



УДК 669.715:678.026

doi: 10.18577/2307-6046-2015-0-9-8-8

**ГИДРОФОБИЗИРУЮЩИЕ СОСТАВЫ ДЛЯ
ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ АЛЮМИНИЕВЫХ
СПЛАВОВ В ТОПЛИВНЫХ СИСТЕМАХ ИЗДЕЛИЙ
АВИАТЕХНИКИ**

Д.А. Миков

А.Е. Кутырев

кандидат химических наук

В.А. Петрова

Сентябрь 2015

Всероссийский институт авиационных материалов (ФГУП «ВИАМ» ГНЦ) – крупнейшее российское государственное материаловедческое предприятие, на протяжении 80 лет разрабатывающее и производящее материалы, определяющие облик современной авиационно-космической техники. 1700 сотрудников ВИАМ трудятся в более чем тридцати научно-исследовательских лабораториях, отделах, производственных цехах и испытательном центре, а также в четырех филиалах института. ВИАМ выполняет заказы на разработку и поставку металлических и неметаллических материалов, покрытий, технологических процессов и оборудования, методов защиты от коррозии, а также средств контроля исходных продуктов, полуфабрикатов и изделий на их основе. Работы ведутся как по государственным программам РФ, так и по заказам ведущих предприятий авиационно-космического комплекса России и мира.

В 1994 г. ВИАМ присвоен статус Государственного научного центра РФ, многократно затем им подтвержденный.

За разработку и создание материалов для авиационно-космической и других видов специальной техники 233 сотрудникам ВИАМ присуждены звания лауреатов различных государственных премий. Изобретения ВИАМ отмечены наградами на выставках и международных салонах в Женеве и Брюсселе. ВИАМ награжден 4 золотыми, 9 серебряными и 3 бронзовыми медалями, получено 15 дипломов.

Возглавляет институт лауреат государственных премий СССР и РФ, академик РАН, профессор Е.Н. Каблов.

Д.А. Миков¹, А.Е. Кутырев¹, В.А. Петрова¹

ГИДРОФОБИЗИРУЮЩИЕ СОСТАВЫ ДЛЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ В ТОПЛИВНЫХ СИСТЕМАХ ИЗДЕЛИЙ АВИАТЕХНИКИ

Исследованы функциональные полимерные покрытия, которые могут быть использованы в качестве гидрофобной обработки для повышения защитных свойств алюминиевых сплавов, работающих в топливах при воздействии конденсата. Наиболее эффективными гидрофобизирующими агентами для получения полимерных покрытий являются функциональные фторсодержащие олигомеры.

Получены данные по стойкости в камере солевого тумана (КСТ), топливостойкости функциональных полимерных покрытий на алюминиевом сплаве. В качестве экспресс-метода использовался метод измерения краевого угла смачивания (КУС) капель воды.

На основании проведенных исследований разработаны составы функциональных полимерных покрытий, которые могут быть использованы в топливных системах изделий авиатехники для дополнительной защиты алюминиевых сплавов.

Ключевые слова: *алюминиевые сплавы, гидрофобность, функциональные полимерные покрытия, защита от коррозии, топливные системы, краевой угол смачивания.*

D.A. Mikov, A.E. Kutyrev, V.A. Petrova

HYDROPHOBIC STRUCTURES FOR ADDITIONAL PROTECTION OF ALUMINUM ALLOYS IN FUEL SYSTEMS OF PRODUCTS OF AVIATION EQUIPMENT

In this work functional polymer coatings which can be used as hydrophobic processing for increase of protective properties the aluminum alloys working in fuels at influence of condensate are investigated. Data on resistance in the salt spray chamber and fuel of functional polymer coatings on aluminum alloy are obtained. The most ef-

fective hydrophobic agents for receiving polymer coatings are functional fluorinated oligomers.

As express method the measurement method to regional corners of wetting was used by water.

On the basis of the carried-out researches structures of functional polymer coatings which can be used in fuel systems of products of aviation equipment for additional protection of aluminum alloys are developed.

Keywords: *aluminum alloys, water repellency, functional polymer coatings, corrosion protection, fuel systems, regional corner of wetting.*

¹Федеральное 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

Введение

Современная авиационная техника в связи с расширением географии базирования может эксплуатироваться в очень жестких условиях. Требования, предъявляемые к материалам и конструкциям воздушных судов, заключаются в обеспечении безопасности при агрессивном коррозионном воздействии климатических факторов окружающей среды. Это также касается топливных систем изделий авиационной техники [1, 2].

Для надежной защиты от коррозии топливной системы деталей и сборочных узлов из алюминиевых сплавов используют неметаллические неорганические (анодно-оксидные и химически-оксидные) покрытия. Анодно-оксидные покрытия, формирующиеся электрохимическим способом в кислотных электролитах, обладают наиболее высокими защитными свойствами и, как правило, наносятся на участки поверхности деталей топливных систем (трубопроводы, топливные баки, фланцы, проставки, переходники, контактирующие с воздухом, штуцеры и др.). Поверхности алюминиевых сплавов, находящихся в топливах, обычно химически оксидируют в растворах, содержащих активаторы, пассиваторы и ингибиторы коррозии алюминия с получением тонкого защитного покрытия толщиной 1 мкм.

Для применения в топливных системах наиболее широко используются алюминиевые сплавы системы Al–Cu–Mg–Mn, обладающие высокой прочностью, характерным представителем которых является сплав 1163-Т, выбранный для проведения исследований [3–5].

При работе в топливах при условии воздействия водного конденсата для усиления защитных свойств анодно-оксидных и химически-оксидных покрытий используют функциональные полимерные покрытия [6, 7].

Вода в топливах может находиться как в растворенном, так и в свободном состоянии. С течением времени влага может конденсироваться на металлических поверхностях и вызывать коррозионные поражения конструкции двигателя, поэтому для предотвращения коррозионных поражений алюминиевых сплавов исследовали новые функциональные полимерные покрытия, обладающие хорошей адгезией и гидрофобными свойствами [8, 9].

Наиболее эффективными гидрофобизирующими агентами для получения полимерных покрытий являются функциональные фторсодержащие олигомеры. Их хорошая адгезия к поверхности обеспечивается благодаря образованию химической связи между молекулами олигомера и поверхностью металлов. Они могут образовывать ионные растворы в безводных органических растворителях, что делает возможным их нанесение на обрабатываемые поверхности хемосорбцией из растворов.

Эффективность защиты материалов топливных систем оценивают по результатам коррозионных испытаний в камере солевого тумана – КСТ (ГОСТ 9.308–85), а также при испытании на стойкость при воздействии авиационного керосина (СТП 1-595-5-328–98).

Для разработки новых функциональных полимерных покрытий очень важно выбрать экспресс-метод оценки эффективности полученных покрытий, так как исследования коррозионной стойкости являются достаточно длительными (например, коррозия анодно-оксидных покрытий в КСТ достигает >720 ч). В этом случае важное значение имеет выбор метода экспресс-оценки качества этих покрытий.

Одной из характеристик свойств и состояния поверхности материалов является краевой угол смачивания (КУС). Значение угла смачивания, характеризующего поверхность исследуемого объекта в целом, позволяет судить о применимости этой поверхности для решения тех или иных практических задач [10, 11]. Любое изменение поверхности (например, за счет проходившей на ней электрохимической реакции), которое связано с коррозионным процессом находит свое отражение в изменении угла смачивания. Поэтому при оценке эффективности защитных покрытий очень важно изучить изменение угла смачивания капель воды на поверхности покрытия [12].

Гидрофильность и гидрофобность могут быть оценены, как и смачиваемость поверхности водой (в воздушной среде), величиной угла смачивания: для гидрофильных

поверхностей <90 град; для гидрофобных – от 90 до 180 град (например, для парафина КУС составляет 105 град).

Материалы и методы

Измерение краевого угла смачивания лежащей капли проводили на приборе ОСА 15Pro, представленном на рис. 1. Лежащая капля образуется на поверхности, если значение поверхностного натяжения жидкости выше, чем значение свободной энергии твердого тела.

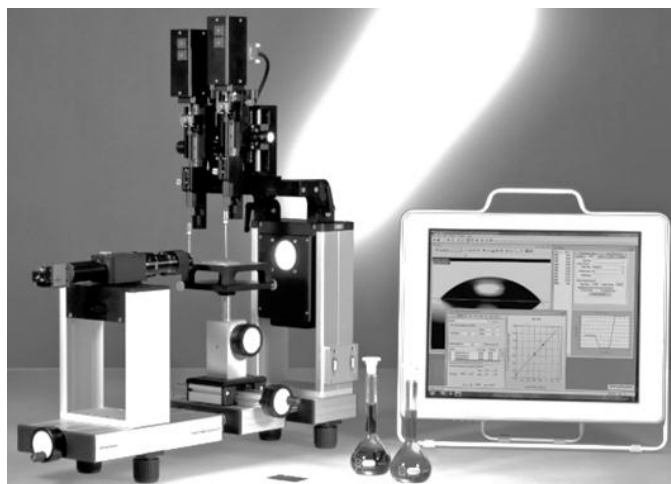


Рисунок 1. Прибор для измерения краевого угла смачивания ОСА 15Pro

Суть метода определения краевого угла смачивания заключалась в нанесении каплей дистиллированной воды заданного объема на поверхность образца. Образец помещали на столик с подъемным механизмом и устанавливали в горизонтальном положении относительно окуляра. Система дозирования создавала каплю над образцом, которая отрывалась и попадала на образец. Регулировка подсветки и система наведения резкости обеспечивала оптимальные условия изображения капли. В соответствии с данным изображением с помощью прибора рассчитывали угол смачивания испытуемой поверхности.

Хорошую адгезию к поверхности металлов демонстрируют фтор- и кремнийорганические соединения, в составе которых имеются метокси- и этоксисилановые группы. Для анализа возможности применения наиболее экологичных гидрофобизаторов исследованы следующие составы, выпускаемые в промышленных масштабах: Фоборит Р с кремнийорганическим связующим, Фторопласт Ф32 и Пента 804. Защитные свойства покрытий оценивали по результатам коррозионных испытаний в КСТ при распылении 5%-ного раствора NaCl при температуре 35°C и относительной влажности 95–98% [13].

Исследование электрохимических свойств сформированных покрытий осуществляли с использованием потенциостата SI-1287 и частотного анализатора SI-1260 производства компании Solartron Analytical. Измерение проводили в трехэлектродной ячейке в 3%-ном растворе NaCl при комнатной температуре. Электродом сравнения служил хлорсеребряный электрод, заполненный насыщенным раствором KCl. Рабочая площадь образца составляет 1 см^2 . Перед началом электрохимических измерений образцы выдерживали в электролите до установления значений потенциала свободной коррозии в течение 30 мин. Запись импедансного спектра осуществляли при значении стационарного потенциала исследуемого электрода, при этом в качестве возмущающего сигнала использовали сигнал синусоидальной формы с амплитудой 10 мВ.

Результаты

Проводили изучение КУС на образцах из алюминиевого сплава 1163-Т с нанесенными функциональными полимерными покрытиями и без полимерных покрытий.

Ранее было получено, что на угол смачивания большое влияние оказывает способ оксидирования поверхности [14, 15]. В данном случае получено также, что после нанесения гидрофобизатора существует разница между величинами КУС для сплава 1163-Т с покрытиями Хим.Окс. и Ан.Окс.нхр, хотя и в гораздо меньшей степени, чем на чистых оксидных поверхностях (рис. 2).

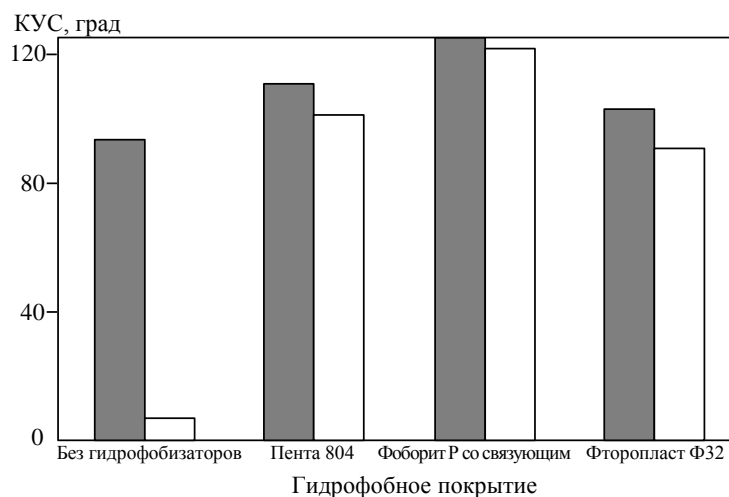


Рисунок 2. Значения краевых углов смачивания (КУС) поверхности сплава 1163-Т с покрытиями Хим.Окс. (■) и Ан.Окс.нхр (□) с различными гидрофобными покрытиями

Анализ величин углов смачивания (см. рис. 2) на поверхности алюминиевого сплава 1163-Т с покрытиями Ан.Окс.нхр и Хим.Окс. с различными гидрофобными по-

крытиями показал, что наиболее эффективным гидрофобизатором для алюминиевого сплава 1163-Т (Ан.Окс.нхр и Хим.Окс.) является Фоборит Р с добавкой кремнийорганического связующего.

Полученные гидрофобные покрытия демонстрирует наибольшую среднюю величину угла смачивания – более 120 град.

Исследование защитных свойств функциональных полимерных покрытий на алюминиевом сплаве 1163-Т проводили в условиях ускоренных коррозионных испытаний в КСТ. Испытания в КСТ полученных покрытий на алюминиевом сплаве 1163-Т Ан.Окс.нхр показали, что за время экспозиции 1440 ч коррозионные поражения отсутствуют; поверхность образцов с гидрофобными покрытиями на основе Пенты 804, а также на образцах без гидрофобного покрытия приобрела серый цвет (табл. 1).

Таблица 1

Продолжительность выдержки образцов из сплава 1163-Т с различными покрытиями в камере солевого тумана (КСТ) до появления первых следов коррозии

Гидрофобизатор	Продолжительность выдержки сплава 1163-Т с покрытием, ч	
	Хим.Окс.	Ан.Окс.нхр
Без покрытия	168	940
Пента 804	264	1440
Фоборит Р со связующим	288	1440
Фторопласт Ф32	264	1440

Наилучшие защитные свойства проявил гидрофобизирующий состав Фоборит Р с кремнийорганическим связующим (рис. 3).

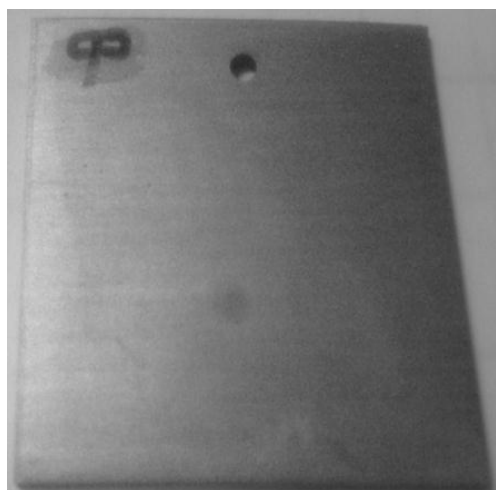


Рисунок 3. Вид образца из сплава 1163-Т Хим.Окс. с покрытием Фоборит Р+связующее после испытания в камере солевого тумана (КСТ) в течение 288 ч

В связи с тем, что гидрофобное покрытие работает в среде топлив, были проведены коррозионные испытания в топливе ТС-1 при 80°С в течение 100 ч для образцов из алюминиевого сплава 1163-Т с покрытиями Ан.Окс.нхр и Хим.Окс (табл. 2). Изме-

рение коррозионных потерь гидрофобных покрытий проводили гравиметрическим методом после промывки образцов от остатков топлива [16].

Таблица 2

Потери массы образцов после испытаний в топливах	
Покрытие	Среднее значение потери массы, г/м ²
Сплав 1163-Т Ан.Окс.нхр	
Фоборит Р со связующим	0,01
Фторопласт Ф32	0,01
Пента 804	0,05
Сплав 1163-Т Хим.Окс.	
Фоборит Р со связующим	0,01
Фторопласт Ф32	0,01
Пента 804	0,05

Установлено, что алюминиевый сплав 1163-Т с покрытиями Ан.Окс.нхр и Хим.Окс. при испытаниях в топливах показал незначительные коррозионные потери во всех гидрофобизирующих жидкостях, которые удовлетворяют требованиям отраслевой документации ($\leq 0,1$ г/м²).

Испытания образцов из алюминиевого сплава 1163-Т с функциональными полимерными покрытиями в реактивном топливе ТС-1 проводили с контролем по углу смачивания [17, 18]. На рис. 4 представлены образцы из сплава 1163-Т Хим.Окс. с разными покрытиями после испытания в топливе ТС-1 с каплями дистиллированной воды: КУС на образцах не изменялся.

Данные по импедансной спектроскопии в виде диаграммы Ньюквиста для гидрофобных покрытий на образцах из алюминиевого сплава 1163-Т Ан.Окс.нхр представлены на рис. 5. Полученные для различных покрытий годографы представляют собой неидеальные полуокружности, которые можно описать цепочкой $R-CPE$, где элемент CPE характеризует емкостные (изоляционные) свойства покрытия, в данном случае – покрытие Ан.Окс.нхр+гидрофобизатор. При этом элемент CPE ($Z_{CPE}=1/Q(j\omega)^n$) используется вместо емкости вследствие гетерогенности полученных слоев покрытия [19].

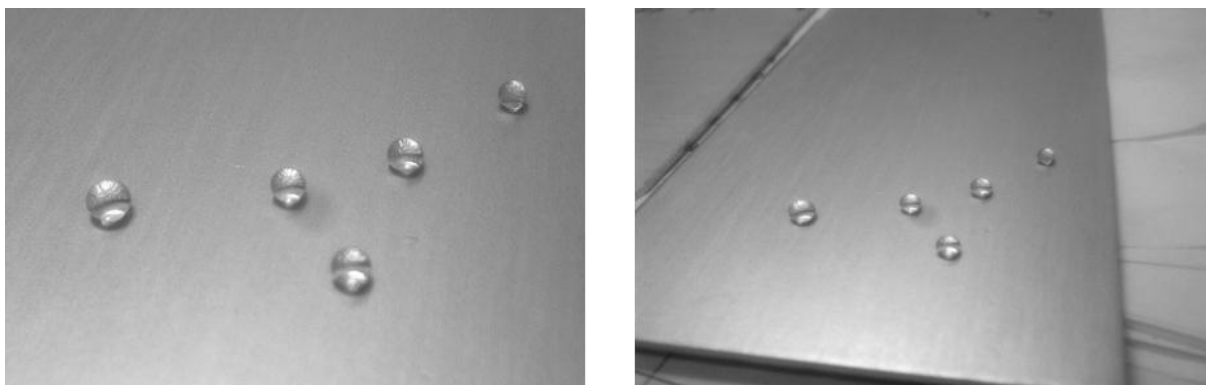


Рисунок 4. Образцы из сплава 1163-Т Хим.Окс. с покрытием Фоборит Р+связующее с каплями дистиллированной воды после испытания в топливе ТС-1

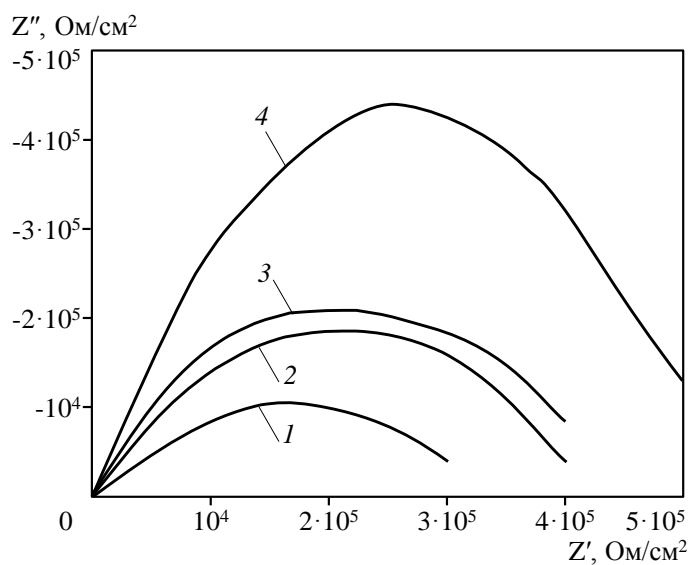


Рисунок 5. Импеданс для алюминиевого сплава 1163-Т Ан.Окс.нхр с различными гидрофобными покрытиями:

1 – без покрытия; 2 – Пента 804; 3 – Фоборит Р со связующим; 4 – Фторопласт Ф32

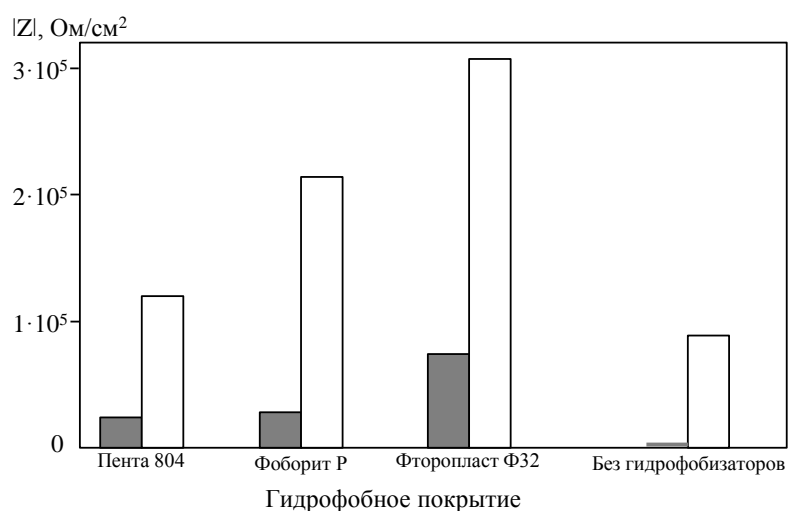


Рисунок 6. Зависимость электрохимического модуля импеданса $|Z|$ при частоте 100 Гц системы алюминиевый сплав 1163-Т с неметаллическими неорганическими покрытиями (Хим.Окс. (■), Ан.Окс.нхр (□)), обработанный различными составами для гидрофобизации

Данные по изоляционным свойствам полученных покрытий в виде величины модуля полного импеданса $|Z|$ при частоте $f=100$ Гц представлены на рис. 6. Видно, что наиболее высокими изоляционными свойствами обладает анодно-оксидное покрытие (Ан.Окс.нхр) вследствие большой толщины по сравнению с химически оксидированным покрытием. Для систем гидрофобных покрытий, нанесенных на один тип подготовки оксидного покрытия (Ан.Окс.нхр или Хим.Окс.), наибольшими изоляционными свойствами обладает покрытие Фторопласт Ф32.

Обсуждение и заключения

Для дополнительной защиты алюминиевого сплава 1163-Т с нанесенными оксидными покрытиями (анодированием либо химическим способом) предложено использовать гидрофобные функциональные полимерные покрытия. Для оценки защитной способности гидрофобного покрытия рекомендуется применять экспресс-метод для определения КУС.

Данные, полученные ускоренными методами испытаний в КСТ по краевому углу смачивания (см. рис. 2), коррелируют с данными по защитной способности покрытия.

Наибольшими значениями КУС обладает разработанное покрытие Фоборит Р со связующим: величину КУС при 120°C предлагается установить в качестве критерия для определения применимости покрытия в качестве гидрофобного.

При этом, согласно электрохимическим исследованиям, наилучшими защитными свойствами должно обладать покрытие на основе Фторопласта Ф32, демонстрирующее бóльшие величины цепочки R-CPE.

Однако защитная способность покрытия зависит от нескольких факторов:

- гидрофобных свойств (обеспечиваются концентрацией гидрофобного агента в покрытии) и их сохраняемости во времени;
- адгезии гидрофобного покрытия на поверхности алюминиевого сплава (Хим.Окс. и Ан.Окс.нхр).

В этом случае, несмотря на большее увеличение изоляционных свойств Фторопласта Ф32, в итоге более низкая адгезия и гидрофобные свойства приводят к меньшей защитной способности, чем у покрытия на основе Фоборит Р.

Образцы из сплава 1163-Т с гидрофобными покрытиями на основе Фоборит Р с кремнийорганическим связующим, Фторопласт Ф32 и Пента 804 коррозионностойки в реактивном топливе ТС-1 – потеря массы находится в пределах допустимых норм для топлива ТС-1.

Оценка гидрофобности образцов из алюминиевого сплава 1163-Т с функциональными полимерными покрытиями (по значению КУС) после испытания в реактивном топливе ТС-1 показала, что поверхности всех испытанных образцов сохранили водоотталкивающие свойства, на образцах из сплава 1163-Т (Ан.Окс.нхр и Хим.Окс.) с функциональным покрытием на основе Фоборит Р со связующим значения КУС составили >120 град.

Таким образом, нанесение гидрофобного покрытия является финишной операцией – нанесение дополнительных покрытий (в том числе окрашивание) нецелесообразно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» //Авиационные материалы и технологии. 2015. №1 (34). С. 3–33.
2. Каблов Е.Н. Авиакосмическое материаловедение //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2008. №3. С. 2–14.
3. Каблов Е.Н. Коррозия или жизнь //Наука и жизнь. 2012. №11. С. 16–21.
4. Каблов Е.Н. Шестой технологический уклад //Наука и жизнь. 2010. №4. С. 2–7.
5. Каримова С.А., Павловская Т.Г. Разработка способов защиты от коррозии конструкций, работающих в условиях космоса //Труды ВИАМ. 2013. №4. Ст. 02 (viam-works.ru).
6. Антипов В.В., Сенаторова О.Г., Ткаченко Е.А., Вахромов Р.О. Алюминиевые деформируемые сплавы //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 167–182.
7. Антипов В.В., Колобнев Н.И., Хохлатова Л.Б. Развитие алюминийлитиевых сплавов и много-ступенчатых режимов термической обработки //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 183–195.
8. Каримова С.А., Кутырев А.Е., Павловская Т.Г., Захаров К.Е. Низкотемпературное уплотнение анодно-оксидных покрытий на деталях из алюминиевых сплавов //Авиационные материалы и технологии. 2014. №4. С. 9–17.
9. Аверьянов Е.Е. Справочник по анодированию. М.: Машиностроение. 1988. 132 с.
10. Бойнович Л.Б., Емельяненко А.М. Гидрофобные материалы и покрытия: принципы создания, свойства и применение //Успехи химии. 2008. Т. 77. №7. С. 619–638.
11. Состав для получения супергидрофобного покрытия: пат. 2400510 Рос. Федерация; опубл. 27.09.2010. Бюл. №27.
12. Щукин Е.Д., Перцов А.В., Амелина Е.А. Коллоидная химия. М.: Изд-во МГУ. 1982. 82 с.

13. Емельяненко А.М., Бойнович Л.Б. Анализ смачивания, как эффективный метод изучения характеристик покрытий, поверхностей и происходящих на них процессов //Заводская лаборатория. 2010. №9. С. 27–36.
14. Жиликов В.П., Каримова С.А., Лешко С.С., Чесноков Д.В. Исследование динамики коррозии алюминиевых сплавов при испытании в камере солевого тумана (КСТ) //Авиационные материалы и технологии. 2012. №4. С. 18–22.
15. Каримова С.А., Павловская Т.Г., Петрова А.П. Подготовка поверхности алюминиевых сплавов с применением анодного оксидирования //Клеи. Герметики. Технологии. 2014. №4. С. 34–38.
16. Верник С. Химическая и электрохимическая обработка алюминия и его сплавов: Пер. с англ. М.: Судпромиздат. 1960. 218 с.
17. Емельяненко А.М., Бойнович Л.Б. Применение динамической пороговой обработки видеоизображений для определения поверхностного натяжения жидкостей и краевых углов смачивания //Приборы и техника эксперимента. 2002. №1. С. 52–57.
18. Топлива. Смазочные материалы. Технические жидкости. Ассортимент и применение /Под ред. В.М. Школьников. М.: «Техинформ». 1999. 62 с.
19. Mansfield F. Use of electrochemical impedance spectroscopy for the study of corrosion protection by polymer coating //Journal of Applied Electrochemistry. 1995. V. 25. P. 187–202.

REFERENCES LIST

1. Kablov E.N. Innovacionnye razrabotki FGUP «VIAM» GNC RF po realizacii «Strategicheskikh napravlenij razvitiya materialov i tehnologij ih pererabotki na period do 2030 goda» [Innovative development of VIAM Federal State Unitary Enterprise of GNTs Russian Federation on implementation «The strategic directions of development of materials and technologies of their processing for the period till 2030»] //Авиационные материалы и технологии. 2015. №1 (34). S. 3–33.
2. Kablov E.N. Aviakosmicheskoe materialovedenie [Aerospace materials science] //Vse materialy. Jenciklopedicheskij spravochnik. 2008. №3. S. 2–14.
3. Kablov E.N. Korrozija ili zhizn' [Corrosion or life] //Наука и жизнь. 2012. №11. S. 16–21.
4. Kablov E.N. Shestoj tehnologicheskij ukklad [Sixth technological way] //Наука и жизнь. 2010. №4. S. 2–7.
5. Karimova S.A., Pavlovskaja T.G. Razrabotka sposobov zashhity ot korrozii konstrukcij, rabotajushhijh v uslovijah kosmosa [Development of ways of corrosion protection of the

- designs working in the conditions of space] //Trudy VIAM. 2013. №4. St. 02 (viam-works.ru).
6. Antipov V.V., Senatorova O.G., Tkachenko E.A., Vahromov R.O. Aljuminievye deformirue-mye splavy [Aluminum deformable alloys] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 167–182.
 7. Antipov V.V., Kolobnev N.I., Hohlatova L.B. Razvitie aljuminijlitiyevyh splavov i mnogostupenchatyyh rezhimov termicheskoy obrabotki [Development of alyuminiylitiyevy alloys and multistage modes of thermal processing] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 183–195.
 8. Karimova S.A., Kutyrev A.E., Pavlovskaja T.G., Zaharov K.E. Nizkotemperaturnoe uplotnenie anodno-oksidnyh pokrytij na detaljah iz aljuminievyyh splavov [Low-temperature consolidation of anode oxide coatings on details from aluminum alloys] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2014. №4. S. 9–17.
 9. Aver'janov E.E. Spravochnik po anodirovaniyu [Directory on anodizing]. M.: Mashinostroenie. 1988. 132 s.
 10. Bojnovich L.B., Emel'janenko A.M. Gidrofobnye materialy i pokrytija: principy sozdaniya, svojstva i primenenie [Waterproof materials and coverings: principles of creation, property and application] //Uspehi himii. 2008. T. 77. №7. S. 619–638.
 11. Sostav dlja polucheniya supergidrofobnogo pokrytija [Structure for receiving superhydrophobic coating]: pat. 2400510 Ros. Federacija; opubl. 27.09.2010. Bjul. №27.
 12. Shhukin E.D., Percov A.V., Amelina E.A. Kolloidnaja himija [Colloid chemistry]. M.: Izd-vo MGU. 1982. 82 s.
 13. Emel'janenko A.M., Bojnovich L.B. Analiz smachivaniya, kak jeffektivnyj metod izucheniya harakteristik pokrytij, poverhnostej i proishodjashhih na nih processov [The wetting analysis, as effective method of studying of characteristics of coverings, surfaces and processes occurring on them] //Zavodskaja laboratorija. 2010. №9. S. 27–36.
 14. Zhilikov V.P., Karimova S.A., Leshko S.S., Chesnokov D.V. Issledovanie dinamiki korrozii aljuminievyyh splavov pri ispytanii v kamere solevogo tumana (KST) [Research of dynamics of corrosion of aluminum alloys when testing in the salt spray chamber (KST)] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №4. S. 18–22.
 15. Karimova S.A., Pavlovskaja T.G., Petrova A.P. Podgotovka poverhnosti aljuminievyyh splavov s primeneniem anodnogo oksidirovaniya [Surface preparation of aluminum alloys using anodic oxidation] //Klei. Germetiki. Tehnologii. 2014. №4. S. 34–38.

16. Vernik S. Himicheskaja i jelektrohimicheskaja obrabotka aljuminija i ego splavov [Chemical and electrochemical treatment of aluminum and its alloys]: Per. s angl. M.: Sudpromizdat. 1960. 218 s.
17. Emel'janenko A.M., Bojnovich L.B. Primenenie dinamicheskoj porogovoj obrabotki videoizobrazhenij dlja opredelenija poverhnostnogo natjazhenija zhidkостей i kraevyh uglov smachivanija [Application of dynamic threshold processing of video images for determination of surface tension of liquids and regional corners of wetting] //Pribory i tehnika jeksperimenta. 2002. №1. S. 52–57.
18. Topliva. Smazochnye materialy. Tehnicheskie zhidkosti. Assortiment i primenenie [Fuels. Lubricants. Technical liquids. Range and application] /Pod red. V.M. Shkol'nikova. M.: «Tehinform». 1999. 62 s.
19. Mansfield F. Use of electrochemical impedance spectroscopy for the study of corrosion protection by polymer coating //Journal of Applied Electrochemistry. 1995. V. 25. P. 187–202.