

НТИ «Цифровое материаловедение: новые материалы и вещества», выступающий драйвером развития цифрового материаловедения в России.

Большой потенциал заложен в цифровом материаловедении, заключающийся в сокращении времени и расходов на исследования новых материалов, улучшении их свойств и создании более эффективных технологий производства. Уже сегодня достижения в материаловедении в дополнении с новыми цифровыми инструментами и языками позволяют обойти ограничения проектирования и способствуют развитию сотрудничества между научными и промышленными организациями, что обеспечивает повышение конкурентоспособности российской промышленности.

Список использованных источников

1. Материалы нового века. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://atomvestnik.ru/2023/03/30/materialy-novogo-veka/>
2. Тенденции цифрового материаловедения в 2023 году. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://compositeworld.ru/articles/market/id641c6af6c0b2e200121f9576>

УДК 669. 017:536.4

Ф.Ш. Зокиров

Таджикский технический университет им. М.С. Осими
Душанбе, Таджикистан

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛООТДАЧИ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АК12М2 С БАРИЕМ

Аннотация. В статье приведены результаты исследования температурной зависимости коэффициента теплоотдачи алюминиевого сплава АК12М2 с барием в диапазоне температуры 300–800К. Установлено, что модифицирующий компонент в изученном концентрационном интервале (0,01÷0,5 мас.%) уменьшает коэффициент теплоотдачи исходного сплава.

Ключевые слова: алюминиевый сплав АК12М2, барий, теплоёмкость, коэффициент теплоотдача.

TEMPERATURE DEPENDENCE OF THE HEAT TRANSFER COEFFICIENT OF AK12M2 ALUMINUM ALLOY WITH BARIUM

Abstract. The article presents the results of a study of the temperature dependence of the heat transfer coefficient of the aluminum alloy AK12M2 with barium in the temperature range of 300–800K. It has been established that the modifying component in the studied concentration range (0.01÷0.5 wt.%) reduces the heat transfer coefficient of the initial alloy.

Key words: AK12M2 aluminum alloy, barium, heat capacity, heat transfer coefficient, standard.

Настоящая работа посвящена исследованию влияния добавок бария на коэффициент теплоотдачи алюминиевого сплава АК12М2. В литературе практически отсутствуют экспериментальные данные по коэффициенту теплоотдачи этого сплава. Исследования температурной зависимости коэффициента теплоотдачи алюминиевого сплава АК12М2 с барием провели путём измерения теплоёмкости [1,2].

Для приготовления сплавов был использован алюминий марки А5 (ГОСТ 110669-01), кремний кристаллический (ГОСТ 25347-82); медь марки М09995 (ГОСТ 97172-82) и барий металлический марки БМ–1 (ТУ48-4-465-85). Сплавы для исследования были получены в шахтной печи электрического сопротивления типа СШОЛ в интервале температур 750-850°С. Состав полученных сплавов выборочно контролировалось взвешиванием образцов до и после сплавления, а также химическим анализом. Затем проводилась выборка сплавов и исследовались сплавы, у которых до и после сплавления разница в массе не превышала 1% (отн.). Алюминиевый сплав АК12М2 с барием подвергался химическому анализу на содержание основных компонентов в Центральной заводской лаборатории алюминиевой компании ГУП “ТАЛКО”. Из полученных сплавов отливались цилиндрические образцы длиной 30 мм и диаметром 16 мм.

Как известно [2], теплоёмкость твердых тел в режиме «охлаждения» определяется по уравнению

$$C_{P_2}^0 = C_{P_1}^0 \frac{m_1}{m_2} \frac{\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_1}{\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_2}, \quad (1)$$

где $m_1 = \rho_1 V_1$ – масса эталона, $m_2 = \rho_2 V_2$ – масса исследуемого образца; $(dT/d\tau)_1, (dT/d\tau)_2$ – скорости охлаждения эталона и образцов из сплавов при данной температуре.

Для определения скорости охлаждения строят кривые охлаждения образцов.

Полученные кривые охлаждения образцов из сплавов описываются уравнением вида

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

Обработка результатов измерений и построение графиков производились с помощью программ MS Excel и Sigma Plot. Коэффициент корреляции составил $R_{\text{корр.}} > 0.999$, что подтверждает правильность выбора аппроксимирующей функции. Временной интервал фиксации температуры составлял 10 с. Относительная ошибка измерения теплоёмкости в интервале от 40°C до 400°C составляла $\pm 1\%$, а выше 400°C – $\pm 2.5\%$ [2].

Результаты исследования температуры охлаждения изучаемых сплавов представлены на рис. 1а. В общем случае полученные графики температуры (Т) от времени охлаждения (τ) для образцов из алюминиевого сплава АК12М2 с барием показывают непрерывное уменьшение температуры образцов и эталона по мере их охлаждения. На кривых охлаждения термических эффектов, связанных с фазовым превращением, не обнаружено.

Дифференцируя уравнение (2) по τ , получаем уравнение для скорости охлаждения образцов

$$\frac{dT}{d\tau} = \frac{1}{2} \left[-\left(\frac{T_1 - T_0}{\tau_1}\right) e^{-\tau/\tau_1} - \left(\frac{T_2 - T_0}{\tau_2}\right) e^{-\tau/\tau_2} \right]. \quad (3)$$

Значения коэффициентов в уравнении (3) для исследованных сплавов приведены в таблице. По этому уравнению были вычислены скорости охлаждения образцов, сплава АК12М2 с барием, графический вид которых представлен на рис. 1б.

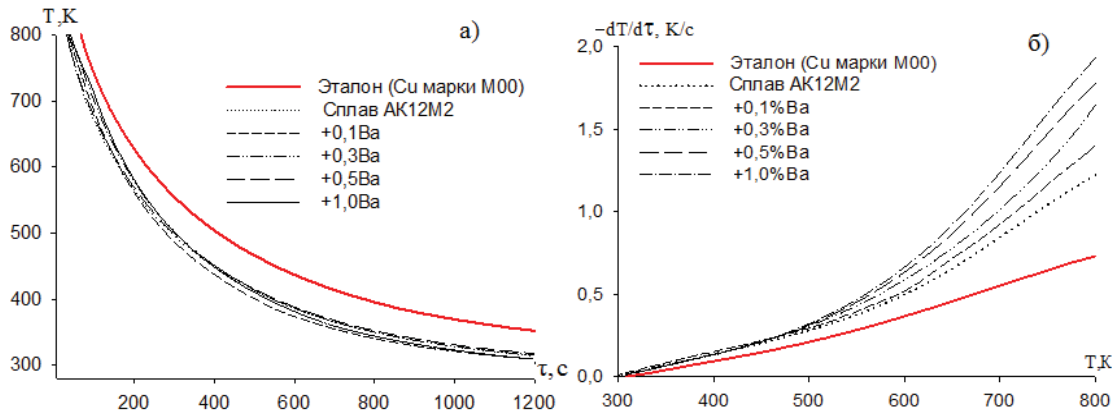


Рис. 1 - График изменения температуры от времени охлаждения (а) и скорость охлаждения образцов от температуры (б) для образцов из алюминиевого сплава АК12М2 с кальцием, мас. %: 0.1% (2); 0.3% (3); 0.5% (4); 1.0% (5) и эталона (Cu марки М00)

Таблица - Значения коэффициентов $\Delta T_1, \tau_1, \Delta T_2, \tau_2$ в уравнении (3) для алюминиевого сплава АК12М2 с барием и эталона (Cu марки М00)

Содержание бария в сплаве, мас. %	$T_1 - T_0$, К	τ_1 , с	$T_2 - T_0$, К	τ_2 , с	$(T_1 - T_0) / \tau_1$, К/с	$(T_2 - T_0) / \tau_2$, К/с	T_0 , К
0.0	174.73	76.92	424.43	394.99	2.27	1.07	293.76
0.1	220.22	133.70	369.66	388.85	1.65	0.95	292.71
0.3	271.41	164.44	320.55	460.98	1.65	0.70	291.57
0.5	163.22	89.29	419.59	395.05	1.83	1.06	296.85
1.0	166.21	84.75	407.43	389.67	1.96	1.05	297.74
Эталон	277.41	109.73	390.83	543.51	2.53	0.72	308.35

После проведения полиномиальной регрессии получено следующее общее уравнение для описания температурной зависимости удельной теплоемкости алюминиевого сплава АК12М2 с барием

$$C_p^0 = a + bT + cT^2 + dT^3. \quad (4)$$

Используя (4), получены следующие уравнения температурной зависимости удельной теплоемкости для сплава АК12М2:

$$C_p^{0AK12M2} = 722.73 + 1.3792T - 1.07 \cdot 10^{-3} T^2 + 6.99 \cdot 10^{-7} T^3 (R = 0.9997);$$

и сплавов с барием, мас. %:

$$\left. \begin{aligned} 0.1\%: C_p^0 &= 722.04 + 1.38T - 1.07 \cdot 10^{-3} T^2 + 6.99 \cdot 10^{-7} T^3; \\ 0.3\%: C_p^0 &= 775.67 + 1.23T - 8.23 \cdot 10^{-4} T^2 + 5.41 \cdot 10^{-7} T^3; \\ 0.5\%: C_p^0 &= 757.71 + 1.15T - 7.06 \cdot 10^{-4} T^2 + 4.67 \cdot 10^{-7} T^3; \\ (5) \quad 1.0\%: C_p^0 &= 815.82 + 0.79T - 1.15 \cdot 10^{-4} T^2 + 1.06 \cdot 10^{-7} T^3 \end{aligned} \right\}$$

С использованием значений удельной теплоемкости и скоростей охлаждения образцов вычислен коэффициент теплоотдачи алюминиевого сплава АК12М2 с барием по уравнению

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

где T и T_0 – температуры образца и окружающей среды; S , m – площадь поверхности и масса образца, соответственно.

На рис. 2 приведены результаты расчета коэффициента теплоотдачи алюминиевого сплава АК12М2 с барием, в зависимости от температуры. Видно, что добавки бария и температура увеличивается коэффициент теплоотдачи алюминиевого сплава АК12М2.

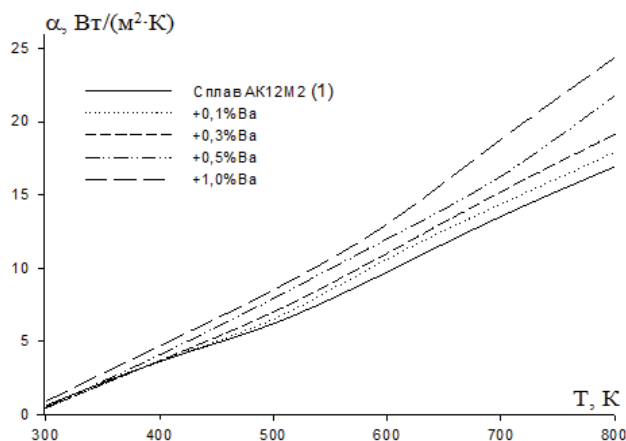


Рис. 2 - Температурная зависимость коэффициента теплоотдачи алюминиевого сплава АК12М2 с барием

Таким образом, в режиме «охлаждения» установлен коэффициент теплоотдачи алюминиевого сплава АК12М2 с барием. Показано, что с повышением температуры и содержания бария в сплаве коэффициент теплоотдачи увеличивается.

Список использованных источников

1. Киров С.А., Козлов А.В, Салецкий А.М., Харабадзе Д.Э. Измерение теплоемкости и теплоты плавления методом охлаждения / М.:ООП Физ. Фак-т МГУ. 2012. 23 с.
2. Зокиров Ф.Ш., Ганиев И.Н., Сангов М.М., Иброхимов Н.Ф. Влияние кальция на температурную зависимость теплоемкости и изменчивость термодинамической функции сплава АК12М2 // Теплофизика высоких температур. 2018. Т. 56. № 6. С. 867-872.