

В.П. Жиликов¹, С.А. Каримова¹, С.С. Лешко¹, Д.В. Чесноков¹

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ КОРРОЗИИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПРИ ИСПЫТАНИИ В КАМЕРЕ СОЛЕВОГО ТУМАНА (КСТ)

При испытании алюминиевых сплавов в КСТ установлено, что динамика их коррозионных потерь во времени аналогична динамике седиментации хлоридов и зависит от марки сплава (химического состава).

На сплавах, подверженных питтинговой коррозии, наблюдается наибольшая седиментация хлоридов и, соответственно, максимальные коррозионные потери, на сплавах с равномерной коррозией – меньшая седиментация хлоридов и минимальные коррозионные потери.

Ключевые слова: *алюминиевые сплавы, коррозионные потери, седиментация хлоридов, питтинговая коррозия.*

V.P. Zhilikov¹, S.A. Karimova¹, S.S. Leshko¹, D.V. Chesnokov¹

STUDY OF ALUMINIUM ALLOY CORROSION DYNAMICS IN THE SALT-SPRAY CHAMBER (SSC)

When studying aluminium alloys in SSC it was stated that the dynamics of their corrosion losses with time was analogous to the chloride sedimentation dynamics and depended on the alloy type (chemical composition).

The highest chloride sedimentation and the maximum corrosion losses, respectively, were observed in case of aluminium alloys, subjected to pitting corrosion, but the lesser chloride sedimentation and the minimum corrosion losses – in alloys with the uniform corrosion.

Keywords: *aluminium alloys, corrosion losses, chloride sedimentation, pitting corrosion.*

¹ Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal state unitary enterprise «All-Russian scientific research institute of aviation materials» State research center of the Russian Federation] E-mail: admin@viam.ru

Известно, что хлориды являются мощным стимулирующим фактором коррозии металлов при эксплуатации в морских условиях [1–5]. При испытании в КСТ происходит ускорение процесса коррозии, хотя характер ее, как правило, не меняется. В зависимости от вида и марки материала, полуфабриката и термообработки коррозия протекает с разной скоростью, которая зависит не только от химического и фазового состава сплава, но и от скорости седиментации хлоридов и от удержания их на поверхности [6]. В связи с этим было проведено исследование восьми алюминиевых сплавов различного химического состава и сопоставлена динамика их коррозионного процесса с количеством хлоридов, удерживаемых на поверхности образцов в течение всего времени испытаний.

Испытания проводили на листовых образцах алюминиевых сплавов Д16-Т, В95-Т2, 1370-Т, 1424-ТГ1, АМг6, 1441-Т, В-1461-Т, 1330-Т размером 50×40×2 мм в КСТ в соответствии с ISO 9227 в течение 10, 30, 60, 90 и 120 сут. После каждого периода испытаний образцы кипятили в 0,5 л дистиллированной воды и с помощью иономера И-160МИ определяли количество хлорид-ионов, перешедших в раствор. Затем образцы

выдерживали в 30%-ном растворе азотной кислоты для удаления продуктов коррозии и определяли потери массы.

На рис. 1, а представлена диаграмма изменения скорости седиментации хлоридов на исследованных сплавах в зависимости от продолжительности испытаний. В первом приближении зависимости близки к линейной, коэффициенты детерминации R^2 имеют высокие значения (табл. 1).

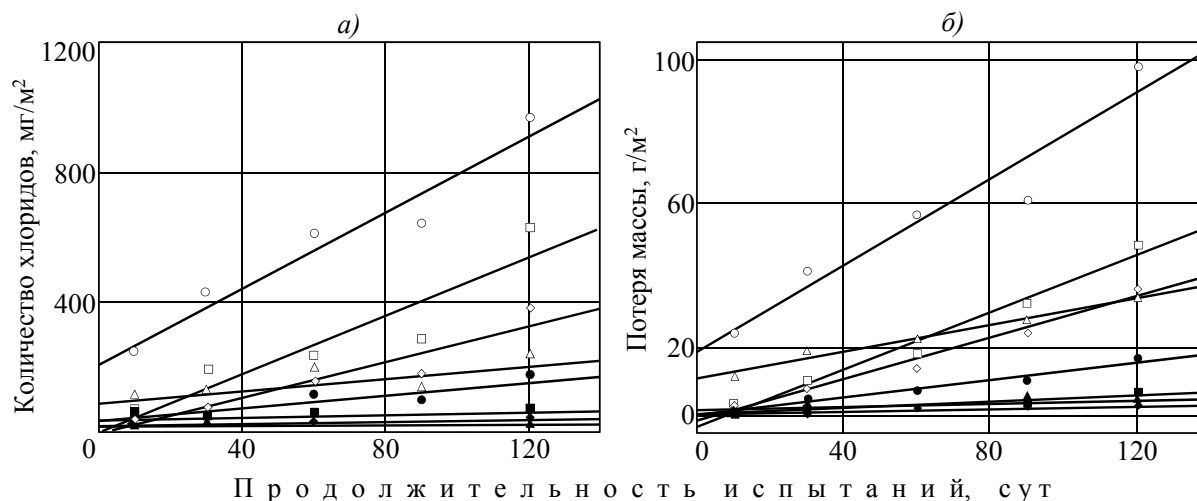


Рис. 1. Количество хлоридов (а), осажденных и удерживаемых на алюминиевых сплавах, и динамика коррозионных потерь (б) в зависимости от продолжительности испытания в КСТ: ○ – Д16-Т; □ – В95-Т2; ◇ – 1441-Т; △ – 1370-Т; ● – 1461-Т; ■ – АМг6; ◆ – 1424-ТГ1; ▲ – 1330-Т

Таблица 1

Уравнения регрессии алюминиевых сплавов по данным поверхностной концентрации хлоридов при испытании в КСТ

Сплав	Уравнение регрессии	Коэффициент детерминации R^2
Д16-Т	$m_{Cl}=216,25+5,83\tau$	0,94
В95-Т2	$m_{Cl}=2,28+4,45\tau$	0,86
1441-Т	$m_{Cl}=-0,94+2,69\tau$	0,88
1370-Т	$m_{Cl}=103,54+0,9\tau$	0,62
1461-Т	$m_{Cl}=35,0+1,2\tau$	0,89
АМг6	$m_{Cl}=33,5+0,25\tau$	0,98
1424-ТГ1	$m_{Cl}=26,49+0,14\tau$	0,84
1330-Т	$m_{Cl}=17,82+0,11\tau$	0,99

Наименьшее количество хлоридов отмечено на сплавах 1424-ТГ1, 1330-Т, АМг6. Начальная концентрация осажденных хлоридов на этих сплавах минимальна (от 19 до 30 г/м²) и по мере увеличения продолжительности испытания до 120 сут возрастает незначительно (коэффициент b в уравнениях регрессии (см. далее общий вид уравнения) составляет от 0,11 до 0,25). На остальных сплавах наблюдается большая поверхностная концентрация хлоридов, которая возрастает в ряду: 1461-Т→1370-Т→1441-ТГ1→В95-Т2→Д16-Т и достигает для двух последних сплавов значений (при 120 сут выдержки): 625 и 964 мг/м² соответственно.

Рассмотренная разница в поверхностной концентрации хлоридов на различных алюминиевых сплавах непосредственно связана с коррозионным поведением сплавов. На рис. 1, б приведена диаграмма зависимости коррозионных потерь алюминиевых сплавов во времени, которая идентична по динамике процесса картине, полученной на рис. 1, а.

Исследованные сплавы имеют различные химический и фазовый составы, что оказывает неодинаковое влияние на морфологию поверхности при коррозионном воздействии (рис. 2). Сплавы 1424-ТГ1, 1330-Т и АМг6 имеют малое содержание меди (от 0,1 до 0,4%), и в них отсутствует неустойчивая фаза CuAl_2 . Поэтому на этих сплавах имеет место равномерная коррозия глубиной от 0,2 до 0,3 мм/год. На протяжении всего времени испытаний количество хлоридов, осажденных в начальный период времени (10 сут), остается практически постоянным. Вероятно, на ровной поверхности удержание хлоридов сверх определенного количества затруднено из-за их осыпания и смыва.

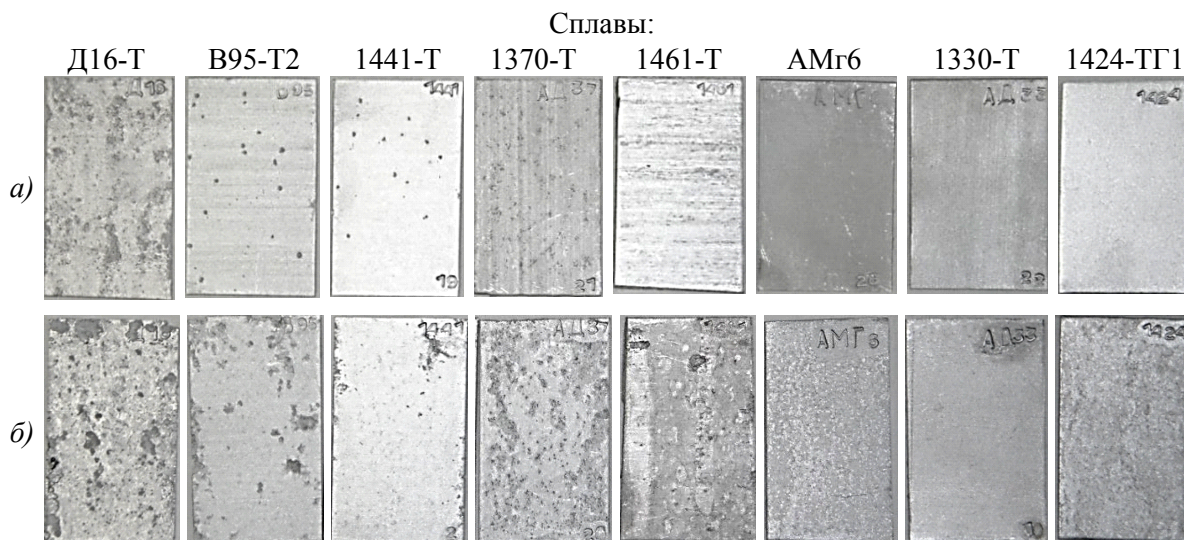


Рис. 2. Внешний вид образцов алюминиевых сплавов после испытаний в КСТ в течение 10 (а) и 120 сут (б)

Другая картина наблюдается на сплавах Д16-Т, В95-Т2, 1441-Т, 1370-Т, 1461-Т. Указанные сплавы содержат в своем составе большое количество меди (от 0,6–1,4% в сплаве 1370-Т до 3,8–4,9% – в сплаве Д16-Т) и соответственно фазу CuAl_2 . На этих сплавах уже в первые 10 сут испытаний появляется питтинговая коррозия, которая со временем увеличивается как по числу питтингов, так и по их глубине и площади (см. рис. 2).

Наличие питтингов и неравномерный рельеф поверхности способствуют удержанию хлоридов. Количество удерживаемых хлоридов находится в соответствии с площадью и глубиной питтингов: у сплава 1461-Т они наименьшие и составляют максимумом $0,2 \text{ мм}^2$ и $0,3 \text{ мм}$ соответственно, у сплава Д16-Т – наибольшие ($2,5 \text{ мм}^2$ и $0,6 \text{ мм}$).

Представляло интерес выяснить ускоряющее влияние испытаний в КСТ по сравнению с натурными условиями умеренно теплого морского климата. С этой целью были получены данные коррозионных потерь исследованных алюминиевых сплавов после 3 лет экспозиции на открытой площадке ГЦКИ (г. Геленджик).

Коэффициент ускорения K_y определяется как отношение времени испытаний в натуральных условиях τ_n ко времени ускоренных испытаний τ_y в КСТ, соответствующем тем же коррозионным потерям, т. е.

$$K_y = \frac{\tau_n}{\tau_y} \text{ или } \tau_n = \tau_y \cdot K_y.$$

Значение τ_y находим из уравнений регрессии $\Delta m = a + b \cdot \tau_y$ при испытании в КСТ. В табл. 2 представлены данные, полученные для исследованных сплавов.

**Уравнения регрессии алюминиевых сплавов
по данным потери массы при испытании в КСТ**

Сплав	Уравнение регрессии	Коэффициент детерминации R^2
Д16-Т	$\Delta m = 18,36 + 0,6\tau$	0,927
В95-Т2	$\Delta m = -2,65 + 0,4\tau$	0,978
1441-Т	$\Delta m = -1,08 + 0,3\tau$	0,977
1370-Т	$\Delta m = 10,7 + 0,18\tau$	0,972
1461-Т	$\Delta m = 0,59 + 0,12\tau$	0,968
АМг6	$\Delta m = 0,28 + 0,02\tau$	0,996
1424-ТГ1	$\Delta m = 0,86 + 0,02\tau$	0,969
1330-Т	$\Delta m = 1,1 + 0,04\tau$	0,988

$$\text{Тогда } \tau_y = \frac{\Delta m_y - a}{b}, \text{ а } \tau_n = K_y \frac{\Delta m_y - a}{b}, \text{ откуда } K_y = \frac{\tau_n \cdot b}{\Delta m_y - a}.$$

Заменяем Δm_y на Δm_n , приравняв коррозионные потери за время ускоренных испытаний в КСТ к потерям при натуральных испытаниях за определенное время τ_n , получаем

$$K_y = \frac{\tau_n \cdot b}{\Delta m_n - a}.$$

На основе этого уравнения были получены коэффициенты ускорения коррозии в КСТ по отношению к натурным условиям ГЦКИ для исследованных алюминиевых сплавов, представленные в табл. 3.

Таблица 3

Коэффициенты уравнения K_y для алюминиевых сплавов

Сплав	Д16-Т	В95-Т2	1441-Т	1370-Т	1461-Т	АМг6	1330-Т	1424-ТГ1
Коэффициент K_y	51,9	15,3	12,5	11,4	8,3	3,0	2,6	1,02

Как видно, K_y зависит от марки материала, связан с его химическим составом и определяется интенсивностью процесса (коэффициент уравнения b) и начальной скоростью коррозии (коэффициент a), т. е. расположением прямой по отношению к оси абсцисс. Возможно дать предварительную ориентировочную оценку коррозионного поведения алюминиевого сплава на более длительный срок в соответствии с уравнением:

$$\Delta m_n = \frac{\tau_n \cdot b}{K_y} + a \text{ (г/м}^2\text{)}.$$

Коррозия алюминиевых сплавов в морских условиях зависит не только от химического и фазового состава, но также от скорости осаждения и способности удержания хлоридов на поверхности материала.

На основе ускоренных испытаний в КСТ и сравнительно коротких испытаний (не более года) в натуральных условиях можно дать предварительную ориентировочную оценку коррозионной стойкости алюминиевого сплава на длительный срок эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Панченко Ю.М., Шувахина Л.А., Михайловский Ю.Н. Зависимость скорости атмосферной коррозии металлов от климатических условий районов Дальнего Востока // Защита металлов. 1986. Т. 20. №6. С. 851–863.

2. Стрекалов П.В. Нахождение корреляционных связей между ветровым режимом и количеством выносимых морских аэрозолей //Защита металлов. 1988. Т. 24. №6. С. 976–980.
3. Жирнов А.Д., Стрекалов П.В., Каримова С.А., Жиликов В.П., Тарараева Т.И., Мищенко Е.Н. Сезонная динамика процесса коррозии металлов на береговой зоне Черного моря //Коррозия: материалы, защита. 2007. №8. С. 23–29.
4. Хохлатова Л.Б., Колобнев Н.И., Антипов В.В., Каримова С.А., Рудаков А.Г., Оглодков М.С. Влияние коррозионной среды на скорость роста трещины усталости в алюминиевых сплавах //Авиационные материалы и технологии. 2011. №1. С. 16–20.
5. Панченко Р.М., Стрекалов П.В., Жиликов В.П., Каримова С.А., Березина Л.Г. Зависимость коррозионной стойкости сплава Д16 от закаленности и метеопараметров приморской атмосферы //Коррозия: материалы, защита. 2011. №8. С. 1–12.
6. Михайлов А.А., Жирнов А.Д., Жиликов В.П., Сулуева М.Н., Каримова С.А., Тарараева Т.И., Чесноков Д.В., Андриященко Т.А. Коррозивность приморских атмосфер /В сб. докладов 7-й науч. конф. по гидроавиации «Гидроавиасалон-2008». Ч. 1. С. 299–306.

REFERENCES LIST

1. Panchenko Ju.M., Shuvahina L.A., Mihajlovskij Ju.N. Zavisimost' skorosti atmosfernoj korrozii metallov ot klimaticheskih uslovij rajonov Dal'nego Vostoka [Dependence of the rate of atmospheric corrosion of metals on the climatic conditions of the Far East regions] //Zashhita metallov. 1986. Т. 20. №6. S. 851–863.
2. Strekalov P.V. Nahozhdenie korrelyacionnyh svjazej mezhdu vetrovym rezhimom i kolichestvom vynosimyh morskikh ajerozolej [Finding a correlation between wind conditions and the number of submitted marine aerosols]//Zashhita metallov. 1988. Т. 24. №6. S. 976–980.
3. Zhirnov A.D., Strekalov P.V., Karimova S.A., Zhilikov V.P., Tararaeva T.I., Mishhenkov E.N. Sezonnaja dinamika processa korrozii metallov na beregovoj zone Chernogo morja [Seasonal dynamics of corrosion of metals on the coastal zone of the Black Sea] //Korrozija: materialy, zashhita. 2007. №8. S. 23–29.
4. Hohlatova L.B., Kolobnev N.I., Antipov V.V., Karimova S.A., Rudakov A.G., Oglochkov M.S. Vlijanie korrozionnoj sredy na skorost' rosta treshhiny ustalosti v aljuminievych splavah [Effect of environment on corrosion fatigue crack growth rate in aluminum alloys] //Авиационные материалы и технологии. 2011. №1. S. 16–20.
5. Panchenko R.M., Strekalov P.V., Zhilikov V.P., Karimova S.A., Berezina L.G. Zavisimost' korrozionnoj stojkosti splava D16 ot zakalennosti i meteoparametrov primorskoj atmosfery [The dependence of the corrosion resistance of the hardened alloy D16 and meteorological parameters coastal environments] //Korrozija: materialy, zashhita. 2011. №8. S. 1–12.
6. Mihajlov A.A., Zhirnov A.D., Zhilikov V.P., Sulueva M.N., Karimova S.A., Tararaeva T.I., Chesnokov D.V., Andrijushhenko T.A. Korrozivnost' primorskih atmosfer [Corrosive atmospheres seaside] /V sb. dokladov 7-j науч. конф. по гидроавиации «Гидроавиасалон-2008». Ч. 1. S. 299–306.