

УДК 677.07:536.21

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ
НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ХИМИЧЕСКИХ ВОЛОКОН
НЕСТАЦИОНАРНЫМИ МЕТОДАМИ**

**DETERMINATION OF A CONDUCTIVITY FACTOR
OF NONWOVEN FROM CHEMICAL FIBERS
BY NON-STATIONARY METHODS**

T.C. СОКОЛОВСКАЯ, Е.А. ШИБАРОВА
T.S. SOKOLOVSKAJA, E.A. SHIBAROVA

(Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина)
(Moscow State Textile University "A.N. Kosygin")
E-mail: office@msta.ac.ru

Предложен аналитический метод определения теплофизических параметров нетканого материала в случае, когда скорость изменения темпа охлаждения мала. Метод позволяет в одном опыте определить коэффициент температуропроводности и влагосодержания испытываемого образца нетканого материала. Приведен пример расчета теплофизических параметров образца нетканого материала, состоящего из синтетических волокон.

The analytical method of determination nonwoven's thermophysical parameters in a case when speed of change of cooling rate is small is offered. The method allows to define the coefficient of thermoconductivity and moisture contents of the tested sample of nonwoven during one test. The example of calculation of thermophysical parameters of the nonwoven sample consisting of synthetics is given.

Ключевые слова: нетканые материалы, теплофизические постоянные, точность измерения температур, метод квазирегулярного режима охлаждения.

Keywords: nonwoven, thermophysical constants, accuracy of temperatures measurement, a method of a quasiregular refrigeration conditions.

Экспериментальное определение теплофизических параметров текстильных материалов сталкивается с рядом проблем

[1], которые можно преодолеть, если использовать для измерений следствия, вытекающие из законов распространения

тепла в плоскостойких средах при их нестационарном нагреве или охлаждении [2].

Кривые охлаждения предварительно нагретых, а затем вертикально установленных плоских образцов нетканых материалов в условиях свободной конвекции описываются единым законом (квазирегулярный режим охлаждения):

$$\ln u = -m(1 - \mu\tau)\tau + \text{const.} \quad (1)$$

с параметрами m , μ , зависящими только от физических свойств испытываемых материалов. В формуле (1) u – разность между температурой поверхности образца и температурой окружающей среды. Для ряда материалов из химических волокон параметр μ настолько мал, что кривая (1) представляет собой в интервале температур 20...80°C практически прямую линию (рис. 1 – кривая охлаждения нетканого материала, τ – промежуток времени, отсчитанный с момента начала измерений температуры поверхности нагретого образца. Сплошная линия построена по теории квазирегулярного режима охлаждения, крестики – данные эксперимента.). В этом случае можно воспользоваться для определения коэффициента температуропроводности материала изложенным в настоящей работе методом.

При известном составе нетканого материала его теплоемкость находится, исходя из закона аддитивности [1]:

$$\bar{c}_p = g_0 c_{p,0} + g_1 c_{p,1} + \dots + g_n c_{p,n}, \quad (2)$$

где g_1, \dots, g_n – массовые доли компонент, входящих в нетканый материал; g_0 – массовая доля воздуха, заполняющего поры материала, с теплоемкостью $c_{p,0}$. Величина g_0 находится из формулы:

$$g_0 = P \frac{\rho \delta}{\sigma},$$

где P – пористость материала; ρ – плотность воздуха; δ – толщина образца; σ – поверхностная плотность образца. Удель-

ная теплоемкость нетканого материала после нагрева в сушильном шкафу зависит от остаточного влагосодержания $W = \frac{M}{M_c}$,

где M – масса сорбированной влаги; M_c – масса сухого материала. Она может быть вычислена по формуле:

$$c_p = \frac{\bar{c}_p + W c_{p,v}}{1 + W},$$

где $c_{p,v}$ – удельная теплоемкость воды. Влагосодержание и коэффициент теплопроводности одновременно определяются экспериментально.

Вклад первого слагаемого в общую сумму (2) составляет несколько процентов, поэтому плотность воздуха в формуле (2) можно взять равной ее значению при комнатной температуре.

По измерениям темпа охлаждения m при известных геометрических формах образца определяется коэффициент температуропроводности материала a , из которого он изготовлен. Для плоской пластины, состоящей из обычных теплоизоляционных материалов, которая расположена вертикально и охлаждается в окружающем спокойном воздухе, $Bi < 10$. Темп охлаждения определяется формулой [3]:

$$m = \frac{a}{\delta^2} (1,307 + 1,39 \lg Bi)^2, \quad (3)$$

а следовательно, определяется еще и теплофизическими постоянными воздуха и характером теплоотдачи поверхности образца. После измерения темпа охлаждения теплофизические параметры образца α , λ , δ , a , c_p , W будут связаны формулой (3).

Из параметров α, σ, c_p образца материала можно составить величину (комплекс), имеющую размерность темпа охлаждения:

$$m_0 = \frac{\alpha}{\sigma c_p}. \quad (4)$$

и выразить критерий Био через m_0 . Тогда:

$$m = \frac{a}{\delta^2} \left[1,307 + 1,39 \lg \left(\frac{m_0 \delta^2}{a} \right) \right]^2. \quad (5)$$

Измеренный экспериментально темп охлаждения m определяет соотношение (5) между коэффициентом температуропроводности a , толщиной материала δ и комплексом (4), которое представляет собой трансцендентное уравнение для нахождения коэффициента температуропроводности. Введем безразмерные величины $x = \frac{m_0 \delta^2}{a}$ и $d = \frac{m}{m_0}$. Тогда:

$$dx = (1,307 + 1,39 \lg x)^2. \quad (6)$$

Экспериментально определяется отношение $d = \frac{m}{m_0}$, зная которое находится решение уравнения (6). Для приближенных расчетов с точностью до 2% можно предложить формулу [2]:

$$x = 34,9 \exp \{-1,9d - 1,17(d - 1,24)^3\}. \quad (7)$$

Вычислив x , найдем коэффициент температуропроводности a :

$$a = \frac{m_0 \delta^2}{x}. \quad (8)$$

Таким образом, при измерении коэффициента температуропроводности методом квазирегулярного режима охлаждения образца в воздухе нужно знать комплекс (4), в который входят удельная теплоемкость материала и коэффициент теплоотдачи поверхности образца.

Порядок определения коэффициента температуропроводности следующий. Образец нагревается в сушильном шкафу до температуры 80°C, затем быстро вынимается и помещается вертикально перед инфракрасным пирометром, сигнал от которого регистрируется ИК-пирометром на экране дисплея в виде кривой зависимости температуры поверхности образца от температуры. Затем строится кривая охлажде-

ния, показывающая, как меняется во времени логарифм разности между температурой поверхности образца и температурой окружающего помещения (рис.1).

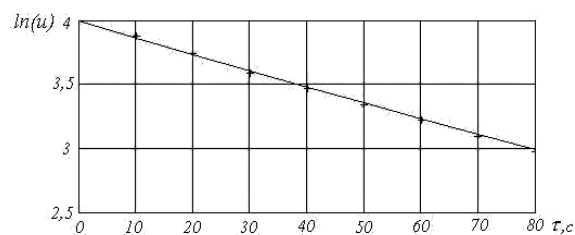


Рис. 1

Содержащаяся в кривой охлаждения информация о теплофизических параметрах вещества находится следующим образом. Сначала методом наименьших квадратов находятся коэффициенты m и μ , кривой (1), аппроксимирующей кривую охлаждения. Затем находится параметр d и решается уравнение (6), из которого находится x . С точностью до 2% можно воспользоваться формулой (7). Найденная величина x подставляется в формулу (8), которая дает значение коэффициента температуропроводности. Величина λ находится из формулы, определяющей связь $a, \lambda, \delta, \sigma, c_p$:

$$\lambda = a \frac{\sigma c_p}{\delta}.$$

Найденное значение λ в известном смысле приближенно. Для уточнения его строится теоретическая кривая охлаждения [4], исходя из имеющихся значений удельной теплоемкости (2), влагосодержания W и λ . На рис.1 теоретическая кривая изображена сплошной линией, найденная экспериментально – крестиками. При необходимости значения λ, W корректируются, исходя из минимума среднеквадратичной ошибки.

Для образца, состоящего из 40% полиамида, 40% полипропилена и 20% полиэфира, кривая охлаждения которого приведена на рис.1, крестиками изображены экспериментальные значения температур, сплошная кривая построена по теории квазирегулярного режима охлаждения при

следующих значениях параметров материала: $\lambda = (0,0287 \pm 0,0001) \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, $W = 0,025 \pm 0,001$.

ВЫВОДЫ

1. Методом квазирегулярного режима охлаждения можно определить теплофизические постоянные нетканых материалов с высокой точностью – порядка единиц процента. Точность измерения определяется точностью измерения температур и определяющих размеров образцов.

2. Метод позволяет одновременно находить коэффициенты теплопроводности, температуропроводности и влагосодержание испытуемого образца.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кондратьев Г.М.* Тепловые измерения. – М.,Л.: ГИ-ТИМЛ, 1957.
2. *Соколовская Т.С., Соколовский Р.И.* Нестационарная теплопроводность плоскостойких сред. – М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2007.
3. *Соколовская Т.С.* // Химические волокна. – 2005, №1. С.54...56.
4. *Соколовская Т.С.* Границы применения теории квазирегулярного режима охлаждения // В сб. научн. тр.: Изделия и технологии двойного назначения. Конверсия ОПК. – М.: РАН, 2007. С.247...250.

Рекомендована кафедрой промышленной теплоэнергетики. Поступила 03.06.11.