

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(21) **202392397** (13) **A1**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ**

(43) Дата публикации заявки  
**2024.04.22**

(51) Int. Cl. **C04B 28/30** (2006.01)  
**C04B 38/10** (2006.01)  
**C04B 41/64** (2006.01)  
**C04B 111/52** (2006.01)  
**C04B 111/27** (2006.01)

(22) Дата подачи заявки  
**2022.06.13**

**(54) ПОРИСТЫЙ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИЙ МАТЕРИАЛ С ЗОЛЬНОЙ ПЫЛЬЮ НА  
ОСНОВЕ МАГНИЯ С ГИДРОФОБНО МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ И  
СПОСОБ ЕГО ПОЛУЧЕНИЯ**

(31) **202111050430.0**

(72) Изобретатель:  
**Чэн Фанцинъ, Фан Ли, Чжоу Дундун,  
Хэ Цзянькуань, Цзя Чжэньчжэнь (CN)**

(32) **2021.09.08**

(33) **CN**

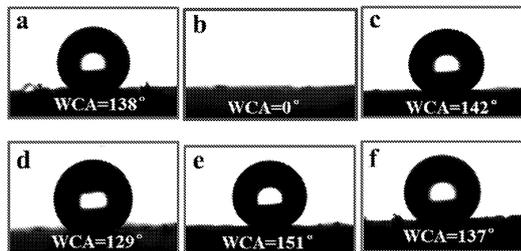
(86) **PCT/CN2022/098361**

(74) Представитель:  
**Кузнецова С.А. (RU)**

(87) **WO 2023/035709 2023.03.16**

(71) Заявитель:  
**ШАНЬСИ ЮНИВЕРСИТИ (CN)**

(57) Настоящее изобретение относится к области звукопоглощения и шумоподавления и, в частности, относится к пористому звукопоглощающему материалу с зольной пылью на основе магния с гидрофобно модифицированной поверхностью и способу его получения. Для создания звукопоглощающего материала, который имеет малый вес, высокую прочность, превосходные звукопоглощающие свойства, хорошую устойчивость к атмосферным воздействиям, низкую стоимость и является экологичным и безвредным для окружающей среды, согласно настоящему изобретению звукопоглощающий материал получают путем использования цемента на основе сульфата магния в качестве гелеобразующего средства, использования зольной пыли в качестве минеральной присадки, использования процесса физического вспенивания, выполнения вспенивания посредством машины для вспенивания, превращения в массу, смешивания пены и суспензии, выливания и выполнения обслуживания и выполнения поверхностной гидрофобной модификации путем осаждения из паровой фазы. Звукопоглощающий материал имеет плотность 251-306 кг/м<sup>3</sup>, коэффициент шумоподавления 0,65-0,7, предел прочности при сжатии 1,8-2,2 МПа и угол контакта с водой 129-151°.



**A1**

**202392397**

**202392397**

**A1**

P102055124EB

**ПОРИСТЫЙ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИЙ МАТЕРИАЛ С ЗОЛЬНОЙ ПЫЛЬЮ НА  
ОСНОВЕ МАГНИЯ С ГИДРОФОБНО МОДИФИЦИРОВАННОЙ  
ПОВЕРХНОСТЬЮ И СПОСОБ ЕГО ПОЛУЧЕНИЯ**

**ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ**

Настоящее изобретение относится к области звукопоглощения и шумоподавления и, в частности, относится к пористому звукопоглощающему материалу с зольной пылью на основе магния с гидрофобно модифицированной поверхностью и способу его получения.

**ПРЕДПОСЫЛКИ ИЗОБРЕТЕНИЯ**

В последние годы с быстрым развитием промышленности и транспорта шумовое загрязнение постепенно усиливается. В настоящее время обычные способы управления шумом включают: размещение противозумовых барьеров по обе стороны дороги, размещение звукопоглощающего материала вокруг здания фабрики и тому подобное. В отличие от звукоизоляционных противозумовых барьеров звукопоглощающие противозумовые барьеры могут поглощать звуковые волны и улучшать звуковую среду как на внутренней, так и на внешней сторонах дороги. Неорганические неметаллические пористые материалы, такие как минеральная вата, пористая керамика, пеноцемент и другие, обычно используют в качестве материалов плиты блока для звукопоглощающих противозумовых барьеров из-за их преимуществ, таких как превосходная огнестойкость, устойчивость к атмосферным воздействиям и другие.

Хотя минеральная вата и пористая керамика обладают отличными звукопоглощающими свойствами, процесс производства минеральной ваты вызывает сильное загрязнение и ставит под угрозу здоровье работников, а использование минеральной ваты также приводит к загрязнению окружающей среды или тому подобному; а процесс изготовления пористой керамики характеризуется высоким энергопотреблением, высокой уязвимостью и относительно высокой стоимостью. Хотя традиционный пеноцемент имеет низкую стоимость, трудно достичь как превосходных механических свойств, так и превосходных звукопоглощающих свойств. Следовательно, необходимо срочно разработать недорогой и экологически чистый звукопоглощающий материал с легким весом, высокой прочностью, отличными звукопоглощающими свойствами и отличной устойчивостью к атмосферным воздействиям.

В патенте CN207062795U раскрыт звукопоглощающий материал на основе цемента, в котором звукопоглощающие отверстия выполнены на боку основной части материала для увеличения площади непосредственного контакта между пористой поглощающей структурой внутри материала и звуковыми волнами, и средний коэффициент звукопоглощения полученного пористого звукопоглощающего материала увеличивается на 6 %—30 %. Хотя размещение звукопоглощающих отверстий способствует улучшению звукопоглощающих свойств, это неизбежно сказывается на механической прочности материала. В патенте CN110255987A раскрыт вспененный звукопоглощающий материал на основе цемента, в котором вспенивание проводят анионным поверхностно-активным веществом, а затем проводят естественную сушку воздухом для получения достаточного количества пор, и средний коэффициент звукопоглощения увеличивается на 10 %—30 %. Однако естественная сушка воздухом может привести к неполной гидратации материала из-за быстрой потери поверхностной

воды, тем самым вызывая измельчение поверхности. В патенте CN108529887B раскрыт способ получения высокопрочного пористого звукопоглощающего материала с использованием доменного медленно охлаждаемого высокотитанового шлака в качестве основного сырья. Однако средний коэффициент звукопоглощения полученного материала составляет всего от 0,28 до 0,49. Zhou Dongdong et al. (Study on Controllable Preparation and Performance of Basic Magnesium Sulfate Porous Sound-absorbing Material [J]. Журнал CIESC, 2021, 72 (6): 3041–3052.) используют цементирующий материал на основе сульфата магния в качестве матричного материала, тетрадецилбетаин в качестве воздухововлекающего средства и зольную пыль в качестве минеральной присадки для получения пористого звукопоглощающего материала с плотностью от 370 кг/м<sup>3</sup> до 430 кг/м<sup>3</sup> и коэффициентом шумоподавления (NRC) от 0,5 до 0,6. Однако в этом способе для вспенивания используют механическое перемешивание, так что пенообразующая способность низкая и трудно получить материал с низкой плотностью (менее 300 кг/м<sup>3</sup>) и отличными звукопоглощающими свойствами.

Учитывая это, в настоящем изобретении предложен пористый звукопоглощающий материал с зольной пылью на основе магния с гидрофобно модифицированной поверхностью и способ его получения. Звукопоглощающий материал представляет собой новый пористый звукопоглощающий материал с гидрофобной поверхностью, легким весом, высокой прочностью и превосходными звукопоглощающими свойствами, полученный следующим образом: цемент на основе сульфата магния используют в качестве цементирующего вещества, а зольную пыль используют в качестве минеральной присадки для получения суспензии, вспенивание выполняют посредством процесса физического вспенивания в машине для вспенивания для получения пены, и пену смешивают с суспензией, а полученную смесь выливают и отверждают, и затем

подвергают поверхностной гидрофобной модификации путем осаждения из паровой фазы.

## **СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ**

Целью настоящего изобретения является предоставление пористого звукопоглощающего материала с зольной пылью на основе магния с гидрофобно модифицированной поверхностью и способа его получения. Звукопоглощающий материал в основном содержит сквозные отверстия с ворсистыми внутренними стенками, проявляет отличные звукопоглощающие свойства и обладает такими характеристиками, как легкий вес, высокая прочность, гидрофобность поверхности и выраженная устойчивость к атмосферным воздействиям.

Для достижения вышеуказанной цели в настоящем изобретении используют следующие технические решения.

Предложен способ получения пористого звукопоглощающего материала с зольной пылью на основе магния с гидрофобно модифицированной поверхностью, включающий следующие этапы:

этап 1: тщательное смешивание оксида магния, зольной пыли и волокна для получения смешанного сухого материала;

этап 2: растворение гептагидрата сульфата магния и присадки в воде и нагрев для растворения с получением раствора сульфата магния, содержащего присадку;

этап 3: добавление смешанного сухого материала, полученного на этапе 1, к раствору сульфата магния, содержащему присадку, полученному на этапе 2, и перемешивание

для получения цементной суспензии;

этап 4: разбавление пенообразующего средства водой, использование машины для вспенивания для получения пены и добавление пены к цементной суспензии, полученной на этапе 3, при низкоскоростном перемешивании для получения вспененной суспензии;

этап 5: выливание вспененной суспензии, полученной на этапе 4, в форму, накрывание слоем полиэтиленовой пленки, отверждение на воздухе при комнатной температуре в течение 1 дня, извлечение из формы и дополнительное отверждение до достижения срока испытания для получения пористого материала с зольной пылью на основе магния;

этап 6: добавление модификатора по каплям вокруг пористого материала с зольной пылью на основе магния, полученного на этапе 5, герметизация и выполнение модификации в виде поверхностного осаждения при постоянной температуре для получения модифицированного материала; и

этап 7: полное охлаждение модифицированного материала, полученного на этапе 6, при комнатной температуре и извлечение модифицированного материала для получения пористого звукопоглощающего материала с зольной пылью на основе магния с гидрофобно модифицированной поверхностью.

Дополнительно на этапе 1 оксид магния представляет собой легко обожженную магнезию (LBM), в которой содержание активного оксида магния составляет от 55 вес. % до 70 вес. %. Слишком высокое содержание активного оксида магния приведет к слишком быстрой коагуляции суспензии, что приведет к плохой текучести во время

выливания; а слишком низкое содержание активного оксида магния приведет к слишком медленной коагуляции суспензии и к тому, что время стабилизации пены не будет соответствовать времени коагуляции суспензии, что приведет к разрушению формы.

Масса зольной пыли составляет от 10 % до 30 % от общей массы смешанного сухого материала. Зольную пыль используют в качестве минеральной присадки, которая может снизить стоимость материала. Однако в слабощелочной системе на основе сульфата магния пуццолановая активность зольной пыли вряд ли можно стимулировать, и, таким образом, зольная пыль может только играть роль микроагрегата. Слишком высокое содержание зольной пыли может снизить концентрацию реагирующего вещества, увеличить сопротивление диффузии реагирующего вещества и снизить механические свойства.

Масса волокна составляет от 0,3 % до 0,8 % от общей массы смешанного сухого материала. Добавление соответствующего количества волокна может играть роли передачи нагрузки, предотвращения образования трещин и эффекта вытягивания, тем самым улучшая механические свойства материала. Однако добавление чрезмерного количества волокна не только увеличивает стоимость, но также легко вызывает агломерацию волокна.

Дополнительно на этапе 1 волокно представляет собой любое волокно, выбранное из группы, состоящей из полиэтиленового (PE) волокна, полипропиленового (PP) волокна, волокна на основе поливинилового спирта (PVA), волокна на основе сложного полиэфира и полиамидного (PA) волокна.

Дополнительно на этапе 2 молярное соотношение сульфата магния в гептагидрате

сульфата магния к активному оксиду магния составляет 1:5; а масса присадки составляет от 0,5 % до 1 % от массы активного оксида магния. Каждое соотношение сырья определяют согласно теоретическому значению уравнения дозирования реакции гидратации.

Присадка представляет собой любую присадку, выбранную из группы, состоящей из лимонной кислоты, цитрата, винной кислоты, тартрата, фосфорной кислоты и фосфата. Анион присадки может образовывать комплекс с гидратированным оксидом магния для замедления реакции гидратации и препятствования образованию осадка гидроксида магния. Однако слишком высокое содержание присадки приведет к слишком длительному времени коагуляции, тем самым влияя на эффективность конструкции.

Нагрев проводят при 30 °C–50 °C для растворения, где соответствующая температура может ускорить растворение сульфата магния и повысить эффективность конструкции.

Дополнительно на этапе 3 соотношение воды и цемента в цементной суспензии составляет от 0,6 до 0,8, и соотношение воды и цемента оказывает большое влияние на механические свойства и рабочие свойства материала. Слишком большое соотношение воды и цемента приведет к медленной коагуляции материала и повлияет на эффективность конструкции; а слишком малое соотношение воды и цемента ухудшит рабочие свойства суспензии.

Дополнительно на этапе 3 перемешивание проводят при 600–800 об/мин в течение 8–10 мин. Слишком короткое время перемешивания и слишком низкая скорость вращения приведут к не тщательному перемешиванию, что тем самым влияет на механические свойства материала. Слишком длительное время перемешивания и слишком высокая скорость вращения ускорят коагуляцию суспензии, тем самым ухудшая рабочие

свойства. Если пена имеет слишком большую плотность, то пенообразующие свойства материала снизятся, а соотношение воды и цемента увеличится. Слишком быстрое перемешивание нарушит стабильность пены, а слишком медленное перемешивание затруднит тщательное смешивание пены с суспензией.

Дополнительно на этапе 4 пенообразующее средство разбавляют водой в 50–80 раз; пенообразующее средство получают путем смешивания одного или более, выбранного из группы, состоящей из тетрадецилдиметилбетаина, додецилбензолсульфоната натрия (SDBS) и додецилсульфата натрия (SDS), в любом соотношении; пена имеет плотность от 30 кг/м<sup>3</sup> до 60 кг/м<sup>3</sup>; низкоскоростное перемешивание выполняют при от 200 об/мин до 400 об/мин; при осаждении из паровой фазы пар модификатора прикрепляют к поверхности и поверхностной пористой структуре материала посредством физической адсорбции и капиллярной конденсации на поверхности пористого материала, что расходует только очень небольшое количество модификатора. Чрезмерное количество модификатора не только приведет к расходу сырья и увеличению стоимости, но также может привести к закупорке пор и снижению звукопоглощающих свойств.

Дополнительно на этапе 6 модификатор представляет собой любой, выбранный из группы, состоящей из триэтоксиметилсилана, изобутилтриэтоксисилана,  $\gamma$ -аминопропилтриэтоксисилана, поли(метил–3,3,3–триоксопропил)силоксана и 1H, 1H, 2H, 2H-перфтордецилтриэтоксисилана (PFDTES); и модификатор добавляют по каплям в количестве от 1 мл до 10 мл на 1 м<sup>2</sup> пористого материала с зольной пылью на основе магния.

Дополнительно на этапе 6 постоянная температура означает от 55 °C до 70 °C в течение от 2 до 6 часов. Если температура слишком высокая, это повлияет на стабильность

пористого материала; а если температура слишком низкая, модификатор будет медленно испаряться, и осаждаемое количество будет небольшим, что приведет к плохой гидрофобности.

Предложен пористый звукопоглощающий материал с зольной пылью на основе магния с гидрофобно модифицированной поверхностью, полученный способом получения, где пористый звукопоглощающий материал с зольной пылью на основе магния с гидрофобно модифицированной поверхностью имеет плотность от 251 кг/м<sup>3</sup> до 306 кг/м<sup>3</sup>, NRC от 0,65 до 0,7, предел прочности при сжатии от 1,8 МПа до 2,2 МПа и угол контакта с водой от 129° до 151°.

По сравнению с известным уровнем техники настоящее изобретение обладает следующими преимуществами:

(1) В настоящем изобретении для получения пены с низкой плотностью используют машину для вспенивания, и затем пену с низкой плотностью смешивают с цементной суспензией на основе сульфата магния для вспенивания с получением пористого материала с зольной пылью на основе магния с низкой плотностью. И наоборот, трудно получить вспененный материал с низкой плотностью посредством обычного химического вспенивания или физического вспенивания, достигаемого путем добавления поверхностно-активного вещества и перемешивания. Кроме того, поскольку зольная пыль может только играть роль микроагрегата в слабощелочной суспензии цемента на основе сульфата магния, несоответствующий способ вспенивания приведет к значительному увеличению плотности. В настоящем изобретении звукопоглощающий материал на основе магния с содержанием зольной пыли 30 % может иметь плотность всего лишь от 250 кг/м<sup>3</sup> до 300 кг/м<sup>3</sup>.

(2) Пористый звукопоглощающий материал, полученный согласно настоящему изобретению, имеет однородные пористые структуры, большую пористость с более высокой долей открытых ячеек и многочисленные каналы пор, что облегчает проникновение звуковых волн в материал. Кроме того, большое количество  $5 \cdot 1 \cdot 7$  фазовых игольчатых и стержнеобразных кристаллов растет на внутренних стенках пор с образованием ворсистой микро-нано шероховатой поверхности, которая значительно усиливает трение и вязкость между стенками пор и воздухом, позволяет быстро преобразовывать звуковую энергию в тепловую энергию и резко ослабляет звуковые волны, тем самым достигается цель эффективного шумоподавления.

(3) В настоящем изобретении способ низкотемпературного осаждения из паровой фазы используют для того, чтобы подвергнуть полученный пористый звукопоглощающий материал с зольной пылью на основе магния поверхностной гидрофобной модификации при температуре не выше  $70^\circ\text{C}$ , которая не оказывает влияния на химический состав и пористую структуру материала. Во время низкотемпературного осаждения из паровой фазы пар, генерируемый при испарении модификатора, равномерно осаждается на поверхности и стенке поры посредством физической адсорбции и капиллярной конденсации на поверхности пористого материала, так что поверхность демонстрирует превосходную гидрофобность. Кроме того, толщина осажденного модификатора является регулируемой, а количество модификатора невелико, что эффективно снижает стоимость сырья.

(4) При плотности  $250 \text{ кг/м}^3$  пористый звукопоглощающий материал с зольной пылью на основе магния с гидрофобно модифицированной поверхностью, полученный согласно настоящему изобретению, имеет NRC вплоть до 0,7, предел прочности при

сжатии вплоть до 1,8 МПа и угол контакта с водой вплоть до 151°C, может отвечать требованиям эффективного звукопоглощения, превосходных механических свойств и устойчивости к атмосферным воздействиям, а также может быть широко использован в туннелях, на автомагистралях, на железных дорогах и в других местах или средах, которые требуют звукопоглощения и шумоподавления. Кроме того, пористый звукопоглощающий материал обладает превосходной пригодностью к формованию и при необходимости может быть переработан в звукопоглощающие панели разных форм.

(5) Пористый звукопоглощающий материал с зольной пылью на основе магния с гидрофобно модифицированной поверхностью, полученный согласно настоящему изобретению, характеризуется простым процессом, низкой стоимостью и отсутствием загрязнения пылью, является экологически чистым и может быть легко использован в промышленном производстве.

## **КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**

На фиг. 1A–1F показаны углы контакта с водой материалов, полученных в сравнительных примерах 1 и 2 и примерах 1, 2, 3 и 4,

где фиг. 1A приведена для сравнительного примера 1, фиг. 1B приведена для сравнительного примера 2, фиг. 1C приведена для примера 1, фиг. 1D приведена для примера 2, фиг. 1E приведена для примера 3, и фиг. 1F приведена для примера 3.

На фиг. 2 показана пористая структура и микроморфология пористого звукопоглощающего материала с зольной пылью на основе магния.

## **ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ВАРИАНТОВ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ**

Технические решения настоящего изобретения будут дополнительно описаны ниже посредством конкретных примеров. Специалисты в данной области техники должны понимать, что конкретные примеры только помогают понять настоящее изобретение и не должны рассматриваться как конкретные ограничения настоящего изобретения.

### **Сравнительный пример 1**

Был предложен способ получения пористого звукопоглощающего материала с цементом на основе сульфата магния с гидрофобно модифицированной поверхностью, включающий следующие этапы.

(1) Взвешивание 1380 г оксида магния с содержанием активного оксида магния 61 вес. % и 982,6 г гептагидрата сульфата магния, где молярное соотношение активного оксида магния к сульфату магния составляет 5:1; взвешивание 6,19 г РР волокна и 8,44 г лимонной кислоты; и тщательное смешивание активного оксида магния с волокном для получения смешанного сухого материала.

(2) Взвешивание 792,4 г воды; и смешивание гептагидрата сульфата магния, лимонной кислоты и воды, и выдерживание на водяной бане при 45 °С для растворения с получением раствора сульфата магния.

(3) Добавление смешанного сухого материала, полученного на этапе (1), к раствору сульфата магния, полученному на этапе (2), и тщательное перемешивание полученной смеси для получения суспензии.

(4) Разбавление тетрадецилдиметилбетаина в соотношении 1:60 и затем использование для вспенивания в машине для вспенивания для получения пены с плотностью 45 кг/м<sup>3</sup>, и добавление пены к суспензии, полученной на этапе (3), при перемешивании со

скоростью вращения 300 об/мин для получения вспененной суспензии.

(5) Выливание вспененной суспензии в форму и оборачивание пленкой, отверждение на воздухе при комнатной температуре в течение 1 дня, затем извлечение из формы и дополнительное отверждение до достижения срока испытания для получения пористого звукопоглощающего материала с цементом на основе сульфата магния.

(6) Размещение пористого звукопоглощающего материала, полученного на этапе (5), в чашке Петри, затем добавление 0,2 мл PFDTES по каплям вокруг материала в чашке Петри, герметичное закрытие чашки Петри крышкой и затем размещение в термостате при температуре 55 °С, и выполнение модификации в виде поверхностного осаждения при постоянной температуре в течение 2 ч.

(7) После модификации при постоянной температуре извлечение чашки Петри с закрытой крышкой и охлаждение до комнатной температуры для получения пористого звукопоглощающего материала с цементом на основе сульфата магния с гидрофобно модифицированной поверхностью.

Угол контакта с водой пористого звукопоглощающего материала с цементом на основе сульфата магния с гидрофобно модифицированной поверхностью, полученного в этом сравнительном примере, показан на фиг. 1А, а показатели механических и звукопоглощающих свойств звукопоглощающего материала показаны в таблице 1.

## **Сравнительный пример 2**

Предложен способ получения пористого звукопоглощающего материала с зольной пылью на основе магния, включающий следующие этапы.

(1) Взвешивание 1530 г оксида магния с содержанием активного оксида магния 55 вес. % и 982,6 г гептагидрата сульфата магния, где молярное соотношение активного оксида магния к сульфату магния составляет 5:1; взвешивание 502,5 г зольной пыли, 12,6 г волокна на основе PVA и 8,44 г лимонной кислоты; и тщательное смешивание активного оксида магния, зольной пыли и волокна для получения смешанного сухого материала.

(2) Взвешивание 919,8 г воды и смешивание гептагидрата сульфата магния, лимонной кислоты и воды, и выдерживание на водяной бане при 45°C для растворения с получением раствора сульфата магния.

(3) Добавление смешанного сухого материала, полученного на этапе (1), к раствору сульфата магния, полученному на этапе (2), и тщательное перемешивание полученной смеси для получения суспензии.

(4) Разбавление тетрадецилдиметилбетаина в соотношении 1:50 и затем использование для вспенивания в машине для вспенивания для получения пены с плотностью 30 кг/м<sup>3</sup>, и добавление пены к суспензии, полученной на этапе (3), при перемешивании со скоростью вращения 200 об/мин для получения вспененной суспензии.

(5) Выливание вспененной суспензии в форму и оборачивание пленкой, отверждение на воздухе при комнатной температуре в течение 1 дня, затем извлечение из формы и дополнительное отверждение до достижения срока испытания для получения пористого звукопоглощающего материала с зольной пылью на основе магния.

Угол контакта с водой пористого звукопоглощающего материала с зольной пылью на основе магния, полученного в этом сравнительном примере, показан на фиг. 1B, а

показатели механических и звукопоглощающих свойств звукопоглощающего материала показаны в таблице 1.

### Пример 1

Предложен способ получения пористого звукопоглощающего материала с зольной пылью на основе магния с гидрофобно модифицированной поверхностью, включающий следующие этапы.

(1) Взвешивание 1530 г оксида магния с содержанием активного оксида магния 55 вес. % и 982,6 г гептагидрата сульфата магния, где молярное соотношение активного оксида магния к сульфату магния составляет 5:1; взвешивание 502,5 г зольной пыли, 12,6 г волокна на основе PVA и 8,44 г лимонной кислоты; и тщательное смешивание активного оксида магния, зольной пыли и волокна для получения смешанного сухого материала.

(2) Взвешивание 919,8 г воды; и смешивание гептагидрата сульфата магния, лимонной кислоты и воды, и выдерживание на водяной бане при 45 °C для растворения с получением раствора сульфата магния.

(3) Добавление смешанного сухого материала, полученного на этапе (1), к раствору сульфата магния, полученному на этапе (2), и тщательное перемешивание полученной смеси для получения суспензии.

(4) Разбавление тетрадецилдиметилбетаина в соотношении 1:50 и затем использование для вспенивания в машине для вспенивания для получения пены с плотностью 30 кг/м<sup>3</sup>, и добавление пены к суспензии, полученной на этапе (3), при перемешивании со скоростью вращения 200 об/мин для получения вспененной суспензии.

(5) Выливание вспененной суспензии в форму и оборачивание пленкой, отверждение на воздухе при комнатной температуре в течение 1 дня, затем извлечение из формы и дополнительное отверждение до достижения срока испытания для получения пористого звукопоглощающего материала с зольной пылью на основе магния.

(6) размещение пористого звукопоглощающего материала с зольной пылью на основе магния, полученного на этапе (5), в чашке Петри, затем добавление 0,1 мл триэтоксиметилсилана по каплям вокруг материала в чашке Петри, герметичное закрытие чашки Петри крышкой и затем размещение в термостате при температуре 70 °С, и выполнение модификации в виде поверхностного осаждения при постоянной температуре в течение 3 ч.

(7) После модификации при постоянной температуре извлечение чашки Петри с закрытой крышкой и охлаждение до комнатной температуры для получения пористого звукопоглощающего материала с зольной пылью на основе магния с гидрофобно модифицированной поверхностью.

Угол контакта с водой пористого звукопоглощающего материала с зольной пылью на основе магния с гидрофобно модифицированной поверхностью, полученного в этом примере, показан на фиг. 1С, а показатели механических и звукопоглощающих свойств звукопоглощающего материала показаны в таблице 1.

## **Пример 2**

Предложен способ получения пористого звукопоглощающего материала с зольной пылью на основе магния с гидрофобно модифицированной поверхностью, включающий следующие этапы.

(1) Взвешивание 1202 г оксида магния с содержанием активного оксида магния 70 вес. % и 982,6 г гептагидрата сульфата магния, где молярное соотношение активного оксида магния к сульфату магния составляет 5:1; взвешивание 720,8 г зольной пыли, 19,2 г РР волокна и 8,44 г лимонной кислоты; и тщательное смешивание активного оксида магния, зольной пыли и волокна для получения смешанного сухого материала.

(2) Взвешивание 1418,8 г воды; и смешивание гептагидрата сульфата магния, лимонной кислоты и воды, и выдерживание на водяной бане при 45 °С для растворения с получением раствора сульфата магния.

(3) Добавление смешанного сухого материала, полученного на этапе (1), к раствору сульфата магния, полученному на этапе (2), и тщательное перемешивание полученной смеси для получения суспензии.

(4) Разбавление тетрадецилдиметилбетаина в соотношении 1:70 и затем использование для вспенивания в машине для вспенивания для получения пены с плотностью 50 кг/м<sup>3</sup>, и добавление пены к суспензии, полученной на этапе (3), при перемешивании со скоростью вращения 400 об/мин для получения вспененной суспензии.

(5) Выливание вспененной суспензии в форму и оборачивание пленкой, отверждение на воздухе при комнатной температуре в течение 1 дня, затем извлечение из формы и дополнительное отверждение до достижения срока испытания для получения пористого звукопоглощающего материала с зольной пылью на основе магния.

(6) размещение пористого звукопоглощающего материала с зольной пылью на основе магния, полученного на этапе (5), в чашке Петри, затем добавление 0,15 мл изобутилтриэтоксисилана по каплям вокруг материала в чашке Петри, герметичное

закрытие чашки Петри крышкой и затем размещение в термостате при температуре 65 °С, и выполнение модификации в виде поверхностного осаждения при постоянной температуре в течение 4 ч.

(7) После модификации при постоянной температуре извлечение чашки Петри с закрытой крышкой и охлаждение до комнатной температуры для получения пористого звукопоглощающего материала с зольной пылью на основе магния с гидрофобно модифицированной поверхностью.

Угол контакта с водой пористого звукопоглощающего материала с зольной пылью на основе магния с гидрофобно модифицированной поверхностью, полученного в этом примере, показан на фиг. 1D, а показатели механических и звукопоглощающих свойств звукопоглощающего материала показаны в таблице 1.

### **Пример 3**

Предложен способ получения пористого звукопоглощающего материала с зольной пылью на основе магния с гидрофобно модифицированной поверхностью, включающий следующие этапы.

(1) Взвешивание 1380 г оксида магния с содержанием активного оксида магния 61 вес. % и 982,6 г гептагидрата сульфата магния, где молярное соотношение активного оксида магния к сульфату магния составляет 5:1; взвешивание 796,8 г зольной пыли, 13,3 г РР волокна и 8,44 г лимонной кислоты; и тщательное смешивание активного оксида магния, зольной пыли и волокна для получения смешанного сухого материала.

(2) Взвешивание 1488,8 г воды; и смешивание гептагидрата сульфата магния, лимонной кислоты и воды, и выдерживание на водяной бане при 45 °С для растворения с

получением раствора сульфата магния.

(3) Добавление смешанного сухого материала, полученного на этапе (1), к раствору сульфата магния, полученному на этапе (2), и тщательное перемешивание полученной смеси для получения суспензии.

(4) Разбавление тетрадецилдиметилбетаина в соотношении 1:80 и затем использование для вспенивания в машине для вспенивания для получения пены с плотностью 60 кг/м<sup>3</sup>, и добавление пены к суспензии, полученной на этапе (3), при перемешивании со скоростью вращения 400 об/мин для получения вспененной суспензии.

(5) Выливание вспененной суспензии в форму и оборачивание пленкой, отверждение на воздухе при комнатной температуре в течение 1 дня, затем извлечение из формы и дополнительное отверждение до достижения срока испытания для получения пористого звукопоглощающего материала с зольной пылью на основе магния.

(6) Размещение пористого звукопоглощающего материала с зольной пылью на основе магния, полученного на этапе (5), в чашке Петри, затем добавление 0,1 мл PFDTES по каплям вокруг материала в чашке Петри, герметичное закрытие чашки Петри крышкой и затем размещение в термостате при температуре 65 °C, и выполнение модификации в виде поверхностного осаждения при постоянной температуре в течение 3 ч.

(7) После модификации при постоянной температуре извлечение чашки Петри с закрытой крышкой и охлаждение до комнатной температуры для получения пористого звукопоглощающего материала с зольной пылью на основе магния с гидрофобно модифицированной поверхностью.

Угол контакта с водой пористого звукопоглощающего материала с зольной пылью на

основе магния с гидрофобно модифицированной поверхностью, полученного в этом примере, показан на фиг. 1Е, а показатели механических и звукопоглощающих свойств звукопоглощающего материала показаны в таблице 1.

#### Пример 4

Предложен способ получения пористого звукопоглощающего материала с зольной пылью на основе магния с гидрофобно модифицированной поверхностью, включающий следующие этапы.

(1) Взвешивание 1530 г оксида магния с содержанием активного оксида магния 55 вес. % и 982,6 г гептагидрата сульфата магния, где молярное соотношение активного оксида магния к сульфату магния составляет 5:1; взвешивание 223,3 г зольной пыли, 8,9 г волокна на основе PVA и 8,44 г лимонной кислоты; и тщательное смешивание активного оксида магния, зольной пыли и волокна для получения смешанного сухого материала.

(2) Взвешивание 836,6 г воды; и смешивание гептагидрата сульфата магния и воды и выдерживание на водяной бане при 45 °С для растворения с получением раствора сульфата магния.

(3) Добавление смешанного сухого материала, полученного на этапе (1), к раствору сульфата магния, полученному на этапе (2), и тщательное перемешивание полученной смеси для получения суспензии.

(4) Разбавление тетрадецилдиметилбетаина в соотношении 1:50 и затем использование для вспенивания в машине для вспенивания для получения пены с плотностью 30 кг/м<sup>3</sup>, и добавление пены к суспензии, полученной на этапе (3), при перемешивании со

скоростью вращения 200 об/мин для получения вспененной суспензии.

(5) Выливание вспененной суспензии в форму и оборачивание пленкой, отверждение на воздухе при комнатной температуре в течение 1 дня, затем извлечение из формы и дополнительное отверждение до достижения срока испытания для получения пористого звукопоглощающего материала с зольной пылью на основе магния.

(6) Размещение пористого звукопоглощающего материала с зольной пылью на основе магния, полученного на этапе (5), в чашке Петри, затем добавление 0,2 мл триэтоксиметилсилана по каплям вокруг материала в чашке Петри, герметичное закрытие чашки Петри крышкой и затем размещение в термостате при температуре 60°C, и выполнение модификации в виде поверхностного осаждения при постоянной температуре в течение 4 ч.

(7) После модификации при постоянной температуре извлечение чашки Петри с закрытой крышкой и охлаждение до комнатной температуры для получения пористого звукопоглощающего материала с зольной пылью на основе магния с гидрофобно модифицированной поверхностью.

Угол контакта с водой пористого звукопоглощающего материала с зольной пылью на основе магния с гидрофобно модифицированной поверхностью, полученного в этом примере, показан на фиг. 1F, а показатели свойств звукопоглощающего материала показаны в таблице 1.

**Таблица 1 Свойства пористых звукопоглощающих материалов с зольной пылью на основе магния с гидрофобно модифицированной поверхностью**

№	Плотность	Предел прочности при сжатии	NRC
	(кг/м <sup>3</sup> )	(МПа)	
Сравнительный пример 1	277	2,2	0,73
Сравнительный пример 2	270	1,9	0,69
Пример 1	268	1,9	0,68
Пример 2	251	1,8	0,7
Пример 3	293	2	0,69
Пример 4	306	2,1	0,65

Из таблицы 1 можно увидеть, что при плотности от 251 кг/м<sup>3</sup> до 306 кг/м<sup>3</sup> пористые звукопоглощающие материалы с зольной пылью на основе магнезия с гидрофобно модифицированной поверхностью, полученные в примерах 1–4, обладают пределом прочности при сжатии вплоть до от 1,8 МПа до 2,2 МПа и проявляют механические свойства намного лучше, чем у существующего пористого материала с портландцементом, и при содержании зольной пыли 30% NRC все еще может достигать 0,65.

На фиг. 1A–1F показаны углы контакта с водой материалов, полученных в сравнительных примерах 1 и 2 и примерах 1–4. Из фиг. 1B можно увидеть, что немодифицированный звукопоглощающий материал имеет угол контакта с водой почти 0° и является сверхгидрофильным, а поверхность каждого из модифицированных материалов проявляет превосходную гидрофобность. Кроме того, можно увидеть из фиг. 1A и фиг. 1E, что для одного и того же модификатора PFDTES, когда температура модификации повышается и время модификации увеличивается, гидрофобность поверхности материала согласно настоящему изобретению значительно усиливается, а

угол контакта с водой может достигать  $151^\circ$ , что указывает на сверхгидрофобность.

На фиг. 2 показана пористая структура и микроморфология пористого звукопоглощающего материала с зольной пылью на основе магния. Из фигуры можно увидеть, что полученный материал имеет многочисленные пористые структуры, а большое количество игольчатых и стержнеобразных кристаллов на основе сульфата магния растет на внутренней стенке пор для образования ворсистой микро-нано шероховатой поверхности.

Вышеприведенные реализации используют только для объяснения настоящего изобретения, а не для ограничения настоящего изобретения. Не отступая от сущности и объема настоящего изобретения, специалисты средней в данной области техники могут также вносить различные изменения и вариации. Следовательно, все эквивалентные технические решения также входят в объем настоящего изобретения, а объем патентной правовой охраны настоящего изобретения определяют формулой изобретения.

Содержание, не описанное подробно в описании настоящего изобретения, относится к существующим технологиям, известным специалистам в данной области техники. Иллюстративные конкретные реализации настоящего изобретения описаны выше для облегчения специалистам в данной области техники понимания настоящего изобретения, но следует отметить, что настоящее изобретение не ограничено объемом конкретных реализаций. Различные очевидные изменения, внесенные специалистами средней квалификации в данной области техники в пределах сущности и объема настоящего изобретения, определяемых прилагаемой формулой изобретения, должны находиться в пределах объема правовой охраны настоящего изобретения.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ получения пористого звукопоглощающего материала с зольной пылью на основе магния с гидрофобно модифицированной поверхностью, включающий следующие этапы:

этап 1: тщательное смешивание оксида магния, зольной пыли и волокна для получения смешанного сухого материала, при этом масса зольной пыли составляет от 10 % до 30 % от общей массы смешанного сухого материала;

этап 2: растворение гептагидрата сульфата магния и присадки в воде и нагрев для растворения с получением раствора сульфата магния, содержащего присадку;

этап 3: добавление смешанного сухого материала, полученного на этапе 1, к раствору сульфата магния, содержащему присадку, полученному на этапе 2, и перемешивание для получения цементной суспензии;

этап 4: разбавление пенообразующего средства водой, использование машины для вспенивания для получения пены и добавление пены к цементной суспензии, полученной на этапе 3, при низкоскоростном перемешивании для получения вспененной суспензии, причем пенообразующее средство разбавляют водой в 50–80 раз, и пена имеет плотность от 30 кг/м<sup>3</sup> до 60 кг/м<sup>3</sup>;

этап 5: выливание вспененной суспензии, полученной на этапе 4, в форму, накрывание слоем полиэтиленовой пленки, отверждение на воздухе при комнатной температуре в течение 1 дня, извлечение из формы и дополнительное отверждение до достижения срока испытания для получения пористого материала с зольной пылью на основе магния;

этап 6: добавление модификатора по каплям вокруг пористого материала с зольной пылью на основе магния, полученного на этапе 5, герметизация и выполнение модификации в виде поверхностного осаждения при постоянной температуре для получения модифицированного материала; при этом модификатор добавляют по каплям в количестве от 1 мл до 10 мл на 1 м<sup>2</sup> пористого материала с зольной пылью на основе магния; и

этап 7: полное охлаждение модифицированного материала, полученного на этапе 6, при комнатной температуре и извлечение модифицированного материала для получения пористого звукопоглощающего материала с зольной пылью на основе магния с гидрофобно модифицированной поверхностью.

2. Способ получения по п. 1, отличающийся тем, что на этапе 1 оксид магния представляет собой легко обожженную магнезию (LBM), при этом содержание активного оксида магния составляет от 55 вес. % до 70 вес. % в LBM; а масса волокна составляет от 0,3 % до 0,8 % от общей массы смешанного сухого материала.

3. Способ получения по п. 1, отличающийся тем, что на этапе 1 волокно представляет собой любое волокно, выбранное из группы, состоящей из полиэтиленового (PE) волокна, полипропиленового (PP) волокна, волокна на основе поливинилового спирта (PVA), волокна на основе сложного полиэфира и полиамидного (PA) волокна.

4. Способ получения по п. 2, отличающийся тем, что на этапе 2 молярное соотношение сульфата магния в гептагидрате сульфата магния к активному оксиду магния составляет 1:5; масса присадки составляет от 0,5 % до 1 % от массы активного оксида магния; при этом присадка представляет собой любую присадку, выбранную из группы, состоящей из лимонной кислоты, цитрата, винной кислоты, тартрата, фосфорной кислоты и

фосфата; а нагрев проводят при от 30 °С до 50 °С для растворения.

5. Способ получения по п. 1, отличающийся тем, что на этапе 3 соотношение воды и цемента в цементной суспензии составляет от 0,6 до 0,8.

6. Способ получения по п. 1, отличающийся тем, что на этапе 3 перемешивание выполняют при от 600 об/мин до 800 об/мин в течение от 8 мин до 10 мин.

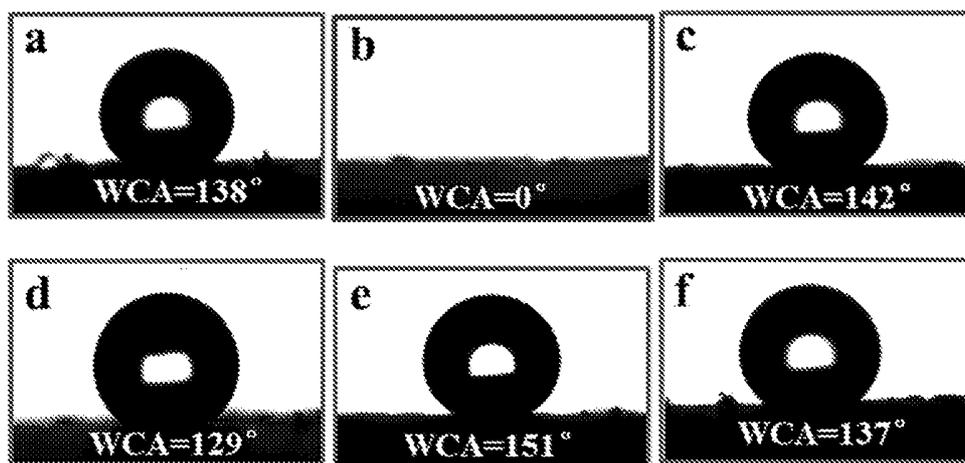
7. Способ получения по п. 1, отличающийся тем, что на этапе 4 пенообразующее средство получают путем смешивания по меньшей мере одного выбранного из группы, состоящей из тетрадецилдиметилбетаина, додецилбензолсульфоната натрия (SDBS) и додецилсульфата натрия (SDS), в любом соотношении; а низкоскоростное перемешивание выполняют при от 200 об/мин до 400 об/мин.

8. Способ получения по п. 1, отличающийся тем, что на этапе 6 модификатор представляет собой любой модификатор, выбранный из группы, состоящей из триэтоксиметилсилана, изобутилтриэтоксисилана,  $\gamma$ -аминопропилтриэтоксисилана, поли(метил-3,3,3-триоксипропил)силоксана и 1H, 1H, 2H, 2H-перфтордецилтриэтоксисилана (PFDTES).

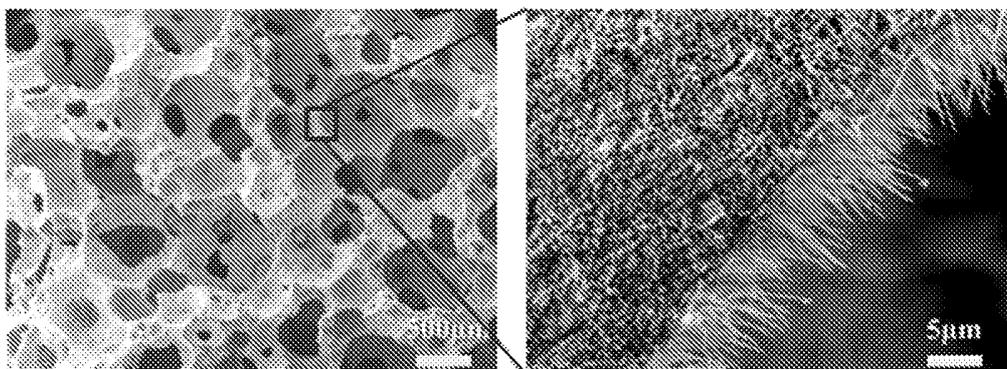
9. Способ получения по п. 1, отличающийся тем, что на этапе 6 модификацию в виде поверхностного осаждения выполняют при температуре от 55 °С до 70 °С в течение от 2 ч до 6 ч.

10. Пористый звукопоглощающий материал с зольной пылью на основе магния с гидрофобно модифицированной поверхностью, полученный способом получения по любому из пп. 1–9, при этом пористый звукопоглощающий материал с зольной пылью на основе магния имеет плотность от 251 кг/м<sup>3</sup> до 306 кг/м<sup>3</sup>, коэффициент

шумоподавления (NRC) от 0,65 до 0,7, предел прочности при сжатии от 1,8 МПа до 2,2 МПа и угол контакта с водой от 129° до 151°.



Фиг. 1



Фиг. 2