

EFFECTS OF METAL IMPURITIES ON THERMOPHYSICAL PROPERTIES

Mirzoev F.M.¹, Nizomov Z.², Akramov M.B.³

(Republic of Tajikistan) Email: Mirzoev510@scientifictext.ru

¹Mirzoyev Faisaly Mullodzhonovich - Senior Lecturer,
DEPARTMENT OF PHYSICS, TAJIK TECHNICAL UNIVERSITY.
ACADEMICIAN S. OSIMI;

²Nizomov Zijovuddin – Candidate of physical and mathematical Sciences, Associate Professor;

³Akramov Muchammad Bozorovich - Candidate of physical and mathematical Sciences, Associate Professor,
DEPARTMENT OF METALLURGY,
DUSHANBE BRANCH
NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY OF TECHNOLOGY MISIS,
DUSHANBE, REPUBLIC OF TAJIKISTAN

Abstract: *the article presents the results of experimental studies of the thermophysical characteristics of aluminum and its alloys.*

The method of cooling the samples investigated some thermal characteristics of aluminum depending on the content of impurities on them. Using the proposed method, the authors identified and proposed some empirical equations that relate heat capacity to impurities in them. The greatest influence of impurities which differ significantly in concentration and the interaction potential of atoms of the main substance. It is established that the regularity of the change in the specific heat of the samples from the concentration of impurities qualitatively obeys the Neumann-Kopp rule.

Keywords: *aluminum, alloy, thermal properties, heat capacity, heat transfer, electron, phonon, interactions.*

ВЛИЯНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ НА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Мирзоев Ф.М.¹, Низомов З.², Акрамов М.Б.³

(Республика Таджикистан)

¹Мирзоев Файзали Муллоджонович – старший преподаватель,
кафедра физики,

Таджикский технический университета им. академика С. Осими;

²Низомов Зиёвуддин - кандидат физико-математических наук, доцент;

³Акрамов Мухаммад Бозорович - кандидат физико-математических наук,
доцент,

кафедра металлургии,
Душанбинский филиал

Национальный исследовательский технологический университет «МИ-
СиС»,
г. Душанбе, Республика Таджикистан

Аннотация: в статье приводятся результаты экспериментальных исследований теплофизических характеристик алюминия и его сплавов.

Методом охлаждения образцов исследованы некоторые теплофизические характеристики алюминия в зависимости от содержания примесей на них. Применяя предложенную методику, авторами определены и предложены некоторые эмпирические уравнения, которые связывают теплоемкость с примесями в них. Наибольшее влияние оказывают примеси, существенно отличающиеся по концентрации и по потенциалу взаимодействия от атомов основного вещества. Установлено, что закономерность изменения удельной теплоемкости образцов от концентрации примесей качественно подчиняется правилу Неймана-Коппа.

Ключевые слова: алюминия, сплав, теплофизические свойства, теплоемкость, теплоотдача, электрон, фонон, взаимодействия.

Исследование теплофизических свойств алюминия и его сплавов в широком интервале температур представляет важную научную проблему, имеющую большую практическую значимость. Известно что, теплофизические свойства алюминия, как и всех металлов, в значительной степени зависят от его чистоты. Сведения о термодинамических свойствах алюминия многочисленны, причем данные различных авторов, иногда значительно расходятся из-за неодинаковых методов исследования и чистоты изучаемых образцов металла [1]. Экспериментальные результаты необходимы для создания многих новых композиционных материалов на основе алюминия и сплавов алюминия с лучшими или принципиально новыми физико-технологическими, а также эксплуатационными свойствами.

В связи с этим, в настоящей работе нами методом охлаждения исследованы некоторые теплофизические характеристики алюминия в зависимости от содержания примесей на них. Методом атомно-эмиссионная спектроскопии определены химический состав образцов. Для анализа применен спектрометр «TermoARL 9900».

В таблице 1 приведено химический состав анализированных образцов. Измерения теплоемкости проводились на разработанной нами установке, достаточно подробно описанной в [3]. Для измерения зависимости температуры тела от времени использовано измеритель DigitalMultimeterUT71B, который позволял прямой фиксации результатов измерений на компьютере в виде таблицы. Вся обработка результатов измерений производилась с помощью офисной программы MS Excel. Графики строились с помощью программы SigmaPlot. Точность измерения температуры $0,1^{\circ}\text{C}$. Исследуе-

мые объекты имели цилиндрическую форму диаметром 16 мм и высотой 30 мм.

Таблица 1. Химический состав образцов

№ проб	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ga	Ti	Al
AK-03	5,9	1,17	0,033	0,01	0,02	0,02	0,016	0,009	92,822
AK-79	6,1	0,79	0,01	0,02	0,14	0,02	0,014	0,008	92,898
AK-03	5,5	1,65	0,06	0,02	0,04	0,02	0,017	0,008	92,685
AK-02	6,2	0,76	0,006	0,01	0,09	0,007	0,018	0,008	92,901
AK-01	6,4	1,18	0,04	0,02	0,05	0,02	0,018	0,009	92,263
AK-6.1	8,2	1,76	0,37	0,01	0,22	0,18	0,01	0,03	89,25
AK-6.2	6,2	0,94	0,4	0,01	0,21	0,18	0,01	0,02	92,05
AK-6.3	6,3	1,16	0,37	0,02	0,15	0,18	0,01	0,03	91,81
213	0,15	0,22	0,002	0,006	0,0074	0,01	0,016	0,009	99,61

Экспериментально полученные временные зависимости температуры охлаждения образцов с достаточно хорошей точностью описываются уравнением вида

$$T = T_0 + \Delta T_{01} \exp(-\tau/\tau_1) + \Delta T_{02} \exp(-\tau/\tau_2), \quad (1)$$

где T_0 - температура окружающей среды, ΔT_{01} , ΔT_{02} - амплитуда температуры первого и второго процессов, τ_1 и τ_2 - характерные времена охлаждения для первого и второго релаксационных процессов. Дифференцируя (1), получаем уравнение для скорости охлаждения:

$$\frac{dT}{d\tau} = - \left(\frac{\Delta T_{01}}{\tau_1} e^{-\tau/\tau_1} + \frac{\Delta T_{02}}{\tau_2} e^{-\tau/\tau_2} \right), \quad (2)$$

где $\Delta T_{01}/\tau_1$ и $\Delta T_{02}/\tau_2$ - соответственно амплитуды скоростей охлаждения в первом и втором процессе.

На рис. 1 приведен график зависимости отношения коэффициента теплоотдачи к теплоемкости алюминия разных марок от температуры.

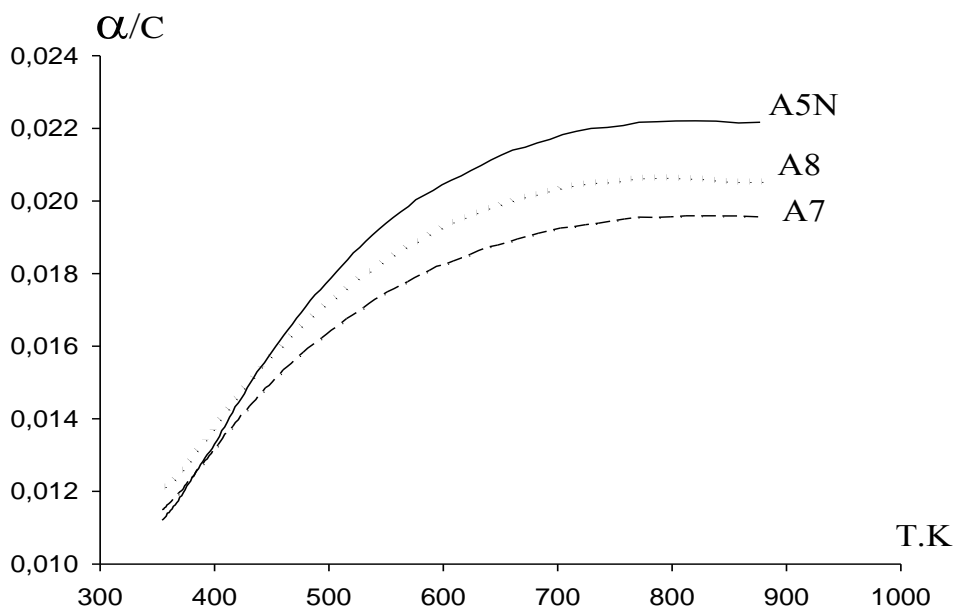


Рис. 1. Зависимость отношения коэффициента теплоотдачи к удельной теплоемкости для алюминия марки А5N, А8 и А7 от температуры

Как видно из рисунка 1 с повышением чистоты алюминия, отношения коэффициента теплоотдачи к теплоемкости увеличивается. В отсутствие спектрометров, эту зависимость, можно использовать для определения или проверки марки алюминия, например для разбраковки, а результаты по исследованию теплоемкости в области низких температур могут быть использованы для оценки концентрации примесей в металлах.

Для вычисления теплоемкости алюминия различной чистоты по правилу Неймана-Коппа необходимо данные о температурной зависимости его составляющих. Поэтому с помощью программы SigmaPlot 10 обрабатывая имеющиеся литературные данные по теплоемкости алюминия, железо, кремния, цинка, меди, магния марганца и титана при различных температурах получили уравнение температурной зависимости удельной и мольной теплоемкости, энтальпия, энтропия и энергия Гиббса. Для удобства использования температурных зависимостей теплоемкости при инженерных расчетах в дальнейшем использовали зависимость от переменную $x = (T - 300)/100$. Построили график зависимости $C(T)$ от x . В результате статистической обработке графика получили для этих веществ следующую формулу

$$C(T) = a'_1 + b'_1 x + c'_1 x^2 + d'_1 x^3, \quad (3)$$

где $a'_1 = C(300)$, $b'_1 = b'_0 10^2$, $c'_1 = c'_0 10^4$, $d'_1 = d'_0 10^6$.

Коэффициенты в уравнении (3) приведены в таблице (2). В последней графе приведено значение коэффициента регрессии при обработке с помощью программы SigmaPlot 10.

Таблица 2. Значения коэффициентов в уравнении (3)

Металл	a'_1	b'_1	c'_1	d'_1	R
Si	727.73	71,55	-11	0,724	1,0000
Fe	448,41	54,10	-7	1,300	1,0000
Cu	388.47	17,94	-2	0,220	1.0000
Mn	474.33	39,21	-3	0,121	1.0000
Mg	1028.69	50,10	-0,37	0,070	1.0000
Zn	393.96	15,52	-0,16	0,760	1.0000
Ti	531.29	21,68	2	-0,419	1.0000

В дальнейшем полученные графики и уравнения для теплоемкости нами использованы для вычисления теплоемкости по правилу Неймана-Коппа и при объяснении влияния примесей на теплофизические свойства алюминия.

Экспоненциальная зависимость $T(\tau)$ в формуле (1) показывает, что теплота передается одновременно двумя способами и количество передаваемого тепла пропорционально площади поверхности образца, разности температур тела и окружающей среды и соответствующему коэффициенту теплоотдачи при любом механизме переноса теплоты (теплопроводность, конвекция или лучеиспускание).

Передача тепла от более нагретого тела менее нагретому телу - это релаксационный процесс. В нашем случае нагретое тело передает свое тепло телу с бесконечно большой теплоёмкостью, т.е. окружающей среде. Поэтому температуру окружающей среды можно считать постоянной T_0 .

Уравнение $Cm dT = -\alpha S(T - T_0) d\tau$ напишем в следующем виде:

$$\frac{d(T - T_0)}{T - T_0} = -\frac{\alpha S}{Cm} d\tau.$$

Считая, что $\frac{cm}{\alpha S} = \tau_1$ постоянной, получим закон изменения температуры тела от времени τ

$$T = T_0 + \Delta T_{01} e^{-\tau/\tau_1} \text{ или } \Delta T = \Delta T_{01} e^{-\tau/\tau_1}, \quad (4)$$

где ΔT - разность температур нагретого образца и окружающей среды; ΔT_{01} - разность этих температур в момент начала измерений, то есть при $\tau = 0$, τ_1 - постоянная, численно равное времени, в течение которого разность температур уменьшается в e раз. Постоянная τ_1 пропорционально произведению массы m на теплоемкость C тела и обратно пропорциональна коэффициенту теплоотдачи и общей площади поверхности тела S . Если считать, что охлаждения происходит за счет конвективного теплообмена и теплового излучения, получим уравнение (1).

Зная состав образца, по правилу Неймана-Коппа вычислили теплоемкость. Используя эти значения и экспериментальные величины скорости

охлаждения, было вычислено коэффициенты теплоотдачи $\alpha(T)$ для А7(1) по формуле

$$|\alpha(T)| = \frac{c_m \left(\frac{dT}{dt} \right)}{S(T-T_0)} \quad (5)$$

здесь m и S - соответственно масса и площадь поверхности образца, T – температура образца. На рисунке 2 приведено температурная зависимость коэффициента теплоотдачи для этих образцов. Для вычисления удельной теплоемкости алюминия марки А7(2) использовали данные по коэффициент теплоотдачи для алюминия А7(1). Далее по формуле

$$c = \frac{|\alpha(T)| S (T-T_0)}{m \left(\frac{dT}{dt} \right)} \quad (6)$$

вычислена величина удельной теплоемкости.

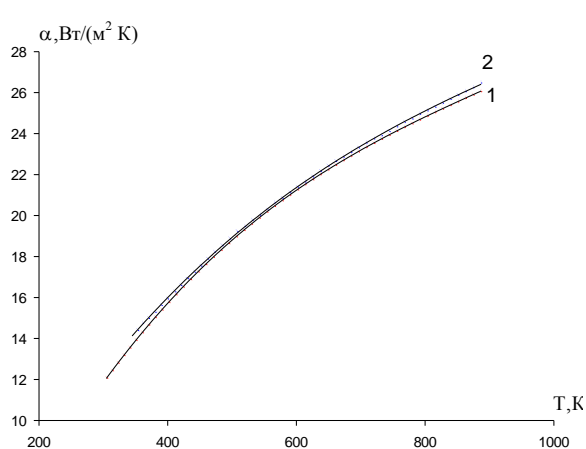


Рис. 2. Температурная зависимость коэффициента теплоотдачи алюминия марки А7 -1 и А7-2

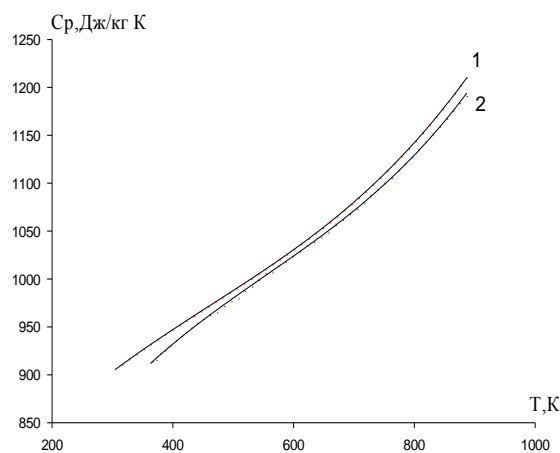


Рис. 3. Зависимость удельной теплоемкости алюминия марки А7 -1 и А7-2 от температуры

На рисунке 3 приведена зависимость удельной теплоемкости алюминия марки А7(1) и А7(2) от температуры. Как видно из рисунка, расхождение между теплоемкости исследованных образцов сравнительно невелико. Сравнение показывает, что максимальное расхождение между значением теплоемкости и коэффициента теплоотдачи для эталона и выпускаемый ГУП ТАЛКО алюминия марки А7 составляет менее 3% и это зависит от их примесей. Полученные результаты свидетельствуют об обоснованности выбранной методики исследования теплофизических свойств металлов и сплавов.

Используя экспериментальные данные по теплоемкости алюминия А7, А996 и применяя предложенную методику нами определены и предложены некоторые эмпирические уравнения которые связывают теплоемкость с примесями в них [2, 4, 5]:

- для алюминия марки

$$A7 C_p(T) = 699.8426 + 0.9602T - 0.0012T^2 + 0.86398 \cdot 10^{-6} T^3$$

- для алюминия марки ОСЧ
 $C_p(T) = 577.2322 + 1.6368T - 0.0023T^2 + 1.4156 \cdot 10^{-6}T^3$

Ранее в работе [3], нами было показано, что величины $\alpha(T)$ для меди, алюминия и цинка сильно отличаются. Поэтому при определении удельной теплоемкости относительным методом для каждой группы легированных сплавов нужно использовать $\alpha(T)$ для основного сплава.

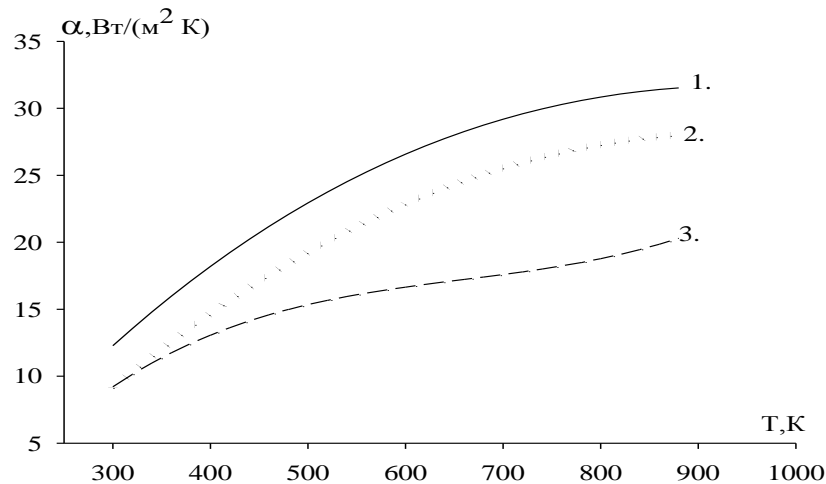


Рис. 4. Зависимость коэффициента теплоотдачи (α) меди (1), алюминия марки А5N(2) и цинка (3) от температуры T

Для температурной зависимости коэффициента теплоотдачи получены следующие уравнения:

$$\alpha(\text{Cu}) = -13.2519 + 0.106T - 7.3311 \cdot 10^{-5}T^2 + 1.2137 \cdot 10^{-8}T^3;$$

$$\alpha(\text{A5N}) = -12.2124 + 0.0838T - 3.9736 \cdot 10^{-5}T^2 - 4.0909 \cdot 10^{-9}T^3;$$

$$\alpha(\text{Zn}) = -17.8751 + 0.1412T - 0.0002T^2 + 1.0095 \cdot 10^{-7}T^3.$$

Используя величины скорости охлаждения и температурная зависимость коэффициента теплоотдачи алюминия марки А7, считая, что он не зависит от концентрации примесей, определено теплоемкость исследованных систем.

Установлено, что закономерность изменения удельной теплоемкости образцов от концентрации примеси качественно подчиняется правилу Неймана-Коппа.

Температурная зависимость теплоемкости образцов в исследованном интервале температуры выражается уравнением

$$C(T) = a_0 + b_0T + c_0T^2 + d_0T^3.$$

Таким образом, влияние примесей проявляется в изменении электронного и фононного спектров металла. Наибольшее влияние оказывают примеси, существенно отличающиеся по концентрации и по потенциалу взаимодействия от атомов основного вещества.

Список литературы / References

1. *Зиновьев В.Е.* Теплофизические свойства металлов при высоких температурах. М.: Металлургия, 1989. 384 с.
2. *Низомов З., Гулов Б., Саидов Р.Х., Аvezов З.* Измерение удельной теплоемкости твердых тел методом охлаждения. Вестник национального университета, 2010. Вып. 3(59). С. 136-141.
3. *Низомов З., Саидов Р.Х., Гулов Б.Н., Аvezов З.* Исследование температурной зависимости коэффициента теплоотдачи меди, алюминия А7 и цинка. - Материалы междунар. конф. «Современные проблемы физики конденсированных сред и астрофизики». Душанбе: БахтLTD, 2010. С. 38-41.
4. *Низомов З., Саидов Р., Гулов Б.* Теплоемкость особоочиного алюминия и его сплавов /Издательский Дом: LAP LAMBERT AcademicPublishingGmbH&Co. KG, 2012. 104 с.
5. *Низомов З., Мирзоев Ф.М., Акрамов М.Б., Саидов Р.Х.* Температурная зависимость теплофизических свойств алюминия марки А5. Доклады АН РТ, 2014. Том 57. № 2. С. 140-144.