

УДК 550.362

**УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОТЫ ПЛАВЛЕНИЯ  
И ТЕПЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЕЩЕСТВ В ИНТЕРВАЛЕ  
ТЕМПЕРАТУР 800—2000 К**

Е. В. Орлик, Г. И. Петрунин

*(кафедра физики Земли)*

Главное отличие данной установки от описанной ранее [1] заключается в применении электронного нагрева, позволившего расширить температурный интервал в сторону высоких температур и значительно уменьшить ошибку определения радиального теплового потока. Рабочая ячейка, помещаемая в вакуумную камеру, представляет собой графитовый тигель, в котором находится исследуемый цилиндрический образец диаметром 6 и высотой 20 мм. Тигель сделан в виде полого тонкостенного цилиндра; он располагается на оси симметрии цилиндрического нагревателя из вольфрамовой проволоки диаметром 0,4 мм. Нагреватель, являющийся частью силовой схемы, выполняет две функции: создание средней температуры, при которой проводятся измерения, и создание постоянного и периодического потоков тепла с помощью электронного нагрева. В последнем случае тигель или сам проводящий образец выполняет роль анода, а нагреватель служит катодом. В силовую схему включается дополнительный источник питания, цепь которого коммутируется с помощью реле, управляемого генератором. Временная эволюция температуры образца регистрируется термопарой, горячий спай которой помещается в его центре, на оси симметрии.

В основу методики положены два нестационарных тепловых процесса: радиальные температурные «волны» и регулярный режим второго рода. Каждый из них позволяет измерять комплекс теплофизических характеристик с помощью одного датчика температуры. Процедура проведения эксперимента и расчет тепловых параметров в методе периодических колебаний температуры детально обсуждены в литературе и не требуют специального рассмотрения (см. [1, 2, 3]). Другой путь определения комплекса тепловых параметров, реализующийся в экспериментальной схеме, базируется на создании постоянного теплового потока через боковую поверхность цилиндрического образца. В этом случае в определенном временном интервале скорость изменения температуры каждой точки образца одинакова и постоянна, т. е. устанавливается регулярный тепловой режим (РТР) второго рода (рис. 1, участок АВ). Анализ решения соответствующей тепловой задачи с экстраполяцией линейного участка установившегося процесса на начальные условия и учет этих условий дают возможность ограничиться одним датчиком температуры для нахождения комплекса тепловых свойств объекта. Подобный метод применялся Н. А. Вдовиным для образца в форме полого цилиндра с внутренним нагревом [4]. В настоящей работе образец имел форму сплошного цилиндра. Такая геометрия объекта удобна при необходимости использования тигля (измерение теплоты плавления, тепловых параметров жидкой фазы и диэлектриков). Полученные формулы для вычисления тепловых характеристик отличаются от приводимых в [4] только на константы, определяемые выбором геометрии образца, и граничными условиями. Аналогичные формулы для расчета теплоемкости и температуропроводности получаются также при использовании

линейных участков температурной кривой в методе периодического нагрева [5].

Теплота плавления находилась нами на основе использования регулярного режима второго рода, при непрерывном введении постоянной мощности в образец. Типичная форма термограммы, получаемой в таком случае, показана на рис. 1. В соответствии с классической теорией фазовых переходов первого рода плавление является изотермическим процессом ( $\partial T/\partial \tau = 0$ ) и всё тепло, вводимое в образец, идет на плавление. Отсюда, зная величину теплового потока, время плавления и массу об-

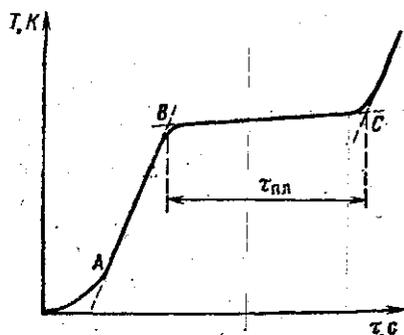


Рис. 1. К методике определения теплоты плавления

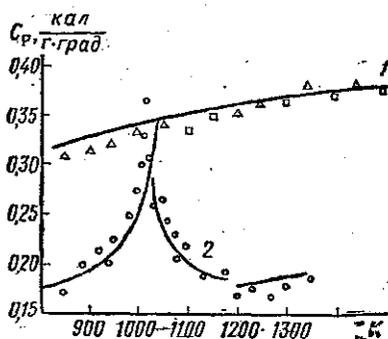


Рис. 2. Температурная зависимость теплоемкости: 1 — графит ( $\Delta$  — РТР второго рода,  $\square$  — РТР третьего рода, сплошная линия — по работе [6]); 2 — армо-железо ( $\circ$  — РТР второго рода, сплошная линия — по работе [9])

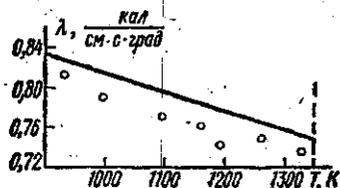


Рис. 3. Теплопроводность меди ( $\circ$  — РТР второго рода, сплошная линия — по работе [5])

разца, можно легко вычислить энергию этого перехода по формуле  $Q_{пл} = (Q/m)_{\tau_{пл}}$ , где  $Q$  — вводимая в образец мощность. Как можно видеть из термограммы, строгое условие  $\partial T/\partial \tau = 0$  в эксперименте не наблюдалось. Участок плавления  $BC$  имел форму прямой, отличной от горизонтальной линии. Это можно объяснить существованием определенного градиента температуры в образце перед началом перехода и влиянием на кривую плавления процесса передвижения межфазного фронта. Растягивая переходный участок, этот процесс вносит некую неопределенность в отсчет момента времени, соответствующего началу плавления. Однако, как показывает опыт, переходный участок невелик по сравнению с полным временем плавления, и использование точки  $B$  (см. рис. 1) в качестве времени начала плавления дает вполне удовлетворительные результаты.

Методика измерений тепловых параметров обрабатывалась на хорошо изученных веществах с акцентом на измерении теплоемкости. Для калибровки установки измерялась теплоемкость графита — материала, используемого для тигля. Данные по теплоемкости графита, полученные применением регулярных режимов второго и третьего рода,

приведены на рис. 2. Были измерены теплоты плавления меди и серебра и значения теплоемкостей для этих веществ в обеих фазах вблизи температуры перехода; эти данные приведены в следующей таблице.

Образец	$c_{\text{ж}}^{\text{р}}$ , $\frac{\text{кал}}{\text{г} \cdot \text{град}}$		$c_{\text{тв}}^{\text{р}}$ , $\frac{\text{кал}}{\text{г} \cdot \text{град}}$		$Q_{\text{пл}}$ , $\frac{\text{кал}}{\text{г}}$	
	данные настоящей работы	литературные данные	данные настоящей работы	литературные данные	данные настоящей работы	литературные данные
Медь	0,115	0,12 [8]	0,11	0,10 [6] 0,12 [7]	53	51 [7] 53,3 [6]
Серебро	0,09	0,07 [7]	0,07	0,06 [6]	27	24,9 [7] 33,2 [6]

Рис. 2 иллюстрирует также температурную зависимость теплоемкости армко-железа в области фазового перехода второго рода. Измеренные значения теплопроводности меди в интервале температур 900—1500 К практически совпадают с данными, приведенными в [6] (рис. 3). Ошибка определения теплоемкости при использовании тигля не превышает 5—7%. Теплота плавления и теплопроводность измерены с ошибкой, лежащей в пределах 5—10%.

В заключение следует отметить, что установка и методика могут с успехом применяться для измерения теплофизических свойств диэлектриков как в твердой, так и в жидкой фазах.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Юрчак Р. П., Карамышев А. Г., Орлик Е. В. Применение температурных волн для изучения фазовых переходов.—Теплофиз. высоких температур, 1978, 16, № 5, с. 966—970. [2] Филиппов Л. П. Измерение тепловых свойств твердых и жидких металлов. М.: Изд-во МГУ, 1967, 325 с. [3] Кириченко Ю. А. Измерение температуропроводности методом радиальных температурных волн в цилиндре.—Измер. техника, 1960, № 5, с. 29. [4] Вдовин Н. А. Автореф. канд. дис. Свердловск, 1978. [5] Аталла С. Р., Банчила С. Н., Дозорова И. П., Филиппов Л. П. Об измерении комплекса тепловых свойств металлов при высоких температурах методом периодического нагрева.—Вестн. Моск. ун-та. Сер. Физ. Астрон., 1972, 13, № 6, с. 638—643. [6] Краткий справочник физико-химических величин. Под ред. К. П. Мищенко и др. Л.: Химия, 1974. [7] Теплофизические свойства веществ (справочник). Под ред. Н. Б. Варгафтика. М.—Л.: Госэнергоиздат, 1956. [8] Справочник химика. Л.: Химия, 1971, т. 1. [9] Варченко А. А. и др. Использование электронного нагрева в модуляционном методе измерения теплоемкости.—Теплофиз. высоких температур, 1978, 16, № 4, с. 844.

Поступила в редакцию  
14.02.80

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 1981, Т. 22, № 4

УДК 535.37

#### ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСЕЙ ВОДЫ НА АССОЦИАЦИЮ МОЛЕКУЛ РОДАМИНА 6Ж В ЭТИЛОВОМ СПИРТЕ

Л. В. Левшин, М. Г. Рева, Б. Д. Рыжиков, С. И. Стальмахович

(кафедра общей физики для физического факультета)

Ассоциация молекул родамина 6Ж в полярных растворителях получает заметное развитие либо при низких температурах [1], либо в бинарных смесях полярных и неполярных растворителей [2, 3]. При этом