

Экологизация производства алюминиевых изделий

© 2015. С. Л. Фукс, к.т.н., доцент, С. В. Девятерикова, к.т.н., доцент,
Вятский государственный университет,
e-mail: tzb_fuks@vyatsu.ru, blancare@mail.ru

Снижение вредного воздействия на окружающую среду химических предприятий, производящих фторполимеры, путём использования их отходов при изготовлении изделий, является актуальной задачей.

В работе показана возможность использования жидких отходов производства фторполимеров для получения композиционных электрохимических покрытий «оксид алюминия–политетрафторэтилен» в связи с тем, что жидкие отходы содержат в своем составе часть целевого продукта – фторполимера.

Замена широко распространённого анодированного алюминия на алюминий, покрытый композиционным электрохимическим покрытием «оксид алюминия–политетрафторэтилен», повышает химическую и коррозионную стойкость изделий, износостойкость, снижает микрошероховатость, что приводит к уменьшению коэффициента трения, придаёт поверхности гидрофобность, несмачиваемость маслами, увеличивает антипригарные и антинакипные свойства.

Определены оптимальные условия нанесения композиционных электрохимических покрытий «оксид алюминия–политетрафторэтилен» с использованием жидких отходов производства фторполимеров, подобраны оптимальные составы электролитов. Исследования внутренних напряжений полученных покрытий показали, что они являются более эластичными, механически прочными и износостойкими, чем оксид алюминия. Антинакипные свойства поверхности композиционных электрохимических покрытий «оксид алюминия–политетрафторэтилен» также выше по сравнению с образцами без покрытия на порядок и более.

Исследовано влияние жидких отходов производства фторполимеров на межкристаллитную коррозию и питтинговую стойкость.

Decrease in harmful effects on environment of the chemical companies making fluoropolymer by use of their waste at production of products, is an actual task.

In work possibility of use of liquid production wastes of fluoropolymer for receiving composite electrochemical coverings «aluminum oxide – политетрафторэтилен» is shown because liquid waste contains in the structure part of a target product - a fluoropolymer.

Replacement of the widespread anodized aluminum by the aluminum covered with a composite electrochemical covering «aluminum oxide – политетрафторэтилен», increases chemical and corrosion resistance of products, wear resistance, reduces a microroughness that leads to reduction of coefficient of friction, gives surfaces water repellency, not wettability oils, increases antiprigrany and antinakupny properties.

Optimum conditions of drawing composite electrochemical coverings «aluminum-politetraftoretillen oxide» with use of liquid production wastes of fluoropolymer are defined, optimum compositions of electrolytes are picked up. Researches of internal tension of the received coverings showed that they are more elastic, mechanically strong and wearproof, than aluminum oxide. Antinakupny properties of a surface of composite electrochemical coverings «aluminum-politetraftoretillen oxide» are also higher in comparison with samples without covering much and more.

Influence of liquid production wastes of fluoropolymer on intercrystalline corrosion and pittingostoykost is investigated.

Ключевые слова: фторполимеры, анодирование, отходы, внутренние напряжения, питтингообразование, питтинговость, антинакипные свойства, межкристаллитная коррозия

Keywords: fluoropolymers, anodizing, waste, internal stress, pitting, pitting resistance, antinakupnyye properties, intergranular corrosion

Введение

Фторполимеры обладают рядом исключительных свойств, в связи с чем незаменимы во многих отраслях промышленности. Это приводит к увеличенному спросу и соответственно к возрастающему производству, сопряжённому с образованием большого количества жидких и твёрдых отходов, деструкция которых в природных условиях практически невозможна. Маточные растворы (МР) процесса синте-

за политетрафторэтилена (ПТФЭ) [1] содержат дисперсную фазу (до 0,5% ПТФЭ). Весь объём МР без дополнительной очистки поступает в водные объекты рыбохозяйственного и культурно-бытового назначения. В водных объектах, куда попадают эти техногенные загрязнители, могут присутствовать и размножаться многие организмы, в том числе микроскопические личинки паразитов, амёбные цисты, споры бактерий и другие патогенные формы. Они находятся в фекальных водах тепло-

кровных животных и человека, которые беспрепятственно смешиваются с разбавленными маточными растворами, причем нерастворимые компоненты (фторполимеры и олигомеры) последних, обладая чрезвычайной стойкостью и частичным отрицательным поверхностным зарядом, сорбируют на своей поверхности любые микробиологические объекты. Среди патогенов чаще других в загрязнённых водах рек обнаруживаются сальмонеллы, шигеллы, пастереллы, вибрионы, микобактерии, энтеровирусы человека и др. С частицами фторполимеров они передаются по водотоку на значительные расстояния, со временем задерживаются на водной растительности, через гидробионтов по трофической цепи попадают в организмы теплокровных животных и человека, неся опасность заболеваний желудочно-кишечного тракта.

С опасностью инфекционных заболеваний, связанных с загрязнением сточных вод химических производств взвесями фторполимеров, можно бороться путём глубокой очистки сточных вод либо применения их концентратов в технологических производствах.

В последние годы нами обнаружены возможные потребители маточных растворов и твёрдых отходов фторполимерных производств ООО «ГалоПолимер Кирово-Чепецк». Так, например, МР и твёрдые отходы фторопластов можно применять совместно для получения композиционных электрохимических покрытий (КЭП) с заранее заданными технологическими и эксплуатационными характеристиками, обусловленными специфическими свойствами металла, его оксида и полимера.

Среди КЭП одним из наиболее эффективных считается оксид алюминия – политетрафторэтилен (КЭП Al_2O_3 -ПТФЭ). Замена широко распространённого анодированного алюминия [2] на алюминий, покрытый КЭП Al_2O_3 -ПТФЭ, повышает химическую и коррозионную стойкость изделий, износостойкость, снижает микрошероховатость, что приводит к уменьшению коэффициента трения, придаёт поверхности гидрофобность, несмачиваемость маслами, увеличивает антипригарные и антинакипные свойства [3 – 5].

Снижение вредного воздействия на окружающую среду химических предприятий, производящих фторполимеры путём использования их отходов при изготовлении изделий для авиастроения, нефтяной, газовой и других отраслей, является актуальной задачей. Использование КЭП Al_2O_3 -ПТФЭ, обладающих комплексом новых физико-химических, химических и механических свойств, приведёт также к улучшению технико-экономических характеристик этих производств.

Целью работы явилась разработка оптимальных составов электролитов с применением жидких и твёрдых отходов производства ПТФЭ в качестве компонентов для получения КЭП Al_2O_3 -ПТФЭ на изделиях из сплавов алюминия, а также определение режимов их формирования.

Материалы и методы исследований

Анодировали и наносили КЭП Al_2O_3 -ПТФЭ на алюминий марки АД 1, применяемый для производства оборудования пищевой промышленности. Питтингостойкость и склонность к межкристаллитной коррозии исследовали на алюминиевом сплаве марки В96Ц1 по ГОСТ 9.912-89 [6].

Электролит состоял из смеси щавелевой (10–40 г/л) и лимонной (10–40 г/л) кислот. Продолжительность процесса составляла 30 мин при плотности тока 2–4,6 А/дм². Постоянство температуры (20±2 °С) поддерживалось протоком электролита через охлаждающее устройство. На основе электролита анодирования были приготовлены электролиты для получения КЭП Al_2O_3 -ПТФЭ. Для этого применяли суспензии фторопластов Ф-4Д и Ф-4МД и МР фторопласта Ф-4Д, составы которых приведены в таблице 1.

Суспензии Ф-4Д и Ф-4МД добавляли в электролит из расчёта, чтобы содержание дисперсии ПТФЭ составляло 10 г/л. Электролит, содержащий МР Ф-4Д, готовили без воды.

Для определения условий нанесения КЭП Al_2O_3 -ПТФЭ применяли метод математического планирования эксперимента. В соот-

Составы МР Ф-4Д и суспензий Ф-4Д и Ф-4 МД

Таблица 1

Проба	Содержание компонентов, мг/л							
	K ⁺	NH ₄ ⁺	F ⁻	SO ₄ ²⁻	янтарная кислота	оксалат-ион	ОП-7	сухое вещество, мг
МР Ф-4Д	отс	20	31	отс	224	100	отс	400
Ф-4Д	отс	отс	1,0	отс	отс	отс	150	9688
Ф-4МД	160 - 200	1200- 1400	200 - 370	340 - 490	отс	отс	50 - 62	8326

Таблица 2

Уровни факторов и интервалы варьирования для матрицы ППФЭ типа 2³

Факторы	Уровни факторов			Интервал варьирования	Размерность
	нижний (-1)	средний (0)	верхний (+1)		
Щавелевая кислота (X ₁)	10	25	40	15	г/л
Лимонная кислота (X ₂)	10	25	40	15	г/л
Плотность тока (X ₃)	2,0	2,5	3,0	0,5	А/дм ²

Таблица 3

Уравнения регрессии полного факторного эксперимента типа 2³

Дисперсная фаза	Уравнения регрессии	
Отс.	$Y_g = 0,2754 + 0,0007X_1 + 0,0397X_3 - 0,0077X_1X_2 - 0,1470X_1X_3 + 0,0063X_2X_3 + 0,0149X_1X_2X_3$	
ПТФЭ	Суспензия Ф-4Д	$Y_g = 0,2872 - 0,0248X_1 + 0,07864X_3 + 0,0333X_1X_2 - 0,0224X_1X_3 + 0,0161X_2X_3 + 0,0354X_1X_2X_3$
	Суспензия Ф-4МД	$Y_g = 0,2510 - 0,0068X_1 - 0,0120X_2 + 0,0431X_3 + 0,0112X_1X_3 + 0,0066X_1X_2X_3$
	МР Ф-4Д	$Y_g = 0,2641 - 0,0100X_2 + 0,0120X_2 + 0,0491X_3 - 0,0242X_1X_2X_3$

Таблица 4

Оптимальные условия формирования КЭП Al₂O₃-ПТФЭ и его характеристики

№	Состав электролита, г/л	рН	Плотность анодного тока, А/дм ²	Скорость формирования, г/дм ² ·ч	Состав КЭП	
					элемент	весовой, %
1	щавелевая кислота – 35,5; лимонная кислота – 21,5	1,1	4,6	0,382	алюминий	49,65
					кислород	0,35
2	щавелевая кислота – 38,5; лимонная кислота – 25,9; Ф-4Д (ПТФЭ– 10,0)	1,0	4,3	0,383	алюминий	37,54
					кислород	39,80
					углерод	12,27
					фтор	10,39
3	щавелевая кислота – 18,0; лимонная кислота – 12,4; Ф-4МД (ПТФЭ – 10,0)	1,5	4,6	0,342	алюминий	38,71
					кислород	44,17
					углерод	9,27
					фтор	7,85
4	щавелевая кислота – 21,0; лимонная кислота – 15,4; МР Ф-4Д	1,45	4,1	0,337	алюминий	23,20
					кислород	35,07
					углерод	22,60
					фтор	19,13

ветствии с матрицами планирования полного факторного эксперимента (ППФЭ) типа 2³ рассчитывали воспроизводимость экспериментов, значимость коэффициентов регрессии и адекватность моделей. По результатам расчётов создавали уравнения регрессии [7] для оптимизации условий нанесения КЭП Al₂O₃-ПТФЭ.

Для получения вольт-амперных характеристик (ВАХ) использовали потенциостат «Р-8». Скорость развёртки потенциала составляла 100 мВ/с, а площадь анода – 1 см². Внутренние напряжения определяли методом деформации гибкого анода [8] при помощи горизонтального микроскопа ЩЛ-2Б, соединённого с видеокамерой DCM510.

Для изучения структуры и состава покрытия применяли сканирующий электронный микроскоп (СЭМ) марки JEOL JSM-6510 LV со встроенным рентгенофлуоресцентным анализатором для получения спектров.

Каждый эксперимент проводили не менее пяти раз с таким расчётом, чтобы среднее отклонение результатов друг от друга составляло не более 2%.

Результаты и обсуждение

Определение оптимальных условий нанесения КЭП Al₂O₃-ПТФЭ. В соответствии с матрицами ППФЭ выбраны параметр оптимизации (Y_g) – скорость формирования покры-

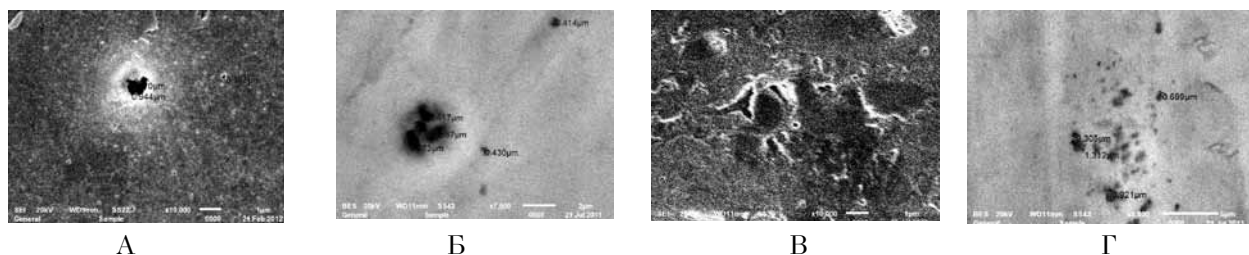


Рис. 1. Характерные образования на поверхности анодного покрытия (А) и КЭП Al_2O_3 – ПТФЭ (Б, В, Г)

тий и факторы (X_i) – компоненты электролитов и анодная плотность тока, представленные в таблице 2. Процесс формирования КЭП осуществляли в течение 0,5 ч при рН 1,1–1,5.

Полученные уравнения регрессии для нанесения КЭП Al_2O_3 -ПТФЭ представлены в таблице 3. На основании уравнений регрессии и с учётом шагов наиболее значимых факторов были рассчитаны условия определения оптимума каждого процесса формирования КЭП Al_2O_3 -ПТФЭ [9].

Результаты, отвечающие максимальной скорости осаждения КЭП, приведены в таблице 4.

Из таблицы видно, что в оптимальных условиях (состав и плотность тока) в присутствии суспензий Ф-4Д, Ф-4МД и МР Ф-4Д формируются КЭП Al_2O_3 -ПТФЭ со скоростью 0,337–0,383 г/дм²·ч.

Методом СЭМ и энергодисперсионным анализом определены структуры и составы КЭП Al_2O_3 -ПТФЭ, полученных в оптимальных условиях (табл. 4).

Судя по содержанию в КЭП Al_2O_3 -ПТФЭ углерода и фтора, максимальное количество ПТФЭ достигается при использовании МР Ф-4Д и минимальное – в присутствии дисперсной фазы суспензии Ф-4МД.

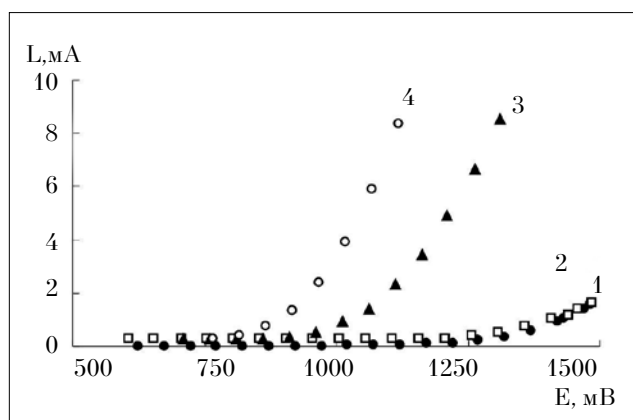


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики процесса формирования анодного покрытия (кривая 1) и КЭП Al_2O_3 -ПТФЭ, полученные с использованием суспензий Ф-4Д (кривая 2); Ф-4МД (кривая 3) и МР Ф-4Д (кривая 4)

Поры в оксидном покрытии и КЭП располагаются по всей поверхности. Их размеры зависят от состава электролита и плотности анодного тока.

При оксидировании алюминия в электролите №1 поры имеют диагональ 0,156–0,944 мкм (рис. 1 а). При нанесении КЭП Al_2O_3 -ПТФЭ в электролите №2 диагональ пор составляет 0,414–0,667 мкм (рис.1 б), в электролите №3 – 0,184–1,343 мкм (рис. 1 в) и в электролите №4 – 0,305–1,312 мкм (рис.1 г).

Влияние поляризации на формирование КЭП. Вольт-амперные характеристики (ВАХ), полученные при оксидировании алюминиевой поверхности из электролитов №1–№4, приведены на рисунке 2.

Из рисунка видно, что скорость процесса окисления алюминия монотонно возрастает с увеличением потенциала. Для выявления влияния фторопласта на процессы, протекающие при образовании оксида алюминия, были построены зависимости $E=f(\lg ia)$, по которым определены коэффициенты а и b уравнения Тафеля (табл. 5).

Из таблицы видно, что перенапряжение процессов уменьшается в ряду: №1 > №2 > №3 > №4. Расчёты констант b показали, что их величина также зависит от состава электролитов: максимальная – в электролите, содержащем компоненты МР Ф-4Д (№2), и минимальная – в электролитах, содержащих суспензии ПТФЭ (№3 и №4). Это обусловлено присутствием в приэлектродном слое дисперсной фазы, различных ионов и ПАВ, составляющих суспензии Ф-4Д, Ф-4МД и МР Ф-4Д и влияющих на лимитирующую стадию взаимодействия ионов алюминия и адсорбированных поверхностью анода атомов кислорода $2Al^{3+} + 3O_{ads} \rightarrow Al_2O_3$ [10].

Различные физические и физико-химические характеристики покрытия, состоящего из оксида алюминия, наполненного дисперсией фторополимера, в экстремальных техногенных и природных условиях (высокие или низкие температуры, абразивный износ, изменения локальных механических нагрузжений и т. д.) могут оказывать влияние на окружающую среду [11].

Результаты расчета коэффициентов уравнения Тафеля

№ электролита	Коэффициенты уравнения Тафеля	
	a, В	b
1	1,45	0,31
2	1,40	0,38
3	1,03	0,27
4	0,88	0,24

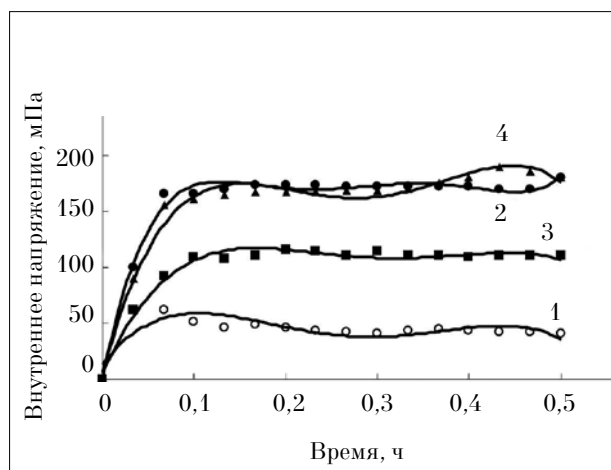


Рис. 3. Зависимость внутренних напряжений в покрытиях, полученных из электролитов №1 (кривая 1); №2 (кривая 2); №3 (кривая 3); №4 (кривая 4)

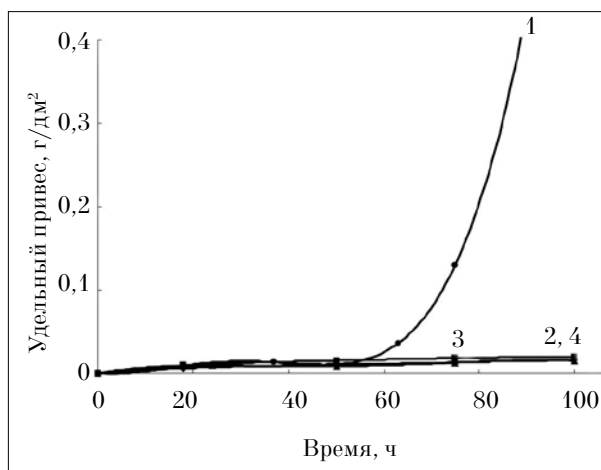


Рис. 4. Зависимость массы накипи от времени кипячения в воде средней жёсткости для образцов без покрытия (кривая 1), а также покрытых из электролитов №2 (кривая 2); №3 (кривая 3); №4 (кривая 4)

В связи с этим представлялось интересным изучить различные свойства образующегося композиционного покрытия. Чтобы прогнозировать возможное изменение состояния изделия из алюминиевых сплавов, создавались модели изделий, которые исследовались при различных воздействиях.

Внутренние напряжения. В процессе измерения внутренних напряжений, возникающих при анодном растворении алюминиевой поверхности и адсорбции на ней атомарного кислорода с одновременным образованием Al_2O_3 , происходило отклонение образцов в сторону катода (рис. 3). Из рисунка видно, что при формировании КЭП Al_2O_3 -ПТФЭ, независимо от состава раствора, через 0,1 ч внутренние напряжения растяжения покрытия стабилизируются и существенно превышают внутренние напряжения Al_2O_3 . Визуальный осмотр показал, что на поверхности КЭП не наблюдается микротрещин и отслоений.

Следовательно, КЭП Al_2O_3 -ПТФЭ являются более эластичными, механически прочными и износостойкими, чем оксид алюминия.

Антинакипные свойства КЭП Al_2O_3 -ПТФЭ изучали путем расчёта массы наки-

пи, образовавшейся при кипячении в воде в течение 100 часов. Образцы изготавливали из трубки, применяемой в производстве теплоэлектронагревателей. Зависимость антинакипных свойств КЭП Al_2O_3 -ПТФЭ от времени экспозиции представлена на рисунке 4.

Как видно, на поверхности КЭП Al_2O_3 -ПТФЭ масса накипи растёт незначительно, в то время как на образце без покрытия наблюдается её увеличение на порядок и более.

Питтингобразование. Исследование влияния жидких отходов производства фторполимеров на межкристаллитную коррозию и питтингостойкость проводили на сплаве алюминия марки В96Ц1, применяемого в производстве оконных профилей.

Определение основных показателей питтингостойкости (потенциала свободной коррозии E_{cor} , минимального гальваностатического потенциала питтинговой коррозии E_{pc} , основного базиса питтингобразования ΔE_{pc}) сплава алюминия в различных электролитах (табл. 6) проводили по ГОСТ 9.912-89 (табл. 7).

Показано, что самый отрицательный E_{cor} для сплава алюминия В96Ц1 наблюдается в электролитах №5 и №3, а самый положительный E_{cor} – в электролите №1.

Таблица 6

Составы электролитов

№ электролита	Состав электролита	pH
1	NaCl – 29,22 г/л	3,8
2	NiCl ₂ · 6H ₂ O – 165 г/л, сахарин – 2 г/л, H ₃ BO ₃ – 30 г/л, МР СКФ-26	5,0
3	ZnCl ₂ – 62,73 г/л, NH ₄ Cl – 190 г/л, H ₃ BO ₃ – 25 г/л, МР СКФ-32 – 550 г/л, CF _x – 9,4 г/л	5,25
4	ZnCl ₂ – 65 г/л, NH ₄ Cl – 190 г/л, H ₃ BO ₃ – 25 г/л, МР СКФ-26 – 550 г/л, CF _x – 9,4 г/л	5,3
5	ZnSO ₄ · 7 H ₂ O – 101,2 г/л, NH ₄ Cl – 200 г/л, CF _x на основе ИТГ волокон – 7,5 г/л	5,2
6	ZnSO ₄ · 7 H ₂ O – 102,5 г/л, NH ₄ Cl – 200 г/л, CF _x , полученный при фторировании теуглерода марки ТУ-900 – 4,5 г/л	4,7

Таблица 7

Питтингостойкость сплава алюминия марки В96Ц1

Материал	Электролит, №	$\Delta m = (m_1 - m_2) \cdot 10^{-4}$, г	E _{сог.} , мВ	E _{рc.} , мВ	$\Delta E_{рc.}$, мВ	Точка пересечения (E; lgi)
Сплав алюминия В96Ц1	1	1	-422,73	80,71	503,44	(-57,0; -0,07)
	2	1	-575,11	-418,21	156,90	(-506,0; -0,13)
	3	2	-694,76	-505,13	189,63	(-612,90; -0,13)
	4	11	-666,54	-572,57	93,96	(-642,27; -0,13)
	5	279	-770,96	-749,79	21,17	(-581,15; 0,56)
	6	3	-682,91	-554,79	128,11	(-673,33; -0,13)

Самый отрицательный E_{рc} наблюдается в электролитах №5 и №4, а самый положительный E_{рc} – в электролитах №1 и №7.

Для сплава алюминия В96Ц1 самая высокая питтингостойкость в электролитах №1, №3, №7 и №8, а самая низкая – в электролите №5.

Данная зависимость объясняется содержанием ионов фтора в электролитах. Наибольшее количество ионов фтора содержится в электролите №5 (5,9 · 10⁻² ммоль/л), следовательно, питтингостойкость в нём самая низкая.

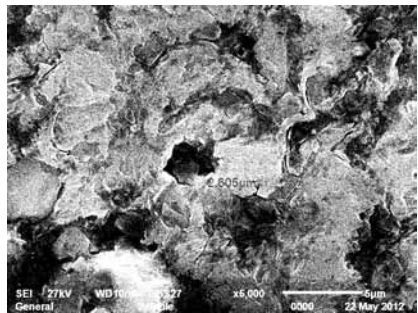
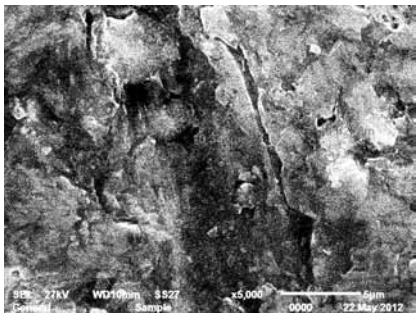
Кроме того, питтингостойкость прямо пропорциональна величине pH.

Методом СЭМ на приборе марки JEOL 6510LV были изучены питтинги в различных электролитах, определены их размеры и фор-

ма. В качестве электролитов выбраны растворы, в которых алюминиевый сплав обладает наиболее высокой питтингостойкостью. Изображение питтинга, образующегося на поверхности сплава алюминия В96Ц1 в данных электролитах, представлено в таблице 8. Видно, что питтинги, образующиеся на поверхности алюминия при контакте с кислыми средами, имеют различные формы и размеры. Так, при контакте поверхности алюминия с электролитом, в состав которого входит щавелевая (28 г/л) и лимонная (21,9 г/л) кислоты, питтинги имеют округлую форму с диаметром 0,300–2,605 мкм, а в электролите с добавлением суспензии Ф-4Д форма питтингов становится более неопределённой с диаметром 0,622–0,342 мкм.

Таблица 8

Изображение питтинга алюминия и определение его диаметра в различных электролитах

	
Щавелевая кислота 28 г/л Лимонная кислота 21,9 г/л	Щавелевая кислота 28 г/л Лимонная кислота 21,9 г/л Ф-4Д 10,3 г/л

Изменение поверхности алюминия в процессе питтингообразования.

Результаты наблюдений за изменением поверхности сплава алюминия марки В96Ц1 в электролитах различного состава показали, что во всех случаях наблюдается питтингообразование как по поверхности кристаллитов, так и по межкристаллитным пространствам. В некоторых случаях интенсивное растворение поверхности приводит к срастанию питтинга с образованием язв.

Питтингообразование по поверхности кристаллов протекает в электролитах №1, №3, №6; по межкристаллитным пространствам – в электролите №4; образование язв – в электролите №2, №5.

Межкристаллитная коррозия. Определение восприимчивости алюминия к межкристаллитной коррозии в контакте с МР СКФ-26 и СКФ-32 и суспензиями фторопластов Ф-4Д и Ф-4МД методом ПК-1 (ГОСТ 9.912-89 [6]).

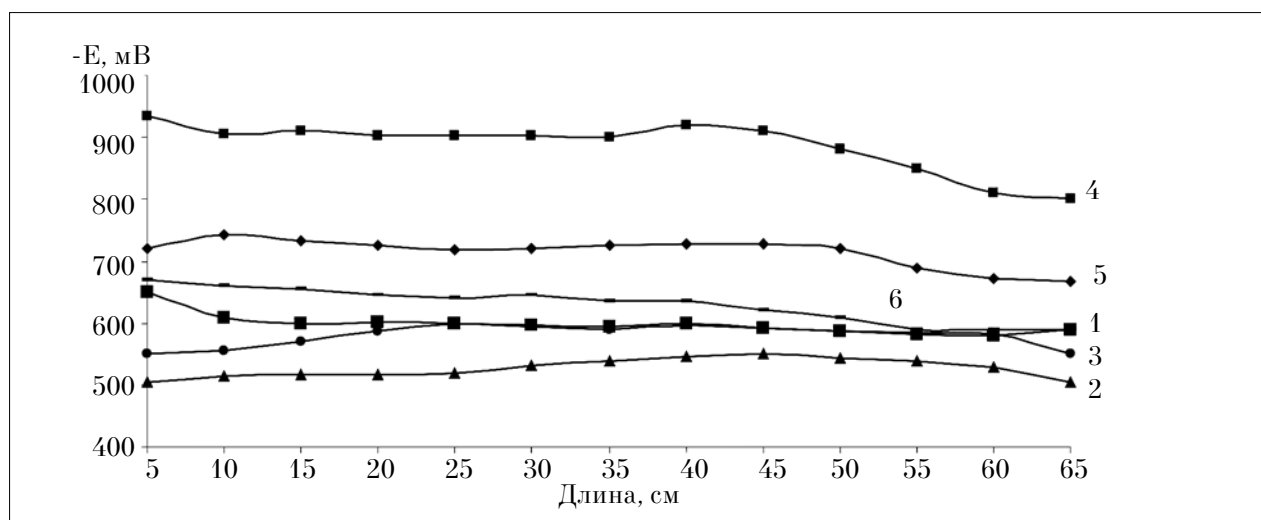
Результаты исследований приведены на рисунке 5.

В ходе измерений было выявлено, что наиболее подвержена МКК плоская деталь из алюминиевого сплава В96Ц1 в электролите №4, а наименее – в электролитах №2 и №3.

Измерения потенциала МКК при воздействиях на алюминиевый сплав В96Ц1 щавелевой кислоты вблизи концентратора напряжений представлены в таблице 9.

Измерение действия электролита на алюминиевую поверхность без концентратора напряжений и с резьбовым соединением «болт-алюминиевая пластина» показало, что концентратор напряжений способствует воздействию МКК на выбранную точку алюминиевой пластины, т. е. потенциал в данной точке более отрицательный.

Вид концентратора напряжений также оказывает заметное действие на восприимчивость к межкристаллитной коррозии алюми-



Кривая 1 – щавелевая кислота 25 г/л; кривая 2 – щавелевая кислота 28 г/л, лимонная кислота 21,9 г/л; кривая 3 – щавелевая кислота 28 г/л, лимонная кислота 21,9 г/л, МР СКФ-32; кривая 4 – щавелевая кислота 28 г/л, лимонная кислота 21,9 г/л, МР СКФ-26; кривая 5 – отжим после грануляции каучука СКФ-26-щавелевая кислота 28 г/л, лимонная кислота 21,9 г/л, МР СКФ-26-отжим после грануляции – 10,3 г/л; кривая 6 – суспензия Ф-4Д-щавелевая кислота 28 г/л, лимонная кислота 21,9 г/л, сухой остаток 10,3 г/л

Рис. 5. Зависимость потенциала алюминия от длины пластины с использованием различных электролитов (г/л)

Таблица 9

Определение потенциала межкристаллитной коррозии.
Состав электролита: щавелевая кислота 28 г/л; лимонная кислота 21,9 г/л

Вид концентратора напряжений	E, мВ			
	L=0 см	L=22 см	L=44 см	L=65 см
Резьбовое соединение «стальной болт – алюминиевая пластина»	-677,3	-657,5	-644,0	-666,0
Резьбовое соединение «оцинкованный болт – алюминиевая пластина»	-630,4	-624,8	-624,2	-634,9

ниевом сплаве, так более подвержен такой коррозии алюминиевый образец с резьбовым соединением «стальной болт-алюминиевая пластина».

Таким образом, при использовании математического планирования эксперимента получены уравнения регрессии, описывающие зависимость скорости формирования КЭП Al_2O_3 -ПТФЭ от состава электролита и плотности тока. Впервые установлены граничные оптимальные значения составов электролитов и режимов получения КЭП Al_2O_3 -ПТФЭ в присутствии суспензий ПТФЭ и МР синтеза фторопласта Ф-4Д, определены структура и составы КЭП Al_2O_3 -ПТФЭ, изучены электрохимические характеристики его формирования. Показано, что КЭП Al_2O_3 -ПТФЭ имеют внутренние напряжения растяжения, что приводит к образованию покрытий с высокими механическими характеристиками. В результате повышенных антинакипных свойств КЭП Al_2O_3 -ПТФЭ можно рекомендовать для использования в теплоэлектронагревательных приборах.

Маточные растворы оказывают существенное влияние на отдельные виды коррозии. В связи с этим рекомендуется на предприятиях, на которых образуются подобные вторичные продукты, определять их категории и условия дальнейшего использования, а также создавать пассивирующие среды, содержащие фторполимеры.

Литература

1. Паншин Ю.А., Малкевич С.Г., Дунаевская Ц.С. Фторопласты. Л.: Химия, 1978. 229 с.
2. Аверьянов Е.Е. Справочник по анодированию. М.: Машиностроение, 1988. 224 с.
3. Фукс С.Л., Девятерикова С.В., Хитрин С.В. Использование маточных растворов производства фторопласта для получения композиционных покрытий // Журнал прикладной химии. 2003. Т. 76. № 4. С. 690–692.
4. Фукс С.Л., Девятерикова С.В., Хитрин С.В., Самара В.А. Разработка условий использования нецелевых продуктов производства фторполимеров // Журнал прикладной химии. 2004. Т. 77. № 9. С. 1491–1496.
5. Фукс С.Л., Девятерикова С.В., Хитрин С.В. Композиционные электрохимические покрытия, имеющие углеродсодержащую дисперсную фазу или политетрафторэтилен // Журнал прикладной химии. 2013. Т. 86. № 6. С. 848–852.
6. ГОСТ 9.912-89 «Единая система защиты от коррозии и старения. Стали и сплавы коррозионностойкие. Методы ускоренных испытаний на стойкость к питтинговой коррозии». М.: 1989.
7. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. 279 с.
8. Поперка М.Я. Внутреннее напряжение электролитически осаждаемых металлов. Новосибирск: Зап.-Сиб. книжн. изд-во, 1966. 336 с.
9. Рязанцева Е.А., Фукс С.Л., Хитрин С.В. Исследование влияния отходов производства фторполимеров на свойства композиционных электрохимических покрытий цинк-фторполимер // Журнал прикладной химии. 2012. Т. 85. № 4. С. 599–603.
10. Заливалов Ф.П., Тюкина М.Н., Томашов Н.А. Толстослойное анодирование алюминия и его сплавов. М.: Машиностроение. 1968. 156 с.
11. Михайлова Т.А., Шергина О.В. Биогеохимическая миграция элементов-загрязнителей в урбоэкосистеме // Теоретическая и прикладная экология. 2010. № 3. С. 37–42.