

Оригинальная статья

УДК 621.039.534.54:621.364:634.3

DOI: 10.57070/2304-4497-2022-4(42)-3-10

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ТЕПЛОЕМКОСТИ И ИЗМЕНЕНИЙ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Pb – Te

© 2022 г. С. У. Худойбердизода¹, И. Н. Ганиев², Б. Б. Эшов¹, Н. М. Муллоева¹, С. Э. Отаджонов³

¹Центр по исследованию инновационных технологий НАН Таджикистана (734063, Республика Таджикистан, Душанбе, ул. Айни, 299/3)

²Институт химии им. В.И. Никитина НАН Таджикистана (734063, Республика Таджикистан, Душанбе, ул. Айни, 299/2)

³Худжандский государственный университет имени академика Б. Гафурова (735700, Республика Таджикистан, Худжанд, проезд Мавлонбеков, 1)

Аннотация. Свинец в сравнении с другими металлами обладает малой химической активностью и высокой коррозионной стойкостью. Комплексное легирование свинца сурьмой, теллуром и медью в оптимальных концентрациях позволило получить высокоэффективные сплавы для защитных кабельных оболочек. Свинцовый сплав Pb – Sb – Cu – Te обеспечивает кабельной оболочке высокое сопротивление усталости, ползучести и активной деформации в широкой области температур, а также хорошую технологичность при ее изготовлении. Основой для такого комплекса положительных характеристик является специфическая мелкозернистая термостабильная структура, обуславливающая стабильность свойств в эксплуатации. Сплавы такой композиции находятся на уровне мировых стандартов: они обладают лучшим комплексом эксплуатационных и технологических характеристик по сравнению с наиболее перспективными отечественными и иностранными аналогами. В работе теплоемкость сплавов системы Pb – Te определялась в режиме «охлаждения» по известной теплоемкости эталонного образца из меди марки М00. Получены полиномы, описывающие температурную зависимость теплоемкости и изменений термодинамических функций сплавов. Установлено, что с ростом температуры и содержания теллура теплоемкость, энтальпия и энтропия свинца незначительно увеличиваются, а значения энергии Гиббса уменьшаются.

Ключевые слова: сплавы системы Pb – Te, теплоемкость, режим «охлаждения», энтальпия, энтропия, энергия Гиббса

Для цитирования: Худойбердизода С.У., Ганиев И.Н., Эшов Б.Б., Муллоева Н.М., Отаджонов С.Э. Температурная зависимость теплоемкости и изменений термодинамических функций сплавов системы Pb – Te // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2022. № 4 (42). С. 3–10. [https://doi.org/10.57070/2304-4497-2022-4\(42\)-3-10](https://doi.org/10.57070/2304-4497-2022-4(42)-3-10)

Original article

TEMPERATURE DEPENDENCE OF HEAT CAPACITY AND CHANGES IN THERMODYNAMIC FUNCTIONS OF ALLOYS OF THE Pb – Te SYSTEM

© 2022 S. U. Khudoiberdizoda¹, I. N. Ganiev², B. B. Eshov¹, N. M. Mulloeva¹, S. E. Otadzhonov³

¹State Scientific Institution “Center of Innovation Development of Science and New Technologies” of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan (299/3, Aini str., Dushanbe, 734063, Republic of Tajikistan)

²V.I. Nikitin Institute of Chemistry of the National Academy of Sciences of Tajikistan (299/2, Aini str., Dushanbe, 734063, Republic of Tajikistan)

³Khujand State University named after Academician B. Gafurov (1, Mavlonbekov Passage, Khujand, 735700, Republic of Tajikistan)

Annotation. Lead, in comparison with other metals, has low chemical activity and high corrosion resistance. Complex alloying of lead with antimony, tellurium and copper in optimal concentrations made it possible to obtain highly effective alloys for protective cable sheaths. Pb – Sb – Cu – Te lead alloy provides the cable sheath with high resistance to fatigue, creep and active deformation in a wide temperature range, as well as good manufacturability. The basis for such a complex of positive characteristics is a specific fine-grained thermostable structure, which determines the stability of properties in operation. Alloys of this composition are at the level of world standards: they have the best complex of operational and technological characteristics compared to the most promising domestic and foreign analogues. In the work, the heat capacity of the alloys of the Rb – Te system was determined in the "cooling" mode by the known heat capacity of a reference sample made of copper grade M00. Polynomials describing the temperature dependence of the heat capacity and changes in the thermodynamic functions of alloys are obtained. It is found that with increasing temperature and tellurium content, the heat capacity, enthalpy and entropy of lead increase slightly, and the Gibbs energy values decrease.

Keywords: alloys of the Rb–Te system, heat capacity, "cooling" mode, enthalpy, entropy, Gibbs energy

For citation: Khudoiberdizoda S.U., Ganiev I.N., Eshov B.B., Mulloeva N.M., Otajonov S.E. Temperature dependence of heat capacity and changes in thermodynamic functions of Rb – Te alloys. *Bulletin of the Siberian State Industrial University*. 2022, no. 4 (42), pp. 3–10. [http://doi.org/10.57070/2304-4497-2022-4\(42\)-3-10](http://doi.org/10.57070/2304-4497-2022-4(42)-3-10)

Введение

В современной промышленности широко применяются различные сплавы на основе свинца с добавками различных элементов. Эти сплавы отличаются легкоплавкостью и относительно низкой ценой. Легированные свинцовые сплавы обладают высокими антифрикционными свойствами, что позволяет использовать их в производстве деталей, работающих в условиях трения и скольжения [1].

Для изготовления свинцовых листов обычно используют материалы, которые обладают достаточной конструкционной прочностью, структура таких сплавов представляет собой разнородную систему с включением мягких и твердых элементов в различных пропорциях. Таким образом, получаются детали с гибкой структурой, которая в процессе работы, благодаря наличию мягкого свинца, приспособляется к поверхностям сопряженных механизмов, а наличие твердых элементов обеспечивает высокую прочность и износостойкость изделиям [1, 2].

Основные легирующие элементы свинцовых сплавов: олово, сурьма, кальций, медь, никель, мышьяк, кадмий. Эти элементы вводят для повышения основных физико-химических характеристик конечного металла. Так, мышьяк увеличивает термическую устойчивость, медь минимизирует ликвацию в процессе литья, кадмий улучшает антикоррозионные свойства, никель придает структуре поверхности износостойкость. Особой популярностью пользуются свинцовые сплавы, легированные кальцием (так называемые кальциевые баббиты), которые обладают высокой плотностью и термической устойчивостью. Сопоставимой по объему спроса является еще одна большая группа сплавов:

свинцово-сурьмянистые, применяющиеся в производстве аккумуляторных батарей и изготовлении долговечных оболочек электрических кабелей высокого напряжения [3, 4].

Теплоемкость – это характеристика процесса перехода между двумя состояниями термодинамической системы, которая зависит и от пути процесса (например, от проведения его при постоянном объеме или постоянном давлении), и от способа нагревания или охлаждения (квазистатического или нестатического). Неоднозначность в определении теплоемкости на практике устраняется тем, что выбирают и фиксируют путь квазистатического процесса (обычно оговаривается, что процесс происходит при постоянном давлении, равном атмосферному). При однозначном выборе процесса теплоемкость становится параметром состояния и теплофизическим свойством вещества, образующего термодинамическую систему [5, 6].

Практическое значение исследований теплоемкости важно для расчетов энергетических балансов процессов в химических реакторах и других аппаратах химического производства, а также для выбора оптимальных теплоносителей. Экспериментальное измерение теплоемкости для разных интервалов температур (от предельно низких до высоких) является основным методом определения термодинамических свойств веществ. Обычно измерения теплоемкости проводятся в режиме «нагрева» или «охлаждения» [5, 6].

Теория метода и описание установки

Исследование теплоемкости металлов проводилось по методике, описанной в работах [7 – 13], на установке, схема которой представлена на рис. 1. Прибор основан на применении дина-

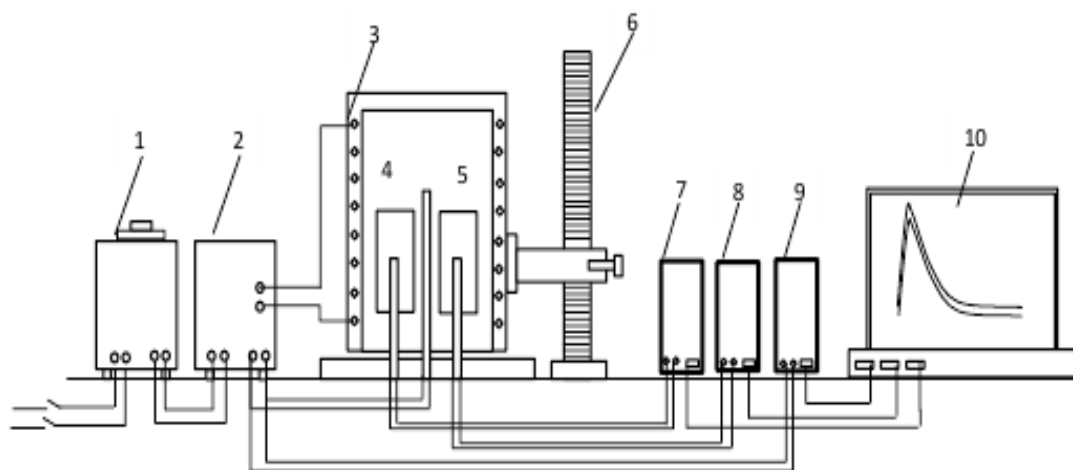


Рис. 1. Схема установки для определения теплоемкости твердых тел в режиме «охлаждения»:

1 – автотрансформатор; 2 – терморегулятор; 3 – электропечь; 4 – образец измеряемый; 5 – эталон; 6 – стойка электропечи; 7 – цифровой термометр измеряемого образца; 8 – цифровой термометр общего назначения; 9 – цифровой термометр эталона; 10 – регистрационный прибор (малый патент Республики Таджикистан № TJ 877, приоритет изобретения от 20.04.2017)

Fig. 1. Installation diagram for determining the heat capacity of solids in the "cooling" mode:

1 – autotransformer; 2 – thermometer; 3 – electric furnace; 4 – measured sample; 5 – reference standard; 6 – electric furnace rack; 7 – digital thermometer of the measured sample; 8 – general purpose digital thermometer; 9 – digital thermometer of the reference standard; 10 – registration device (small patent of the Republic of Tajikistan No. TJ 877, priority of the invention dated 04/20/2017)

мического С-калориметра с адиабатической оболочкой и тепломером.

Установка состоит из следующих узлов: 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 длиной 30 мм и диаметром 16 мм с высверленными каналами с одного конца, в которые вставлены термодатчики. Концы термодатчиков подведены к цифровому многоканальному термометру (7 – 9), который подсоединен к компьютеру 10.

Электропечь включается через автотрансформатор 1, с помощью терморегулятора 2 устанавливается нужная температура. По показаниям цифрового многоканального термометра отмечается значение начальной температуры. Измеряемый образец и эталон устанавливаются в электропечь и нагреваются до нужной температуры, проводится контроль температуры по показаниям цифрового многоканального термометра на компьютере 10. Далее измеряемый образец и эталон одновременно вынимаются из электропечи. С этого момента фиксируется снижение температуры. Записываются показания цифровых термометров на компьютере через фиксированное время 10 с. Образец и эталон охлаждаются до температуры ниже 30 °С.

Одним из методов, позволяющим корректно установить температурную зависимость теплоемкости металлов и сплавов в области высоких температур, является метод сравнения скоростей охлаждения двух образцов (исследуемого и эта-

лонного), по закону охлаждения Ньютона–Рихмана.

Теряемое ранее разогретым телом массой m при его охлаждении на dT градусов количество теплоты δQ рассчитано по формуле

$$\delta Q = C_p^0 m dT, \quad (1)$$

где C_p^0 – удельная теплоемкость вещества, из которого состоит тело.

Допуская, что через поверхность тела происходит потеря энергии, считают, что теряемое через поверхность тела за промежуток времени dt количество теплоты δQ_s будет пропорционально разности температур тела T и окружающей среды T_0 , площади поверхности S и времени:

$$\delta Q_s = -\alpha(T - T_0)S dt, \quad (2)$$

где α – коэффициент теплоотдачи.

Если тело выделяет теплоту так, что температура всех его точек изменяется одинаково, тогда будет справедливо

$$\delta Q = \delta Q_s \text{ и } C_p^0 m dT = -\alpha(T - T_0)S dt. \quad (3)$$

Выражение (3) можно представить в виде

$$C_p^0 m \frac{dT}{dT} = -\alpha(T - T_0)S. \quad (4)$$

Полагая, что C_p^0 , α , T и T_0 в малых интервалах температур не зависят от координат точек

поверхности образца, разогретых до равной температуры окружающей среды, для двух образцов соотношение (4) будет следующим:

$$\frac{C_p^0 m_1}{S_1 \alpha_1} \left(\frac{dT}{d\tau} \right)_1 = - \frac{C_p^0 m_2}{S_2 \alpha_2} \left(\frac{dT}{d\tau} \right)_2, \quad (5)$$

где S_1 , S_2 и α_1 , α_2 – площадь поверхности и коэффициент теплоотдачи эталона и исследуемых образцов.

Применение данного равенства для двух образцов (один из которых является эталоном), имеющих одинаковые состояния обработки поверхностей и размеры ($S_1 = S_2$), позволяет предположить, что их коэффициенты теплоотдачи будут равны $\alpha_1 = \alpha_2$ и это равенство выразится уравнением:

$$C_{p_1}^0 m_1 \left(\frac{dT}{d\tau} \right)_1 = C_{p_2}^0 m_2 \left(\frac{dT}{d\tau} \right)_2. \quad (6)$$

Зная удельную теплоемкость эталона $C_{p_1}^0$, скорости охлаждения эталона $\left(\frac{dT}{d\tau} \right)_1$ и исследуемого образца $\left(\frac{dT}{d\tau} \right)_2$, массы образцов m_1 и m_2 , можно рассчитать теплоемкость неизвестного вещества по формуле

$$C_{p_2}^0 = \frac{C_{p_1}^0 m_1 \left(\frac{dT}{d\tau} \right)_1}{m_2 \left(\frac{dT}{d\tau} \right)_2}. \quad (7)$$

При использовании формулы (7) допускается, что $\alpha_1 = \alpha_2$.

Полученные в ходе эксперимента зависимости температуры от времени охлаждения эталонного образца и образцов из сплавов системы Pb – Te представлены на рис. 2, а и описываются уравнением вида

$$T = ae^{-b\tau} + pe^{-k\tau}, \quad (8)$$

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

Дифференцируя уравнения (8) по времени, получаем уравнение для определения скорости охлаждения образцов из сплавов

$$\frac{dT}{d\tau} = -abe^{-b\tau} - pk^{-k\tau}. \quad (9)$$

По уравнению (9) рассчитана скорость охлаждения образцов из сплавов системы Pb – Te, которая графически представлена на рис. 2, б. Значения коэффициентов a , b , p , k , ab , pk по уравнению (9) для исследованных сплавов приведены в табл. 1.

Температурная зависимость удельной теплоемкости сплавов системы Pb – Te описывается уравнением

$$C_p^0 = a + bT + cT^2 + dT^3. \quad (10)$$

Значения коэффициентов в уравнении (10) представлены в табл. 2.

Результаты расчета по формулам (7) и (10) значений удельной теплоемкости сплавов системы Pb – Te через 50 К представлены в табл. 3. Как видно, с ростом температуры и содержания теллура удельная теплоемкость сплавов увеличивается.

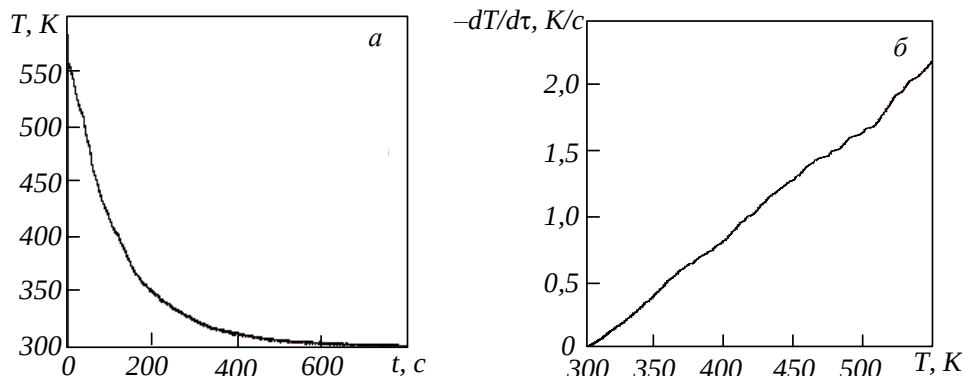


Рис. 2. График зависимости температуры от времени охлаждения (а) и скорости охлаждения образцов от температуры (б) для образцов из сплавов системы Pb – Te:

— эталон (Cu марки М00); – Pb; — — — — + 0,01 Te; — · — · — + 0,05 Te; — — — — + 0,10 Te; — · — · — + 0,50 Te

Fig. 2. Graph of temperature dependence on cooling time (a) and cooling rate of samples from temperature (б) for samples from alloys of the Pb – Te system:

— — philodontox (Cu chodon M00); – Pb; — — — — + 0,01 Te; — · — · — + 0,05 Te; — — — — + 0,10 Te; — · — · — + 0,50 Te

Таблица 1

Значения коэффициентов a, b, p, k, ab, pk в уравнении (2) для сплавов системы Pb – Te и эталона (медь марки М00)

Table 1. The values of the coefficients a, b, p, k, ab, pk in equation (2) for alloys of the system Pb – Te and the reference standard (M00 grade copper)

Содержание теллура в сплаве, % (по массе)	a , К	$b \cdot 10^{-3}$, $^{\circ}\text{C}^{-1}$	p , К	$k \cdot 10^{-4}$, $^{\circ}\text{C}^{-1}$	ab , $\text{K} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$	$pk \cdot 10^{-3}$, $\text{K} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$
0	264,440	8,87	306,18	0,281	2,34	8,59
0,01	264,440	8,87	307,59	0,280	2,35	8,60
0,05	264,440	8,87	307,28	0,280	2,35	8,60
0,10	264,440	8,87	308,08	0,279	2,34	8,59
0,50	264,440	8,87	307,98	0,279	2,34	8,59
Эталон	264,438	8,87	307,18	0,280	2,34	8,59

Температурная зависимость коэффициента теплоотдачи эталона (Cu) и сплавов системы Pb – Te приведены на рис. 3.

Для расчета изменений энтальпии, энтропии и энергии Гиббса по формулам (11) – (13) были использованы интегралы от удельной теплоемкости по уравнению (10):

$$[H^{\circ}(T) - H^{\circ}(T_0)] = a(T - T_0) + \frac{b}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{c}{3}(T^3 - T_0^3) + \frac{d}{4}(T^4 - T_0^4); \quad (11)$$

$$[S^{\circ}(T) - S^{\circ}(T_0)] = a \ln \frac{T}{T_0} + b(T - T_0) + \frac{c}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{d}{3}(T^3 - T_0^3); \quad (12)$$

$$[G^{\circ}(T) - G^{\circ}(T_0)] = [H^{\circ}(T) - H^{\circ}(T_0)] - T[S^{\circ}(T) - S^{\circ}(T_0)].$$

Результаты расчета изменений термодинамических функций для сплавов системы Pb – Te и эталона (Cu марки М00) через 50 К представлены в табл. 4.

Результаты исследования показывают, что при повышении температуры и концентрации теллура удельная теплоемкость, энтальпия и энтропия сплавов системы Pb – Te увеличиваются, а значение энергии Гиббса снижается.

Выводы

В режиме «охлаждения» по известной теплоемкости эталонного образца из меди марки М00 определены теплоемкости сплавов системы Pb – Te. В результате математической обработки получены полиномы, описывающие температурную зависимость теплоемкости и изменений термодинамических функций этих сплавов в интервале температур 300 – 550 К. Полученные данные исследования показывают, что с ростом температуры теплоемкость, энтальпия и энтропия сплавов увеличиваются, а значения энергии Гиббса уменьшаются. Добавки теллура в пределах 0,01 – 0,50 % (по массе) незначительно увеличивает теплоемкость, энтальпию и энтропию сплава. При этом значения энергии Гиббса уменьшаются. Изменение теплоемкости сплавов системы Pb – Te в зависимости от содержания теллура объясняется ростом степени гетеро-

Таблица 2

Значения коэффициентов a, b, c, d в уравнении (10) для сплавов системы Cu – Te и эталона (медь марки М00)

Table 2. The values of the coefficients a, b, c, d in equation (10) for alloys of the system Cu – Te and the reference standard (M00 grade copper)

Содержание теллура в сплаве, % (по массе)	a , Дж/(кг·К)	$b \cdot 10^{-2}$, Дж/(кг·К ²)	$c \cdot 10^{-4}$, Дж/(кг·К ³)	$d \cdot 10^{-7}$, Дж/(кг·К ⁴)	Коэффициент корреляции R^2
Эталон	324,45	27,51	-2,87	0,142	1
Pb	105,60	9,40	-0,85	0,050	1
+ 0,01 Te	105,61	9,40	-0,85	0,050	0,999
+ 0,05 Te	105,65	9,40	-0,85	0,050	0,999
+ 0,10 Te	105,70	9,40	-0,85	0,500	0,999
+ 0,50 Te	106,11	9,33	-0,84	0,490	0,999

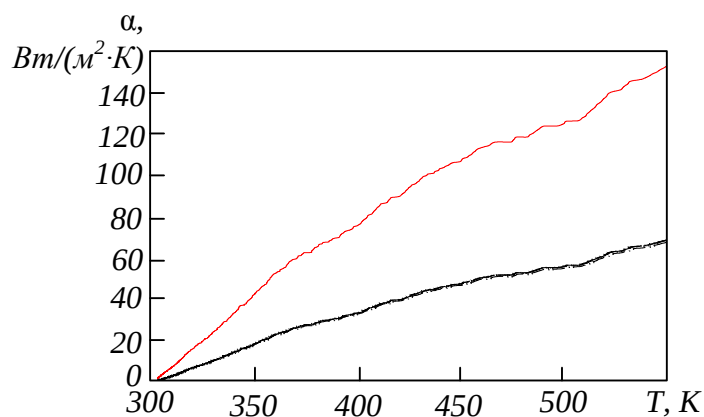


Рис. 3. Температурная зависимость коэффициента теплоотдачи эталона (Cu) и сплавов системы Pb – Te
Fig. 3. Temperature dependence of the heat transfer coefficient of the reference standard (Cu) and alloys of the Pb – Te system

генности структуры сплавов при их легировании теллуром. Рост изменений термодинамических функций сплавов в зависимости от температуры связано с увеличением энергии колебаний кристаллической решетки сплавов системы Pb – Te.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смирнов М.П. Рафинирование свинца и переработка полупродуктов. Москва: Металлургия, 1977. 280 с.
2. Электрохимия металлов и химия амальгам / В.И. Брянцева, Л.А. Цхе, В.Г. Бундже, Ю.Д. Дунаев, Г.З. Кирьяков. Алма-ата: «Наука» Каз. ССР, 1969. 67 с.
3. Худойбердизода С.У., Ганиев И.Н., Отаджонов С.Э., Эшов Б.Б., Якубов У.Ш. Влияние меди на теплоемкость и изменений термодинамических функции свинца // Теплофизика высоких температур. 2021. Т. 59. № 1. С. 55–61.
4. Ганиев И.Н., Окилов Ш.Ш., Эшов Б.Б., Муллоева Н.М., Якубов У.Ш. Температурная зависимость теплоемкости и изменений термодинамических функций свинцово-сурьмяного сплава SSu_3 с калием // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2021. Т. 77. № 1. С. 24–30.
5. Ивлиев А.Д. Метод температурных волн в теплофизических исследованиях // Теплофизика высоких температур. 2009. Т. 47. № 5. С. 771–792.
6. Зиновьев В.Е. Теплофизические свойства металлов при высоких температурах. Москва: Металлургия, 1989. 384 с.
7. Ганиев И.Н., Окилов Ш.Ш., Эшов Б.Б., Муллоева Н.М., Якубов У.Ш. Влияние добавок натрия на температурную зависимость теплоемкости и изменений термодинамических функций свинцово-сурьмяного сплава SSu_3 // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. 2021. № 1. С. 89–94.
8. Худойбердизода С.У., Ганиев И.Н., Эшов Б.Б., Муллоева Н.М., Якубов У.Ш. Влияние теллура на кинетику окисления свинцово-сурьмяного сплава SSu_3 в твердом состоянии // Вестник ТНУ. Серия естественных наук. 2020. № 3. С. 172–180.

Т а б л и ц а 3

Значения удельной теплоемкости сплавов системы
Pb – Te и эталона (медь марки M00)
Table 3. Values of the specific heat capacity of the alloys of the system
Pb – Te and reference standard (copper grade M00)

Содержание меди в сплаве, % (по массе)	C_p^0 , Дж/(кг·К), при T , К					
	300	350	400	450	500	550
Pb	384,98	391,67	397,66	403,07	408,00	412,56
+ 0,01 Te	127,50	130,23	132,80	135,24	137,60	139,90
+ 0,05 Te	127,51	130,24	132,81	135,25	137,61	139,91
+ 0,10 Te	127,53	130,26	132,82	135,27	137,62	139,93
+ 0,50 Te	127,58	130,32	132,88	135,32	137,68	139,99

Изменения термодинамических функций сплавов системы Pb – Te и эталона (медь марки М00)
Table 4. Changes in thermodynamic functions of the alloys of the system Pb–Te and reference standard (copper mark M00)

Содержание теллура в сплаве, % (по массе)	$[H^{\circ}(T) - H^{\circ}(T_0^*)]$, кДж/кг, для сплавов					
	T , К					
	300	350	400	450	500	550
Эталон	0,71199	20,1315	39,8675	59,8880	80,1667	100,6823
Pb	0,23578	6,67982	13,2562	19,9577	26,7791	33,7169
+ 0,01 Te	0,23579	6,68024	13,2570	19,9589	26,7808	33,71894
+ 0,05 Te	0,23583	6,68114	13,2587	19,9614	26,7839	33,7227
+ 0,10 Te	0,23594	6,68422	13,2649	19,9707	26,7964	33,7386
+ 0,50 Te	0,23648	6,69929	13,2941	20,0137	26,8530	33,8086
$[S^{\circ}(T) - S^{\circ}(T_0^*)]$, кДж/(кг·К), для сплавов						
Эталон	0,002381	0,062238	0,114937	0,162092	0,204819	0,243922
Pb	0,000788	0,020650	0,038209	0,053993	0,068365	0,081588
+ 0,01 Te	0,000788	0,020651	0,038212	0,053996	0,068369	0,081593
+ 0,05 Te	0,000789	0,020654	0,038217	0,054004	0,068378	0,081603
+ 0,10 Te	0,000789	0,020664	0,038234	0,054028	0,068409	0,081641
+ 0,50 Te	0,000791	0,020710	0,038319	0,054145	0,068555	0,081812
$[G^{\circ}(T) - G^{\circ}(T_0^*)]$, кДж/кг, для сплавов						
Эталон	-0,00220	-1,65181	-6,10716	-13,0534	-22,2427	-33,475
Pb	-0,00073	-0,54769	-2,02751	-4,33911	-7,40333	-11,1565
+ 0,01 Te	-0,00073	-0,54772	-2,02763	-4,33938	-7,40379	-11,1572
+ 0,05 Te	-0,00073	-0,54786	-2,02805	-4,3402	-7,40513	-11,1591
+ 0,10 Te	-0,00073	-0,54805	-2,02884	-4,34195	-7,40816	-11,1637
+ 0,50 Te	-0,00073	-0,5493	-2,03339	-4,35155	-7,42434	-11,1879

9. Ганиев И.Н., Норова М.Т., Эшов Б.Б., Иброхимов Н.Ф., Иброхимов С.Ж. Влияние добавок скандия на температурную зависимость теплоемкости и изменений термодинамических функций алюминиево-магниевого сплава // Физика металлов и металловедение. 2020. Т. 121. № 1. С. 25–31.
10. Ганиев И.Н., Одинаев Ф.Р., Сафаров А.Г., Якубов У.Ш., Кабутов К. Температурная зависимость теплоемкости и термодинамических функций сплава АЖ 4.5 легированного висмутом // Металлы. 2020. № 1. С. 21–29.
11. Ганиев И.Н., Назарова М.Т., Якубов У.Ш., Сафаров А.Г., Курбонова М.З. Влияния литья на удельную теплоемкость и изменение термодинамических функций алюминиевого сплава АБ1 // Теплофизика высоких температур. 2020. Т. 58. № 1. С. 55–60.
12. Ганиев И.Н., Назарова М.Т., Курбонова М.З., Якубов У.Ш. Влияния натрия на удельную теплоемкость и изменение термодинамических функций алюминиевого сплава АБ1 // Известия Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический институт). 2019. № 51 (77). С. 2–30.
13. Ганиев И.Н., Якубов У.Ш., Назарова М.Т., Курбонова М.З. Влияние добавок калия на

температурную зависимость теплоемкости и изменений термодинамических функций алюминиевого сплава АБ1 // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2019. Т. 75. № 4. С. 16–22.

REFERENCES

1. Smimov M.P. *Lead refining and processing of intermediates*. Moscow: Metallurgiya, 1977, 280 p. (In Russ.).
2. Bryantseva V.I., Tskhe L.A., Bundzhe V.G., Dunaev Yu.D., Kir'yakov G.Z. *Electrochemistry of metals and chemistry of amalgams*. Alma-ata: «Nauka» Kaz. SSR, 1969, 67 p. (In Russ.).
3. Khudoiberdizoda S.U., Ganiev I.N., Otadzhonov S.E., Eshov B.B., Yakubov U.Sh. The influence of copper on the heat capacity and changes in the thermodynamic functions of lead. *Teplofizika vysokikh temperatur*. 2021, vol. 59, no. 1, pp. 55–61. (In Russ.).
4. Ganiev I.N., Okilov Sh.Sh., Eshov B.B., Mulloeva N.M., Yakubov U.Sh. Temperature dependence of heat capacity and changes in thermodynamic functions of lead-antimony alloy CCu3 with potassium. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. A.N. Tupoleva*. 2021, vol. 77, no. 1, pp. 24–30. (In Russ.).

5. Ivliev A.D. The method of temperature waves in thermophysical research. *Teplofizika vysokikh temperatur*. 2009, vol. 47, no. 5, pp. 771–792. (In Russ.).
6. Zinov'ev V.E. Thermophysical features of metals at high temperatures. Moskva: Metallurgiya, 1989, 384 p. (In Russ.).
7. Ganiev I.N., Okilov Sh.Sh., Eshov B.B., Mulloeva N.M., Yakubov U.Sh. The effect of sodium additives on the temperature dependence of the heat capacity and changes in the thermodynamic functions of the lead-antimony alloy SSu3. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta tekhnologii i dizaina. Seriya 1. Estestvennye i tekhnicheskie nauki*. 2021, no. 1, pp. 89–94. (In Russ.).
8. Khudoiberdizoda S.U., Ganiev I.N., Eshov B.B., Mulloeva N.M., Yakubov U.Sh. Effect of tellurium on the kinetics of oxidation of lead-antimony alloy SSu3, in the solid state. *Vestnik TNU. Seriya estestvennykh nauk*. 2020, no. 3, pp. 172–180. (In Russ.).
9. Ganiev I.N., Norova M.T., Eshov B.B., Ib-rokhimov N.F., Ib-rokhimov S.Zh. The effect of scandium additives on the temperature dependence of the heat capacity and changes in the thermodynamic functions of aluminum-magnesium alloys. *Fizika metallov i metallovedenie*. 2020, vol. 121, no. 1, pp. 25–31. (In Russ.).
10. Ganiev I.N., Odinaev F.R., Safarov A.G., Yakubov U.Sh., Kabutov K. Temperature dependence of the heat capacity and thermodynamic functions of a bismuth-doped alloy AJ 4.5. *Metally*. 2020, no. 1, pp. 21–29. (In Russ.).
11. Ganiev I.N., Nazarova M.T., Yakubov U.Sh., Safarov A.G., Kurbonova M.Z. Effects of lithium on the specific heat capacity and changes in the thermodynamic functions of aluminum alloy A1. *Teplofizika vysokikh temperatur*. 2020, vol. 58, no. 1, pp. 55–60. (In Russ.).
12. Ganiev I.N., Nazarova M.T., Kurbonova M.Z., Yakubov U.Sh. Effects of sodium on specific heat capacity and changes in thermodynamic functions of aluminum alloy AB1. *Izvestiya Sankt-Peterburgskii gosudarstvennyi tekhnologicheskii institut (tekhnicheskii institut)*. 2019, no. 51 (77), pp. 2–30. (In Russ.).
13. Ganiev I.N., Yakubov U.Sh., Nazarova M.T., Kurbonova M.Z. The effect of potassium additives on the temperature dependence of the heat capacity and changes in the thermodynamic functions of aluminum alloy AB1. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im A.N. Tupoleva*. 2019, vol. 75, no. 4, pp. 16–22. (In Russ.).

Сведения об авторах

Саидмири Убайдулло Худойбердизода, старший научный сотрудник, Центр по исследованию инновационных технологий НАН Таджикистана
E-mail: saidmir010992@mail.ru
ORCID: 0000-0002-5797-2738

Изатулло Наврузович Ганиев, академик НАНТ, д.х.н., профессор, заведующий лабораторией, Институт химии В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана
E-mail: ganiev48@mail.ru
ORCID: 0000-0002-2791-6508

Бахтиёр Бадалович Эшов, д.т.н., доцент, директор, Центр исследования инновационных технологий при Национальной академии наук Таджикистана
E-mail: ishov1967@mail.ru

Нукра Мазабишоевна Муллоева, к.х.н., заведующий лабораторией, Центр по исследованию инновационных технологий НАН Таджикистана
E-mail: mulloeva.1984@mail.ru

Сухроб Эргашалиевич Отаджонов, старший преподаватель кафедры общей физики и твердого тела, Худжандский государственный университет имени Б. Гафурова
E-mail: suhrob_22.10.91@mail.ru
ORCID: 0000-0002-3362-8529

Information about the authors

Saidmiri U. Khudoiberdizoda, Senior Researcher, Centre for Innovative Development of Science and New Technologies at the National Academy of Sciences of Tajikistan
E-mail: saidmir010992@mail.ru
ORCID: 0000-0002-5797-2738

Izatullo N. Ganiev, Academician at NAST, doctor of chemical sciences, professor, head of the laboratory, V.I. Nikitin Institute of Chemistry of the National Academy of Sciences of Tajikistan
E-mail: ganiev48@mail.ru
ORCID: 0000-0002-2791-6508

Bakhtier B. Eshov, Doctor of Engineering Science, associate lecturer, director, State Scientific Institution “Center of Innovation Development of Science and New Technologies” of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan
E-mail: ishov1967@mail.ru

Nukra M. Mulloeva, Candidate of Chemical Sciences, head of the laboratory, State Scientific Institution “Center of Innovation Development of Science and New Technologies” of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan
E-mail: mulloeva.1984@mail.ru

Sukhrob E. Otadzhonov, Senior lecturer of the Department of General Physics and Solid State, Khujand State University named after Academician B. Gafurov
E-mail: suhrob_22.10.91@mail.ru
ORCID: 0000-0002-3362-8529

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
 The authors declare that there is no conflict of interest.

Поступила в редакцию 01.04.2022
 После доработки 23.09.2022
 Принята к публикации 01.11.2022

Received 01.04.2022
 Revised 23.09.2022
 Accepted 01.11.2022