

УДК 620.171.3+536.2

Чейлытко А.А. – к.т.н., доц., Запорожская государственная инженерная академия (ЗГИА)

УПРАВЛЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ПОРИСТОГО ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

В работе приведены эмпирические данные и зависимости процесса вспучивания пористого материала на основе кремнезема с целью получения теплоизоляционного материала обладающего необходимыми теплофизическими характеристиками. Указаны параметры тепловой обработки исследуемой частицы материала на основе кремнезема, при которых достигается минимальное значение коэффициента теплопроводности, теплоемкости.

Ключевые слова: теплопроводность; теплоемкость; пористость; вспучивание; теплоизоляция.

Введение

Теплоизоляционные материалы, способные выдерживать высокие температуры, являются неотъемлемой частью любого металлургического производства. Они должны соответствовать различным требованиям, среди которых определяющими являются теплофизические характеристики материала, экологическая безопасность, как самого материала, так и технологии его производства, и невысокая их стоимость. Наиболее распространенными теплоизоляционными материалами, применяемые при температурах от 300 °С до 800 °С, являются материалы полученные на основе глинозема. Одной из важных особенностей таких материалов является возможность их вспучивания с происходящим образованием пор. Структура и размер пор материала являются определяющими факторами тепловых и прочностных свойств [1, 2, 3]. Отсюда можно сделать вывод, что знание процесса порообразования и умение контролировать данный процесс являются основой для получения высококачественного теплоизоляционного материала.

Постановка задачи

Среди множества различных кремнеземистых материалов стоит отметить Сиопор. Сиопор – это искусственно созданный макропористый крупнодисперсный материал. Данный материал представляет собой гранулы сферической формы розово-желтого цвета, которые

имеют силикатную природу. Изготавливается Сиопор путем соединения и низкотемпературной сушки силикатного коллоидного материала Сиолит (КСВ-глыба) [4]. Сырьевым основанием Сиолита являются кремнистые горные породы с высоким содержанием кремнезема.

Выбранная сырьевая основа представляет собой монолитную аморфную массу, изготовленную путем низкотемпературной обработки исходной смеси горных пород со значительным содержанием аморфного кремнезема (трепел, опока и др.), бикарбоната натрия, глины в смеси с водным раствором каустической соды. Данная сырьевая основа является экологически чистой и легкодоступной для производства. Показатели качества сырья соответствуют данным, приведенным в табл. 1.

Таблица 1

Основные показатели сырья

Параметр	Показатель
Содержание диоксида кремния, %, не меньше	52
Содержание 1,5-оксида алюминия, %, не больше	6
Содержание 1,5-оксида железа, %, не больше	6
Содержание оксида кальция, %, не больше	10

На примере данной сырьевой основы будет показана возможность значительного улучшения свойств конечного материала, а также возможность прогнозировать его теплофизические характеристики.

Так как основным агентом вспучивания является вода, которая при парообразовании образует поры в материале, то различные образцы, условно сферической формы, из выбранной сырьевой основы насыщались разным количеством влаги и подвергались термообработке при одинаковых условиях. Вспучивание образцов происходило следующим образом – образец с высоким влагосодержанием сырьевой смеси довольно сильно вспучился, но поры получились различного размера и хаотически расположенными по образцу. Образец с малым влагосодержанием сырьевой смеси вспучился меньше, и поры у него практически не образовались. Для получения качественного теплоизоляционного материала необходима более равномерная пористость закрытого ячеистого типа. Поэтому возникла необходимость в определении оптимального влагосодержания сырьевой смеси, при которой была бы получена наиболее эффективная пористость.

Основная часть исследований

Исследование изменения диаметра сферической частицы при ее термообработке проводили в лабораторной печи в диапазоне температур 200 – 500 °С. Результаты исследований представлены на рисун-

ке 1. При этом пористость материала менялась нелинейно. При небольших температурах происходило увеличение количества пор и их рост, в то время как при температуре 500 °С пористость увеличивалась в основном за счет роста хаотически расположенных отдельных пор.

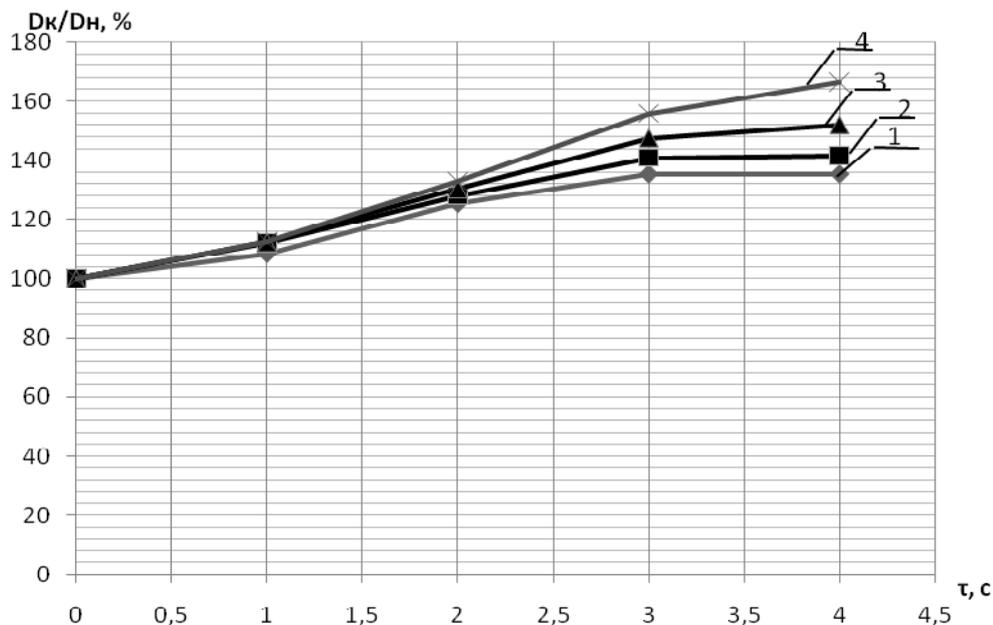


Рис. 1. Изменение диаметра частицы при ее вспучивании:
1 – при 200 °С; 2 – при 300 °С; 3 – при 400 °С; 4 – при 500 °С

Коэффициент теплопроводности материала в большой мере обуславливается его структурой. У пористых тел тепло передается через твердое вещество и через пустоты с находящимися в них газами. Поскольку газы являются плохим проводником тепла, то изолирующая способность материала будет тем выше, чем больше его пористость. Но передача теплоты внутри пор снижается с уменьшением их диаметра, так как при определенной величине ее диаметра может достигаться минимальная теплопроводность.

Интересным, с научной точки зрения, есть тот факт, что теплопроводность нелинейно зависит от времени термического воздействия. Это связано с тем, что при интенсивном нагреве изменяется структура материала, и поры укрупняются в хаотическом порядке, что приводит к их неравномерному распределению по объему. Неравномерное распределение пор по объему, а также слишком крупный размер пор, ведет к ухудшению теплопроводности, то есть к ее увеличению.

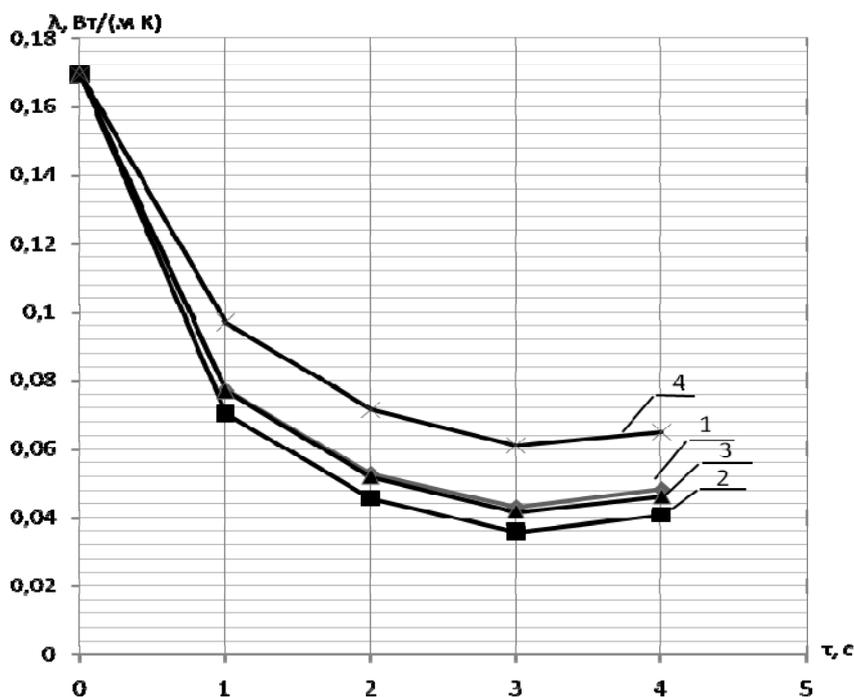


Рис. 2. Изменение теплопроводности частицы при ее вспучивании:
1 – при 200 °C; 2 – при 300 °C; 3 – при 400 °C; 4 – при 500 °C

Для поиска зависимостей теплофизических характеристик материала от режимов термообработки использован метод планирования эксперимента, основанный на ортогональном плане второго порядка, с ядром 2^3 [5]. В качестве управляющих факторов выбраны: начальное влагосодержание сырьевой смеси, температура потока, время термообработки. Изменение свойств материала исследовалось при стационарных условиях.

Материал нагревали в муфельной горизонтальной печи, с регулируемой на определенный режим терморпарой ХА 0-1100. Заготовки размещались на поду печи в тиглях. В качестве исследуемого теплофизического параметра материала была выбрана теплоемкость, плотность и теплопроводность. Плотность материала определялась как средняя плотность материала по изменению веса заготовок от геометрического размера. Теплопроводность полученных образцов определялась на измерителе теплопроводности ИТ- λ -400. При исследованиях использовался метод динамического калориметра. В основании метода лежат закономерности монотонного разогрева тонкой пластины в режиме, когда ее температурное поле остается квазистационарным. Для исследования теплоёмкости применялся метод непосредственного нагрева.

После проверки на адекватность и значимость коэффициентов получены следующие уравнения в абсолютных величинах для расчета теплоемкости материала, теплопроводности материала, плотности:

$$C = 970,2 + 0,217 \cdot T_{\Pi} - 334 \cdot \tau + 55,5 \cdot \tau^2 - 0,21 \cdot T_{\Pi} \cdot \tau, \\ T_{\Pi} \in [57; 547], \tau \in [0,57; 5,43];$$

$$\lambda = 0,1695 - 0,4 \cdot 10^{-3} \cdot T_{\Pi} - 0,046 \cdot \tau + 6,7 \cdot 10^{-7} \cdot T_{\Pi}^2 + \\ + 7,4 \cdot 10^{-3} \cdot \tau^2 - 3,13 \cdot 10^{-6} \cdot T_{\Pi} \cdot \tau, \\ T_{\Pi} \in [100; 500], \tau \in [1; 5];$$

$$\rho = 2766 + 0,51 \cdot T_{\Pi} - 941,5 \cdot \tau + 157,75 \cdot \tau^2 - 0,59 \cdot T_{\Pi} \cdot \tau, \\ T_{\Pi} \in [57; 547], \tau \in [0,57; 5,43].$$

Минимальному значению теплоемкости 137 Дж/(кг·К) соответствует продолжительность термообработки – 4 с. и температура обработки 543 °С.

Минимальная теплопроводность материала $\lambda = 0,036$ Вт/(м·К) может быть получена при следующих параметрах: температуре 271,8 °С, времени термического воздействия 3,25 с., влагосодержании 37,8 %. При данных значениях плотность материала составляет 990 кг/м³, а теплоемкость 371 Дж/(кг·К). Стоит обратить внимание на то, что минимальная теплопроводность материала в полтора раза меньше установленной нормы для утеплителей на основе кремнезема составляющей 0,052 Вт/(м·К) [3] и в три раза меньше теплопроводности керамзита. Также стоит отметить что материал, имеющий минимальную теплопроводность, имеет теплоемкость выше минимально возможной, но все равно довольно низкую по сравнению со своими аналогами. Такие результаты можно получить путем оптимизации технологических режимов термообработки.

Исследования также показали, что на теплопроводность материала оказывает влияние не только количество и величина ячеек, но и их форма. Для материала со сплюснутыми ячейками, ориентированными по длине перпендикулярно движению теплового потока, характерно снижение коэффициента теплопроводности. Величина снижения зависит от размера ячеек и степени их деформации.

Необходимо отметить, что получаемый пористый материал и процесс его производства являются экологически чистыми.

Было выполнено компьютерное моделирование тепловой обработки сферической пористой частицы с помощью программного ком-

плекса ANSYS. Была учтена хаотическая пористость материала, а также физические свойства реального материала. Коэффициент теплопроводности материала был принят согласно экспериментальным данным, и являлся функцией температуры. Но стоит отметить, что объем частицы не изменялся во времени (т.е. не учитывался процесс вспучивания). Начальная температура частицы материала была принята 100 °С. Температура греющей среды – 300 °С. Форма, объем, и расположение пор в материале были заданы случайным, хаотическим образом.

По результатам моделирования оказалось, что самая холодная точка в 185 °С смещена от центра сферической частицы. Это связано с хаотическим распределением пор по объему материала. По этой причине, в дальнейшем при моделировании процесса тепловой обработки пористого материала рекомендуется принимать теплофизические свойства пористого материала и их зависимости от различных режимов термообработки на основании экспериментальных данных.

Заключение

В поставленных экспериментах по исследованию теплофизических свойств материала исследовались зависимости теплоемкости, плотности и коэффициента теплопроводности, как функции температуры потока, времени тепловой обработки и начальной влажности материала.

Был найден минимум коэффициента теплопроводности $\lambda = 0,036$ Вт/(м·К), который будет достигаться при следующих параметрах тепловой обработки материала: температура потока 271,8 °С, время термического воздействия 3,25 с, начальная влажность материала 37,8 %. При данных значениях тепловой обработки плотность будет равняться 990 кг/м³, а массовая теплоемкость – 371 Дж/(кг·К).

Список литературы

1. Павленко А. М. Создание основы для нового теплоизоляционного материала [Текст] / А. М. Павленко, А. А. Чейлытко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2009. – 3/7 (№ 39). – С. 13–16.
2. Таран Н. Я. Монтаж конструкций тепловой изоляции из известково-кремнеземистых изделий [Текст] / Н. Я. Таран. – М. : Энергия, 1975. – 88 с. – Библиогр. : С. 86–88.
3. Демидович Б. К. Пеностекло [Текст] / Б. К. Демидович. – Минск. : Наука и техника, 1977. – 247 с. – Библиогр. : С. 230–245.
4. Сировинна суміш пористого заповнювача для бетону та спосіб його одержання [Текст] : пат. UA 3802 С2. МПК С04В14/00,

С04В20/04, С04В22/06 / Сланевский С. И., Мартинов В. И.; заявл. 20.10.1992. Оpubл. 27.12.1994, Бюл. № 15.

5. Хартман К. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов [Текст] / К. Хартман. – М. : Мир, 1977. – 552 с. – Библиогр. : С. 531.

Рукопись поступила 01.11.2012 г.