

**МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ
И СПЛАВОВ
METALLURGY AND HEAT TREATMENT OF METALS
AND ALLOYS**

Научная статья

УДК 669.45.018.8.24/884

DOI: 10.26730/1999-4125-2024-5-40-49

**ВЛИЯНИЕ ВИСМУТА НА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ИЗМЕНЕНИЯ
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ СВИНЦОВОГО БАББИТА
Б(PbSb15Sn10)**

**Изатулло Наврузович Ганиев, Махмадуллоев Рахмонали Зафарович,
Хайрулло Махмудхонович Ходжаназаров, Одиназода Хайдар Одина**

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

*для корреспонденции: ganievizatullo48@gmail.com



Информация о статье

Поступила:

19 июля 2024 г.

Одобрена после

рецензирования:

29 сентября 2024 г.

Принята к публикации:

10 октября 2024 г.

Опубликована:

24 октября 2024 г.

Ключевые слова:

свинцовый баббит

Б(PbSb15Sn10), висмут,

режим «охлаждения»,

теплоемкость, коэффициент

теплоотдачи, энтальпия,

энтропия, энергия Гиббса,

температурная зависимость

Аннотация.

Одним из важнейших физических свойств свинцового баббита является теплоемкость. В работе приведены результаты исследования температурной зависимости удельной теплоемкости и изменений термодинамических функций свинцового баббита Б(PbSb15Sn10), легированного висмутом в режиме «охлаждения» в диапазоне 298,15–550 К, для чего компьютерной обработкой кривых скоростей охлаждения образцов из свинцового баббита Б(PbSb15Sn10) с висмутом и эталона получены полиномы, описывающие их скорости охлаждения. Далее по экспериментально найденным величинам скоростей охлаждения образцов из сплавов и эталона при известных их массах были установлены их полиномы температурной зависимости теплоемкости, которые описываются четырехчленным уравнением. С использованием интегралов от удельной теплоемкости были установлены полиномы температурной зависимости изменений энтальпии, энтропии и энергии Гиббса для сплавов в интервале 300–550 К. Полученные зависимости показывают, что с ростом температуры и концентрации висмута теплоемкость, энтальпия и энтропия сплавов незначительно уменьшаются.

Для цитирования: Ганиев И.Н., Махмадуллоев Р.З., Ходжаназаров Х.М., Одиназода Х.О. Влияние висмута на теплофизические свойства и изменения термодинамических функций свинцового баббита Б(PbSb15Sn10)// Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2024. № 5 (165). С. 40-49. DOI: 10.26730/1999-4125-2024-5-40-49, EDN: QRJBDF

Введение

Баббитами называют антифрикционные сплавы на основе олова или свинца. Баббиты обладают низкой твердостью (HB130 – 320 МПа), имеют невысокую температуру плавления

(240–320°C), повышенную размягчаемость (HB90 – 240 МПа при 100°C), отлично прирабатываются и обладают высокими антифрикционными свойствами. В то же время они обладают низким сопротивлением

усталости, что влияет на работоспособность подшипников [1, 2].

По структурному признаку металлические антифрикционные материалы делятся на две группы: первая – материалы с мягкой основой и твердыми включениями и вторая – материалы с твердой основой и мягкими включениями. В современном судовом машиностроении используются подшипниковые сплавы на основе олова и свинца, сплавы на медной основе: латуни и бронзы. Для обеспечения указанного выше комплекса, часто противоречивых свойств, могут использоваться сплавы, состоящие из относительно мягкой основы, в которой распределена достаточно твердая вторая фаза. Назначение твердых кристаллов – осуществлять непосредственный контакт с вращающимся валом, назначение пластичной основы – обеспечивать прирабатываемость вкладыша к валу. Количество твердой составляющей должно быть небольшим, чтобы твердые и хрупкие кристаллы не соприкасались между собой. Кроме того, они должны быть равномерно распределены в пластичной основе. Подобную структуру имеют баббиты [3, 4].

Подшипниковые материалы – это наиболее распространенные антифрикционные материалы, которые применяются для различных видов подшипников скольжения. При этом очень важно, чтобы кроме антифрикционных свойств они обладали необходимой прочностью, сопротивлением коррозии в среде смазки, технологичностью и экономичностью. Наиболее распространенным видом подшипника является стальной подшипник, у которого основа состоит из прочного конструкционного материала – стали, а поверхность трения состоит из слоя антифрикционного материала – оловянного или свинцового баббита. Подшипники, а также вкладыши и втулки изготавливают методом штамповки, а антифрикционный материал наносится литейным способом на заготовку подшипника или на непрерывно движущуюся стальную ленту. Важно, что процесс нанесения антифрикционных покрытий должен обеспечивать выполнение ряда требований, при этом не ограничивается только толщиной покрытия [5-7].

В связи с широким применением свинцовых баббитов в различных отраслях промышленности ведутся систематические научно-исследовательские работы по улучшению их эксплуатационных характеристик. Данные о теплофизических и термодинамических свойствах свинцового баббита Б(PbSb15Sn10) с висмутом, зависящих от температуры, в литературе отсутствуют. Для широкого применения данной группы баббитов в промышленности необходимы сведения о

влиянии нагрева на их физико-технические свойства.

Целью настоящей работы является изучение влияния добавки висмута на теплофизические свойства и термодинамические функции свинцового баббита Б(PbSb15Sn10) по известной удельной теплоемкости эталонного образца из свинца марки С00. Подобные сведения пополняют страницы соответствующих справочников и являются ценной информацией при выборе материала конструкций из баббитов.

Материалы и методы исследования

Одним из методов, позволяющих корректно установить температурную зависимость теплоемкости металлов и сплавов в области высоких температур, является метод сравнения скоростей охлаждения двух образцов, исследуемого и эталонного, по закону охлаждения Ньютона – Рихмана.

При охлаждении в равных условиях скорости охлаждения образцов из разных материалов соотносятся обратно пропорционально их теплоемкостям, а теплота кристаллизации пропорциональна времени кристаллизации. Для калибровки и перехода к абсолютным значениям теплоемкостей и теплоты плавления используется эталонный образец из материала известной теплоемкости.

Если взять два металлических стержня определенной формы, то, сравнивая кривые охлаждения (температуры как функции времени) этих образцов, один из которых служит эталоном (его теплоемкость и скорость охлаждения должны быть известны), можно определить теплоемкость другого, определив скорость его охлаждения.

Зная массы образцов m_1 и m_2 , скорости их охлаждений и удельную теплоемкость эталона $C_{p_1}^0$, можно вычислить теплоемкость исследуемого образца $C_{p_2}^0$ по:

$$C_{p_2}^0 = C_{p_1}^0 \cdot \frac{m_1}{m_2} \cdot \frac{\left(\frac{dT}{dt}\right)_1}{\left(\frac{dT}{dt}\right)_2}, \quad (1)$$

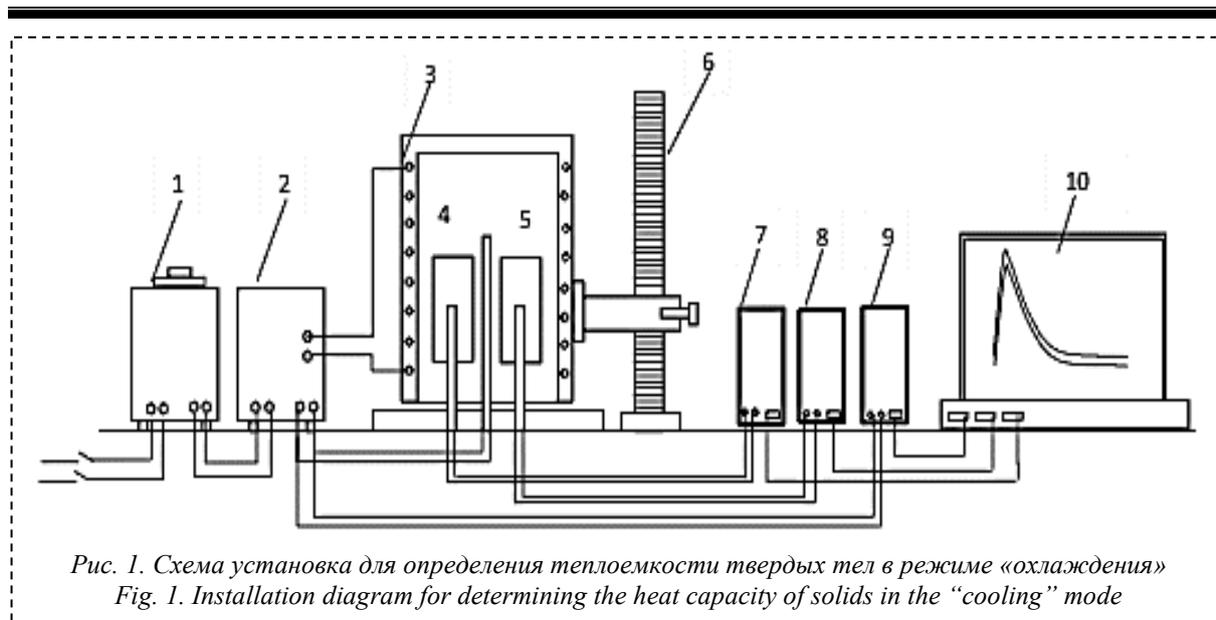
где $m_1 = \rho_1 V_1$ – масса образца из эталона (ρ – плотность, V – объем образца);

$m_2 = \rho_2 V_2$ – масса исследуемого образца;

$\left(\frac{dT}{dt}\right)_1, \left(\frac{dT}{dt}\right)_2$ – скорости охлаждения образцов из эталона и исследованных сплавов при данной температуре.

Правомочность использования данного уравнения для определения теплоемкости твердых тел представлена в работах [8 – 11].

Для определения скорости охлаждения строят кривые охлаждения исследуемых образцов. Кривая охлаждения представляет собой зависимость температуры образца от времени при охлаждении его в неподвижном воздухе.



Исследование теплоемкости и изменений термодинамических функций свинцового баббита Б (PbSb15Sn10) с висмутом проводили по методике, описанной в работах [12-15].

Исследование теплоемкости металлов проводилось на установке, схема которой представлена на Рис. 1. Схема установки для измерения теплоемкости твердых тел включает узлы: электропечь (3), смонтированную на стойке (6), по которой она может перемещаться вверх и вниз. Образец (4) и эталон (5) (тоже могут перемещаться) представляют собой цилиндр длиной 30 мм и диаметром 16 мм с высверленными каналами с одного конца, в которые вставлены термопары. Концы термопар подведены к цифровому термометру «Digital Multimeter DI9208L» (7), (8) и (9).

Электропечь запускается через лабораторный автотрансформатор (ЛАТР) (1) с установкой нужной температуры с помощью терморегулятора (2). По показаниям цифровых термометров фиксируется значение начальной температуры. Вдвигаем печь на образец и эталон и нагреваем до нужной температуры, контролируя температуру по показаниям цифровых термометров на компьютере (10). Печь выдвигаем и с этого момента фиксируем температуру. Записываем показания цифровых термометров на компьютер через каждые 10 с, до охлаждения температуры образца и эталона ниже 308 К (35°C).

В связи с тем, что промышленность не выпускает свинцовый баббит Б (PbSb15Sn10) по ГОСТ 1320-74 (ИСО 4383-91) с висмутом, синтез данного сплава проводился в шахтной лабораторной печи СШОЛ при температуре 723 – 773 К путем совместной плавки свинца марки С00 (99,99% Pb) ГОСТ 3778-77, олова марки ОВЧ-000 (99,999% Sn) ГОСТ 860-75, сурьмы металлической марки Су00 (99,9% Sb) ГОСТ 1089-82 и висмута марки Ви00 (99,98 Vi) ГОСТ

10928-90. Содержание висмута в сплавах составило 0,1; 0,5; 1,0; 2,0 мас. %. Из полученных сплавов отливались цилиндрические образцы диаметром 16 мм, длиной 30 мм в графитовую изложницу заданной формы для исследования теплоемкости. Состав сплавов контролировался взвешиванием шихты и полученных сплавов. В случае отклонения массы образцов более чем на 2% синтез сплавов проводился заново.

Экспериментально полученные кривые охлаждения образцов из свинцового баббита Б (PbSb15Sn10) с висмутом представлены на Рис. 2а. Шаг измерения температуры составил 0,1 К. Временной интервал фиксации температуры составлял 10 с. Относительная ошибка измерения теплоемкости в интервале от 313 К до 673 К составляла ±1%, а в интервале более 673 К ±2,5%. Погрешность измерения теплоемкости по предлагаемой методике не превышает 4%. В нашем случае погрешность не превышала 1,5%. Вся обработка результатов производилась по программе MS Excel, и графики строились с помощью программы Sigma Plot 10.0. Коэффициент корреляции составил не менее 0,999.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Полученные кривые охлаждения образцов из указанных сплавов (Рис. 2а) описываются уравнением вида

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

где a , b , p , k – постоянные для данного образца, τ – время охлаждения.

Дифференцируя уравнение (2) по τ , получаем уравнение для определения скорости охлаждения образцов из сплавов

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

Значения коэффициентов a , b , p , k , ab , pk в уравнении (3) для исследованных образцов приведены в Таблице 1. Кривые зависимости

Таблица 1. Значения коэффициентов a, b, p, k, ab, pk в уравнении (3) для свинцового баббита Б (PbSb15Sn10) с висмутом и эталона (Pb марки C00)
 Table 1. Values of coefficients a, b, p, k, ab, pk in equation (3) for lead babbitt B (PbSb15Sn10), doped with bismuth, and standard (Pb grade C00)

Содержание висмута в сплаве, 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	264,4384	8,87	309,6798	2,77	2,34	8,59
0,1	264,4451	8,87	316,8860	2,71	2,35	8,60
0,5	264,4453	8,87	318,2858	2,70	2,35	8,60
1,0	264,4412	8,87	316,1812	2,72	2,35	8,59
2,0	264,4506	8,87	314,6935	2,74	2,35	8,61
Эталон	264,4382	8,87	308,6799	2,78	2,34	8,59

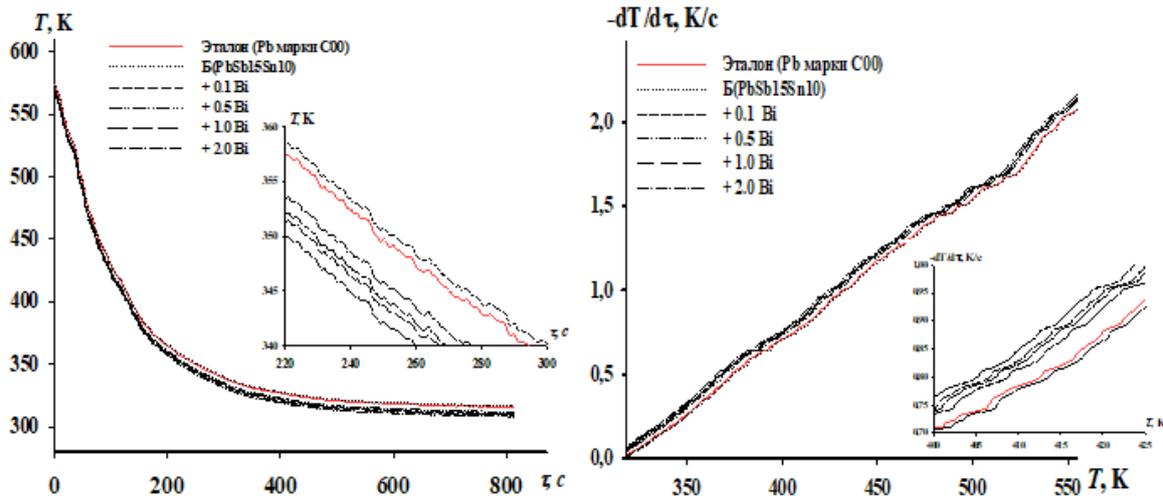


Рис. 2. График зависимости температуры от времени охлаждения (а) и скорости охлаждения от температуры (б) для образцов из свинцового баббита Б (PbSb15Sn10), легированного висмутом, и эталона (Pb марки C00)

Fig. 2. Graph of temperature versus cooling time (a) and cooling rate versus temperature (b) for samples of lead babbitt B (PbSb15Sn10) doped with bismuth and the standard (Pb grade C00)

Таблица 2. Значения коэффициентов a, b, c, d в уравнении (4) для свинцового баббита Б (PbSb15Sn10), легированного висмутом, и эталона (Pb марки C00)
 Table 2. Values of coefficients a, b, c, d in equation (4) for lead Babbitt B (PbSb15Sn10), doped with bismuth, and standard (Pb grade C00)

Содержание висмута в сплаве, мас. %	$a, Дж/(кг \cdot K)$	$b, Дж/(кг \cdot K^2)$	$c \cdot 10^4, Дж/(кг \cdot K^3)$	$d \cdot 10^7, Дж/(кг \cdot K^4)$	Коэффициент корреляции R^2
0,0	150,5740	-0,0852	3,65	-2,97	0,999
0,1	150,5674	-0,0849	3,64	-2,97	0,999
0,5	150,3612	-0,0840	3,63	-2,97	0,999
1,0	150,1215	-0,0828	3,61	-2,96	0,999
2,0	149,9959	0,0824	3,60	-2,95	0,999
Эталон	105,600	0,094	0,085	0,05	1,00

скорости охлаждения от температуры для образцов из свинцового баббита Б (PbSb15Sn10), легированного висмутом, представлены на Рис. 2б.

Далее по рассчитанным значениям величин скоростей охлаждения образцов из сплавов по

уравнению (1) была вычислена удельная теплоемкость свинцового баббита Б (PbSb15Sn10) с висмутом. Затем, проведя полиномиальную регрессию, получили следующее общее уравнение для описания температурной зависимости теплоемкости сплавов:

Таблица 3. Температурная зависимость удельной теплоемкости (Дж/(кг·К)) свинцового баббита Б (PbSb15Sn10), легированного висмутом, и эталона (Pb марки C00)
 Table 3. Temperature dependence of the specific heat capacity (J/(kg·K)) of lead babbitt B (PbSb15Sn10), doped with bismuth, and standard (Pb grade C00)

Содержание висмута в сплаве, мас. %	Т, К					
	300	350	400	450	500	550
0,0	149,84	152,73	155,88	159,08	162,09	164,71
0,1	149,83	152,71	155,84	159,01	161,99	164,57
0,5	149,81	152,69	155,83	159,00	161,98	164,55
1,0	149,78	152,67	155,81	158,99	161,97	164,53
2,0	149,71	152,60	155,75	158,93	161,92	164,49
Эталон	127,50	130,23	132,80	135,24	137,60	139,90

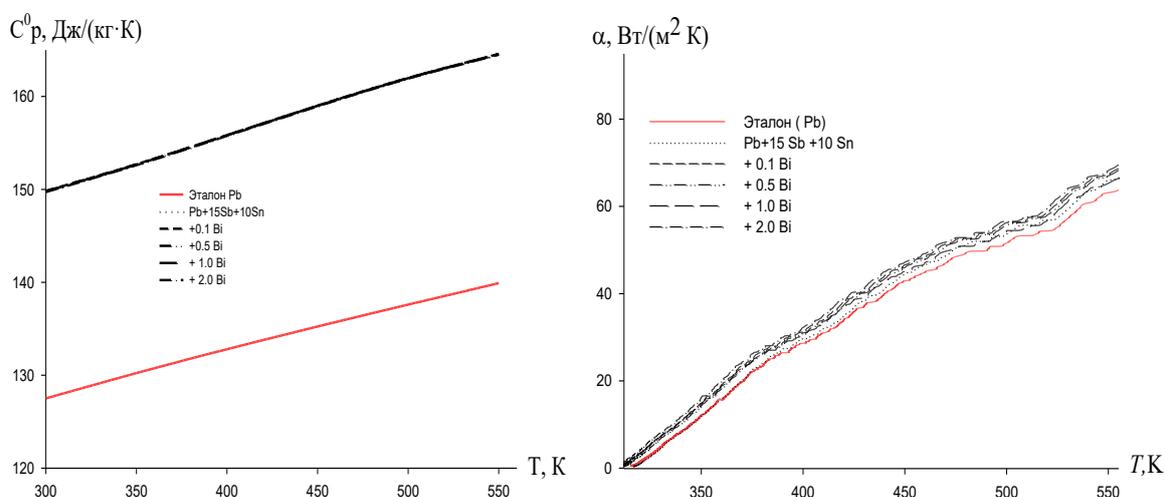


Рис. 3. Температурная зависимость теплоемкость (а) и коэффициента теплоотдачи (б) свинцового баббита Б (PbSb15Sn10) с висмутом и эталона (Pb марки C00)

Fig. 3. Temperature dependence of the heat capacity (a) and heat transfer coefficient (b) of lead babbitt B (PbSb15Sn10) with bismuth and the standard (Pb grade C00)

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

Значения коэффициентов уравнения (4) температурной зависимости теплоемкости для свинцового баббита Б (PbSb15Sn10), легированного висмутом, представлены в Таблице 2.

Результаты расчета температурной зависимости теплоемкости для баббита Б (PbSb15Sn10) с висмутом по формулам (1) и (4) через 50 К представлены в Таблице 3 и на Рис. 3а. Как видно, с ростом температуры и содержания висмута теплоемкость сплавов уменьшается незначительно.

С использованием рассчитанных значений теплоемкости и экспериментально полученных величин скоростей охлаждения образцов нами был вычислен коэффициент теплоотдачи $\alpha(T)$ для свинцового баббита Б (PbSb15Sn10) с висмутом по формуле

$$\alpha = \frac{c_p^0 m \frac{dT}{dt}}{(T - T_0) \cdot S}, \quad (5)$$

где T и T_0 – температура образца и окружающей среды, S и m – площадь поверхности и масса образца соответственно.

На Рис. 3б приведены результаты расчета коэффициента теплоотдачи свинцового баббита Б (PbSb15Sn10) с висмутом в зависимости от температуры. Добавка висмута и температура незначительно уменьшают коэффициент теплоотдачи баббита Б (PbSb15Sn10).

Для расчета температурной зависимости изменений энтальпии, энтропии и энергии Гиббса по (6) – (8) для свинцового баббита Б (PbSb15Sn10) с висмутом были использованы интегралы от удельной теплоемкости по уравнению (4) согласно [16]:

$$[H^0(T) - H^0(T_0)] = \alpha(T - T_0) + \frac{b}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{c}{3}(T^3 - T_0^3) + \frac{d}{4}(T^4 - T_0^4); \quad (6)$$

$$[S^0(T) - S^0(T_0)] = a \ln \frac{T}{T_0} + \frac{b}{2}(T - T_0) + \frac{c}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{b}{3}(T^3 - T_0^3); \quad (7)$$

свинцового баббита Б(PbSb15Sn10) по мере увеличения концентрация висмута уменьшаются, а значения энергии Гиббса увеличиваются.

Таблица 4. Температурная зависимость изменений термодинамических функций свинцового баббита Б(PbSb15Sn10), легированного висмутом, и эталона (Pb марки C00)
Table 4. Temperature dependence of changes in the thermodynamic functions of lead babbitt B (PbSb15Sn10), doped with bismuth, and the standard (Pb grade C00)

Т, К	Эталон	Содержание висмута в сплаве, мас.%				
		0,0	0,1	0,5	1,0	2,0
Энтальпия $[H^0(T) - H^0(T_0)]$, кДж/кг для сплавов						
300	0,235778	0,277122	0,277110	0,277061	0,277000	0,276873
350	6,679815	7,839991	7,839233	7,838207	7,836804	7,833332
400	13,25619	15,55481	15,55231	15,55081	15,54848	15,54184
450	19,95773	23,42931	23,42381	23,42208	23,41904	23,40942
500	26,77911	31,46006	31,45006	31,4481	31,44437	31,43205
550	33,7169	39,6325	39,61625	39,61382	39,60927	39,59464
Энтропия $[S^0(T) - S^0(T_0)]$, кДж/(кг·К) для сплавов						
300	0,000788	0,000927	0,000927	0,000926	0,000926	0,000926
350	0,020650	0,024237	0,024235	0,024232	0,024227	0,024217
400	0,038209	0,044836	0,044829	0,044825	0,044818	0,044799
450	0,053993	0,063382	0,063368	0,063363	0,063354	0,063328
500	0,068365	0,080302	0,080278	0,080273	0,080263	0,080231
550	0,081588	0,095878	0,095843	0,095836	0,095825	0,095788
Энергия Гиббса $[G^0(T) - G^0(T_0)]$, кДж/кг для сплавов						
300	-0,00073	-0,54769	-2,02751	-4,33911	-7,40333	-11,1565
350	-0,00086	-0,64307	-2,3796	-5,09258	-8,69077	-13,1004
400	-0,00086	-0,64302	-2,37933	-5,0918	-8,68907	-13,0972
450	-0,00086	-0,64292	-2,37904	-5,09127	-8,68827	-13,0962
500	-0,00086	-0,6428	-2,37863	-5,09047	-8,68702	-13,0944
550	-0,00086	-0,64251	-2,37759	-5,08829	-8,68337	-13,0890

$$[G^0(T) - G^0(T_0)] = [H^0(T) - H^0(T_0)] - T[S^0(T) - S^0(T_0)], \quad (8)$$

где $T_0 = 298,15$ К.

Результаты расчета изменений основных термодинамических функций свинцового баббита Б(PbSb15Sn10) с висмутом представлены в Таблице 4.

Выводы

1. Получены полиномы температурной зависимости теплоемкости и изменений термодинамических функций (энтальпия, энтропия и энергия Гиббса) для свинцового баббита Б(PbSb15Sn10) с висмутом, которые с коэффициентом корреляции $R_{кор.} = 0,999$ описывают их изменения.

2. Результаты исследования теплоемкости и изменений термодинамических функций свинцового баббита Б(PbSb15Sn10) с висмутом показывают, что легирующий компонент в изученном концентрационном интервале (0,1 – 2,0 мас. %) незначительно уменьшает теплоемкость и коэффициент теплоотдачи исходного сплава. Энтальпия, энтропия

3. Установленные теплофизические и термодинамические характеристики свинцового баббита Б(PbSb15Sn10) с висмутом пополнили страницы соответствующих справочников и могут использоваться при проектировании изделий из них.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Александров В. М. Материаловедение и технология конструкционных материалов. Учебное пособие. Часть 1. Материаловедение. Архангельск : Северный (Арктический) Федеральный университет, 2015. 327 с.
- Лужникова Л. П. Материалы в машиностроении. Т. 1. Цветные металлы и сплавы. М. : 1967. 287 с.
- Хайрулин Р. А., Станкус С. В., Кошелева А. С. Взаимная диффузия в расплавах системы олово-свинец эвтектического и околоэвтектического составов // Теплофизика высоких температур. 2008. Т. 46. № 2. С. 239–245.
- 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.

5. Чуев К. В., Бешевли О. Б., Дуюн Т. А. Моделирование теплового состояния баббита в процессе фрезерования // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2010. № 2 (85). С. 96–101.

6. Семенов А. В., Безносков А. В., Молодцов А. А., Константинов В. Л., Баранова О. В. Экспериментальные исследования теплоотдачи к эвтектике свинец-литий и коррозионных свойств // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Термоядерный синтез. 2006. № 2. С. 40–49.

7. Jauch U., Haase G., Karcher V., Schulz B. Thermophysical properties in the system Li-Pb. Pt. I–III // Kernforschungszentrum Karlsruhe Report 4144. 1986. 82 p.

8. Киров С. А., Козлов А. В., Салецкий А. М., Харабдзе Д. Э. Измерение теплоемкости и теплоты плавления методом охлаждения. Учебное пособие. М. : ООП Физический факультета МГУ им. М. В. Ломоносова, 2022. 26 с.

9. Тарсин А. В., Костерин К. С. Определение теплоемкости металлов методом охлаждения. Лабораторные занятия. Ухта : Ухтинский государственный технический университет, 2014. 98 с.

10. Рогачев Н. М., Гусева С. И. Определение удельной теплоемкости твердых тел: Метод. указания к лабор. работе № 1-23. Самара: Самарский государственный аэрокосмический

университет имени академика С.П. Королева, 2012. 115 с.

11. Ростокин В. И. Исследование зависимости теплоемкости металлов от температуры // Физическое образование в ВУЗах. 2011. Т. 17. № 3. С. 54–65.

12. Ганиев И. Н., Ходжаназаров Х. М., Ходжаев Ф. К., Эшов Б. Б. Теплоемкость и термодинамические функции свинцового баббита БНа (PbSb15Sn10Na), легированного натрием // Журнал физической химии. 2023. № 4. С. 469–475.

13. Ганиев И. Н., Ходжаназаров Х. М., Ходжаев Ф. К., Эшов Б. Б. Температурная зависимость теплоемкости и изменений термодинамических функций свинцового баббита БЛи (PbSb15Sn10Li), легированного литием // Металлург. 2023. № 2. С. 101–106.

14. Ганиев И. Н., Одиназода Х. О., Ходжаев Ф. К., Ходжаназаров Х. М. Теплоемкость и термодинамические свойства свинцового баббита БК (PbSb15Sn10K), модифицированием калием в области 300–550К // Журнал Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2023. № 5. С. 108–113.

15. Ганиев И. Н., Ходжаев Ф. К., Одинаев А. Х., Ходжаназаров Х. М. Влияние бария на теплофизические свойства и термодинамические функции свинцового баббита Б(PbSb15Sn10) // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2024. № 1 (100). С. 76–88.

© 2024 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Ганиев Изатулло Наврузович – академик, доктор химических наук, профессор кафедры «Технология химических производств», Таджикский технический университет имени М. С. Осими (734042, Республика Таджикистан, г. Душанбе, проспект академиков Раджабовых, 10, e-mail: ganievizatullo48@gmail.com).

Махмадуллоев Рахмонали Зафарович – ассистент кафедры «Технология, машины и оборудование полиграфического производства», Таджикский технический университет имени М. С. Осими, (734042, Республика Таджикистан, г. Душанбе, проспект академиков Раджабовых, 10, E-mail: male_lion94@mail.ru).

Ходжаназаров Хайрулло Махмудхонович – к.т.н., старший преподаватель кафедры «Метрология стандартизация и сертификация», Таджикский технический университет имени М. С. Осими (734042, Республика Таджикистан, г. Душанбе, проспект академиков Раджабовых, 10, e-mail: khayrullo.khodzhanazarov@bk.ru).

Одиназода Хайдар Одина – член-корреспондент Национальной академии наук Таджикистана, доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение, металлургические машины и оборудование», Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими (734042, Республика Таджикистан, г. Душанбе, проспект академиков Раджабовых, 10, e-mail: odhaidar@mail.ru).

Заявленный вклад авторов:

Изатулло Наврузович Ганиев – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, выводы, написание текста, научный менеджмент, сбор и теоретический анализ данных, обзор соответствующей литературы, экспериментальные исследования, обработка и анализ их результатов.

Махмадуллоев Рахмонали Зафарович – постановка исследовательской задачи, концептуализация

исследования, выводы, написание текста, научный менеджмент, сбор и теоретический анализ данных, обзор соответствующей литературы, экспериментальные исследования, обработка и анализ их результатов.

Хайрулло Махмудхонович Ходжаназаров – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, выводы, написание текста, научный менеджмент, сбор и теоретический анализ данных, обзор соответствующей литературы, экспериментальные исследования, обработка и анализ их результатов.

Одиназода Хайдар Одина – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, выводы, написание текста, научный менеджмент, сбор и теоретический анализ данных, обзор соответствующей литературы, экспериментальные исследования, обработка и анализ их результатов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

INFLUENCE OF BISMUTH ON THE THERMAL PHYSICAL PROPERTIES AND CHANGES IN THE THERMODYNAMIC FUNCTIONS OF LEAD BABBIT B(PbSb15Sn10)

Izatullo N. Ganiev, Rakhmonali Z. Makhmadulloev,
Khairullo M. Khojanazarov, Haydar O. Odinzoda

Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi

*for correspondence: ganiev48@mail.ru



Article info

Received:

19 July 2024

Accepted for publication:

29 September 2024

Accepted:

10 October 2024

Published:

24 October 2024

Keywords: lead babbitt

B(PbSb15Sn10), bismuth,

"cooling" mode, heat capacity,

heat transfer coefficient,

enthalpy, entropy, Gibbs energy,

temperature dependence.

Abstract.

One of the most important physical properties of lead babbitt is heat capacity. The paper presents the results of a study of the temperature dependence of the specific heat capacity and changes in the thermodynamic functions of lead babbitt B(PbSb15Sn10) doped with bismuth in the "cooling" mode in the range of 298.15–550 K. For this purpose, computer processing of cooling rate curves for samples of lead babbitt B(PbSb15Sn10) with bismuth and the standard, polynomials were obtained that describe their cooling rates. Further, based on the experimentally found values of the cooling rates of the alloy samples and the standard, knowing their masses, their polynomials for the temperature dependence of the heat capacity, which are described by a four-term equation, were established. Using integrals of specific heat capacity, polynomials for the temperature dependence of changes in enthalpy, entropy and Gibbs energy were established for alloys in the range 300-550K. The obtained dependences show that with increasing temperature and bismuth concentration, the heat capacity, enthalpy and entropy of the alloys decrease slightly.

For citation: Ganiev I.N., Mahmadulloev R.Z., Khojanazarov Kh.M., Odinzoda H.O. Influence of bismuth on the thermal physical properties and changes in the thermodynamic functions of lead babbitt B(PbSb15Sn10). *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2024; 5(165):40-49. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2024-5-40-49, EDN: QRJBDF

REFERENCES

1. Alexandrov V.M. Materials science and technology of structural materials. Tutorial. Part 1.

Materials Science, Arkhangelsk: Northern (Arctic) Federal University; 2015. 327 p.

2. Luzhnikova L.P. Materials in mechanical engineering, T. 1. Non-ferrous metals and alloys. M.: 1967. 287 p.

3. Khairulin R.A., Stankus S.V., Kosheleva A.S. Mutual diffusion in melts of the tin-lead system of eutectic and near-eutectic compositions. *Thermophysics of high temperatures*. 2008; 46(2):239–245.

4. Beshevi O.B., Duyun T.A. Features of the thermal state of babbitts during mechanical processing. *Bulletin of BSTU im. V.G. Shukhova*. 2010; 2(85):75–81.

5. Chuev K.V., Beshevi O.B., Duyun T.A. Modeling of the thermal state of babbitt during the milling process. *Vestnik BSTU im. V.G. Shukhova*. 2010; 2(85):96–101.

6. Semenov A.V., Beznosov A.V., Molodtsov A.A., Konstantinov V.L., Baranova O.V. Experimental studies of heat transfer to lead-lithium eutectic and corrosion properties. *Questions of Atomic Science and Technology. Series: Thermonuclear fusion*. 2006; 2:40–49.

7. Jauch U., Haase G., Karcher V., Schulz B. Thermophysical properties in the system Li-Pb. Pt. I–III. Kernforschungszentrum Karlsruhe Report 4144. 1986. 82 p.

8. Kirov S.A., Kozlov A.V., Saletsky A.M., Kharabadze D.E. Measurement of heat capacity and heat of fusion by the cooling method. Textbook M.: OOP Physics Faculty of Moscow State University. M.V. Lomonosova; 2022. 26 p.

9. Tarsin A.V., Kosterin K.S. Determination of the heat capacity of metals by the cooling method.

Laboratory classes. Ukhta: Ukhta State Technical University; 2014. 98 p.

10. Rogachev N.M., Guseva S.I. Determination of the specific heat capacity of solids: Method. instructions to the laboratory work No. 1–23. Samara: Samara State Aerospace University named after Academician S.P. Koroleva; 2012. 115 p.

11. Rostokin V.I. Study of the dependence of the heat capacity of metals on temperature. *Physical education in universities*. 2011; 17(3):54–65.

12. Ganiev I.N., Khodzhazarov Kh.M., Khodzhaev F.K., Eshov B.B. Heat capacity and thermodynamic functions of lead babbitt BNa (PbSb15Sn10Na) doped with sodium. *Journal of Physical Chemistry*. 2023; 4:469–475.

13. Ganiev I.N., Khodzhazarov Kh.M., Khodzhaev F.K., Eshov B.B. Temperature dependence of the heat capacity and changes in the thermodynamic functions of lead babbitt BLi (PbSb15Sn10Li) doped with lithium. *Metallurg*. 2023; 2:101–106.

14. Ganiev I.N., Odinaeva Kh.O., Khodzhaev F.K., Khodzhazarov Kh.M. Heat capacity and thermodynamic properties of lead babbitt BC (PbSb15Sn10K), modified with potassium in the range of 300–550K. *Journal of Forging and Stamping Production. Processing of materials by pressure*. 2023; 5:108–113.

15. Ganiev I.N., Khodzhaev F.K., Odinaev A.Kh., Khodzhazarov Kh.M. The influence of barium on the thermophysical properties and thermodynamic functions of lead babbitt B (PbSb15Sn10). *Bulletin of the Saratov State Technical University*. 2024; 1(100):76–88.

© 2024 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Izatullo N. Ganiev – academician, Doctor of Chemical Sciences, Professor of the Department of Chemical Production Technology, Tajik Technical University named after M.S. Osimi (734042, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Academicians Radjabov Avenue, 10, e-mail: ganievizatullo48@gmail.com).

Rakhmonali Z. Makhmadulloev – assistant of the department “Technology, machines and equipment of printing production”, Tajik Technical University named after M.S. Osimi, (734042, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Academicians Radjabov Avenue, 10, e-mail: male_lion94@mail.ru., tel. Mobile: +992 (90) 106-91-60).

Khairullo M. Khojanazarov – Candidate of Technical Sciences, senior lecturer of the department of “Metrology standardization and certification”, Tajik Technical University named after M.S. Osimi (734042, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Academicians Radzhahov Avenue, 10, e-mail: khayrullo.khodzhazarov@bk.ru., mobile phone: +992 (98) 526-87-37).

Haydar O. Odinaeva - Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Materials Science, Metallurgical Machines and Equipment, Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi (734042, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Academicians Radjabov Avenue, 10, e-mail: odhaidar@mail.ru).

Contribution of the authors:

Izatullo N. Ganiev – research problem statement; conceptualisation of research; drawing the conclusions; writing the text, research problem statement; scientific management; data collection; data analysis, reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; data analysis; drawing the conclusions.

Rakhmonali Z. Makhmadulloev – formulation of the research problem, conceptualization of the study, conclusions, writing the text, scientific management, collection and theoretical analysis of data, review of relevant literature, experimental studies, processing and analysis of their results.

Khairullo M. Khojanazarov – formulation of the research problem, conceptualization of the study, conclusions, writing the text, scientific management, collection and theoretical analysis of data, review of relevant literature, experimental studies, processing and analysis of their results.

Haydar O. Odinzoda – formulation of the research problem, conceptualization of the study, conclusions, writing the text, scientific management, collection and theoretical analysis of data, review of relevant literature, experimental studies, processing and analysis of their results.

All authors have read and approved the final manuscript.

