

Д. т. н. **В. Н. Соков** (✉)

ФГБОУ ВО НИУ «Московский государственный строительный университет», Москва, Россия

УДК 666.762.11-492.3-127

БЕСШАМОТНАЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ ИЗ САМОУПЛОТНЯЮЩИХСЯ МАСС НА ОСНОВЕ ВЫГОРАЮЩЕЙ ДОБАВКИ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ. Часть 1. Выбор выгорающей добавки растительного происхождения для самоуплотнения масс в гидравлически закрытом объеме

Предлагается модификация способа получения самоуплотняющихся масс путем изменения природы уплотняющего компонента — с дорогостоящего и экологически небезопасного полистирола на выгорающую добавку растительного происхождения, способную самопоглощать усадочную влагу из формовочной массы, заключенной в гидравлически закрытый объем. Одновременно часть воды затворения под давлением проникает в частицы глины с заранее измененными физико-химическими свойствами поверхности, образующими полупроницаемые оболочки.

Ключевые слова: самоуплотняющиеся массы, выгорающая добавка растительного происхождения, гидравлически закрытый объем, техническое просо, крахмальное ядро, кремний-органическая жидкость.

ВВЕДЕНИЕ

Содержание глины в шихте определяет в значительной степени прочность изделий. Однако технологические свойства глины, и в первую очередь высокая сушильная (воздушная) усадка, предопределяют необходимость формирования в формовочной массе жесткого каркаса. Это достигается введением в состав шихты отощающих добавок, роль которых в алюмосиликатных огнеупорах выполняет шамот. Увеличение его содержания в шихте снижает конечную прочность изделий, повышает их среднюю плотность и значительно увеличивает удельный расход топлива и электроэнергии (обжиг и помол глины на шамот). Таким образом, целесообразно исключить из состава сырьевой смеси шамот — самый энергоемкий компонент — и перейти при производстве высокопористых изделий (легковесных и ультралегковесных) на применение бесшамотных масс. Однако получить эти изделия из чистых глин чрезвычайно

сложно. Во всяком случае, известные технологические способы не позволяют этого добиться, так как сырец в процессе сушки дает значительную усадку, приводя к образованию практически 100 %-ного брака [1]. Поэтому для устранения воздушной усадки в шихту вводят грубодисперсный и тонкомолотый шамот, опилки, вспученный перлит, разные полимерные соединения и т. д. Например, при производстве ультралегковесных изделий требуется подготовить 9 компонентов. Технологическая схема производства ультралегковесных изделий, построенная по этому принципу, громоздка, энергоемка и включает множество операций. Необходимо тщательная обработка огнеупорных порошков (тонкий помол), что при применении такого твердого сырья, как шамот, влечет за собой высокое содержание намототого железа и расход энергии.

Наибольший интерес представляет способ получения легковесных и ультралегковесных бесшамотных изделий на основе самоуплотнения масс [2]. Однако он требует использования дорогостоящей и экологически небезопасной выгорающей добавки (бисерного полистирола) и специальных перфорированных форм для удаления из сырца усадочной влаги с выносом части



В. Н. Соков
E-mail: sersok_07@mail.ru

тонкодисперсных глинистых частиц и засорением перфорации форм. Это ограничивает возможность использования самоуплотнения бесшамотных масс на полистироле. Таким образом, вопрос разработки модификации способа самоуплотняющихся масс для получения бесшамотных высокотемпературных теплоизоляционных изделий требует изменения природы уплотняющего компонента и перехода на выгорающую добавку растительного происхождения. Такая добавка в отличие от полимерной должна быть воспроизводима, а значит, неисчерпаема.

При разработке принципов изготовления бесшамотных высокотемпературных теплоизоляционных изделий по новому принципу необходимо использовать гидравлически закрытую конструкцию формы. При этом влаготжатие из масс в ней должно осуществляться не через перфорацию, а самопоглощением усадочной воды новой добавкой, которая при набухании будет создавать избыточное давление и уплотнять сырец. Такая технология позволит получать после обжига изделия, не требующие обрезки и шлифовки, так как они имеют четкие грани и ребра, сочетая в себе достоинства материала на основе пены и технологичность метода выгорающих добавок.

На способность выгорающей добавки к созданию избыточного давления в гидравлически закрытом объеме влияют ее структурно-минералогические свойства и условия, необходимые для ее активизации. В качестве активного компонента самоуплотняющейся массы необходима выгорающая добавка, способная:

- развивать внутреннее давление в массе, находящейся в гидравлически закрытом объеме, обеспечиваемое поглощением физически связанной воды;
- обеспечивать создание высокой и регулируемой пористости в высокотемпературной теплоизоляции;



Рис. 1. Исходная растительная добавка (техническое просо)

- гарантировать стойкость массы от разрушения после снятия формы от внутреннего давления.

В настоящее время отсутствуют какие-либо исследования по использованию таких компонентов. Известно, что на технологические факторы, структурные и физико-технические свойства изделия влияют геометрическая форма зерен и удельная поверхность частиц добавки. Первый фактор определяет общую пористость системы, второй — расход минерального компонента, необходимый для создания монолитного каркаса. Для выполнения таких требований необходима добавка правильной сферической формы с минимальной площадью поверхности (шероховатостью). Таким условиям удовлетворяют зерна технического проса (рис. 1). При комплексном воздействии на просо воды и температуры оно проявляет свою потенциальную способность к увеличению в объеме (набуханию). Активатором этого процесса служит крахмальное ядро, содержание которого в просе достигает 78 %.

С технологической точки зрения использование проса вместо полистирола имеет ряд преимуществ:

- во-первых, просо не требует дополнительной обработки, как это предусмотрено в технологии с применением полистирола (подвсплывание исходного бисерного полистирола) [3];
- во-вторых, введение зерен проса позволяет использовать формы без перфорации, что полностью устраняет вынос с водой отжатия частиц огнеупорной глины. Эта особенность является несомненным преимуществом, поскольку позволяет получать высокотемпературные теплоизоляционные изделия из чистой глины;
- в-третьих, зерна проса не деформируются при росте давления в закрытом объеме и не обладают упругим последствием. Причиной высокой сопротивляемости растущим внутренним напряжениям является плотная (высокопрочная) белковая оболочка, которая служит своего рода инструментом передачи давления, развиваемого крахмальным ядром.

Основные показатели выгорающей добавки приведены ниже:

Насыпная плотность, кг/м ³	800
Фракция, мм.....	Проход через сетку № 1,6
Содержание крахмала, мас. %..	78,0
Зольность, %.....	1,1–1,4

По данным Росстата, в нашей стране ежегодно собирают 487,4 тыс. т проса. В процессе его переработки образуется до 40 % отходов, из них 2–4 % несортового проса фракции мельче 1,6 мм; этот отсев используется в экспериментах. Для изготовления всего объема бесшамотной теплоизоляции в России потребуется только 0,28 % отхода проса.

Основным препятствием при изготовлении самоуплотняющихся бесшамотных ульралегко-

весных материалов является очень высокая сила связи воды с глинистыми частицами. Таким образом, можно предположить, что путем изменения физико-химических свойств поверхностного слоя глинистых частиц можно регулировать силы их связи с водой затворения. Для создания вокруг глинистых частиц защитных водоотталкивающих оболочек рассматривали различные добавки гидрофобного и гидрофобизирующего типов. Сравнивая влияние, оказываемое добавками обоих видов, на способность самоуплотняющейся массы в процессе электропрогрева отжимать усадочную воду, сделан вывод, что особого внимания заслуживают не гидрофобные, а гидрофобизирующие вещества, отвечающие следующим требованиям:

- создавать сетчатую гидрофобную оболочку вокруг глинистых частиц;
- иметь достаточную механическую прочность гидрофобной оболочки для ее сохранения в процессе перемешивания и самоуплотнения массы;
- гарантировать возможность нормального смешивания глины, обработанной добавкой, и других компонентов смеси;
- иметь низкое содержание ионов щелочных и щелочноземельных металлов, значительно снижающих огнеупорность глины;
- оказывать пластифицирующий эффект на массу для снижения ее влажности.

К добавкам такого типа относятся вещества, содержащие крупные асимметрично полярные молекулы, способные при адсорбции на гидрофильной поверхности ориентироваться в строгом порядке. Эти молекулы как бы прилипают своими полярными «головками» к гидрофильному телу; при этом углеводородные радикалы обращены наружу. В качестве такой добавки

были опробованы кремнийорганические жидкости — полиэтилгидросилоксан (ГКЖ-94), метил- и этилсиликонаты натрия (марочные названия ГКЖ-10 и ГКЖ-11). Как показали первые лабораторные испытания и дальнейшие исследования, наиболее близкой по своим свойствам добавкой является полиэтилгидросилоксан (ГКЖ-94). Добавка высокоустойчива к воздействию тепла и холода, света, воды, а также обладает достаточной механической устойчивостью.

Механизм самоуплотнения массы с гидрофобизированной добавкой ГКЖ-94 при электропрогреве в замкнутой форме показан на рис. 2. Вода объемом V_0 , находящаяся в порах и капиллярах, в результате избыточного давления, развиваемого в замкнутом объеме, механически отжимается в зерна глины через искусственно созданные полупроницаемые оболочки на ее частицах и поглощается выгорающей добавкой. Происходят сжатие капилляров и уплотнение минеральных компонентов. Образующаяся защитная пленка на глинистых частицах имеет сетчатое строение. Она препятствует проникновению воды в глину во время затворения и перемешивания. При электропрогреве массы происходит набухание выгорающей добавки и по всему объему формы образуется избыточное давление, под воздействием которого влага через гидрофобную оболочку продавливается вглубь глинистой частицы.

Поляризованные молекулы воды, проникающие под давлением через гидрофобную оболочку, вклиниваются между отдельными слипшимися зернами глины, адсорбируясь на их поверхности и раздвигая зерна, создавая вокруг них водную оболочку. Одноименные заряды кислорода на концах пакетов стыкуются, создавая непрочную

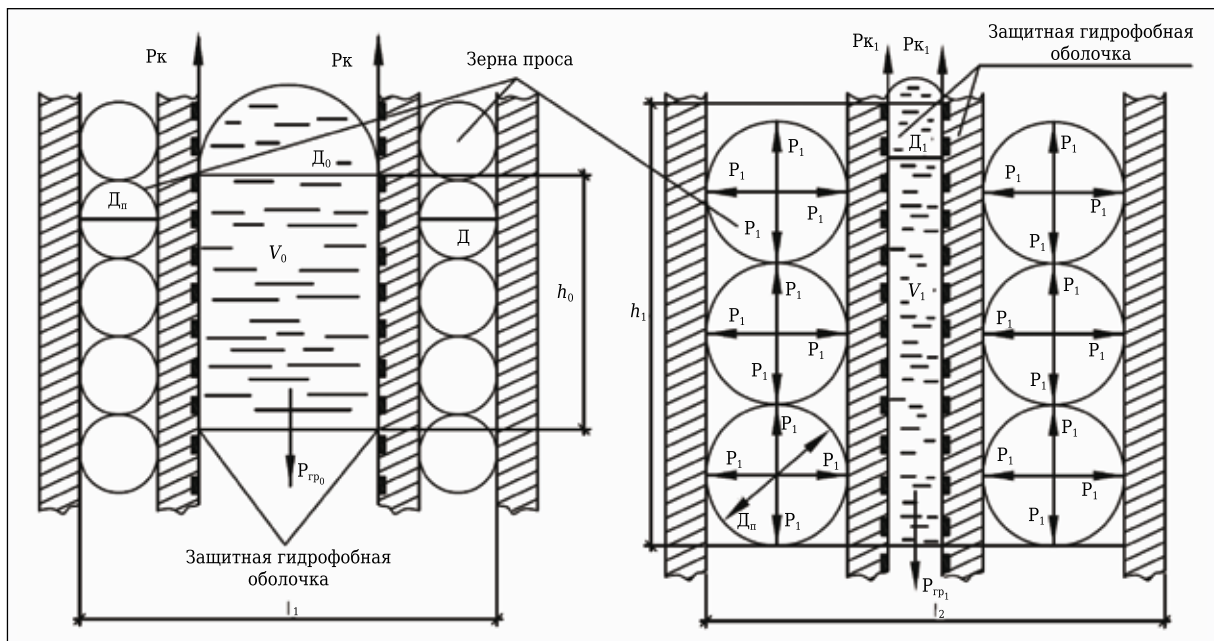


Рис. 2. Механизм самоуплотнения смеси с гидрофобизированной добавкой глины при поглощении усадочной влаги выгорающей добавкой растительного происхождения: а — до набухания; б — во время набухания

связь. Поэтому молекулы воды легко вклиниваются в межмолекулярное пространство решетки, раздвигая ее. Происходит набухание глины. При набухании глины наблюдается ее контракция: объем набухшей глины меньше суммы объема ее минеральной части и воды, что объясняется сжатием воды и повышением ее плотности при адсорбировании зернами глинистых частиц. Таким образом, формовочная влага самопоглощается зернами структурообразующей добавки (просо) и одновременно зернами глины. Химическое взаимодействие воды и крахмала добавки образует временную связку в сырце в виде органического клея, увеличивающего его прочность.

Перемешивание исходных компонентов для изготовления бесшамотных теплоизоляционных изделий осуществляется в смесителях принудительного действия. В первую очередь в смеситель добавляют выгорающую добавку (просо), увлажняют водой, затем засыпают предварительно гидрофобизированную добавкой ГКЖ-94 глину и заливают оставшееся отдозированное количество воды. Смешивание всех компонентов продолжается не менее 7 мин. Затем формовочная масса заливается в электроформу и подвергается комплексному гидротеплосиловому воздействию на специально разработанной жесткой текстолитовой форме. Форма представляет собой разъемную конструкцию, состоящую из крышки, дна и боковых граней. При этом две противоположные грани снабжены токопроводящими электродными пластинами. Толщина стенок формы зависит от ее размера и составляет от 5 до 15 мм.

После надежной установки в металлический фиксатор форма подключается к электрической сети через понижающий трансформатор. Электропрогрев бесшамотных масс с активной выгорающей добавкой быстро и равномерно нагревает

подвижную систему по всему объему формы. Одновременно начинается химическое взаимодействие воды затворения с крахмальным ядром зерен выгорающей добавки. Такая реакция вызывает ее набухание и увеличение в объеме, создавая в замкнутой гидравлически закрытой форме избыточное давление. Эффект поглощения воды затворения выгорающей добавкой растительного происхождения исключает из технологического оборудования перфорацию форм. По такой схеме отпадает необходимость утилизации отжимаемых вод, сопровождающейся выносом тонкодисперсных глинистых частиц и засорением (с последующей чисткой) перфорации стенок форм.

Электрофизические свойства процессов тепло- и массопереноса, сопутствующие электропрогреву самоуплотняющейся массы, определяли по энергетическим и силовым параметрам и характеристикам: электрическому напряжению и силе тока, наружной и внутренней температуре, развиваемому давлению в массе. Для определения этих показателей использовали формовочную установку, снабженную измерительными датчиками регистрации давления, температуры, силы тока, электрического напряжения и регистрирующими устройствами (рис. 3). Температурное поле в прогреваемой массе изменяли с помощью электронного температурного датчика Dallas DS18B20, вводимого в формуемую массу через технологические отверстия в стенках формы. Термодатчик помещали в термоусадочную трубку для снижения влияния электрического тока и воды. Поле давления регистрировали при помощи интеллектуального датчика избыточного давления ZET 7112-I Pressure-485 компании «Электронные технологии и метрологические системы». Датчик разработан на основе приборов, использующихся для определения давления газообразных и жидких сред в экстремальных условиях.

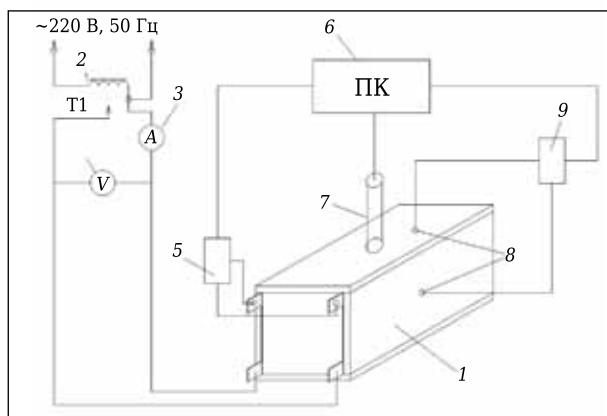


Рис. 3. Формовочная установка для изготовления изделий на основе технического проса: 1 — форма; 2 — трансформатор; 3 — амперметр; 4 — вольтметр; 5 — модуль регистрации и обработки вольт-амперных характеристик; 6 — компьютер; 7 — датчик давления; 8 — температурные датчики; 9 — модуль регистрации и обработки температурных характеристик

Библиографический список

1. **Пирогов, А. А.** Легковесные (теплоизоляционные) огнеупоры и высокоогнеупоры / А. А. Пирогов. — Харьков : ОНТИ, НКТВ, 1936. — 56 с.
2. **Соков, В. Н.** Энергоэффективная скоростная технология получения высокотемпературных теплоизоляционных материалов / В. Н. Соков. — М. : МГСУ, 2014. — 327 с.
3. **Sokov, V. N.** Theoretical principles and experimental investigations on the choice of technological ways to obtain variable-density materials / V. N. Sokov // *Refractories*. — 1995. — Vol. 36, № 7. — P. 208–218.
4. **Соков, В. Н.** Теоретические принципы и экспериментальные исследования по выбору технологических путей получения разнотелых материалов / В. Н. Соков // *Огнеупоры*. — 1995. — № 7. — С. 11–20. ■

Получено 16.05.19
© В. Н. Соков, 2019 г.