

Работа 2.21

Определение коэффициента теплопроводности металлов

Оборудование: металлические стержни, установка для определения коэффициента теплопроводности, термометры, секундомер, мензурка.

Введение

Количество теплоты Q , переносимое при установившемся режиме через площадку ΔS , нормальную к направлению переноса, за время Δt при *градиенте температуры* в образце $\Delta T/\Delta x$, можно вычислить по формуле Фурье:

$$Q = -\alpha \frac{\Delta T}{\Delta x} \Delta S \Delta t, \quad (1)$$

где α — *коэффициент теплопроводности*. Для определения коэффициента теплопроводности твердых тел существует несколько способов.

1-й способ.

Коэффициент теплопроводности α можно определить, если измерить количество теплоты Q , проходящее за единицу времени через поперечное сечение ΔS образца, используя формулу Фурье. Постоянство градиента температуры можно обеспечить нагреванием одного из концов образца в электрической печи с заданной температурой и охлаждением его другого конца проточной водой, имеющей постоянную начальную температуру. Количество теплоты, проходящее через образец за единицу времени равно:

$$\frac{Q}{\Delta t} = cm(T_1 - T), \quad (2)$$

где T_1 — температура воды, вытекающей из полости образца, T — температура воды, поступающей для охлаждения образца, c — удельная теплоемкость воды, m — масса воды, протекающей за единицу времени.

Пренебрегая потерями теплоты, из формул (1) и (2) получаем:

$$\alpha = \frac{cm(T_1 - T)}{\Delta S \frac{\Delta T}{\Delta x}}. \quad (3)$$

Описание метода и установки. В работе исследуется теплопроводность двух металлов — меди и алюминия. Образцы для исследования представляют собой цилиндрические стержни. На один из торцов стержня 1 (рис. 2.31) надет нагреватель 2, который можно перемещать по штативу 3.

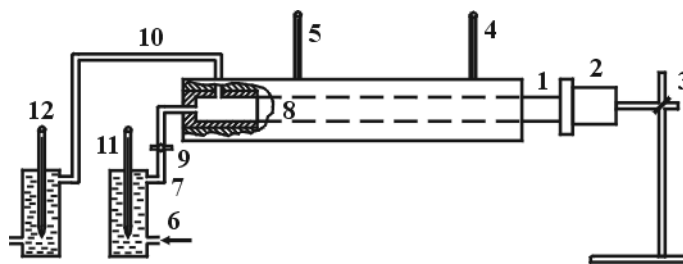


Рис. 2.31

Другой конец образца омывается водой. Теплоизоляция стержня осуществляется слоем асбеста. В стержне высверливаются два гнезда, в которые сквозь теплоизоляцию вставляются термометры 4 и 5. Проточная вода подается в стеклянный распределитель 6, из которого по шлангу 7 попадает в высверленную полость 8 в образце, охлаждая конец исследуемого образца. Для управления подачей воды на резиновый шланг надет зажим 9. Из полости 8 вода по резиновой трубке 10 через стеклянный сосуд стекает в водосток. Для определения температуры воды, поступающей в стеклянный распределитель 6, служит термометр 11, а для определения температуры воды, вытекающей из полости 8, служит термометр 12. Термометры 11 и 12 имеют цену деления 0,1 К.

Порядок выполнения работы

1. Штангенциркулем измерьте расстояние Δx между гнездами для термометров 4 и 5 для обеих стержней, а также диаметры D стержней 1 (без теплоизоляции). Определите площадь сечения стержней $\Delta S = \pi D^2/4$.

2. Включите нагреватель первого стержня в электрическую сеть.

3. Постепенно открывая водопроводный кран, подайте воду в распределитель 6. При помощи соответствующего зажима 9 добейтесь, чтобы вода омывала второй конец нагреваемого стержня. Расход воды регулируйте водопроводным краном.

4. После установления стационарного режима, которому соответствует неизменность показаний термометров 4, 5, 11, 12, определите температуры: T_v в распределителе 6, T_1 на выходе из полости 8 в стержне, а также T_2 и T_3 — в гнездах стержня. По двум последним значениям температур определите градиент температуры вдоль стержня $\frac{\Delta T}{\Delta x} = \frac{T_3 - T_2}{\Delta x}$.

5. При помощи мензурки и секундомера определите объем V воды, вытекающей из полости 8 по трубке 10 за время Δt . Определите массу воды, протекающей за единицу времени: $m = \rho V/\Delta t$, где ρ — плотность воды.

6. Подставляя ΔS и m в (3), получим конечную формулу для определения коэффициента теплопроводности

$$\alpha = \frac{4c\rho V(T_{\text{ив}} - T)\Delta x}{\pi D^2 \Delta t (T_3 - T_2)} \quad (4)$$

7. После окончания работы с одним из стержней выключите его нагреватель из электросети. Включите нагреватель второго стержня в сеть. При помощи зажима 9 добейтесь, чтобы вода омывала другой конец второго нагреваемого стержня.

8. Повторите со вторым стержнем все операции, которые выполнялись в пп. 4 — 6.

9. Подставив необходимые величины в формулу (4), найдите значения коэффициентов теплопроводности α стержней.

10. Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу:

№ п/п	Δx , м	$T_{\text{в}}$, К	T_1 , К	T_2 , К	T_3 , К	D , м	Δt , с	V , м ³	α , Вт/м·К
-------	----------------	--------------------	-----------	-----------	-----------	---------	----------------	----------------------	-------------------

11. Рассчитайте погрешности измерений.

2 - й способ.

Описание установки и метода. Схема установки представлена на рис. 2.32.

Исследуемый материал представляет собой стержень 1, верхний конец которого заканчивается болванкой 2, закрепленной в кипятильнике 3. Нижний конец стержня, заканчивающийся диском 4, помещается в калориметр 5 с водой, температура которой измеряется при помощи термометра 6. После включения нагревателя 7 воду в кипятильнике доводят до кипения. Затем нижний конец стержня 1 приводят в соприкосновение с жидкостью в калориметре 5, температура которой ниже комнатной на 5 — 7 градусов. В результате температура воды в калориметре будет повышаться. Если отмечать температуру воды через равные промежутки времени до того момента, пока температура не повысится на 5 — 7 градусов выше комнатной, то получим данные изменения температуры воды в калориметре с течением времени.

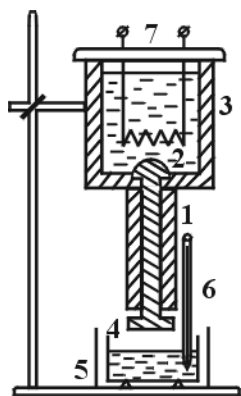


Рис. 2.32

Измерив длину Δx стержня 1 и определив разность температур ΔT на его концах, можно подсчитать коэффициент теплопроводности по формуле Фурье:

$$\alpha = \frac{\Delta x Q}{\Delta T \Delta S \Delta t} \quad (5)$$

где Δx — длина стержня, $\Delta T = T_2 - T_1$ — разность температур нагревателя и воды в калориметре в определенный момент времени, ΔS — площадь поперечного сечения стержня, $Q/\Delta t$ — количество теплоты, поступившей в калориметр за единицу времени или скорость передачи тепла по стержню.

Очевидно, что $Q/\Delta t$ необходимо определить для момента времени, при котором калориметр и окружающая среда будут иметь одинаковую температуру, т. е. для момента, когда обмен теплотой с окружающей средой отсутствует. Величину Q можно вычислить по формуле:

$$Q = c(m + m_s) \Delta T_1,$$

где c — удельная теплоемкость жидкости в калориметре, m — ее масса, m_s — водяной эквивалент калориметра, мешалки и диска (в нашем опыте $m_s = 63$ г), ΔT_1 — изменение температуры жидкости в калориметре за время Δt .

Для единицы времени формула принимает вид:

$$\frac{Q}{\Delta t} = \frac{c(m + m_s) \Delta T_1}{\Delta t}. \quad (6)$$

Величину $\Delta T_1/\Delta t$ можно найти следующим образом. По данным измерений температуры воды в калориметре T строят график изменения температуры как функцию времени $T = f(t)$. Затем проводят касательную к полученной кривой в точке, соответствующей комнатной температуре. Тангенс угла наклона $\operatorname{tg} \varphi = \Delta T_1/\Delta t$ касательной к оси абсцисс (времени) и равен неизвестной скорости изменения температуры. Подставив значение $\Delta T_1/\Delta t$ в формулу (6), находим $Q/\Delta t$. Подставив полученное значение $Q/\Delta t$ в формулу (5) и взяв в качестве ΔT разность между температурой нагревателя и комнатной температурой, по формуле (5) находим α .

Порядок выполнения работы

1. При помощи микрометра измерьте несколько раз диаметр стержня, найдите среднее значение и подсчитайте площадь его сечения.
2. Измерьте расстояние от дна болванки 2 до верхней поверхности диска 4 и температуру в комнате.
3. Налейте воду в кипятильник, включите нагреватель 7 и доведите ее до кипения.
4. Определите массу воды, налитой в калориметр.
5. Измерьте температуру воды в калориметре.
6. После того, как вода в кипятильнике закипит, поднимите калориметр 5 так, чтобы диск 4 только погрузился в воду.

7. Определяйте повышение температуры воды в калориметре через каждые 90 секунд, непрерывно ее перемешивая. Наблюдение проводите до тех пор, пока температура воды не станет выше комнатной на 5 — 7 градусов.

8. Определите по барометру величину атмосферного давления. Найдите по таблице «Зависимость температуры кипения воды от атмосферного давления» температуру кипящей воды.

9. По полученным значениям постройте график $T = f(t)$, по которому определите $\Delta T_1 / \Delta t$ в момент времени, когда $T = T_{\text{комн}}$.

10. Вычислите по формуле (6) $Q / \Delta t$, а затем по формуле (5) коэффициент теплопроводности α .

11. Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу:

№ п/п	D , м	ΔS , м ²	Δx , м	T_1 , К	T_2 , К	ΔT , К	m , кг	t , с	$T_{\text{к}}$, К	α , Вт/м·К
-------	---------	-----------------------------	----------------	-----------	-----------	----------------	----------	---------	--------------------	-------------------

12. Рассчитайте погрешности измерений.



КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объясните процесс теплопроводности с точки зрения молекулярно-кинетической теории.

2. В чем различие механизма теплопроводности в металлах и других твердых телах?

3. Какова причина хорошей теплопроводности металлов?

4. Запишите формулу Фурье для теплопроводности и объясните смысл величин, которые в нее входят.

5. Что называется градиентом температуры?

6. Каков физический смысл коэффициента теплопроводности?

7. В каких единицах измеряется коэффициент теплопроводности в СИ. Получите его размерность.

8. С какой целью воду в калориметре при выполнении данной работы нагревают на столько градусов выше комнатной температуры, на сколько она была ниже до нагревания?

9. Что представляет собой водяной эквивалент калориметра?

10. Получите рабочие формулы для расчета коэффициента теплопроводности в данной работе.