

УДК 629.7.018.4:629.7.023

В.А. Кузнецова¹, В.Г. Железняк¹, Е.В. Куршев¹, В.В. Емельянов¹**ИССЛЕДОВАНИЕ ТОПЛИВО- И ВОДОСТОЙКОСТИ ПОКРЫТИЙ
НА ОСНОВЕ НАПОЛНЕННЫХ ЭПОКСИДНО-ТИОКОЛОВЫХ
ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ**

DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-2-93-102

Исследованы топливо- и водостойкость грунтовочных покрытий на основе наполненных топливостойких композиций на основе эпоксидной смолы Э-41, модифицированной жидким тиоколом марки 1 и отверждаемой кремнийорганическим амином АСОТ-2. Рассмотрена микроструктура поверхности покрытия на основе топливостойкой грунтовки 1 с применением методов оптической и сканирующей электронной микроскопии после испытаний в топливе ТС-1 и дистиллированной воде. Установлено, что наличие наполнителя пластинчатой структуры в составе топливостойкой грунтовки способствует снижению топливонабухаемости и влагопоглощения покрытия, что может быть связано с проявлением барьерного эффекта.

Ключевые слова: эпоксидно-тиоколовое пленкообразующее, наполнитель, адгезия, топливонабухаемость, водопоглощение, структура, электронная микроскопия.

V.A. Kuznetsova¹, V.G. Zheleznyak¹, E.V. Kurshev¹, V.V. Yemelyanov¹**RESEARCH OF FUEL- AND WATER RESISTANCE OF COATINGS
BASED ON THE FILLED EPOXY-THIOKOL POLYMERIC COMPOSITIONS**

The article provides the results of studies of fuel- and water resistant priming coatings based on the filled fuel-resistant compositions based on the E-41 epoxy modified with liquid Thiokol 1 brand and cured with ASOT-2 organic-silicon amine. There was examined the microstructure of coating surface of fuel resistant primer 1 by means of optical and scanning electron microscopy after tests in TS-1 fuel and distilled water. It has been determined that availability of a filler with lamellar structure as a part of fuel-resistant primer promotes the decrease in fuel-swelling and moisture absorption that can be connected with manifestation of a barrier effect.

Keywords: epoxy-thiokol film-forming agent, filler, adhesion, fuel-swelling, water absorption, structure, electron microscopy.

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

Для создания перспективной авиационной техники существует необходимость в разработке и применении новых отечественных материалов, которые позволят обеспечить работоспособность летательных аппаратов, а также повысить их летные характеристики [1–5].

Перспективным направлением в области создания авиационной техники нового поколения является применение композиционных материалов, в частности углепластиков, в конструкциях самолета. Применение высокомодульных композиционных материалов позволяет уменьшить массу конструкции без снижения эксплуатационных характеристик. Технически сложной задачей является обеспечение защиты от воздействия влаги, топлива, а также микроорганизмов на внутренней поверхности топливных кессон-баков, недоступной для проведения ремонта лакокрасочного покрытия на

протяжении всего ресурса эксплуатации самолета. Следует отметить чрезвычайно экстремальные условия эксплуатации летательных аппаратов. Это связано с пребыванием в различных климатических районах, воздействием резкого перепада температур в течение 20–30 мин – от +(50–100) до -60 °С, воздействием водного конденсата в результате охлаждения конструкции, а также агрессивных жидкостей и др. [6–11].

Разработка технологии защиты топливных кессон-баков из ПКМ позволит снизить массу конструкции в сравнении с металлическими аналогами. Однако длительное воздействие агрессивных сред (топливо, конденсат) в процессе эксплуатации изделий при контакте с углепластиком снижает его прочностные характеристики, что приводит к уменьшению срока эксплуатации конструкции. Поэтому для защиты панелей топливных кессон-баков из ПКМ необходимо использование топливостойких лакокрасочных покрытий [12–15].

Известно, что реактивные топлива состоят на 96–99 % из углеводородов, однако в топливах могут содержаться и образовываться различные неуглеводородные примеси, такие как эмульсионная вода и минеральные загрязнения, микроорганизмы и продукты их жизнедеятельности, а также другие низкомолекулярные примеси, растворимые в воде. При быстром понижении температуры водяные пары, проникающие в топливо с воздухом, особенно при большой его влажности, обводняют топливо. При конденсации в топливе водяных паров после достижения насыщения образуется мелкодисперсная топливно-водяная эмульсия. Постепенно капли воды укрупняются и начинают оседать, образуя водный подтопливный слой. Углеводороды топлива гидрофобны, и поэтому при умеренных температурах отстой воды происходит достаточно быстро [16, 17].

Ранее проведенными работами показана высокая эффективность применения топливостойких грунтовочных покрытий, содержащих ингибирующие пигменты, для защиты от коррозии внутренней и внешней поверхностей топливных кессон-баков, изготовленных из алюминиевых сплавов. Топливостойкие грунтовки на протяжении многих лет успешно применяются в отечественном самолетостроении [18, 19].

Наиболее важными требованиями к покрытиям, используемым для защиты топливных кессон-баков, являются их адгезия, длительная топливо- и водостойкость при температурах эксплуатации и сохранение защитных свойств на весь период эксплуатации изделия.

Данная работа посвящена изучению топливо- и водостойкости покрытий на основе наполненных эпоксидно-тиоколовых полимерных композиций. В ней уделено особое внимание использованию наполнителя пластинчатой формы, его влиянию на свойства топливостойкого покрытия.

В настоящее время используются микронизированные наполнители на основе слюды мусковит. При производстве микронизированной слюды сохраняется природная высокопластинчатая структура, которая способствует проявлению барьерного слоя при формировании покрытия [20, 21].

Работа выполнена в рамках реализации комплексного научного направления 17. «Комплексная антикоррозионная защита, упрочняющие, износостойкие защитные и теплозащитные покрытия» комплексной научной проблемы 17.7. «Лакокрасочные материалы и покрытия на полимерной основе» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [22].

Материалы и методы

Известно, что наиболее перспективным способом получения лакокрасочных материалов с требуемым комплексом свойств является модификация уже известных и широко выпускаемых промышленностью олигомеров. Так, для получения топливостойких покрытий используются эпоксидный олигомер марки Э-41, а также эластомерные модификаторы: полисульфидные и карбоксилатные бутадиенакрилонитрильные

каучуки. Исследовано влияние эластомерных модификаторов на свойства топливостойких покрытий, их адгезионные характеристики, топливо- и водостойкость. Показана высокая эффективность применения полисульфидного каучука (тиокола марки 1) в качестве модификатора эпоксидного пленкообразующего при разработке топливостойких грунтовок [23–28].

В качестве объекта исследований выбраны наполненные топливостойкие композиции на основе эпоксидной смолы Э-41, модифицированной жидким тиоколом марки 1 и отверждаемые кремнийорганическим амином АСОТ-2.

С целью определения влияния наполнителя пластинчатой структуры на топливо- и водостойкость покрытий исследованы две топливостойкие композиции, в одну из которых введен наполнитель пластинчатой структуры – измельченная слюда мусковит. Характерной особенностью такой слюды является ярко выраженная анизотропия свойств. Это обусловлено своеобразием кристаллической структуры слюды мусковит: большой энергией связи частиц в пакете и значительно меньшей – между пакетами по плоскости совершенной спайности. Следствием анизотропии является способность кристаллов слюды расщепляться на тонкие плоскопараллельные пластинки (рис. 1 и 2).

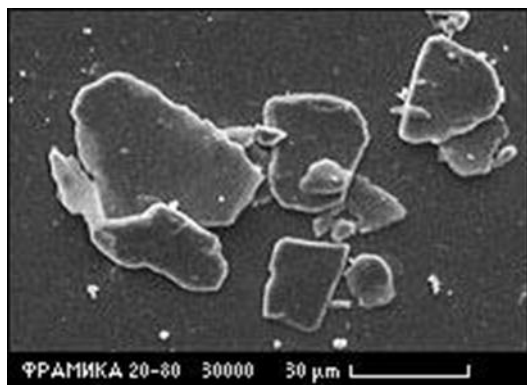


Рис. 1. Внешний вид наполнителя пластинчатой структуры (слюды мусковит)

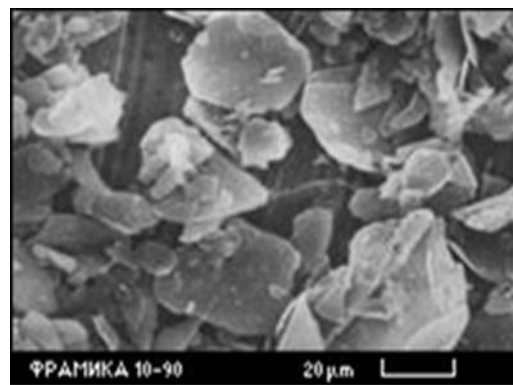


Рис. 2. Структура кристалла слюды мусковит

При производстве микронизированной слюды сохраняется природная высокопластинчатая структура, которая способствует проявлению барьерного слоя.

В данной работе использована молотая слюда мусковит. Топливостойкие грунтовки 1 и 2 изготовлены на лабораторном оборудовании с применением диспергатора PE-214.

Технологические свойства изготовленных грунтовок, а также свойства полученных лакокрасочных покрытий на их основе определяли по стандартным методикам: условную вязкость – по ГОСТ 8420–74, массовую долю нелетучих веществ – по ГОСТ 31939–2012, степень перетира (дисперсность) – по ГОСТ 31973–2013, продолжительность высыхания по ГОСТ 19007–73, жизнеспособность – по ГОСТ 27271–2014, адгезию покрытий к поверхности углепластика – по ГОСТ 31149–2014 методом решетчатых надрезов в исходном состоянии и после увлажнения в течение 10 сут, прочность при ударе – по ГОСТ 4765–84, прочность пленки покрытия при растяжении (эластичность) – по ГОСТ 29309–92. Поскольку существующие методы определения физико-механических свойств лакокрасочных покрытий разработаны для металлических подложек, вышеуказанные характеристики покрытий определяли на образцах из сплава Д16-АТ Ан.Окс.нхр.

Водопоглощение и топливонабухаемость покрытий определяли гравиметрическим методом по изменению весовых характеристик образцов в течение 30 сут испытаний в дистиллированной воде и топливе ТС-1. Топливо- и водостойкость покрытий

после длительных испытаний в течение 2000 ч определяли по изменению адгезии и физико-механических свойств после испытаний в указанных средах.

Микроструктурный анализ поверхности покрытия на основе топливостойкой грунтовки 1 проводили методами оптической и сканирующей электронной микроскопии по МИ 1.2.042–2011 после испытаний в топливе ТС-1 при температурах 20 и 80 °С в течение 2000 ч, а также после испытаний в дистиллированной воде. Для проведения испытаний на подготовленные образцы наносили два слоя грунтовки, толщина двухслойного покрытия составляла от 40 до 50 мкм.

Результаты и обсуждение

Для проведения исследований изготовлены два образца топливостойкой грунтовки на основе эпоксидного пленкообразующего, модифицированного полисульфидным каучуком, которые отличались составом наполнителей. В одной из рецептур алюмосиликат магния (тальк) частично заменен на алюмосиликат калия (измельченную слюду мусковит), технологические свойства изготовленных грунтовок приведены в табл. 1.

Таблица 1

Технологические свойства топливостойких грунтовок

Свойства	Значения свойств для грунтовки	
	1*	2
Условная вязкость по вискозиметру ВЗ-246 с диаметром сопла 4 мм при температуре 20±0,5 °С, с	27,42	23,8
Степень перетира (дисперсность) грунтовки, мкм	20	20
Массовая доля нелетучих веществ грунтовки, %	52,4	51,7
Время высыхания пленки покрытия до степени 3 при температуре 20±2 °С, ч	6,0	6,0
Жизнеспособность (срок годности после смешения с отвердителем), ч	24	24
*Содержит наполнитель пластинчатой структуры.		

Из полученных результатов видно, что по массовой доле нелетучих веществ, степени дисперсности, времени высыхания и жизнеспособности изготовленные грунтовки идентичны. По условной вязкости имеется незначительное различие, которое может быть связано с наличием в одной из них наполнителя пластинчатой структуры.

Исследовано влияние наполнителя пластинчатой структуры (измельченной слюды мусковит) на топливонабухаемость и водопоглощение покрытий на основе топливостойких грунтовок 1 и 2.

На рис. 3 приведены результаты определения топливонабухаемости покрытий на основе топливостойких грунтовок 1 и 2 (кинетические кривые сорбции) при испытании в топливе ТС-1 при температуре 20 °С в течение 30 сут. Из полученных результатов видно, что для обоих покрытий происходит увеличение массы. При этом достижение равновесной сорбции происходит в течение первых 6 сут. Из анализа кривых равновесной сорбции грунтовочных покрытий 1 и 2 следует, что набухание в топливе ТС-1 покрытия на основе грунтовки 2 существенно превышает набухание для аналогичного покрытия на основе грунтовки 1. Максимальное значение топливонабухаемости покрытия на основе грунтовки 2 составляет 0,32 %, что на ~30 % больше, чем у покрытия на основе грунтовки 1, содержащей в своем составе наполнитель пластинчатой структуры, максимальное значение топливонабухаемости для этого покрытия составляет 0,22 %.

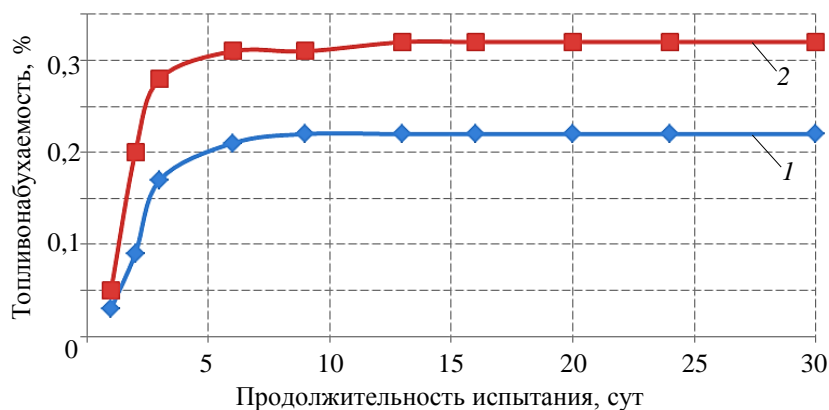


Рис. 3. Кинетика топливнонабухаемости покрытий на основе топливостойких грунтовок 1 и 2 при испытании в топливе ТС-1 при температуре 20 °С в течение 30 сут

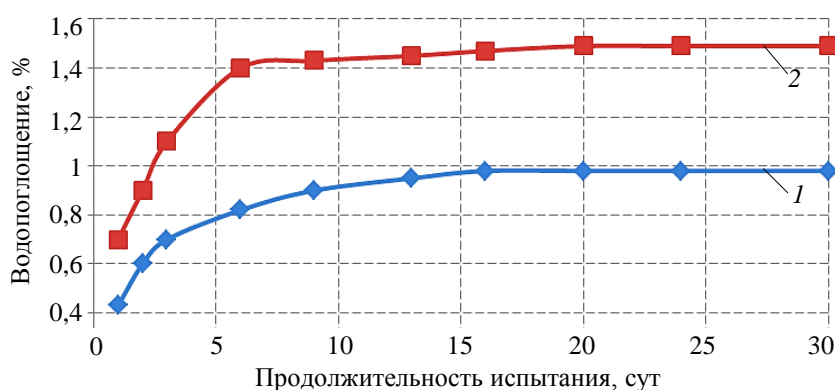


Рис. 4. Кинетика водопоглощения покрытий на основе топливостойких грунтовок 1 и 2 при испытании в дистиллированной воде при температуре 20 °С в течение 30 сут

На рис. 4 приведены результаты определения водопоглощения покрытий на основе топливостойких грунтовок 1 и 2 при испытании в дистиллированной воде при температуре 20 °С в течение 30 сут. Как видно из полученных результатов, при испытании образцов в дистиллированной воде происходит увеличение массы грунтовочного покрытия. Ход сорбционных кривых водопоглощения аналогичен ходу сорбционных кривых топливнонабухаемости – достижение равновесной сорбции также происходит в течение первых 6 сут. Набухание в дистиллированной воде покрытия на основе грунтовки 2 существенно превышает аналогичную характеристику для покрытия на основе грунтовки 1. Максимальное значение водопоглощения покрытия на основе грунтовки 2 составляет 1,49 %, у покрытия на основе грунтовки 1, содержащей в своем составе наполнитель пластинчатой структуры, максимальное значение водопоглощения составляет 1 %, что на ~35 % больше, чем у покрытия 1. Анализ полученных результатов показал, что наличие наполнителя пластинчатой структуры в составе топливостойкой грунтовки способствует снижению топливнонабухаемости и влагопоглощения покрытия, что может быть связано с проявлением барьерного эффекта.

Исследованы адгезия, прочность при ударе, эластичность при растяжении топливостойкого покрытия на основе грунтовки 1, содержащей в своем составе наполнитель пластинчатой структуры, при его длительных испытаниях в топливе ТС-1 при температурах 20 и 80 °С и в дистиллированной воде при температуре 20 °С (табл. 2).

Адгезия и физико-механические свойства покрытия на основе топливостойкой грунтовки I после испытаний в топливе и дистиллированной воде

Условия испытания	Адгезия к углепластику, балл	Прочность при ударе, Дж	Эластичность при растяжении, мм	Внешний вид
В исходном состоянии	0	5,0	6,3	–
После выдержки в топливе ТС-1 в течение 2000 ч при температуре, °С:	20	4,5	6,6	Без изменений Потемнение покрытия
	80	4,0	5,8	
После выдержки в воде в течение 2000 ч при температуре 20 °С	1	4,5	6,0	Едва заметное изменение цвета

Как видно из представленных результатов исследования топливостойкого покрытия на основе грунтовки I, содержащей наполнитель пластинчатой структуры, после испытаний при температуре 20 °С в топливе ТС-1 в течение 2000 ч наблюдается незначительное снижение адгезии к углепластику до уровня 1 балла, внешний вид покрытия не изменился. При этом прочность при ударе снизилась до 4,5 Дж, а эластичность при растяжении незначительно увеличилась до 6,6 мм, что может быть связано с проявлением пластифицирующего эффекта за счет незначительной диффузии топлива в покрытие.

После длительной экспозиции в топливе ТС-1 при температуре 80 °С в течение 2000 ч происходит потемнение покрытия на основе грунтовки I. Однако адгезия покрытия на основе грунтовки к углепластику сохраняется на уровне 1 балла. После испытаний происходит вполне закономерное изменение физико-механических свойств. Прочность при ударе снижается с 5,0 до 4,0 Дж, а эластичность при растяжении – до 5,8 мм, что может быть связано с проявлением процесса термического старения в полимерной пленке при температуре 80 °С в течение 2000 ч.

После испытаний в дистиллированной воде при температуре 20 °С адгезия к углепластику незначительно снижается до уровня 1 балла. Внешний вид покрытия практически не изменяется, наблюдается едва заметное изменение цвета; прочность при ударе снижается до 4,5 Дж, эластичность при растяжении – до 6,0 мм. Следует отметить, что длительный контакт с топливом и дистиллированной водой в течение 2000 ч не приводит к существенному снижению адгезии и физико-механических свойств. Адгезия после испытаний снижается до 1 балла. Прочность при ударе после испытаний в топливе ТС-1 и дистиллированной воде при температуре 20 °С снижается до 4,5 Дж, что составляет 10 % от исходного значения, а при температуре испытаний 80 °С – до 4,0 Дж, что составляет 20 % от исходного значения. При этом максимальное значение снижения эластичности при растяжении после испытаний в топливе при температуре 80 °С в течение 2000 ч составляет 8,0 %.

На рис. 5 и 6 приведены результаты микроструктурного анализа поверхности покрытия на основе топливостойкой грунтовки I методами оптической и сканирующей электронной микроскопии по МИ 1.2.042–2011 после испытаний в топливе ТС-1 и дистиллированной воде при температурах 20 и 80 °С в течение 2000 ч.

Из результатов, представленных на рис. 5 и 6, можно сделать вывод, что в исходном состоянии на поверхности грунтовки находится сплошная тонкая полимерная пленка с однородной структурой и небольшой шероховатостью (рис. 5, а).

После выдержки покрытия на основе грунтовки I в дистиллированной воде при температуре 20 °С в течение 2000 ч ее микроструктура несколько меняется (рис. 5, б), о чем свидетельствует появление небольшого количества очень мелких пор с размерами от 40 до 160 нм.

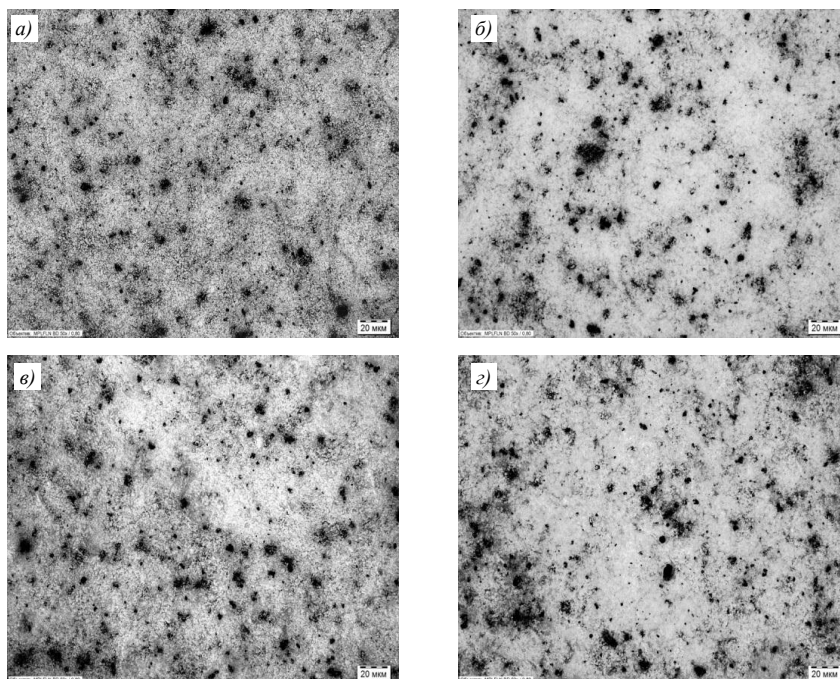


Рис. 5. Оптические микрофотографии микроструктуры ($\times 500$) поверхности покрытия на основе топливостойкой грунтовки в исходном состоянии (а), после выдержки в дистиллированной воде в течение 2000 ч при температуре 20 °С (б) и в топливе ТС-1 в течение 2000 ч при температуре 20 (в) и 80 °С (г)

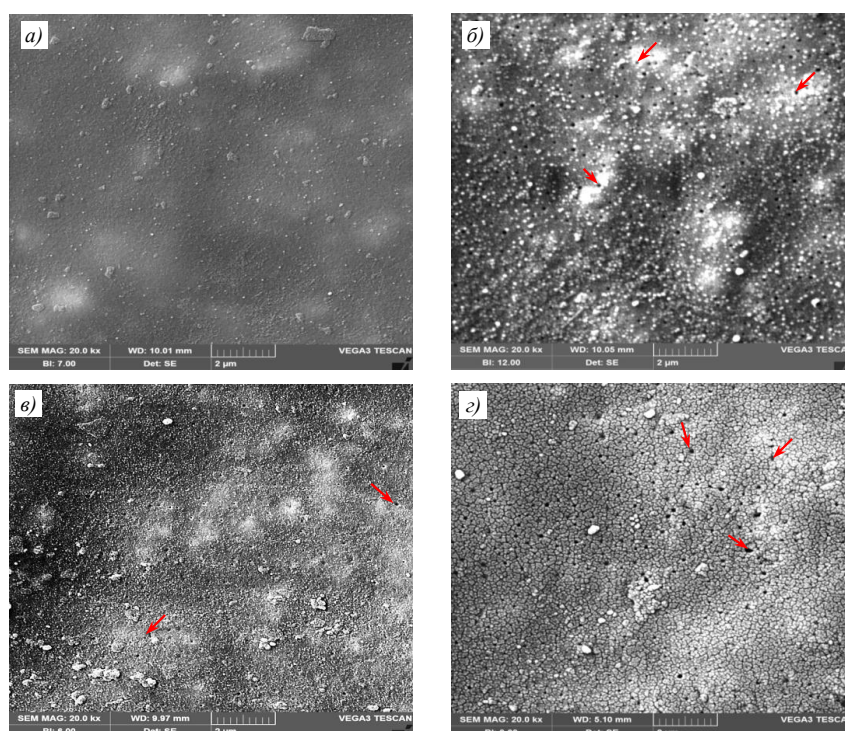


Рис. 6. Сканирующие электронные микрофотографии ($\times 20000$) поверхности покрытия на основе топливостойкой грунтовки в исходном состоянии (а), после выдержки в дистиллированной воде в течение 2000 ч при температуре 20 °С (б) и в топливе ТС-1 в течение 2000 ч при температуре 20 (в) и 80 °С (г)

После выдержки в топливе ТС-1 при температуре 20 °С в течение 2000 ч также наблюдается незначительное изменение структуры (рис. 5, в), в покрытии имеются

очень мелкие поры, размеры которых находятся в диапазоне от 25 до 118 нм, что несколько меньше, чем в образце после выдержки в дистиллированной воде.

Микроструктурные исследования поверхности покрытия грунтовки 1 после выдержки в топливе при температуре 80 °С в течение 2000 ч показали, что в микрофазовой структуре покрытия обнаружены очень мелкие поры (рис. 5, з), размеры которых находятся в диапазоне от 45 до 160 нм.

На рис. 7 приведены гистограммы распределения пор по размерам (диаметру) в покрытии после испытаний в дистиллированной воде и топливе ТС-1 в течение 2000 ч. Видно, что микроструктура поверхности покрытия на основе топливостойкой грунтовки 1 незначительно изменяется после испытаний в дистиллированной воде и топливе при различных температурах, что подтверждает результаты, полученные при определении топливонабухаемости и влагопоглощения.

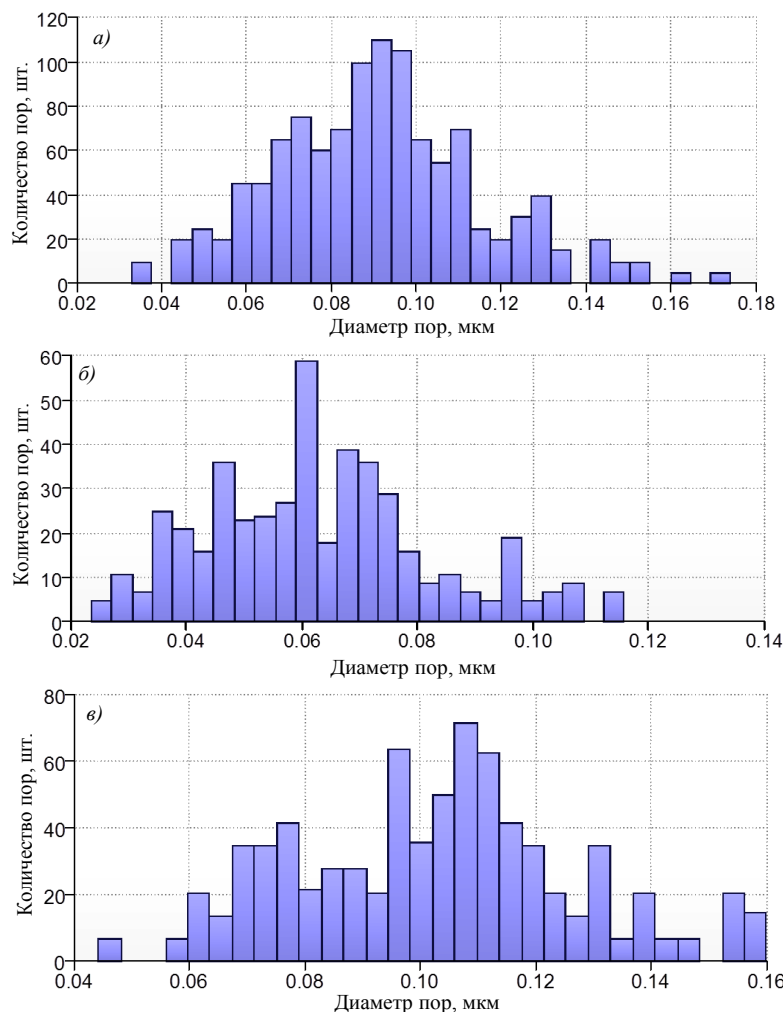


Рис. 7. Гистограммы распределения пор по размерам (диаметру) топливостойкой грунтовки после выдержки в течение 2000 ч в дистиллированной воде при температуре 20 °С (а) и в топливе ТС-1 при температуре 20 (б) и 80 °С (в)

Заключения

Исследовано влияние наполнителя пластинчатой структуры (измельченной слюды мусковит) на топливонабухаемость и водопоглощение покрытий на основе топливостойких грунтовок 1 и 2. Установлено, что наличие наполнителя пластинчатой структуры в составе топливостойкой грунтовки 1 способствует снижению топливонабухаемости и водопоглощения покрытия, что может быть связано с проявлением барьерного эффекта.

Исследованы адгезия и физико-механические свойства (прочность при ударе, эластичность при растяжении) топливостойкого покрытия на основе топливостойкой грунтовки I при длительных испытаниях покрытия в топливе ТС-1 и дистиллированной воде при температурах 20 и 80 °С. Показано, что длительный контакт с топливом и дистиллированной водой в течение 2000 ч не приводит к существенному снижению адгезии и физико-механических свойств. Адгезия после испытаний снижается до 1 балла. Прочность при ударе после испытаний в топливе ТС-1 и дистиллированной воде при температуре 20 °С снижается до 4,5 Дж, что составляет 10 % от исходного значения, а при температуре испытаний 80 °С – до 4,0 Дж, что составляет 20 % от исходного значения. При этом максимальное значение снижения эластичности при растяжении после испытаний в топливе при температуре 80 °С в течение 2000 ч составляет 8,0 %.

Проведен микроструктурный анализ поверхности покрытия на основе топливостойкой грунтовки методами оптической и сканирующей электронной микроскопии по МИ 1.2.042–2011 после испытаний в топливе ТС-1 и дистиллированной воде при температурах 20 и 80 °С в течение 2000 ч.

Показано, что микроструктура поверхности покрытия на основе топливостойкой грунтовки незначительно изменяется после испытаний в дистиллированной воде и топливе при различных температурах, что подтверждает результаты, полученные при определении топливонабухаемости и влагопоглощения.

Благодарности

Авторы выражают благодарность сотрудникам ФГУП «ВИАМ» С.Л. Лонскому и Н.А. Коврижкиной за помощь в проведении экспериментальных работ, а также обсуждению результатов исследований и объективную критику при написании данной статьи.

Библиографический список

1. Каблов Е.Н. Роль химии в создании материалов нового поколения для сложных технических систем // Тезисы докладов XX Менделеевского съезда по общей и прикладной химии. Екатеринбург: УрО РАН, 2016. С. 25–26.
2. Каблов Е.Н. Авиационное материаловедение: итоги и перспективы // Вестник Российской академии наук. 2002. Т. 72. № 1. С. 3–12.
3. Раскутин А.Е. Стратегия развития полимерных композиционных материалов // Авиационные материалы и технологии. 2017. № S. С. 344–348. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-344-348.
4. Перов Н.С. Конструирование полимерных материалов на молекулярных принципах. II. Молекулярная подвижность в сложных шитых системах // Авиационные материалы и технологии. 2017. № 4 (49). С. 30–36. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-4-30-36.
5. Раскутин А.Е., Хрульков А.В., Гирш Р.И. Технологические особенности механообработки композиционных материалов при изготовлении деталей конструкций (обзор) // Труды ВИАМ. 2016. № 9 (45). Ст. 12. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 25.01.2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-9-12-12.
6. Постнова М.В., Постнов В.И. Роль структур МПКМ и их влияние на виброусталостные характеристики конструктивных элементов ГТД // Труды ВИАМ. 2017. № 1 (49). Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 25.01.2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-1-7-7.
7. Мельников Д.А., Громова А.А., Раскутин А.Е., Курносоев А.О. Теоретический расчет и экспериментальное определение модуля упругости и прочности стеклопластика ВПС-53/120 // Труды ВИАМ. 2017. № 1 (49). Ст. 08. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 25.01.2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-1-8-8.
8. Мишуров К.С., Файзрахманов Н.Г., Иванов Н.В. Влияние внешней среды на свойства углепластика ВКУ-29 // Труды ВИАМ. 2017. № 8 (56). Ст. 08. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 25.01.2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-8-8-8.
9. Николаев Е.В., Павлов М.Р., Лаптев А.Б., Пономаренко С.А. К вопросу определения сорбированной влаги в полимерных композиционных материалах // Труды ВИАМ. 2017. № 8 (56). Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 25.01.2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-8-7-7.

10. Кривушина А.А., Горяшник Ю.С. Способы защиты материалов и изделий от микробиологического поражения (обзор) // *Авиационные материалы и технологии*. 2017. № 2 (47). С. 80–86. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-2-80-86.
11. Павлюк Б.Ф. Основные направления в области разработки полимерных функциональных материалов // *Авиационные материалы и технологии*. 2017. № S. С. 388–392. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-388-392.
12. Железняк В.Г. Современные лакокрасочные материалы для применения в изделиях авиационной техники // *Труды ВИАМ*. 2019. № 5 (77). Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 18.01.2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-5-62-67.
13. Кондрашов Э.К., Кузнецова В.А., Семенова Л.В., Лебедева Т.А., Малова Н.Е. Развитие авиационных лакокрасочных материалов // *Все материалы*. Энциклопедический справочник. 2012. № 5. С. 49–54.
14. Чертков Я.Б., Спиркин В.Г. Применение реактивных топлив в авиации. М.: Транспорт, 1974. 160 с.
15. Шитова Э.М., Батраков В.П. Коррозионная агрессивность водных отстоев из донной части топливных емкостей // *Химия и технология топлива и масел*. 1976. № 3. С. 22–24.
16. Воробьева Г.Я. Химическая стойкость полимерных материалов. М.: Химия, 1981. 296 с.
17. Кузнецова В.А., Кузнецов Г.В. Тенденции развития в области топливостойких лакокрасочных покрытий для защиты топливных кессон-баков летательных аппаратов (обзор) // *Труды ВИАМ*. 2014. № 11. Ст. 08. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 25.01.2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-11-8-8.
18. Кузнецова В.А., Силаева А.А., Шаповалов Г.Г., Марченко С.А. Исследование влияния режима пластикации карбоксилатного бутадиен-нитрильного каучука и его содержания в полимерной матрице на свойства топливостойкого покрытия // *Труды ВИАМ*. 2019. № 6 (78). Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 25.01.2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-6-65-74.
19. Семенова Л.В., Нефедов Н.И. Применение эпоксидных модифицированных грунтовок в системах ЛКП // *Авиационные материалы и технологии*. 2014. № 3 (32). С. 38–44. DOI: 10.18577/2071-9140-2014-0-3-38-44.
20. Шишелова Т.И., Житов В.Г. Современное состояние слюдяной области. Проблемы и перспективы // *Успехи современного естествознания*. 2018. № 3. С. 133–139. URL: <http://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36715> (дата обращения: 09.12.2020).
21. Бразовская Н.В., Бразовский В.Е., Троицкий В.С. Модель кристалла слюды – муксовит // *Горизонты образования*. 2002. Вып. 4. С. 3–22. URL: <http://e.secna.ru/main/revier> (дата обращения: 09.12.2020).
22. 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. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
23. Мошинский Л.Я. Эпоксидные смолы и отвердители (структура, свойства, химия и топология отверждения). Тель-Авив: Аркадия пресс Лтд, 1995. 370 с.
24. Лундин А.Е., Остапкович А.М., Юшкова Е.Ю. Кинетика отверждения эпоксидных смол аминами // *Известия высших учебных заведений. Сер.: Химия и химическая технология*. 2005. Т. 48. № 1. С. 73–75.
25. Катнов В.Е., Степин С.Н. Исследование влияния отвердителя на химическую стойкость и защитные свойства эпоксидных покрытий // *Аннотация сообщений научной сессии КГТУ (5–9 февр. 2008 г.)*. Казань, 2008. С. 34–35.
26. Еселев А.Д., Бобылев В.А. Эпоксидные смолы: вчера, сегодня, завтра // *Лакокрасочная промышленность*. 2009. № 9. С. 15–17.
27. Шляхтер Р.А., Новоселок Ф.Б. Синтетический каучук / под ред. И.В. Гармонова. Л.: Химия, 1978. 752 с.
28. Смирнов Д.Н., Зайцева Е.И., Елисеев О.А. Маслобензостойкий герметик со специальными свойствами на основе полисульфидного олигомера // *Труды ВИАМ*. 2014. № 11. Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 25.01.2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-11-7-7.