

Ф.К. Ходжаев, докторант, канд. техн. наук;  
 И. Н. Ганиев, акад. НАН Таджикистана, проф., д-р хим. наук;  
 М. С. Зарифова, соискатель; Х. Холов, канд. техн. наук  
 (Институт химии им. В. И. Никитина НАН Таджикистана  
 г. Душанбе, Таджикистан)

## ВЛИЯНИЕ НЕОДИМА НА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ СВИНЦОВОГО БАББИТА Б(PbSb15Sn10)

### Экспериментальные результаты и их обсуждение

Для измерения удельной теплоёмкости сплавов в широкой области температур используется закон охлаждения Ньютона-Рихмана, согласно которой всякое тело, имеющее температуру выше окружающей среды, будет охлаждаться, причем скорость охлаждения зависит от величины теплоёмкости тела. Если взять два одинаковой формы металлических образца и охлаждать их от одной температуры, то по зависимости температуры образцов от времени (кривым охлаждения) можно найти теплоёмкость одного образца, зная теплоёмкость другого (эталоны). Для двух образцов одинакового размера при допущении, что их площади  $S_1 = S_2$  и температуры  $T_1 = T_2$ , и коэффициенты теплоотдачи равны  $\alpha_1 = \alpha_2$  теплоёмкость может определяться по формуле:

$$C_R^0 = C_{P_2}^0 \cdot \frac{m_2}{m_1} \cdot \frac{\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_2}{\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_1} \quad (1)$$

где  $m_1$  и  $m_2$  – массы образцов,  $\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_1$ ,  $\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_2$  скорости их охлаждения образцов из эталона исследуемых сплавов и  $C_{P_1}$  – удельная теплоёмкость эталона. Правомочность использования данного уравнения для определения теплоёмкости твердых тел в режиме «охлаждения» представлено в работах [1]. Подробная методика исследования теплоёмкости сплавов в режиме «охлаждения» описано в работах [2, 3].

Свинцовый баббит Б(PbSb15Sn10) по ГОСТ 1320-74 (ИСО 4383-91) с неодимом получали в шахтной лабораторной печи СШОЛ при температуре 450-500 °С путём совместной плавки свинца марки С2С (99.97% Pb) ГОСТ 3778-98, олова марки ОВЧ-000 (99.999% Sn) ГОСТ 860-75, сурьмы металлической марки Су00 (99.9% Sb) ГОСТ 1089-82 и металлического неодима чистотой 99.9% Nd (ГОСТ 23862.9-79; ИУС 11 – 95). Содержание неодима в сплавах составило 0.01, 0.1, 0.5, 1.0 мас. %. Из полученных сплавов отливались цилиндрические образцы диаметром 16 мм, длиной 30 мм, в графитовую изложницу за-

данной формы, для исследования теплоемкости. Состав полученных сплавов контролировалось взвешиванием шихты и полученных сплавов. В случае отклонения массы шихты и полученных образцов более чем на 2% синтез сплавов проводился заново.

Экспериментально полученные кривые охлаждения образцов из свинцового баббита Б(PbSb15Sn10) с неодимом представлены на рис. 1а. Шаг измерения температуры составил 0.1 К. Временной интервал фиксации температуры составлял 10 с. Относительная ошибка измерения температуры в интервале от 40 до 400 °С составляла ±1%, а в интервале более 400 °С ±2.5%. Погрешность измерения теплоемкости по предлагаемой методике не превышает 4%. В нашем случае погрешность не превышал 1%. Вся обработка результатов производилась по программе MS Excel и графики строились с помощью программы Sigma Plot 10.0. Коэффициент корреляции составил не менее 0.995. Полученные кривые охлаждения образцов из полученных сплавов (рис. 1а) описываются уравнением вида:

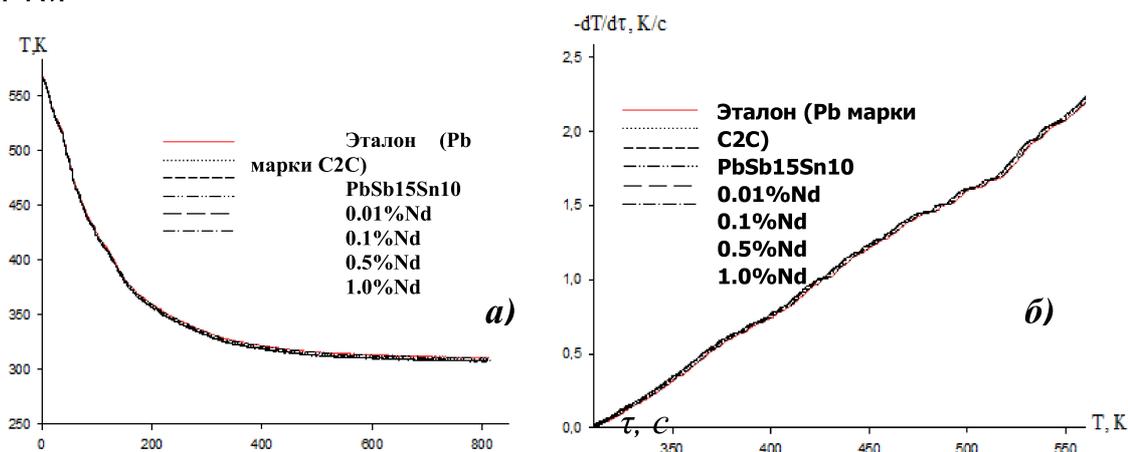
$$T = ae^{-b\tau} + pe^{-k\tau}, \quad (2)$$

где  $a, b, p, k$  - постоянные для данного образца,  $\tau$  - время охлаждения.

Дифференцируя уравнение (2) по  $\tau$ , получаем уравнение для определения скорости охлаждения образцов из сплавов:

$$\frac{dT}{d\tau} = -ae^{-b\tau} - pe^{-k\tau}. \quad (3)$$

Значения коэффициентов  $a, b, p, k, ab, pk$  в уравнении (3) для исследуемых образцов приведены в таблице 1. Кривые зависимости скорости охлаждения от температуры для образцов из свинцового баббита БНд (PbSb15Sn10Nd), легированного неодимом представлены на рис. 1б.



**Рисунок 1 – График зависимости температуры от времени охлаждения (а) и скорости охлаждения от температуры (б) для образцов из свинцового баббита Б(PbSb15Sn10), легированного неодимом и эталона (Pb марки C2C)**

Значения коэффициентов  $a$ ,  $b$ ,  $p$ ,  $k$ ,  $ab$ ,  $pk$  в уравнении (3) для свинцового баббита Б(PbSb15Sn10) с неодимом и эталона (Pb марки С2С).

**Таблица 1**

Содержание неодима в баббите, мас. %	$a, K$	$b \cdot 10^{-3}, c^{-1}$	$p, K$	$k \cdot 10^{-5}, c^{-1}$	$a \cdot b, Kc^{-1}$	$pk \cdot 10^{-3}, K \cdot c^{-1}$
0.0	264.44	8.87	315.18	2.73	2.34	8.59
0.01	264.45	8.87	313.89	2.74	2.35	8.60
0.1	264.44	8.87	314.69	2.73	2.35	8.60
0.5	264.44	8.87	314.18	2.73	2.35	8.59
1.0	264.44	8.87	314.38	2.73	2.35	8.59
Эталон	264.44	8.87	317.18	2.71	2.34	8.59

Далее по рассчитанным значениям величин скоростей охлаждения образцов из сплавов по уравнению (1) была вычислена удельная теплоёмкость свинцового баббита Б(PbSb15Sn10) с неодимом. Получено следующее общее уравнение температурной зависимости удельной теплоёмкости сплавов и эталона (Pb марки С2С):

$$C_p^0 = a + bT + cT^2 + dT^3. \quad (4)$$

Значения коэффициентов уравнении температурной зависимости теплоёмкости (4) для свинцового баббита Б(PbSb15Sn10), легированного неодимом, представлены в таблице 2.

Значения коэффициентов  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  в уравнении (4) для свинцового баббита Б(PbSb15Sn10), легированного неодимом и эталона (Pb марки С2С)

**Таблица 2**

Содержание неодима в баббите, мас. %	$a$ , Дж/(кг·К)	$b \cdot 10^{-2}$ , Дж/(кг·К <sup>2</sup> )	$c \cdot 10^{-4}$ , Дж/(кг·К <sup>3</sup> )	$d \cdot 10^{-7}$ , Дж/(кг·К <sup>4</sup> )	Коэффициент корреляции R
0.0	150.57	-8.52	3.65	-2.97	0.999
0.01	150.55	-8.52	3.65	-2.97	0.999
0.1	150.64	-8.52	3.65	-2.97	0.999
0.5	150.92	-8.53	3.65	-2.97	0.999
1.0	151.18	-8.54	3.66	-2.97	0.999
Эталон	105.60	9.40	-0.85	0.50	1.0

Результаты расчёта температурной зависимости теплоёмкости для свинцового баббита Б(PbSb15Sn10) с неодимом по формулам (1) и (4) через 50 К представлены в таблице 3. Как видно с ростом температуры и содержание неодима теплоёмкость исходного сплавов растёт.

Температурная зависимость удельной теплоёмкости (Дж/(кг·К)) свинцового баббита Б(PbSb15Sn10), легированного неодимом и эта-лона (Pb марки С2С).

**Таблица 3**

Содержание неодима в баббите, мас. %	Т, К					
	300	350	400	450	500	550
0.0	149.84	152.73	155.89	159.08	162.10	164.71
0.01	149.85	152.75	155.90	159.10	162.13	164.74
0.1	149.91	152.80	155.95	159.14	162.16	164.78
0.5	150.16	153.04	156.19	159.38	162.39	165.00
1.0	150.48	153.38	156.52	159.79	162.85	165.50
Эталон	127.50	130.23	132.80	135.24	137.60	139.90

### Выводы

1. Получены полиномы температурной зависимости теплоемкости и изменений термодинамических функций (энтальпия, энтропия и энергия Гиббса) для свинцового баббита Б(PbSb15Sn10) с неодимом, которые с коэффициентом корреляции  $R_{кор.} = 0.995$  описывают их изменения.

2. Результаты исследования теплоемкости и изменений термодинамических функций свинцового баббита Б(PbSb15Sn10) показывают, что легирующий компонент в изученном концентрационном интервале (0.01-1.0 мас. %) и температура увеличивают теплоемкость, коэффициент теплоотдачи, энтальпию и энтропию исходного сплава. При этом значение энергии Гиббса сплавов от температуры и содержания неодима уменьшается.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Горбатенко В.П., Новоселова Т.В. *Материаловедение / Невинномысск*, 2018. – 324 с.
2. Бешевли О.Б., Дуюн Т.А. Особенности теплового состояния баббитов при механической обработке // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2010. № 2 (85). – С.75-81.
3. Наврузов Х.П., Ганиев И.Н., Амонулло Х., Эшов Б.Б., Муллоева Н.М. Влияние добавок кадмия на теплофизические свойства и термодинамические функции свинца // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2020. Т. 18. № 3. – С. 42-49.