

Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

А. А. Варченко, Я. А. Крафтмахер, Т. Ю. Пинегина,
Использование электронного нагрева в модуляци-
онном методе измерения теплоемкости, *ТВТ*, 1978,
том 16, выпуск 4, 844–847

Использование Общероссийского математического портала Math-
Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользователь-
ским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 3.238.202.29

11 ноября 2024 г., 17:11:46



УДК 536.63

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО НАГРЕВА В МОДУЛЯЦИОННОМ МЕТОДЕ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОЕМКОСТИ

Варченко А. А., Крафтмахер Я. А., Пинегина Т. Ю.

Для измерения теплоемкости малых образцов модуляционным методом использован электронный нагрев. Измерена теплоемкость железа в интервале температур 600–1300 К, включая область фазовых превращений. Разрешающая способность метода ~ 1 К. Суммарная погрешность измерения теплоемкости 3%, среднеквадратичное отклонение экспериментальных точек от сглаженной кривой $\sim 2,5\%$.

Модуляционные измерения теплоемкости металлов и сплавов проще всего осуществляются при пропускании по образцам электрического тока. Обычно применяются образцы в виде проволок, фольги и стержней [1], что позволяет либо сделать влияние холодных концов достаточно малым, либо исключить его, выделив для измерений равномерно нагретую центральную часть. В некоторых случаях, однако, трудно изготовить образцы достаточной длины. Измерения теплоемкости на образцах малых размеров и неправильной геометрической формы можно проводить с помощью электронного нагрева.

Электронный нагрев широко используется сейчас для измерения температуропроводности методом температурных волн [2–6]. Применялся этот метод и для измерения теплоемкости [3, 4, 7, 8].

При использовании электронного нагрева модуляцию подводимой к образцу мощности можно осуществлять различными методами: 1) ускоряющее напряжение модулируется, сила тока сохраняется постоянной (режим насыщения); 2) ускоряющее напряжение поддерживается постоянным, ток модулируется с помощью управляющего электрода (сетки); 3) величина электронного тока и ускоряющего напряжения в течение одного полупериода сохраняются постоянными, в течение второго равны нулю (100%-ная модуляция подводимой мощности).

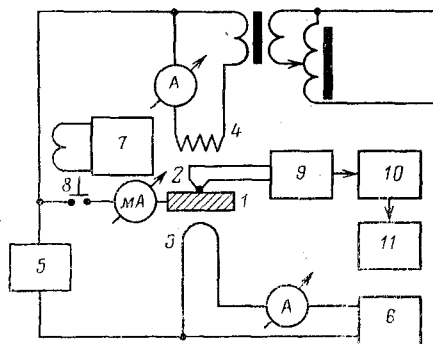
Во всех этих случаях легко рассчитать амплитуду колебаний мощности, подводимой к образцу, и обеспечить расчетную форму модуляции.

Термопара, измеряющая температуру образца и амплитуду ее колебаний, может быть либо приварена к образцу, либо помещена в тонкий изолирующий капилляр, проходящий сквозь образец. Первый способ обеспечивает лучший тепловой контакт королька термопары с образцом, чем второй способ, однако при этом в цепь термопары может ответвляться часть анодного тока и искажать результаты измерения. В последнем случае нужны очень низкие частоты модуляции, при которых нарушаются условия адиабатичности (амплитуда колебаний подводимой мощности должна быть много больше амплитуды колебаний его теплоотдачи при изменениях температуры). При низких частотах модуляции можно использовать неадиабатический режим измерений теплоемкости [9], но сильное понижение частоты обычно нежелательно. Если термопара имеет электрический контакт с образцом, то дополнительную э.д.с. из-за ответвления анодного тока можно учесть, так как при использовании 100%-ной модуляции мощности

в течение половины периода анодного тока нет и показания термопары не искажаются.

Если электронная бомбардировка является единственным источником нагрева образца, для повышения средней температуры приходится увеличивать подводимую к образцу мощность и, следовательно, амплитуду ее колебаний (при 100%-ной модуляции мощности). Поэтому при постоянном периоде модуляции амплитуда колебаний температуры образца растет с повышением его средней температуры. Значительное уменьшение периода модуляции нецелесообразно из-за инерционности регистрирующей системы. Для независимого изменения средней температуры использовался дополнительный радиационный нагрев образца. При использовании такого комбинированного нагрева минимальный нагрев

Рис. 1. Электрическая схема установки для измерения теплоемкости: 1 — образец; 2 — термопара; 3 — катод; 4 — дополнительный нагреватель; 5, 6 — стабилизированные выпрямители; 7 — генератор инфранизких частот; 8 — реле; 9 — потенциометр; 10 — фотокомпенсационный усилитель; 11 — электронный потенциометр



образца определяется средней мощностью электронного нагрева и радиационным нагревом его от катода. Максимальная рабочая температура образца определяется, исходя из величины средней мощности электронного нагрева и мощности дополнительного нагревателя с учетом его расположения относительно образца.

Электрическая схема установки для измерения теплоемкости приведена на рис. 1. Мощность электронного нагрева модулировалась при помощи реле, управляемого прямоугольным напряжением от генератора инфранизких частот, или подачи прямоугольных импульсов на управляющую сетку, расположенную между катодом и образцом. Средняя температура образца изменялась регулировкой мощности дополнительного нагревателя — нити мощной лампы накаливания. Этот нагреватель имел потенциал образца для исключения дополнительного потока электронов от него к образцу. Расстояние от катода до образца выбиралось таким образом, чтобы повышение средней температуры образца радиационным нагревом от катода было небольшим. Постоянная составляющая термо-э.д.с. термопары измерялась потенциометром 9. Пилообразные колебания термо-э.д.с. усиливались фотокомпенсационным усилителем и записывались электронным потенциометром 11. При получении ускоряющего напряжения и для накала катода использовались стабилизированные выпрямители.

При прямоугольной 100%-ной модуляции мощности формула для расчета теплоемкости имеет вид

$$mc = P\tau / 2\Delta T,$$

где m — масса образца; c — его теплоемкость; P — амплитуда импульсов подводимой мощности электронного нагрева; τ — период модуляции; ΔT — амплитуда колебаний температуры.

Для проверки описанной выше методики измерялась теплоемкость железа. Аномалии теплоемкости при фазовых переходах наилучшим образом позволяют проверить разрешающую способность метода.

Образец представлял собой цилиндр высотой 2 и диаметром 5 мм. Использовалась платина-платинородиевая термопара. Королек приваривали к образцу, провода термопары помещались в тонкие кварцевые капилляры. Контактный провод из вольфрама размещался и приваривался в канале диаметром 0,2 мм внутри образца.

Для проверки выполнения условий адиабатичности была изучена зависимость амплитуды колебаний температуры образца от частоты модуляции (при постоянной амплитуде колебаний мощности). По результатам измерений выбран период модуляции 5 с. При этом длина температурной волны примерно на порядок больше толщины образца.

Была проверена также пропорциональность колебаний температуры колебаниям подводимой мощности (при постоянной частоте модуляции).

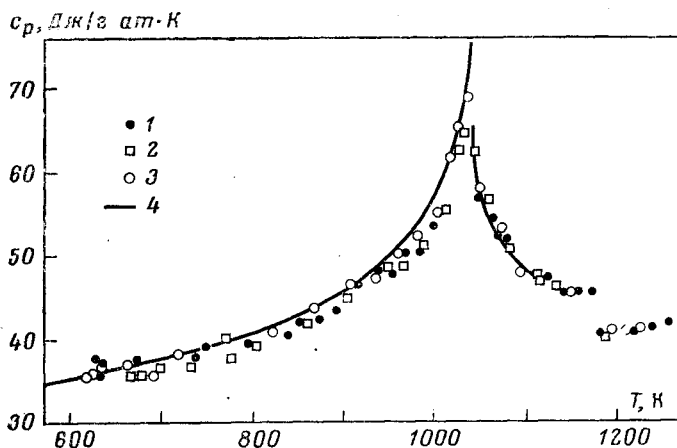


Рис. 2. Теплоемкость железа при высоких температурах: 1-3 — результаты авторов (разные серии измерений); 4 — результаты работы [10]

Для внесения поправки на инерционность системы регистрации колебаний температуры изучалась ее частотная характеристика. При периоде модуляции 5 с такая поправка составляла 1,2%.

Амплитуда колебаний температуры образца в опытах $\sim 0,5$ К. Результаты измерений теплоемкости железа в интервале температур 300–1300 К приведены на рис. 2. Наиболее подробно теплоемкость железа в широком интервале температур измерена импульсным методом [10]. Эти данные также приведены на рис. 2.

Были проведены оценки максимально возможных градиентов температуры в образце. В нашем случае разности температур внутри образца не превышали 1 К. Погрешность измерения мощности составила не более 1%. Погрешность измерения колебаний температуры $\sim 2\%$. Погрешностями измерения массы образца и периода модуляции можно пренебречь. Суммарная погрешность измерения теплоемкости методом электронного нагрева составляет $\sim 3\%$. Среднеквадратичное отклонение экспериментальных точек от сглаженной кривой $\sim 2,5\%$.

Результаты экспериментального использования электронного нагрева показывают, что он вполне пригоден для измерения теплоемкости металлов и сплавов модуляционным методом в области средних температур, включая область фазовых превращений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ya. A. Kraftmakher*. High Temp.— High Press., 5, № 4, 433, 1973.
2. *О. А. Краев, А. А. Стельмах*. В сб. Исследования при высоких температурах (под ред. И. И. Новикова, П. Г. Стрелкова). «Наука», Новосибирск, 1966.
3. *Л. П. Филиппов*. Измерение тепловых свойств твердых и жидких металлов при высоких температурах. Изд. МГУ, 1967.
4. *И. П. Мардыкин, Л. П. Филиппов*. Передовой научно-технический и производственный опыт, № 14-68-143/19. ГосИНТИ, М., 1968.
5. *Р. П. Юрчак, Т. Ф. Ткач, Г. И. Петрунин, Махмуд Мебед*. В сб. Теплофизические свойства твердых тел (под ред. Г. В. Самсонова). «Наука», 1973.
6. *В. Е. Зиновьев, Р. П. Кренцис*. Тр. УПИ, № 167, стр. 102. Свердловск, 1968.
7. *Л. П. Филиппов, Р. П. Юрчак*. ТВТ, 3, № 6, 901, 1965.
8. *L. P. Filippov*. Rev. Intern. Hautes Temp. et Refract. (France), 12, № 2, 168, 1975.
9. *А. А. Varchenko, Ya. A. Kraftmakher*. Phys. Stat. Sol., (a), 20, № 1, 387, 1973.
10. *Т. Колли*. Приборы для научн. исслед., № 10, 94, 1967.