

УДК 669. 017

Влияние иттрия на теплофизические свойства сплава АМг2*

Н.Ф. ИБРОХИМОВ¹, И.Н. ГАНИЕВ², Н.И. ГАНИЕВА³

¹ 734042, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. акад. Раджабовых, 10а, Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими, аспирант E-mail: nasimqon@mail.ru.

² 734042, Республика Таджикистан, г. Душанбе, заведующий лабораторией Института химии им. В.И. Никитина АН Республики Таджикистан, академик АН РТ, доктор химических наук, профессор. E-mail: ganiev48@mail.ru

³ 734042, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. акад. Раджабовых, 10а, Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими, кандидат технических наук, доцент. E-mail: n.ganieva77@mail.ru

В режиме охлаждения исследована температурная зависимость теплоемкости, коэффициента теплоотдачи и термодинамические функции (энтальпия, энтропия и энергия Гиббса) сплава АМг2, легированного иттрием. Измерение теплоемкости сплавов проводилось на установке, в основу работы которой положен метод С-калориметра с тепломером и адиабатической оболочкой. Принцип измерения теплоемкости заключается в том, что тепловой поток, проходящий через среднее сечение тепломера, идет на разогрев испытуемого образца и ампулы. Величина теплового потока, проходящего через тепломер, оценивается по перепаду температуры на тепломере и тепловой проводимости тепломера, определенной из независимых градуировочных экспериментов с медным образцом. Температурный диапазон от 298,15 до 800 К. Показано, что добавки иттрия до 0,5 масс.% увеличивает коэффициент теплоотдачи исходного сплава, теплоемкость сплавов при этом незначительно уменьшается. Однако показано, что с ростом температуры коэффициент теплоотдачи и теплоемкость легированных сплавов растут.

С использованием экспериментально полученных результатов изучения теплоемкости сплавов и их температурных зависимостей рассчитано изменение энтальпии, энтропии и энергии Гиббса в интервале 300...800 К. Установлено, что добавки иттрия в сплав АМг2 практически не влияют на изменение значения энтальпии и энтропии сплавов, которые с ростом температуры растут. Легирующий компонент также не влияет на изменение значения энергии Гиббса сплава АМг2, которое с ростом температуры уменьшается.

Ключевые слова: сплав АМг2, магний, иттрий, температурная зависимость, теплоемкость, измерения теплоемкости, коэффициент теплоотдачи, термодинамические функции, энтальпия, энтропия, энергия Гиббса

DOI: 10.17212/1814-1196-2017-2-177-187

* Статья получена 09 января 2017 г.

ВВЕДЕНИЕ

Сплавы системы Al–Mg характеризуются сочетанием удовлетворительной прочности, хорошей пластичности, свариваемости и коррозионной стойкости. В сплавах этой системы, содержащих до 6 масс. % Mg, образуется эвтектика соединения Al_3Mg_2 с твердым раствором на основе алюминия. При температуре эвтектики (450 °С) в алюминии растворяется 17,4 масс. % Mg. При понижении температуры растворимость уменьшается [1].

Наиболее широкое распространение в промышленности получили сплавы с содержанием магния от 1 до 5 масс.%. Сплавы с содержанием магния до 3 масс. % структурно стабильны при комнатной и повышенной температуре. Увеличение содержания магния свыше 6 % приводит к ухудшению коррозионной стойкости сплавов. Некоторые сведения о теплофизических свойствах металлического алюминия, магния и редкоземельных металлов, а также двойных алюминий-магниевого сплавов приведены в работах [2, 3].

Однако в общедоступной научной литературе имеются только численные сведения о температурной зависимости теплоемкости сплавов алюминия с РЗМ. С другой стороны, имеющиеся работы относятся к чистым металлам и основаны на данных, полученных в режиме «нагрева». В связи с этим является актуальным изучение влияния иттрия на термодинамические свойства сплава AMg2.

1. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Монотонное изменение температуры объекта в режиме «нагрева» крайне сложно из-за наличия целой цепочки внешних факторов (напряжение в сети питания печи, теплопроводность окружающей среды и пр.), т. е. из-за многофакторности эксперимента. Наиболее удобным и простым с этой точки зрения является режим охлаждения образца.

В данной работе измерение теплоемкости сплавов проводилось на установке, в основу работы которой положен метод С-калориметра с тепломером и адиабатической оболочкой. Методика измерения теплоемкости и схема установки описаны в работах [3–5, 7].

Принцип измерения теплоемкости заключается в том, что тепловой поток, проходящий через среднее сечение тепломера, идет на разогрев испытуемого образца и ампулы. Величина теплового потока, проходящего через тепломер, оценивается по перепаду температуры на тепломере и тепловой проводимости тепломера, определенной из независимых градуировочных экспериментов с медным образцом. Температурные значения – до 800 К.

Для измерения удельной теплоемкости металлов использован закон охлаждения Ньютона. Всякое тело, имеющее температуру выше окружающей среды, будет охлаждаться, причем скорость охлаждения зависит от величины теплоемкости тела и коэффициента теплоотдачи [8–12].

Если взять два металлических стержня определенной формы, то при сравнении кривых охлаждения (температуры как функции времени) этих образцов, один из которых служит эталоном (его теплоемкость и скорость охлаждения должны быть известны), можно определить теплоемкость другого, определив скорость его охлаждения.

Количество теплоты δQ , теряемое предварительно нагретым телом массы m при его охлаждении на dT градус, будет

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

где C_p^0 – стандартная удельная теплоемкость вещества.

Потеря энергии происходит через поверхность тела. Следовательно, можно считать, что количество теплоты δQ_s , теряемое через поверхность тела за время $d\tau$, будет пропорционально времени, площади поверхности S и разности температур тела T и окружающей среды T_0 :

$$\delta Q_s = -\alpha(T - T_0)S d\tau. \quad (2)$$

Размерность коэффициента теплоотдачи α при перепаде температуры на 1 К – [Вт/(м²·К)]. В реальности он не всегда постоянен и может зависеть от разности температур, делая закон приближительным. Если рассматривать тепловой поток как вектор, то он направлен перпендикулярно площадке поверхности, через которую протекает α – количество теплоты, отдаваемое с 1 м² поверхности за единицу времени при единичном температурном напоре. Тепловой поток зависит от вида теплоносителя и его температуры, температуры напора, вида конвекции и режима течения, состояния поверхности и направления обтекания, геометрии тела. Поэтому α – функция процесса теплоотдачи – величина расчетная, а не табличная, и определяется экспериментально.

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

$$\delta Q = \delta Q_s,$$

вставив значения δQ и δQ_s , получим

$$C_p^0 m dT = -\alpha(T - T_0)S d\tau. \quad (3)$$

Выражение (3) можно представить в виде

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

Полагая, что C_p^0 , α , T и T_0 в малом интервале температур не зависят от координат точек поверхности образца, нагретых до одной температуры и одинаковой температуры окружающей среды, напишем соотношение (4) для двух образцов:

$$C_{p1}^0 m_1 S_1 \alpha_1 \left(\frac{dT}{d\tau} \right)_1 = C_{p2}^0 m_2 S_2 \alpha_2 \left(\frac{dT}{d\tau} \right)_2. \quad (5)$$

При использовании этой формулы для двух образцов (эталоны и любого другого), имеющих одинаковые размеры $S_1 = S_2$ и состояния поверхностей, предполагают равными их коэффициенты теплоотдачи $\alpha_1 = \alpha_2$:

$$C_{p1}^0 m_1 \left(\frac{dT}{d\tau} \right)_1 = C_{p2}^0 m_2 \left(\frac{dT}{d\tau} \right)_2. \quad (6)$$

Следовательно, зная массы образцов m_1 и m_2 , скорости охлаждения эталона $(dT/d\tau)_1$ и образцов $(dT/d\tau)_2$, удельную теплоемкость C_{p1}^0 эталона, можно вычислить теплоемкость другого вещества C_{p2}^0 :

$$C_{p2}^0 = \frac{C_{p1}^0 m_1 \left(\frac{dT}{d\tau} \right)_1}{m_2 \left(\frac{dT}{d\tau} \right)_2}. \quad (7)$$

В рамках данной работы исследовано влияние иттрия на теплофизические свойства и термодинамические функции сплава АМг2. Для получения сплавов были использованы алюминий марки А7 и промышленная лигатура на основе алюминия, содержащая 4,0 масс. % иттрия. Содержание иттрия в сплаве АМг2 составляло: 0,01; 0,03; 0,1; 0,2 и 0,5 масс. %. Легирование сплава АМг2 лигатурой осуществляли в открытых шахтных печах типа СШОЛ.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Температурную зависимость теплоемкости, сплава АМг2 с иттрием изучали в режиме охлаждения в интервале температур 300...800 К.

Экспериментально полученные зависимости температуры охлаждения образцов сплава АМг2, легированного иттрием, от времени описываются уравнением

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

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

Дифференцируя уравнение (8) по τ , получаем уравнение для скорости охлаждения образцов

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

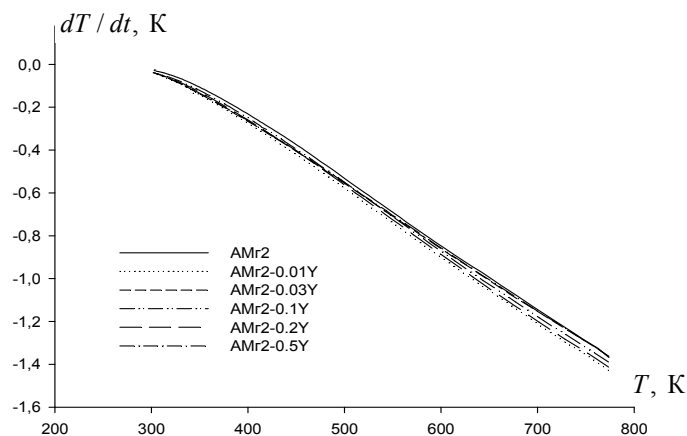


Рис. 1. Температурная зависимость скорости охлаждения образцов сплава АМг2 с иттрием

По уравнению (9) были вычислены скорости охлаждения образцов сплава АМг2 с иттрием. Значения коэффициентов a , b , p , k , ab , pk в уравнении (9) для исследованных сплавов приведены в табл. 1.

Для расчета удельной теплоемкости исследованных сплавов по уравнению (7) был использован коэффициент теплоотдачи α сплава марки АМг2, который вычислялся по правилу аддитивности, исходя из данных для алюминия и магния.

Таблица 1

Значения коэффициентов a , b , p , k , ab , pk в уравнении (2) для сплава АМг2 с иттрием

Содержание Y в сплаве АМг2, масс. %.	a , К	b , 10^{-3} c^{-1}	p , К	k , 10^{-n} c^{-1}	ab , $\text{K} \cdot \text{c}^{-1}$	pk , $\text{K} \cdot \text{c}^{-1}$
0,0	460,97	3,19	353,50	$8,99 \cdot 10^{-5}$	1,47	0,03
0,01	441,18	3,28	341,06	$9,77 \cdot 10^{-5}$	1,44	0,02
0,03	443,31	3,11	340,42	$9,03 \cdot 10^{-5}$	1,70	0,03
0,01	494,91	3,85	395,05	$1,16 \cdot 10^{-4}$	1,90	0,04
0,2	431,55	3,28	349,85	$1,06 \cdot 10^{-4}$	1,41	0,03
0,5	442,84	3,09	340,56	$9,07 \cdot 10^{-5}$	1,36	0,03

Температурная зависимость коэффициента теплоотдачи сплава АМг2 описывается уравнением

$$|\alpha(T)| = -7,3613 + 0,0132T + 5,6799 \cdot 10^{-5}T^2 - 5,1329 \cdot 10^{-8}T^3. \quad (10)$$

По имеющимся в литературе данным по теплоемкости алюминия, магния и сплава АМг2 [5] и экспериментально полученным значениям скорости охлаждения вычислили температурную зависимость коэффициента теплоотдачи сплава АМг2 по уравнению (10).

На рис. 2. представлена температурная зависимость коэффициента теплоотдачи сплава АМг2 с иттрием, для которой характерен рост значения ко-

эфициента теплоотдачи от температуры, в частности для сплавов, содержащих 0,1...0,5 масс. % иттрия.

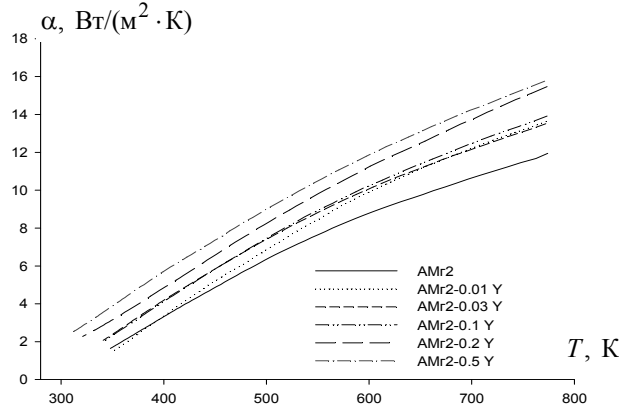


Рис. 2. Температурная зависимость коэффициента теплоотдачи сплава АМг2 с иттрием

С помощью программы SigmaPlot, обрабатывая имеющиеся литературные и экспериментальные данные по теплоемкости сплава АМг2 и иттрия [6], получили следующие уравнения температурной зависимости удельной теплоемкости для сплава АМг2 и иттрия (в скобках указаны соответствующие коэффициенты регрессии):

$$C_P^{\text{АМг2}} = 414,8201 + 0,9585T + 9,5925 \cdot 10^{-4} T^2 - 1,304 \cdot 10^{-6} T^3, \quad (R = 0,9997)$$

$$C_P^Y = 281,6429 + 0,0384T + 6,1905 \cdot 10^{-5} T^2 - 5,879 \cdot 10^{-8} T^3 \quad (R = 0,9997) \quad (11)$$

и сплава АМг2 с иттрием, масс. % Y :

$$\left\{ \begin{array}{l} 0,01 \% Y \quad C_P = 414,8068 + 0,9584T + 9,5916 \cdot 10^{-4} T^2 - 1,3039 \cdot 10^{-6} T^3, \\ 0,03 \% Y \quad C_P = 414,7801 + 0,9582T + 9,5898 \cdot 10^{-4} T^2 - 1,3036 \cdot 10^{-6} T^3, \\ 0,1 \% Y \quad C_P = 414,6869 + 0,9576T + 9,5835 \cdot 10^{-4} T^2 - 1,3027 \cdot 10^{-6} T^3, \\ 0,2 \% Y \quad C_P = 414,55371 + 0,9567T + 9,5746 \cdot 10^{-4} T^2 - 1,3014 \cdot 10^{-6} T^3, \\ 0,5 \% Y \quad C_P = 414,1542 + 0,9539T + 9,5476 \cdot 10^{-4} T^2 - 1,2976 \cdot 10^{-6} T^3. \end{array} \right. \quad (12)$$

Значения удельной теплоемкости сплава АМг2 с иттрием для различных температур представлены в табл. 2. Видно, что с ростом температуры теплоемкость сплавов растет, а с увлечением содержания иттрия в сплаве АМг2 — уменьшается. Данная закономерность имеет место для всех сплавов независимо от содержания легирующего компонента в сплаве АМг2.

Таблица 2

Температурная зависимость удельной теплоемкости (Дж/кг·К) сплава АМг2 с иттрием

T, К	Содержание иттрия в сплаве АМг2, масс.%					
	0,0	0,01	0,03	0,1	0,2	0,5
300	753,49	753,43	753,35	753,05	753,08	751,22
400	868,24	868,15	868,07	867,69	867,78	865,43
500	970,88	970,75	970,68	970,24	970,39	967,59
600	1053,58	1053,40	1053,36	1052,87	1053,12	1049,93
700	1108,53	1108,27	1108,29	1107,77	1108,14	1104,64
800	1127,89	1127,54	1127,64	1127,13	1127,65	1123,95

Экспериментальное измерение теплоемкости для разных интервалов температур является основным методом определения термодинамических свойств веществ. Для расчета температурной зависимости энтальпии, энтропии и энергии Гиббса использовали интегралы от удельной теплоемкости по нижеприведенным уравнениям:

$$H^0(T) - H^0(T_0) = H^0(298,15) + \int_{298,15}^T C_p^0(T) dT ;$$

$$S^0(T) - S^0(T_0) = \int_{298,15}^T \frac{C_p^0}{T} dT, \quad (13)$$

$$[G^0(T) - G^0(298,15)] = [H^0(T) - H^0(298,15)] - T[S^0(T) - S^0(298,15)].$$

Рассчитанные значения энтальпии и энтропии сплава АМг2 с иттрием в зависимости от состава и температуры представлены в табл. 3 и 4, а температурная зависимость энергии Гиббса – на рис. 3.

Таблица 3

Температурная зависимость энтальпии (кДж/кг·К) сплава АМг2 с иттрием

T, К	Содержание иттрия в сплаве АМг2, масс.%					
	0,0	0,01	0,03	0,1	0,2	0,5
300	1,2035	1,2034	1,2033	1,2028	1,2022	1,2001
400	70,1073	70,1030	70,0941	70,06724	70,0270	69,9037
500	147,2464	147,2373	147,2176	147,1589	147,0709	146,8015
600	234,2233	234,2083	234,1755	234,0784	233,9328	233,4876
700	333,4225	333,4008	333,3516	333,2080	332,9924	332,3346
800	448,0113	447,9816	447,9121	447,7116	447,4102	446,4935

Таблица 4

Температурная зависимость энтропии (кДж/кг·К) сплава АМг2 с иттрием

T, К	Содержание иттрия в сплаве АМг2, масс. %					
	0,0	0,01	0,03	0,1	0,2	0,5
300	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0060	0,0051
400	0,2017	0,2017	0,2016	0,2016	0,2034	0,2022
500	0,3734	0,3734	0,3733	0,3732	0,3750	0,3735
600	0,5317	0,5317	0,5316	0,5314	0,5331	0,5312
700	0,6844	0,6843	0,6842	0,6839	0,6855	0,6833
800	0,8371	0,8371	0,8369	0,8366	0,8380	0,8355

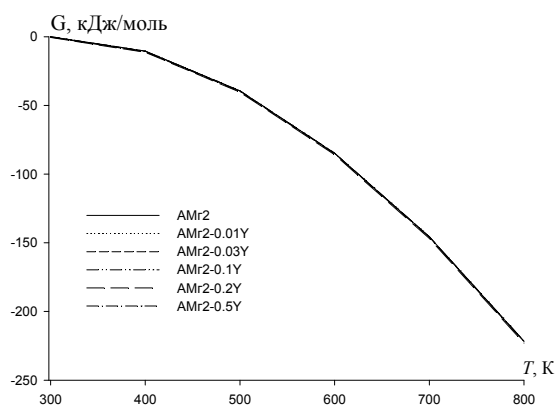


Рис. 3. Температурная зависимость энергии Гиббса для сплава АМг2 с иттрием

Как видно, независимо от содержания иттрия, с ростом температуры значения энтальпии увеличиваются, а энергия Гиббса уменьшается, особенно для сплавов, содержащих более 0,1 масс. % иттрия. Энтропия сплавов с ростом содержания иттрия уменьшается, а с температурой растет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В режиме охлаждения исследована температурная зависимость теплоемкости и коэффициента теплоотдачи сплава АМг2, легированного иттрием. Показано, что с ростом температуры теплоемкость и коэффициент теплоотдачи сплавов растут. С увеличением концентрации иттрия в сплаве АМг2 теплоемкость сплавов незначительно уменьшается, а коэффициент теплоотдачи растет.

Рассчитанная по величинам теплоемкости энтальпия сплава АМг2 с иттрием показывает ее рост с температурой и незначительным уменьшением от содержания легирующего компонента. Энтропия сплавов с ростом температуры растет, а с увеличением концентрации легирующего компонента (иттрия) — уменьшается. Значения энергии Гиббса для сплава АМг2 с иттрием с ростом его содержания и температуры уменьшаются.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Диаграммы состояния двойных металлических систем. В 3 т. Т. 1: справочник / под. общ. ред. Н.П. Лякишева. – М.: Машиностроение, 1996. – 992 с.
2. *Белецкий В.М., Кривов Г.А.* Алюминиевые сплавы: (состав, свойства, технология, применение): справочник / под общ. ред. И.Н. Фридляндера. – Киев: КОМИНТЕХ, 2005. – 365 с.
3. *Муллоева Н.М., Ганиев И.Н., Махмадуллоев Х.А.* Теплофизические и термодинамические свойства сплавов свинца с щелочноземельными металлами. – Германия: LAP Lambert Academic Publishing, 2013. – 152 с.
4. Влияние скандия на физико-химические свойства сплава AMg_4 / С.Ж. Иброхимов, Б.Б. Эшов, И.Н. Ганиев, Н.Ф. Иброхимов // Известия Самарского научного центра Российской Академии наук. – 2014. – Т. 16, № 4. – С. 256–260.
5. Температурная зависимость теплоемкости и термодинамических функций сплавов системы $Pb-Ca$ / И.Н. Ганиев, Н.М. Муллоева, З. Низомов, Ф.У. Обидов, Н.Ф. Иброхимов // Теплофизика высоких температур. – 2014. – Т. 52, № 1. – С. 147–150.
6. *Зиновьев В.Е.* Теплофизические свойства металлов при высоких температурах: справочник. – М.: Металлургия, 1989. – 384 с.
7. Измерение удельной теплоемкости твердых тел методом охлаждения / З. Низомов, Б.Н. Гулов, Р.Х. Саидов, З. Авезов // Вестник Таджикского национального университета. – 2010. – № 3 (59). – С. 136–141.
8. *Гулов Б.Н., Саидов Р.Х., Низомов З.* Исследование температурной зависимости термодинамических свойств сплава $AK1+2\%Cu$ // Вестник Таджикского технического университета. – 2012. – № 1 (17). – С. 14–18.
9. Влияние церия на теплофизические свойства сплава AMg_2 / Н.Ф. Иброхимов, И.Н. Ганиев, З. Низомов, Н.И. Ганиева, С.Ж. Иброхимов // Физика металлов и металловедение. – 2016. – Т. 117, № 1. – С. 53–58.
10. *Золоторевский В.С., Белов Н.А.* Металловедение литейных алюминиевых сплавов. – М.: МИСиС, 2005. – 376 с.
11. Теплоемкость особо чистого алюминия в зависимости от температуры / Х. Маджидов, Б. Аминов, М. Сафаров, А. Вахобов, Ф.У. Обидов // Доклады Академии наук Таджикской ССР. – 1990. – Т. 33, № 6. – С. 380–383.
12. Температурная зависимость теплоемкости сплава $AK1M_2$, легированного редкоземельными металлами / З. Низомов, Б.Н. Гулов, И.Н. Ганиев, Р.Х. Саидов, А.Э. Бердиев // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – 2011. – Т. 54, № 11. – С. 917–921.

Иброхимов Насимжон Файзуллоевич, аспирант кафедры материаловедения Таджикского технического университета. Основное направление научных исследований – теплофизические и механические свойства алюминиевых сплавов. Имеет 30 публикаций. E-mail: nasimqon@mail.ru

Ганиев Изатулло Наврузович, доктор химических наук, профессор, академик АН Республики Таджикистан, заведующий лабораторией Института химии им. В.И. Никитина АН Республики Таджикистан. Основное направление научных исследований – свойства алюминиевых сплавов. Имеет более 400 публикаций. E-mail: ganiev48@mail.ru

Ганиева Наргис Изатуллоевна, кандидат технических наук, заведующий кафедрой материаловедения Таджикского технического университета им. акад. М.С. Осими. Основное направление научных исследований – теплофизические и механические свойства сплавов алюминия. Имеет более 100 публикаций. E-mail: n.ganieva77@mail.ru

Yttrium effects on thermophysical properties of AMg2 alloys*

N.F. IBROKHIMOV¹, I.N. GANIEV², N.I. GANIEVA³

¹ 10a Acad. Rajabovs Prospekt, Dushanbe, RT, 734042, Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi, graduate student. E-mail: nasimqon@mail.ru

² Dushanbe, RT, 734042, Nikitin Institute of Chemistry, Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan, laboratory head; Academician of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan, D. Sc. (Chem.), prof. E-mail: ganiev48@mail.ru

³ 10a Acad. Rajabovs Prospekt, Dushanbe, RT, 734042, Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi, Ph.D., associate professor. E-mail: n.ganieva77@mail.ru

The temperature dependence of heat capacity, the heat transfer coefficient, and the thermodynamic functions (enthalpy, entropy and the Gibbs energy) of the AMg2 alloy doped with yttrium were studied in the cooling mode. Measurements of the alloy heat capacity were carried out on an installation based on the C-calorimeter method with a heat meter and an adiabatic shell. The principle of heat capacity measurement implies that a heat flow through the average cross-section of the heat meter goes to the heating of the test sample and an ampoule. The value of the heat flow passing through the heat meter is estimated from the temperature drop on the heat meter and the thermal conductivity of the heat meter determined from independent calibration experiments with a copper sample. The temperature range is from 298.15 to 800 K. It is shown that the addition of yttrium to 0.5 mass% increases the heat transfer coefficient of the initial alloy, while the heat capacity of the alloys decreases slightly. However, it is shown that with increasing temperature the heat transfer coefficient and heat capacity of doped alloys grows.

Based on the experimental results of studying the heat capacity of alloys and their temperature dependences, a change in the enthalpy, entropy, and the Gibbs energy in the range from 300 to 800 K was calculated. It has been found that the addition of yttrium to the AM2 alloy practically does not affect the change in the alloy enthalpy and entropy values which increase with increasing temperature. The alloying components also do not affect the change in the value of the Gibbs energy of the AM2 alloy which decreases with increasing temperature

Keywords: AMg2 alloys, magnesium, yttrium, temperature dependence, specific heat, heat capacity measurement, heat transfer coefficient, thermodynamic functions, enthalpy, entropy, Gibbs energy

DOI: 10.17212/1814-1196-2017-2-177-187

REFERENCES

1. Lyakishev N.P., ed. *Diagrammy sostoyaniya dvoynykh metallicheskih sistem*. V 3 t. T. 1: spravochnik [Diagram condition of double metallic system. In 3 vol. Vol. 1: reference]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1996. 992 p.
2. Beletskii V.M., Krivov G.A. *Alyuminievye splavy: (sostav, svoystva, tekhnologiya, primeneniye): spravochnik* [Aluminum alloys (composition, properties, technology, applications): reference]. Ed. by I.N. Fridlyander. Kiev, Komintex Publ., 2005. 365 p.
3. Mulloeva N.M., Ganiev I.N., Makhmadulloev Kh.A. *Teplofizicheskie i termodinamicheskie svoystva splavov svintsy s shchelochnozemel'nymi metallami* [A heat physical and thermodynamically properties of lead alloys with alkaline earth metals]. Germany, LAP Lambert Academic Publishing, 2013. 152 p.
4. Ibrokhimov S.Zh., Eshov B.B., Ganiev I.N., Ibrokhimov N.F. Vliyanie skandiya na fiziko-khimicheskie svoystva splava AMg4 [Effect of scandium on the physicochemical properties of the alloy AMr4]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk – Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 2014, vol. 16, no. 4, pp. 256–260.

* Received 09 January 2017.

5. Ganiev I.N., Mulloeva N.M., Nizomov Z., Obidov F.U., Ibrokhimov N.F. Temperatur'naya zavisimost' teploemkosti i termodinamicheskikh funktsii splavov sistemy Pb–Ca [Temperature dependence of the specific heat and thermodynamic functions of alloys of the Pb–Ca system]. *Teplofizika vysokikh temperatur – High Temperature*, 2014, vol. 52, no. 1, pp. 147–150. (In Russian).

6. Zinov'ev V.E. *Teplofizicheskie svoystva metallov pri vysokikh temperaturakh: spravochnik* [Heat physical properties of metals on high temperature: publish guide]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1989. 384 p.

7. Nizomov Z., Gulov B.N., Saidov R.Kh., Avezov Z. Izmerenie udel'noi teploemkosti tverdykh tel metodom okhlazhdeniya [Measurement specific thermal capacity of firm bodies by method of cooling]. *Vestnik Tadzhijskogo natsional'nogo universiteta – Bulletin of the Tajik National University*, 2010, no. 3 (59), pp. 136–141.

8. Gulov B.N., Saidov R.H., Nizomov Z. Issledovanie temperaturnoi zavisimosti termodinamicheskikh svoystv splava AK1+2%Cu [Research of temperature dependence of thermodynamic properties of an alloy AK1+2%Cu]. *Vestnik Tadzhijskogo tekhnicheskogo universiteta – Herald of Tajik technical University*, 2012, no. 1 (17), pp. 14–18.

9. Ibrokhimov N.F., Ganiev I.N., Nizomov Z., Ganieva N.I., Ibrokhimov S.Zh. Vliyanie tseriya na teplofizicheskie svoystva splava AMr2 [Effect of cerium on the thermophysical properties of the AMr2 alloy]. *Fizika metallov i metallovedenie – The Physics of Metals and Metallography*, 2016, vol. 117, no. 1, pp. 53–58. (In Russian).

10. Zolotarevskii V.S., Belov N.A. *Metallovedenie liteinykh alyuminievykh splavov* [Metallurgical cast aluminum alloys]. Moscow, MISiS Publ., 2005. 376 p.

11. Madzhidov Kh., Aminov B., Safarov M., Vakhobov A., Obidov F.U. Teploemkost' osobo chistogo alyuminiya v zavisimosti ot temperatury [The heat capacity of ultrapure aluminum, depending on the temperature]. *Doklady Akademii nauk Tadzhijskoi SSR*, 1990, vol. 33, no. 6, pp. 380–383.

12. Nizomov Z., Gulov BN, Ganiev I.N., Saidov R.Kh., Berdiev A.E. Temperatur'naya zavisimost' teploemkosti splava AK1M2, legirovannogo redkozemel'nymi metallami [Warm-up dependency of specific thermal capacity alloy AS1M2 containing rem]. *Doklady Akademii nauk Respubliki Tadzhijskistan – Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan*, 2011, vol. 54, no. 11, pp. 917–921.