

Г. И. ПЕТРУНИН, Р. П. ЮРЧАК

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ МЕТОДОМ ПЛОСКИХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОЛН

Метод плоских температурных волн зарекомендовал себя как наиболее перспективный при измерении теплопроводности металлических объектов при высоких температурах [1, 2]. Высокая теплопроводность, возможность изготовления очень тонких образцов позволяют постановку эксперимента, исключающую влияние теплообмена на результаты измерений. При осуществлении измерений теплопроводности диэлектриков практически невозможно обеспечить условия малости величины теплообмена из-за их низкой теплопроводности, а крупнозернистость и пористость не позволяют изготовить очень тонкие образцы. По этим причинам теплообмен становится существенным, начиная с температур $\sim 500^\circ \text{K}$.

Как следует из теории метода плоских температурных волн [1, 3], сдвиг фаз между первой гармоникой колебания мощности на одной из поверхностей пластины и первой гармоникой колебания температуры на противоположной от нагреваемой поверхности связан с теплопроводностью a , коэффициентом, характеризующим теплообмен Bi , и частотой периодического нагрева ω :

$$\varphi = f(a, \omega, Bi). \quad (1)$$

Графическая зависимость сдвига фаз от безразмерного параметра $\kappa = \sqrt{\frac{\omega}{a}} l$ (l — толщина пластины) для различных значений Bi представлена на рис. 1. Измерение теплопроводности данным методом в условиях, когда $Bi \approx 0$ основано на нахож-

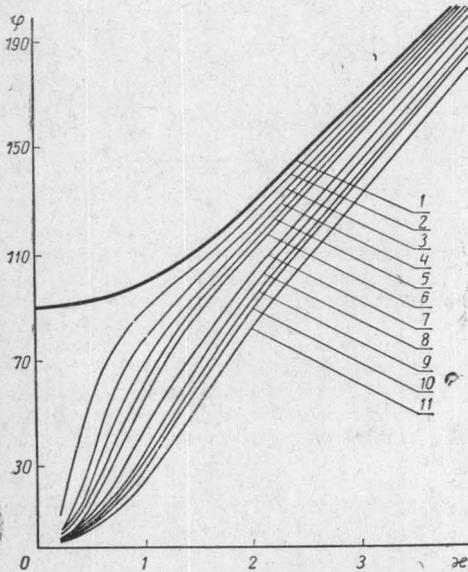


Рис. 1. Зависимость сдвига фаз от безразмерного параметра κ при различных значениях Bi : 1—0; 2—11; 3—0,1; 4—0,2; 5—0,3; 6—0,4; 7—0,5; 8—0,8; 9—1,1; 10—1,3; 11—1,5

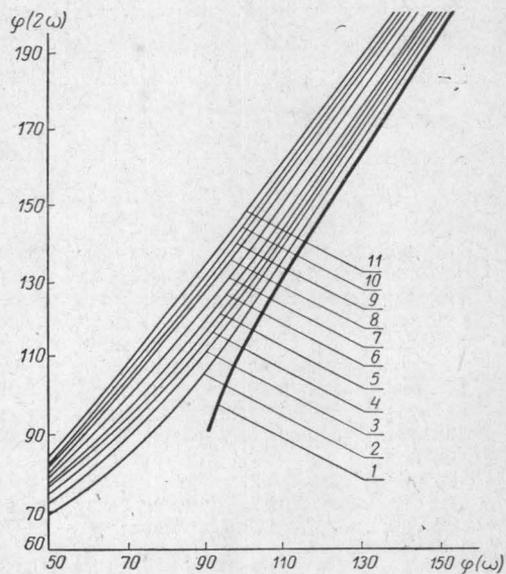


Рис. 2. Зависимость $\varphi(2\omega)$ от $\varphi(\omega)$ при различных значениях Bi . Обозначения те же, что и на рис. 1

дении параметра κ соответствующего экспериментально найденному сдвигу фаз (кривая 1 рис. 1). Из данного рисунка видно, что сдвиг фаз существенно зависит от величины теплообмена. Следовательно, для измерения теплопроводности в условиях, когда $Bi \neq 0$, необходима дополнительная информация. Такие сведения можно получить, если

проводить измерения на двух различных частотах, например ω и 2ω . Зависимость сдвига фаз для частот ω и 2ω при различных значениях Bi представлена на рис. 2. По измеренным $\varphi(\omega)$ и $\varphi(2\omega)$ можно определить величину теплообмена, а затем, используя рис. 1, найти параметр κ .

Возможен и иной путь определения κ : амплитудно-частотный с использованием отношения амплитуд колебания температуры при двух частотах на одной стороне пластины.

Фазово-частотный вариант удобен тем, что при расчете используются сведения только о фазах колебаний температуры. Возможность контроля получаемых результатов несколькими путями является достоинством данного метода. Проведение эксперимента на частотах ω и 2ω является оптимальным, так как при меньшем отношении частот снижается точность определения величины теплообмена, а при большем — затухание колебаний температуры в образце резко уменьшает амплитуду и тем самым затрудняется ее регистрация. Погрешность определения величины Bi , связанная с неточностью измерения разности фаз $\sim 2\%$, при условиях, близких к оптимальным ($\kappa \geq 2$, $Bi \geq 0,5$), составляет $\approx 10\%$, что вызывает ошибку в определении температуропроводности 5—6%. Эта погрешность является основной, так как погрешностями в измерении частоты и толщины образца можно пренебречь.

Для примера проведения опыта в условиях теплообмена в таблице приведены некоторые результаты измерения температуропроводности полевого шпата. Результаты измерений получены на установке, описанной ранее в [4]. Из таблицы можно видеть явную частотную зависимость температуропроводности без учета теплообмена (a_{ω} и $a_{2\omega}$), можно проследить также за увеличением Bi с ростом температуры. Из табл. следует, что теплообмен для плохих проводников тепла становится существенным начиная с температуры $\sim 500^\circ\text{K}$.

Пример измерения коэффициента температуропроводности в условиях теплообмена

$T^\circ\text{K}$	$\varphi(2\omega)$ град.	$\varphi(\omega)$	a_{ω} $a_{2\omega}$ $a_{\text{ист}}$ $\cdot 10^3 \text{ см}^2 \text{ сек}^{-1}$			Bi
440	91	47	7,40	6,72	6,05	0,35
553	90,7	45	7,73	6,75	5,85	0,50
670	89	41	8,65	6,90	5,67	0,75

Следует отметить, что частный случай описанного способа определения величины теплообмена был применен Е. Шафик и др. [5]. Авторы этой работы используют зависимость величины теплообмена от отношения частот при двух сдвигах фаз: $\pi/2$ и $\pi/3$, соответственно этому и подбираются частоты нагрева. Практически очень трудно подобрать эти сдвиги фаз, поэтому обычно регистрируются сдвиги фаз, отличающиеся от приведенных выше на $2-4^\circ$. В результате этого получаемые результаты температуропроводности зависят от частоты. Для исключения этого эффекта методом последовательных приближений находят такую величину теплообмена, при которой исчезает частотная зависимость результатов измерений. Данный способ был применен для значений $\kappa < 2$.

Описанный нами способ является общим, практически более удобным и в настоящее время успешно применяется для исследования температуропроводности горных пород и минералов до температур $\sim 1300^\circ\text{K}$.

ЛИТЕРАТУРА

- Краев О. А., Стельмах А. А. Сб. «Исследования при высоких температурах». Новосибирск, «Наука», 1966.
- Зиновьев В. Е., Кренцис Р. П. ТВТ, 6, 1968; 10, 2826, 1969; 11, 834, 2012, 3045, 1969.
- Филиппов Л. П. Измерение тепловых свойств твердых и жидких металлов при высоких температурах. Изд-во МГУ, 1967.
- Петрунин Г. И., Юрчак Р. П. ТВТ, № 3, 1971.
- Шафик Е., Mayer R., Pruschek R. High Temperatures — High Pressures, 1, 21—26, 1969.

Поступила в редакцию
11.11.1970 г.

Кафедра
физики Земли