

ПОТЕНЦИОДИНАМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СПЛАВА Al+6%Li С ИТТРИЕМ В СРЕДЕ ЭЛЕКТРОЛИТА NaCl

Назаров Ш.А.¹, Ганиев И.Н.¹, Норова М.Т.¹, Ганиева Н.И.¹, Каллиари И.²

¹ Институт химии им. В. И. Никитина АН Республики Таджикистан, Душанбе

² Università degli Studi di Padova, Padova, Italy

Аннотация. Потенциостатическим методом в потенциодинамическом режиме при скорости развертки потенциала $2 \text{ мВ} \cdot \text{С}^{-1}$ исследовано коррозионно-электрохимическое поведение сплава Al+6%Li, легированного иттрием, в среде электролита NaCl. Зависимость изменения потенциала свободной коррозии от времени исходного сплава Al+6%Li и сплавов с иттрием показывает смещение потенциала в область более положительных значений. При этом потенциал свободной коррозии у сплава с иттрием (0,05 мас.%) имеет более отрицательное значение по сравнению с исходным сплавом. Дальнейший рост концентрации иттрия приводит к смещению потенциала свободной коррозии в область положительных значений. Добавки иттрия к сплаву Al+6%Li в средах электролита 0,03, 0,3 и 3,0%-ного NaCl сдвигает потенциалы коррозии и питтингообразования сплавов в положительную область значений. При этом потенциал репассивации также смещается в положительную область, что свидетельствует об улучшении пассивируемости образующихся питтинговых коррозионных очагов в нейтральных средах.

С увеличением концентрации хлорид-ионов в электролите NaCl наблюдается смещение в отрицательную область значения потенциалов питтингообразования сплава Al+6%Li с добавками иттрия. Рост концентрации хлорид-ионов способствует росту скорости коррозии сплавов независимо от их состава. Показано, что добавки иттрия уменьшают скорость коррозии сплава Al+6%Li почти в 2 раза в среде электролита NaCl.

Ключевые слова: сплав Al+6%Li; иттрий; потенциостатический метод; электролит NaCl; потенциал коррозии; потенциал питтингообразования; скорость коррозии.

Введение

Как известно, алюминий занимает второе место после стали по использованию в различных областях техники. Особенно ценны алюминий и его сплавы тем, что при равной прочности они почти в три раза легче стали и обладают высокой антикоррозионной стойкостью. Для предупреждения возможной коррозии указанных материалов необходимо выяснить причину и изучить свойства, которые делают их коррозионностойкими в различных условиях.

Алюминий, прежде всего, является «летающим» металлом. Его большая антикоррозионная стойкость – это следствие появления на поверхности металла тончайшей и очень плотной оксидной пленки, которая взаимодействует с окружающей атмосферой и защищает металл от дальнейшего окисления. Однако различные примеси, например железо, кремний, обычно присутствующие в чистом алюминии,

не только препятствуют образованию оксидной пленки, но и выпадают в виде интерметаллических соединений и в результате электрохимического воздействия на кристаллическую решетку оказывают сильное влияние на коррозионную стойкость сплава [1–5].

Повышенный интерес к легированию алюминиевых сплавов литием, самым легким из металлов с плотностью $\sim 0,54 \text{ г/см}^3$, обусловлен тем, что каждый процент лития снижает плотность алюминия на 3%, повышает модуль упругости на 6% и обеспечивает в сплавах значительный эффект упрочнения после закалки и искусственного старения [1].

Коррозия алюминиево-литиевых сплавов исследовалась авторами [2]. Показано, что легирование алюминия до 8% литием повышает скорость коррозии сплавов от $1,87 \cdot 10^{-3}$ до $22,1 \cdot 10^{-3} \text{ г/м}^2 \cdot \text{ч}$ соответственно для сплава с 1 и 8 мас.% лития.

В системе литий-иттрий имеет место несмешиваемость в жидком состоянии, которая незначительно распространяется в глубь

тройной системы алюминий-литий-иттрий до ~5 ат.%Al. С алюминиевым твердым раствором в равновесии находятся интерметаллиды Al_3Y и $AlLi$. Соединение Al_2Y образует двухфазные равновесия с литием и интерметаллидами системы алюминий-литий. Двухфазное равновесие имеет место между $AlLi-Al_3Y$. Тройных соединений в системе алюминий-литий-иттрий не обнаружено [6, 7].

Экспериментальная часть

Для приготовления сплавов использовали: алюминий марки А995 (ГОСТ 55375-2012), литий ЛЭ1 (ГОСТ 8774-75), иттрий ИтМ (ГОСТ 23862.5-72). Содержание иттрия в сплавах составляло, мас. %: 0,01; 0,05; 0,1; 0,5.

Коррозионно-электрохимические исследования проводили потенциостатическим методом в потенциодинамическом режиме на потенциостате ПИ-50-1.1 с программатором ПР-8 в среде электролита NaCl со скоростью развертки потенциала $2 \text{ мВ} \cdot \text{С}^{-1}$ по методикам, описанным в работах [8–10]. В качестве электрода сравнения использовали хлорсеребряный, а вспомогательного – платиновый. Все значения потенциалов приведены относительно этого электрода. Результаты исследования представлены в табл. 1–4.

Таблица 1

Изменение потенциала свободной коррозии сплава $Al+6\%Li$, легированного иттрием от времени, в среде электролита 3% NaCl

Время выдержки, мин	Содержание иттрия, мас. %				
	–	0,01	0,05	0,10	0,5
0	1,470	1,520	1,460	1,425	1,360
1/8	1,450	1,470	1,420	1,400	1,300
1/4	1,400	1,455	1,380	1,380	1,270
1/2	1,370	1,420	1,350	1,360	1,240
1	1,360	1,400	1,300	1,350	1,200
2	1,320	1,380	1,280	1,334	1,178
3	1,280	1,350	1,266	1,280	1,160
4	1,220	1,330	1,258	1,224	1,130
5	1,195	1,315	1,249	1,200	1,110
10	1,174	1,305	1,220	1,190	1,100
15	1,120	1,290	1,210	1,172	0,980
20	1,090	1,284	1,200	1,168	0,974
30	1,050	1,280	1,196	1,150	0,960
40	1,030	1,277	1,180	1,146	0,955
50	1,022	1,275	1,174	1,130	0,950
60	1,020	1,275	1,174	1,130	0,950

Таблица 2

Временная зависимость потенциала свободной коррозии сплава $Al+6\%Li$ от содержания иттрия в среде 0,3%-ного NaCl

Время выдержки, мин	Содержание иттрия, мас. %				
	–	0,01	0,05	0,10	0,5
0	1,342	1,35	1,334	1,300	1,280
1/8	1,240	1,28	1,310	1,267	1,243
1/4	1,200	1,264	1,280	1,240	1,200
1/2	1,145	1,22	1,220	1,217	1,180
1	1,220	1,19	1,190	1,200	1,140
2	1,054	1,174	1,125	1,175	1,117
3	1,047	1,165	1,100	1,133	1,000
4	1,035	1,12	1,083	1,100	0,977
5	1,025	1,09	1,071	1,060	0,965
10	0,994	1,077	1,050	1,040	0,954
15	0,970	1,062	1,037	1,028	0,946
20	0,964	1,033	1,018	1,000	0,940
30	0,955	1,02	1,004	0,987	0,935
40	0,945	0,999	0,980	0,957	0,927
50	0,940	0,982	0,960	0,940	0,920
60	0,930	0,98	0,950	0,933	0,913

Таблица 3

Временная зависимость потенциала свободной коррозии сплава $Al+6\%Li$, легированного иттрием, в среде 0,03%-ного NaCl

Время выдержки, мин	Содержание иттрия, мас. %				
	–	0,01	0,05	0,10	0,5
0	1,155	1,360	1,330	1,300	1,278
1/8	1,120	1,320	1,315	1,275	1,200
1/4	1,105	1,300	1,290	1,220	1,180
1/2	1,090	1,270	1,277	1,190	1,120
1	1,075	1,230	1,230	1,155	1,100
2	1,050	1,180	1,200	1,130	1,080
3	1,030	1,150	1,170	1,100	1,050
4	1,015	1,120	1,140	1,086	1,020
5	0,995	1,100	1,120	1,050	1,000
10	0,944	0,990	1,000	1,010	0,970
15	0,925	0,980	0,975	0,970	0,927
20	0,875	0,968	0,950	0,920	0,875
30	0,890	0,954	0,930	0,880	0,850
40	0,850	0,945	0,920	0,862	0,833
50	0,830	0,940	0,910	0,850	0,820
60	0,830	0,940	0,910	0,850	0,820

Временная зависимость потенциала свободной коррозии исходного сплава $Al+6\%Li$ и сплавов с различным содержанием иттрия (см. табл. 1–3) показывает, что в первые минуты погружения сплава в раствор электролита наблюдается резкое смещение потенциала в область более положительных значений. При

этом если у нелегированного сплава стабилизация потенциала свободной коррозии наблюдается в течение 40 мин, то у легированных сплавов – в течение 20–30 мин, что свидетельствует об относительно высокой их пассивации под действием добавок иттрия. Так, после 1 ч выдержки в 3%-ном растворе NaCl потенциал свободной коррозии нелегированного сплава равняется $-1,020$ В, а у сплава, содержащего 0,50% Y, он составляет $-0,950$ В. Подобная тенденция имеет место во всех трех исследованных средах.

Однако зависимость изменений потенциала свободной коррозии сплава Al+6%Li от содержания иттрия имеет иной характер. При содержании в сплаве до 0,05 мас.% иттрия потенциал свободной коррозии имеет более отрицательное значение по сравнению с исходным сплавом. Дальнейший рост концентрации иттрия приводит к смещению потенциала с свободной коррозии в область положительных значений.

С целью выяснения механизма процесса коррозии и оценки коррозионной стойкости сплавов в растворе NaCl проведены электрохимические исследования в потенциодинамическом режиме при скорости развертки потенциала $2 \text{ мВ} \cdot \text{с}^{-1}$. Результаты обобщены в табл. 4.

Таблица 4
Коррозионно-электрохимические характеристики сплава Al+6% Li, легированного иттрием, в среде электролита NaCl

NaCl, мас. %	Содержание иттрия, мас. %	Электрохимические свойства, В				Скорость коррозии	
		$-E_{\text{св.корр}}$	$-E_{\text{корр}}$	$-E_{\text{п.о}}$	$-E_{\text{р.п}}$	$i_{\text{корр}}$, А/м ²	$K \cdot 10^{-3}$, г/м ² ·ч
0,03%	–	0,830	0,970	0,650	0,680	0,055	18,43
	0,01	0,940	1,380	0,620	0,660	0,056	18,76
	0,05	0,910	1,350	0,610	0,640	0,038	12,73
	0,10	0,850	1,320	0,600	0,620	0,040	13,40
	0,50	0,820	1,220	0,580	0,620	0,035	11,73
0,3%	–	0,930	1,000	0,680	0,700	0,060	20,01
	0,01	1,110	1,430	0,630	0,680	0,062	20,77
	0,05	0,950	1,360	0,620	0,660	0,047	15,75
	0,10	0,930	1,342	0,620	0,650	0,042	14,07
	0,50	0,910	1,250	0,600	0,640	0,038	12,73
3%	–	1,020	1,080	0,680	0,720	0,080	26,8
	0,01	1,257	1,465	0,650	0,700	0,072	24,12
	0,05	1,174	1,384	0,640	0,680	0,064	21,44
	0,10	1,130	1,370	0,620	0,660	0,052	17,42
	0,50	0,950	1,350	0,620	0,650	0,044	14,74

Данные табл. 4 показывают, что добавки иттрия к сплаву Al+6% Li в трех исследованных средах электролита NaCl сдвигают потенциалы коррозии ($-E_{\text{св.корр}}$) и питтингообразования ($-E_{\text{п.о}}$) в положительную область значений. Потенциал репассивации ($-E_{\text{р.п}}$) также смещается в положительную область, что свидетельствует об улучшении пассивируемости образующихся питтинговых коррозионных очагов в нейтральных средах. С увеличением концентрации хлорид-ионов потенциал коррозии смещается в отрицательную область, что свидетельствует о снижении коррозионной стойкости сплавов с ростом агрессивности коррозионной среды (см. табл. 4). Все это сопровождается соответствующим изменением плотности тока коррозии и скорости коррозии. Добавки иттрия до 0,50 мас.% в 0,03; 0,3; 3%-ных растворах NaCl повышает коррозионную стойкость алюминиево-литиевых сплавов, что объясняется образованием более устойчивой и бездефектной защитной пленки на поверхности образцов, отличающейся устойчивостью к хлорид-ионам.

Заключение

Оксидная пленка, формирующаяся на алюминии, является очень тонкой и прочносоединенной поверхностной пленкой, поэтому с физической точки зрения она становится превосходным защитным материалом для сохранения основного металла. Дальнейший рост пленки осуществляется путём проникновения ионов и электронов через ее дефекты. Следовательно, несмотря на то, что алюминий является элементом, легко подвергающимся коррозии, благодаря образованию тонкой устойчивой защитной поверхностной пленки не возникает никаких проблем, связанных с коррозией под воздействием окружающей среды. Коррозионная стойкость алюминия в тех или иных окружающих средах определяется степенью устойчивости или неустойчивости его поверхностной пленки [9–10].

Гор Н. показал зависимость химических соединений алюминия от pH раствора [13]. Им показано, что при pH водного раствора 4–8 поверхностная оксидная пленка алюминия устойчива и защищает основной металл от коррозии, т.е. алюминий находится в пассивированном состоянии.

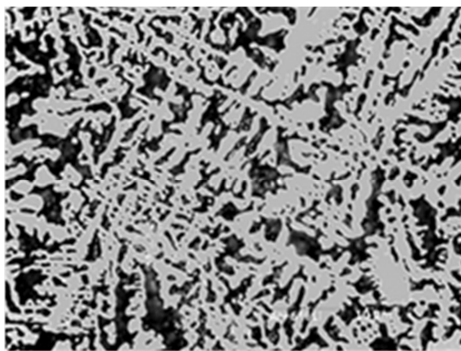
На основании результатов лабораторных исследований хорошо известно, что ионами, которые переводят пассивированное состояние в локальное нестабильное, являются ионы хлора и хлор-содержащие анионы, т.е. одним из условий возникновения питтинговой коррозии является содержание анионов.

Имеются данные, что между инкубационным периодом питтинговой коррозии (ПК), значением потенциала питтингообразования ($E_{п.о.}$) и толщиной оксидной плёнки имеется взаимосвязь, концентрация хлорид ионов оказывает влияние на инкубационный период ПК [14–17].

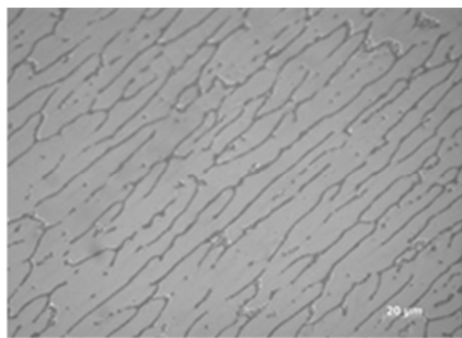
Применительно к нашим исследованиям следует отметить, что с ростом концентрации хлорид-ионов в электролите наблюдается смещение в отрицательную область значения потенциалов питтингообразования сплава Al+6%Li с добавками иттрия (см. табл. 4). Добавка последнего

положительно влияет на потенциал питтингообразования исходного сплава Al+6%Li, смещая его значение в положительную область. Данная тенденция имеет место во всех трёх исследованных средах электролита NaCl. Потенциал репассивации также облагораживается при легировании исходного сплава иттрием.

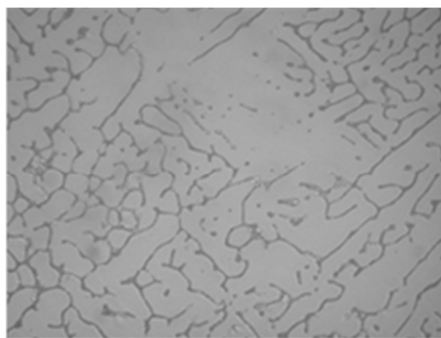
Таким образом, благоприятное влияние добавок иттрия на коррозионную стойкость исходного сплава Al+6%Li объясняется его положительным воздействием на потенциалы питтингообразования и репассивации сплавов. Сплавы с иттрием образуют тройную эвтектику Al+AlLi+ Al₃Y и отличаются более мелкой структурой по сравнению с двойным сплавом доэвтектического состава Al+6% Li, что является одним из факторов, объясняющим повышенную коррозионную стойкость тройных сплавов с иттрием (см. рисунок).



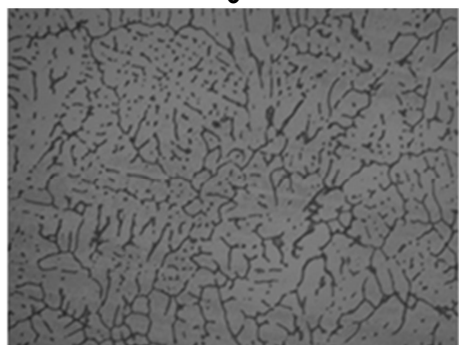
а



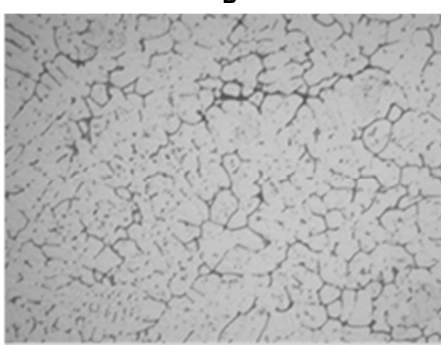
б



в



г



д

Микроструктуры ($\times 200$) сплава Al+6%Li (а) содержащего, мас.%, иттрия: б – 0,01, в – 0,05, г – 0,1, д – 0,5

Список литературы

1. Fei Zhang, Jian Shen, Xiao – Dong and others. Homogenization heat treatment of 2099 Al-Li Alloy // *Rare Metals*. 2014. Vol. 33 (1), pp. 28–36.
2. Норова М.Т., Ганиев И.Н., Ганиева Н.И. Коррозия алюминиево-литиевых сплавов с щелочноземельными металлами. Германия, Изд. дом LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. 110 с.
3. Луц А.Р., Суслина А.А. Алюминий и его сплавы. Самара: Самарск. гос. техн. ун-т, 2013. 81 с.
4. Bairwa M.L., Date P.P. Effect of heat treatment on the tensile properties of Al-Li alloys. *Journal of Materials Processing Technology*, 153–154 (2004), 603–607.
5. Fragomeni J, Wheeler R, Jata KV. Effect of single and duplex aging on precipitation response, microstructure, and fatigue crack behavior in Al–Li–Cu alloy AF/C-458. *J. Mater. Eng. Perform.* 2005;50(1):18.
6. Диаграммы фазовых равновесий сплавов систем Al-Li-Sc (Y) при 440K / Шамсиддинов А.Д., Ганиев И.Н., Кенжибало В.В., Тыванчук А.Т. // Докл. АН Республики Таджикистан. 1992. № 2. Т. 35. С. 45–47.
7. Ганиев И.Н., Назаров Х.М., Одинаев Х.О. Сплавы алюминия с редкоземельными металлами. Душанбе: Маориф, 2004. 190 с.
8. Obidov Z.R., Amonova A.V., Ganiev I.N. Influence of the Ph of the medium on the anodic behavior of scandium –doped Zn55Al alloy // *Russian Journal of Non –Ferrous Metals*, 2013. V. 54. No. 3. P. 234–238.
9. Amini R.N., Ironi M.B., Ganiev I.N., Obidov Z.R., Galfan I. and Galfan II doped with calcium, corrosion resistant alloys // *Oriental journal of Chemistry*, 2014. V. 30. No. 3. P. 969–973.
10. Ганиев И.Н., Умарова Т.М., Обидов З. Р. Коррозия двойных сплавов алюминия с элементами периодической системы. Германия, Изд. дом LAP LAMBERT Academic publishing, 2011. 198 с.
11. Sussek G., Kesten M., Feller H.G. Zur Lochfrakorrosion Von Reinst aluminum in chloride und Sulfatheatigen Electroliten. Teil 11 // *Metall*. 1979. V. 33. № 12. P. 1276–1281.
12. Sanders T.H., Rinker J.G, Marek M. Corrosion of the aluminium alloys containing lithium // *Corros. Sci.*, 1982. № 45. P. 283–304.
13. Гор И. Коррозия алюминия и его сплавов // Босску Гидаюзу. 1978. С. 194–202.
14. Ahmad Z. Mechanismen Beider Pitingbildung in Aluminium und scienen Legierungen // *Aluminium*. 1985. V.61. №2. P. 128–129.
15. Hunkeler F. Bohni H. Mechanism of pit growth on aluminium under open circuit conditions // *Corrosion. USA*. 1984. V. 40, №10. P. 534–540.
16. Назаров А.П., Лисовский А.П., Мизайловский Ю.М. Анодное растворение алюминия в присутствии галогенидионов // *Защита металлов* 1990. Том 26. №6. С. 970–975.
17. Бакулин А.В. Патенциодинамическое исследование образования репассивации питтингов на алюминии // *Защита металлов*. 1985. Том 2. №3. С. 390–395.

Материал поступил в редакцию 23.11.15.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

DOI:10.18503/1995-2732-2016-14-2-95-100

POTENTIODYNAMIC STUDY OF THE Al + 6% Li ALLOY DOPED WITH YTTRIUM IN NaCl SOLUTION

Nazarov Shuhratjon Abdugulomovich – Postgraduate Student, Institute of Chemistry named after V.I. Nikitin, Academy of Sciences, Dushanbe, Tajikistan.

Ganiev Izatullo Navruzovich – D.Sc. (Chemistry), Professor, Academic, Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan, Head of Laboratory, Institute of Chemistry named after V.I. Nikitin, Dushanbe, Tajikistan.

Norova Muattara Turdyevna – Senior Researcher Institute of Chemistry named after V.I. Nikitin, Academy of Sciences, Dushanbe, Tajikistan.

Ganieva Nargis Izatulloevna – Senior Researcher Institute of Chemistry named after V.I. Nikitin, Academy of Sciences, Dushanbe, Tajikistan.

Irene Calliari – Università degli Studi di Padova, Padova, Italy. E-mail: irene.calliari@unipd.it.

Abstract. The corrosion and electrochemical behavior of the Al + 6% Li alloy doped with yttrium was studied in a NaCl solution with the help of a potentiodynamic mode of the potentiometric method at a potential scan rate of $2\text{mV} \cdot \text{C}^{-1}$. The relationship between the free corrosion potential and the time of the original Al + 6% Li alloy and yttrium alloys shows a potential shift towards more positive values. At the same time the free corrosion potential of an alloy containing 0.05 wt.% yttrium has a more negative value than the original alloy. Further increase in the yttrium concentration will result in the free corrosion potential shift towards positive values. Yttrium, when added to the Al + 6% Li alloy in the NaCl solution

at concentrations of 0.03, 0.3 and 3.0%, causes a shift in the corrosion and pitting potential of alloys into the positive range. The same happens with the repassivation potential, which indicates that the pitting centres created have a better passivation in neutral media.

With increasing concentration of chloride-ions in the NaCl electrolyte the pitting potential of the Al + 6% Li alloy doped with yttrium shifts into the negative range. An increasing concentration of chloride-ions causes a higher corrosion rate in alloys independent of their composition. It was demonstrated that the addition of yttrium resulted in an almost twofold lower corrosion rate of the Al + 6% Li alloy in the NaCl solution.

Keywords: Al + 6% Li alloy, yttrium, potentiostatic method, the NaCl electrolyte, corrosion potential, pitting potential, corrosion rate.

References

1. Fei Zhang, Jian Shen, Xiao – Dong, et al. Homogenization heat treatment of 2099 Al-Li Alloy. *Rare Metals*. 2014, vol. 33 (1), pp. 28-36.
2. Norova M.T., Ganiev I.N., Ganieva N.I. *Korroziia aluminiev-litievyykh splavov s shchelochnozemel'nymi metallami* [Corrosion of Al-Li alloys containing alkali-earth metals]. Germany, LAP LAMBERT Academic Publishing. 2012, 110 p.
3. Lutic A.R., Suslina A.A. *Aluminii i ego splavy* [Aluminium and aluminium alloys]. Samara, Samara State Technical University. 2013, 81 p.
4. M.L. Bairwa, P.P. Date. Effect of heat treatment on the tensile properties of Al-Li alloys. *Journal of Materials Processing Technology* 153-154 (2004) 603-607.
5. Fragomeni J, Wheeler R, Jata KV. Effect of single and duplex aging on precipitation response, microstructure, and fatigue crack behavior in Al-Li-Cu alloy AF/C-458. *J. Mater. Eng. Perform.* 2005, 50(1):18.
6. Shamsiddinov A.D., Ganiev I.N., Kenzhibalo V.V., Tyvanchyuk A.T. Phase diagrams of alloy systems. Al-Li-Sc (Y) at 440K. *Dokl. AN Respubliki Tadjikistan* [Report by Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan]. 1992, no. 2, vol. 35, pp. 45-47.
7. Ganiev I.N., Nazarov Kh.M., Odinaev Kh.O. *Splavy aluminia s redkozemel'nymi metallami* [Aluminium alloys containing rare earth metals]. Dushanbe, Maorif. 2004, 190 p.
8. Obidov Z.R., Amonova A.V., Ganiev I.N. Influence of the Ph of the medium on the anodic behavior of scandium-doped Zn55Al alloy. *Russian Journal of Non –Ferrous Metals*. 2013, vol. 54, no. 3, pp. 234-238.
9. Amini R. N., Ironi M.B., Ganiev I.N., Obidov Z. R., Galfan I. and Galfan II doped with calcium, corrosion resistant alloys. *Oriental Journal of Chemistry*. 2014, vol. 30, no. 3, pp. 969-973.
10. Ganiev I.N., Umarova T.M., Obidov Z. R. *Korroziia dvoynykh splavov aluminia s elementami periodicheskoy sistemy* [Corrosion of binary aluminium alloys containing chemical elements]. Germany, LAP LAMBERT Academic Publishing. 2011, 198 p.
11. Sussek G., Kesten M., Feller H.G. Zur Lochfrakorrosion Von Reinst aluminium in chloride und Sulfatheatigen Electroliten. Teil 11. *Metall*. 1979, vol. 33, no. 12, pp. 1276-1281.
12. Sanders T.H., Rinker J.G, Marek M. Corrosion of aluminium alloys containing lithium. *Corros. Sci.* 1982, no. 45, pp. 283-304.
13. Gor I. *Korroziia aluminia i ego splavov* [Corrosion of aluminium and aluminium alloys]. Bossku Gidayuzu. 1978, pp. 194-202.
14. Ahmad Z. Mechanismen Beider Pitingbildung in Aluminium und sienen Legierungen. *Aluminium*. 1985, vol. 61, no. 2, pp. 128-129.
15. Hunkeler F. Bohni H. Mechanism of pit growth on aluminium under open circuit conditions. *Corrosion. USA*. 1984, vol. 40, no. 10, pp. 534-540.
16. Nazarov A.P., Lisovskii A.P., Mizaylovskii Yu.M. Anodic dissolution of aluminium in the presence of halogenide ions. *Zashchita metallov* [Protection of Metals]. 1990, vol. 26, no. 6, pp. 970-975.
17. Bakulin A.V. Potentiodynamic study of pitting repassivation on aluminium. *Zashchita metallov* [Protection of Metals]. 1985, vol. 2, no. 3, pp. 390-395.

Потенциодинамическое исследование сплава Al+6%Li с иттрием в среде электролита NaCl / Назаров Ш.А., Ганиев И.Н., Норова М.Т., Ганиева Н.И., Каллиари И. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2016. Т.14. №2. С. 95–100. doi:10.18503/1995-2732-2016-14-2-95-100

Nazarov Sh.A., Ganiev I.N., Norova M.T., Ganieva N.I., Calliari I. Potentiodynamic study of the Al + 6% Li alloy doped with yttrium in nacl solution. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Novosov Magnitogorsk State Technical University]. 2016, vol. 14, no. 2, pp. 95–100. doi:10.18503/1995-2732-2016-14-2-95-100