

Осими Окил, Назаров Х.М., Ганиев И.Н.

**СУРЬМА АРАЛАШТЫРЫЛЫП ЖАСАЛГАН АК12 ЭРИТМЕСИНИН ЖЫЛУУЛУК
ӨТКӨРҮМДҮҮЛҮК КОЭФФИЦИЕНТИНИН ЖАНА ЖЫЛУУЛУК
СЫЙЫМДУУЛУГУНУН ТЕМПЕРАТУРАДАН КӨЗ КАРАНДЫЛЫГЫ**

Осими Окил, Назаров Х.М., Ганиев И.Н.

**ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ТЕПЛОЕМКОСТИ И КОЭФФИЦИЕНТА
ТЕПЛООТДАЧИ СПЛАВА АК12, ЛЕГИРОВАННОГО СУРЬМОЙ**

Osimi Oqil, Kh.M. Nazarov, I.N. Ganiev

**TEMPERATURE DEPENDENCE OF THE HEAT CAPACITY AND HEAT TRANSFER
COEFFICIENT OF ALLOY AK12 ANTIMONY DOPED**

УДК: 620.

Макалада АК12 эритмесинин жылуулук өткөрүмдүүлүк коэффициентинин жана жылуулук сыйымдуулугунун температуралык көз карандылыгына сурьманын тийгизген таасирин эксперименталдык изилдөөнүн жыйынтыктары келтирилди. Сурьманын өлчөмүнүн жогорулашы менен эритмелердин жылуулук сыйымдуулугунун төмөндөгөнү, ал эми температуранын жогорулашы менен жылуулук сыйымдуулугунун жогорулаганы көрсөтүлдү. Эритмелердин жылуулук өткөрүмдүүлүк коэффициенти эритмеде сурьманын өлчөмүнүн жогорулашы менен азаят, ал эми температуранын жогорулашы менен көбөйөт.

Негизги сөздөр: эритме, силумин, сурьма, жылуулук сыйымдуулук, жылуулук өткөрүмдүүлүк, энтальпия, энтропия, Гиббс энергиясы.

В статье приведены результаты экспериментального исследования влияния сурьмы на температурную зависимость теплоемкости и коэффициента теплоотдачи сплава АК12. Показано, что с ростом содержания сурьмы удельная теплоемкость сплавов уменьшается, а с температурой увеличивается. Коэффициент теплоотдачи сплавов с увеличением содержания сурьмы в сплаве уменьшается, а с ростом температуры увеличивается.

Ключевые слова: сплав, силумин, сурьма, теплоёмкость, теплоотдача, энтальпия, энтропия, энергия Гиббса.

The results of the experimental research of the effect of antimony on the temperature dependence of the heat capacity and heat transfer coefficient of the alloy AK12 have been brought in the article above. It is shown that with increasing antimony content alloys specific heat decreases, and increases with temperature. The heat transfer coefficient with increasing antimony alloys in the alloy decreases and increases with increasing temperature.

Key words: alloy, silumin, antimony, heat capacity, heat transfer, enthalpy, entropy, Gibbs energy.

Введение

Сурьма – один из наиболее востребованных «малых металлов». Современное мировое потребление сурьмы составляет - 120 тыс. тонн в год, основными потребителями являются США 43-45 тыс.т/год, Япония 16-17 тыс.т/год, Китай 15-16 тыс. т/год. Западная Европа – Франция, Великобритания, Германия по несколько тысяч тонн в год. Россия потребляет 4,2 тыс. т сурьмы [1].

За последние годы интерес исследователей к сплавам с сурьмой возрос, в связи с широким применением в различных отраслях промышленности. В общедоступной технической литературе и в интернете нам не удалось найти сведения о температурной зависимости теплоёмкости силуминов, легированных сурьмой. С другой стороны, все то незначительное количество имеющихся работ для чистых металлов основано на данных, полученных в режиме «нагрева». По чисто физическим соображениям соблюдение достаточно монотонного изменения температуры объекта в режиме «нагрева» крайне сложно из-за наличия целой цепочки внешних факторов (напряжение в сети питания печки, теплопроводность окружающей среды и пр.), то есть из-за многофакторности эксперимента. Наиболее удобным и простым с этой точки зрения методом является режим «охлаждения» образца [2-4].

Экспериментально полученные зависимости температуры образцов сплава и сплавов с сурьмой представлены на рис.1.

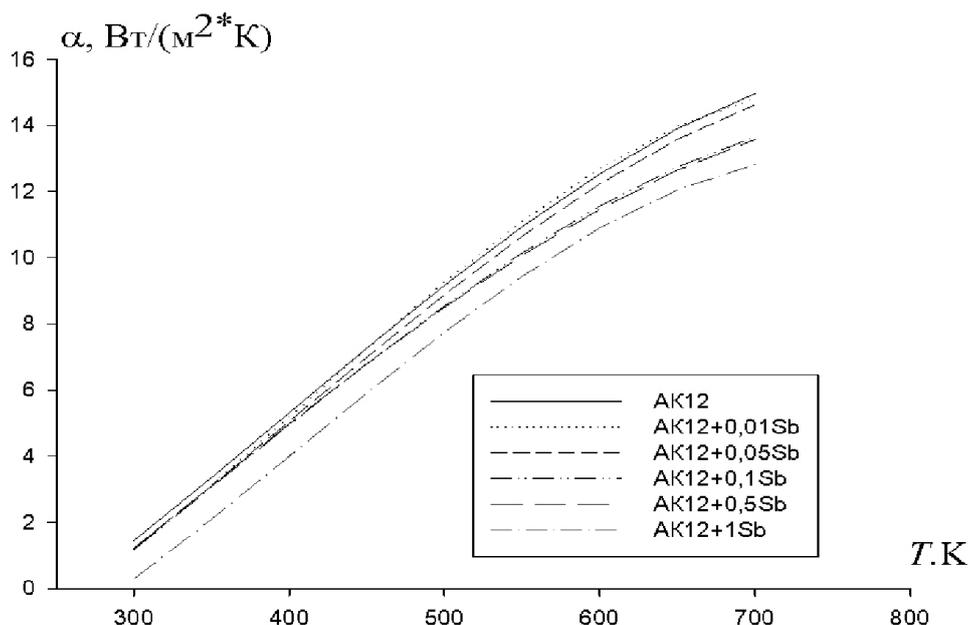


Рис.1. Температурная зависимость коэффициента теплоотдачи сплава АК12, легированного сурьмой.

$$\begin{aligned}
 \text{AK12} \quad T &= 457,11 \exp(-0,00331\tau) + 333,45 \exp(-0,000093\tau) \\
 0,01\% \text{ Sb} \quad T &= 457,11 \exp(-0,00931\tau) + 333,45 \exp(-0,0000931\tau). \\
 0,05\% \text{ Sb} \quad T &= 432,20 \exp(-0,00359\tau) + 353,29 \exp(-0,00014\tau). \\
 0,1\% \text{ Sb} \quad T &= 475,86 \exp(-0,00359\tau) + 318,08 \exp(-0,0000692). \\
 0,5\% \text{ Sb} \quad T &= 464,44 \exp(-0,00297\tau) + 420,19 \exp(-0,000068\tau). \\
 0,1\% \text{ Sb} \quad T &= 462,17 \exp(-0,00313\tau) + 321,79 \exp(-0,000069\tau).
 \end{aligned} \tag{1}$$

Дифференцируя полученные зависимости температуры охлаждения образцов сплавов от времени получаем уравнение для определения скорости охлаждения сплава АК12 - с сурьмой в виде:

$$\frac{dT}{d\tau} = -ab \exp(-b\tau) - pkk \exp(-k\tau). \tag{2}$$

По этому уравнению нами были вычислены скорости охлаждения образцов сплавов. Значения коэффициентов a, b, p, k, ab, pk в уравнении (1) для исследованных сплавов приведены в табл.1.

Вся обработка результатов производилась на MS Excel и графики строились с помощью программы Sigma Plot. Коэффициент регрессии составляет не менее 0,998.

Таблица 1

Значения коэффициентов a, b, p, k, ab, pk в уравнении (2) для сплава АК12 с сурьмой

Содержание Sb, в сплаве АК12, мас. %	a, K	b, 10^{-3} c^{-1}	p, K	k c^{-1}	ab, Kc^{-1}	pk, Kc^{-1}
0,00	457,11	3,31	333,45	$9,3 \cdot 10^{-5}$	1,51	0,030
0,01	432,20	3,59	353,29	$1,4 \cdot 10^{-4}$	1,55	0,049
0,05	475,86	3,09	318,08	$6,9 \cdot 10^{-5}$	1,47	0,021
0,10	462,72	3,41	335,97	$1,0 \cdot 10^{-4}$	1,57	0,033
0,50	464,44	2,97	420,19	$6,8 \cdot 10^{-5}$	1,37	0,028
1,00	462,17	3,13	321,79	$6,9 \cdot 10^{-5}$	1,44	0,022

Для вычисления удельной теплоемкости сплава АК12, легированного сурьмой были использованы $\alpha(T)$ для сплава марки АК12 по уравнению (3):

$$|\alpha(T)| = -5.6268 + 0.0030428T + 9.16 \cdot 10^{-5} T^2 - 7.7012 \cdot 10^{-8} T^3 \tag{3}$$

Для расчета a по уравнению (4) принималась теплоемкость сплава АК12, которая рассчитывалась в свою очередь по известным в литературе [5] данным теплоемкости алюминия и кремния по правилу аддитивности с учетом скорости охлаждения образцов сплава ($dT/d\tau$)

$$\alpha = \frac{c_m \frac{dT}{d\tau}}{(T - T_0) \cdot S} \tag{4}$$

С помощью программы Sigma Plot обрабатывая имеющейся литературные и экспериментальные данные по теплоемкости сплава АК12 и кремния получили следующие уравнения температурной зависимости удельной теплоемкости для сплава АК12 и кремния (в скобках указаны соответствующие коэффициенты

регрессии):

$$C_p^{AK12} = 641.7026 + 0.6704T - 7.2262 \cdot 10^{-4}T^2 + 6.5482 \cdot 10^{-7}T^3 \quad (R=1,0000) \quad (5)$$

$$C_p^{Si} = 2.0597 + 0.0201T - 1.53 \cdot 10^{-4}T^2 + 1.07 \cdot 10^{-6}T^3 \quad (R=1,0000) \quad (6)$$

Используя значение коэффициента теплоотдачи (α) по (3) была вычислена удельная теплоемкость для сплава АК12 (5) и для легированных сурьмой сплава АК12, мас. %Sb:

$$\begin{aligned} 0,01\% \text{ Sb} \quad C_p &= 641.6577 + 0.6703T - 7.2255 \cdot 10^{-4}T^2 + 6.5475 \cdot 10^{-7}T^3 \\ 0,05\% \text{ Sb} \quad C_p &= 641.568 + 0.6702T - 7.2241 \cdot 10^{-4}T^2 + 6.5462 \cdot 10^{-7}T^3 \\ 0,10\% \text{ Sb} \quad C_p &= 641.2539 + 0.6698T - 7.2192 \cdot 10^{-4}T^2 + 6.5415 \cdot 10^{-7}T^3 \\ 0,50\% \text{ Sb} \quad C_p &= 639.4591 + 0.6673T - 7.1912 \cdot 10^{-4}T^2 + 6.5148 \cdot 10^{-7}T^3 \\ 1,00\% \text{ Sb} \quad C_p &= 637.2156 + 0.6641T - 7.1562 \cdot 10^{-4}T^2 + 6.4813 \cdot 10^{-7}T^3 \end{aligned} \quad (6)$$

Вычисленные значения C_p для сплава системы АК12 с сурьмой через 50К представлена в табл.2 и на рис.2.

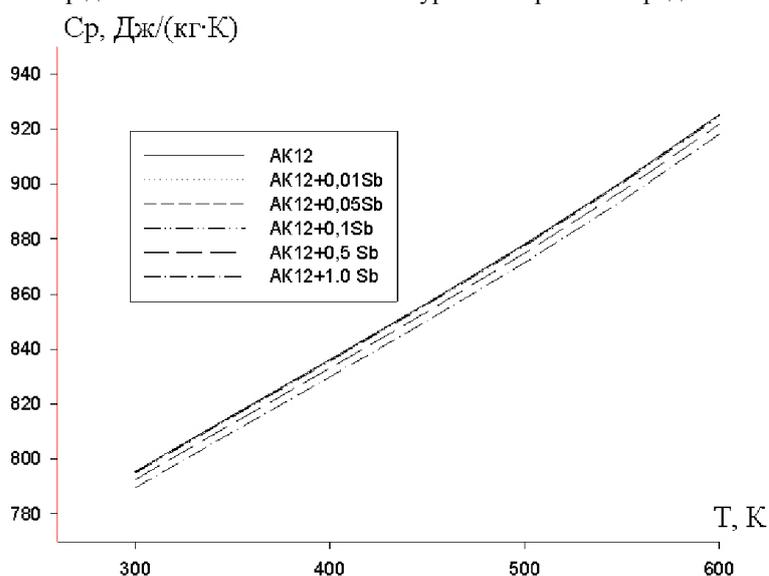


Рис.2. Зависимость удельной теплоёмкости $C_p(T)$ от температуры (T) для сплава АК12, легированного сурьмой

Таблица 2

Температурная зависимость удельной теплоёмкости (C_p Дж/кг·К) сплава АК12, легированного сурьмой

T, К	Содержание сурьмы в сплаве АК12, мас. %					
	0,0	0,01	0,05	0,1	0,5	1,0
300	795,47	795,40	795,29	794,88	792,52	789,54
350	815,90	815,82	815,71	815,30	812,85	809,78
400	836,15	836,07	835,96	835,53	833,01	829,84
450	856,72	856,64	856,52	856,08	853,49	850,21
500	878,10	878,01	877,89	877,44	874,76	871,38
550	900,78	900,69	900,56	900,10	897,33	893,83
600	925,24	925,15	925,02	924,54	921,68	918,05
650	951,99	951,89	951,75	951,26	948,29	944,52
700	981,50	981,40	981,26	980,75	977,66	973,74
750	1014,28	1014,17	1014,03	1013,49	1010,27	1006,18
800	1050,81	1050,70	1050,55	1049,99	1046,62	1042,34
850	1091,59	1091,47	1091,32	1090,73	1087,19	1082,70

Таким образом, экспериментально показано, что с ростом содержания сурьмы удельная теплоемкость

сплавов уменьшается, а с температурой увеличивается. Коэффициент теплоотдачи сплавов с увеличением содержания сурьмы в сплаве уменьшается и с ростом температуры увеличивается.

Литература:

1. VI Конгресс обогатителей стран СНГ. Материалы Конгресса, том. II. - М.: Альтекс, 2007. - С.107-108.
2. Платунов Е.С. Теплофизические измерения в монотонном режиме. - М.: Энергия, 1973. - 144 с.
3. Низомов З., Гулов Б.Н., Саидов Р.Х., Осими Окил. Температурная зависимость термодинамических функций для сплавов АК1 и АК12 / Материалы международной конференции «Современные вопросы молекулярной спектроскопии конденсированных сред» посвященной 50-летию кафедры оптики и спектроскопии. - Душанбе. 2011. - С.188-191.
4. Муллоева Н.М., Ганиев И.Н., Махмадуллоев Х.А., Теплофизические и термодинамические свойства сплавов свинца с ШЗМ. Германия LAP LAMBERT Academic Publishing. 2013.66с
5. В.И.Зиновьев Теплофизические свойства металлов при высоких температурах. Москва «Металлургия» 1989г.

Рецензент: д.хим.н., профессор Юнусов М.М.