промежуточного продукта при температуре спекания в течение 60-90 мин, нагрев продукта спекания до температуры вспенивания из диапазона 770-830°C проводят со скоростью 2-3°/мин и выдерживают промежуточный продукт при температуре вспенивания, выбранной из диапазона 770-830°C, в течение времени, достаточного для завершения процесса вспенивания и получения после охлаждения пеностекла, имеющего при плотности 100-200 кг/м³ прочность от 10,0 до 50,0 кг/см².

В способе производства пеностекла, раскрытом в патенте ЕА 013986, в качестве углеродсодержащего газообразователя используют вещества из ряда: органические кислоты, моноспирты и полиолы, целлюлоза, углеводороды. Кроме того, после завершения процесса вспенивания предварительно закаляют структуру вспененного продукта путем снижения температуры от температуры вспенивания 770-830°C до температуры из диапазона 500-550°C со скоростью в интервале 50-100°/мин. Затем полученную при закалке структуру пеностекла стабилизируют, для чего предварительно выдерживают при температуре из диапазона 500-550°C в течение 40-60 мин, а затем осуществляют трехстадийное охлаждение так, что на первом этапе охлаждение от температуры из диапазона 500-550°C до температуры 300±10°C ведут со скоростью не более 0,27 мин, на втором этапе последующее охлаждение до температуры 200±10°C ведут со скоростью не более 0,3°/мин, а на третьем этапе последующее охлаждение до температуры окружающей среды ведут со скоростью не более 0,7°/мин.

Способ получения пеностекла по патенту ЕА, 013986 и промышленно производимое пеностекло с использованием указанного способа обладает комплексом указанных выше полезных свойств. Упомянутый способ был разработан авторами данной заявки, внедрен на промышленном производстве и представлен на рынке под товарным знаком "Неоргm/Неопорм®". Известный из патента ЕА, 013986 способ получения пеностекла позволяет получать коммерческое пеностекло с высокими прочностными характеристиками, однако он не обладает достаточно высокой производительностью. Данная заявка является дальнейшим развитием технологии производства пеностекла, охраняемой евразийским патентом № 013986.

Используемые для приготовления водной суспензии три ингредиента представляют собой сложные вещества, химически активные по отношению друг к другу. Тонкомолотый порошок стекла, изготовленный согласно прототипу, не из специально сваренного стекла, а из отходов стекла, предпочтительно из отходов флот-стекла, очищенного от сторонних примесей и измельченного до среднего размера зерна 2-4 мкм, имеет высокоразвитую поверхность - от 8000 до 14000 см²/г и сложный химический состав. Например, тонкомолотый порошок стекла имеет химический состав, приведенный в таблице ниже, мас. %:

SiO2	Na2O	CaO	MgO	Al2O3	SO3	K2O	Fe2O3	TiO2	ZrO2	Cr2O3	MnO
72,3	13,3	8,8	4,0	0,93	0,22	0,31	0,16	0,023	0,011	-	0,003
72,2	13,4	8,8	4,1	0,92	0,21	0,30	0,15	0,022	0,010	0,002	0,003
72,3	13,3	8,7	4,1	0,92	0,21	0,30	0,14	0,022	0,010	0,003	0,004
72,3	13,3	8,7	4,0	0,95	0,23	0,30	0,14	0,024	0,010	0,004	0,004
72,4	13,3	8,7	4,0	0,93	0,22	0,30	0,15	0,023	0,010	0,005	0,004
72,4	13,3	8,7	4,0	0,92	0,20	0,30	0,15	0,027	0,010	0,003	0,004
72,4	13,3	8,7	4,0	0,93	0,22	0,30	0,16	0,025	0,010	0,003	0,003
72,4	13,2	8,7	4,0	0,94	0,21	0,30	0,17	0,025	0,010	0,037	0,005
72,5	13,1	8,7	3,9	0,99	0,22	0,32	0,17	0,022	0,011	0,005	0,004
72,6	13,2	8,7	3,9	0,97	0,21	0,32	0,17	0,023	0,011	0,003	0,003
72,5	13,2	8,7	4,0	0,95	0,20	0,32	0,17	0,022	0,010	0,004	0,003
72,4	13,3	8,7	4,0	0,94	0,22	0,30	0,16	0,021	0,010	0,003	0,003
72,4	13,3	8,7	4,0	0,91	0,21	0,31	0,15	0,023	0,010	0,001	0,003
72,3	13,3	8,7	4,0	0,94	0,20	0,31	0,15	0,024	0,011	0,005	0,005
72,3	13,3	8,7	4,0	0,94	0,22	0,31	0,16	0,025	0,010	0,005	0,005

В результате смешения трех ингредиентов, раскрытых в прототипе, образуется однородная, гомогенная система в виде водной суспензии. По прототипу смешение трех ингредиентов происходит в интенсивном промышленном смесителе в течение 30-45 мин, что подтверждено практикой его промышленного внедрения авторами на действующем производстве. После смешения ингредиентов и выгрузки

готовой водной суспензии из смесителя последовательно производятся дальнейшие технологические операции.

Длительность одного цикла смешения ингредиентов с целью получения водной суспензии нужной кондиции определяет производительность всей технологической линии по производству пеностекла. При непрерывном производственном режиме, характерном для промышленного производства пеностекла из-за особенностей технологических процессов и промышленного оборудования на одной производственной линии, включающей в себя один смеситель интенсивного типа с рабочим объемом камеры смесителя $V_{\text{раб.}} \sim 0,25 \text{ м}^3$, производительность получения водной суспензии составляет около 300-400 кг/ч.

Патенты RU 2526452 и RU 2594416 раскрывают способы производства пеностекла из стеклобоя с использованием добавок, которые снижают температуру спекания и сокращают длительность этапа вспенивания, однако не влияют на длительность этапа смешения исходных сырьевых компонент.

В настоящее время важное значение имеет увеличение производительности процесса получения пеностекла при рациональном использовании энергетических и материальных ресурсов на производство продукции, сохраняя при этом высокие потребительские качества пеностекла.

В рамках данной заявки решается задача увеличения производительности производства пеностекла не менее чем в 3 раза без ухудшения водостойкости и химической стойкости пеностекла за счет сокращения длительности этапа смешения исходных сырьевых ингредиентов для цели получения водной суспензии, предназначенной для ее последующей переработки в шихту и получения пеностекла.

Решается также задача получения из относительно недорогого боя стекла сырьевой смеси, пригодной для промышленного получения высококачественного водо-, паро- и химически стойкого пеностекла, с высокими теплотехническими характеристиками за счет гомогенной структуры закрытых ячеек и исключения образования в структуре пеностекла кристаллических включений второй фазы, которое при малой плотности обладало бы повышенными прочностными характеристиками. Решается также задача получения пеностекла, которое при плотности 100-200 кг/м³ имело бы высокую прочность от 10 до 50 кг/см².

Поставленная задача решается тем, что способ производства пеностекла включает смешивание в течение 4-12 мин тонкомолотого порошка стекла с размером зерна основной фракции не более 30 мкм, углеродсодержащего газообразователя, воды, а также щелочесодержащих веществ, взятых соответственно в соотношении, мас. %: вода - 3-25; углеродсодержащий газообразователь - 0,5-3,0; щелочесодержащие вещества - 0,2-2,0, тонкомолотый порошок стекла - остальное, с образованием водной суспензии, последующее высушивание полученной водной суспензии путем двухстадийной термообработки так, что на первом этапе температуру термообработки суспензии задают менее 100°C и выдерживают в течение 30-60 мин, а на втором этапе задают температуру из диапазона 200-550°C и выдерживают до полного удаления воды, последующее охлаждение высушенного продукта до температуры окружающей среды и его измельчение до размеров зерна основной фракции не более 30 мкм с получением порошкообразной гомогенной смеси, последующее проведение многостадийной термообработки указанной порошкообразной гомогенной смеси путем ее предварительного нагрева до температуры спекания из диапазона 570-650°C, при этом нагрев указанной смеси в диапазоне температур от 300±10°C до температуры спекания ведут в течение 60-90 мин, последующей выдержки при температуре спекания полученного продукта в течение 60-90 мин, дальнейшего нагрева до температуры вспенивания из диапазона 740-830°C со скоростью 2-3°/мин, последующей выдержки при температуре вспенивания, выбранной из диапазона 740-830°C, в течение времени, достаточного для завершения процесса вспенивания и получения после охлаждения пеностекла, имеющего при плотности 100-200 кг/м³ прочность от 10,0 до 50,0 кг/см².

Предпочтительно, что в качестве углеродсодержащего газообразователя используют вещества из ряда: органические кислоты, моноспирты и полиолы, целлюлоза, углеводороды. Кроме того, предпочтительно, что в качестве щелочесодержащих веществ используют гидроксиды либо натриевые соли угольной кислоты.

Целесообразно, что щелочесодержащие вещества смешивают предварительно либо с тонкомолотым порошком стекла, либо с водой.

Предпочтительно, что после завершения процесса вспенивания предварительно закачивают структуру вспененного продукта путем снижения температуры от температуры вспенивания 740-830°C до температуры из диапазона 500-550°C со скоростью в интервале 50-100°/мин, а затем полученную при закалке структуру пеностекла стабилизируют, для чего предварительно выдерживают при температуре из диапазона 500-650°C в течение 40-60 мин, а затем осуществляют трехстадийное охлаждение так, что на первом этапе охлаждение от температуры из диапазона 500-650°C до температуры 300±10°C ведут со скоростью не более 0,2°/мин, на втором этапе последующее охлаждение до температуры 200±10°C ведут со скоростью не более 0,37 мин, а на третьем этапе ведут охлаждение до температуры окружающей среды.

При внедрении способа получения пеностекла по патенту ЕА 013986 на действующем производстве авторами-правообладателями было экспериментально установлено, что для увеличения производительности промышленного производства без ухудшения водостойкости и химической стойкости пеностекла

длительность этапа смешения компонентов в одном цикле может быть уменьшена до 4-12 мин за счет использования при смешении исходных сырьевых ингредиентов также щелочесодержащих веществ, например гидроксидов в количестве из диапазона от 0,2 до 2,0 мас. % по отношению к общей массе водной суспензии.

Сущность данного способа производства пеностекла состоит в использовании на этапе получения водной суспензии четырех ингредиентов: тонкомолотого стеклобоя, углеродсодержащего газообразователя, воды и щелочесодержащих веществ, при этом этап смешения исходных сырьевых ингредиентов проводится путем введения в смесь щелочесодержащих веществ либо в сухом состоянии с тонкомолотым порошком стекла, либо, что предпочтительно, совместно с водой.

В результате смешения согласно данному способу указанных выше четырех ингредиентов получают с увеличенной производительностью водную суспензию, предназначенную для получения в дальнейшем шихты и пеностекла, обладающего требуемыми характеристиками.

В результате введения в водную суспензию щелочесодержащих веществ, например гидроксидов, в количестве от 0,2 до 2,0 мас.% по отношению к массе водной суспензии достигается сокращение длительности технологического процесса смешения компонентов в промышленном производстве в одном цикле с 30-45 до 4-12 мин. В результате чего достигается технический результат, выраженный в значительном увеличении производительности процесса в целом за счет сокращения длительности стадии получения водной суспензии, необходимой для производства пеностекла на уже существующем технологическом оборудовании без снижения качества самого пеностекла.

Введение в водную суспензию щелочесодержащих веществ в количестве от 0,2 до 2,0 мас.% по отношению к общей массе водной суспензии приводит к снижению массовой доли воды, указанной в прототипе, с 7 до 3% к общей массе водной суспензии.

Сущность изобретения поясняется неограничивающими примерами реализации способа получения пеностекла с использованием на стадии получения сырьевой водной суспензии четырех исходных ингредиентов.

Пример 1.

Для производства пеностекла согласно данному способу на стадии получения сырьевой водной суспензии используют четыре ингредиента, которые смешиваются в заданных соотношениях в интенсивном смесителе, эксплуатируемом в дискретном режиме. Такой способ получения водной суспензии позволяет производить точное дозирование сырьевых компонентов и точно контролировать длительность каждого цикла смешения, а значит - обеспечивать высокое качество конечного продукта производства. С помощью дозирующих промышленных устройств последовательно загружаются в рабочую камеру смесителя тонкомолотый порошок стекла, полученный из отходов флот-стекла, в количестве 190 кг (92,7%), технологическую воду в количестве 12,35 кг (6,03%) и углеродсодержащий газообразователь - глицерин в количестве 1,37 кг (0,67%). В технологическую воду предварительно введен карбонат натрия в количестве 1,24 кг (0,6%) к общей массе водной суспензии.

Интенсивное смешение четырех исходных ингредиентов в промышленном смесителе в одном цикле смешения и получение водной суспензии с использованием четырех компонент производится в течение 7 мин, вместо 35 мин, требующихся по прототипу.

После завершения цикла смешения четырех ингредиентов и выгрузки полученной в результате такого смешения гомогенной водной суспензии, пригодной для проведения последующих технологических операций, цикл смешения ингредиентов повторяется. Водную суспензию, полученную данным способом, помещают в сушилку и подвергают двухстадийной термообработке предварительно при температуре не более 100°C в течение 60 мин до состояния коалесценции, затем производят второй этап сушки при температуре до 500°C и выдерживают до полного удаления воды с получением высушенного продукта. Полученный в процессе термообработки высушенный продукт охлаждают естественным путем до температуры окружающей среды, после чего измельчают в порошок до размеров зерна основной фракции не более 30 мкм.

Полученную таким образом порошкообразную гомогенную смесь порциями загружают в металлические формы - контейнеры, и вводят в туннельную печь и нагревают до температуры спекания 600°C согласно температурному графику так, что нагрев от 300°C до температуры спекания осуществляют в течение 60 мин. Затем осуществляют дальнейший нагрев до температуры вспенивания 740°C и выдержку при этой температуре до завершения процесса вспенивания в течение 30 мин.

Затем структуру полученного вспененного продукта предварительно фиксируют путем закалки, для чего снижают температуру от температуры вспенивания 740°C до температуры 500°C со скоростью 50°/мин. После этого полученную при закалке структуру пеностекла стабилизируют, для чего предварительно выдерживают при температуре 630°C в течение 60 мин, а затем осуществляют контролируемое трехстадийное охлаждение пеностекла до температуры окружающей среды так, что на первом этапе охлаждение от температуры 630°C до температуры 300±10°C ведут со скоростью 0,17 мин, на втором этапе охлаждение до температуры 200±10°C ведут со скоростью 0,2°/мин, а на третьем этапе ведут охлаждение до температуры окружающей среды.

После завершения процесса вспенивания получают теплоизоляционное пеностекло, имеющее плотность $\sim 120-130 \text{ кг/м}^3$ и прочность $-12-14 \text{ кг/см}^2$. Следует понимать, что другие типы газообразователей также могут быть использованы для обеспечения газообразования в течение процесса вспенивания пеностекла.

Пример 2.

В интенсивный промышленный смеситель с помощью дозирующих устройств последовательно вводятся тонкомолотый порошок стекла в количестве 190 кг, затем технологическая вода в количестве 14,0 кг, а в качестве углеродсодержащего газообразователя использована этановая кислота в количестве 1,03 кг. При введении в рабочую камеру смесителя последовательно указанных компонентов процесс перемешивания производится непрерывно. Затем в процессе непрерывного перемешивания в промежуточный продукт перемешивания вводится каустическая сода (техническое название натрия гидроксида; едкая щелочь NaOH), в количестве 0,7 кг, что составляет 0,34% к общей массе водной суспензии по прототипу.

Интенсивное смешение четырех ингредиентов для получения водной суспензии в промышленном смесителе производится в течение 10 мин, вместо 40 мин, необходимых по прототипу.

После завершения цикла смешения четырех ингредиентов и выгрузки из смесителя полученной водной суспензии для проведения последующих технологических операций цикл смешения компонентов в смесителе повторяется.

Значимое сокращение времени смешения компонентов на этапе получения водной суспензии позволяет значительно увеличить объемы промышленного производства водной суспензии в единицу времени, чем достигается эффект повышения производительности процесса промышленного производства пеностекла.

Дальнейшие технологические операции по производству пеностекла производятся в последовательности, аналогичной в примере 1 при температуре вспенивания 750°C .

Данный способ производства теплоизоляционного пеностекла и физико-механические свойства пеностекла обеспечиваются за счет совокупности экспериментально подобранных, взаимосвязанных и взаимообусловленных между собой физических, химических и термических факторов, таких как физико-химический состав исходной сырьевой композиции для приготовления водной суспензии, а также технологическая последовательность и температурный график формирования порошкообразной гомогенной смеси из полученной предварительно водной суспензии; технологическая последовательность и температурный график обработки гомогенной смеси.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ производства пеностекла, включающий смешивание в течение 4-12 мин тонкомолотого порошка стекла с размером зерна основной фракции не более 30 мкм, углеродсодержащего газообразователя, воды, а также щелочесодержащих веществ, взятых соответственно в соотношении, мас. %: вода - 3-25; углеродсодержащий газообразователь - 0,5-3,0; щелочесодержащие вещества - 0,2-2,0, тонкомолотый порошок стекла - остальное, с образованием водной суспензии, последующее высушивание полученной водной суспензии путем двухстадийной термообработки так, что на первом этапе температуру термообработки суспензии задают менее 100°C и выдерживают в течение 30-60 мин, а на втором этапе задают температуру из диапазона $200-550^\circ\text{C}$ и выдерживают до полного удаления воды, последующее охлаждение высушенного продукта до температуры окружающей среды и его измельчение до размеров зерна основной фракции не более 30 мкм с получением порошкообразной гомогенной смеси, последующее проведение многостадийной термообработки указанной порошкообразной гомогенной смеси путем ее предварительного нагрева до температуры спекания из диапазона $570-650^\circ\text{C}$, при этом нагрев указанной смеси в диапазоне температур от $300 \pm 10^\circ\text{C}$ до температуры спекания ведут в течение 60-90 мин, последующей выдержки при температуре спекания полученного продукта в течение 60-90 мин, дальнейшего нагрева до температуры вспенивания из диапазона $740-830^\circ\text{C}$ со скоростью $2-37^\circ/\text{мин}$, последующей выдержки при температуре вспенивания, выбранной из диапазона $740-830^\circ\text{C}$, в течение времени, достаточного для завершения процесса вспенивания и получения после охлаждения пеностекла, имеющего при плотности из диапазона $100-200 \text{ кг/м}^3$ прочность из диапазона от 10,0 до $50,0 \text{ кг/см}^2$.

2. Способ по п.1, характеризующийся тем, что в качестве углеродсодержащего газообразователя используют вещества из ряда: органические кислоты, моноспирты и полиолы, целлюлоза, углеводороды.

3. Способ по п.1, характеризующийся тем, что в качестве щелочесодержащих веществ используют гидроксиды либо натриевые соли угольной кислоты.

4. Способ по п.1, характеризующийся тем, что щелочесодержащие вещества смешивают предварительно либо с тонкомолотым порошком стекла, либо с водой.

5. Способ по п.1, характеризующийся тем, что после завершения процесса вспенивания предварительно закаляют структуру вспененного продукта путем снижения температуры от температуры вспенивания $740-830^\circ\text{C}$ до температуры из диапазона $500-550^\circ\text{C}$ со скоростью в интервале $50-100^\circ/\text{мин}$, а затем полученную при закалке структуру пеностекла стабилизируют, для чего предварительно выдерживают

вают при температуре из диапазона 500-650°C в течение 40-60 мин, а затем осуществляют трехстадийное охлаждение так, что на первом этапе охлаждение от температуры из диапазона 500-650°C до температуры $300\pm 10^\circ\text{C}$ ведут со скоростью не более $0,2^\circ/\text{мин}$, на втором этапе последующее охлаждение до температуры $200\pm 10^\circ\text{C}$ ведут со скоростью не более $0,3^\circ/\text{мин}$, а на третьем этапе ведут охлаждение до температуры окружающей среды.

