

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ
МЕТОДОМ СФЕРИЧЕСКИХ ТЕПЛОВЫХ ВОЛН****Сообщение II**

Л. Г. ФУКС

(Представлена кафедрой теоретической и общей теплотехники)

Для определения коэффициента температуропроводности металлов может быть применена методика сферических тепловых волн. Теория метода и выбор наиболее благоприятных условий эксперимента изложены в сообщении I. На этой основе изготовлена опытная установка.

Описание установки

В качестве образца использовался шар, выточенный из стали 40. Диаметр шара был выбран 64,5 мм. В шаре по радиальному направлению выполнено сверление диаметром 2 мм на глубину радиуса шара. В отверстие устанавливалась медь-константовая термопара, изолированная тонкими спаянными стеклянными трубочками. Поверхностная термопара укреплялась на шаре контактной сваркой, при этом каждый электрод приваривался отдельно, на достаточно близком расстоянии друг от друга.

Устройство, обеспечивающее периодический нагрев при достаточно больших амплитудах, было спроектировано в виде нагревателя из восьми центрально симметрично расположенных ламп накаливания в 40 вт и небольшого вентилятора. Образец располагался в центре системы лампового нагревателя. Температуру образца можно было изменять при помощи автотрансформатора, установленного перед нагревателем. Для получения периодических колебаний был использован мотор Уоррена, приводивший в действие через редуктор механический прерыватель. На прерывателе устанавливался контакт, который включался и выключался в течение каждой половины периода. Прерыватель обеспечивал периодическую работу лампового нагревателя. В моменты выключения нагревателя включался вентилятор обдува шара.

При работе по описанной схеме через 2,5 ÷ 3 часа устанавливался квазистационарный режим нагрева. При этом температура каждой точки образца колебалась около некоторого среднего значения.

Измерения температуры проводились при помощи чувствительного гальванометра, имеющего малое собственное время колебаний. При этом постоянная составляющая э.д.с., соответствующая средней температуре образца, компенсировалась при помощи источника регулируемых напряжений. Каждая точка измерений исследовалась отдельно. По максимальным отклонениям гальванометра определялось отно-

шение амплитуд. Отдельное измерение э.д.с. компенсирующего источника напряжений давало среднюю температуру опыта.

Схема опытной установки и измерений приведена на рис. 1.

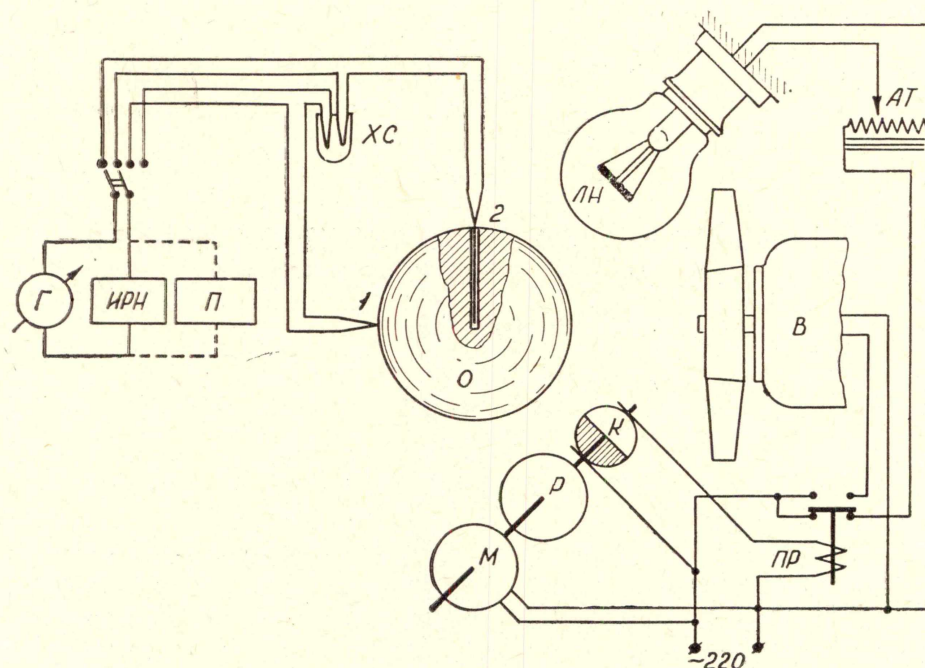


Рис. 1. Схема опытной установки О—образец; ЛН—ламповый нагреватель; В—вентилятор; М—мотор Уоррена; Р—редуктор; К—контакт прерывателя; ПР—промежуточное реле; П—потенциометр; ИРН—источник регулируемого напряжения; Г—гальванометр; ХС—холодные спай; 1 и 2—наружная и внутренняя термопары. На схеме для упрощения не показаны все лампы нагревателя, промежуточные реле, обеспечивающие надежную длительную работу прерывателя, и ряд второстепенных элементов

Частота разрыва контактов прерывателя была подобрана из условия

$$Z = \sqrt{\frac{\omega}{a}} R = 3,34.$$

По приближенному значению a и радиусу шарового образца ω была выбрана равной 0,1493 и 0,1263 1/сек (42 и 50 сек/об).

Данные опыта

На установке были проведены две серии опытов по определению коэффициента температуропроводности образца с целью проверки повторяемости данных. Обе серии показали результаты, совпадающие друг с другом с точностью до 2%.

Приводим результаты опытов:

		№ 1	№ 2
Замеренное значение частоты	1/сек	0,1493	0,1263
Диаметр образца	мм	64,5	64,5
Амплитудные значения температур			
а) на поверхности	град	4,23	4,69
б) в центре	град	2,54	3,14
Критерий Предводителя		11,9	10,25

Средняя температура шара	град	43	52,2
Коэффициент температуропроводности из опыта	$\frac{м^2}{час}$	0,0469	0,0460
Для стали 40 при температуре 50°C по [1] (стр. 258)	„	0,046	÷ 0,048

Погрешность опыта

При определении коэффициента температуропроводности методом сферических тепловых волн будут иметь место погрешности, ограничивающие точность опыта. Источники погрешностей можно разбить на следующие группы:

- Неточное измерение амплитуд и фазовых углов, геометрических размеров и частоты колебаний температуры.
- Неверная установка измерителей температуры, в особенности в центре шара, где контроль за установкой весьма неточен.
- Инерционность измерителей и системы измерения температур.
- Неравномерность температурного поля по наружной поверхности шара.
- Колебания длительности периодов нагрева и охлаждения образца.

Остановимся на первых двух группах погрешностей.

Погрешности от неравномерности температурного поля и колебаний длительности периодов нагрева и охлаждения достаточно подробно описаны в [2]. Другие погрешности исследуются ниже.

а. Неточное измерение опытных величин

Будем считать, что измерения размеров тела, частоты, фазового сдвига и амплитудных значений температуры взаимно независимы, а погрешности при их измерении носят случайный характер. Тогда для относительной погрешности коэффициента температуропроводности будем иметь

$$\frac{\Delta a}{a} = \sqrt{\left(\frac{\Delta \omega}{\omega}\right)^2 + 4\left(\frac{\Delta R}{R}\right)^2 + 4\left(\frac{\Delta Z}{Z}\right)^2}. \quad (12)$$

Относительные погрешности в измерении частоты и радиуса образца определяются условиями измерения и, во всяком случае, могут быть снижены до 0,5 ÷ 1,0%.

Что касается погрешности в определении параметра Z , то она связана либо с определением фазового сдвига, либо с измерением отношения амплитуд.

Пусть Z находится по измерению сдвига фаз. Тогда, рассматривая производную (9) в условиях опыта, близких к оптимальным,

$$Z = 3,34, \quad B'_s(Z) = 0,$$

$$A_s(Z) \approx -B_s(Z) \approx \frac{A'_s(Z)}{\sqrt{2}}, \quad (13)$$

найдем, что абсолютные погрешности будут связаны между собой соотношением вида

$$\Delta Z = 1,4 \Delta \varphi.$$

Подставив последнее в (12), находим

$$\frac{\Delta a}{a} = \sqrt{\left(\frac{\Delta \omega}{\omega}\right)^2 + 4\left(\frac{\Delta R}{R}\right)^2 + 0,7 (\Delta \varphi)^2}. \quad (14)$$

Относительные ошибки в измерении амплитуды температуры в центре шара и на поверхности можно считать равными. В этом случае, производя аналогичные преобразования, при оптимальных условиях опыта

$$\frac{\Delta a}{a} = \sqrt{\left(\frac{\Delta \omega}{\omega}\right)^2 + 4\left(\frac{\Delta R}{R}\right)^2 + 2\left(\frac{\Delta A}{A}\right)^2}, \quad (15)$$

где $\frac{\Delta A}{A}$ — относительная ошибка в измерении амплитуд.

6. Оценка погрешности, связанной с установкой внутреннего измерителя температуры

Ранее установлено, формулы (2) и (5), что при квазистационарном режиме нагрева отношение амплитуды температуры в произвольной точке нагрева к амплитуде на поверхности шара будет равно:

$$\frac{A_R}{A_r} = \frac{r}{R} \sqrt{\frac{A_s^2(Z) + B_s^2(Z)}{A_s^2(Z_r) + B_s^2(Z_r)}}. \quad (16)$$

Выбрав область работы из оптимального соотношения и взяв производную из (16) по r , получаем

$$\frac{d}{dr} \frac{A_R}{A_r} = \frac{\sqrt{2} A_s(Z)}{R} \cdot \frac{1 - Z_r \frac{A_s(Z_r) \cdot A'_s(Z_r) + B_s(Z_r) \cdot B'_s(Z_r)}{A_s^2(Z_r) + B_s^2(Z_r)}}{[A_s^2(Z_r) + B_s^2(Z_r)]^{1/2}}. \quad (17)$$

Если ограничиться точностью порядка 2%, то можно показать, что при условии $0 < Z_r < 0,15$ производная $\frac{d}{dr} (A_R/A_r) = 0$.

Последнее означает, что при отклонении положения центрального измерителя в пределах до 15% от радиуса отношение амплитуд сохраняет свое значение с точностью, по крайней мере, до 2%. Это обстоятельство для цилиндрического образца было отмечено еще в [3].

Проведены аналогичные исследования погрешности фазового сдвига от неточности установки центрального измерителя. И в том случае небольшими неточностями в установке центрального измерителя можно пренебречь.

Более детальный анализ показывает, что при отклонениях от геометрического центра угол сдвига уменьшается, а отношение амплитуд возрастает. Это уточняет взаимный контроль экспериментальных данных, полученных в одном опыте.

Выводы

Тепловые волны на сферическом образце могут быть использованы для определения коэффициентов температуропроводности наравне с другими известными способами. Некоторая сложность в изготовлении образцов искупается рядом преимуществ, присущих этому способу. Получены данные по коэффициенту температуропроводности для стали.

ЛИТЕРАТУРА

1. Под ред. Н. Б. Варгафтика. Теплофизические свойства вещества. Справочник. ГЭИ, 1965.
2. F Horn, M. Wilski. Chem.—Jng. Technik, 35 1963), 19.
3. Ю. М. Кириченко. «Измерительная техника», № 5, 29 (1960).