

УДК 678.026

В.А. Кузнецова¹, В.Г. Железняк¹, С.Л. Лонский¹, Н.А. Коврижкина¹, А.А. Силаева²

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЫ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ГРУНТОВОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ

DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-8-50-58

Исследованы адгезия, физико-механические свойства и кинетика водопоглощения грунтовочных покрытий на основе эпоксидной смолы Э-41, модифицированной жидким тиоколом марки 1, Лапроксидом АФ, а также их фазовая структура. В качестве отвердителей грунтовочных композиций использованы кремнийорганический амин АСОТ-2 и низкомолекулярный полиамид ПО-200. Показано, что применение реакционно-способного модификатора Лапроксида АФ и отвердителя АСОТ-2 в эпоксидно-тиоколовом пленкообразующем позволяет получить грунтовочное покрытие с однородной мелкодисперсной фазовой структурой с низкой пористостью и высокой водостойкостью.

Ключевые слова: грунтовочные композиции, адгезия, прочность при растяжении, прочность при ударе, водопоглощение, сканирующая электронная микроскопия, фазовая структура.

V.A. Kuznetsova¹, V.G. Zheleznyak¹, S.L. Lonskii¹, N.A. Kovrizhkina¹, A.A. Silaeva²

INFLUENCE OF STRUCTURE OF POLYMERIC MATRIX ON STRUCTURE AND PROPERTY PRIMING COVERINGS

Adhesion, physicomachanical properties, and also kinetics of water absorption of priming coatings on basis the E-41 epoxy resin modified by liquid Thiokol 1 and by Laproxide AF, and also their phase structure are investigated. As hardeners of primer compositions organic silicon ammine ASOT-2 and low-molecular polyamide PO-200 has been used. It is shown that use of the reactive modifier Laproxide AF and hardener ASOT-2 in the epoxy and thiokol film-formers allows to receive priming coating with uniform finely divided phase structure with low porosity and high water resistance.

Keywords: primer coatings, adhesion, tensile strength, impact strength, water absorption, scanning electron microscopy, phase structure.

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

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева» [Dmitry Mendeleev University of Chemical Technology of Russia]; e-mail: rector@muctr.ru

Введение

Современный летательный аппарат представляет собой сложную конструкцию, изготовленную из различных металлов и неметаллических материалов, которые контактируют между собой, а также с различными жидкими и газообразными средами в различных узлах и агрегатах самолетов. Снижение массы авиационных конструкций позволяет улучшить их летные характеристики, однако это приводит к снижению

запаса прочности элементов и их конструкций. Поэтому основным требованием обеспечения надежности самолета является сохранение исходной прочности конструктивных материалов, несущих механическую нагрузку при эксплуатации. Одной из причин снижения прочности авиационных конструкций является коррозия, поэтому лакокрасочным материалам, применяемым для защиты летательных аппаратов, отводится важная роль в обеспечении живучести самолета. Эта задача значительно усложняется чрезвычайно трудными условиями эксплуатации авиационной техники, что связано с пребыванием летательного аппарата в различных климатических зонах с резкими перепадами температур в течение 20–30 мин – от +(50–150) до –(50–60) °С при взлете и посадке. В результате охлаждения конструкции образуется водный конденсат. Кроме того, при полете летательный аппарат подвергается воздействию знакопеременных механических и термических нагрузок [1–7].

Надежность и долговечность лакокрасочного покрытия в условиях эксплуатации зависит от целого ряда факторов:

- свойств лакокрасочного материала, т. е. химической природы пленкообразующего и входящих в состав лакокрасочного материала наполнителей и пигментов;
- схемы построения системы защитного покрытия;
- условий и режимов формирования каждого слоя покрытия;
- состояния окрашиваемой поверхности, а также ее подготовки перед нанесением лакокрасочного покрытия и др.

Все эти факторы оказывают существенное влияние на качество покрытия и его защитные свойства [8–12].

Защита авиационных конструкций с помощью лакокрасочных покрытий в сочетании с неметаллическими неорганическими покрытиями является основным способом защиты от коррозии всех металлов и сплавов, входящих в конструкцию изделия.

Технически сложной задачей является обеспечение защиты от всех видов коррозии на участках, недоступных для проведения ремонтных работ в течение всего периода эксплуатации самолета, т. е. в течение 20 и более лет. К зонам, недоступным для проведения ремонта, относятся внутренние поверхности самолета, находящиеся внутри фюзеляжа и оперения, в частности скрытые полости части фюзеляжа под полом и оперения. При эксплуатации (при резком изменении температуры после полета) внутри негерметичных отсеков конденсируется влага, причем она особенно длительно и обильно осаждается на нижних панелях [13–16].

Эксплуатационная стойкость лакокрасочного покрытия определяется длительностью его защитного действия. В процессе формирования пленки покрытия из растворов полимеров возникают микропоры (структурные) и макропоры, которые образуются при удалении растворителя, а также газов, адсорбированных на поверхности подложки.

Известно, что противокоррозионное действие антикоррозионных грунтовок обуславливается торможением коррозионных процессов на границе раздела «металл–пленка покрытия». Это торможение может быть связано с влиянием адгезии покрытия к защищаемой поверхности, которая способствует ограничению скорости поступления веществ, необходимых для развития коррозионного процесса (влага, электролит), повышенным электрическим сопротивлением материала пленки покрытия (наличием в рецептуре грунтовки ингибирующих пигментов) [17–20].

Принцип защитного действия лакокрасочного покрытия основан на пассивирующем действии грунтовок и изолирующем эффекте внешних слоев эмали.

Проникновение влаги, газов, молекул электролитов через пленки лакокрасочных покрытий осуществляется как капиллярным, так и диффузионным способом. При длительном контакте пленки покрытия с влагой начинается процесс сорбции лакокрасочным

покрытием влаги за счет процессов диффузии. Адсорбирование на поверхности металла молекул воды и электролита снижает адгезию покрытия к защищаемой поверхности и способствует развитию коррозии под пленкой покрытия [21–24].

Данная работа посвящена исследованию влияния модификаторов, отвердителей и наполнителей на фазовую структуру, водостойкость, адгезию и защитные свойства грунтовочных покрытий, предназначенных для защиты внутренних поверхностей летательных аппаратов.

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») [25].

Материалы и методы

Для проведения исследований выбраны наполненные полимерные композиции на основе эпоксидной смолы Э-41, модифицированной полисульфидным каучуком (тиокол марки 1) и Лапроксидом АФ (моноглицидиловый эфир алкилфенола).

Для отверждения модифицированных эпоксидных композиций использованы отвердители аминного типа:

– низкомолекулярный полиамид ПО-200, который использовался в виде 30 %-ного раствора в ксилоле;

– сконденсированный γ -аминопропилтриэтоксисилан – АСОТ-2 (50 %-ный раствор в циклогексаноне).

Для получения наполненных грунтовочных композиций использованы ингибирующие пигменты и наполнители (рутил, микротальк, микробарит, аэросил и др.). Соотношение пленкообразующего вещества и наполнителей для всех наполненных грунтовочных композиций составляло 1:1.

Для определения свойств покрытий на основе наполненных модифицированных эпоксидных композиций изготовлены образцы грунтовок. Диспергирование пигментов и наполнителей при изготовлении грунтовок проводили на лабораторном оборудовании. Изготовленные композиции грунтовок наносили на образцы из сплава Д16-АТ Ан.Окс.нхр методом пневматического распыления. Толщина двухслойного покрытия составляла 45–55 мкм. Качество покрытий оценивали с помощью стандартных методик: прочность при ударе – по ГОСТ 4765–73, прочность пленки покрытия при растяжении (эластичность) – по ГОСТ 29309–2007; адгезию покрытий в исходном состоянии и после выдержки в дистиллированной воде в течение 7 сут – по ГОСТ 15140–78. При определении водопоглощения использовали образцы из алюминиевой фольги толщиной 150 мкм (в соответствии с ГОСТ 21513–76) после выдержки образцов с покрытием в воде в течение 30 сут.

Исследования структуры грунтовочных покрытий проводили с применением сканирующего электронного микроскопа JSM-35CF в режиме вторичных электронов в соответствии с ММ 1.595-12-243–2007.

Устойчивость покрытий к термоперепадам определяли по методике ЛИ-14 при температурах $-60 \div +80$ °С в соответствии с ММ 1.595-15-133–2002. Один цикл испытаний соответствует воздействию: влажности 98 ± 2 % при температуре 23 ± 2 °С в течение 16–16,5 ч, охлаждению при температуре -60 °С в течение 1 ч, нагреву при температуре $+100$ °С в течение 2,5 ч, охлаждению при температуре -60 °С в течение 1 ч, затем нагреву при температуре $+80$ °С в течение 2,5 ч и охлаждению образцов в течение 15 мин.

Результаты и обсуждение

Для проведения исследований изготовлены наполненные полимерные композиции на основе эпоксидного пленкообразующего, модифицированного жидким тиоколом марки 1 и Лапроксидом АФ (АФ), а также антикоррозионные грунтовки на их основе, которые отличались составом полимерной матрицы при одинаковом составе наполнителей:

- образец 1 – грунтовка на основе полимерной композиции Э-41 + тиокол марки 1 + АСОТ-2;
- образец 2 – грунтовка на основе полимерной композиции Э-41 + тиокол марки 1 + АФ + АСОТ-2;
- образец 3 – грунтовка на основе полимерной композиции Э-41 + тиокол марки 1 + ПО-200;
- образец 4 – грунтовка на основе полимерной композиции Э-41 + тиокол марки 1 + АФ + ПО-200.

В табл. 1 приведены результаты определения адгезии и физико-механических свойств покрытий на основе изготовленных грунтовок.

Таблица 1

**Результаты определения адгезии и физико-механических свойств
грунтовочных покрытий**

Полимерная композиция	Адгезия, балл		Физико-механические свойства	
	в исходном состоянии	после увлажнения в течение 7 сут	Прочность при ударе, Дж	Прочность при растяжении, мм
Э-41 + тиокол + АСОТ-2	1	1	5	4,7
Э-41 + тиокол + АФ + АСОТ-2	1	1	5	5,2
Э-41 + тиокол + ПО-200	1	2	5	5,5
Э-41 + тиокол + АФ + ПО-200	1	2	5	5,8

Из полученных результатов следует, что адгезия грунтовочных покрытий на основе модифицированных эпоксидных композиций, отверждаемых кремнийорганическим амином АСОТ-2, сохраняется на уровне 1 балла в исходном состоянии и после 7 сут увлажнения в дистиллированной воде. Адгезия покрытий, отверждаемых низкомолекулярным полиамидом ПО-200 в исходном состоянии составляет 1 балл, а после 7 сут увлажнения снижается до 2 баллов. Прочность пленки покрытия при ударе не зависит от типа отвердителя и для всех исследуемых композиций составляет 5 Дж. Прочность при растяжении покрытий на основе модифицированных тиоколом эпоксидных композиций на 10–12 % меньше прочности аналогичных композиций, содержащих реакционноспособный разбавитель АФ, независимо от применяемого отвердителя. Следует отметить, что применение низкомолекулярного полиамида ПО-200 позволяет получить более эластичные покрытия.

На рис. 1 представлены результаты определения кинетики водопоглощения исследуемых грунтовочных покрытий после испытаний в дистиллированной воде в течение 30 сут.

Из кинетических кривых сорбции следует, что при контакте грунтовочных покрытий с дистиллированной водой их масса увеличивается. Достижение равновесной сорбции для покрытий, отвержденных отвердителем АСОТ-2, происходит в течение первых 6 сут, а для покрытий, отвержденных отвердителем ПО-200, – за первые 13 сут испытаний. Следует отметить, что максимальные значения водопоглощения для грунтовочных покрытий, отвержденных кремнийорганическим амином АСОТ-2, составляют 0,98 (для покрытия 1) и 1,1 % (для покрытия 2). Использование отвердителя ПО-200 для отверждения грунтовочных покрытий приводит к существенному снижению их водостойкости – максимальное значение водопоглощения этих покрытий составляет 1,98 (для покрытия 3) и 1,75 % (для покрытия 4). Из анализа полученных результатов следует,

что наиболее высокой водостойкостью обладают грунтовочные покрытия, отверждаемые кремнийорганическим амином АСОТ-2.

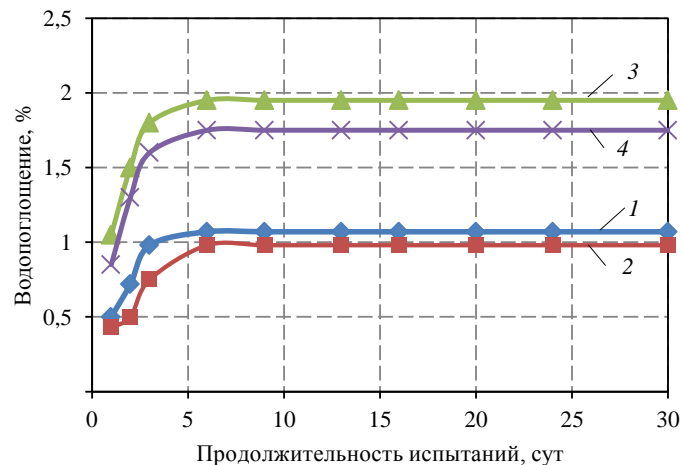


Рис. 1. Кинетика водопоглощения грунтовочных покрытий после испытаний в дистиллированной воде образцов 1–4 (см. текст)

Введение в грунтовочную композицию Лапроксида АФ увеличивает не только водостойкость на ~12 %, но и эластичность покрытия – на ~10 %. Такое повышение свойств может быть связано с тем, что реакционноспособный Лапроксид АФ, содержащий в своей структуре этиленоксидное кольцо, встраивается в процессе отверждения в полимерную сетку, что способствует увеличению прочности покрытий при растяжении (эластичности), при этом прочность при ударе (5 Дж) и адгезия (1 балл) сохраняются на исходном уровне.

Исследована фазовая структура грунтовочных покрытий на основе эпоксидной смолы Э-41, модифицированной тиоколом марки 1, и отвержденных кремнийорганическим амином АСОТ-2 (рис. 2) и низкомолекулярным полиамидом ПО-200 (рис. 3).

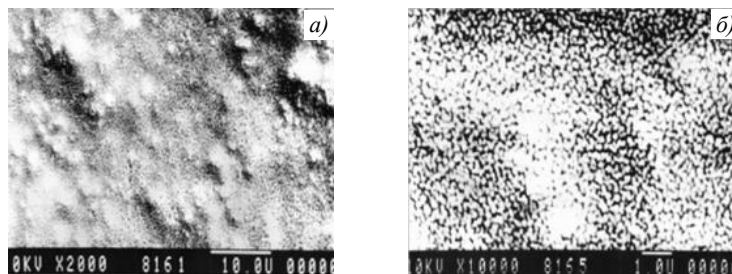


Рис. 2. Фазовая структура грунтовочного покрытия на основе композиции Э-41 + тиокол марки 1 + АСОТ-2: а – включения частиц наполнителя (×2000); б – микрофазовая структура полимерной матрицы (×10000)

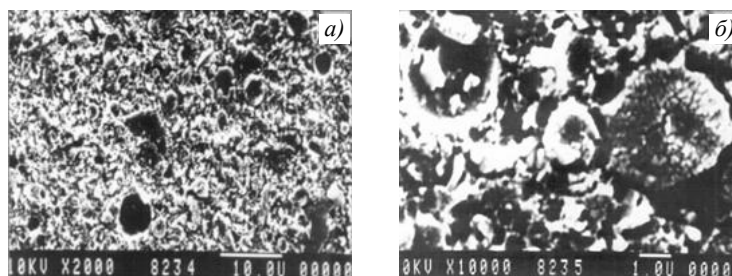


Рис. 3. Фазовая структура грунтовочного покрытия на основе композиции Э-41 + тиокол марки 1 + ПО-200: а – включения частиц наполнителя (×2000); б – фазовая структура полимерной матрицы (×10000)

Для этих покрытий характерна гетерогенная фазовая структура. Следует отметить, что тип отвердителя в исследуемых покрытиях оказывает влияние на формирование фазовой структуры. При использовании отвердителя АСОТ-2 структура покрытия более однородна, частицы наполнителя распределяются в объеме покрытия более равномерно, лучше смачиваются пленкообразующим составом и меньше содержится дефектов в виде пор.

При отверждении покрытий отвердителем ПО-200 наблюдается более высокая полидисперсность частиц наполнителя, которые имеют различную форму, а их размеры достигают 50 мкм. В структуре этого покрытия содержатся поры диаметром 0,2–0,5 мкм, а его фазовая структура отличается неоднородностью (рис. 3).

Микрофазовые структуры отвержденных грунтовочных покрытий, в состав которых входит Лапроксид АФ, также гетерогенны. При отверждении покрытия отвердителем ПО-200 фазовая структура в большей степени неоднородна и содержит поры (рис. 4).

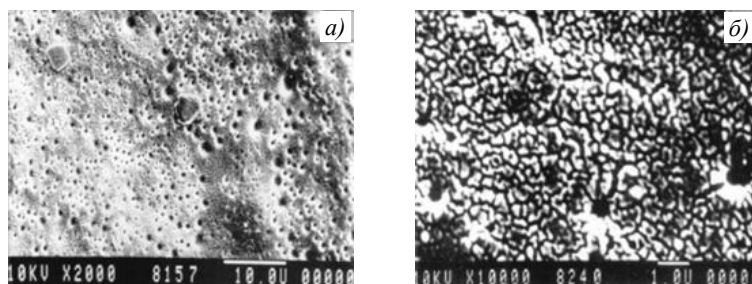


Рис. 4. Фазовая структура грунтовочного покрытия на основе композиции Э-41 + тиокол марки 1 + Лапроксид АФ + ПО-200: *а* – поры и фазовые включения наполнителя ($\times 2000$); *б* – микрофазовая структура полимерной матрицы ($\times 10000$)

Наибольшей однородностью фазовой структуры обладает покрытие, отвержденное кремнийорганическим амином АСОТ-2. В структуре этого покрытия наполнители распределены сравнительно равномерно, практически полностью отсутствует пористость. Структура этого покрытия более однородна, размеры частиц дисперсной фазы не превышают 0,3 мкм (рис. 5).

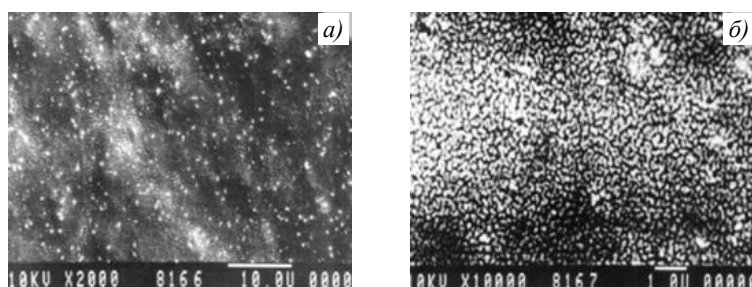


Рис. 5. Фазовая структура грунтовочного покрытия на основе композиции Э-41 + тиокол марки 1 + Лапроксид АФ + АСОТ-2: *а* – фазовые включения наполнителя в матрице ($\times 2000$); *б* – микрофазовая структура полимерной матрицы ($\times 10000$)

Анализируя результаты микроскопических исследований, можно сделать вывод, что наиболее однородным и практически не содержащим дефектов является грунтовочное покрытие на основе эпоксидного олигомера, модифицированного тиоколом марки 1 и моноглицидиловым эфиром алкилфенола (Лапроксид АФ), отверждаемое кремнийорганическим амином АСОТ-2. Применение реакционноспособного модификатора Лапроксида АФ и отвердителя АСОТ-2 позволяет получить грунтовочное покрытие с однородной мелкодисперсной фазовой структурой с низкой пористостью и высокой водостойкостью.

Исследованы адгезия и физико-механические свойства грунтовочных покрытий после термоциклирования по циклу ЛИ-14, результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты определения адгезии и физико-механических свойств грунтовочных покрытий после 10 циклов испытаний по циклу ЛИ-14 при температурах $-60 \div +80$ °С

Полимерная композиция	Адгезия, балл		Физико-механические свойства	
	в исходном состоянии	после увлажнения в течение 7 сут	Прочность при ударе, Дж	Прочность при растяжении, мм
Э-41 + тиокол + АСОТ-2	1	1	5	4,5
Э-41 + тиокол + АФ + АСОТ-2	1	1	5	5,1
Э-41 + тиокол + ПО-200	1	2	5	5,2
Э-41 + тиокол + АФ + ПО-200	1	2	5	5,6

Из данных табл. 2 следует, что старение по циклу ЛИ-14 не приводит к изменению адгезии и прочности при ударе. Следует отметить, что после циклических испытаний наблюдается незначительное снижение прочности при растяжении для всех композиций (не более 4,5 %), которое связано со снижением эластичности и увеличением жесткости покрытий.

На рис. 6 представлены результаты определения водопоглощения грунтовочных покрытий в исходном состоянии и после термического старения по циклу ЛИ-14 при температурах $-60 \div +80$ °С после 30 сут испытаний в дистиллированной воде.

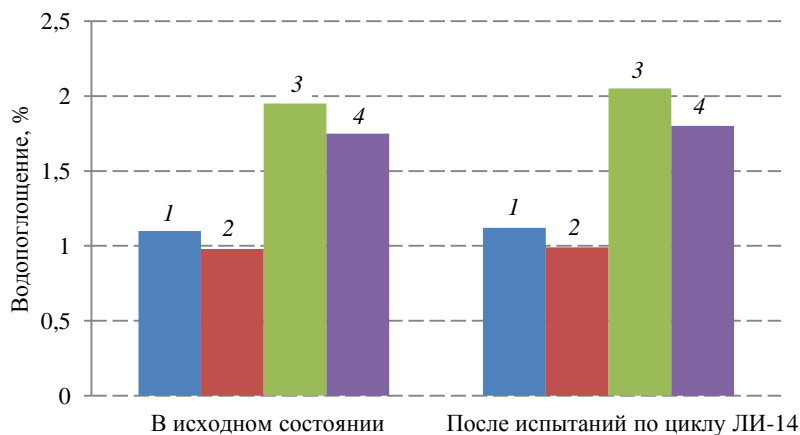


Рис. 6. Водопоглощение грунтовочных покрытий после 30 сут испытаний в воде в исходном состоянии и после термостарения по циклу ЛИ-14 образцов 1–4 (см. текст)

Видно, что после термостарения происходит незначительное повышение водопоглощения. Для грунтовочных покрытий, модифицированных тиоколом марки 1 и Лапроксидом АФ, увеличение водопоглощения не превышает 2 % относительно исходного значения. Для аналогичных покрытий, отверждаемых низкомолекулярным полиамидом ПО-200, оно составляет 2,8–5,0 %.

Заключения

Исследовано влияние состава полимерной матрицы на адгезию, физико-механические свойства и водостойкость грунтовочных покрытий. Показано, что состав полимерного пленкообразующего оказывает существенное влияние на вышеуказанные

свойства грунтовочных покрытий. Введение в состав модифицированной тиоколом марки 1 эпоксидной композиции реакционноспособного разбавителя (Лапроксида АФ) способствует повышению прочности покрытия при растяжении.

Исследована кинетика водопоглощения грунтовочных покрытий на основе модифицированных эпоксидных олигомеров после испытаний в дистиллированной воде в течение 30 сут. Установлено, что введение в грунтовочную композицию Лапроксида АФ (реакционноспособного разбавителя) повышает не только водостойкость на ~12 %, но и эластичность покрытия – на ~10 %.

Такое повышение свойств может быть связано с тем, что реакционноспособный Лапроксид АФ, содержащий в своей структуре этиленоксидное кольцо, встраивается в структуру полимерной сетки в процессе отверждения. Такое изменение структуры полимерного пленкообразователя способствует повышению прочности покрытий при растяжении (эластичности), при этом сохраняется прочность при ударе (5 Дж) и адгезия (1 балл) на исходном уровне.

Исследована фазовая структура грунтовочных покрытий на основе эпоксидной смолы Э-41, модифицированной тиоколом марки 1 и Лапроксидом АФ, отвержденных кремнийорганическим амином АСОТ-2 и низкомолекулярным полиамидом ПО-200.

Показано, что применение реакционноспособного модификатора Лапроксида АФ и отвердителя АСОТ-2 в эпоксидно-тиоколовом пленкообразующем позволяет получить грунтовочное покрытие с однородной мелкодисперсной фазовой структурой с низкой пористостью и высокой водостойкостью. Грунтовочное покрытие на основе эпоксидной смолы Э-41, модифицированной жидким тиоколом марки 1, а также Лапроксидом АФ, отвержденное кремнийорганическим амином АСОТ-2, обладает высокой адгезией и водостойкостью и может быть использовано для защиты от коррозии алюминиевых сплавов.

Исследованы адгезия, физико-механические свойства и водопоглощение грунтовочных покрытий после термоциклирования по циклу ЛИ-14. Показано, что существенных изменений свойств грунтовочных покрытий на основе эпоксидного олигомера, модифицированного жидким тиоколом марки 1 и Лапроксидом АФ, после термостарения не происходит.

Благодарности

Авторы выражают благодарность сотрудникам ФГУП «ВИАМ» Е.В. Куршеву и Г.Г. Шаповалову за помощь в проведении экспериментальных работ и обсуждении результатов исследований, а также за рекомендации при написании данной статьи.

Библиографический список

1. Каблов Е.Н. *Авиационное материаловедение: итоги и перспективы* // Вестник Российской академии наук. 2002. Т. 72. № 1. С. 3–12.
2. Каблов Е.Н. Роль химии в создании материалов нового поколения для сложных технических систем // Тез. докладов XX Менделеевского съезда по общей и прикладной химии. Екатеринбург: УрО РАН, 2016. С. 25–26.
3. Житомирский Г.И. *Конструкция самолетов*. М.: Машиностроение, 1991. 400 с.
4. Луценко А.Н., Славин А.В., Ерасов В.С., Хвацкий К.К. Прочностные испытания и исследования авиационных материалов // *Авиационные материалы и технологии*. 2017. № S. С. 527–546. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-527-546.
5. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Медведев И.М. Обзор зарубежного опыта исследований коррозии и средств защиты от коррозии // *Авиационные материалы и технологии*. 2015. № 2 (35). С. 76–87. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-2-76-87.
6. Козлова А.А., Кузнецова В.А., Козлов И.А., Наприенко С.А., Силаева А.А. Влияние длительных нагревов на свойства защитных покрытий для алюминиевого сплава системы Al–Si–Mg // *Авиационные материалы и технологии*. 2019. № 2 (55). С. 74–80. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-2-74-80.

7. Фомина М.А., Каримова С.А. Анализ коррозионного состояния материалов планера самолетов типа «Су» после длительных сроков эксплуатации // Коррозия: материалы, защита. 2014. № 9. С. 20–24.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. Дринберг А.С., Ицко Э.Ф., Калинин Т.В. Антикоррозионные грунтовки. СПб.: НИПРОИНС ЛКМ и П с ОП, 2006. 168 с.
13. Кузнецова В.А., Деев И.С., Железняк В.Г., Силаева А.А. Износостойкое лакокрасочное покрытие с квазикристаллическим наполнителем // Труды ВИАМ. 2018. № 3 (63). Ст. 08. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 25.01.2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2018-0-3-68-76.
14. Курбатов В.Г., Ильин А.А., Индейкин Е.А. Противокоррозионные пигменты и наполнители с оболочкой из полианилина // Лакокрасочные материалы и их применение. 2012. № 11. С. 49–52.
15. Курбатов В.Г., Кочкина Н.В., Индейкин Е.А. Использование оболочковых пигментов в составе полимерных противокоррозионных материалов // Успехи в химии и химической технологии. 2014. Т. XXVIII. № 3. С. 92–96.
16. Проблемы защитных ЛКМ (обзор) // Лакокрасочные материалы и их применение. 2013. № 9. С. 33–35.
17. Розенфельд И.Л., Рутинштейн Ф.И., Жигалова К.А. Защита металлов от коррозии лакокрасочными покрытиями. М.: Химия, 1987. 224 с.
18. Соснина С.А., Кулешова И.Д. Регулирование взаимодействия компонентов в наполненных лакокрасочных композициях // Лакокрасочные материалы и их применение. 2011. № 1. С. 60–62.
19. Коробщикова Т.С., Орлова Н.А. Моделирование механических свойств лакокрасочного материала, наполненного волластонитом // Лакокрасочные материалы и их применение. 2011. № 1–2. С. 62–64.
20. 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.
21. Чалых А.Е., Кочнова З.А., Жаворонок Е.С. Совместимость и диффузия в системах эпоксидные олигомеры–жидкие карбоксилатные каучуки // Высокомолекулярные соединения. Серия А. 2001. Т. 43. № 12. С. 2147–2155.
22. Чалых А.Е. Диффузия в полимерных системах. М.: Химия, 1987. С. 252–266.
23. Каблов В.Ф. Системная технология каучук-олигомерных композиций // Сборник статей X Междунар. конф. по химии и физикохимии полимеров. Волгоград: Волгоградск. гос. техн. ун-т, 2009. С. 162–191.
24. Липатов Ю.С. Межфазные явления в полимерах. Киев: Наукова думка, 1980. 260 с.
25. 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.