

УДК 669.715. 620.193

ВЛИЯНИЕ СКАНДИЯ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВА АМг4

© 2014 С.Ж. Иброхимов¹, Б.Б. Эшов², И.Н. Ганиев², Н.Ф. Иброхимов¹

¹Таджикский технический университет им. академика М.С. Осими, г. Душанбе

²Институт химии им.В.И. Никитина АН Республики Таджикистан, г. Душанбе

Поступила в редакцию 15.04.2014

В работе изучена структура сплава АМг4 легированным скандием и методом термогравиметрии исследовано окисление твёрдого алюминиево-магниевого сплава АМг4, содержащего скандия в атмосфере воздуха. Установлено кинетические и энергетические параметры процесса окисления. Определено удельная теплоемкость исследуемых сплавов.

Ключевые слова: структура, твердость, кинетика окисления – сплав АМг4 – термогравиметрия – продукты окисления, теплоемкость, теплоотдача.

Главный недостаток алюминия как конструкционного материала – это малая прочность, поэтому для упрочнения его обычно сплавляют с небольшим количеством меди и магния.

Сплавы системы Al-Mg характеризуются сочетанием удовлетворительной прочности, хорошей пластичности, очень хорошей свариваемости и коррозионной стойкости. В сплавах этой системы, содержащих до 6 % Mg, образуется эвтектика соединения Al_3Mg_2 с твердым раствором на основе алюминия. Согласно диаграмме состояния системы Al-Mg, при температуре эвтектики (450⁰C) в алюминии растворяется 17,4 % Mg. При понижении температуры растворимость уменьшается [1].

Наиболее широкое распространение в промышленности получили сплавы с содержанием магния от 1 до 5 %. Сплавы с содержанием магния до 3 % (по массе) структурно стабильны при комнатной и повышенной температуре. Увеличение содержания магния свыше 6 % приводит к ухудшению коррозионной стойкости сплава.

В рамках данной работы исследовано влияние скандия на структуру, окисляемость, теплоемкость и твердость сплава АМг4.

Для получения сплавов были использованы алюминий марки А7 и промышленная лигатура на основе алюминия, содержащая 2.0 масс. % скандия. Содержание скандия в сплаве АМг4 составляло 0.01; 0.05; 0.1 и 0.5 масс. %. Сплав АМг4 был

получен в вакуумной печи сопротивления типа СНВ-1.1.1/16ИЗ. Легирование сплава АМг4 лигатурой осуществляли в открытых шахтных печах типа СШОЛ.

Структуру сплавов изучали с помощью металлографического микроскопа МИМ-7 при увеличениях 200 крат. Твердость сплавов по Бринеллю измерили согласно стандартной методике на приборе ТШ-2. Среднее значение определили по результатам 5 измерений.

Структура сплава АМг4, легированного скандием представляет собой - твердый раствор с включением эвтектики (α -Al+Mg₅Al₈), количество и размер которой зависят от содержания скандия в сплаве. Сплавы с относительно малыми добавками скандия характеризуются довольно крупно зернистой микроструктурой. Дальнейшее повышение содержания скандия измельчает микроструктуру, и она становится однородной и мелкозернистой.

Кинетику окисления изучали методом термогравиметрии, основанной на непрерывном взвешивании образца подвешенного на откалиброванной молибденовой пружине с помощью катетометра КМ-8 при постоянной температуре [2,3]. Результаты исследования влияния скандия на кинетические параметры процесса окисления сплава АМг4 приведены в табл. 1.

Добавка скандия в количестве 0.01 масс. % незначительно снижает скорости окисления исходного сплава. Добавки скандия влияют на окисляемость алюминия таким же образом [3]. Дальнейшее повышение концентрации скандия в пределах исследованных составов также снижают скорости окисления. Если, при легировании сплава 0.05 масс. % скандием при температуре 773К скорость окисления составляет $4.6 \cdot 10^{-3}$ кг/м²·сек, то при этой же температуре и увеличении концентрации легирующей добавки в два раза

Иброхимов Сухроб Жанайдуллоевич, старший преподаватель. E-mail: suhrob-73@list.ru

Эшов Бахтиёр Бадалович, ведущий научный сотрудник. E-mail: ishov1967@mail.ru

Ганиев Изатулло Наврузович, академик АН Республики Таджикистан, доктор химических наук, профессор, заведующий лабораторией "Коррозионностойкие материалы". E-mail: E-mail: ganiev48@mail.ru

Иброхимов Насим Файзуллоевич, аспирант кафедры материаловедения ТГУ.

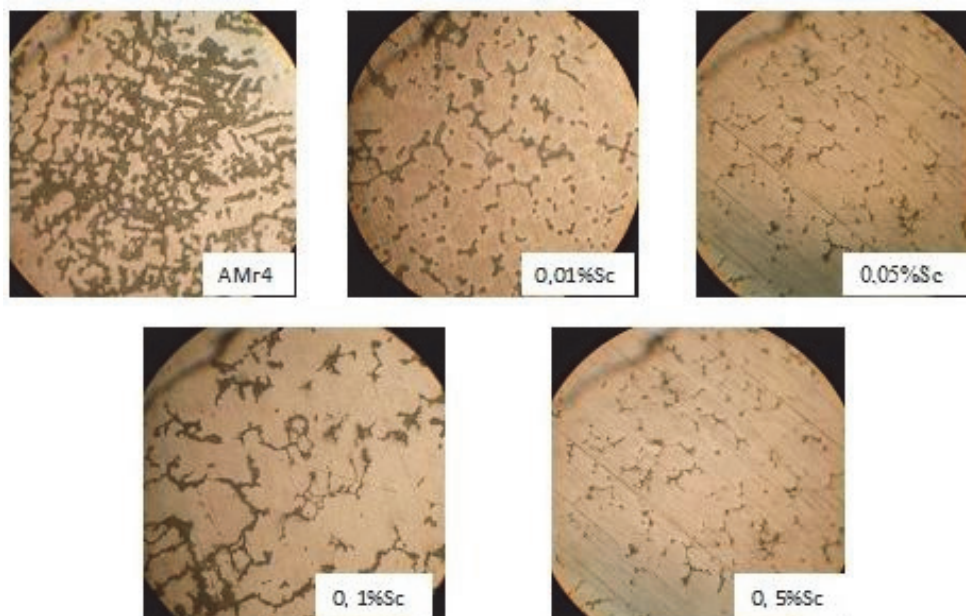


Рис. 1. Микроструктура ($\times 200$) сплава АМг4, легированного скандием (содержание скандия в сплавах указано на рисунке)

Таблица 1. Кинетические и энергетические параметры процесса окисления твердого алюминиевого сплава АМг4, легированного скандием

Содержание скандия в сплаве АМг4, масс. %.	Температура окисления, К	Истинная скорость окисления, $\text{К} \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^2 \cdot \text{сек.}$	Кажущаяся энергия активации, кДж/моль
0.0	773	5,2	102,3
	673	5,9	
	873	6,3	
0.01	773	5,1	129,5
	673	5,6	
	873	6,02	
0.05	773	4,6	142,2
	673	5,2	
	873	5,7	
0.1	773	4,3	153,5
	673	4,9	
	873	5,2	
0.5	773	4,55	128,7
	673	5,05	
	873	5,5	

(до 0,1 масс.%) скорость окисления снижается до $4,3 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^2 \cdot \text{сек}$ (табл. 1). Этот закономерность можно отслеживать и по величинам кажущейся энергии активации, так как она обратно пропорционально скорости окисления. Увеличение содержания скандия до 0,5 масс.% несколько увеличивает скорость окисления исходного сплава. Температурная зависимость теплоемкости, коэффициента теплоотдачи и термодинамические функции сплавов изучали в режиме “охлаждения” в интервале температур 300-800К. Измерения проводились на установке, описанной в работе [4]. Эксперимен-

тально полученные зависимости температуры охлаждения образцов сплава АМг4, легированного скандием от времени описываются уравнением:

$$T = ae^{-b\tau} + pe^{-k\tau}. \quad (1)$$

Дифференцируя уравнение (1) зависимости температуры охлаждения образцов (T) от времени по τ , получаем уравнение температурной зависимости скорости охлаждения сплава АМг4 со скандием в виде:

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

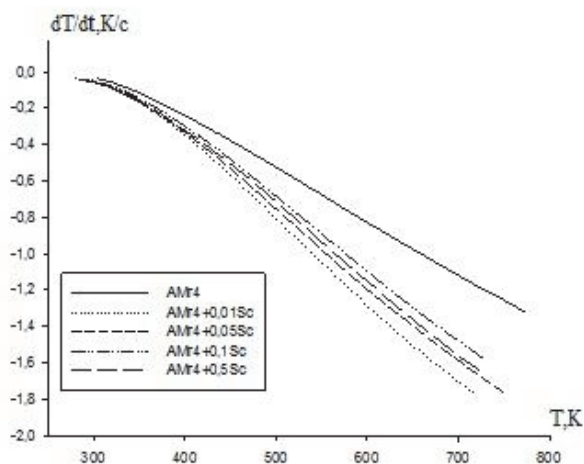


Рис. 2. Температурная зависимость скорости охлаждения сплава АМг4, легированного скандием

Значения коэффициентов a, b, p, k, ab, pk в уравнении (2) приведены в табл.2. Вся обработка результатов производилась на MS Excel и графики строились с помощью программы Sigma Plot. Коэффициент регрессии составляет не менее 0,998.

Таблица 2. Значения коэффициентов a, b, p, k, ab, pk в уравнение (2)

Содержание Sc в сплаве АМг4, мас. %:	a, K	b, $10^{-3} c^{-1}$	p, K	k, $10^{-n} c^{-1}$	ab, Kc ⁻¹	pk, Kc ⁻¹
0,0	427,96	3,1	353,12	$9,82 \cdot 10^{-5}$	1,32	0,03
0,01	542,99	4,57	346,83	$1,29 \cdot 10^{-4}$	2,48	0,04
0,05	557,18	4,36	354,99	$1,45 \cdot 10^{-4}$	2,41	0,05
0,1	522,33	4,03	354,94	$1,30 \cdot 10^{-4}$	2,10	0,04
0,5	523,39	4,26	358,25	$1,48 \cdot 10^{-4}$	2,22	0,05

Таблица 3. Температурная зависимость коэффициента теплоотдачи ($Вт/К \cdot м^2$) сплава АМг4 со скандием

T, K	Содержание скандия в сплаве АМг4, мас. %				
	0.0	0.01	0.05	0.1	0.5
300	3,43	7,31	7,4645	8,8878	12,642
350	6,56	12,64	12,84472	15,2472	21,2561
400	10,27	19,65	19,9696	23,6542	32,8716
450	14,56	28,33	28,83912	34,1088	47,4885
500	19,44	38,69	39,4533	46,611	65,1068
550	24,91	50,73	51,81212	61,1608	85,7265
600	30,97	64,44	65,9156	77,7582	109,3476
650	37,61	79,83	81,76372	96,4032	135,9701
700	44,83	96,90	99,3565	117,0958	165,594
750	52,65	115,64	118,6939	139,836	198,2193
800	61,05	136,06	139,776	164,6238	233,846

Для расчета удельной теплоемкости исследованных сплавов был использован коэффициент теплоотдачи (α) сплава марки АМг4, которое вычислялось по уравнению:

$$|\alpha_{AMg4}(T)| = -2.9820 - 0.0138 T + 0.0001173 T^2 - 8.8945 \cdot 10^{-8} T^3 \quad (3)$$

По имеющимся в литературе данным по теплоемкости алюминия, магния и сплава АМг4 [5] и экспериментально полученным величинам скорости охлаждения вычислили температурную зависимость коэффициента теплоотдачи сплава по уравнению (4) Результаты расчёта представлены в табл. 3.

Далее с помощью программы Sigma Plot обрабатывая имеющиеся литературные и экспериментальные данные по теплоемкости сплава АМг4 и скандия [5] получили следующие уравнения температурной зависимости удельной теплоемкости для сплава АМг4 и скандия (в скобках указаны соответствующие коэффициенты регрессии) :

$$C_p^{AMg4} = 415.2996 + 1.0233 T - 0.00064973 T^2 + 1.0236 \cdot 10^{-6} T^3, (R=1,0000), (5)$$

$$C_p^{Sc} = 489.8333 + 0.3765 T + 4.7143 \cdot 10^{-4} T^2 + 3.0556 \cdot 10^{-7} T^3, (R=1,0000). (6)$$

Используя значения коэффициента теплоотдачи сплавов, была вычислена удельная теплоемкость сплавов со скандием по уравнению (7)

$$|\alpha(T)| = \frac{C_p(T)m(dT/d\tau)}{(T-T_0)^s}. (7)$$

Для сплава АМг4 легированного скандием, получены следующие уравнения:

$$0.01\%Sc C_p = 415.3071 + 1.0232 T + 6.4962 \cdot 10^{-4} T^2 - 1.0235 \cdot 10^{-6} T^3$$

$$0.05\%Sc C_p = 415.3369 + 1.0230 T + 6.4917 \cdot 10^{-4} T^2 - 1.0229 \cdot 10^{-6} T^3$$

$$0.1\%Sc C_p = 415.3741 + 1.0227 T + 6.4861 \cdot 10^{-4} T^2 - 1.0223 \cdot 10^{-6} T^3$$

$$0.5\% Sc C_p = 415.6723 + 1.0201 T + 6.4412 \cdot 10^{-4} T^2 - 1.0170 \cdot 10^{-6} T^3. (8)$$

Вычисленные значения Ср для сплавов АМг4 со скандием через 50 К представлены в табл. 4.

Приведенные в табл. 4 данные удельной теплоёмкости сплава АМг4, содержащего скандия

характеризуются незначительным уменьшением величины удельной теплоёмкости с повышением концентрации скандия в сплаве. С повышением температуры независимо от состава сплава наблюдается заметный рост величины удельной теплоёмкости сплавов.

Влияние исследованных редкоземельных металлов на твердость сплава АМг4 характеризуется повышением твердости сплава, что можно объяснить образованием твердого раствора. Наиболее положительное влияние среды исследованных элементов оказывает скандий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Диаграмма состояния двойных металлических систем. Справочник: в 3-х т.: Т.1. Под. общ. ред. Н.П. Лякишева. М.: Машиностроение, 1996. 992 с.
2. *Лепинских Б.М., Киселев В.И.* Об окисление жидких металлов и сплавов кислородом из газовой фазы // Изв. АН СССР. Металлы, 1974. №5. с.51-54.
3. *Ганиев И.Н.* Высокотемпературная и электрохимическая коррозия алюминиево-скандиевых сплавов // Защита металлов, 1995. Т.31. №6. С.597-600.
4. *Низомов З., Гулов Б.Н. и др.* Исследование температурной зависимости удельной теплоемкости алюминия марок ОСЧ и А7 // Доклады АН РТ, 2010. Т. 53. №8.
5. Теплофизические и термодинамические свойства сплавов свинца с ЩЗМ. Германия / *Н.М. Муллоева, Ганиев И.Н., Х.А. Махмадуллоев.* LAPLAMBERT Academic Publishing, 2013. 6 с.
6. Теплофизические свойства металлов высоких температур .В.Е.Зиновьев. 1989.djvu

Таблица 4. Температурная зависимость удельной теплоёмкости (Ср, Дж/кг·К) сплава АМг4 со скандием

Т,К	Содержание скандия в сплаве АМг4, мас. %				
	0,0	0,01	0,05	0,1	0,5
300	753,13	753,10	752,88	752,96	751,21
350	809,16	809,12	808,79	808,94	807,01
400	863,07	863,02	862,55	862,80	860,68
450	914,08	914,03	913,38	913,78	911,48
500	961,43	961,37	960,50	961,09	958,63
550	1 004,36	1 004,29	1 003,16	1 003,98	1 001,37
600	1 042,08	1 042,01	1 040,57	1 041,68	1 038,94
650	1 073,85	1 073,77	1 071,97	1 073,42	1 070,58
700	1 098,88	1 098,80	1 096,58	1 098,43	1 095,53
750	1 116,42	1 116,33	1 113,64	1 115,96	1 113,02
800	1 125,68	1 125,59	1 122,36	1 125,23	1 122,28

**INFLUENCE SCANDIUM ON THE PHYSICOCHEMICAL
PROPERTIES OF THE ALLOY AMG4**

© 2014 S.Zh. Ibrohimov¹, B.B. Eshov², I.N. Ganiev², N.F. Ibrohimov¹

¹Tajik Technical University after named acad. M.S.Osimi,
Dushanbe, Republic Tadjikistan

²Institute of chemistries named after V.I. Nikitin,
Academy of Sciences of Republic Tadjikistan, Dushanbe

In this paper we studied the structure of the alloy doped with scandium AMg4 and investigated by thermogravimetric oxidation of solid aluminum-magnesium alloy AMg4 containing scandium in air. The kinetic and energetic parameters of the oxidation process. Determined the specific heat of the alloys.

Keywords: structure, hardness, oxidation kinetics - alloy AMg4 - thermogravimetry - products of oxidation, heat, heat.

Suhrob Ibrohimov, Senior Lecturer. E-mail: suhrob-73@list.ru

Bakhtiar Eshov, Leading Research Fellow.

E-mail: ishov1967@mail.ru

Izatullo Ganiev, Academician of Sciences of the Republic of Tajikistan, Doctor of Chemistry, Professor, Head of the Laboratory "Corrosion-Resistant Materials".

E-mail: ganiev48@mail.ru

Naseem Ibrohimov Fayzlloevich, Graduate Student.