

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ[®] №5

ISSN 0585-430X

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

ИЗДАЕТСЯ С 1955 г.

МАЙ 2004 г. (593)

ПО ИНДЕКСУ
87722
С ПРИЛОЖЕНИЕМ



Крупнейший в Европе завод
по производству сухих смесей
открыт в Красногорске

KNAUF

О.С. МИСНИКОВ, канд. техн. наук, С.Н. ГАМАЮНОВ, д-р техн. наук
(Тверской государственной технической университет)

Пустотелый заполнитель для легкого бетона на основе торфа и минерального сырья

Перспективы использования торфа в производстве различных строительных материалов давно не являются экзотикой, особенно для специалистов, занимающихся добычей и переработкой органических и органоминеральных биогенных ресурсов. Этому способствуют такие свойства торфа, как низкая теплопроводность, антисептичность, биостойкость, низкая плотность и многие другие [1].

В учебниках, например [2], по строительным материалам рассматриваются технологии производства теплоизоляционных торфяных плит. В последнее десятилетие активно ведутся научные работы по применению торфяных гранулированных заполнителей для легких бетонов и созданию из торфа конструкционно-изоляционных блоков «Геокар».

Однако, несмотря на ряд положительных свойств торфа, многие производители осторожно относятся к идее использования органики в качестве заполнителей бетонных изделий. Мы не хотели бы в статье дискутировать по этому вопросу, хотя считаем, что консерватизм мышления в этом направлении будет постепенно преодолеваться по мере появления таких новинок на рынке строительных материалов. Новый вид заполнителя для легких бетонов, работа по которому продолжается и в настоящее время, позволит развеять опасения скептиков. В нем торф играет вспомогательную функцию при формировании и обжиге композиционных гранул.

Традиционно в качестве заполнителя легких бетонов используется керамзит — продукт, получаемый при обжиге легкоплавких вспучивающихся глинистых пород [3]. От качества и состава глинистого сырья зависят свойства получаемого заполнителя. В настоящее время многие предприятия по производству керамзита отмечают значительное ухудшение одной из основных его характеристик — теплопроводности. Увеличение теплопроводности связано с недостаточной вспучиваемостью глин и как следствие низкой пористостью получаемого заполнителя.

Пустотелый заполнитель на основе торфа и глинистого сырья позволяет существенно продвинуться в решении этой проблемы. Разработанная схема технологического процесса его производства состоит из следующих операций: добыча торфяного сырья, его механическая переработка (дробление), окатывание торфа на грануляторе тарельчатого типа, искусственная подсушка окатышей, добыча глинистого материала, приготовление шликера, нанесение минерального покрытия на торфяные ядра, сушка композиционных гранул, их обжиг, охлаждение и складирование.

В современных технологических процессах, применяемых в торфоперерабатывающих производствах и при получении строительных материалов, в том или ином виде используются элементы предлагаемой технологической схемы. Это в основном относится к подготовке (получению) сферических торфяных гранул и минерального покрытия.

Определенные трудности в реализации предлагаемого способа возникают при нанесении минерального покрытия на торфяные гранулы, а также при сушке и обжиге композиционных гранул.

При проведении научных исследований в качестве сырья для получения гранул использовали верховой и низинный фрезерный торф средней степени разложения*, добыча которого осуществляется на торфопредприятиях традиционным способом. Дробление торфяной крошки проводили на молотковой дробилке с колосниковой решеткой. Полученная масса при влажности 82–86% окатывалась на тарельчатом грануляторе. Размер гранул после окатывания составлял примерно 15 мм.

Для минерального покрытия применялся глинистый мергель, запасы которого находятся на территории Вышневолоцкого района Тверской области. На его основе изготовляли суспензию с влажностью 50–55%, в которой смачивали торфяные гранулы. К преимуществам мокрого способа нанесения покрытия можно отнести достижение однородности минеральной пульпы, сравнительную простоту удаления из глинистого сырья посторонних включений и отсутствие энергоемкого процесса первоначального помола.

При изготовлении полуфабрикатов композиционных гранул, состоящих из торфяного ядра и оболочки из глинистого материала, необходимо строго соблюдать физико-химические основы процесса, основанные на

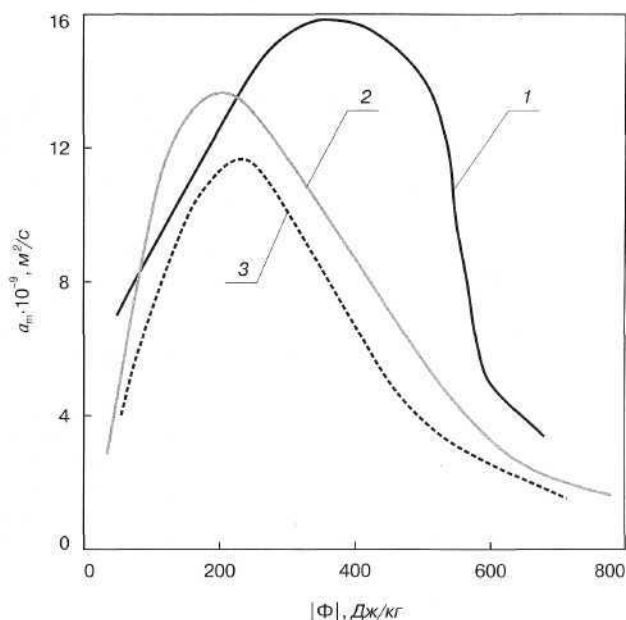


Рис. 1. Зависимость коэффициента диффузии влаги $a_m \cdot 10^{-9}, \text{ Дж/кг}$, от среднего в материале потенциала влаги $|\Phi|$ для глинистого мергеля (1) и низинного торфа со степенью разложения $R = 30\%$ (2) и $R = 50\%$ (3)

*Степень разложения называется процентное содержание в торфе разложившейся растительной массы и мельчайших, утративших клеточную структуру обрывков ее тканей. Степень разложения является показателем содержания гумуса в торфе.

сложном механизме взаимодействия минерального и органического компонентов.

Для проведения технологических операций, связанных с механическим воздействием оборудования на торфяные гранулы, последние должны обладать достаточно высокой прочностью. Прочностные характеристики формованной продукции на основе торфа зависят от его влажности. Причем чем меньше содержание влаги в материале, тем выше его прочность [4]. Следовательно, с этой точки зрения следует стремиться к минимизации влагосодержания торфа. Вместе с тем при сушке в этом материале начинают проявляться гидрофобные свойства. Степень гидрофобности торфа также возрастает с уменьшением содержания влаги. Таким образом, на пересушенные до определенного предела гранулы будет невозможно нанести жидкообразное покрытие из глинистого материала из-за гидрофобности поверхности торфяного ядра. Поэтому одной из задач, решаемых авторами, стояла проблема оптимизации влажностного состояния торфяных гранул перед нанесением на них минерального покрытия.

Второй крупной задачей технологического процесса является изготовление и сушка композиционных гранул наполнителя. Зарождение и образование трещин в минеральном покрытии происходит именно на этом этапе, а при обжиге они лишь окончательно выявляются. Формирование капиллярно-пористой структуры глинистых дисперсий, обусловленное обезвоживанием, практически всегда сопровождается возникновением объемно-напряженного состояния в твердеющем материале. Появление напряжений, превышающих на данном уровне формирования структуры ее несущую способность, является причиной растрескивания и искажения формы минерального покрытия гранул. Образование и развитие напряжений обусловлено внутренними превращениями самих твердеющих материалов, за которые ответственны физико-химические взаимодействия, непосредственно обуславливающие процесс твердения. Но поскольку данные процессы в глинистом мергеле и торфе вызываются силами, несколько отличными по своей природе, теоретически предсказать поведение системы торф – глина при сушке довольно проблематично.

Различная способность к усадке, структурообразовательные и массообменные процессы в торфе и глине накладывают свои особенности на сушку композиционных гранул. Имея большую, чем минеральное покрытие, усадку, торфяное ядро не должно препятствовать формированию структуры последнего. Однако при проведении экспериментов, не применяя дополнительных мер, очень трудно получать качественную продукцию: около 30% гранул имеют трещины. Выяснить причины их появления позволили специально проведенные исследования по определению массообменных характеристик глинистого мергеля и низинного торфа различной степени разложения.

Для характеристики инерционных свойств потенциала влаги [1, 4] в коллоидных капиллярно-пористых материалах используется коэффициент диффузии влаги a_m [5]. Потенциал влаги – энергетическая характеристика суммарного поля, эквивалентного совместному действию полей сил различной природы (адсорбционных, осмотических, капиллярных и др.) и их величины в определенной точке (при заданной влажности). Поля этих сил могут накладываться и оказывать совместное действие. Потенциал влаги равен работе, которую необходимо затратить, чтобы перевести единицу массы воды из связанного состояния в свободное и перенести из од-



Рис. 2. Фотографии искусственного пустотелого наполнителя на основе торфа и минерального сырья (общий вид)

ной точки тела в другую. Анализ зависимостей коэффициента диффузии от потенциала влаги показывает (рис. 1), что характер этих графиков подобен, при некоторых различиях абсолютных величин a_m . Стоит обратить внимание на то, что коэффициент диффузии влаги, определяемый в данном эксперименте, является интегральной величиной, характеризующей различные типы влагопереноса. Он зависит от степени дисперсности материала и от соотношения органической и минеральной составляющих в композиции, которое определяет размеры пор и гидрофильные свойства последней.

Очевидно, что с уменьшением дисперсности торфа значение a_m растет. Это приводит к увеличению его влагопроводности. Минеральные материалы в отличие от органических имеют более высокие показатели массообменных характеристик благодаря своим структурным особенностям*. Применительно к композиционным гранулам в диапазоне потенциалов 0–250 Дж/кг значения коэффициента диффузии в торфе и мергеле практически одинаковы и развиваются по одному закону. Следовательно, при одинаковой интенсивности процессов массообмена в торфе и минеральном материале на данном этапе обезвоживания предпосылок к критическим состояниям, вызванным их контактом, нет. При $|\Phi| > 250$ Дж/кг наблюдается дальнейший рост a_m в глинистом мергеле и его уменьшение в торфе (рис. 1). Именно на этом этапе у композиционных гранул происходит быстрое иссушение корочки минерального покрытия и вследствие этого образуются трещины. Причем точка (область) $|\Phi| \approx 250$ Дж/кг соответствует первому критическому влагосодержанию** низинного формованного торфа при температуре его сушки $T \approx 20^\circ\text{C}$.

Таким образом, рекомендуется проводить нанесение минерального покрытия ($\Phi \sim 0$ Дж/кг) на торфяную гранулу до потенциала $\Phi = \Phi_{кр} \approx 250$ Дж/кг. В данном диапазоне торф обладает ярко выраженными гидрофильными свойствами и, следовательно, при смачивании потенциал в системе торф – глинистый мергель будет выравниваться. При этом происходит движение воды из материала с меньшим потенциалом в материал с большим потенциалом влаги, то есть из глинистого мергеля в торф, и на поверхности торфяной гранулы будет формироваться не имеющий дефектов слой минерального покрытия. В противном случае при окутании (или другом нанесении) в глинистый материал торфяных гранул с $\Phi > \Phi_{кр}$ в оболочке композиционных гранул будут появляться открытые поры в местах соприкосновения с гидрофобными частицами торфа.

* Имеются в виду минеральные и органические материалы, используемые авторами в эксперименте.

** Критическим называется влагосодержание, при котором происходит смена постоянного периода интенсивности сушки формованного торфа на убывающий.

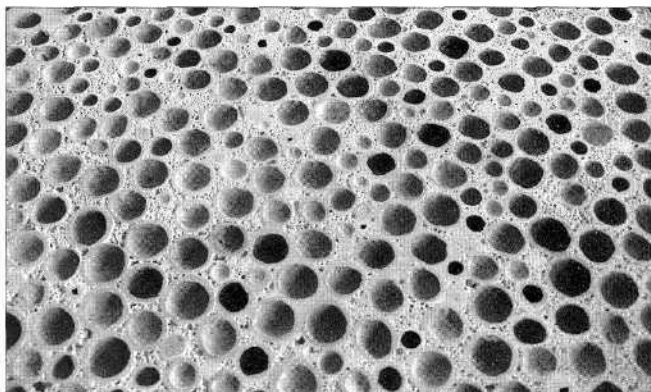


Рис. 3. Фотографии бетона (разрез), изготовленного на основе искусственного пустотелого заполнителя

Кроме того, анализ экспериментальных данных (рис. 1) позволяет сделать вывод, что для предотвращения растрескивания минерального слоя при сушке композиционных гранул и получения тем самым качественной продукции необходимо несколько снизить значения коэффициента диффузии в минеральном сырье либо повышать его в торфе, то есть выравнивать процессы массопереноса в системе. Это будет способствовать релаксации напряжений в структуре обоих материалов, что в конечном итоге уменьшит вероятность образования трещин в композиционных гранулах искусственного пустотелого заполнителя. Причем более перспективным является второй путь, так как он ведет к уменьшению времени сушки композиционных гранул и делает их производство более технологичным.

В этой связи необходимо также отметить, что снижать массообменные характеристики в минерализованном сырье можно, вводя в его состав растворы поверхностно-активных веществ и другие модификаторы структуры. А это, в свою очередь, влечет за собой увеличение их себестоимости, в то время как повышать влагопроводящие свойства торфяной гранулы можно снижением степени переработки торфа перед окатыванием.

После нанесения минерального покрытия композиционные гранулы высушивали в сушильном шкафу при температуре примерно 100–120°C до полного обезвоживания. Обжиг гранул проводили в муфельной печи в три этапа. Первый этап заключался в постепенном повышении температуры* в печи от 200 до 1000°C, второй – в выдерживании при этой температуре в течение 10–15 мин, и третий – в охлаждении заполнителя. При обжиге торфяное ядро выгорает, а минеральная оболочка спекается, в результате чего получается гранула пустотелого заполнителя (рис. 2) [6].

Анализируя результаты экспериментов по определению свойств полученного заполнителя, можно сделать вывод о том, что он характеризуется большой межзерновой пустотностью, а также обладает высокой открытой пористостью самих зерен, которые впоследствии будут доступны для насыщения цементным тестом. В этой связи, общая пустотность заполнителя, которую закладывают в расчет состава бетона, изготавливаемого по обычной технологии, достигает сравнительно больших значений – 72%. С другой стороны, это обстоятельство может оказаться благоприятным с точки зрения эффекта упрочнения цементной «обоймы» вокруг пустотелого заполнителя. Благодаря этому возможно получение достаточно прочных бетонов на заполнителе, который обладает собственной сравнительно невысокой прочностью**. Свойства пустотелого заполнителя приведены ниже.

Насыпная плотность, кг/м ³	390
Плотность зерен в сухой сыпучей среде, кг/м ³	661
Плотность зерен в цементном тесте, кг/м ³	1390
Межзерновая пустотность (без учета открытых пор), %	41
Пустотность с учетом насыщения открытых пор влагой и цементным тестом, %	72
Коэффициент формы зерен	1,04
Водопоглощение по массе, %	20
Прочность при сдавливании в цилиндре, МПа	0,9

Изготовленные образцы пустотелого заполнителя полностью удовлетворяют основным требованиям, предъявляемым к искусственным пористым заполнителям. Они обладают сравнительно низкой насыпной плотностью, правильной формой и достаточной прочностью для изготовления на его основе легкого бетона.

В результате проведенных исследований разработаны научные основы изготовления композиционных гранул искусственного пустотелого заполнителя для легких бетонов на основе торфа и минерального сырья. Перспективность получения таких материалов обусловлена тем, что в качестве минерального покрытия возможно применение практически любых глинистых материалов, в том числе и низкачественных, без заметного снижения характеристик самого пустотелого заполнителя.

На основе полученного заполнителя в Тверском государственном техническом университете разрабатываются основы технологического процесса производства многопустотного материала – ячеистого бетона особой структуры, названного пеноваком (рис. 3). Крупные замкнутые шарообразные пустоты образуются в бетоне в результате введения гранул заполнителя в пеномассу, приготовленную на основе портландцемента и вспенивающей добавки. Мелкая фракция заполнителя (песок) полностью исключается из состава бетона.

Применение научно обоснованных технологических приемов при изготовлении бетонной смеси позволит получить слитную структуру строительного материала. Ожидается, что при этом экономия расхода цемента на 1 м³ бетона может составить 100–150 кг. Теплофизические характеристики бетона улучшаются по сравнению, например, с традиционным керамзитобетоном за счет снижения средней плотности и мелкопористой структуры прослоек цементного камня. Предварительные испытания позволяют прогнозировать получение бетона плотностью 550–800 кг/м³ и прочностью 1–3,5 МПа.

Список литературы

1. Физико-химические основы технологии торфяного производства / И.И. Лиштван, А.А. Терентьев, Е.Т. Базин, А.А. Головач. Мн.: Наука и техника. 1983. 232 с.
2. Строительные материалы и изделия / Под ред. Г.И. Горчакова. М.: Высшая школа. 1982. 352 с.
3. Онадкий С.П. Производство керамзита. М.: Стройиздат. 1987. 230 с.
4. Физика и химия торфа / И.И. Лиштван, Е.Т. Базин, Н.И. Гамаюнов, А.А. Терентьев. М.: Недра. 1989. 304 с.
5. Абрамец А.М., Лиштван И.И., Чураев Н.В. Массоперенос в природных дисперсных системах. Мн.: Наука і тэхніка. 1992. 288 с.
6. Гамаюнов С.Н., Мисников О.С., Беляков В.А. Опытный образец заполнителя на основе торфа и сапропеля для изготовления легкого бетона // Технология и комплексная механизация торфяного производства: Сб. науч. тр. Тверь. 1996. С. 30–33.

* Верхний температурный порог может увеличиваться или уменьшаться в зависимости от вида применяемых глинистых материалов.

** Применение других видов глин, например каолиновой или монтмориллонитовой, позволяет получать заполнитель с более высокой прочностью.