

УДК 004.942.001.57

DOI: 10.17072/2223-1838-2020-3-257-267

Х.П. Наврузов¹, И.Н. Ганиев¹, Х. Амонулло¹, Б.Б. Эшов², Н.М. Муллоева²¹Институт химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана, Душанбе, Таджикистан²Государственное научное учреждение «Центр исследования инновационных технологий при Национальной академии наук Таджикистана», Душанбе, Таджикистан**ТЕПЛОЕМКОСТЬ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Pb-Zn**

В режиме «охлаждения» путем сравнения кривых охлаждения эталона (Pb марки C00) и исследуемых образцов изучено влияние легирования свинца добавками цинка на теплоемкость и термодинамические функции сплавов. Расчеты проводились с применением компьютерной техники и программы «Sigma Plot». Выполненные исследования показали, что с ростом температуры количество цинка, теплоемкость, коэффициент теплоотдачи, энтальпия и энтропия сплавов увеличиваются, а значения энергии Гиббса при этом уменьшаются.

Ключевые слова: сплавы система Pb-Zn; теплоемкость; коэффициент теплоотдачи; режим «охлаждения»; энтальпия; энтропия; энергия Гиббса

H.P. Navruzov¹, I.N. Ganiev¹, H. Amonullo¹, B.B. Eshov², N.M. Mulloeva²¹Institute of Chemistry named after V.I. Nikitin National Academy of Sciences of Tajikistan, Dushanbe, Tajikistan²State Scientific Institution "Center for Research of Innovative Technologies under the National Academy of Sciences of Tajikistan", Dushanbe, Tajikistan**HEAT CAPACITY AND THERMODYNAMIC FUNCTIONS OF ALLOYS
OF THE Pb-Zn SYSTEM**

In the "cooling" mode, by comparing the cooling curves of the standard (Pb grade C00) and the samples under study, the effect of lead alloying with zinc additions on the heat capacity and thermodynamic functions of alloys was studied. The calculations were carried out using computer technology and the Sigma Plot program. The performed studies have shown that with increasing temperature and the amount of zinc, the heat capacity, heat transfer coefficient, enthalpy and entropy of alloys increase, while the Gibbs energy value decreases.

Keywords: Pb-Zn system alloys; heat capacity; heat transfer coefficient; "cooling" mode; enthalpy; entropy; Gibbs energy

Введение

Сильное влияние на коррозионное поведение свинца как материала анода в условиях анодной поляризации, а также в ее отсутствие оказывают р-элементы в каждой из групп. Такое влияние особенно проявляют элементы, имеющие близкие к свинцу межатомные расстояния, параметры решетки, атомные радиусы и образующие со свинцом твердые растворы и промежуточные фазы [1–3].

Цинк как легирующий компонент свинца относится к d-элементам. Как известно, свойства d-переходных элементов определяются строением внешней электронной оболочки. Это подтверждается данными об энергиях ионизации [4, 5].

Свинец и цинк в жидком состоянии обладают широкой областью несмешиваемости (от 0.9 до 98 мас.% Pb) и ограниченной взаимной растворимостью. Растворимость цинка в свинце при эвтектической температуре составляет 0.05 мас.%. Эвтектика кристаллизуется при содержании 0.5 мас.% свинца в цинке [6].

В растворе серной кислоты присадки цинка к свинцу ускоряют коррозию сплавов [6].

В литературе нет сведений о влиянии добавок цинка на теплоемкость и термодинамические свойства свинца. В связи с этим в настоящей работе была поставлена задача восполнения указанных недостатков.

Теория метода и схема установки для исследования теплоемкости сплавов в режиме «охлаждения»

Удельная теплоемкость вещества зависит от скорости охлаждения тела, нагретого до температуры выше температуры окружающей

среды. Сравнивая между собой при одинаковых условиях скорости охлаждения двух образцов можно по известной теплоемкости эталона найти теплоемкость другого, т.е. исследуемого образца.

Количество тепла dq , теряемого телом с поверхности dS за время $d\tau$, согласно закону охлаждения, пропорционально разности температур поверхности T и окружающей среды T_0

$$dQ = \alpha(T - T_0)dSdT, \quad (1)$$

где α – коэффициент теплоотдачи, являющийся сложной функцией геометрических характеристик тела, состояния поверхности и окружающей среды. Он также зависит от температуры окружающей среды, вязкости, ее плотности, наличия и скорости конвективных токов.

Количество тепла dq по уравнению теплового баланса можно представить как произведение массы элемента на удельную теплоемкость и понижение температуры, произошедшее за то же время $d\tau$:

$$dq = cdm dT = c\rho dV dT. \quad (2)$$

Величину понижения температуры dT , в свою очередь, можно представить как произведение скорости охлаждения $dT/d\tau$ на $d\tau$. Тогда приравнивая выражения (1) и (2), получим

$$\alpha(T - T_0)dSd\tau = c\rho \frac{dT}{d\tau} d\tau dV. \quad (3)$$

Интегрируя обе части, получим для всего образца

$$\int_V c\rho \frac{dT}{d\tau} d\tau dV = \int_S \alpha(T - T_0)dS. \quad (4)$$

Считая, что c , ρ и $dT/d\tau$ одинаковы для любых точек образца, а α , T и T_0 не зависят от координат точек поверхности, будем иметь

$$c\rho \frac{dT}{d\tau} V = \alpha(T - T_0)S. \quad (5)$$

Если возьмем два образца одинаковой формы и размеров (эталона и исследуемого образца) с равными V и S и нагретыми до одной и той же температуры T , то для них

$$\begin{aligned} c_1 \rho_1 \left(\frac{dT}{d\tau}\right)_1 V &= \alpha(T - T_0)S, \\ c_2 \rho_2 \left(\frac{dT}{d\tau}\right)_2 V &= \alpha(T - T_0)S, \end{aligned} \quad (6)$$

отсюда

$$c_1 \rho_1 V \left(\frac{dT}{d\tau}\right)_1 = c_2 \rho_2 V \left(\frac{dT}{d\tau}\right)_2. \quad (7)$$

Так как $\rho_1 V = m_1$ и $\rho_2 V = m_2$, где m_1 и m_2 соответственно массы 1-го и 2-го образца, то

$$c_1 \left(\frac{dT}{d\tau}\right)_1 m_1 = c_2 \left(\frac{dT}{d\tau}\right)_2 m_2 \quad (8)$$

откуда

$$c_2 = c_1 \frac{\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_1 m_1}{\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_2 m_2}. \quad (9)$$

Таким образом, зная теплоемкость эталона, скорости остывания и массы, можно найти теплоемкость исследуемого образца по формуле (9).

Скорости охлаждения образцов определяются по данным кривых охлаждения (термограммы). Термограмма представляет собой зависимость температуры от времени при охлаждении образца в неподвижном воздухе.

Сплавы для исследования получали в графитовых тиглях из свинца марки С00 (ГОСТ 22861-93), металлического цинка марки ЦВ00 (ГОСТ 3640-94), в шахтных лабораторных пе-

чах типа СШОЛ (сопротивление шахтное опытное лабораторное) при температурах 500–600 °С. Взвешиванием контролировали массу шихты и полученных сплавов. При отклонении массы сплавов от веса шихты более чем на 1–2% отн. синтез сплавов проводили заново. Из полученных таким образом сплавов в графитовый кокиль отливали цилиндрические образцы диаметром 16 мм и длиной 30 мм.

По методикам, описанным в работах [6–13], проводилось измерение теплоемкости. Схемы установки для измерения теплоемкости приведены на рис. 1. Электропечь (3) смонтирована на стойке (6), по которой она может перемещаться вверх и вниз (стрелкой показано направление перемещения). Образец (4) и эталон (5) (тоже могут перемещаться) представляют собой цилиндр с высверленными каналами с одного конца, в которые вставлены термопары. Концы термопар подведены к цифровому термометру «Digital Multimeter DI9208L» (7). Электропечь запускается через лабораторный автотрансформатор (ЛАТР) (1), установив нужную температуру с помощью терморегулятора (2). По показаниям цифровых термометров «Digital Multimeter DI9208L», фиксируется значение начальной температуры. Вдвигаем образец и эталон в электропечь и нагреваем до нужной температуры, контролируя температуру по показаниям цифровых термометров «Digital Multimeter DI9208L» на компьютере (8). Образец и эталон одновременно выдвигаем из электропечи и с этого момента фиксируем температуру. Записываем показания цифрового термометра «Digital Multimeter DI9208L» на компьютер через каждый 10 с, до охлаждения температуры образца и эталона.

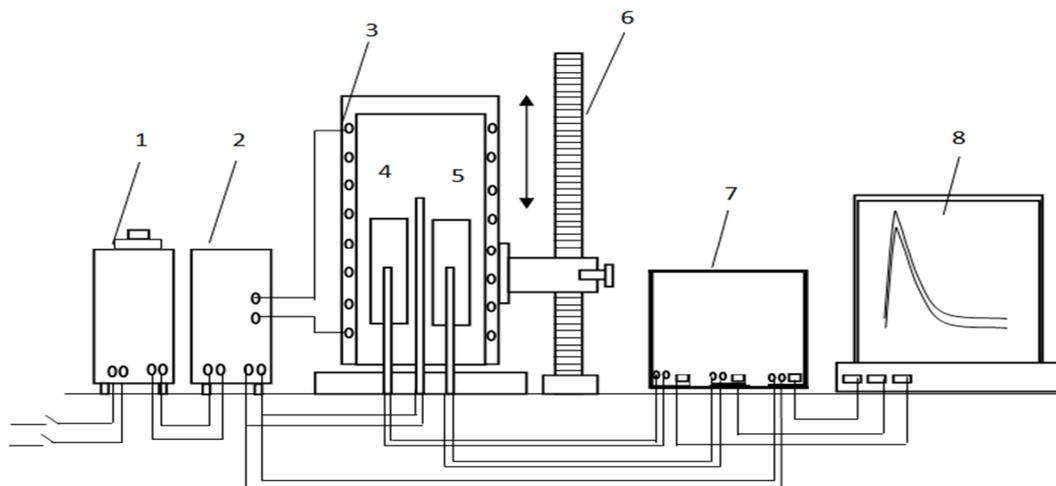


Рис. 1. Установка для определения теплоемкости твердых тел в режиме «охлаждения»

Для измерения температуры использовали многоканальный цифровой термометр, который позволял прямо фиксировать результаты измерений на компьютере в виде таблиц. Точность измерения температуры составляла $0,1^{\circ}\text{C}$. Относительная ошибка измерения температуры в интервале от 40°C до 400°C составляла $\pm 1\%$. Погрешность измерений теплоемкости по предлагаемой методике не превышает 4–6%, в зависимости от температуры. Результаты измерений обрабатывались с помощью про-

граммы MS Excel, а графики строились с использованием программы Sigma Plot. Значения коэффициента корреляции, лежащие в интервале $R_{\text{корр}}=0,9989\div 1,00$, свидетельствуют о правильности выбора аппроксимирующей функции.

Результаты и их обсуждение

Полученные экспериментально кривые охлаждения образцов из сплавов системы Pb-Zn представлены на рис. 2,а.

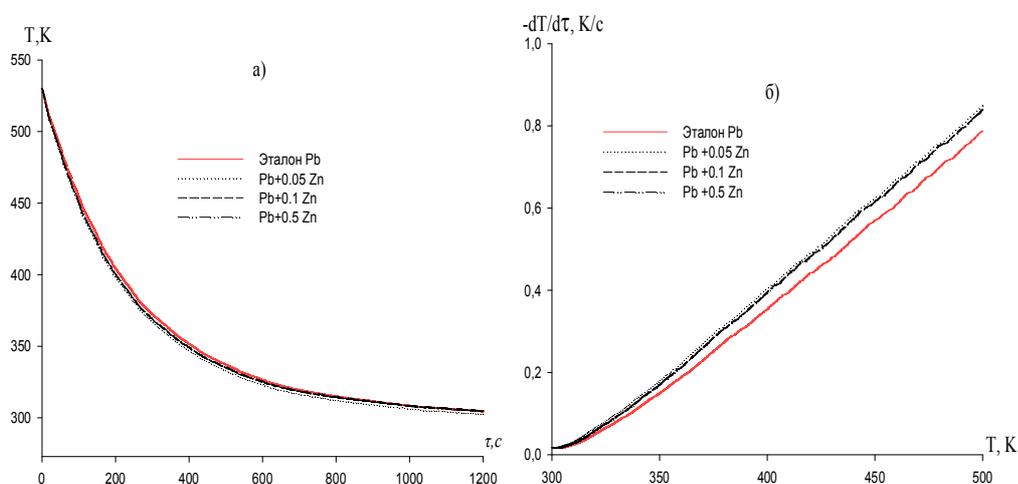


Рис. 2. Зависимость температуры от времени охлаждения (а) и скорости охлаждения образцов из сплавов системы Pb-Zn от температуры (б)

Полученные зависимости температуры сплавов от времени с достаточной точностью описываются уравнением вида

$$T = ae^{-b\tau} + pe^{-k\tau}, \quad (10)$$

где a, b, p, k – постоянные константы для изучаемых образцов, t – время их охлаждения.

Дифференцируя (10) по τ , имеем уравнение для определения скорости охлаждения образ-

цов из сплавов виде зависимости (11), которое представлено на рис. 2,б:

$$\frac{dT}{d\tau} = -abe^{-b\tau} - pke^{-k\tau}. \quad (11)$$

В таблице 1 представлены значения постоянных a, b, p, k, ab, pk в уравнении (11) для исследованных сплавов.

Таблица 1

Значения постоянных a, b, p, k, ab, pk в уравнении (11) для сплавов системы Pb-Zn и эталона (Pb марки С00)

Содержание цинка в свинце, мас.%	a, K	b, c^{-1}	p, K	$k \cdot 10^{-5}, c^{-1}$	$a \cdot b, K \cdot c^{-1}$	$pk \cdot 10^{-2}, K \cdot c^{-1}$
Эталон	209,36	4,33	319,27	4,31	9,07	1,38
0.05 Zn	207,27	4,60	319,12	4,77	9,54	1,52
0.1 Zn	207,28	4,60	321,12	4,73	9,54	1,52
0.5 Zn	207,28	4,60	321,52	4,73	9,54	1,52

Для температурной зависимости удельной теплоемкости сплавов системы Pb-Zn получено общее уравнение типа:

$$c = a + bT + cT^2 + dT^3. \quad (12)$$

В таблице 2 обобщены значения коэффициентов в уравнений (12).

Таблица 2

Значения коэффициентов уравнении (12) для сплавов системы Pb-Zn и эталона (Pb марки С00)

Содержание цинка в свинце, мас.%	$a,$ Дж/кг·К	$b,$ Дж/кг·К ²	$c \cdot 10^{-3},$ Дж/кг·К ³	$d \cdot 10^{-6},$ Дж/кг·К ⁴	Коэффициент корреляции R, %
Эталон	105,600	0,094	-0,085	0,05	1,0
0.05 Zn	-71,074	1,349	-2,960	2,24	0.9988
0.1 Zn	-53,685	1,216	-2,630	1,98	0.9988
0.5 Zn	-72,862	1,362	-2,970	2,24	0.9989

Результаты расчета c по уравнениям (9) и (12) через 50 К представлены в табл. 3 и на рис. 3,а. Теплоемкость сплавов от температуры и концентрации цинка в свинце увеличивается.

Температурную зависимость коэффициента теплоотдачи сплавов системы Pb-Zn вычислили, используя экспериментально полученные

значения скорости охлаждения образцов и их удельную теплоемкость по уравнению:

$$\alpha = \frac{cm \frac{dT}{d\tau}}{(T - T_0) \cdot S}, \quad (13)$$

где T_0 и T – температуры окружающей среды и образца; m , S – масса исследуемого образца и

площадь поверхности, соответственно. Температурная зависимость α для сплавов системы Pb-Zn представлена на рис. 3,б. Видно, что с ростом температуры и добавок цинка в свинце α увеличивается.

Таблица 3

Температурная зависимость c (Дж/(кг·К)) сплавов системы Pb-Zn и эталона (Pb марки С00)

Содержание цинка в свинце, мас.%	Т.К					Рост c , %
	300	350	400	450	500	
Эталон	127,50	130,23	132,80	135,24	137,60	9,6
0.05 Zn	127,67	134,48	138,24	140,65	143,37	12,3
0.1 Zn	127,96	134,74	138,75	141,50	144,46	12,9
0.5 Zn	128,98	136,12	140,18	142,82	145,74	13,0
Рост c , %	1,16	4,5	5,5	5,6	5,9	

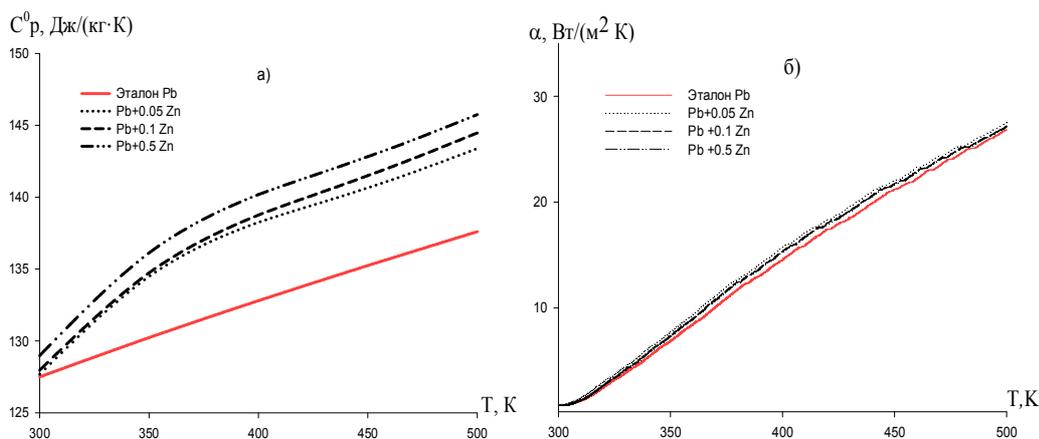


Рис. 3. Температурная зависимость c (а) и α (б) сплавов системы Pb-Zn

Расчет температурной зависимости термодинамических функций сплавов по уравнению

$$[H^0(T) - H^0(T_0)] = a(T - T_0) + \frac{b}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{c}{3}(T^3 - T_0^3) + \frac{d}{4}(T^4 - T_0^4); \quad (14)$$

$$[S^0(T) - S^0(T_0)] = a \ln \frac{T}{T_0} + b(T - T_0) + \frac{c}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{d}{3}(T^3 - T_0^3); \quad (15)$$

$$[G^0(T) - G^0(T_0)] = [H^0(T) - H^0(T_0)] - T[S^0(T) - S^0(T_0)], \quad (16)$$

где $T_0 = 298,15$ К.

ям (14)–(16) проводится с помощью интеграла от удельной теплоемкости по (12):

Результаты расчета температурных изменений энтальпии (14), энтропии (15) и энергии Гиббса (16) сплавов системы Pb-Zn через 500 К представлены в табл.4.

Как известно [14, 15], элементы-модификаторы структуры металлов тормозят их рост, адсорбируясь на зарождающихся кристаллах. Результатом этого является уменьшение поверхностной энергии вновь зарождающихся кристаллов, что в свою очередь способствует образованию сплава с высокодисперсной структурной. По величине обобщенного момента, который характеризует адсорбционную способность металлов в зависимости от эффективности радиуса иона и заряда цинк располагается после свинца ($Pb_{7,1}^{2+}$). Металлы, расположенные правее свинца являются ак-

тивными модификаторами [16]. С учетом этого следует заключить, что увеличение теплоемкости свинца при его легировании цинком объясняется ростом степени гетерогенности структуры свинца. Диффузия в металлах быстрее происходит вдоль границ зерен, нежели в самих зернах. Наличие границ зерен влияет на такие свойства поликристаллов, как внутреннее трение, скольжение, тепловые и теплофизические свойства [17]. Таким образом, рост теплоемкости свинца при легировании его цинком можно объяснить изменением зернистости микроструктуры сплава. Это подтверждают имеющиеся предпосылки о роли модифицирующих добавок в изменении физико-химических и механических свойств сплавов [14, 15].

Таблица 4

Зависимость изменений термодинамических функций сплавов системы Pb-Zn и эталона (Pb марки С00) от температуры

Содержание кадмия в свинце, мас.%	Т.К.				
	300	350	400	450	500
	$[H^0(T) - H^0(T_0^*)]$, кДж/кг для сплавов				
Эталон	0,2358	6,6798	13,2562	19,9577	26,7791
+0.05 Zn	0,2359	6,8060	13,6333	20,6078	27,7037
+0.1 Zn	0,2364	6,8185	13,6642	20,6728	27,8180
+0.5 Zn	0,2383	6,8822	13,7991	20,8765	28,0859
	$[S^0(T) - S^0(T_0^*)]$, кДж/(кг·К) для сплавов				
Эталон	0,0008	0,0206	0,0382	0,0540	0,0684
+0.05 Zn	0,0008	0,0210	0,0393	0,0557	0,0706
+0.1 Zn	0,0008	0,0211	0,0393	0,0558	0,0709
+0.5 Zn	0,0008	0,0213	0,0397	0,0564	0,0716
	$[G^0(T) - G^0(T_0^*)]$, кДж/кг для сплавов				
Эталон	-0,0007	-0,5477	-2,0275	-4,3391	-7,4033
+0.05 Zn	-0,0007	-0,5548	-2,0701	-4,4506	-7,6140
+0.1 Zn	-0,0007	-0,5559	-2,0743	-4,4610	-7,6353
+0.5 Zn	-0,0007	-0,5609	-2,0938	-4,5041	-7,7093

* $T_0 = 298,15 K$

Выводы

1. В режиме «охлаждения» исследована теплоемкость и изменения термодинамических функций сплавов системы Pb-Zn в интервале температуры 300–500 К.

2. Установлено, что легирование свинца цинком увеличивает теплоемкость, коэффициент теплоотдачи, энтальпию и энтропию сплавов и уменьшает величину энергии Гиббса.

3. Показано, что с ростом температуры теплоемкость, энтальпия и энтропия сплавов системы Pb-Zn увеличиваются, а значения энергии Гиббса – уменьшаются.

4. Рост теплоемкости и термодинамических функций свинца при его легировании цинком объясняется ростом степени гетерогенности структуры сплавов.

Библиографический список

1. *Taranjot K., Jeewan Sh., Tejbir S.* Feasibility of Pb-Zn Binary Alloys as Gamma Rays Shielding Materials // *International Journal of Pure and Applied Physics*. 2017. Vol 13, No 1. P. 222–225.
2. *Chikova O.A., Sakun G.V., Tsepelev V.S.* Formation of Cu-Pb alloys by means of liquid metal homogenization // *Russian Journal of Non-Ferrous Metals*. 2016. Vol. 57. P. 580–585.
3. *Asiful H.S., El-Sayed M.S., Sohail M.A., et al.* Microstructure characterization and corrosion resistance properties of Pb-Sb alloys for lead acid battery spine produced by different casting methods // *PLOS ONE* 13(5): e0197227. 8 May 2018.
4. *Osório W.R., Rosa D.M., Garcia A.* Electrochemical behaviour of a Pb-Sb alloy in 0.5M NaCl and 0.5 M H_2SO_4 solutions // *Materials & Design* 2012. No. 34. P. 660–665.
5. *Osório W.R., Freitas E.S., Peixoto L.C., et al.* The effects of tertiary dendrite arm spacing and segregation on the corrosion behavior of a Pb-Sb alloy for lead-acid battery components // *J. Power Sour.* 2012. No. 207. P. 183–190.
6. *Дунаев Ю.Д.* Нерастворимые аноды из сплавов на основе свинца. Алма-Ата: Наука КазССР, 1978. 316 с.
7. *Ibrokhimov N., Ganiev I., Nizomov Z., et al.* Effect of cerium on the thermophysical properties of AMg2 alloy // *The Physics of Metals and Metallography*. 2016. Vol. 117. P. 49–53.
8. *Ganiev I.N., Zokirov F.Sh., Sangov M.M., Ibrokhimov N.F.* Effect of calcium on the temperature dependence of the heat capacity and thermodynamic functions variability of the AK12M2 alloy // *High Temperature*. 2018. Vol. 56. P. 867–872.
9. *Otajonov S.E., Ganiev I.N., Ibrokhimov N.F., Mahmudov M.* Temperature dependence of the heat capacity and change in the thermodynamic functions of strontium-alloyed AK1M2 alloy // *Modern Electronic Materials*. 2018. 4(3). P. 119–124.
10. *Ganiev I.N., Otadzhonov S.E., Ibrokhimov N.F., Makhmudov M.* Temperature dependence of the specific heat and change of the thermodynamic functions of AS1 alloy doped with strontium // *High Temperature*. 2019. Vol. 57. P. 22–26.
11. *Ganiev I.N., Safarov A.G., Odinaev F.R., et al.* Temperature dependence of heat capacity and the variation in thermodynamic function of the AZh 4.5 alloy doped with tin // *Russian Jour-*

- nal of Non-Ferrous Metals. 2019. Vol. 60. P. 139–145.
12. *Ganiev I.N., Safarov A.G., Odinaev F.R., et al.* Temperature dependence of the specific heat and the changes in the thermodynamic functions of a bismuth-bearing AZh4.5 alloy // *Russian Metallurgy (Metally)*. 2020. Vol. 2020. P. 17–24.
13. *Ganiev I.N., Norova M.T., Eshov B.B., et al.* Effect of scandium additions on the temperature dependences of the heat capacity and thermodynamic functions of aluminum–manganese alloys // *Physics of Metals and Metallography*. 2020. Vol. 121. P. 21–27.
14. *Мальцев М.В.* Модифицирование структуры металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1984. 280 с.
15. *Ганиев, И.Н., Пархутик П.А., Вахобов А.В., Куприянова И.Ю.* Модифицирование сплавов стронцием. Минск: Наука и техника, 1985. 152 с.
16. *Брынцева В.И., Дунаев Ю.Д.* В кн.: Кинетики и механизм электрохимических реакций. Алма-Ата: Наука КазССР, 1977. 47 с.
17. *Ван Бюрен.* Дефекты в кристаллах. М.;Л. ИЛ, 1962. 610 с.
1. Taranjot K., Jeewan Sh., Tejbir S. Feasibility of Pb-Zn Binary Alloys as Gamma Rays Shielding Materials // *International Journal of Pure and Applied Physics*. 2017. Vol. 13. No 1. P. 222-225.
2. Chikova O.A., Sakun G.V., Tsepelev V.S. Formation of Cu-Pb alloys by means of liquid metal homogenization // *Russian Journal of Non-Ferrous Metals*. 2016. Vol. 57. P. 580-585.
3. Asiful H.S., El-Sayed M.S., Sohail M.A., Khan M., Muneer B., Mohammad A.A., Nabeel A. Microstructure characterization and corrosion resistance properties of Pb-Sb alloys for lead acid battery spine produced by different casting methods // *PLOS ONE* 13(5): e0197227. 8 May 2018.
4. Osório W.R., Rosa D.M., Garcia A. Electrochemical behaviour of a Pb-Sb alloy in 0.5m NaCl and 0.5 MH₂SO₄ solutions // *Materials & Design* 2012. No. 34. P. 660-665.
5. Osório W.R., Freitas E.S., Peixoto L.C., Spinelli J.E., Garcia A. The effects of tertiary dendrite arm spacing and segregation on the corrosion behavior of a Pb-Sb alloy for lead-acid battery components // *J. Power Sour.* 2012. No. 207. P. 183-190.
6. Dunaev Yu.D. Nerastvorimyye anody iz splavov na osnove svintsya [Insoluble lead alloy anodes]. -Alma-Ata: "Science" of the Kazakh SSR. 1978. 316 p.
7. Ibrokhimov N., Ganiev I., Nizomov Z., Ganieva N., Ibrokhimov S. Effect of cerium on the thermophysical properties of AMg2 alloy // *The Physics of Metals and Metallography*. 2016. Vol. 117. P. 49-53.
8. Ganiev I.N., Zokirov F.Sh., Sangov M.M., Ibrokhimov N.F. Effect of calcium on the temperature dependence of the heat capacity and thermodynamic functions variability of the AK12M2 alloy // *High Temperature*. 2018. Vol. 56. P. 867-872
9. Otajonov S.E., Ganiev I.N., Ibrohimov N.F., Mahmudov M. Temperature dependence of the heat capacity and change in the thermodynamic functions of strontium-alloyed AK1M2 alloy // *Modern Electronic Materials*. 2018. 4(3). P. 119-124.

10. Ganiev I.N., Otadzhonov S.E., Ibrokhimov N.F., Makhmudov M. Temperature dependence of the specific heat and change of the thermodynamic functions of AS1 alloy doped with strontium // High Temperature. 2019. Vol. 57. P. 22-26.
11. Ganiev I.N., Safarov A.G., Odinaev F.R., Yakubov U.Sh., Kabutov K. Temperature dependence of heat capacity and the variation in thermodynamic function of the AZh 4.5 alloy doped with tin // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. 2019. Vol. 60. P. 139-145.
12. Ganiev I.N., Safarov A.G., Odinaev F.R., Yakubov U.Sh., Kabutov K. Temperature dependence of the specific heat and the changes in the thermodynamic functions of a bismuth-bearing AZh4.5 alloy // Russian Metallurgy (Metally). 2020. Vol. 2020. P. 17-24.
13. Ganiev I.N., Norova M.T., Eshov B.B., Ibrokhimov N.F., Ibrokhimov S.Zh. Effect of scandium additions on the temperature dependences of the heat capacity and thermodynamic functions of aluminum–manganese alloys // Physics of Metals and Metallography. 2020. Vol. 121. P. 21-27.
14. Maltsev, M.V. Modifitsirovaniye struktury metallov i splavov [Modification of the structure of metals and alloys]. -M.: Metallurgy, 1984. 280p..
15. Ganiev, I.N., Parkhutik P.A., Vakhobov A.V., Kupriyanova I.Yu. Modifitsirovaniye siluminov strontsiyem [Modification of silumins with strontium]. -Minsk: Science and technology. 1985. 152 p.
16. Bryntseva V.I., Dunaev Yu.D. Kinetiki i mekhanizm elektrokhimicheskikh redaktsiy [In the book: Kinetics and the mechanism of electrochemical revisions]. -Alma-Ata "Naukak" KazSSR. 1977. 47 p.
17. Van Buren. Defekty v kristallakh [Defects in crystals]. M.L. IL. 1962. 610p.

Об авторах

Наврузов Хуршед Парвизович,
магистрант
Институт химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана.
Республика Таджикистан 734063, г. Душанбе,
проспект Айни 299/2.
тел.: (992) 93-144-55-55

Ганиев Изатулло Наврузович,
д.х.н., профессор, академик НАНТ,
зав. лабораторией Института химии В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана
Республика Таджикистан 734063, г. Душанбе,
проспект Айни 299/2.
тел.: (992) 93-572-88-99
E-mail: ganiev48@mail.ru

About the authors

Navruzov Khurshed Parvizovich,
Master's student
Institute of Chemistry named after V.I. Nikitin of the National Academy of Sciences of Tajikistan.
Republic of Tajikistan 734063, Dushanbe, Aini Avenue 299/2,
tel.: (992) 93-144-55-55

Ganiev Izatullo Navruzovich,
Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of NAST, Head. laboratory of the Institute of Chemistry named after V.I. Nikitin of the National Academy of Sciences of Tajikistan,
Republic of Tajikistan 734063, Dushanbe, Aini Avenue 299/2, tel.: (992) 93-572-88-99
E-mail: ganiev48@mail.ru

Хайрулло Амонулло,
к.т.н., ст. научный сотрудник Института химии
им. В.И. Никитина Национальной академии наук
Таджикистана.

Республика Таджикистан 734063, г. Душанбе,
проспект Айна 299/2,
телефон (992) 903-33-40-65;
ст. научный сотрудник «Материаловедения, ме-
таллургические машины и оборудования» Та-
джикского технического университета им. М.С.
Осими.

Республика Таджикистан 734042, г. Душанбе,
проспект Раджабовых 10.
тел.: (992) 903-33-40-65

Эшов Бахтиер Бадалович,
д.т.н., доцент, директор Государственного науч-
ного учреждения «Центр исследования иннова-
ционных технологий при Национальной акаде-
мии наук Таджикистана»

Республика Таджикистан 734063, г. Душанбе,
проспект Айна 299/2.
тел.: (992) 93-488-48-76
E-mail: ishov1967@mail.ru

Муллоева Нукра Мазабшоевна,
зав. лабораторией Государственного научного
учреждения «Центр исследования инновацион-
ных технологий при Национальной академии
наук Таджикистана»

Республика Таджикистан 734063, г. Душанбе,
проспект Айна 299/2.
тел.: (992) 93-415-71-15

Khayrullo Amonullo,
Ph.D., senior researcher of the Institute of Chemistry
named after Nikitin National Academy of Sciences
of Tajikistan. Address: The Republic Of Tajikistan
734063, Dushanbe, 299/2 Ayni Street,
m.t: (992) 903-33-40-65

Eshov Bakhtiyor Badalovich,
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,
Director of the State Scientific Institution "Center for
Research of Innovative Technologies at the National
Academy of Sciences of Tajikistan".

Republic of Tajikistan 734063, Dushanbe, Aini Ave-
nue 299/2.
tel : (992) 93-488-48-76
E-mail: ishov1967@mail.ru

Mulloeva Nukra Mazabshoevna,
Head. laboratory of the State Scientific Institution
"Center for Research of Innovative Technologies at
the National Academy of Sciences of Tajikistan".
Republic of Tajikistan 734063, Dushanbe, Aini Ave-
nue 299/2.
tel.: (992) 93-415-71-15

Информация для цитирования:

Наврузов Х.П., Ганиев И.Н., Амонулло Х., Эшов Б.Б., Муллоева Н.М., Жаворонкова М.С. Теплоемкость и термодинамические функции сплавов системы Pb-Zn // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2020. Т. 10, вып. 3. С. 257–267. DOI: 10.17072/2223-1838-2020-3-257-267.

Navruzov Kh.P., Ganiev I.N., Amonullo Kh., Eshov B.B., Mulloeva N.M., Zhavoronkova M.S. *Теплоемкость и термодинамические функции сплавов системы Pb-Zn* [Heat capacity and thermodynamic functions of alloys of the Pb-Zn system] // Vestnik Permskogo universiteta. Seriya «Khimiya» = Bulletin of Perm University. Chemistry. 2020. Vol. 10. Issue 2. P. 257–267 (in Russ.). DOI:10.17072/2223-1838-2020-3-257-267.