

МОДУЛЯЦИОННЫЙ МЕТОД ИЗУЧЕНИЯ ТЕПЛОвого РАСШИРЕНИЯ

Я. А. Крафтмакер, И. М. Черемисина

(Новосибирск)

Разработан модуляционный метод изучения теплового расширения металлов при высоких температурах. Метод заключается в определении амплитуды колебаний длины образца при периодических колебаниях его температуры около среднего значения. Таким образом, непосредственно измеряется коэффициент теплового расширения. Изучено тепловое расширение вольфрама при $1300 - 2300^\circ \text{K}$. В этой области температур коэффициент теплового расширения вольфрама описывается уравнением

$$\alpha = 4.1 \cdot 10^{-6} + 10^{-9} T \text{ град}^{-1}$$

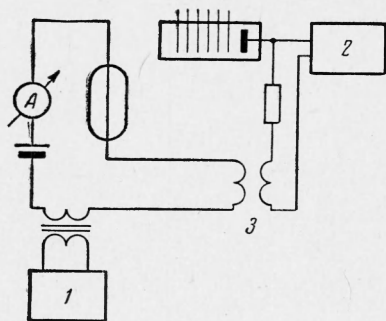
В настоящее время изучение теплового расширения твердых тел производится путем определения длины или объема образцов при различных температурах, а величина коэффициента теплового расширения находится в результате дифференцирования получаемых зависимостей [1-3]. Подобный метод может дать хорошие результаты лишь в случае, если коэффициент теплового расширения мало изменяется с температурой. Серьезной помехой является ползучесть образцов при высоких температурах, искажающая результаты измерений. Поэтому для изучения теплового расширения наиболее целесообразно использовать не измерение полной длины образца, а определение изменений длины при изменениях температуры образца. Таким методом является описываемый ниже модуляционный метод, позволяющий получить высокую чувствительность к изменениям коэффициента теплового расширения. В некоторых случаях, например, при образовании вакансий в кристаллической решетке твердых тел или при фазовых переходах второго рода, относительное увеличение длины или объема образцов невелико, в то время как коэффициент теплового расширения изменяется заметным образом. Поэтому для изучения таких явлений метод непосредственного измерения коэффициента теплового расширения обладает существенными преимуществами.

Модуляционный метод изучения теплового расширения заключается в следующем. Проволочный образец нагревается переменным током или током, содержащим постоянную и переменную составляющие. В результате этого возникают колебания температуры образца около среднего значения и соответственно этому — периодические изменения его длины. Образец с одной стороны закреплен, а с другой натягивается грузом или пружиной. При помощи оптической системы незакрепленный конец образца проектируется на щель перед катодом фотоэлектронного умножителя. При колебаниях длины образца периодически изменяется освещенность фотокатода и появляется переменная составляющая выходного напряжения фотоумножителя. По величине этого напряжения определяется амплитуда колебаний длины образца. Калибровка схемы измерения амплитуды колебаний длины образца производится в статических условиях путем перемещения фотоумножителя. Амплитуда колебаний температуры образца зависит от амплитуды колебаний мощности, питающей образец, и от его теплоемкости. Она может определяться по колебаниям электрического сопротивления образца при помощи компенсационной схемы, использованной ранее для измерения теплоемкости [4]. Изменения температуры образца можно определять и по колебаниям его светимости [5,6]. Если теплоемкость образца известна, то амплитуда колебаний его температуры может быть легко рассчитана.

Таким образом, при использовании модуляционного метода определяется непосредственно коэффициент теплового расширения. При нагреве образца переменным током формула для расчета коэффициента теплового расширения имеет вид

$$\alpha = \frac{2mc\omega V}{lPK dV_0/dn}$$

Фиг. 1



Здесь l , m , c — длина, масса и удельная теплоемкость образца; P и ω — мощность и частота переменного тока, питающего образец, K — коэффициент увеличения оптической системы, V — амплитуда переменной составляющей выходного напряжения фотоумножителя, n — перемещение фотоумножителя.

Сдвиг фаз между колебаниями подводимой к образцу мощности и температуры образца предполагается близким к 90° , что практически осуществляется даже при низких частотах модуляции температуры образца [4].

При питании образца током, содержащим постоянную и переменную составляющие (переменная составляющая значительно меньше постоянной), расчет коэффициента теплового расширения производится по формуле

$$\alpha = \frac{m\omega V}{2lKi_0UdV_0/dn}$$

Здесь i_0 — постоянная составляющая тока, питающего образец, U — амплитуда переменной составляющей напряжения на образце. В этом случае измерение коэффициента теплового расширения можно осуществить при помощи компенсационной схемы, уравниваемой независимо от амплитуды колебаний температуры образца. Такая схема представлена на фиг. 1, где 1 — генератор низкой частоты, 2 — избирательный усилитель, 3 — магазин взаимной индуктивности. Компенсационная схема с использованием избирательного усилителя или метода синхронного детектирования позволяет измерять коэффициент теплового расширения даже при очень малых амплитудах модуляции температуры образца.

При помощи модуляционного метода было изучено тепловое расширение вольфрама в интервале температур 1300—2300° К. Измерения проводились на образцах диаметром 0,05 мм. Образцы нагревались током, содержащим постоянную и переменную составляющие. Частота модуляции температуры составляла 60 гц. Амплитуда колебаний температуры образца составляла 3—4°; она определялась по колебаниям электрического сопротивления образца [4]. Увеличение оптической системы равнялось 80. Использовался фотоэлектронный умножитель типа ФЭУ-17А. Чувствительность схемы составляла 0,5 в/мк. Амплитуда колебаний длины образца была около 0,5 мк, так что выходное напряжение схемы имело величину около 250 мв. При калибровке перемещение фотоумножителя определялось при помощи индикатора часового типа.

В интервале температур 1300—2300° К результаты наших измерений описываются уравнением

$$\alpha = 4,1 \cdot 10^{-6} + 10^{-9} T \text{ град}^{-1}$$

Они находятся в хорошем согласии с имеющимися данными [7-9]. Результаты измерений коэффициента теплового расширения вольфрама при высоких температурах представлены на фиг. 2, при этом кривые 1, 2, 3 соответствуют работам [7], [8], [9], а кривая 4 — результатам наших измерений. При более высоких температурах следует ожидать дополнительного возрастания коэффициента теплового расширения, связанного с образованием вакансий в кристаллической решетке вольфрама [10].

Авторы благодарны П. Г. Стрелкову за внимание к работе и ценные замечания.

Поступила 14 XI 1964

ЛИТЕРАТУРА

1. Physicochemical measurements at high temperatures. London, Butterworths Scientific Publ., 1959.
2. Техника высоких температур. Изд. иностр. лит., 1959.
3. Кинджер В. Д. Измерения при высоких температурах. Металлургиздат, 1963.
4. Крафтмахер Я. А. Модуляционный метод измерения теплоемкости. ПМТФ, 1962, № 5.
5. R a s o r N. S., M c C l e l l a n d J. D. Thermal property measurements at very high temperatures. Rev. Sci. Instr., 1960, vol. 31, No. 6.
6. L o w e n t h a l G. C. The specific heat of metals between 1200° K and 2400° K. Austral. J., Phys., 1963, vol. 16, No. 1.
7. W o r t h i n g A. G. Atomic heats of tungsten and of carbon at incandescent temperatures. Phys. Rev., 1918, vol. 12, No. 3.
8. D e m a r q u a y J. Nouvelle méthode pour l'étude de la dilatation des corps aux températures élevées. C. r. Acad. sci., 1945, t. 220, No. 2.
9. D u t t a B. N., D a y a l B. Lattice constants and thermal expansion of palladium and tungsten up 878° C by X-ray method. Phys. stat. sol., 1963, vol. 3, No. 12.
10. Крафтмахер Я. А., Стрелков П. Г. Энергия образования и концентрация вакансий в вольфраме. Физика твердого тела, 1962, т. 4, № 8.