

УДК 669. 017:536.4

DOI: 10.30987/article_5d6cbe42d90f67.65063641

Н.Р. Эсанов, И.Н. Ганиев, А.Х. Хакимов

ВЛИЯНИЕ ПРАЗЕОДИМА НА ТЕМПЕРАТУРНУЮ ЗАВИСИМОСТЬ УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ И ИЗМЕНЕНИЙ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АЖ2.18

Исследована температурная зависимость удельной теплоемкости и изменений термодинамических функций алюминиевого сплава АЖ2.18, легированного празеодимом. Установлено, что с ростом температуры теплоёмкость, энтальпия и энтропия сплавов увеличиваются, а значения энергии Гиббса уменьшаются. Показано, что с увеличе-

нием концентрации празеодима теплоёмкость, энтальпия и энтропия сплавов незначительно растут, а энергия Гиббса уменьшается.

Ключевые слова: алюминиевый сплав АЖ2.18, празеодим, теплоёмкость, температурная зависимость, энтальпия, энтропия, энергия Гиббса.

N.R. Esanov, I.N. Ganiev, A.Kh. Khakimov

PRASEODYMIUM IMPACT UPON TEMPERATURE DEPENDENCE OF SPECIFIC HEAT AND THERMODYNAMIC FUNCTION CHANGES OF ALUMINUM ALLOY AZh2.18

The last half century is characterized by great achievements in the field of aluminum alloy development. The development of new materials on aluminum basis with the purpose of operation reliability increase in different equipment, structures, mechanisms by means of the their formation selection substantiated scientifically requires the fulfillment of the investigation complex of physical-chemical properties and considered to be a significant problem of modern science. The application of alloys based on aluminum with the addition of iron and rare-earth metals as conducting materials in electronics for manufacturing motor car aircraft engines, wire, rods, tires and other products in electronic engineering is also known.

In scientific literature there are no data on rare-earth metal impact upon thermal-physical properties

thermal-dynamic functions of aluminum alloys with iron. In this work in the mode of cooling there is investigated a temperature dependence of specific thermal capacity and changes of thermal-dynamic functions of the aluminum alloy AZh2.18 alloyed with praseodymium in the interval temperature 298.15-800 K. It is defined that with the temperature growth, heat capacity, enthalpy and entropy of alloys increases and the values of Gibbs energy decrease. It is shown that with the praseodymium concentration increase, heat capacity, enthalpy and entropy of alloys grow insufficiently, and Gibbs energy decreases.

Key words: aluminum alloy AZh2.18, praseodymium, heat capacity, temperature dependence, enthalpy, entropy, Gibbs energy.

Введение

Развитие современной науки и техники предъявляет все возрастающие требования к уровню эффективности, качеству и разнообразию свойств изделий из цветных металлов. В современных материалах должны сочетаться высокие свойства и качества для обеспечения необходимого ресурса и надежности работы изделий авиационно-космической техники, судостроения, машиностроения, атомной энергетики, радиотехники, вычислительной техники и строительства. В связи с этим особое значение приобретают производство и использование алюминия и его сплавов, обладающих высокой механиче-

ской прочностью и пластичностью, малой плотностью, высокой коррозионной стойкостью и жаропрочностью, а также рядом специфических характеристик [1-3].

Однако первичный алюминий, извлекаемый из электролизеров (алюминий-сырец), содержит ряд металлических примесей, в том числе железа и кремния, переходящих непосредственно из сырья, что значительно ухудшает эксплуатационные характеристики алюминиевых сплавов [4-6].

Отсюда возникает проблема создания сплавов на основе так называемого некондиционного металла. В качестве исходного

сплава нами был выбран сплав эвтектического состава АЖ2.18, содержащий 2,18 мас.% железа, отличающийся отсутствием интервала кристаллизации, структура которого состоит лишь из эвтектических включений (α -Al+Al₃Fe). Последний хорошо поддается модифицированию различными металлами.

Цель работы заключается в исследовании влияния малых добавок модифицирующего компонента празеодима на теплоёмкость и изменения термодинамиче-

ских функций алюминиево-железowego эвтектического сплава АЖ2.18.

В последнее время в качестве модифицирующих добавок к алюминиевым сплавам стали широко применять редкоземельные металлы (РЗМ). Изучение структуры и свойств отдельных РЗМ позволило открыть у них особые качества, необходимые для работы новейших физических приборов. Учитывая всесторонние преимущества этих уникальных металлов, в работе в качестве модифицирующей добавки к алюминиево-железовому сплаву АЖ2.18 использовали празеодим.

Теория метода и схема установки для измерения теплоемкости

Сплавы для исследования получали в шахтных лабораторных печах сопротивления типа СШОЛ в интервале температур 750-850 °С из алюминиево-железowego сплава АЖ2.18 (2,18 мас.% Fe), который непосредственно извлекался из электролизных ванн Таджикской алюминиевой компании (ГУП «ГалКо»), и лигатуры на основе алюминия, содержащей до 10 мас.% празеодима. Там же в центральной заводской лаборатории был проведен химический анализ сплавов на содержание железа, примесей и празеодима. Состав полученных сплавов контролировался также взвешиванием образцов до и после сплавления. В дальнейшем исследованию подвергались сплавы, у которых разница в массе до и после сплавления не превышала 2% (отн.). Лигатуры предварительно синтезировались в камерной вакуумной электропечи сопротивления типа СНВЭ-1.3.1/16 И4. Из полученных сплавов в графитовую изложницу отливали образцы диаметром 16 мм и длиной 30 мм.

Для измерения удельной теплоёмкости сплавов в широкой области температур использовался закон охлаждения Ньютона - Рихмана. Если взять два одинаковой формы металлических образца и охла-

ждать их от одной температуры, то по зависимости температуры образцов от времени (кривым охлаждения) можно найти теплоёмкость одного образца, зная теплоёмкость другого (эталоны).

Количество тепла, теряемого объемом dV металла за время $d\tau$, равно

$$\delta Q = C_p^0 \cdot \rho \frac{dT}{d\tau} \cdot dV \cdot d\tau, \quad (1)$$

где C_p^0 - удельная теплоёмкость металла; ρ - плотность металла; T - температура образца (принимается одинаковой во всех точках образца, так как линейные размеры тела малы, а теплопроводность металла велика).

Величину δQ можно подсчитать, кроме того, по закону

$$\delta Q = \alpha(T - T_0) \cdot dS \cdot d\tau, \quad (2)$$

где dS - элемент поверхности; T_0 - температура окружающей среды; α - коэффициент теплоотдачи.

Приравняв выражения (1) и (2), получим:

$$C_p^0 \cdot \rho \frac{dT}{d\tau} \cdot dV = \alpha(T - T_0) dS. \quad (3)$$

Количество тепла, которое теряет весь объём образца:

$$Q = \int_V C_p^0 \cdot \rho \frac{dT}{d\tau} \cdot dV = \int_S \alpha(T - T_0) dS. \quad (4)$$

Полагая, что C_p^0 , ρ и $\frac{dT}{d\tau}$ не зависят от координат точек объёма, а α , T и T_0 не зависят от координат точек поверхности образца, можно написать:

$$C_p^0 \cdot \rho \cdot V \frac{dT}{d\tau} = \alpha(T - T_0)S, \quad (5)$$

или

$$C_p^0 \cdot m \frac{dT}{d\tau} = \alpha(T - T_0)S, \quad (6)$$

где V - объем всего образца, а $\rho V = m$ - масса; S - площадь поверхности всего образца.

Соотношение (6) для двух образцов одинакового размера при допущении, что $S_1 = S_2$, $T_1 = T_2$, $\alpha_1 = \alpha_2$, запишется так:

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

Следовательно, зная массы образцов m_1 и m_2 , скорости охлаждения образцов и удельную теплоемкость $C_{p_1}^0$,

можно вычислить удельную теплоемкость $C_{p_2}^0$ неизвестного образца из уравнения

$$C_{p_2}^0 = \frac{C_{p_1}^0 \cdot m_1 \left(\frac{dT}{d\tau}\right)_1}{m_2 \left(\frac{dT}{d\tau}\right)_2} \quad (8)$$

где $m_1 = \rho_1 V_1$ - масса первого образца; $m_2 = \rho_2 V_2$ - масса второго образца; $\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_1$, $\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_2$ - скорости охлаждения образцов при данной температуре.

На практике находится средняя скорость охлаждения $\frac{\Delta T}{\Delta \tau}$, где $\Delta T \approx 20$ К, $\Delta \tau$ - промежуток времени, соответствующий ΔT .

Передача тепла от более нагретого тела к менее нагретому - процесс, стремящийся к установлению термодинамического равновесия в системе, состоящей из огромного числа частиц, то есть это релаксационный процесс, который можно описать во времени экспонентой. В нашем случае нагретое тело передает свое тепло окружающей среде, т.е. телу с бесконечно большой теплоемкостью. Поэтому температуру окружающей среды можно считать постоянной (T_0). Тогда закон изменения температуры тела в зависимости от времени τ можно записать в виде $\Delta T = \Delta T_1 e^{-\tau/\tau_1}$, где ΔT - разность температур нагретого тела и окружающей среды; ΔT_1 - разность температур нагретого тела и окружающей среды при $\tau = 0$; τ_1 - постоянная охлаждения, численно равная времени, в течение

которого разность температур между нагретым телом и окружающей средой уменьшается в e раз.

Измерение теплоемкости проводилось по методике, описанной в работах [7; 8], на установке, схема которой представлена на рис. 1. Электродпечь 3 смонтирована на стойке 6, по которой она может перемещаться вверх и вниз. Образец 4 и эталон 5 (тоже могут перемещаться) представляют собой цилиндр длиной 30 мм и диаметром 16 мм с высверленными каналами с одного конца, в которые вставлены термопары. Концы термопар подведены к цифровым термометрам «Digital Multimeter DI9208L» (7, 8 и 9). Электродпечь 3 запускают через лабораторный автотрансформатор (ЛАТР) 1, установив нужную температуру с помощью терморегулятора 2. По показаниям цифровых термометров 7, 8 и 9 фиксируется значение начальной температуры. Вдвигаем образец 4 и эталон 5 в электродпечь 3 и нагреваем до нужной температуры, контролируя температуру по показаниям цифровых термометров на компьютере 10. Образец и эталон одновременно выдвигаем из электродпечи и с этого момента фиксируем температуру. Записываем показания цифровых термометров на компьютер через каждые 5, 10,

20 с, охлаждая образцы и эталон до ком-

натной температуры.

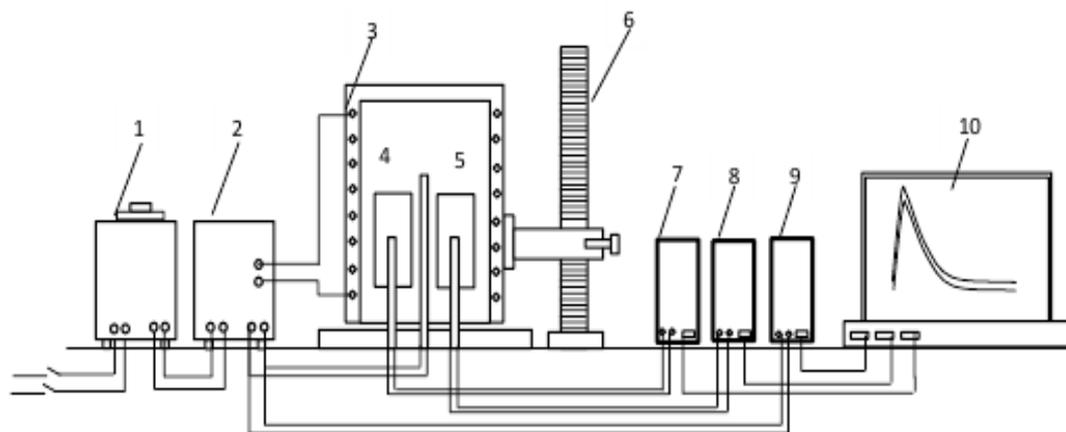


Рис. 1. Установка для определения теплоемкости твердых тел в режиме охлаждения:
1 - автотрансформатор; 2 - терморегулятор; 3 - электропечь; 4 - измеряемый образец;
5 - эталон; 6 - стойка электропечи; 7 - цифровой термометр измеряемого образца;
8 - цифровой термометр эталона; 9 - цифровой термометр общего назначения;
10 - регистрационный прибор

Обсуждение результатов исследований

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

Экспериментально полученные термограммы образцов из сплава АЖ2.18, модифицированного празеодимом, представлены на рис. 2 и 3. Интервал измерения температуры составлял 0,1 К.

$$T = T_0 + \frac{1}{2} \left[(T_1 - T_0) e^{-\tau/\tau_1} + (T_2 - T_0) e^{-\tau/\tau_2} \right]. \quad (9)$$

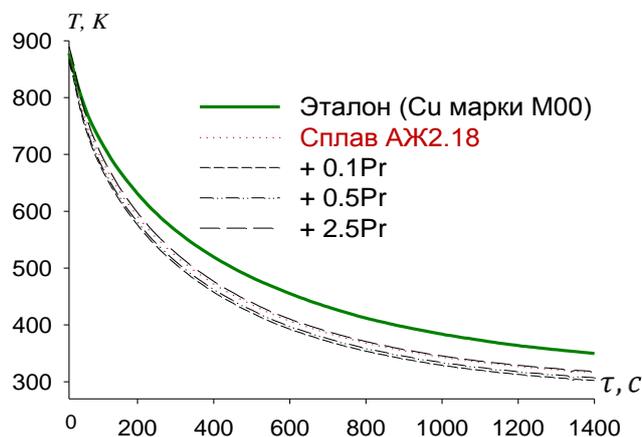


Рис. 2. График зависимости температуры образцов из сплава АЖ2.18 с празеодимом и эталона от времени охлаждения

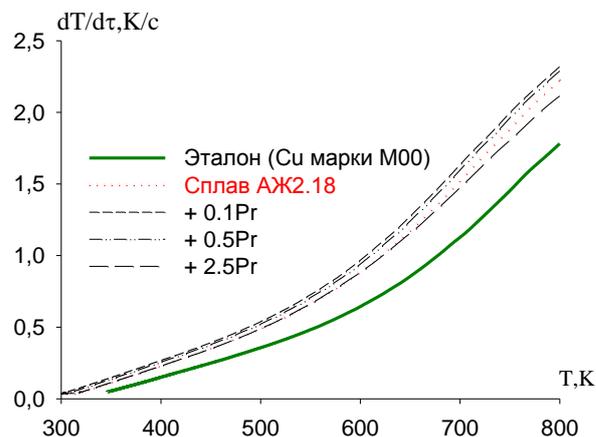


Рис. 3. Температурная зависимость скорости охлаждения образцов из сплава АЖ2.18 с празеодимом и эталона

Дифференцируя уравнение (9) по τ , получаем уравнение для определения скорости охлаждения сплавов:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{2} \left[-\frac{(T_1 - T_0)}{\tau_1} e^{-\tau/\tau_1} - \frac{(T_2 - T_0)}{\tau_2} e^{-\tau/\tau_2} \right]. \quad (10)$$

В табл. 1 представлены значения коэффициентов ΔT_1 , τ_1 , ΔT_2 , τ_2 в уравнении (10) для сплава АЖ2.18 с празеодимом.

Таблица 1

Значения коэффициентов ΔT_1 , τ_1 , ΔT_2 , τ_2 в уравнении (10) для сплава АЖ2.18 с празеодимом

Содержание празеодима в сплаве, мас.%	ΔT_1 , К	τ_1 , С	ΔT_2 , К	τ_2 , С	$\Delta T_1/\tau_1$, К/с	$\Delta T_2/\tau_2$, К/с	ΔT_0 , К
Сплав АЖ2.18 (1)	202,6748	85,4701	426,4349	439,6764	2,3713	0,9699	199,2503
(1) + 0,1	202,6748	85,4701	426,4349	439,6764	2,3713	0,9699	284,4003
(1) + 0,5	202,6748	85,4701	426,4349	439,6764	2,3713	0,9699	289,2503
(1) + 2,5	208,9324	95,2381	424,3646	451,4877	2,1938	0,9399	298,4615
Эталон (Cu марки М00)	169,6379	91,7431	424,8275	516,2356	1,8491	0,8229	222,0934

Используя скорости охлаждения образцов и теплоемкость эталонного образца, определили удельную теплоемкость сплава

АЖ2.18 с празеодимом по уравнению (8) в интервале температур 300-800 К (табл. 2, рис. 4).

Таблица 2

Удельная теплоёмкость (кДж/кг·К) сплава АЖ2.18 с празеодимом в зависимости от температуры

Содержание празеодима в сплаве, мас.%	Т, К						
	300	400	500	600	700	800	Рост C_p^0 , %
Сплав АЖ2.18 (1)	0,8291	1,1298	1,3000	1,3910	1,4541	1,5407	85,82
(1) + 0,1	0,8453	1,1470	1,3242	1,4682	1,4703	1,5619	84,77
(1) + 0,5	0,8719	1,1566	1,3448	1,4978	1,4969	1,5815	81,38
(1) + 2,5	0,9004	1,1860	1,3945	1,5124	1,5466	1,6231	80,26
Рост C_p^0 , %	8,59	4,97	7,26	8,72	6,36	5,34	–
Эталон (Cu марки М00)	0,3850	0,3977	0,4080	0,4169	0,4251	0,4336	11,2

* Данные теплоёмкости меди заимствованы из справочника [9].

Обработывая с помощью программы *Sigma Plot* полученные по формуле (8) результаты эксперимента, определили коэффициенты уравнения температурной зави-

симости удельной теплоемкости для сплава АЖ2.18 с празеодимом (табл. 3).

$$C_p^0 = a + bT + cT^2 + dT^3. \quad (11)$$

Таблица 3

Значения коэффициентов a, b, c, d в уравнении (11) для эталона и сплава АЖ2.18 с празеодимом

Содержание празеодима в сплаве, мас.%	a, кДж/кг·К	b, кДж/кг·К ²	c·10 ⁻⁵ , кДж/кг·К ³	d·10 ⁻⁹ , кДж/кг·К ⁴	Коэффициент корреляции R, %
Сплав АЖ2.18 (1)	-1,3700	0,0116	-1,68	8,56	0,9964
(1) + 0,1	-1,2008	0,0111	-1,65	8,56	0,9964
(1) + 0,5	-1,2552	0,0113	-1,66	8,56	0,9964
(1) + 2,5	-0,7868	8,15	-1,02	4,45	0,9982
Эталон (Cu марки М00)	0,3245	2,75	-0,028	0,142	1,00

Графическое изображение температурной зависимости удельной теплоемко-

сти сплава АЖ2.18 с празеодимом показано на рис. 4.

Видно, что с ростом температуры и содержания празеодима в сплаве АЖ2.18 теплоемкость увеличивается.

При вычислении температурной зависимости изменений энтальпии, энтропии

и энергии Гиббса по уравнениям (12-14) применяли интегралы от удельной теплоемкости по уравнению (11):

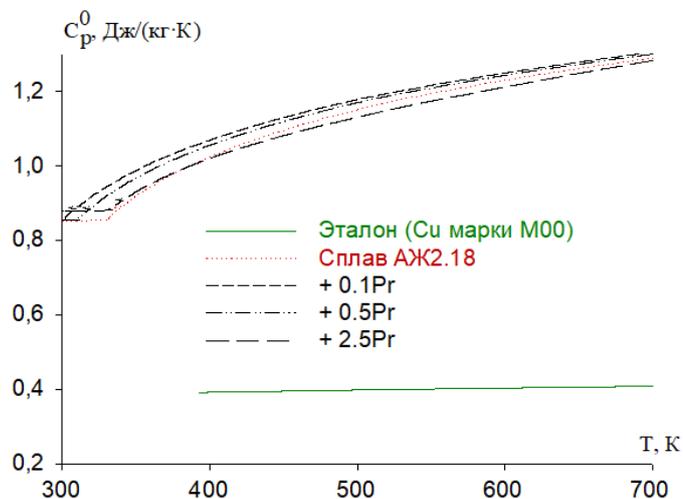


Рис. 4. Температурная зависимость удельной теплоемкости сплава АЖ2.18 с празеодимом

$$[H^{\circ}(T) - H^{\circ}(T_0)] = a(T - T_0) + \frac{b}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{c}{3}(T^3 - T_0^3) + \frac{d}{4}(T^4 - T_0^4); \quad (12)$$

$$[S^{\circ}(T) - S^{\circ}(T_0)] = a \ln \frac{T}{T_0} + b(T - T_0) + \frac{c}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{d}{3}(T^3 - T_0^3); \quad (13)$$

$$[G^{\circ}(T) - G^{\circ}(T_0)] = [H^{\circ}(T) - H^{\circ}(T_0)] - T[S^{\circ}(T) - S^{\circ}(T_0)], \quad (14)$$

где $T_0 = 298,15$ К.

Используя уравнения (12-14), рассчитали температурную зависимость из-

менений энтальпии, энтропии и энергии Гиббса для сплава АЖ2.18 с празеодимом (табл. 4).

Таблица 4

Температурная зависимость изменений термодинамических функций сплава АЖ2.18 с празеодимом и эталона

T, К	Эталон (Cu марки М00)	Сплав АЖ2.18 (1)	(1) + 0,1% Pr	(1) + 0,5% Pr	(1) + 2,5% Pr
$[H^{\circ}(T) - H^{\circ}(T_0^*)], \text{ кДж/кг}$ для сплавов					
300	0,7120	1,5273	1,6133	1,6068	1,5861
400	39,8686	100,7773	103,9833	104,3035	101,8249
500	80,1679	223,1433	226,8693	228,7161	223,5461
600	121,4193	358,1373	360,3833	364,7568	358,3649
700	163,5173	500,4073	499,7733	507,4735	500,5661
800	206,4419	649,7373	645,4233	657,0501	647,1049
$[S^{\circ}(T) - S^{\circ}(T_0^*)], \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}$ для сплавов					
300	0,0024	0,0051	0,0054	0,0054	0,0053
400	0,1149	0,2886	0,298	0,2988	0,2918
500	0,2048	0,5609	0,5716	0,5758	0,5628
600	0,2800	0,8068	0,8148	0,8236	0,8083
700	0,3449	1,0260	1,0296	1,0435	1,0274
800	0,4022	1,2252	1,224	1,2431	1,223

Окончание табл. 4

T, К	Эталон (Cu марки М00)	Сплав АЖ2.18 (1)	(1) + 0,1% Pr	(1) + 0,5% Pr	(1) + 2,5% Pr
	$[H^0(T) - H^0(T_0^*)]$, кДж/кг для сплавов				
$[G^0(T) - G^0(T_0^*)]$, кДж/кг для сплавов					
300	-0,002	-0,005	-0,005	-0,005	-0,005
400	-6,107	-14,645	-15,224	-15,235	-14,911
500	-22,243	-57,308	-58,941	-59,189	-57,83
600	-46,586	-125,93	-128,52	-129,41	-126,61
700	-77,9	-217,77	-220,96	-222,97	-218,6
800	-115,31	-330,45	-333,76	-337,43	-331,3

* $T_0 = 298,15$ К.**Выводы**

1. В режиме охлаждения по известной теплоёмкости эталонного образца из меди марки М00 установлено влияние празеодима на удельную теплоёмкость сплава АЖ2.18.

2. Показано, что с ростом температуры теплоёмкость, энтальпия и энтропия

сплавов незначительно увеличиваются, а значения энергии Гиббса уменьшаются.

3. С увеличением концентрации празеодима удельная теплоёмкость, энтальпия, энтропия исследуемого сплава АЖ2.18 незначительно растут, а энергия Гиббса уменьшается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Луц, А.Р. Алюминий и его сплавы / А.Р. Луц, А.А. Сулина. - Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2013. - 81 с.
2. Белецкий, В.М. Алюминиевые сплавы (состав, свойства, технология, применение) / В.М. Белецкий, Г.А. Кривов; под ред. И.Н. Фридляндера. - Киев: КОМИТЕХ, 2005. - 365 с.
3. Мондольфо, Л.Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов / Л.Ф. Мондольфо. - М.: Металлургия, 1973. - 639 с.
4. Красноярский, В.В. Коррозионно-электрохимические свойства сплавов алюминия с железом в нейтральных растворах / В.В. Красноярский, Н.Р. Сайдалиев // Защита от коррозии и окружающей среды. - М., 1991. - Вып. 3. - С. 14-19.
5. Фролов, В.Ф. Влияние технологических факторов на образование дефектов структуры в крупнотоннажных слитках из алюминиевых сплавов серии 1XXX / В.Ф. Фролов, С.В. Беляев, И.Ю. Губанов, А.И. Безруких, И.В. Костин // Вестник Магнитогорского государственного технического

го университета им. Г.И. Носова. - 2016. - Т. 14. - № 2. - С. 25-31.

6. Чукин, М.В. Основные виды и области применения наноструктурированного высокопрочного листового проката / М.В. Чукин, В.М. Салганик, П.П. Полецков [и др.] // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. - 2014. - № 4. - С. 41-44.
7. Ganiev, I.N. Temperature dependence of the specific heat and thermodynamic functions of alloys of the Pb-Ca system / I.N. Ganiev, N.M. Mulloeva, Z. Nizomov, F.U. Obidov // High temperature. - 2014. - Vol. 52. - Is. 1. - P. 138-140.
8. Ганиев, И.Н. Температурная зависимость теплоёмкости и изменение термодинамических функций сплава АЖ4.5 с оловом / И.Н. Ганиев, А.Г. Сафаров, Ф.Р. Одинаев, У.Ш. Якубов, К. Кабутов // Изв. вузов. Цветная металлургия. - 2019. - № 1. - С. 50-58.
9. Зиновьев, В.Е. Теплофизические свойства металлов при высоких температурах / В.Е. Зиновьев. - М.: Металлургия, 1989. - С. 384.

1. Luts, A.R. Aluminum and its alloys / A.R. Luts, A.A. Suslina. - Samara: Samara State Technical University, 2013. - pp. 365.
2. Beletsky, V.M. Aluminum Alloys (composition, properties, technology, application) / V.M. Beletsky, G.A. Krivov; under the editorship of I.N. Friedlander. - Kiev: KOMITECH, 2005. - pp. 365.
3. Mondolfo, L.F. Structure and Properties of Aluminum Alloys / L.F. Mondolfo. - M.: Metallurgy, 1973. - pp. 639.
4. Krasnoyarsky, V.V. Corrosion-electrochemical properties of aluminum alloys with iron in neutral

solutions / V.V. Krasnoyarsky, N.R. Saidaliev // Protection against Corrosion and Environment. - M., 1991. - Edition 3. - pp. 14-19.

5. Frolov, V.F. Technological factor impact upon defect formation in structure in large ingots of aluminum alloy of 1XXX series / V.F. Frolov, S.V. Belyaev, I.Yu. Gubanov, A.I. Bezrukikh, I.V. Kostin // Bulletin of Nosov State Technical University of Magnitogorsk. - 2016. - Vol.14. - No.2. - pp. 25-31.
6. Chukin, M.V. Basic kinds and fields of nanostructural high-strength rolled sheet use / M.V.

- Chukin, V.M. Salganik, P.P. Poletskov [et al.] // *Bulletin of Nosov State Technical University of Magnitogorsk*. – 2014. – No.4. – pp. 41-44.
7. Ganiev, I.N. Temperature dependence of the specific heat and thermodynamic functions of alloys of the Pb-Ca system / I.N. Ganiev, N.M. Mulloeva, Z. Nizomov, F.U. Obidov // *High temperature*. - 2014. - Vol. 52. - Is. 1. - P. 138-140.
8. Ganiev, N.I. Temperature dependence of heat capacity and changes of thermodynamic function of alloy AZh4.5 with tin / I.N. Ganiev, A.G. Safarov, F.R. Odinaev, U.Sh. Yakubov, K. Kabutov // *College Proceedings. Non-Ferrous Metallurgy*. – 2019. – No.1. – pp. 50-58.
9. Zinoviev, V.E. *Thermo-physical Properties of Metals at High Temperatures* / V.E. Zinoviev. – M.: Metallurgy, 1989. – pp. 384.

Ссылка для цитирования:

Эсанов, Н.Р. Влияние празеодима на температурную зависимость удельной теплоемкости и изменений термодинамических функций алюминиевого сплава АЖ2.18 / Н.Р. Эсанов, И.Н. Ганиев, А.Х. Хакимов // *Вестник Брянского государственного технического университета*. – 2019. – № 8. – С. 56 - 63.

Статья поступила в редакцию 24.06.19

Рецензент: д.т.н., профессор Брянского государственного технического университета,
главный редактор журнала «Вестник БГТУ»

Киричек А.В.

Статья принята к публикации 26. 06. 19.

Сведения об авторах:

Эсанов Нема́т Рузиевич, аспирант Института химии им. В.И. Никитина АН Республики Таджикистан, тел.: +992-93-930-77-87. e-mail: nemat87_87@mail.ru.

Ганиев Изатулло Наврузович, д.хим.н., профессор, академик АН РТ, зав. лабораторией Института химии им. В.И. Никитина АН Республики Таджи-

кистан, тел.: +992-93-572-88-99, e-mail: ganiev48@mail.ru.

Хакимов Абдувохид Хамидович, к.хим.н., доцент кафедры «Технология химических производств» Таджикского технического университета им. акад. М.С. Осими, e-mail: abduvohid.khakimov@mail.ru.

Esanov Nemat Ruzievich, Post graduate student, Nikitin Institute of Chemistry of AS, Republic Tajikistan, e-mail: nemat87_87@mail.ru.

Ganiev Izatullo Navruzovich, Dr. Sc. Chem., Prof., Academician of AS of RT, Head of Lab., Nikitin Insti-

tute of Chemistry of AS, Republic Tajikistan, e-mail: ganiev48@mail.ru.

Khakimov Abduvokhid Khamidovich, Assistant Prof. of the Dep. “Technology of Chemical Production”, Academician Osimy Technical University of Tajikistan, e-mail: abduvohid.khakimov@mail.ru.