ISSN 1999-4125 (Print) **ISSN 2949-0642 (Online)**

Научная статья
УДК 669.77:621
DOI: 10.26730/1999-4125-2024-1-34-42

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ТЕПЛОЕМКОСТИ И ИЗМЕНЕНИЙ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОВОДНИКОВОГО СПЛАВА AlTi0,1 С НАТРИЕМ

Изатулло Наврузович Ганиев[1], Гулноза Мухриевна Рахматуллоева[2], Фуркатшох Шахриерович Зокиров[3], Бахтиер Бадалович Эшов[2], Нигора Аминовна Аминова[2], Саидмири Убайдулло Худойбердизода[2]

[1]ГНУ «Институт химии им. В.И. Никитина НАН Таджикистана»
[2]ГУ «Центр по исследованию инновационных технологий НАН Таджикистана»
[3]Таджикский технический университет им. М.С. Осими

*для корреспонденции: ganiev48@mail.ru

CC BY

Информация о статье
Поступила:
08 декабря 2023 г.

Одобрена после рецензирования:
15 февраля 2024 г.

Принята к публикации:
29 февраля 2024 г.

Опубликована:
12 марта 2024 г.

Ключевые слова:
алюминиевый проводниковый сплав AlTi0,1, натрий, режим «охлаждения», теплоемкость, коэффициент теплоотдачи, энтальпия, энтропия, энергии Гиббса.

Аннотация.
В работе теплоемкость алюминиевого проводникового сплава AlTi0,1 с натрием определялась в режиме «охлаждения» по известной теплоемкости эталонного образца из алюминия марки A5N. Путем математических обработок кривых скоростей охлаждения образцов из сплава AlTi0,1 с натрием и эталона получены полиномы, описывающие их скорости охлаждения. Далее по экспериментально найденным величинам скоростей охлаждения образцов из сплавов и эталона при известности их масс были установлены полиномы температурной зависимости теплоемкости сплавов, которые описываются четырехчленным уравнением. С использованием интегралов от удельной теплоемкости были установлены модели температурной зависимости изменений энтальпии, энтропии и энергии Гиббса.
Установлено увеличение с ростом температуры и содержания натрия теплоемкости сплавов. Показано, что добавка натрия увеличивает энтальпию и энтропию исходного сплава AlTi0,1и уменьшает величину энергии Гиббса.

Для цитирования: Ганиев И.Н., Рахматуллоева Г.М., Зокиров Ф.Ш., Эшов Б.Б., Аминова Н.А., Худойбердизода С.У. Температурная зависимость теплоемкости и изменений термодинамических функций алюминиевого проводникового сплава AlTi0,1 с натрием // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2024. № 1 (161). С. 34-42. DOI: 10.26730/1999-4125-2024-1-34-42, EDN: BSBWVS

Литейные сплавы, предназначенные для отливки фасонных деталей в песчаные формы, кокиль, литьем под давлением и другими способами, должны обладать хорошими литейными свойствами: высокой текучестью, сопротивляемостью образованию горячих трещин, малой склонностью к образованию рассеянной пористости. Для этого они должны иметь небольшой интервал кристаллизации и содержать достаточно большое количество эвтектической жидкости, кристаллизующейся при постоянной температуре или в узком интервале температур [1-3].

Теплофизические свойства алюминия и его сплавов как стратегического материала представляют собой важнейший раздел физики твердого тела, от решения насущных задач которого зависят многие нерешенные до настоящего времени фундаментальные проблемы термодинамики конденсированных сред, особенно если учесть их исключительную важность с научно-технической точки зрения. Исследования в этом направлении необходимы для создания многих новых композиционных материалов на основе алюминия с лучшими и принципиально новыми физическими свойствами [4-5].

Высокочистые сплавы на основе алюминия, познание их природы и знание их структуры и свойств позволяют резко изменить в лучшую сторону эксплуатационные характеристики приборов, а также служат источником для расширения сферы применения алюминия в других областях науки и техники, а порой раскрывают у них новые свойства. В этом плане работа, связанная с использованием новых алюминиевых сплавов, является актуальной и своевременной [6-8].

К сожалению, на сегодняшний день остались незаслуженно обойденными вниманием исследователей вопросы разработки теоретических основ для выбора нужных композиций, к числу которых относятся исследования физико-химических свойств сплавов на основе алюминия. К числу таких систем можно отнести алюминиево-титановые сплавы AlTi0,1 с участием щелочных металлов [9-11].

Целью данной работы является экспериментальное исследование температурной зависимости удельной теплоемкости и термодинамических функций алюминиевого проводникового сплава AlTi0,1.

СХЕМА УСТАНОВКИ И МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОЕМКОСТИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

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 устраняют 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.

Теплоемкость гетерогенных систем представляет наиболее сложный случай для термодинамического анализа. На диаграмме состояния перемещение вдоль кривой равновесия фаз сопровождается изменением и p, и T. Если в процессе нагрева происходит смещение точки фазового равновесия, то это дает дополнительный вклад в теплоемкость, поэтому теплоемкость гетерогенной системы не равна сумме теплоемкостей составляющих ее фаз, но превосходит ее. На фазовой диаграмме при переходе от гомогенного состояния к области существования гетерогенной системы теплоемкость испытывает скачок.

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 производятся на установке ИТС-400, предназначенной для исследования температурной зависимости удельной теплоемкости [9,10]. Нами исследование теплоемкости металлов проводилось на установке, схема которой представлена на Рис. 1. Данный прибор основан на применении динамического 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 диаметром 16 мм с высверленными каналами с одного конца, в которые вставлены термопары (4 и 5). Концы термопар подведены к цифровым многоканальным термометрам (7, 8, 9), которые подсоединены к компьютеру (10).

Включаем электропечь (3) через автотрансформатор (1), установив нужную температуру с помощью терморегулятора (2). По показаниям цифровых многоканальных термометров (7, 8, 9) отмечаем значение начальной температуры. Вдвигаем измеряемый образец (4) и эталон (5) в электропечь (3) и нагреваем до нужной температуры, контролируя температуру по показаниям цифровых многоканальных термометров на компьютере (10). Далее измеряемый образец (4) и эталон (5) одновременно выдвигаем из электропечи (3). С этого момента фиксируем снижение температуры. Записываем показания цифровых

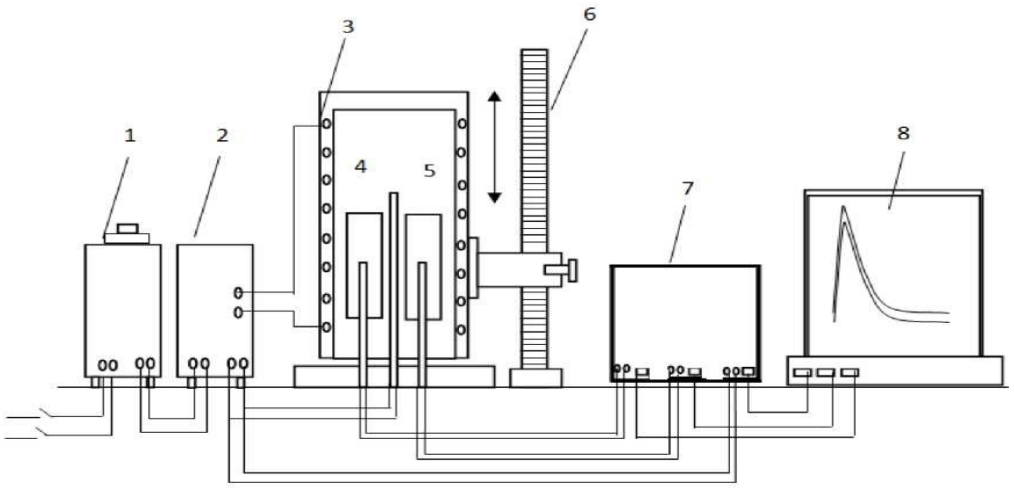

Рис. 1. Схема установка для определения теплоемкости твердых тел в режиме «охлаждения»
Fig. 1. Installation diagram for determining the heat capacity of solids in the "cooling" mode

термометров (7, 8, 9) на компьютере (10) через фиксированное время 10 с. Охлаждаем образец и эталон ниже 30^{0}С.

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.

Зная удельную теплоемкость эталона $C_{p_1}^0$, скорости охлаждения эталона $\left(\frac{dT}{dt}\right)_1$ и исследуемого образца $\left(\frac{dT}{dt}\right)_2$ и массы образцов m_1 и m_2, можно рассчитать теплоемкость исследуемого вещества $C_{p_2}^0$ по:

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

Правомочность использования данного уравнения для определения теплоемкости твердых тел представлен в работах [9-11]. При использовании формулы (1) можно допустить, что $\alpha_1 = \alpha_2$.

Теплоемкость алюминиевого сплава AlTi0,1 с натрием измеряли в режиме «охлаждения» по методикам, описанным в работах [12-15]. Обработка результатов измерений и построение графиков производилось с помощью программ MS Excel и Sigma Plot. Значения коэффициента корреляции составляли величину $R_{корр} \succ 0{,}9999$, подтверждая правильность выбора аппроксимирующей функции. Относительная ошибка измерения температуры в интервале от 40^{0}С до 400^{0}С составляла ±1%, а в интервале более 400^{0}С ±2,5%. Погрешность измерения теплоемкости по предлагаемой методике в нашем случае составила 1,2%.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для получения сплавов при температурах 750-800^{0}С была использована шахтная печь типа СШОЛ. Шихтовка сплавов проводилась с учетом угара металлов. Количество добавки натрия в сплаве AlTi0,1 составило 0.01-0.5 мас.%.

Сплавы получены из алюминия марки А7 (ГОСТ 11069-2019), алюминиево-титановой лигатуры с 2 мас.% титана и натрия металлического (ГОСТ 3273-75). Химический анализ сплавов проводился в центральной заводской лаборатории ОАО «Таджикская алюминиевая компания «ТАлКо», а также контрольным взвешиванием шихты и полученных сплавов. В случае отклонения массы сплавов от массы шихты более чем на 2% отн. синтез сплавов проводился заново.

Экспериментально полученные кривые охлаждения образцов из алюминиевого сплава AlTi0,1, легированного натрием, представлены на Рис. 2а и описываются уравнением вида

$$T = ae^{-bt} + pe^{-kt}, \quad (2)$$

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

Указанное уравнение нами получено математической обработкой кривых охлаждения образцов из сплавов.

Дифференцируя (2) по *t*, получаем уравнение для определения скорости охлаждения образцов:

$$\frac{dT}{d\tau} = a \cdot b\, exp\ \ (-b \cdot \tau) - p \cdot k\, exp(-k\tau). \quad (3)$$

Значения коэффициентов *a, b, p, k, ab, pk* в уравнении (3) для исследованных сплавов приведены в Таблице 1. Кривые зависимости скорости охлаждения от температуры для образцов из сплава AlTi0,1 с натрием представлены на Рис. 2б. Рассчитанные зависимости скорости охлаждения образцов от температуры (-dT/d τ -f(T)) для алюминиевого сплава AlTi0,1, легированного натрием, представлены в Таблице 2.

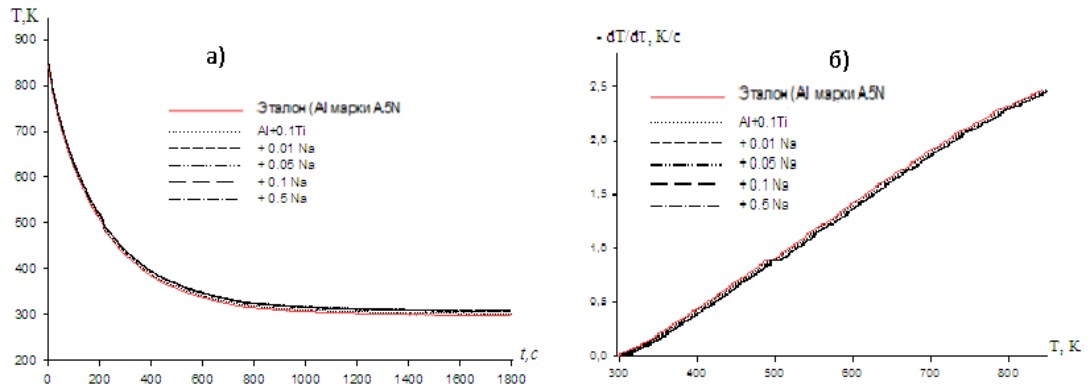

Рис. 2. График зависимости температуры от времени охлаждения (а) и скорости охлаждения от температуры (б) для образцов из алюминиевого сплава AlTi0,1 с натрием и эталона (Al A5N)
Fig. 2. Graph of temperature versus cooling time (a) and cooling rate versus temperature (b) for samples made of aluminum alloy AlTi0.1 with sodium and a reference (Al A5N)

Таблица 1. Значения коэффициентов *a, b, p, k, ab, pk,* в уравнении (8) для алюминиевого сплава AlTi0,1 с натрием и эталона (Al A5N)
Table 1. Values of the coefficients a, b, p, k, ab, pk, in equation (8) for the aluminum alloy AlTi0.1 with sodium and the standard (Al A5N)

Содержание натрия в сплава, мас.%	*a, K*	$b \cdot 10^{-3}$, c^{-1}	*p, K*	$\kappa \cdot 10^{-5}$, c^{-1}	$a \cdot b, Кc^{-1}$	$p\kappa \cdot 10^{-3}$, $K \cdot c^{-1}$
0.0	512,05	4,82	316,43	2,96	2,47	9,35
0.01	512,06	4,82	321,41	2,91	2,47	9,34
0.05	512,07	4,82	322,40	2,90	2,47	9,34
0.1	512,08	4,82	323,03	2,89	2,47	9,34
0.5	512,09	4,82	323,63	2,89	2,47	9,34
Эталон	512,09	4,82	312,44	2,99	2,47	9,36

Таблица 2. Значения коэффициентов *a, b, c, d,* в уравнении (4) для алюминиевого сплава AlTi0,1 с натрием и эталона (Al A5N)
Table 2. Values of coefficients a, b, c, d, in equation (4) for the aluminum alloy AlTi0.1 with sodium and the standard (Al A5N)

Содержание натрия в сплаве, мас.%	*a, Дж /(кг·К)*	*b, Дж /(кг·К²)*	*c*·10⁻³, *Дж (кг·К³)*	*d*·10⁻⁶, *Дж /(кг·К⁴)*	Коэффициент корреляции R^2.
0.0	690,11	1.010	1.27	9.08	0.9999
0.01	689,43	1.012	1.29	9.12	0.9999
0.05	689.56	1.012	1.31	9.14	0.9999
0.1	689.72	1.012	1.34	9.18	0.9999
0.5	691.08	1.012	1.40	9.21	0.9999
Эталон	690.34	1.010	1.27	9.13	1.0000

Далее по рассчитанным значениям величин скоростей охлаждений образцов из сплава AlTi0,1 с натрием и теплоемкости эталона по уравнению (1) была вычислена удельная теплоемкость сплавов. В результате математической обработки кривых зависимостей удельной теплоемкости сплавов от температуры было получено следующее общее уравнение температурной зависимости удельной теплоемкости алюминиевого сплава AlTi0,1 с натрием и эталона (Al A5N)

$$C_{P_0}^0 = a + bT + cT^2 + dT.^3 \quad (4)$$

Значения коэффициентов *a, b, c, d,* в уравнении (4) представлены в Таблице 2.

Результаты расчета удельной теплоемкости вышеуказанных сплавов по формулам (1) и (4) через 50 К представлены в Таблице 3 и на Рис. 2а. Сравнение полученных нами данных температурной зависимости теплоемкости для алюминия с данными, представленными в справочнике [16], показывает их хорошую сходимость.

Таблица 3. Температурная зависимость удельной теплоемкости ((Дж/(кг · К)) алюминиевого сплава AlTi0,1 с натрием и эталона (Al A5N)
Table 3. Temperature dependence of specific heat capacity (aluminum alloy AlTi0.1 with sodium and standard (Al A5N)

Содержание натрия в сплаве, мас.%	T.K					
	300	400	500	600	700	800
0.0	903,32	949,02	991,11	1035,03	1086,25	1150,20
0.01	903,35	949,40	991,93	1036,42	1088,35	1153,18
0.05	903,48	949,53	992,06	1036,55	1088,48	1153,31
0.1	903,65	949,69	992,22	1036,72	1088,64	1153,47
0.5	904,95	950,92	993,33	1037,64	1089,31	1153,80
Эталон	903,70	949,58	991,97	1036,35	1088,20	1153,00

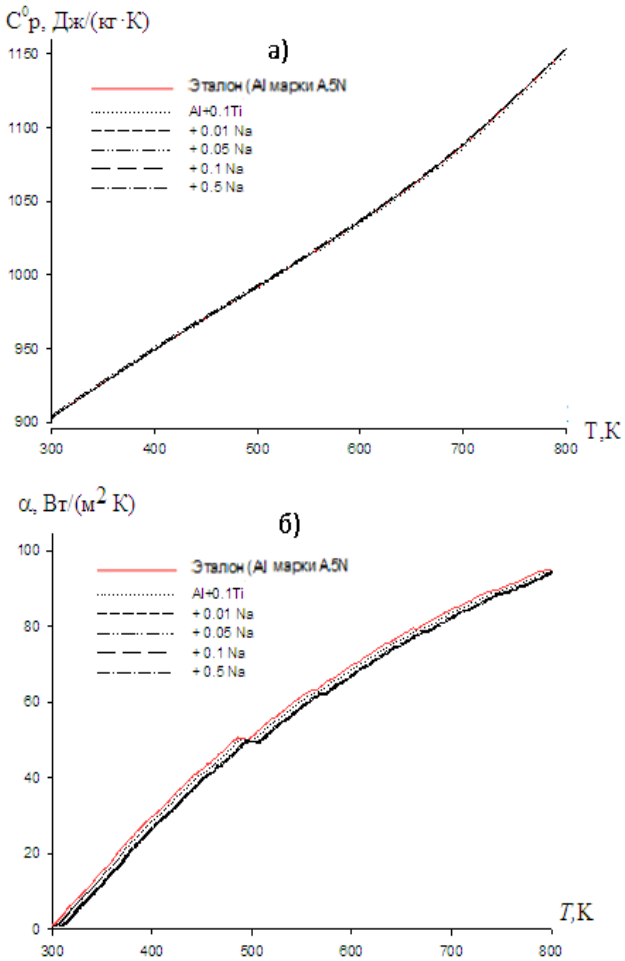

Рис. 3. Температурная зависимость удельной теплоемкости (а) и коэффициент теплоотдачи (б) сплава AlTi0,1 с натрием
Fig. 3. Temperature dependence of the specific heat capacity (a) and heat transfer coefficient (b) of the AlTi0.1 alloy with sodium

С использованием вычисленных данных по теплоемкости алюминиевого сплава AlTi0,1 с натрием и экспериментально полученных величин скоростей охлаждения образцов нами был рассчитан коэффициент теплоотдачи α(T) (Вт/(К·м2)) для алюминиевого сплава AlTi0,1 с натрием по следующей формуле:

$$\alpha = \frac{C_P^0 m \frac{dT}{d\tau}}{(T-T_0)\cdot S}. \quad (5)$$

Для алюминиевого сплава AlTi0,1 с натрием температурная зависимость коэффициента

теплоотдачи представлена на Рис. 3б. Видно, что от содержания натрия коэффициент теплоотдачи сплава AlTi0,1 растет, а с ростом температуры уменьшается.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в режиме «охлаждения» по известной теплоемкости эталонного образца из алюминия марки A5N установлена теплоемкость алюминиевого проводникового сплава AlTi0,1 с натрием. В результате математической обработки получены полиномы, описывающие температурную зависимость теплоемкости и изменений термодинамических функций вышеуказанных сплавов в интервале температур 300-800 К. С помощью полученных зависимостей показано, что с ростом содержания натрия теплоемкость сплавов увеличивается, а значение энергии Гиббса уменьшается. Изменение теплоемкости сплава AlTi0,1 от содержания натрия объясняется ростом степени гетерогенности структуры сплавов при их модифицировании натрием. Рост изменений термодинамических функций сплавов от температуры связан с увеличением энергии колебаний кристаллической решетки сплава AlTi0,1 с натрием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мальцева Т. В., Озерец Н. Н., Левина А. В., Ишина Е. А. Литейные алюминиевые сплавы // Цветные металлы и сплавы. Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2019. С. 40–53.
2. Вахобов А. В., Обидов Ф. У., Вахобова Р. У. Высокочистый алюминий и его сплавы / в 2-х т. Душанбе : НПИ Центр, 1990. Т. 1. 175 с.
3. Вахобов А. В., Обидов Ф. У., Вахобова Р. У. Высокочистый алюминий и его сплавы / в 2-х т. Душанбе : НПИ Центр, 1990. Т. 2. 232 с.
4. Алюминиевые сплавы (Состав, свойства, технология, применение.) Справочник под общей редакцией И.Н. Фридляндера. Киев : Коминтех. 2005. 365 с.
5. Мирзоев Ф. М. Теплофизические свойства алюминия различной степени чистоты и сплавов системы Al-Si. Автореферат диссертации. 2019. 26 с.
6. Золоторевский В. С., Белов Н. А. Металловедение литейных алюминиевых сплавов. М. : МИСиС, 2005. 376. с.
7. Луц А. Р., Суслина А. А. Алюминий и его сплавы. Самара : Самарский гос. техн. ун-т, 2013. 81 с.
8. Мондольфо Л. Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов. М. : Металлургия, 1979. 640 с.
9. Яценко С. П., Сабирзянов А.Н. Повышение качества алюминиевых сплавов путем легирования «Мастер-сплавом» // Вестник Курганского государственного университета. Серия: Технические науки. 2006. № 5–1. С. 174–176.
10. Теплопроводность твердых тел. Справочник под редакцией Охотина А. С. / М. : Энергоатомиздат, 1984. 321 с.
11. Тарсин А. В., Костерин К. С. Определение теплоемкости металлов методом охлаждения. Лабораторные занятия. Ухта : Ухтинский государственный технический университет, 2014.
12. Ганиев И. Н., Назарова М. Т., Курбонова М. З., Якубов У. Ш. Влияние натрия на удельную теплоемкость и изменение термодинамических функций алюминиевого сплава АБ1 // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2019. № 51 (77). С. 25–30.
13. Ниезов О. Х., Ганиев И. Н., Сафаров А. Г., Муллоева Н. М., Якубов У. Ш. температурная зависимость теплоемкости и изменение термодинамических функций свинцового сплава ССу3 с кальцием // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Металлургия. 2019. Т. 19. № 3. С.33–43.
14. Ганиев И. Н., Сафаров А. Г., Асоев М. Дж., Якубов У. Ш., Кабутов К. Температурная зависимость теплоемкости и изменение термодинамических функций сплавов системы AL-SN // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2021. № 1 (35). С. 35–41.
15. Худойбердизода С. У., Ганиев И. Н., Отаджонов С. Э., Эшов Б. Б., Якубов У. Ш. Влияние меди на теплоемкость и изменение термодинамических функций свинца // Теплофизика высоких температур. 2021. Т. 59. № 1. С. 55–61.
16. Зиновьев В. Е. Теплофизические свойства металлов при высоких температурах. Справ. изд. М. : Металлургия, 1989. 384 с.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Ганиев Изатулло Наврузович – академик НАНТ, д.х.н., проф., зав. лабораторией ГНУ «Институт химии В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана», Адрес: Республика Таджикистан,

734063, г. Душанбе, пр. Айни, 299/2, тел.: (+992) 93-572-88-99, E-mail: ganievizatullo48@gmail.com;
Рахматуллоева Гулноза Мухриевна – старший научный сотрудник ГУ «Центр по исследованию инновационных технологий Национальной академии наук Таджикистана», тел.: (+992) 77-007-92-02, E-mail: Golnoz.86@mail.ru;
Зокиров Фуркат Шахриерович – к.т.н., ст. преподаватель кафедры «Физика» Таджикского технического университета им. М.С. Осими, тел.: (992) 93-402-10-12, E-mail: Zokirov090514@mail.ru
Эшов Бахтиер Бадалович – д.т.н., директор ГУ «Центр по исследованию инновационных технологий Национальной академии наук Таджикистана», тел.: (+992) 93-488-48-76, E-mail: ishov1967@mail.ru;
Аминова Нигора Аминовна – к.т.н., зав. лабораторией ГУ «Центр по исследования инновационных технологий Национальной академии наук Таджикистана», тел.: (+992) 93-715-59-15, E-mail: nigora.aminova.92@mail.ru;
Худойбердизода Саидмири Убайдулло – к.т.н., ведущий научный сотрудник ГУ «Центр по исследованию инновационных технологий Национальной академии наук Таджикистана», тел.: (+992) 92-792-37-92, E-mail: saidmir010992@mail.ru.

Заявленный вклад авторов:
Ганиев Изатулло Наврузович – разработка идеи, постановка исследовательской задачи, внесение правок.
Рахматуллоева Гулноза Мухриевна – оформление статьи, произведение расчётов, работа с редакцией.
Зокиров Фуркатшох Шахриерович – обзор существующей литературы, подготовка необходимых документов для публикации.
Эшов Бахтиер Бадалович – обзор существующей литературы научный менеджмент, критика, внесение правок вследствие вычитки.
Аминова Нигора Аминовна – обзор более широкого круга литературы на выбранную тематику, сбор и анализ данных.
Худойбердизода Саидмири Убайдулло – курирование, подготовка необходимых документов для публикации, формулирование выводов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

TEMPERATURE DEPENDENCE OF HEAT CAPACITY AND CHANGES IN THERMODYNAMIC FUNCTIONS OF ALUMINUM CONDUCTING ALLOY AlTi0.1 WITH SODIUM

Izatullo N. Ganiev[1], Gulnoza M. Rakhmatulloeva[2], Furkatshoh Sh. Zokirov[3], Bakhtiyor B. Eshov[2], Nigora A. Aminova[2], Saidmiri U. Khudoiberdizoda[2]

[1]GNU “Institute of Chemistry named after. IN AND. Nikitin NAS of Tajikistan"
[2]State Institution “Center for Research of Innovative Technologies of the National Academy of Sciences of Tajikistan”
[3]Tajik Technical University named after. M.S. Osimi

*for correspondence: ganiev48@mail.ru

CC BY

Article info
Received:
08 December 2023

Accepted for publication:
15 February 2024

Accepted:
29 February 2024

Abstract.
In the work, the heat capacity of the aluminum conductor alloy AlTi0.1 with sodium was determined in the “cooling” mode using the known heat capacity of a reference sample of A5N aluminum. By mathematical processing of the cooling rate curves of samples from the AlTi0.1 alloy with sodium 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, polynomials for the temperature dependence of the heat capacity of the alloys were established, which are described by a four-term equation. Using integrals of specific heat capacity, models of the temperature dependence of changes in enthalpy, entropy and Gibbs energy were established.
It has been established that the heat capacity of the alloys increases with

Published:
12 March 2024

increasing temperature and sodium content. It has been shown that the addition of sodium increases the enthalpy and entropy of the original AlTi0.1 alloy and reduces the Gibbs energy.

Keywords: *aluminum conductor alloy AlTi0.1, sodium, "cooling" mode, heat capacity, heat transfer coefficient, enthalpy, entropy, Gibbs energy*

For citation: Ganiev I.N., Rakhmatulloeva G.M., Zokirov F.Sh., Eshov B.B., Aminova N.A., Khudoiberdizoda S.U. Temperature dependence of heat capacity and changes in thermodynamic functions of aluminum conducting alloy AlTi0.1 with sodium. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2024; 1(161):34-42. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2024-1-34-42, EDN: BSBWVS

REFERENCES

1. Maltseva T.V., Ozerets N.N., Levina A.V., Ishina E.A. Casting aluminum alloys. *Non-ferrous metals and alloys.* Ekaterinburg Ural University Publishing House. 2019. Pp. 40–53.
2. Vakhobov A.V., Obidov F.U., Vakhobova R.U. High-purity aluminum and its alloys / in 2 volumes. Dushanbe: NPI Center; 1990. Vol. 1. 175 p.
3. Vakhobov A.V., Obidov F.U., Vakhobova R.U. High-purity aluminum and its alloys / in 2 volumes. Dushanbe. NPI Center, 1990. Vol. 2. 232 p.
4. Aluminum alloys (Composition, properties, technology, application.) Directory // edited by I.N. Friedlander. Kyiv: Komintech; 2005. 365p.
5. Mirzoev F.M. Thermophysical properties of aluminum of varying degrees of purity and alloys of the Al-Si system. Abstract of the dissertation. 2019. 26 p.
6. Zolotorevsky V.S., Belov N.A. Metallurgy of cast aluminum alloys. M.: MISiS; 2005. 376 p.
7. Luts A.R., Suslina A.A. Aluminum and its alloys. Samara: Samara State. tech. univ.; 2013. 81 p.
8. Mondolfo L.F. Structure and properties of aluminum alloys. M.: Metallurgy; 1979. 640 p.
9. Yatsenko S.P., Sabirzyanov A.N. Improving the quality of aluminum alloys by alloying with "Master alloy". *Bulletin of Kurgan State University.* Series: Technical Sciences. 2006; 5–1:174–176.
10. Thermal conductivity of solids. Handbook edited by Okhotin A.S. M.: Energoatomizdat; 1984. 321 p.
11. 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.
12. Ganiev I.N., Nazarova M.T., Kurbonova M.Z., Yakubov U.Sh. The influence of sodium on the specific heat capacity and changes in the thermodynamic functions of aluminum alloy AB1. *News of the St. Petersburg State Technological Institute (Technical University).* 2019; 51(77):25–30.
13. Niyozov O.Kh., Ganiev I.N., Safarov A.G., Mulloeva N.M., Yakubov U.Sh. temperature dependence of heat capacity and changes in thermodynamic functions of lead alloy CCu3 with calcium. *Bulletin of the South Ural State University.* Series: Metallurgy. 2019; 19(3):33–43.
14. Ganiev I.N., Safarov A.G., Asoev M.J., Yakubov U.Sh., Kabutov K. Temperature dependence of heat capacity and changes in the thermodynamic functions of AL-SN system alloys // Bulletin of the Siberian State Industrial University. 2021; 1(35):35–41.
15. 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 // Thermophysics of high temperatures. 2021; 59(1):55–61.
16. Zinoviev V.E. Thermophysical properties of metals at high temperatures. Ref. ed. M.: Metallurgy; 1989. 384 p.

© 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 of NANT, Doctor of Economics, Professor, head. laboratory of the National Research University "V.I. Nikitin Institute of Chemistry of the National Academy of Sciences of Tajikistan", Address: Republic of Tajikistan, 734063, Dushanbe, Aini ave., 299/2, tel.: (+992) 93-572-88-99, E-mail: ganievizatullo48@gmail.com
Gulnoza M. Rakhmatulloeva, Senior Researcher at the State Institution "Center for Research of Innovative Technologies of the National Academy of Sciences of Tajikistan", tel.: (+992) 77-007-92-02, E-mail: Golnoz.86@mail.ru

Furkatshoh Sh. Zokirov, C. Sc. in Engineering, senior lecturer at the Department of Physics of the Tajik Technical University named after M.S. Osimi, tel.: (992) 93-402-10-12, E-mail: Zokirov090514@mail.ru
Bakhtiyor B. Eshov, Dr. Sc. in Engineering, Director of the State Institution "Center for Research of Innovative Technologies of the National Academy of Sciences of Tajikistan", tel.: (+992) 93-488-48-76, E-mail: ishov1967@mail.ru
Nigora A. Aminova, C. Sc. in Engineering, Head. laboratory of the State Institution "Center for Research of Innovative Technologies of the National Academy of Sciences of Tajikistan", tel.: (+992) 93-715-59-15, E-mail: nigora.aminova.92@mail.ru
Saidmiri U. Khudoiberdizoda, C. Sc. in Engineering, Senior Researcher at the State Institution "Center for Research of Innovative Technologies of the National Academy of Sciences of Tajikistan", tel.: (+992) 92-792-37-92, E-mail: saidmir010992@mail.ru

Contribution of the authors:
Izatullo N. Ganiev – developing an idea, setting a research task, making edits.
Gulnoza M. Rakhmatulloeva – the design of the article, the work of calculations, work with the editorial board.
Furkatshoh Sh. Zokirov – review of existing literature, preparation of necessary documents for publication.
Bakhtiyor B. Eshov – review of the existing literature scientific management, criticism, making edits due to proofreading.
Nigora A. Aminova – review of a wider range of literature on the selected topic, data collection and analysis.
Saidmiri U. Khudoiberdizoda – supervision, preparation of necessary documents for publication, formulation of conclusions.

All authors have read and approved the final manuscript.