

## РАБОТА 1.05 ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАВЛЕНИЯ И КРИСТАЛЛИЗАЦИИ МЕТАЛЛА

### Задача

1. Получить диаграмму охлаждения и кристаллизации металла.
2. По результатам п.1 найти температуру и удельную теплоту плавления (кристаллизации) металла.

### Введение

Плавление твердого тела при его нагревании и обратный процесс кристаллизации жидкости при ее охлаждении относятся к явлениям, называемым фазовыми переходами I рода. Для фазового перехода I рода характерно изменение скачком термодинамических параметров вещества (плотность, теплоемкость, вязкость и т.д.). При этом выделяется или поглощается определенное для данного вещества количество теплоты, называемое теплотой фазового перехода.

Рассмотрим, как изменяется температура вещества при его плавлении кристаллизации. Пусть к твердому телу подводится тепло с такой постоянной скоростью, что температура во всем объеме образца успевает выравняться и ее можно считать одинаковой для всех точек тела. Примерный график зависимости температуры тела от времени при нагреве изображен на рис.1а.

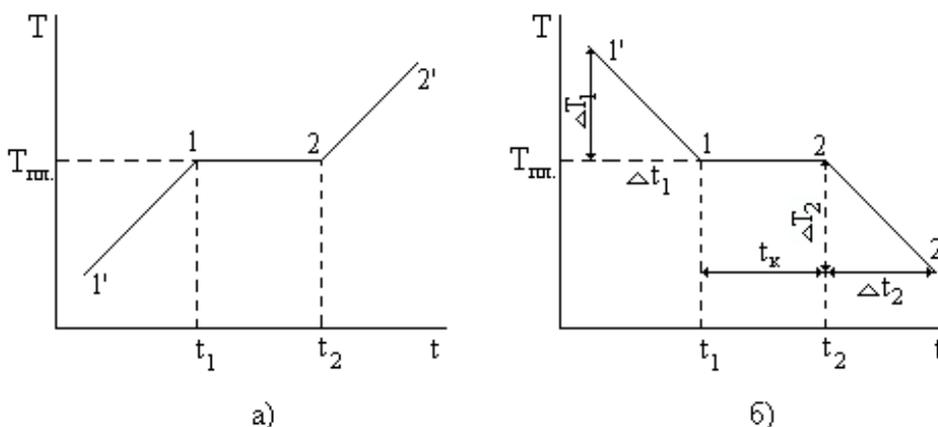


Рис.1

В силу постоянства теплового потока ось времени есть одновременно и ось «тепла, поглощенного веществом». На участке 1'-1 теплоподвод приводит к монотонному росту температуры. На участке 1-2 температура неизменна, несмотря на то, что подвод тепла продолжается. Затем температура тела снова начинает повышаться (участок 2-2'). Температура, соответствующая участку 1-2, есть температура плавления. Поглощенное телом на этом участке тепло называют теплотой плавления. Происходит разрушение кристаллической структуры твердого тела, и внутренняя энергия образца увеличивается - совершается переход в жидкое состояние. Обратный процесс - процесс кристаллизации жидкости - изображен на рис.1б. Здесь тепло отводится, тепловой поток, следовательно, отрицателен (по-прежнему полагается постоянным). Из-за теплоотвода температура жидкости на участке 1'-1 монотонно снижается. На участке 1-2 температура неизменна (температура кристаллизации). Теплоотвод на этом участке компенсируется выделяющейся теплотой кристаллизации. После завершения кристаллизации температура тела (теперь уже твердого) начинает вновь понижаться (участок 2-2').

Процессы плавления и кристаллизации идут практически при одной и той же температуре, а теплота плавления и теплота кристаллизации одинаковы.

Жидкое и твердое состояние называют двумя разными фазами вещества, а процессы плавления и кристаллизации - фазовыми переходами. Новая фаза не возникает сразу во всем объеме; сначала образуются зародыши новой фазы, которые затем растут, распространяясь на весь объем. При этом обе фазы могут сосуществовать длительное время (например, лед может плавать в воде, не плавясь). Указанные особенности плавления и кристаллизации (выделение и поглощение энергии, возможность сосуществования фаз) и являются отличительными признаками фазового перехода первого рода.

Диаграммы, подобные изображенным на рис.1, можно использовать для измерения температуры и теплоты плавления (кристаллизации). Для снятия диаграммы тонкостенный сосуд (тигель) помещают в печь и, нагревая его, измеряют температуру образца через определенные промежутки времени. Можно снимать и диаграмму остывания и кристаллизации образца. В этом случае проще обеспечить постоянство теплового потока, отводимого от тела. Тепловой поток можно вычислить по изменению

внутренней энергии тела (образец + тигель) на участках 1'-1 и 2'-2. Если за время  $\Delta t$  температура тела изменилась на  $\Delta T$ , то за это время внутренняя энергия изменилась на  $\Delta U = (mc + m_1c_1)\Delta T$  и, таким образом, тепловой поток

$$N = \frac{\Delta U}{\Delta t} = (mc + m_1c_1) \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad (1)$$

Здесь  $m$ ,  $m_1$  - массы образца и тигля соответственно,  $c$ ,  $c_1$  - их удельные теплоемкости. За время кристаллизации  $t_k$  (определяется по длине горизонтального «плато» диаграммы) все отведенное тепло равно теплоте кристаллизации

$$N t_k = \lambda m \quad (2)$$

где  $\lambda$  - удельная (в Дж/кг) теплота кристаллизации. Исключая  $N$  из (1) и (2), найдем

$$\lambda = \frac{mc + m_1c_1}{m} t_k \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad (3)$$

Таким образом, для измерения  $\lambda$  нужно найти по диаграмме время кристаллизации  $t_k$  и скорость охлаждения образца  $\frac{\Delta T}{\Delta t}$  вблизи температуры кристаллизации, а также знать массу и теплоемкость образца и тигля.

Молярная теплота плавления  $L$  связана с удельной теплотой соотношением  $L = \lambda \mu$ , где  $\mu$  - молярная масса металла.

### Установка

Схема установки приведена на рис.2. Исследуемый металл находится в кварцевом тигле, помещенном в печь с электрическим нагревателем. Сила тока в печи устанавливается лабораторным автотрансформатором (ЛАТР). В металл погружена термопара в кварцевом чехле, являющаяся датчиком температуры образца.

Действие термопары основано, в частности, на том, что в спаяе двух проводов из разного металла возникает контактная разность потенциалов, зависящая от температуры. Если из таких проводов составить замкнутую цепь, разные участки которой будут находиться при разных температурах, то суммарное действие контактных разностей потенциалов во всех спаях (контактах) приведет к появлению в цепи результирующей электродвижущей силы - так называемой термоЭДС (ТЭДС). Так называемый «горячий» спай (Т) приводится в контакт с испытуемым телом (металлом).

СПбГПУ кафедра "экспериментальная физика" В.П. Маслов, Т.М. Маслова

## Измерение температуры и теплоты плавления металла

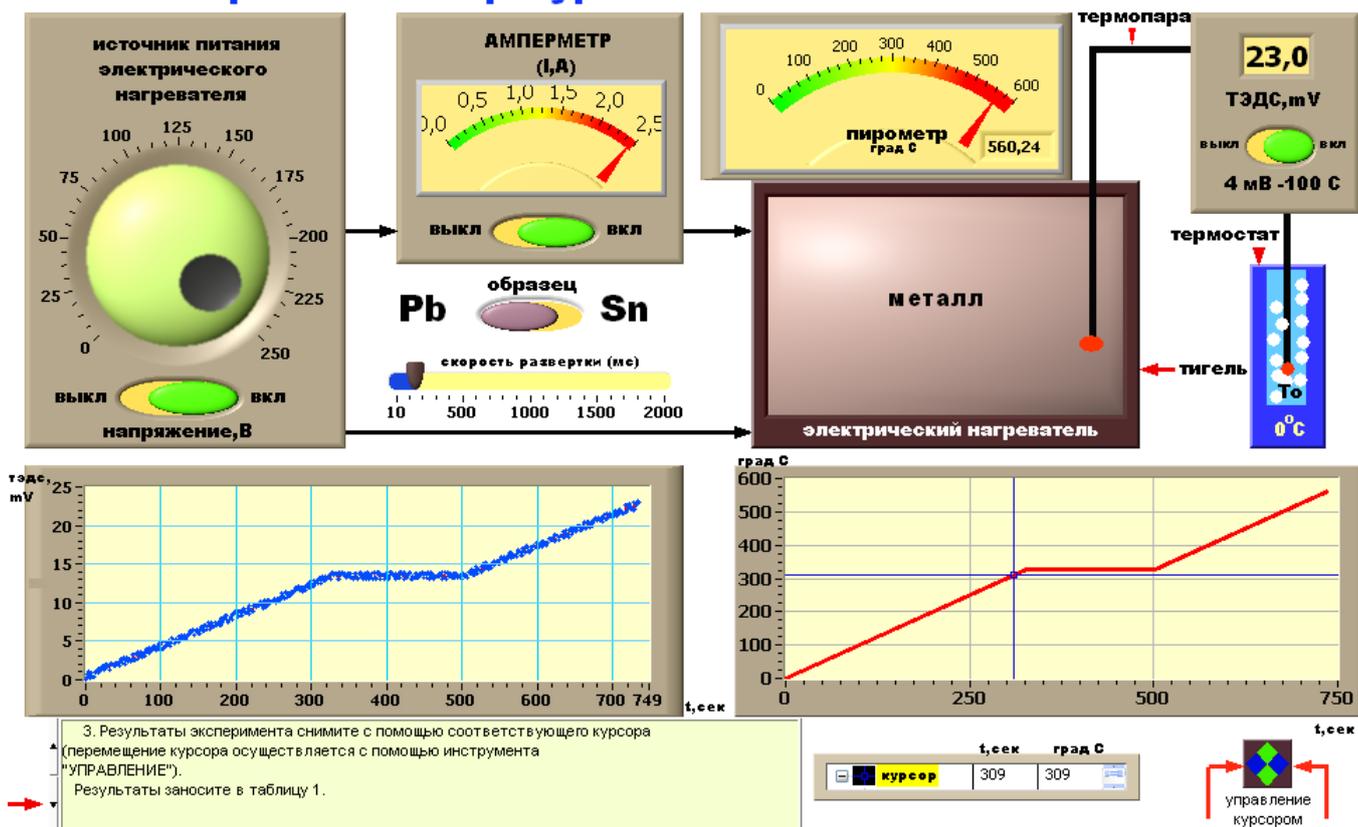


Рис.2

«Холодный» спай ( $T_0$ ) должен быть при одинаковой известной температуре. ТЭДС примерно пропорциональна разности температур ( $T - T_0$ )

$$E = k_T(T - T_0)$$

Для нахождения температуры  $T$  по ТЭДС используют градуировку термопары - график зависимости  $E$  от  $(T - T_0)$ . Если температура «холодного» спая  $T_0 = 0^\circ\text{C}$ , то по градуировочному графику непосредственно находят температуру «горячего» спая в градусах Цельсия. В нашем случае «холодный» спай находится в термостате с температурой  $T_0 = 0^\circ\text{C}$ .

### Измерения и обработка результатов

1. Перед началом работы с помощью инструмента «УПРАВЛЕНИЕ» установите выходное напряжение ЛАТРа в пределах (160-200) В.
2. Запустите программу с помощью инструмента «УПРАВЛЕНИЕ».
3. По окончании цикла на графике будет выведена информация о проведенном эксперименте. В процессе эксперимента следите за изменением ТЭДС.
4. Результаты эксперимента снимите с помощью соответствующих курсоров (перемещение курсоров осуществляется с помощью инструмента «УПРАВЛЕНИЕ»). Результаты заносите в таблицу 1.

Таблица 1

Время от начала отсчета, сек	E (ТЭДС), мВ	T, °C	T, K
1			
...			
n			

5. По результатам таблицы 1 постройте график  $T = f(t)$  - диаграмму плавления образца. Выделите на диаграмме линейные участки 1' - 1, 1 - 2 и 2 - 2' (см. рис. 3б)

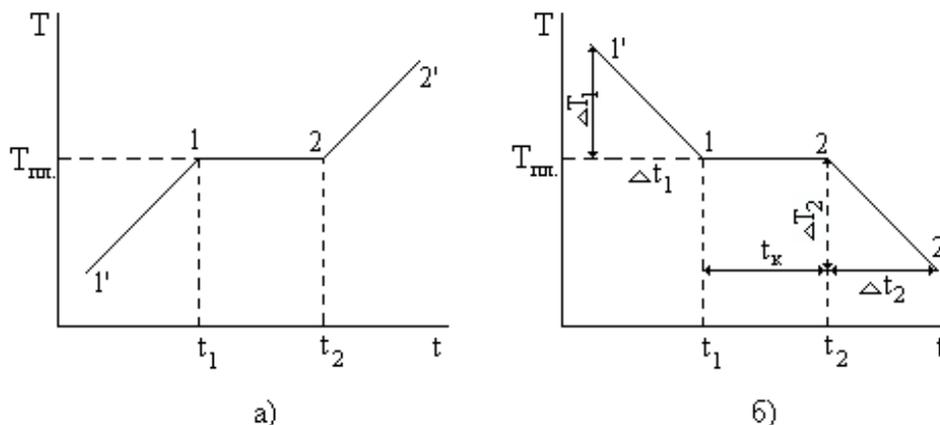


Рис.3

6. В качестве температуры плавления металла примите среднее значение температуры для участка 1 - 2

$$T_n = (T_1 + T_2)/2,$$

а за погрешность - величину  $\Delta T_n = (T_1 - T_2)/2$ .

7. Вычислите скорости нагревания  $x_1 = (\Delta T_1/\Delta t_1)$  и  $x_2 = (\Delta T_2/\Delta t_2)$ , соответствующие участкам 1' - 1 и 2 - 2' вблизи кристаллизации, а также среднее значение  $\Delta T/\Delta t = x = (x_1 + x_2)/2$  и погрешность  $\Delta x = (x_1 - x_2)/2$ . Время кристаллизации (см. рис.3)  $t_k = t_2 - t_1$ . В качестве оценки погрешности для  $t_k$  можно взять интервал между измерениями температуры образца ( $\Delta t_k = 2$  сек).

8. Вычислите по формуле (3) удельную теплоту плавления  $\lambda$  и ее погрешность;

$$\Delta\delta = \Delta\lambda / \lambda = \sqrt{(\delta t_k)^2 + (\delta x)^2}$$

$\delta$  - относительная погрешность измерения.

9. Вычислите молярную теплоту плавления  $L$  ( $L = \lambda \cdot \mu$ , где  $\mu$  - молярная масса металла).

10. Запишите результаты в стандартной форме и сделайте выводы по работе.

### Литература

1. Механика и молекулярная физика (учебно-методическое пособие). СПбГТУ, 1998

2. Обработка экспериментальных результатов (методические указания к лабораторным работам). СПбГТУ, 1998.