

УДК 669.715+620.193

Кинетика окисления алюминиевого проводникового сплава E–AlMgSi (алдрей) с кадмием в твердом состоянии

© 2021 г. И. Н. Ганиев¹✉, Ё. Дж. Холов², Дж. Х. Джайлоев¹,
Н. И. Ганиева³, В. Д. Абулхаев¹

¹ *Институт химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана,
ул. Садриддина Айни, д. 299/2, Душанбе, 734063, Таджикистан*

² *Дангаринский государственный университет,
ул. Маркази, д. 25, Дангара, 735320, Таджикистан*

³ *Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими,
просп. Акад. Раджабовых, д. 10, Душанбе, 734042, Таджикистан*

✉ Автор для переписки: ganiev48@mail.ru

Аннотация. При создании новых материалов, предназначенных для работы в особо жестких условиях, встает задача придания им коррозионной стойкости, практическое решение которой связано с уровнем знаний в области высокотемпературного окисления металлов и сплавов. При использовании проводниковых алюминиевых сплавов для изготовления тонкой проволоки, например обмоточного провода и т. д. могут возникнуть определенные сложности в связи с их недостаточной прочностью и малым числом перегибов до разрушения. Решение многих задач современной техники связано с использованием материалов, обладающих высоким сопротивлением окислению. Поэтому изучение взаимодействия кислорода с металлами и сплавами приобрело большое значение в связи с широким применением новых материалов с особыми физико–химическими свойствами. В этом ряду особое место отводится алюминиевому проводниковому сплаву E–AlMgSi (алдрей). Процесс окисления сплавов исследовался на воздухе в изотермических условиях термогравиметрическим методом с непрерывной фиксацией массы образца в течение 1 ч при температурах 723, 773 и 823 К. На основании экспериментальных данных строились кинетические кривые окисления, а также зависимости величины удельного увеличения массы от количества кадмия в сплаве E–AlMgSi (алдрей), времени и температуры. Обработкой квадратичных кинетических кривых окисления сплавов при указанных температурах установлено, что окисление сплавов подчиняется гиперболической зависимости $y = kx^n$, где значение n изменяется от 1 до 4. Зависимость $\lg K$ от $1/T$ для сплава E–AlMgSi (алдрей) с кадмием показывает, что с ростом температуры и содержания кадмия скорость окисления растет.

Ключевые слова: алюминиевый проводниковый сплав E–AlMgSi (алдрей), кадмий, термогравиметрия, окисление, скорость окисления, энергия активации

Для цитирования: Ганиев И.Н., Холов Ё.Дж., Джайлоев Дж.Х., Ганиева Н.И., Абулхаев В.Д. Кинетика окисления алюминиевого проводникового сплава E–AlMgSi (алдрей) с кадмием в твердом состоянии. *Известия вузов. Материалы электрон. техники.* 2021; 24(2): 131—137. <https://doi.org/10.17073/1609-3577-2021-2-131-137>

Kinetics oxidation aluminum conductive of alloy E–AlMgSi (Aldrey) with cadmium in the solid state

I. N. Ganiev^{1,✉}, E. J. Kholov², J. H. Jailoev¹, N. I. Ganieva³, V. J. Abulkhaev¹

¹ *V.I. Nikitin Institute of Chemistry, Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan, 299/2 Sadriddin Ayni Str., Dushanbe 734063, Tajikistan*

² *Dangara State University, 25 Markazi Str., Dangara 735320, Tajikistan*

³ *Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi, 10 Academicians Radjabov's Ave., Dushanbe 734042, Tajikistan*

✉ Corresponding author: ganiev48@mail.ru

Abstract. When creating new materials designed to work in particularly harsh conditions, the task of giving them corrosion resistance arises, the practical solution of which is associated with the level of knowledge in the field of high-temperature oxidation of metals and alloys. When using conductive aluminum alloys for the manufacture of thin wire, for example, winding wire, etc., certain difficulties may arise due to their insufficient strength and a small number of bends before failure. The solution of many problems of modern technology is associated with the use of materials with high oxidation resistance. Therefore, the study of the interaction of oxygen with metals and alloys has become of great importance due to the recent widespread use in various fields of science and technology of new materials with special physical and chemical properties. In this series, a special place is given to the aluminum conductor alloy E–AlMgSi (Aldrey). In the literature there is no information about the heat resistance of these alloys doped with cadmium. The process of oxidation of alloys was studied in air under isothermal conditions by the thermogravimetric method with continuous fixation of the sample mass, for an hour at temperatures of 723, 773 and 823 K. On the basis of experimental data, kinetic curves of oxidation were constructed, as well as the dependences of the specific mass increase on the amount of cadmium in the E–AlMgSi alloy (Aldrey), time and temperature. Treatment of quadratic curves of oxidation of alloys at these temperatures is established that the oxidation of alloys obeys the hyperbolic function $y = kx^n$, where n varies from 1 to 4. lgk dependence of $1/T$ for alloy E–AlMgSi (Aldrey) cadmium shows that with increasing temperature and cadmium oxidation rate increases.

Keywords: aluminum alloy E–AlMgSi (Aldrey), cadmium, thermogravimetry, high-temperature oxidation, oxidation rate, activation energy

For citation: Ganiev I.N., Kholov E.J., Jailoev J.H., Ganieva N.I., Abulkhaev V.J. Kinetics oxidation aluminum conductive of alloy E–AlMgSi (Aldrey) with cadmium in the solid state. *Izvestiya vuzov. Materialy elektronnoi tekhniki = Materials of Electronics Engineering*. 2021; 24(2): 131–137. <https://doi.org/10.17073/1609-3577-2021-2-131-137>

Введение

Алюминий и его сплавы широко применяют в электротехнике в качестве проводникового и конструкционного материала. Как проводниковый материал алюминий характеризуется высокой электропроводностью (после меди максимальный уровень среди всех технически применяемых металлов). Алюминий также отличается малой плотностью, высокой коррозионной стойкостью в атмосферных условиях, высокой стойкостью против воздействия химических веществ [1].

Другим преимуществом алюминия является то, что его отличает нейтральное поведение по отношению к изоляционным материалам, например к маслам, лакам и термoplastам, в том числе при повышенных температурах. Алюминий отличается от других металлов малым магнитной восприимчивостью, а также образованием неэлектропроводного, легко устранимого порошкообразного продукта (Al_2O_3) в электрической дуге [2, 3].

Использование алюминия и его сплавов в качестве материала для коммутационных аппаратов, матч линии электропередач, корпусов электродви-

гателей и выключателей и т. д. регламентируется особыми предписаниями или общими правилами конструирования.

При использовании проводниковых алюминиевых сплавов могут возникнуть определенные сложности в связи с их недостаточной прочностью [1]. Однако сплавы, разработанные в последние годы, даже в мягком состоянии обладают достаточными прочностными характеристиками, позволяющими использовать их в качестве проводникового материала [4—6].

Одним из проводниковых алюминиевых сплавов является сплав Е–AlMgSi (алдрей), который относится к термоупрочняемым сплавам. Он отличается высокой прочностью и хорошей пластичностью. Данный сплав при соответствующей термической обработке приобретает высокую электропроводность. Изготовленные из него провода используются почти исключительно для воздушных линий электропередач [7—9].

В связи с тем, что линии электропередачи из алюминия и его сплавов эксплуатируются в откры-

той атмосфере, вопросы повышения коррозионной стойкости сплавов являются особенно актуальными.

Цель работы — изучение влияния добавок кадмия на кинетику окисления алюминиевого проводникового сплава Е–AlMgSi (алдрей), химического состава, % (мас.): Si — 0,5; Mg — 0,5. Для решения поставленной задачи применяли метод термогравиметрии с непрерывным взвешиванием образцов [10—14].

Образцы и методы исследования

Синтез сплавов проводили в шахтной лабораторной печи сопротивления типа СШОЛ при температуре 750—800 °С. В качестве шихты при получении сплава Е–AlMgSi использовали алюминий марки А6, который дополнительно легировалось расчетным количеством кремния и магния. При легировании алюминия кремнием учитывали имеющийся в составе первичного алюминия металлический кремний (0,1 % (мас.)). Магний, завернутый

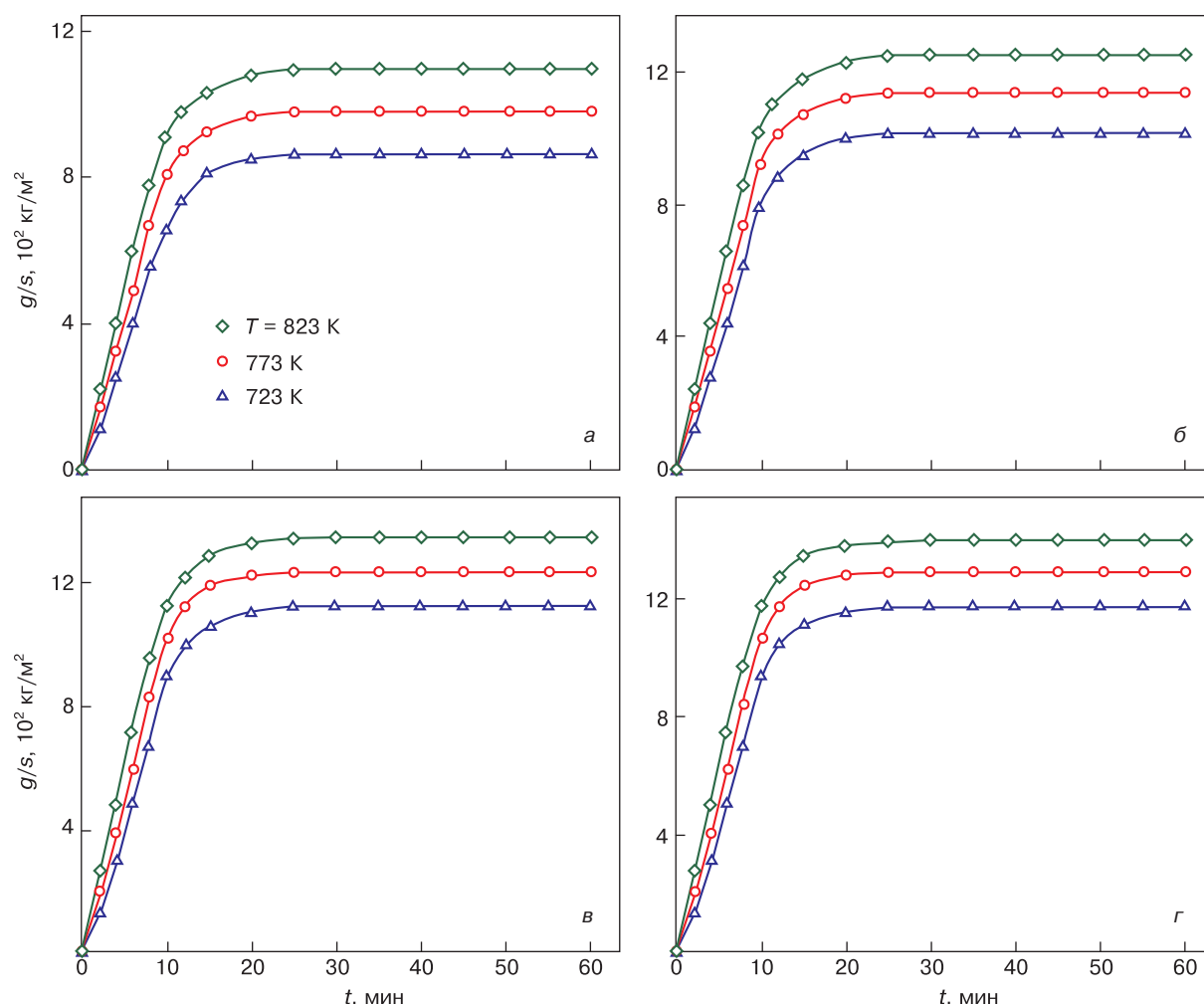


Рис. 1. Кинетические кривые окисления алюминиевого проводникового сплава Е–AlMgSi (алдрей) (а), легированного кадмием, % (мас.): 0,05 (б); 0,1 (в); 0,5 (г)

Fig. 1. Kinetic curves of oxidation of the aluminum conductive alloy Е–AlMgSi (Aldrey) (а) doped with cadmium, wt. %: 0.05 (б); 0.1 (в); 0.5 (г)

в алюминиевую фольгу, вводили в расплав алюминия с помощью «колокольчика». Металлический кадмий вводили в чистом виде. Химический анализ полученных сплавов на содержание кремния и магния проводили в Центральной заводской лаборатории ГУП «Таджикская алюминиевая компания». Состав сплавов контролировали взвешиванием шихты и полученных сплавов. При отклонении веса сплавов более чем на 1—2 % (отн.) синтез сплавов проводился заново.

Результаты и их обсуждение

Окисление алюминиевого проводникового сплава E–AlMgSi (алдрей), легированного кадмием в атмосфере воздуха, проводили при постоянных температурах 823, 773 и 723 К. Кинетические кривые процесса высокотемпературного окисления исследуемых сплавов представлены на рис. 1. С повышением температуры наблюдался рост удельной массы образца g/s в зависимости от времени t . Процесс окисления сплавов интенсивно протекал впервые 10—20 мин и носил прямолинейный характер, т. е. защитные свойства образующейся тонкой оксидной пленки на поверхности исследуемых образцов из сплавов недостаточно проявлялись в ранних стадиях процесса окисления. При температуре 873 К истинная скорость окисления исходного сплава, и сплава, содержащего 0,01 % (мас.) кадмия, изменялась от $3,28 \cdot 10^{-4}$ до $3,35 \cdot 10^{-4}$ кг/(м² · с) соответственно, а величина эффективной энергии активации сплавов колеба-

лась в диапазоне 128,5—119,9 кДж/моль (табл. 1). Далее, в связи с формированием плотного защитного оксидного слоя, процесс окисления затормаживался и кривые приобретали гиперболический вид, о чем свидетельствует непрямолинейность квадратичных кинетических кривых окисления сплавов (рис. 2) и аналитическая зависимость $y = kt^n$, где $n = 1—4$ (табл. 2). Из рис. 2 и табл. 2 видно, что процесс высокотемпературного окисления исследуемых сплавов не подчиняются параболическим законам роста оксидной пленки в выбранном температурном интервале.

Кинетические параметры процесса окисления сплавов зависят от структуры оксидной пленки. Окисление сплавов после 20 мин не приводит к росту удельной массы. Максимальное значение истинной скорости окисления и минимальная величина эффективной энергии активации процесса соответствуют сплавам, содержащим 0,1 и 0,5 % (мас.) кадмия, которые характеризуются низкой энергией взаимодействия образцов с кислородом газовой фазы в твердом состоянии (см. табл. 1).

В координатах $\lg K—1/T$ кривые процесса высокотемпературного окисления сплавов представляются прямыми линиями (рис. 3), по углу наклона которых рассчитана эффективная энергия активации окисления.

Кинетические кривые процесса высокотемпературного окисления алюминиевого сплава E–AlMgSi с кадмием характеризуются монотонным повышением истинной скорости окисления и снижением эффективной энергии активации от содержания

Таблица 1

Кинетические и энергетические параметры процесса окисления алюминиевого проводникового сплава E–AlMgSi (алдрей) с кадмием, в твердом состоянии
Kinetic and energy parameters of the oxidation process of the aluminum conductive alloy E–AlMgSi (Aldrey) with cadmium, in the solid state

Содержание кадмия в сплаве, % (мас.)	Температура окисления, К	Истинная скорость окисления К, 10 ⁴ кг/(м ² ·с)	Эффективная энергия активации окисления, кДж/моль
0	723	2,67	128,5
	773	2,89	
	823	3,28	
0,01	723	2,73	119,9
	773	2,94	
	823	3,35	
0,05	723	2,77	114,2
	773	2,99	
	823	3,39	
0,1	723	2,81	107,0
	773	3,05	
	823	3,46	
0,5	723	2,86	99,5
	773	3,11	
	823	3,50	

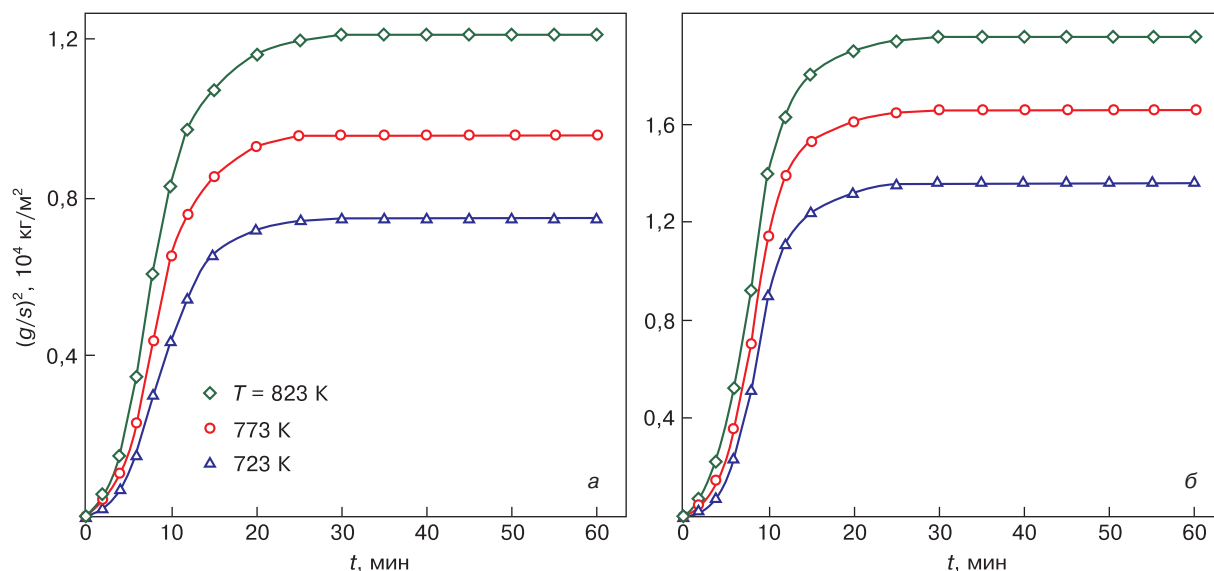


Рис. 2. Квадратичные кинетические кривые окисления алюминиевого проводникового сплава E–AlMgSi (алдрей) (а), легированного 0,5 % (мас.) кадмием (б)

Fig. 2. Quadratic kinetic curves of oxidation of an aluminum conductive alloy E–AlMgSi (Aldrey) (a) doped with 0.5 wt.% cadmium (б)

Таблица 2

**Результаты обработки квадратичных кинетических кривых процесса окисления
алюминиевого проводникового сплава E–AlMgSi (алдрей) с кадмием в твердом состоянии**
Results of processing the quadratic kinetic curves of the oxidation process
of the aluminum conductive alloy E–AlMgSi (Aldrey) with cadmium in the solid state

Содержание кадмия в сплаве, % (мас.)	Температура окисления, К	Полиномы квадратичных кинетических кривых окисления сплавов	Коэффициент регрессии R
0	723	$y = -0,6 \cdot 10^{-5}x^4 + 0,001x^3 - 0,044x^2 + 0,973x$	0,981
	773	$y = -0,6 \cdot 10^{-5}x^4 + 0,001x^3 - 0,038x^2 + 1,109x$	0,988
	823	$y = -0,6 \cdot 10^{-8}x^4 + 0,002x^3 - 0,041x^2 + 1,289x$	0,994
0,01	723	$y = -0,5 \cdot 10^{-2}x^4 - 0,001x^3 - 0,016x^2 + 0,934x$	0,987
	773	$y = -0,5 \cdot 10^{-1}x^4 - 0,5 \cdot 10^{-7}x^3 - 0,032x^2 + 1,168x$	0,989
	823	$y = -0,6 \cdot 10^{-3}x^4 + 0,001x^3 - 0,057x^2 + 1,455x$	0,993
0,05	723	$y = -0,5 \cdot 10^{-3}x^4 - 0,000x^3 - 0,011x^2 + 0,95x$	0,983
	773	$y = -0,6 \cdot 10^{-9}x^4 + 0,001x^3 - 0,045x^2 + 1,414x$	0,988
	823	$y = -0,6 \cdot 10^{-2}x^4 + 0,001x^3 - 0,059x^2 + 1,526x$	0,992
0,1	723	$y = -0,5 \cdot 10^{-2}x^4 - 0,001x^3 - 0,017x^2 + 1,033x$	0,984
	773	$y = -0,5 \cdot 10^{-1}x^4 - 0,5 \cdot 10^{-1}x^3 - 0,038x^2 + 1,321x$	0,987
	823	$y = -0,6 \cdot 10^{-5}x^4 + 0,001x^3 - 0,073x^2 + 1,770x$	0,994
0,5	723	$y = -0,5 \cdot 10^{-3}x^4 - 0,001x^3 - 0,011x^2 + 1,042x$	0,980
	773	$y = -0,5 \cdot 10^{-2}x^4 - 0,001x^3 - 0,033x^2 + 1,323x$	0,984
	823	$y = -0,7 \cdot 10^{-9}x^4 + 0,001x^3 - 0,062x^2 + 1,636x$	0,990

легирующего компонента кадмия в исходном сплаве E–AlMgSi.

По результатам исследований построены изохронны окисления алюминиевого сплава E–AlMgSi, содержащего различные концентрации кадмия, которые представлены на рис. 4. Кривые характеризуются монотонным увеличением скорости окисления с ростом температуры, как при 10–минутной выдержке сплавов в окислительной атмосфере, так и при 20–минутной выдержке. Эта закономерность

более четко выражается при исследованных температурах, о чем свидетельствует уменьшение величины кажущейся энергии активации окисления сплавов с ростом концентрации кадмия.

Заключение

Как известно температура оказывает большое влияние на термодинамическую возможность протекания реакции взаимодействия металла с кисло-

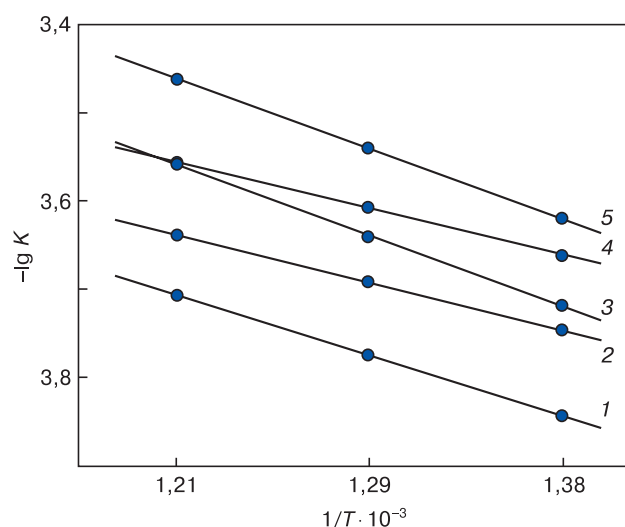


Рис. 3. Зависимость $\lg K$ от $1/T$ для алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (алдрей) (1), легированного кадмием, % (мас.): 0,01(2); 0,05 (3); 0,1 (4); 0,5 (5)

Fig. 3. Dependence of $\lg K$ on $1/T$ for aluminum conductive alloy E-AlMgSi (Aldrey) (1) doped with cadmium, wt. %: 0.01 (2), 0.05 (3), 0.1 (4), 0.5 (5)

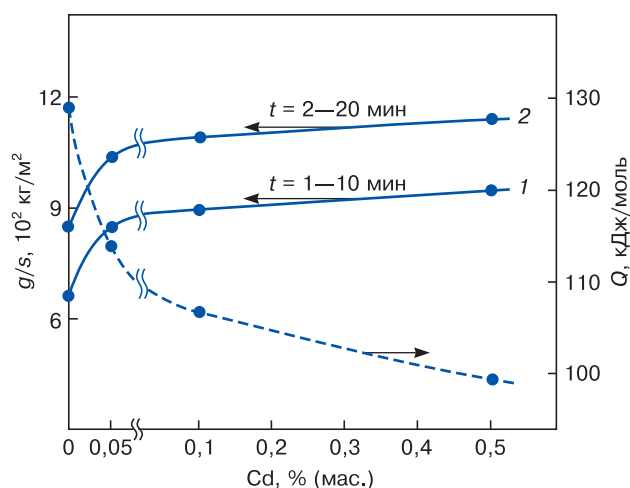


Рис. 4. Изохроны окисления (723 K) алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (алдрей), легированного кадмием

Fig. 4. Isochrones of oxidation (723 K) of the aluminum conductive alloy E-AlMgSi (Aldrey) doped with cadmium

родом газовой фазы и соответственно на скорость газовой коррозии. Повышение температуры вызывает увеличение константы скорости химической реакции окисления сплавов (см. табл. 1), что рассчитывается по уравнению Арренуса, также рост скорости диффузии реагентов в пленке продуктов окисления. Температура оказывает существенное влияние также на состав образующихся пленок и закон их роста.

При окислении алюминиевого сплава E-AlMgSi (алдрей) продукты окисления в основном состоят из α - Al_2O_3 , что подтверждается результатами ИК спектроскопических исследований. Частоты поглощения при 457, 599, 630 и 1097 см^{-1} соответствуют связям $\text{O} = \text{Al} - \text{O} - \text{Al} = \text{O}$ в структуре оксида α - Al_2O_3 .

Легирование сплава E-AlMgSi (алдрей) кадмием увеличивает его скорость окисления (см. табл. 1), что связано с ухудшением защитной способности образующегося в результате окисления оксидов Al_2O_3 и CdO. Последний, механически проникая в состав Al_2O_3 , ухудшает его защитную способность. Можно предполагать, что оксид CdO не растворяется в оксиде Al_2O_3 .

В соответствии с теорией В.И. Архарова повышение жаростойкости достигается, если легирующий элемент образует с основным металлом двойные оксиды типа шпинели. По этой теории легирующие элементы должны предотвратить образование на поверхности образцов отдельно взятых оксидов.

Библиографический список

1. Усов В.В., Займовский А.С. Проводниковые, реостатные и контактные материалы. Материалы и сплавы в электротехнике. В 2-х томах. Т. 2. М.-Л.: Госэнергоиздат; 1957. 184 с.
2. Алюминиевые сплавы: свойства, обработка, применение / отв. ред. Л.Х. Райтбарг. М.: Металлургия, 1979. 679 с.
3. Алиева С.Г., Альтман М.Б., Амбарцумян С.М. и др. Промышленные алюминиевые сплавы: справочник / отв. ред. Ф.И. Квасов, И.Н. Фридляндер. М.: Металлургия; 1984. 528 с.
4. Белецкий В.М., Кривов Г.А. Алюминиевые сплавы (Состав, свойства, технология, применение) / под ред. И.Н. Фридляндера. Киев: КОМИТЕХ; 2005. 365 с.
5. Chlistovsky R. M., Heffernan P. J., DuQuesnay D. L. Corrosion-fatigue behaviour of 7075-T651 aluminum alloy subjected to periodic overloads. *International Journal of Fatigue*. 2007; 29(9-11): 1941-1949. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2007.01.010>
6. Луц А.Р., Суслина А.А. Алюминий и его сплавы. Самара: Самарск. гос. тех. ун-т; 2013. 81 с.
7. Ганиев И.Н., Бокиев Л.А., Хакимов А.Х., Джайлоев Дж.Х., Якубов У.Ш. Кинетика окисления алюминиевого сплава АЖ5К10 с церием. *Вестник технологического университета*. 2020; 23(8): 35-38. <https://www.elibrary.ru/vgblbl>
8. Джайлоев Дж.Х., Ганиев И.Н., Ганиева Н.И., Якубов У.Ш., Хакимов А.Х. Кинетика окисления алюминиевого сплава АЖ2.18, модифицированного стронцием. *Вестник Сибирского государственного индустриального университета*. 2019; 4(30): 34-39.
9. Джайлоев Дж.Х., Ганиев И.Н., Хакимов А.Х., Азимов Х.Х. Кинетика окисления алюминиевого сплава АЖ2.18 с кальцием. *Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук*. 2018; (4): 219-225. <https://www.elibrary.ru/hdjkaz>
10. Ганиев И.Н., Зокиров Ф.Ш., Сангов М.М., Бердиев А.Э. Кинетика окисления сплава АК12М2, модифицированного барием, в твердом состоянии. *Известия Санкт-Петербургский государственный технологический университет (технический институт)*. 2020; 55(81): 28-33. <https://doi.org/10.36807/1998-9849-2020-55-81-28-33>
11. Ганиев И.Н., Шарипова Х.Я., Ганиева Н.И. Зокиров Ф.Ш., Иброхимов Н.Ф. Кинетика окисления алюминиевого сплава АМг2 с галлием в твердом состоянии. *Вестник Сибирского государственного индустриального университета*. 2020; 4(34). С. 3-9. <https://www.elibrary.ru/rghbrn>
12. Ганиев И.Н., Якубов У.Ш., Хакимов А.Х., Джайлоев Дж.Х. Кинетика окисления алюминиевого сплава АЖ5К10, модифицированного кальцием, в твердом состоянии. *Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук*. 2020; 3: 172-181. <https://www.elibrary.ru/wvwxhp>

13. Давлатзода Ф.С., Ганиев И.Н., Одиназода Х.О., Иброхимов И.Н. Влияние титана на кинетику окисления алюминиевого сплава АМг2 в твердом состоянии. *Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования*. 2020; (3(51)): 53—57. <https://www.elibrary.ru/xhohkf>

14. Худойбердизода С.У., Ганиев И.Н., Эшов Б.Б., Муллоева Н.М., Якубов У.Ш. Влияние теллура на кинетику окисления свинцово-сурьмяного сплава ССу3 в твердом состоянии. *Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук*. 2020; (3): 181—189. <https://www.elibrary.ru/grhrsq>

References

1. Usov V.V., Zaimovsky A.S. Conductor, rheostat and contact materials. Materials and alloys in electrical engineering. Vol. 2. Moscow; Leningrad: Gosenergoizdat; 1957. 184 p. (In Russ.)
2. Aluminum alloys: properties, processing, application. Moscow: Metallurgy; 1979. 679 p. (In Russ.)
3. Alieva S.G., Altman M.B., Ambartsumyan S.M. et al. Industrial aluminum alloys: Handbook. Moscow: Metallurgy; 1984. 528 p. (In Russ.)
4. Beleskiy V.M., Krivov G.A. Aluminum alloys (Composition, properties, technology, application). Kiev: KOMITEKh; 2005. 365 p. (In Russ.)
5. Chlistovsky R. M., Heffernan P. J., Duquesnay D. L. Corrosion-fatigue behaviour of 7075-T651 aluminum alloy subjected to periodic overloads. *International Journal of Fatigue*. 2007; 29(9–11): 1941—1949. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2007.01.010>
6. Luts A.R., Suslina A.A. Aluminum and its alloys. Samara: Samara State Technical University; 2013; 81 p. (In Russ.)
7. Ganiev I.N., Boqiev L.A., Hakimov A.H., Jailoev J.H., Yakubov U.Sh. Oxidation kinetics of the AlFe5Si10 aluminum alloy with cerium. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta = Bulletin of the Technological University*. 2020; 23(8): 35—38. <https://www.elibrary.ru/vgblbl>

8. Jayloev J.H., Ganiev I.N., Ganieva N.I., Yakubov U.Sh., Hakimov A.H. Oxidation kinetics of aluminium alloy Al+2.18Fe modified with strontium. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo industrialnogo universiteta = Bulletin of the Siberian State Industrial University*. 2019; (4(30)): 34—39. (In Russ.)

9. Jailoev J.H., Ganiev I.N., Khakimov A.H., Azimov Kh.Kh. Kinetics oxidation of aluminum alloy AlFe2.18 with calcium. *Bulletin of the Tajik National University. Series of Natural Sciences*. 2018; (4): 219—225. <https://www.elibrary.ru/hdjkaz>

10. Ganiev I.N., Zokirov F.Sh., Sangov M.M., Berdiev A.E. Kinetics of oxidation of aluminum alloy AK12M2, modified by barium, in solid state. *Bulletin of the St. Petersburg State Technological Institute (Technical University)*. 2020; 55(81): 28—33. <https://doi.org/10.36807/1998-9849-2020-55-81-28-33>

11. Ganiev I.N., Sharipova Kh.Ya., Ganieva N.I., Zokirov F.Sh., Ibrokhimov N.F. Oxidation kinetics of aluminum alloy AMG2 with gallium in solid state. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo industrialnogo universiteta = Bulletin of the Siberian State Industrial University*. 2020; 4(34): 3—9. <https://www.elibrary.ru/rghbrn>

12. Ganiev I.N., Yakubov U.Sh., Khakimov A.Kh., Jayloev J.H. Kinetics of oxidation of aluminum alloy AlFe5Si10, modified with calcium, in the solid state. *Bulletin of the Tajik National University. Series of Natural Sciences*. 2020; 3: 172—181. <https://www.elibrary.ru/wvvhxp>

13. Davlatzoda F.S., Ganiev I.N., Odinzoda Kh.O., Ibrokhimov I.N. Influence of titanium on the kinetics of oxidation of aluminum AMr2 alloy in solid state. *Polytechnic Bulletin. Series: Engineering Studies*. 2020; (3(51)): 53—57. <https://www.elibrary.ru/xhohkf>

14. Khudoyberdizoda S.U., Ganiev I.N., Eshov B.B., Mulloeva N.M., Yakubov U.S. Influence of tellurium on the kinetics of oxidation of the lead-antimony alloy SSu3, in the solid state. *Bulletin of the Tajik National University. Series of Natural Sciences*. 2020; (3): 181—189. <https://www.elibrary.ru/grhrsq>

Информация об авторах / Information about the authors

Ганиев Изатулло Наврузович — академик Национальной академии наук Таджикистана, доктор хим. наук, профессор, зав. лабораторией, Институт химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана, ул. Садриддина Айни, д. 299/2, Душанбе, 734063, Таджикистан; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2791-6508>; e-mail: ganievizatullo48@gmail.com, ganiev48@mail.ru

Холов Ёрмахмад Джонмахмадович — ассистент, кафедра геологии и электроснабжения, Дангарский государственный университет, ул. Маркази, д. 25, Дангара, 735320, Таджикистан

Джайлоев Джамшед Хусейнович — канд. техн. наук, старший научный сотрудник, Институт химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана, ул. Садриддина Айни, д. 299/2, Душанбе, 734063, Таджикистан; e-mail: huseznod85@mail.ru

Ганиева Наргис Изатуллоевна — канд. техн. наук, доцент кафедры материаловедения, металлургических станков и оборудования, Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими, просп. Акад. Раджабовых, д. 10, Душанбе, 734042, Таджикистан; e-mail: n.ganieva1977@mail.ru

Абулхаев Владимир Джалолович — доктор хим. наук, профессор, зам. директора, Институт химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана, ул. Садриддина Айни, д. 299/2, Душанбе, 734063, Таджикистан; e-mail: abulkhaev-48@mail.ru

Izatullo N. Ganiev — Academician of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Dr. Sci. (Chem.), Professor, Head Laboratory Corrosion Resistant Materials, V.I. Nikitin Institute of Chemistry, Academy of Sciences of The Republic of Tajikistan, 299/2 Sadriddin Ayni Str., Dushanbe 734063, Tajikistan; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2791-6508>; e-mail: ganievizatullo48@gmail.com, ganiev48@mail.ru

Ermakhmad J. Kholov — Assistant, Department of Geology and Power Supply, Dangara State University, 25 Markazi Str., Dangara 735320, Tajikistan

Jamshed H. Jayloev — Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher, V.I. Nikitin Institute of Chemistry, Academy of Sciences of The Republic of Tajikistan, 299/2 Sadriddin Ayni Str., Dushanbe 734063, Tajikistan; e-mail: huseznod85@mail.ru

Nargis I. Ganieva — Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Materials Science, Metallurgical Machines and Equipment, Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi, 10 Academicians Radjabov's Ave., Dushanbe 734042, Tajikistan; e-mail: n.ganieva1977@mail.ru

Vladimir Dz. Abulkhaev — Dr. Sci. (Chem.), Professor, Deputy Director, V.I. Nikitin Institute of Chemistry, Academy of Sciences of The Republic of Tajikistan, 299/2 Sadriddin Ayni Str., Dushanbe 734063, Tajikistan; e-mail: abulkhaev-48@mail.ru