

Научная статья

УДК 629.7.023

DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-11-93-102

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА БЕСХРОМАТНОЙ БЫСТРОСОХНУЩЕЙ ГРУНТОВКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ

В.А. Кузнецова¹, В.В. Емельянов¹, С.А. Марченко¹, Е.В. Куршев¹

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Москва, Россия; admin@viam.ru

Аннотация. В работе основное внимание уделено выбору состава ингибирующих пигментов и наполнителей, а также определению оптимального соотношения их в полимерном пленкообразующем. Для исследований использованы эпоксидные композиции, модифицированные жидким полисульфидным каучуком, содержащие ингибирующие пигменты и наполнители различной структуры. Для отверждения грунтовочных композиций использован кремнийорганический амин. Для ускорения процесса отверждения грунтовочных композиций использован третичный амин УП-606/2. В составе пигментной части исследованы ингибирующие пигменты, а также структурообразующие наполнители.

Ключевые слова: эпоксидно-тиоколовые композиции, отвердители, ускоритель отверждения, бесхроматная грунтовка, пигменты, наполнители, кислородопроницаемость, водопоглощение, микроструктурный анализ

Для цитирования: Кузнецова В.А., Емельянов В.В., Марченко С.А., Куршев Е.В. Влияние состава бесхроматной быстросохнущей грунтовки на структуру и свойства защитного покрытия // Труды ВИАМ. 2022. № 11 (117). Ст. 09. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-11-93-102.

Scientific article

INFLUENCE OF RECIPE OF CHROMATE-FREE QUICK-DRYING PRIMER ON STRUCTURE AND PROPERTIES OF PROTECTIVE COATING

V.A. Kuznetsova¹, V.V. Yemelyanov¹, S.A. Marchenko¹, E.V. Kurshev¹

¹Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific-Research Institute of Aviation Materials» of National Research Center «Kurchatov Institute», Moscow, Russia; admin@viam.ru

Abstract. In this work the main attention has been given to choice of recipe of inhibitive pigments and fillers, and also definition of their optimum ratio in the polymeric film-forming. For researches the epoxy compositions modified by liquid polysulphide rubber, containing inhibitive pigments and fillers of different structure have been used. For curing of primer compositions organic silicon ammine has been used. For acceleration of process of curing of primer compositions, it was used tertiary amine UP-606/2. As a part of pigmental composition the inhibitive pigments as well as structure-forming fillers, have been investigated.

Keywords: epoxy-thiokol compositions, hardeners, curing accelerator, chromate-free primer, pigments, fillers, oxygen permeability, water absorption, micro-structural analysis

For citation: Kuznetsova V.A., Yemelyanov V.V., Marchenko S.A., Kurshev E.V. Influence of recipe of chromate-free quick-drying primer on structure and properties of protective coating. *Trudy VIAM*, 2022, no. 11 (117), paper no. 09. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-11-93-102.

Введение

В процессе эксплуатации летательный аппарат подвергается воздействию различных климатических факторов, влаги и перепаду температур, что способствует быстрому разрушению конструкций, связанному с коррозией. Поэтому антикоррозионной защите уделяется особое внимание. Основным способом антикоррозионной защиты является использование полимерных защитных покрытий, которые наносятся поверх неметаллических и гальванических антикоррозионных покрытий [1]. Увеличение сроков службы авиационной техники и повышение требований, обусловленных условиями эксплуатации нового поколения самолетов, а также необходимость повышения надежности летательных аппаратов – все это ставит перед разработчиками материалов задачи повышения качества лакокрасочных покрытий (ЛКП) [2, 3].

Повышение качества ЛКП возможно путем создания новых и модификации существующих систем таких покрытий. Немаловажная роль в разработке перспективных систем ЛКП отводится созданию антикоррозионных грунтовок. При этом значение антикоррозионного грунтовочного покрытия для обеспечения адгезии и повышения защиты конструкции от коррозии является решающим [4–6].

При разработке защитных грунтовок большое внимание уделяется использованию нетоксичных ингибирующих пигментов вместо токсичных хроматов (соединений Cr^{+6}), которые ранее использовались при изготовлении антикоррозионных грунтовок [7–10].

Диановые эпоксидные олигомеры относятся к наиболее широко распространенным среди синтетических полимеров, которые на протяжении многих лет используются для изготовления лакокрасочных материалов, в частности антикоррозионных грунтовок. Это связано с уникальностью свойств эпоксидных пленкообразователей, обусловленных наличием в структуре их молекул эпоксидных, гидроксильных и простых эфирных групп.

Эпоксидным покрытиям свойственна достаточно высокая адгезия к различным материалам, твердость, химическая стойкость к агрессивным средам, а также прочность [11–13].

Однако ЛКП, полученные на основе эпоксидных олигомеров, имеют и некоторые недостатки, которые обусловлены недостаточно высокой эластичностью, а также жесткостью и хрупкостью отвержденных покрытий. Это приводит к увеличению внутренних напряжений в полимерной пленке в процессе эксплуатации и, как следствие, к снижению их адгезионной прочности, ухудшению защитных свойств и сокращению ресурса работы системы ЛКП [14, 15].

Диановые эпоксидные олигомеры хорошо сочетаются с различными модификаторами, улучшающими свойства получаемых покрытий. Среди множества перспективных модификаторов важное место занимают низкомолекулярные эластомеры, обладающие гораздо большей подвижностью молекулярных цепей, в частности жидкие каучуки. Введение каучуков в эпоксидные олигомеры способствует снижению внутренних напряжений, повышению долговечности, ударопрочности и эластичности, а также устойчивости покрытия к динамическим нагрузкам [16, 17].

Данная работа посвящена исследованию влияния состава бесхроматной быстро сохнущей грунтовки на структуру и свойства защитного покрытия, которое предназначено для окраски металлических конструкций.

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП «Климатические испытания» НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ 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») [18].

Материалы и методы

Для изучения влияния компонентов, входящих в рецептуру бесхроматной быстросохнущей грунтовки, на антикоррозионные свойства грунтовочного покрытия изготовлены экспериментальные композиции на основе модифицированного эпоксидного пленкообразующего, содержащие ингибирующие пигменты и структурообразующие наполнители. В процессе проведения исследований основное внимание уделено определению оптимального соотношения полимерного пленкообразующего и пигментной части (антикоррозионных пигментов и наполнителей) в составе грунтовки.

Для исследований в качестве полимерной основы выбрана эпоксидная диановая смола, модифицированная жидким тиоколом марки 1, отверждаемая кремнийорганическим амином.

Для ускорения процесса отверждения бесхроматных грунтовочных композиций выбран третичный амин УП-606/2. Использование ускорителя процесса отверждения третичного амина способствует сокращению продолжительности высыхания, а также технологического цикла окраски изделий.

В данной работе исследованы ингибирующие компоненты (фосфаты цинка и хрома) и различные структурообразующие наполнители, такие как диоксид титана, оксид цинка, слюда молотая, микротальк и др.

Исследование влияния содержания ускорителя УП-606/2 на процесс отверждения эпоксидно-тиоколовых полимерных композиций проводили с применением метода дифференциальной сканирующей калориметрии в соответствии с ГОСТ Р 56755–2015 при динамическом нагреве со скоростью 10 °С/мин в интервале температур от 25 до 300 °С в воздушной среде.

Для определения оптимального количества ускорителя УП-606/2 определена степень отверждения эпоксидно-тиоколовых ненаполненных (лаковых) композиций, содержащих ускоритель отверждения УП-606/2 в количестве от 2 до 4 % (по массе), в сравнении с неотвержденной композицией. Степень отверждения лаковых пленок, содержащих ускоритель, определяли через 5 сут и сравнивали с пленкой покрытия, не содержащей ускоритель, отвержденной при температуре 100 °С в течение 2 ч.

Кислородопроницаемость пленок покрытий определяли в соответствии с ГОСТ 53656.2–2009 (метод равного давления). Микроструктурные исследования проводили на сканирующем электронном микроскопе TESCAN VEGA 3 XMU в режиме вторичных электронов при увеличениях от $\times 2000$ до $\times 20000$.

Результаты и обсуждение

Степень отверждения покрытий является одной из важнейших характеристик, влияющей на адгезию, твердость, водостойкость, физико-механические свойства, а также защитные свойства ЛКП. На рис. 1 представлены результаты измерений степени отверждения эпоксидно-тиоколовых композиций.

Видно, что наиболее высокое значение степени отверждения 100 % достигается при использовании искусственной сушки. Применение ускорителя отверждения УП-606/2 положительно влияет на степень отверждения эпоксидно-тиоколовых лаковых композиций в условиях естественной сушки. Наиболее высокая степень отверждения 89 % достигается при введении 3 % (по массе) ускорителя УП-606/2.

На рис. 2 представлена зависимость кислородопроницаемости свободных эпоксидно-тиоколовых лаковых пленок от содержания ускорителя отверждения – третичного амина УП-606/2.

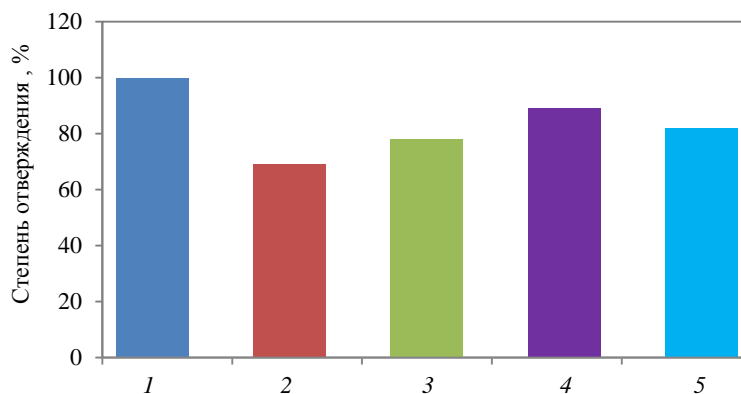


Рис. 1. Результаты определения степени отверждения свободных пленок ненаполненных лаковых композиций на основе эпоксидной диановой смолы Э-41, модифицированной жидким тиоколом марки 1 и отверждаемой кремнийорганическим амином АСОТ-2 при температуре 100 °С в течение 2 ч (1) и при 20 °С в течение 5 сут с ускорителем процесса (третичным амином УП-606/2) в количестве 0 (2), 2 (3), 3(4) и 4 % (по массе) (5)

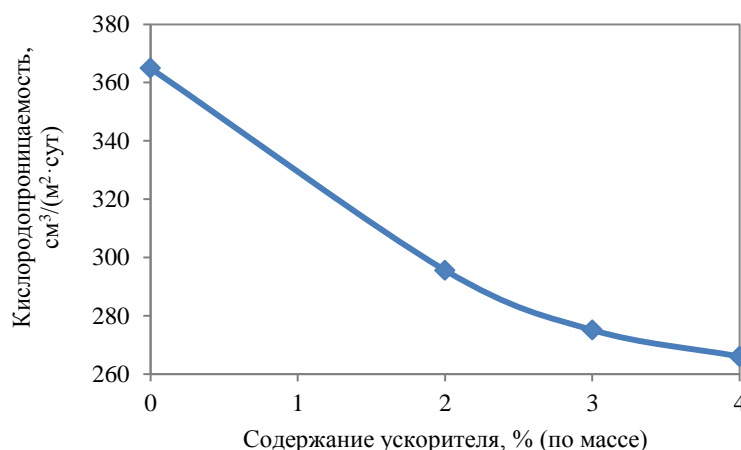


Рис. 2. Влияние содержания ускорителя УП-606/2 на кислородопроницаемость свободных эпоксидно-тиоколовых пленок, отвержденных в естественных условиях

Видно, что введение ускорителя отверждения УП-606/2 положительно влияет на кислородопроницаемость лаковых эпоксидно-тиоколовых пленок. При увеличении содержания ускорителя УП-606/2 в рецептуре кислородопроницаемость монотонно снижается, причем с увеличением его содержания >2 % (по массе) интенсивность снижения кислородопроницаемости уменьшается. Применение ускорителя УП-606/2 способствует повышению степени отверждения полимерной матрицы. Результатом более высокой степени структурообразования является снижение пористости полимерной пленки. На основании полученных результатов установлено, что введение в эпоксидно-тиоколовые композиции, отверждаемые кремнийорганическим амином АСОТ-2, ускорителя отверждения УП-606/2 в количестве 3 % (массе) обеспечивает высокую степень отверждения (89 %) и невысокую кислородопроницаемость пленки покрытия.

Эксплуатационные свойства антикоррозионных грунтовочных покрытий в значительной степени зависят от входящих в их состав ингибирующих пигментов, а также структурообразующих наполнителей [19].

Исследования по определению оптимального содержания пигментов и наполнителей проведены на изготовленных составах бесхроматных грунтовок с различным соотношением полимерного пленкообразующего и пигментной части, включая наполнители. Содержание пигментной части варьировали от 0,6 до 1,5 мас. ч.

На рис. 3 приведены средние значения зависимости кислородопроницаемости свободных пленок покрытий от содержания пигментов и наполнителей.

Ход кривой изменения кислородопроницаемости свидетельствует о том, что с увеличением степени наполнения полимерного пленкообразующего кислородопроницаемость свободных пленок монотонно снижается, что свидетельствует об их (наполнителей) существенном положительном влиянии на процессы структурообразования и, соответственно, на уменьшение пористости покрытий. Увеличение содержания пигментной части в полимерной матрице до 1,5 мас. ч. существенно не влияет на кислородопроницаемость пленок покрытий.

Известно, что защитные свойства антикоррозионных ЛКП зависят от их водопоглощения, поскольку процессы диффузии, протекающие при контакте покрытия с водой, способствуют проникновению влаги и, как следствие, снижению адгезии и развитию коррозии [20, 21].

На рис. 4 приведены средние значения водопоглощения покрытий после испытаний в воде в течение 30 сут.

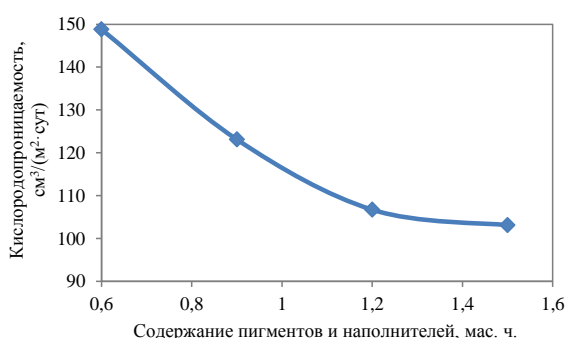


Рис. 3. Влияние содержания пигментов и наполнителей на кислородопроницаемость свободных пленок грунтовочных покрытий

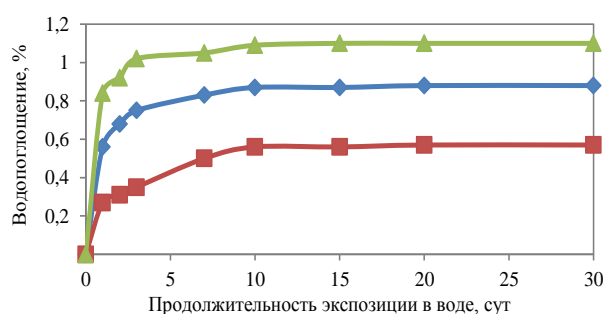


Рис. 4. Зависимость водопоглощения грунтовочных покрытий от содержания пигментов и наполнителей в эпоксидно-тиоколовом пленкообразующем при содержании пигментной части в грунтовке 0,9 (◆), 1,2 (■) и 1,5 мас. ч. (▲)

Кинетические кривые сорбции свидетельствуют о том, что при контакте с водой масса грунтовочного покрытия возрастает. Сорбционное равновесие для исследуемых покрытий достигается в течение первых 10 сут воздействия влаги независимо от содержания пигментной части, при этом абсолютные значения водопоглощения зависят от содержания пигментов и наполнителей в грунтовочном покрытии. Наименьшее значение водопоглощения получено на образцах, содержащих 1,2 мас. ч. пигментов и наполнителей. При этом абсолютное значение водопоглощения указанного образца составляет 0,58 %. Наиболее высокое значение водопоглощения, которое составляет 1,1 %, соответствует образцу грунтовки, содержащей 1,5 мас. ч. пигментов и наполнителей.

Из результатов исследований кинетики водопоглощения следует, что используемые антикоррозионные пигменты и наполнители уменьшают водопоглощение покрытий, так как принимают участие в процессе их структурообразования.

Проведенные исследования показали, что для данного полимерного пленкообразователя (на основе эпоксидно-тиоколовой полимерной матрицы) оптимальным содержанием пигментной части является 1,2 мас. ч. на 1 мас. ч. пленкообразующего. Используемые для бесхроматной грунтовки пигменты и наполнители, участвующие в процессе структурообразования, способствуют снижению водопоглощения.

Проведен микроструктурный анализ поверхности ЛКП оптимального состава бесхроматной грунтовки до и после испытаний покрытий в воде в течение 30 сут. Полученные результаты приведены на рис. 5 и 6.

Микроструктурные исследования образцов с грунтовочными покрытиями на алюминиевом сплаве показали, что покрытие полностью и равномерно покрывает поверхность алюминиевой подложки (рис. 1, *a*, *б*). Отслоений ЛКП от поверхности сплава не обнаружено (рис. 5). В структуре ЛКП содержатся микродисперсные частицы порошкообразных наполнителей (рис. 5, *в*, *г*).

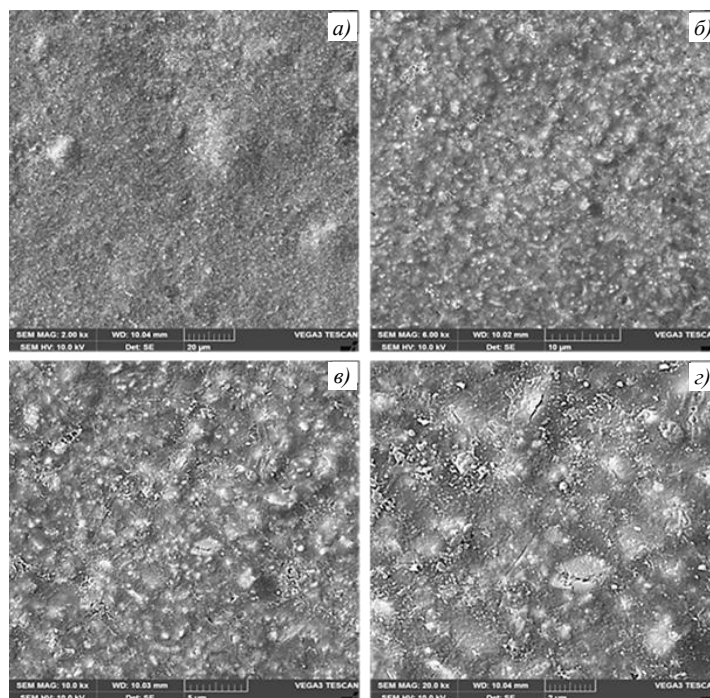


Рис. 5. Микроструктура (*a* – $\times 2000$; *б* – $\times 6000$; *в* – $\times 10000$; *г* – $\times 20000$) поверхности лакокрасочного покрытия в исходном состоянии

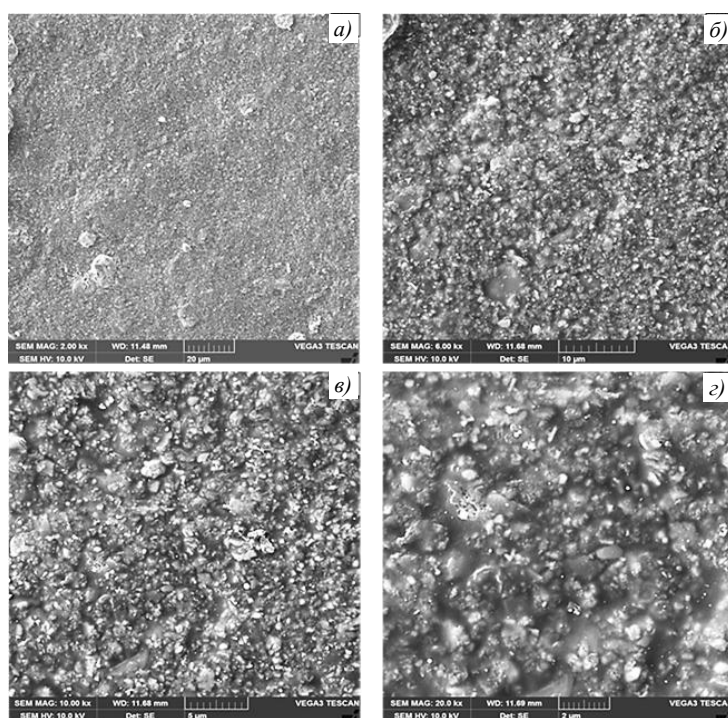


Рис. 6. Микроструктура (*a* – $\times 2000$; *б* – $\times 6000$; *в* – $\times 10000$; *г* – $\times 20000$) поверхности лакокрасочного покрытия после 30 сут экспозиции в воде

После экспозиции загрунтованных образцов в дистиллированной воде при температуре 20 °С в течение 30 сут изменений в структуре покрытия не выявлено. Отслоений ЛКП от поверхности алюминиевого сплава не обнаружено (рис. 6).

Результаты микроструктурного анализа ЛКП свидетельствуют о достаточно высокой водостойкости исследуемого грунтовочного покрытия.

Средние значения характеристик при определении адгезии и физико-механических свойств исследуемого покрытия представлены в таблице.

Свойства покрытия на основе бесхроматной защитной грунтовки

Свойства	Значения свойств
Адгезия к сплаву Д16-АТ Ан.Окс.нхр, балл:	
– в исходном состоянии	1
– после 10 сут увлажнения	1
Прочность при ударе, см (Дж)	50 (5,0)
Эластичность пленки при изгибе, мм	2
Прочность при растяжении, мм	5,6

Полученные результаты свидетельствуют о высокой адгезии бесхроматной защитной грунтовки к анодированному алюминиевому сплаву как в исходном состоянии, так и после 10 сут испытаний в дистиллированной воде (1 балл), а также о достаточно высоких физико-механических свойствах – прочности при ударе, эластичности пленки покрытия при изгибе и прочности при растяжении.

Заключения

При проведении работы исследовано влияние содержания ускорителя УП-606/2 на процесс отверждения эпоксидно-тиоколовых полимерных композиций, отвержденных кремнийорганическим амином, с помощью метода дифференциальной сканирующей калориметрии. Применение ускорителя отверждения УП-606/2 оказывает влияние на степень отверждения эпоксидно-тиоколовых лаковых композиций в условиях естественной сушки. Наиболее высокая степень отверждения 89 % достигается при введении 3 % (по массе) ускорителя УП-606/2.

Исследована зависимость кислородопроницаемости свободных эпоксидно-тиоколовых лаковых пленок от содержания ускорителя отверждения УП-606/2. Установлено, что введение в эпоксидно-тиоколовые композиции, отверждаемые кремнийорганическим амином АСОТ-2, ускорителя отверждения УП-606/2 способствует снижению кислородопроницаемости пленок. При этом наименьшее значение кислородопроницаемости достигается при введении 3 % (по массе) ускорителя. Исследована зависимость кислородопроницаемости свободных пленок грунтовочных покрытий от содержания пигментов и наполнителей.

Показано, что с увеличением пигментной части кислородопроницаемость свободных пленок монотонно снижается, что свидетельствует о положительном влиянии их (пигментов) на процессы структурообразования и уменьшения пористости покрытий.

Изучено влияние содержания пигментов и наполнителей на кинетику водопоглощения до и после испытаний в воде в течение 30 сут, а также определено их оптимальное содержание.

Показано, что наименьшее значение водопоглощения 0,58 % получено на образцах с грунтовочным покрытием, содержащим 1,2 мас. ч. пигментов и наполнителей.

Проведен микроструктурный анализ поверхности покрытия на основе бесхроматной грунтовки, содержащей оптимальное количество пигментов и наполнителей,

методом оптической и сканирующей электронной микроскопии в исходном состоянии и после испытаний в дистиллированной воде в течение 30 сут.

Установлено, что после экспозиции загрунтованных образцов в дистиллированной воде при температуре 20 °С в течение 30 сут изменений в структуре покрытия не происходит. Отслоений ЛКП от поверхности алюминиевого сплава не обнаружено.

Результаты микроструктурных исследований грунтовочного покрытия подтверждают достаточно высокую водостойкость покрытия.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что присутствие в составе грунтовочного покрытия ускорителя УП-606/2, а также применение бесхроматных пигментов и наполнителей при определенном соотношении оказывает эффективное воздействие на процесс структурообразования, что способствует повышению эксплуатационных свойств лакокрасочного защитного покрытия.

Список источников

1. Житомирский Г.И. Конструкция самолетов. М.: Машиностроение, 1991. 400 с.
2. Каблов Е.Н. Авиационное материаловедение: итоги и перспективы // Вестник Российской академии наук. 2002. Т. 72. № 1. С. 3–12.
3. Каблов Е.Н. Роль химии в создании материалов нового поколения для сложных технических систем // Тез. докл. XX Менделеевского съезда по общей и прикладной химии. Екатеринбург: УрО РАН, 2016. С. 25–26.
4. Железняк В.Г., Сердцелюбова А.С., Меркулова Ю.И., Скивко П.В. Система лакокрасочных покрытий на основе полиуретановой эмали для защиты лобовых обогреваемых поверхностей изделий авиационной техники // Авиационные материалы и технологии. 2022. № 1 (66). Ст. 10. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 24.10.2022). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-1-120-128.
5. Семенова Л.В., Нефедов Н.И., Белова М.В., Лаптев А.Б. Системы лакокрасочных покрытий для вертолетной техники // Авиационные материалы и технологии. 2017. № 4 (49). С. 56–61. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-4-56-61.
6. Пыриков А.В., Лойко Д.П., Кочергин Ю.С. Модификация эпоксидных смол жидкими полисульфидными и карбоксилатными бутадиеновыми каучуками // Клеи. Герметики. Технологии. 2010. № 1. С. 28–33.
7. Кузнецова В.А., Железняк В.Г., Куршев Е.В., Емельянов В.В. Исследование топливо- и водостойкости покрытий на основе наполненных эпоксидно-тиоколовых полимерных композиций // Авиационные материалы и технологии. 2021. № 2 (63). Ст. 10. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 24.10.2022). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-2-93-102.
8. Ашуйко В.А., Иванова Н.П., Салычиц О.И. Свойства антикоррозионных фосфатсодержащих пигментов для лакокрасочных покрытий металлов // Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии: тезисы докладов X Междунар. конф. Гродно, 2013. С. 117–118.
9. Скороходова О.Н., Казакова Е.Е. Новые пигменты и наполнители для производства ЛКМ // Лакокрасочная промышленность. 2017. № 6. С. 20–23.
10. Эмирова И.В., Алексеев А.А. Новые антикоррозионные пигменты // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2009. Т. 52. С. 113–114.
11. Орехова С.Е., Ашуйко В.А., Курило И.И., Салычиц О.И. Синтез и свойства пигментов для лакокрасочных материалов с антикоррозионными свойствами // Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии: тезисы докладов IX Междунар. конф. Гродно, 2011. С. 42–43.
12. Жаворонок Е.С., Сенчихин И.Н. Оценка плотности шивки густосетчатого полимера с учетом жесткости фрагмента цепи между узлами сетки // Высокомолекулярные соединения. Серия Б. 2019. Т. 61. № 4. С. 282–288.

13. Пыриков А.В., Лойко Д.П., Кочергин Ю.С. Модификация эпоксидных смол жидкими полисульфидными и карбоксилатными бутадиеновыми каучуками // *Клеи. Герметики. Технологии*. 2010. № 1. С. 28–33.
14. Еселев А.Д., Бобылев В.А. Эпоксидные смолы и отвердители для производства лакокрасочных материалов // *Лакокрасочные материалы и их применение*. 2005. № 10. С. 16–25.
15. Кочнова З.А., Жаворонок Е.С., Чалых А.Е. Эпоксидные смолы и отвердители: промышленные продукты. М.: ООО «Пэйнт медиа», 2006. 200 с.
16. Чеботарева Е.Г., Огрель Л.Ю. Современные тенденции модификации эпоксидных олигомеров // *Фундаментальные исследования*. 2008. № 4. С. 102–104.
17. Чалых А.Е., Кочнова З.А., Жаворонок Е.С., Бару Р.Л. Химические превращения и реокинетика в системе карбоксилсодержащий каучук–эпоксидный олигомер // *Известия вузов. Химия и химическая технология*. 2007. Т. 50. № 1. С. 43–47.
18. 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.
19. Кузнецова В.А., Семенова Л.В., Шаповалов Г.Г. Тенденции развития в области антикоррозионных полимерных составов для защиты от коррозии крепежных соединений контактных пар комбинированных конструкций (обзор) // *Авиационные материалы и технологии*. 2017. № 1 (46). С. 25–31. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-1-25-31.
20. Коврижкина Н.А., Кузнецова В.А., Силаева А.А., Марченко С.А. Способы улучшения свойств лакокрасочных покрытий с помощью введения различных наполнителей (обзор) // *Авиационные материалы и технологии*. 2019. № 4 (57). С. 41–48. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-4-41-48.
21. Чалых А.Е., Жаворонок Е.С., Кочнова З.А. Взаимодействие карбоксилсодержащего нитрильного каучука и эпоксидного олигомера // *Высокомолекулярные соединения. Серия Б*. 2010. Т. 52. № 5. С. 880–887.

References

1. Zhitomirsky G.I. *Aircraft design*. Moscow: Mashinostroenie, 1991, 400 p.
2. Kablov E.N. Aviation materials science: results and prospects. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk*, 2002, vol. 72, no. 1, pp. 3–12.
3. Kablov E.N. The role of chemistry in the creation of new generation materials for complex technical systems. *Reports of XX Mendeleev Congress on General and Applied Chemistry*. Ekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2016, pp. 25–26.
4. Zheleznyak V.G., Serdcelyubova A.S., Merkulova Yu.I., Skivko P.V. Paint coating system based on polyurethane enamel for protecting heated frontal surfaces of aviation products. *Aviation materials and technologies*, 2022, no. 1 (66), paper no. 10. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: October 24, 2022). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-1-120-128.
5. Semenova L.V., Nefedov N.I., Belova M.V., Laptev A.B. Systems of paint coatings for helicopter equipment. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2017, no. 4 (49), pp. 56–61. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-4-56-61.
6. Pyrikov A.V., Loiko D.P., Kochergin Yu.S. Modification of epoxy resins with liquid polysulfide and carboxylate butadiene rubbers. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, 2010, no. 1, pp. 28–33.
7. Kuznetsova V.A., Zheleznyak V.G., Kurshev E.V., Yemelyanov V.V. Research of fuel- and water resistance of coatings based on the filled epoxy-thiokol polymeric compositions. *Aviation materials and technologies*, 2021, no. 2 (63), paper no. 10. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: October 24, 2022). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-2-93-102.
8. Ashuyko V.A., Ivanova N.P., Salychits O.I. Properties of anticorrosive phosphate-containing pigments for paint and varnish coatings of metals. *Energy and material-saving environmentally friendly technologies: abstracts of the X Intern. conf. Grodno*, 2013, pp. 117–118.
9. Skorokhodova O.N., Kazakova E.E. New pigments and fillers for the production of coatings. *Lakokrasochnaya promyshlennost*, 2017, no. 6, pp. 20–23.

10. Emirova I.V., Alekseev A.A. New anticorrosion pigments. *Izvestiya vuzov. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya*, 2009, vol. 52, pp. 113–114.
11. Orekhova S.E., Ashuiko V.A., Kurilo I.I., Salychits O.I. Synthesis and properties of pigments for paints and varnishes with anticorrosive properties. *Energy and material-saving environmentally friendly technologies: abstracts of the IX Intern. conf. Grodno, 2011*, pp. 42–43.
12. Zhavoronok E.S., Senchikhin I.N. Evaluation of the crosslink density of a densely reticulated polymer taking into account the rigidity of the chain fragment between the network nodes. *Vysokomolekulyarnye soyedineniya. Series B*, 2019, vol. 61, no. 4, pp. 282–288.
13. Pyrikov A.V., Loiko D.P., Kochergin Yu.S. Modification of epoxy resins with liquid polysulfide and carboxylate butadiene rubbers. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, 2010, no. 1, pp. 28–33.
14. Eselev A.D., Bobylev V.A. Epoxy resins and hardeners for the production of paints and varnishes. *Lakokrasochnye materialy i ikh primeneniye*, 2005, no. 10, pp. 16–25.
15. Kochnova Z.A., Zhavoronok E.S., Chalykh A.E. *Epoxy resins and hardeners: industrial products*. Moscow: Paint Media, 2006, 200 p.
16. Chebotareva E.G., Ogrel L.Yu. Modern trends in the modification of epoxy oligomers. *Fundamentalnye issledovaniya*, 2008, no. 4, pp. 102–104.
17. Chalykh A.E., Kochnova Z.A., Zhavoronok E.S. Baru R.L. Chemical transformations and rheokinetics in the system carboxyl-containing rubber–epoxy oligomer. *Izvestiya vuzov. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya*, 2007, vol. 50, no. 1, pp. 43–47.
18. Kablov E.N. Innovative developments of FSUE «VIAM» SSC of RF on realization of «Strategic directions of the development of materials and technologies of their processing for the period until 2030». *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2015, no. 1 (34), pp. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
19. Kuznetsova V.A., Semenova L.V., Shapovalov G.G. Development trends in the field of anticorrosive polymeric systems for corrosion protection of fixing connections of contact couples of combined structures (review). *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2017, no. 1 (46), pp. 25–31. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-1-25-31.
20. Kovrizhkina N.A., Kuznetsova V.A., Silaeva A.A., Marchenko S.A. Ways to improve the properties of paint coatings by adding different fillers (review). *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2019, no. 4 (57), pp. 41–48. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-4-41-48.
21. Chalykh A.E., Zhavoronok E.S., Kochnova Z.A. Interaction of carboxyl-containing nitrile rubber and epoxy oligomer. *Vysokomolekulyarnye soyedineniya. Series B*, 2010, vol. 52, no. 5, pp. 880–887.

Информация об авторах

Кузнецова Вера Аркадьевна, начальник сектора, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Емельянов Виктор Владимирович, инженер 2 категории, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Марченко Сергей Андреевич, инженер 1 категории, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Куршев Евгений Васильевич, инженер 1 категории, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Information about the authors

Vera A. Kuznetsova, Head of Sector, Candidate of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Viktor V. Yemelyanov, Second Category Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Sergey A. Marchenko, First Category Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Evgeny V. Kurshev, First Category Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Статья поступила в редакцию 31.10.2022; одобрена и принята к публикации после рецензирования 31.10.2022.

The article was submitted 31.10.2022; approved and accepted for publication after reviewing 31.10.2022.