

Калюжний О.Б.¹,
Калюжний Б.Г.¹,
Платков В.Я.²

¹Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени П.Василенко,
г. Харьков, Украина,
E-mail: albokal@ukr.net

²Харьковский национальный экономический университет им. Семена Кузнецца, г. Харьков, Украина,
E-mail: vplatkov@gmail.com

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ВЫСОКОПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ФТОРОПЛАСТА-4

УДК 536.2.083

В широком интервале температур изучена теплопроводность высокопористых материалов на основе фторопласта-4 с различными значениями пористости.

Ключевые слова: пористый фторопласт-4, теплопроводность.

Введение.

Развитие сельского хозяйства в Украине предусматривает широкое использование материалов стойких к агрессивной среде, в том числе пористых полимерных материалов. Ведущей тенденцией в области полимерного материаловедения является разработка и изучение пористых материалов на основе фторопласта-4 (PTFE). Однако данные о теплофизических свойствах таких материалов отсутствуют. В настоящей работе проведены исследования теплопроводности пористых материалов на основе фторопласта-4.

Результаты и их обсуждение.

В соответствии с ГОСТ 23630.2-79 определение теплопроводности полимерных фильтровальных материалов проводилось на приборе ИТ-λ-400, допускающим погрешность измерения в пределах $\pm 10\%$. В состав измерителя теплопроводности ИТ-λ-400 входят: блок измерительный, блок питания и регулирования, гальванометр М95.

Для измерения теплопроводности в измерителе использован метод динамического λ-калориметра, теоретическое обоснование которого подробно изложено в [1]. Схема определения теплопроводности показана на рис. 1. Испытуемый образец 4 устанавливается на пластину контактную 3 и сверху поджимается стержнем 5, а также прижимом с пружиной (на схеме не указаны). Испытуемый образец 4, пластина контактная 3, пластина тепломера 2 и стержень 5 монотонно разогреваются тепловым потоком Q (τ), поступающим от основания 1. Боковые поверхности стержня 5, образца 4 и пластин 1 и 3 адиабатически теплоизолированы. Блок питания и регулирования обеспечивает нагрев основания 1 со средней скоростью $\sim 0,1$ К/°С и автоматическое регулирование температуры таким образом, что температура стержня и адиабатической оболочки на протяжении всего эксперимента поддерживаются равными с погрешностью около 0,3 К. Стержень 5 и пластина контактная 3 изготовлены из меди, обладающей высокой теплопроводностью, поэтому перепады температур на них незначительны. Пластина тепломера изготовлена из нержавеющей стали. Для увеличения теплового сопротивления и снижения теплоемкости в ней предусмотрены отверстия и канавки.

Размеры системы выбраны таким образом, чтобы потоки тепла, аккумулированные образцом и пластиной тепломера 2 были, по крайней мере, в 5-10 раз меньше поглощаемых стержнем. В этом случае температурное поле образца 4 и пластины 2 оказывается близким к линейному, стационарному, все детали системы прогреваются с близ-

кими скоростями. В експерименте для определения теплопроводности, в процессе непрерывного разогрева на фиксированных уровнях температуры с помощью термопар в делениях шкалы гальванометра измерялся перепад температур на образце (h_0) и пластине тепломера (h_T). Эти показания гальванометра являются основой для расчета теплопроводности образца.

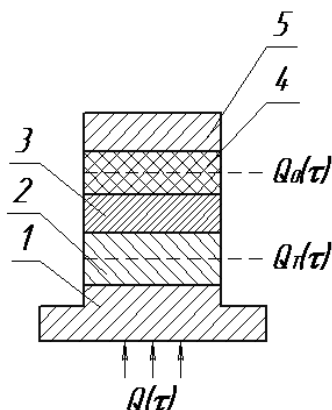


Рис. 1. Схема определения теплопроводности.

Охлаждение измерительной ячейки в область отрицательных температур (до -150°C) производится жидким азотом. Для этого служит бачок с теплоизолированными стенками. При установке бачка с азотом на верхнюю половину корпуса измерительной ячейки в нем открывается канал, по которому азот поступает в каналы адiabатической оболочки, основания и нагревательного блока. Из нагревательного блока азот удаляется через выходной патрубок в атмосферу.

В соответствии с требованием ГОСТ 23630.2-79 образец должен быть в форме диска диаметром 15 мм и высотой от 0,5 до 5 мм. Высота образца выбирается в зависимости от ожидаемого значения теплопроводности из табл. 1.

Таблица 1

Рекомендуемая высота испытываемого образца

λ , Вт/мК	0,1 – 0,3	0,3 – 0,5	0,5 – 1	1 – 2	более 2
$h \cdot 10^3$, м	0,5 – 1	1 – 2	2 – 3	3 – 5	5

Если в эксперименте перепад температуры на образце (h_0) превышает 100 делений шкалы гальванометра, необходимо уменьшить высоту образца, а если перепад меньше 50 делений, то высоту образца следует увеличить.

Предварительные эксперименты с исследуемыми образцами показали, что указанным рекомендациям соответствуют образцы высотой 0,2 мм, которые были изготовлены с использованием микротомы МС-2.

Исследования проводились на четырех образцах полимерных фильтровальных материалов с пористостью 74, 70, 68, 64%, изготовленных по методике, приведенной в [2]. Каждый образец взвешивался с погрешностью не более 0,001 г, высота и диаметр образца измерялись с погрешностью не более 0,01 мм. Контактные поверхности образца, основания и стержня протирались бензином.

Свойства исследуемого материала обеспечивали хороший тепловой контакт образца в приборе, поэтому специальные покрытия для контактных поверхностей образцов не применялись. Испытания проводились в интервале температур от -100 до $+200^{\circ}\text{C}$. Показания гальванометра фиксировались через каждые 25°C . Для каждого образца проводили не менее пяти экспериментов.

Теплопроводность образцов для каждой температуры вычисляли по формуле:

$$\lambda_o = \frac{h_o}{P_o}, \text{ Вт/К}\cdot\text{м} \quad (1)$$

где h_o - высота образца, м;

P_o - тепловое сопротивление образца, $\text{м}^2 \cdot \text{К/Вт}$.

Тепловое сопротивление образца определяли по формуле:

$$P_o = \frac{h_o \cdot S_o}{h_T \cdot K_T} (1 + \sigma_c) - P_K, \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт} \quad (2)$$

где S_o - площадь поперечного сечения образца, м^2 ;

K_T - теплопроводность пластины тепломера, Вт/К (определялась при градуировке прибора);

P_K - поправка, учитывающая контактное тепловое сопротивление образца, К/Вт (определялась при градуировке прибора);

σ_c - поправка на теплоемкость образца.

Поправка на теплоемкость вычислялась по формуле:

$$\sigma_c = \frac{C_o \cdot m_o}{2(C_o m_o + C_c m_c)}, \quad (3)$$

где C_o - удельная теплоемкость образца, $\text{Дж/кг}\cdot\text{К}$;

C_c - удельная теплоемкость стержня, $\text{Дж/кг}\cdot\text{К}$;

m_o - масса образца, кг ;

m_c - масса стержня, кг .

Температуру (\bar{t}_o), к которой относят измеренное значение теплопроводности, вычисляли по формуле:

$$\bar{t}_o = t_c + 0,5 \frac{h_o}{h_{\Delta t}} \cdot 25, \quad (4)$$

где t_c - температура стержня, $^{\circ}\text{C}$;

$h_{\Delta t}$ - показания гальванометра, соответствующие перепаду температуры $\Delta t = 25^{\circ}\text{C}$ (определяется при установке переключателя "температура" в следующее положение).

Градуировка прибора производилась до начала эксперимента, а также регулярно 1 раз в 3 месяца при их проведении. При этом определялись постоянные прибора (K_T и P_K). Для этого сначала проводили не менее пяти измерений на прилагаемой к прибору образцовой мере из кварцевого оптического стекла марки КВ по ГОСТ 15130-69. Тепловую проводимость тепломера (K_T) вычисляли по формуле:

$$K_T = \frac{h_{кв}}{h_T} \cdot \frac{\lambda_{кв}}{h_{кв}} \cdot S_{кв} (1 + \sigma_c^{кв}), \quad (5)$$

где параметры с индексом "кв" относятся к образцу из кварцевого стекла.

Затем проводили не менее пяти измерений на прилагаемой к прибору образцовой мере из меди марки М1 и вычисляли поправку на контактное тепловое сопротивление образца по формуле:

$$P_T = \frac{h_M}{h_T} \cdot \frac{S_M}{K_T} (1 + \sigma_c^M) - \frac{h_M}{\lambda_M}, \quad (6)$$

где параметры с индексом "М" относятся к медному образцу.

С учетом полученного значения P_K уточняли тепловую проводимость тепломера (K_T) по формуле:

$$K_T = \frac{h_{кв}}{h_T} \cdot \frac{\lambda_{кв}}{h_{кв}} \cdot S_{кв} \frac{1}{(1 + \sigma_K - \sigma_C^{кв})}, \quad (7)$$

где $\sigma_K = P_K \cdot \frac{\lambda_{кв}}{h_{кв}}$

Достоверность результатов экспериментов определялась следующим образом. Если одно из значений λ_i резко отличалось от остальных, проверялось, не является ли оно ошибочным. Для этого определяли параметр ν по формуле:

$$\nu = \frac{|\lambda_i - \bar{\lambda}|}{\bar{\sigma}}, \quad (8)$$

где $\bar{\lambda}$ - среднеарифметическое значение теплопроводности, Вт/К·м;

$\bar{\sigma}$ - среднеквадратическое значение теплопроводности, Вт/К·м.

Если значение $\nu > 1,67$, то λ_i из дальнейшего расчета исключалось и проводилось повторное измерение теплопроводности.

Случайную составляющую погрешности (Δ° , %) определяли по формуле:

$$\Delta^\circ = \frac{\bar{\sigma} \cdot t_p}{\bar{\lambda}} \cdot 100\%, \quad (9)$$

где t_p - коэффициент Стьюдента (для пяти экспериментов при доверительной вероятности, равной 0,95, $t_p = 2,78$).

При проведении экспериментов случайная погрешность при $t_c > -25^\circ\text{C}$ не превышала 10%, а при $t_c < -25^\circ\text{C}$ достигала 20%.

Результаты исследования теплопроводности материалов приведены на рис. 2. Видно, что исследуемые материалы имеют в 3,5 - 4 раза меньшую теплопроводность, чем компактный фторопласт-4 [3].

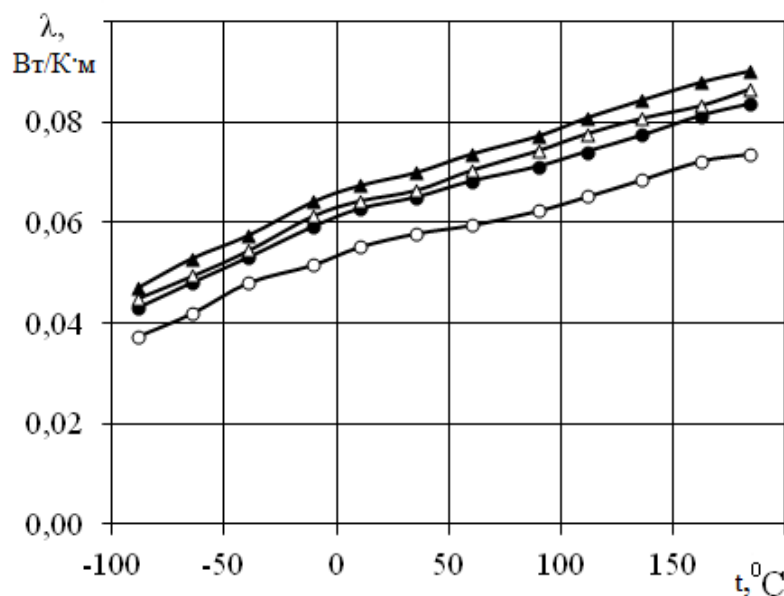


Рис. 2. Зависимость теплопроводности от температуры пористых фторопластов с различным значением пористости: ○ – 74%; ● – 70%; Δ – 68%; ▲ – 64%;

Даже незначительное различие в пористости исследуемых материалов оказывает заметное влияние на теплопроводность. Теплопроводность пористых фторопластов существенно зависит от температуры. Так при увеличении температуры от -100 до +200°C теплопроводность увеличивается почти в 2 раза для пористых образцов с различным значением пористости.

Литература

1. Платунов Е.С. Теплофизические измерения в монотонном режиме. М.: Энергия, 1973. 343 с.
2. Kalyuzhny A.B., Karpova T.L., Kalyuzhny B.G., Platkov V.Ya. Structure and functional properties of high-porosity material based on Fluoroplast-4 // Functional Materials. - 1999. - Vol. 6, №2. - P. 25-30.
3. ГОСТ 10007-80 Фторопласт-4. Технические условия.

Summary

Kalyuzhniy A.B., Kalyuzhniy B.G., Platkov V.Ya. Thermal conductivity of highly porous materials based on PTFE

The thermal conductivity for highly porous materials based on PTFE with different values of porosity has been studied in a wide temperature range. The thermal conductivity of porous PTFE essentially depends on the temperature. So with increasing temperature from -100 to +200 ° C thermal conductivity increase almost 2 times for porous samples with different values of porosity.

Keywords: porous PTFE, thermal conductivity.

References

1. Platynov E.S. Teplofizicheskie izmereniya v monotonnom regime.. М.: Energiya, 1973. p 343.
2. Kalyuzhny A.B., Karpova T.L., Kalyuzhny B.G., Platkov V.Ya. Structure and functional properties of high-porosity material based on Fluoroplast-4 // Functional Materials. - 1999. - Vol. 6, №2. - P. 25-30.
3. GOST 10007-80 Polytetrafluoroethylene. Specifications