

К ВОПРОСУ О ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ БАЗАЛЬТОВОГО ВОЛОКНА ПЛАМЕНЕМ ГАЗОВЫХ ГОРЕЛОК

Федосов Сергей Викторович, академик РААСН, д.т.н., профессор НИУ МГСУ, Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, e-mail: fedosov-academic53@mail.ru

Элбакян Апри Гамлетович, ст.преп. ИЖГТУ, Россия, 426069, Удмуртская республика, г. Ижевск, ул. Студенческая, д. 7, e-mail: henry25@mail.ru

Соколов Александр Михайлович, д.т.н., доцент ИГЭУ, Россия, 153000, г. Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34, e-mail: alex2010fn@yandex.ru

Аннотация. В данной статье рассматривается термическая обработка пламенем газовых горелок элементарных холстов или матов на основе базальтового волокна, с целью уменьшения в последних выделения мелкодисперсной пыли при их производстве и эксплуатации. Достигается такой эффект за счет «спекания» небольшого поверхностного слоя материала, при котором образуется корочка, существенно препятствующая выделению пыли из матов.

Мелкодисперсная пыль легко проникает в дыхательные пути человека и оседает на слизистой оболочке, вызывая раздражение, а также в некоторых случаях приводя к заболеваниям. Поэтому вопрос о уменьшении ее выделения из теплоизоляционных материалов стоит как нельзя актуально.

В работе составлена математическая модель процесса термической обработки образцов матов из базальтового волокна, и проведены соответствующие экспериментальные

опыты. В результате экспериментов была установлена средняя скорость прохождения газа через базальтовый холст. Выявлено, что распространение тепла в толще материала действительно будет происходить не в результате процесса теплопроводности, а в результате проникновения разогретого газа, исходящего от горелок, в толщу материала. Установлены предварительные параметры для проектирования и выбора оптимальных режимов работы технологической установки по термической обработке материалов из базальтового волокна.

Ключевые слова: базальтовое волокно, термическая обработка, мелкодисперсная пыль, теплоизоляционный материал, массоперенос

ON THE ISSUE OF HEAT TREATMENT OF HEAT-INSULATING MATERIALS FROM BASALT FIBER WITH A FLAME OF GAS BURNERS

Fedosov Sergey Viktorovich, RAASN academician, doctor of technical Sciences, prof. NRU MGSU, Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26, e-mail: fedosov-academic53@mail.ru

Elbakyan Henry Gamletovich, senior lecturer. IzhSTU, Russia, 426069, Republic Udmurtia, Izhevsk, Student str., 7, e-mail: henry25@mail.ru

Sokolov Alexander Mikhailovich, doctor of technical Sciences, Assoc. ISPU, Russia, 153000, Ivanovo, Rabfakovskaya str., 34, e-mail: alex2010fn@yandex.ru

Annotation. This article discusses the heat treatment by flame of gas burners of elementary canvases or mats based on basalt fiber, in order to reduce the emission of fine dust during their production and operation. This effect is achieved due to the "sintering" of a small surface layer of the material, in which a crust forms, significantly preventing the emission of dust from the mats.

Fine dust easily penetrates the human airways and settles on the mucous membrane, causing irritation, and in some cases leading to diseases. Therefore, the question of reducing its release from heat-insulating materials is urgently needed.

A mathematical model of the process of heat treatment of samples of mats made of basalt fiber was compiled, and the corresponding experimental experiments were carried out. As a result of the experiments, the average gas velocity through the basaltic canvas was established. It has been revealed that the distribution of heat in the thickness of the material will not really occur as a result of the heat conduction process, but as a result of the penetration of the heated gas coming from the burners into the thickness of the material. Preliminary parameters have been established for the design and selection of optimal operating conditions for a technological installation for the heat treatment of basalt fiber materials.

Key words: basalt fiber, heat treatment, fine dust, thermal insulation material, mass transfer

Теплоизоляционные материалы из супертонкого базальтового волокна, получают все более широкое применение в строительной и других отраслях народного хозяйства. Они производятся из природного сырья и имеют ряд преимуществ: низкие теплопроводность и гигроскопичность, высокая огнеупорность и отсутствие токсичности. Однако, этот материал обладает серьезным недостатком – наличие неволоконистых включений и мелкодисперсная пыль, которые могут нести собой травмоопасность для слизистой оболочки и засорение дыхательных путей.

Существенного ослабления влияния на человека этих неблагоприятных факторов можно добиться посредством обработки акустическим и тепловым высокотемпературным полем. В последнем виде обработки целесообразно применять воздействие на холст материала пламени газовых горелок. В результате оплавления поверхностного холста образуется тонкая сплошная пленка, которая создает защиту от выхода мелкодисперсной пыли из материалов в воздух при его транспортировке и монтаже, а также микроциркуляции

воздуха.

В процессе такой обработки базальтовый холст равномерно перемещается в горизонтальном направлении над пламенем газовой горелки (температура газа около 1700°C) с постоянной скоростью. Происходит нагрев и расплавлением базальтовых волокон (температура плавления около 1450°C) вплоть до образования сплошного базальтового покрытия толщиной не более 10 мкм.

Для проектирования и выбора оптимальных режимов работы технологической установки требуется создание достоверной математической модели такого процесса, т.к. применение экспериментальных методов для решения указанных задач требует больших затрат сил, времени и средств. Предварительные оценки показали, что, учитывая высокую газопроницаемость базальтового холста, т.к. коэффициент заполнения волокном составляет $k = 0.001 \div 0.1$, распространение тепла в толще материала происходит не в результате процесса теплопроводности, а вследствие проникновения разогретого газа, исходящего от горелок, в толщу материала [1,2]. Однако при построении математической модели возникло препятствие в виде отсутствия сведений о величине скорости прохождения разогретого газа через базальтовый холст. Это стало причиной проведения экспериментов в целях определения величины этого параметра.

В экспериментах были использованы два образца базальтового холста различной толщины и плотности: 1 образец – толщина $h = 15$ мм, плотность $\rho = 7,5$ кг/м³, коэффициент заполнения $k_T = 0,0026$; 2 образец – $h = 35$ мм и $\rho = 10,5$ кг/м³, $k_T = 0,0037$. Внешний вид образцов представлен на рис. 1.



1 образец



2 образец

Рис. 1. Внешний вид образцов базальтового холста, выбранных для экспериментов

Для проведения эксперимента в верхней части холста устанавливался датчик температуры, подключенный к мультиметру, в целях контроля температуры в этой точке. Затем нижней поверхностью этого холста накрывалась газовая горелка бытовой газовой плиты, предварительно включенной на полную мощность. При этом предполагалось, что в таком эксперименте возникают условия воздействия пламени аналогичные условиям обработки на технологической установке. Одновременно с размещением холста включался секундомер и выполнялось наблюдение за показаниями мультиметра, т.е. температурой в верхней части холста. В течение некоторого времени температура в этой точке оставалась неизменной. Однако в какой-то момент она начиналась повышаться, считается, что в этот момент времени горячий газ, идущий сквозь материал, достигает верхней поверхности и производилась остановка секундомера. Полученное значение Δt можно считать временем прохождения газа пути, равного толщине материала. Далее по известному значению толщины образца без труда определяется средняя скорость движения газа в толще материала: $v = h/\Delta t$. На рис. 2 представлены внешний вид мультиметра с подключенным датчиком температуры и образца во время эксперимента.

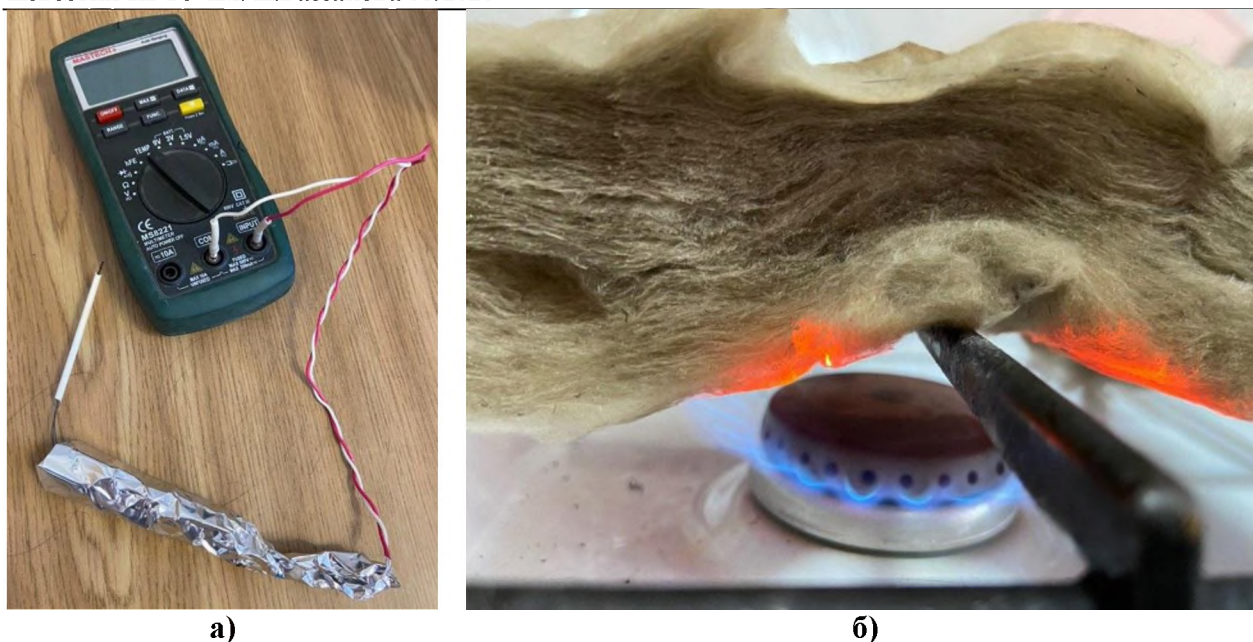


Рис. 2. Внешний вид мультиметра с подключенным термодатчиком (а) и образца базальтового холста во время эксперимента (б)

В результате экспериментов было установлено, что средняя скорость прохождения газа через базальтовый холст для 1 образца имеет величину $v = 3$ мм/с ($\Delta\tau = 5$ с), а для 2 образца – $v = 1$ мм/с ($\Delta\tau = 35$ с). Существенно меньшее значение скорости в случае 2 образца объясняется большим сопротивлением потоку газа из-за большей толщины материала и большей величины его плотности.

Анализ полученных значений v в сравнении со скоростью распространения тепла за счет теплопроводности (а материал обладает низкими значениями коэффициента теплопроводности – $\lambda = 0,035 \pm 0,045$ Вт/м·К) позволяет сделать вывод, что распространение тепла в толще материала действительно будет происходить не в результате процесса теплопроводности, а в результате проникновения разогретого газа, исходящего от горелок, в толщу материала [1,3]. Это позволяет использовать для расчета температурного поля в процессе термической обработки достаточно простую численно-аналитическую одномерную математическую модель прогрева материала, которая схематично представлена на рис. 3 [2].

Движущийся от газовых горелок со скоростью v поток нагретого газа мысленно разрезается на слои одинаковой толщины Δ (рис. 3). Такая же процедура выполняется и для базальтового холста (рис. 3). При стационарном режиме работы газовых горелок следует предположить, что все слои разогретого газа имеют одинаковую температуру (1700 °С) и величину тепловой энергии W_r . Слои газа один за другим проникают в материал, который имеет начальную температуру равную температуре окружающей среды.

Вычисления производятся по программе в среде MATLAB в циклическом режиме. На каждом цикле j предполагается, что происходит смещение слоев газа на величину Δ по направлению движения газа. Очевидно, что это будет соответствовать шагу по времени $\Delta t = \Delta / v$, а момент времени определяется соотношением $t_j = j \cdot \Delta t$. Как следует из рис. 3,а, на первом шаге расчета $j = 1$ слой нагретого газа подходит вплотную к поверхности материала. На следующем шаге $j = 2$ первый слой разогретого газа проникает первый слой материала (рис. 3,б).

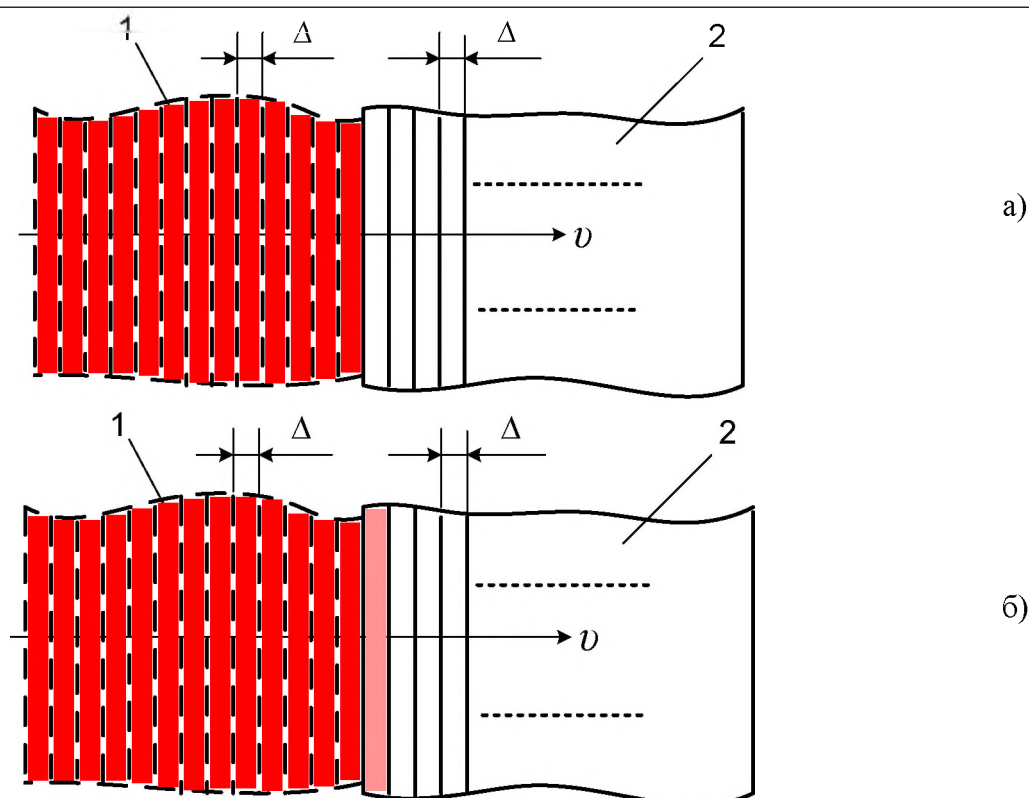


Рис. 3. Расчетная схема в виде продольного сечения потока нагретого газа в толщу материала (базальтового холста): 1 – поток разогретого газа; 2 – базальтовый холст; а – на первом шаге циклических вычислений $j = 1$; б – на втором шаге – $j = 2$

Следует предположить, что в этом слое произойдет перемешивание горячего газа с воздухом, а тепловая энергия газа расходуется на нагрев воздуха и твердого материала (базальтовых волокон). Очевидно, что в этом процессе будет соблюдаться уравнение теплового баланса [2]

$$\Delta W_G = \Delta W_T + \Delta W_B \quad (1)$$

где ΔW_G – уменьшение тепловой энергии горячего газа; ΔW_T – увеличение тепловой энергии базальта; ΔW_B – увеличение тепловой энергии воздуха.

Очевидно, что в первом слое материала устанавливается новое значение температуры, определяемое посредством решения уравнения теплового баланса (1). Это значение будет ниже температуры горячего газа, но выше предыдущей температуры этого слоя. На следующем шаге вычислений $j = 3$ (на рис. 3 – не показан) этот слой нагретого газа с меньшим запасом тепловой энергии, $W_G - \Delta W_G$, поступает во второй слой материала. В этом слое также происходит процесс теплообмена, как в первом слое, с соблюдением уравнения теплового баланса (1) и с появлением температуры в этом слое меньше, чем в первом. В дальнейшем, процесс поступления слоев нагретого газа продолжается и сопровождается вычислениями по рассмотренному правилу. Вполне очевидно, что одновременно с продвижением начального слоя разогретого газа по слоям материала, как представлено выше, на каждом шаге циклического расчета в первый слой материала поступает все новая порция разогретого газа с энергией W_G и вычисления повторяются, как в первом случае (рис. 3). Посредством описанных расчетов можно получить зависимости изменения температуры во времени в различных точках материала и изменения температуры по координате вглубь материала в фиксированные моменты времени. Такие сведения необходимы при конструировании технологического оборудования и выбора его режимов работы.

Упомянутая выше программно-алгоритмическая реализация методики расчета нестационарного температурного поля в объеме базальтового холста в процессе его

термической обработки пламенем газовых горелок позволила выполнить расчеты изменения температуры в пространстве и во времени. В качестве примера на рис. 4 представлены расчетные кривые изменения температуры во времени на обрабатываемой поверхности и на некотором расстоянии от нее для каждого из использованных в экспериментах образцов (рис. 1). При этом использовались соответствующие значения толщины базальтового холста, скорости движения газа v и плотности материала ρ , указанные выше.

Анализ зависимостей, приведенных на рис. 3 качественно соответствуют физическим представлениям о процессе прогрева базальтового холста. При этом следует отметить, что процесс разогрева поверхностного слоя материала (кривые 1) протекает с большой скоростью и слабо зависит от его толщины и плотности: температура плавления достигается за время меньше 0,1 с, а за 0,2 с она теоретически достигает температуры поступающего газа. Столь быстрое увеличение температуры обусловлено низкой теплоемкостью материала из-за его невысокой плотности. В действительности, характер изменения температуры во времени должен быть иным, т.к. после достижения температуры плавления значительная часть тепловой энергии разогретого газа будет расходоваться на плавление материала и нагрев расплава. В этом случае уравнение (1) становится недействительным. Однако на расстоянии всего 2 мм от поверхности нагрев материала начинается с опозданием, а время достижения температуры плавления составляет около 0,2 с.

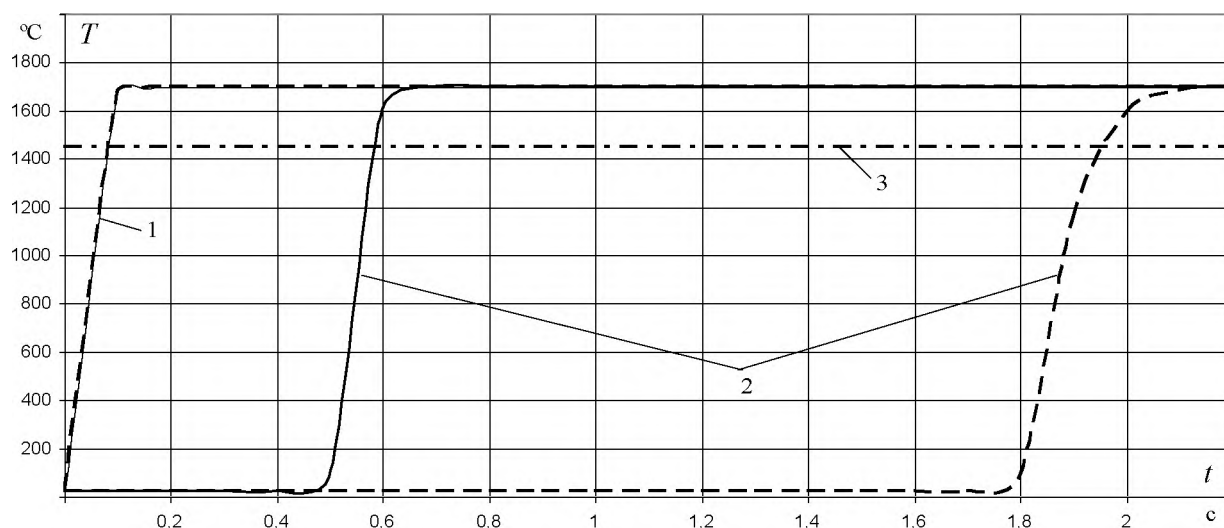


Рис. 4. Изменение температуры базальтового холста при воздействии на него пламени газовой горелки во времени: 1 – температура на поверхности; 2 – температура на глубине 2 мм; 3 – температура плавления базальтового волокна; сплошные линии соответствуют 1 образцу; пунктирные линии соответствуют 2 образцу

Вполне очевидно, что необходима дополнительная экспериментальная проверка правильности представленных теоретических оценок. Также требуется дальнейшее развитие представленной расчетной методики для того, чтобы связать получаемые характеристики температурного поля с параметрами технологического оборудования и режимами его работы. Это позволит превратить методику в удобный и эффективный инструмент решения практических задач по созданию и применению необходимого оборудования и процесса термической обработки базальтовых холстов.

Литература

1. Электротепловая обработка бетона токами повышенной частоты на предприятиях сборного железобетона/ Федосов С.В., Бобылёв В.И., Соколов А.М.// Монография. Иваново: ФГБОУ ВО «ИГЭУ им. В.И. Ленина», ИВГПИУ, 2016. – 336 с
2. Элбакян А.Г., Федосов С.В., Соколов А.М. О возможности использования численно-

аналитической расчетной методики для исследования температурных полей при оплавлении поверхности теплоизоляционного холста из базальтового волокна/Сборник материалов Национальной молодёжной научно-технической конференции «Молодые ученые – развитию национальной технологической инициативы» (ПОИСК–2020). ИВГПУ. Иваново. 2020. С. 611-614

3. Федосов С.В. Тепломассоперенос в технологических процессах строительной индустрии. Монография – Иваново: ИПК «ПрессСто», 2010. – 364 с.
4. Медников Е.П. Турбулентный перенос и осаждение аэрозолей. – М.: Наука, 1980.
5. Медников Е.П. Миграционная теория осаждения аэрозольных частиц из турбулентного потока на стенках труб и каналов // Доклады Академии наук СССР, 1972, т.206, №1. - С.51-54.
6. Сугак Е.В., Войнов Н.А., Николаев Н.А. Очистка газовых выбросов в аппаратах с интенсивными гидродинамическими режимами. – Казань: РИЦ «Школа», 1999.
7. Алексеев Д.В., Николаев Н.А., Лаптев А.Г. Комплексная очистка стоков промышленных предприятий методом струйной флотации. – Казань: КГТУ. 2005.
8. Медников Е.П. Поперечная миграция частиц, взвешенных в турбулентном потоке // Доклады Академии наук СССР, 1972, т.206, №3. - С.543-546.