

CZU 538.9

## ИЗУЧЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОВ МЕТОДОМ РАДИАЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОЛН

**Банчила С. Н.**

Бельцкий государственный университет им. Алеку Руссо, ул. Пушкина, 38,  
MD-3100, Бельцы, Республика Молдова  
e-mail: [bancila.simion@gmail.com](mailto:bancila.simion@gmail.com)

Se prezintă două variante a metodei undelor radiale de temperatură cu variația armonică și cu modularea puterii de încălzirea probelor în forma de П. Încălzirea probei supusă cercetărilor, care reprezintă un cilindru cav sau o celulă umplută, cu metal lichid are loc în vid prin bombardarea prin electroni.

Cuvinte-cheie: metoda undelor radiale de temperatură, proprietăți termice, metal.

Two variants of the method of radial temperature waves are examined. In the first case power changes according to the synodical harmonic law, in the second according to P-graphic law. The heating of the examined model made in the state of a complete cylinder is realized by electronic bombing in vacuum.

Keywords: method of radial temperature waves, thermal properties, metal.

Сущность метода радиальных температурных волн такова. Исследуемый образец представляет собой полый цилиндр или ячейку с жидким металлом, образованную двумя коаксиальными трубками. Поверхность полости (или наружной трубки) подвергается периодическому нагреву электронной бомбардировкой, колебания температуры противоположной поверхности регистрируются. Температуропроводность находится по характерному времени, определяемому сопоставлением периодических кривых изменения мощности нагрева и кривых изменения температуры при известной геометрии системы. Для определения теплоемкости и теплопроводности используется информация о тех же кривых с учетом абсолютного значения измерения мощности и температуры [1].

Существуют два способа анализа экспериментов такого типа (два варианта теории метода). В первом способе рассматривается случай гармонического синусоидального изменения мощности. Этот метод может быть рассмотрен для периодических сигналов любой формы, если учесть линейность задачи, использовать разложение сигнала мощности в ряд Фурье и то же самое сделать с сигналом изменения температуры. Практически наиболее удобной формой модуляции мощности является П - образная.

Для использования теории гармонического приближении из сигнала колебаний температуры методами гармонического анализа выделяют первую гармонику (определяют её амплитуду и фазу) и в качестве сигнала мощности рассматривают I-ую гармонику.

П - образного сигнала. Такой метод обработки результатов измерений использовался в работах [2, 3].

Для П - образного измерения мощности для относительно медленных колебаний температуры (с частотой порядка единиц и долей герцев) на определенных участках периодической кривой осуществляются условия, характерные для регулярного теплового режима П-го рода, т.е. прямолинейные участки, соответствующие нагреву и охлаждению с постоянной скоростью.

Как показано в работе [3], по наклону этих прямолинейных участков (по скорости нагрева) и известной мощности нагрева можно определить теплоемкость

$$C_p = \frac{q}{2M \frac{dT}{d\tau}} \quad (1)$$

где  $\frac{dT}{d\tau}$  – скорость нагрева (охлаждения);

$q$  – мощность периодического нагрева.

Для температуропроводности получена формула (2):

$$a = \frac{R_2^2}{8\delta t} \left[ 1 + \xi^2 + \frac{4\xi^2}{1 - \xi^2} \ln \xi \right] \quad (2)$$

где  $\xi = \frac{R_1}{R_2}$  – отношение радиусов.

В случае внешнего нагрева получена такая же формула для определения температуропроводности, как и в случае внутреннего нагрева и внешней регистрации.

В данной работе для изготовления ампул были использованы трубки радиусом  $R_2 = 13,8$  мм,  $R_1 = 6$  мм, т.е.  $\xi = 0,406$ .

Описанный метод разработан на кафедре молекулярной физики Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова [2], и применяется в исследованиях, проводимых кафедрой физики Бельцкого государственного университета им. А. Руссо.

Случайная ошибка измерения температуропроводности составляет 4-5 % и 5 % для теплоемкости [1, 2]. Результаты измерения теплоемкости и температуропроводности изученных металлов приведены в работах [2, 3, 4].

Рассмотрение наших экспериментальных данных по тепловым свойствам дает возможность сделать следующие заключения:

1. Абсолютные значения теплоемкости легкоплавких металлов *Sn, Pb, Ga, In* близких, лежат в пределах  $7 \div 6 \frac{\text{кал}}{г - \text{атом} \cdot K}$  в области температур (1000 ÷ 2000 K). Несколько выше в этой области температур значения теплоемкости *Cr* для *Tl* -

$(9 \div 7 \frac{\text{кал}}{г - \text{атом} \cdot K})$ .

2. Для изученных легкоплавких металлов характерно монотонное убывание *Cr* с ростом температуры. Меньшее значение температурной зависимости *Cr* для *Ga*, возможно связано с общей тенденцией убывания температурного коэффициента, которая у щелочных металлов в области  $\frac{T}{T_{пл}}$  2-3 приводит к проявлению минимума теплоемкости [2].

3. Следует обратить внимание на заметное различие в поведении *Cr* жидких металлов и неметаллических одноатомных веществ,

жидких инертных газов. У последних *Cr* монотонно увеличивается с увеличением температуры. Различие в поведении неметаллических веществ и металлов свидетельствует о заметном влиянии типа межмолекулярного взаимодействия на термодинамические свойства вещества о специфике проявления металлической связи.

4. Для редкоземельных металлов *La, Pr, Dy* вблизи  $T_{пл}$  характерны относительно большие значения *Cr* ( $12 \div 9 \frac{\text{кал}}{г - \text{атом} \cdot град}$ ),

что обнаружено и в работе [5] для *La, Nd, Ce, Sm*. Спеддинг объяснил этот факт ролью теплоемкости внутренних электронов, на долю которых приходится у *Ce* 0,91, у *Nd* 1,84, у *Sm* 1,22  $\frac{\text{кал}}{г - \text{атом} \cdot град}$  : вдобавок к

теплоемкости системы ионов и теплоемкости электронов проводимости.

5. Величина скачков теплоемкости при плавлении *La, Pr, и Dy* незначительна, находится в пределах погрешности измерения, что характерно практически для всех изученных металлов.

6. Для редкоземельных (*La, Dy, Pr*) наблюдаются малые изменения температуропроводности, теплопроводности и удельного электрического сопротивления, что объясняется спецификой строения (незаполненность d-оболочек).

7. Температуропроводность изученных металлов (за исключением *Pr* и *Ga*) закономерно изменяется с изменением атомного номера (в пределах каждой группы), убывает с возрастанием атомного номера.

8. Для изученных нами элементов теплопроводность имеет положительный температурный коэффициент. Отклонения значений теплопроводности, полученных в нашем эксперименте, от значений, рассчитанных с использованием теоретического значения числа Лоренца для *Sn, Pb, Ga, In, Tl, Pr*, не превышает систематической погрешности определения этой величины (8-10 %). Отклонения от этого закона, найденные для *Dy*, могут быть связаны с частичным растворением металла; результаты, полученные для *La*

при высоких температурах, частично могут быть объяснены погрешностью экстраполяции данных по плотности.

В целом же следует сделать вывод о том, что использование закона Видемана-Франца дает удовлетворительную оценку теплопроводности жидких металлов, во всяком случае, в области температур до 2000 К. Этот вывод дает основание перенести центр тяжести в исследованиях явлений переноса на электропроводность с тем, чтобы выявить наиболее общие закономерности поведения этой важной величины.

### Литература

1. Банчила С. Н., Филиппов Л. П., Экспериментальное изучение комплекса тепловых свойств некоторых редкоземельных металлов при высоких

температурах. Инженерно-физический журнал, 1974, том. XXVII, №I, с. 68-71.

2. Банчила С. Н. Исследование тепловых свойств жидких металлов при температуре до 2000 К. Канд. дис. Моск. гос. унив. им. М. В. Ломоносова, 1973. 325 с.

3. Банчила С. Н., Филиппов Л. П., Новые измерения комплекса тепловых свойств жидких олова и свинца. Теплофизика высоких температур, 1973, том. XI, вып. 13, с. 668-671.

4. Băncilă S. The study of thermal properties of liquid metals using the method of temperature radial waves. Materialele Conf. Științifice Internaționale, a XII-a ediție, Științe tehnice și fundamentale, secția Mecanica aplicată și tehnica militară. Sibiu, România, 2007, vol. III, p.124-131.

Prezentat la redacție la 1 decembrie 2013