

УДК 678.026

*В.А. Кузнецова¹, А.А. Силаева¹, Г.Г. Шаповалов¹, С.А. Марченко¹***ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМА ПЛАСТИКАЦИИ
КАРБОКСИЛАТНОГО БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНОГО КАУЧУКА
И ЕГО СОДЕРЖАНИЯ В ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЕ
НА СВОЙСТВА ТОПЛИВОСТОЙКОГО ПОКРЫТИЯ**

DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-6-65-74

Данная работа посвящена исследованию влияния содержания и времени пластикации карбоксилатного бутадиен-нитрильного каучука на свойства топливостойкого эпоксидно-каучукового покрытия. Проведены исследования сорбции свободных пленок и покрытий в воде и топливе, определены физико-механические характеристики (прочность при растяжении σ_p и относительное удлинение ε_p), на основании чего выбраны оптимальное содержание и продолжительность пластикации каучука для достижения требуемых свойств. Установлено, что содержание каучука и способ его подготовки влияют на важнейшие показатели для топливостойких покрытий.

Ключевые слова: топливостойкие покрытия, каучук, эпоксидная смола, кривые сорбции, физико-механические испытания, свободные пленки.

*V.A. Kuznetsova¹, A.A. Silaeva¹, G.G. Shapovalov¹, S.A. Marchenko¹***RESEARCH OF INFLUENCE OF MODE OF PLASTIKATION
OF CARBOXYLATED BUTADIENE NITRILE RUBBER
AND ITS CONTENTS IN POLYMERIC MATRIX
ON PROPERTIES OF FUEL RESISTANT COATING**

In this work the analysis of researches of influence of the contents and time of plastikation of carboxylated butadiene nitrile rubber for properties of fuel resistant epoxy and rubber coatings is carried out. Researches of absorption process of free films and coatings on metal plates in water and in fuel were conducted, physicomachanical characteristics (tensile strength at break σ_p and relative lengthening ε_p) on the basis of what the optimum contents and time of plastikation of rubber for achievement of required properties was chosen. It is established that the content of rubber and way of its preparation influences the major indicators for fuel resistant coatings.

Keywords: fuel resistant coatings, rubber, epoxy, absorption curves, physicomachanical tests, free films.

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 современной авиационной техники все более широкое применение находят топливостойкие покрытия, которые используются для защиты топливных кессон-баков. Одним из наиболее важных требований к таким покрытиям является их водо- и топливостойкость, поскольку в процессе эксплуатации покрытие на протяжении длительного времени находится в контакте с топливом, при этом за счет перепада температур образуется водный конденсат, который оседает на дно топливного бака [1–6].

Под водо- и топливостойкостью принято понимать способность полимерного покрытия противостоять и сохранять свои свойства при длительном воздействии воды или жидкого топлива [7–9].

Известно, что при взаимодействии полимеров с агрессивными средами протекает целый ряд физических и химических процессов, из которых наиболее важными являются:

- адсорбция агрессивной среды на поверхности полимера;
- диффузия агрессивной среды в объеме полимера;
- химическая реакция агрессивной среды с химически нестойкими связями полимера;
- диффузия продуктов деструкции к поверхности полимера;
- десорбция продуктов деструкции с поверхности полимера [10–12].

Процесс переноса низкомолекулярных физически агрессивных жидкостей в полимере происходит по механизму активированной диффузии, а также по механизму субмикроракапиллярного потока, за счет образования в структуре полимера микропор [13–15].

При анализе научно-технической литературы установлено, что на диффузионные процессы, протекающие в полимере, и его способность к набуханию влияют следующие факторы:

- химическая природа полимера;
- молекулярная масса полимера;
- гибкость цепи полимера;
- плотность упаковки макромолекул;
- фазовое состояние полимера;
- наличие и частота пространственной сетки [16, 17].

Существенное влияние на процесс взаимодействия с жидкой средой (топливостойкостью и водостойкостью) является введение в полимерную систему модификаторов, отвердителей и наполнителей, влияющих на структуру полимерной композиции, а также технологические режимы их изготовления [18].

Наиболее часто в качестве пленкообразующего используются эпоксидные олигомеры, модифицированные каучуками. Ранее [19–21] установлено, что применение в качестве модификатора нитрильных карбоксилатных каучуков в количествах 20–25% (по массе) способствует повышению эластичности и устойчивости к воздействию агрессивных сред. При этом образуется двухфазная полимерная система, в которой непрерывной фазой является эпоксидный олигомер, а дисперсной фазой – каучук.

При отверждении эпоксидных пленкообразующих отвердителями аминного типа, в том числе алкоксисиланами, образуются достаточно прочные покрытия, обладающие высокими адгезионными свойствами [22–24].

Для улучшения совместимости эпоксидных диановых олигомеров (молекулярная масса ~900–1100) с твердыми карбоксилатными бутадиен-нитрильными каучуками (молекулярная масса ~25000) наиболее часто используется процесс пластикации каучука, когда его подвергают механической деструкции на вальцах. Результатом пластикации каучука является уменьшение его молекулярной массы, улучшение совместимости с эпоксидными олигомерами, растворимости в органических растворителях, а также снижение вязкости раствора каучука, что способствует улучшению технологических свойств покрытий при нанесении.

В данной работе исследовано влияние эластомерного модификатора бутадиен-акрилонитрильного карбоксилатного каучука и продолжительности его пластикации на свойства полимерной композиции для топливостойкого покрытия с целью определения оптимального состава полимерной матрицы, а также оптимального режима его пластикации при изготовлении топливостойкого покрытия.

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

В качестве объектов исследования выбраны композиции на основе эпоксидного дианового олигомера с молекулярной массой $\sim(900-1100)$, модифицированные карбоксилатным бутадиен-акрилонитрильным каучуком, в качестве пленкообразующего для топливостойких лакокрасочных покрытий. Эпоксидно-каучуковые композиции отверждались кремнийорганическим амином. Исследовали полимерные системы с различным содержанием карбоксилатного бутадиен-акрилонитрильного каучука с содержанием метакриловой кислоты 1,25% (по массе). На основе эпоксидно-каучуковых композиций получены свободные пленки для изучения их прочностных (σ_p) и деформационных (ϵ_p) характеристик, а также исследования кинетики сорбции свободных пленок эпоксидно-каучуковых композиций в топливе и воде [26]. Исследование процесса сорбции проводили на свободных пленках эпоксидно-каучуковых композиций, а также на лаковых покрытиях, полученных на основе эпоксидно-каучуковых полимерных систем, сформированных на подложке сплава Д16 Ан.Окс.нхр. При исследовании сорбционных процессов использован гравиметрический метод по изменению массы при испытании в топливе и воде при температуре 20°C.

Механические свойства свободных пленок определяли на разрывной машине в соответствии с ГОСТ 18299–72 при скорости нагружения образца 5 мм/мин.

Пластикацию каучука проводили на вальцах резиноперерабатывающего типа ПД 630 315/315Л при температуре, не превышающей 40°C.

Результаты

Известно, что модифицирование эпоксидных олигомеров каучуками существенно влияет на сорбционные свойства пленок [14]. Определяли сорбционные свойства свободных пленок и покрытий на основе эпоксидно-каучуковых композиций при контакте с топливом и водой, присутствующей в кессон-баках в виде водного конденсата. На рис. 1 приведены результаты, полученные при исследовании кинетики сорбции в зависимости от состава эпоксидно-каучуковых композиций в покрытиях и свободных пленках в топливе. Из полученных результатов следует, что для всех композиций происходит увеличение массы. При этом достижение равновесной сорбции протекает в одну стадию и достаточно быстро. Такие закономерности наблюдаются как для покрытий на подложке сплава Д16 Ан.Окс.нхр, так и для свободных пленок.

Анализ кривых равновесной сорбции лаковых покрытий и свободных пленок в топливе показывает, что сорбция топлива покрытием на основе эпоксидно-каучуковых композиций на подложке увеличивается с повышением содержания в композиции доли каучука (рис. 2). Для свободных пленок такая зависимость наблюдается для содержания каучука в полимерной композиции до 20% (по массе), после чего сорбция топлива свободной пленкой уменьшается. Следует отметить, что сорбция покрытием топлива значительно ниже, чем сорбция воды. После достижения состояния равновесия сорбция воды свободными пленками, в зависимости от количества в композиции каучука, может достигать 20%. Следует обратить внимание на резкое увеличение значений на кривой сорбции воды свободной пленкой при введении в композицию 25–30% (по массе) каучука, что может быть связано с изменением надмолекулярной структуры покрытий. На покрытии, нанесенном на подложку из сплава Д16 Ан.Окс.нхр, интенсивного увеличения значений на кривой сорбции не наблюдается (в сравнении со свободной пленкой). Это может быть связано с тем, что сорбция воды полимерным покрытием, сопровождаемая увеличением объема покрытия, при высокой адгезионной прочности

покрытия к подложке и небольшой толщине покрытия снижается, так как увеличение объема в приграничном слое затруднено. В реальных условиях эксплуатации воздействие воды на лакокрасочное покрытие, применяемое для защиты кессон-бака, происходит после воздействия топлива, поскольку водный подтопливный слой образуется при эксплуатации при резком изменении температуры.

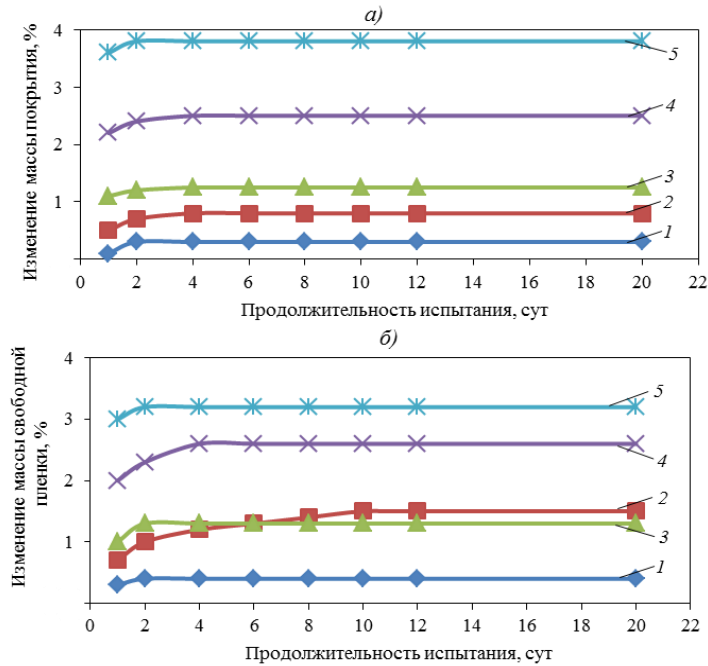


Рис. 1. Кинетические кривые сорбции покрытий (а) и свободных пленок (б) в топливе при содержании каучука 10 (1), 20 (2), 25 (3), 30 (4) и 40% (по массе) (5)

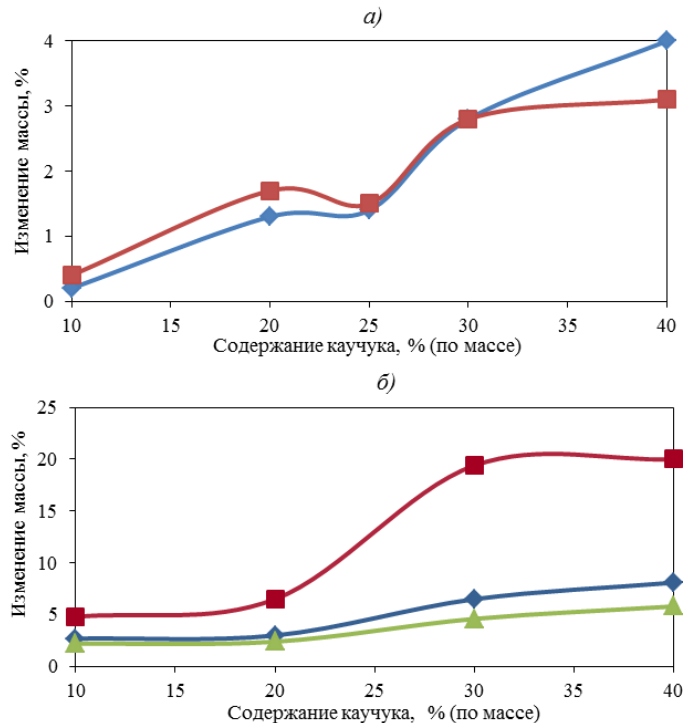


Рис. 2. Влияние содержания каучука на сорбцию топлива (а) и воды (б) покрытиями (■) и свободными пленками (◆) эпоксино-каучуковых композиций при температуре 20°C (▲ – покрытиями после выдержки в топливе)

Исследовано влияние содержания каучука на механические свойства (σ_p , ϵ_p) свободных пленок, результаты приведены на рис. 3. На кривой зависимости прочности (σ_p) от содержания каучука наблюдается экстремальное повышение значений разрывной прочности с четко выраженным максимумом. При этом максимум для смеси карбоксилатного бутадиен-нитрильного каучука с эпоксидным олигомером приходится на их массовое соотношение от 15/85 до 25/75. Экстремальное повышение значение прочности, вероятно, связано с образованием переходных надмолекулярных структур эпоксидного олигомера и каучука. При этом значения относительного удлинения при разрыве прямо пропорционально зависят от содержания каучука, с увеличением содержания каучука происходит ожидаемое увеличение значений относительного удлинения. Анализируя результаты определения механических свойств свободных пленок эпоксидно-каучуковых композиций, можно предположить, что оптимальное содержание каучука в эпоксидно-каучуковой композиции находится в пределах от 15 до 25% (по массе), при этом наиболее высокими механическими свойствами обладает композиция, содержащая 25% (по массе) каучука.

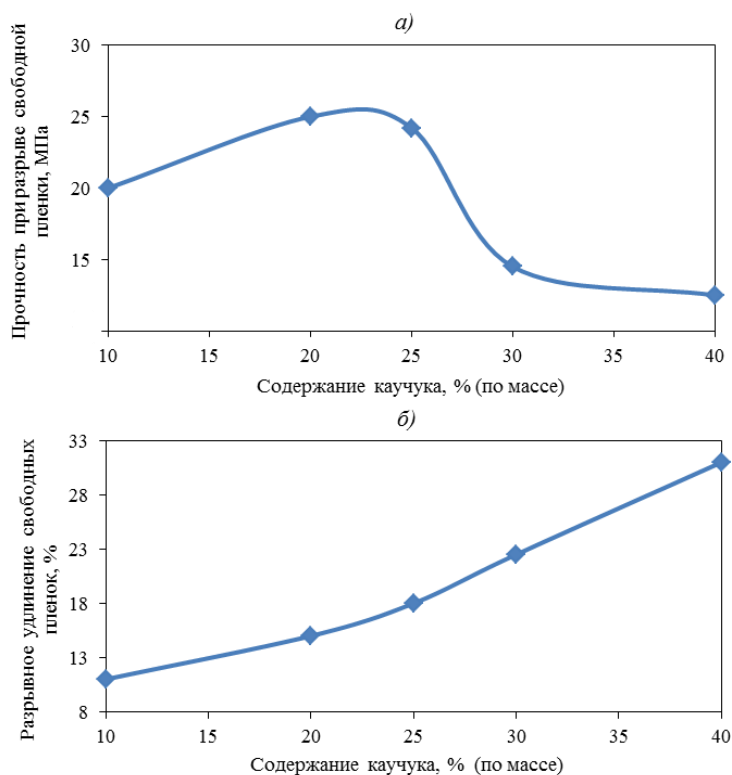


Рис. 3. Влияние содержания карбоксилатного бутадиен-нитрильного каучука на прочность (а) и удлинение (б) при разрыве свободных пленок эпоксидно-каучуковых композиций

Как указано ранее, большое влияние на совместимость эпоксидного олигомера с карбоксилатным бутадиен-нитрильным каучуком оказывает продолжительность пластикации. Для определения оптимальной продолжительности пластикации каучука выбрана эпоксидно-каучуковая композиция при соотношении эпоксидного олигомера и каучука 75:25 мас. ч.

Интересные результаты получены при исследовании влияния продолжительности пластикации карбоксилатного бутадиен-нитрильного каучука на механические свойства свободных пленок эпоксидно-каучуковых композиций. Результаты исследований приведены в табл. 1 и на рис. 4.

Таблица 1

Влияние продолжительности пластикации бутадиен-нитрильного карбоксилатного каучука на механические свойства свободных пленок эпоксидно-каучуковых композиций с расчетным (эквивалентным) количеством отвердителя АГМ-9, равным 0,875

Продолжительность пластикации, мин	σ_p , МПа	ε_p , %
0	20,18	23,37
5	21,78	26,90
10	24,24	33,12
15	25,31	32,10
20	25,43	31,05

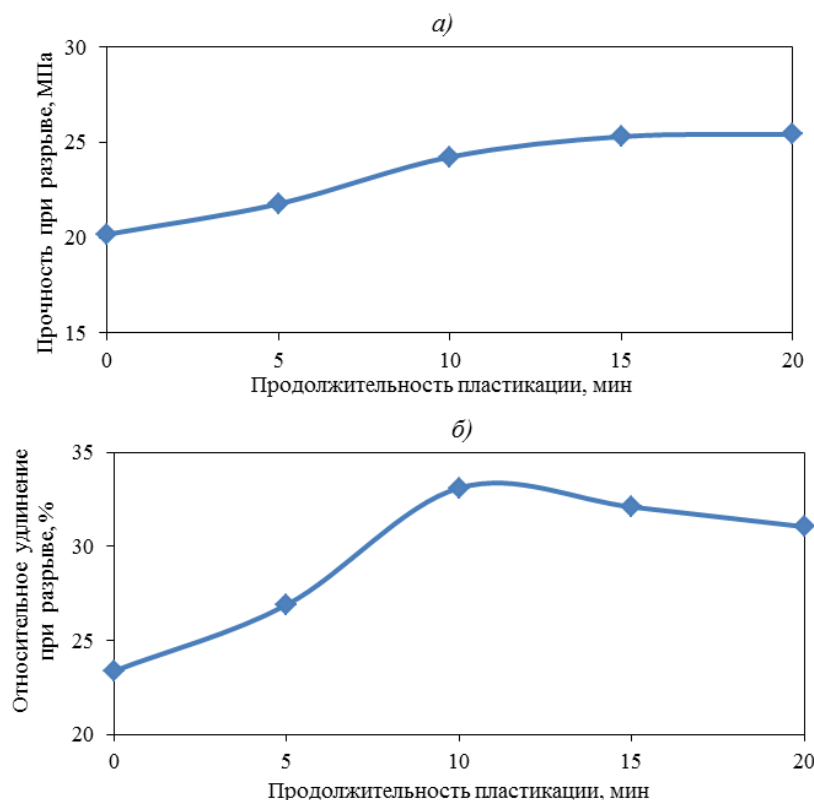


Рис. 4. Влияние продолжительности пластикации каучука СКН-26-1,25 на прочность (а) и относительное удлинение (б) при разрыве свободных пленок эпоксидно-каучуковых композиций

Выяснилось, что продолжительность пластикации каучука влияет на механические свойства свободных пленок – при увеличении этого параметра до 10–15 мин наблюдается повышение значений прочности и относительного удлинения. Это объясняется тем, что при пластикации каучука происходит механическая деструкция его макромолекул, которая, с одной стороны, может улучшить совместимость эпоксидного олигомера и каучука, а с другой – возможно образование активных радикалов, которые могут вступать во взаимодействие с эпоксидными группами олигомера [27, 28]. Увеличение продолжительности пластикации каучука не приводит к существенному изменению механических свойств свободных пленок.

Исследовано влияние содержания отвердителя АГМ-9 (кремнийорганического амина) на механические свойства эпоксидно-каучуковых композиций при соотношении эпоксидного олигомера и каучука 75:25 мас. ч. Результаты приведены в табл. 2 и на рис. 5.

Влияние количества отвердителя на механические свойства свободных пленок эпоксидно-каучуковых композиций при продолжительности пластикации 10 мин

Расчетное количество отвердителя АГМ-9*	σ_p , МПа	ϵ_p , %
0,75P	14,74	54,6
0,875P	24,24	32,3
1,0P	16,12	49,2
1,25P	16,0	48,4

* P – расчетное (эквивалентное) количество.

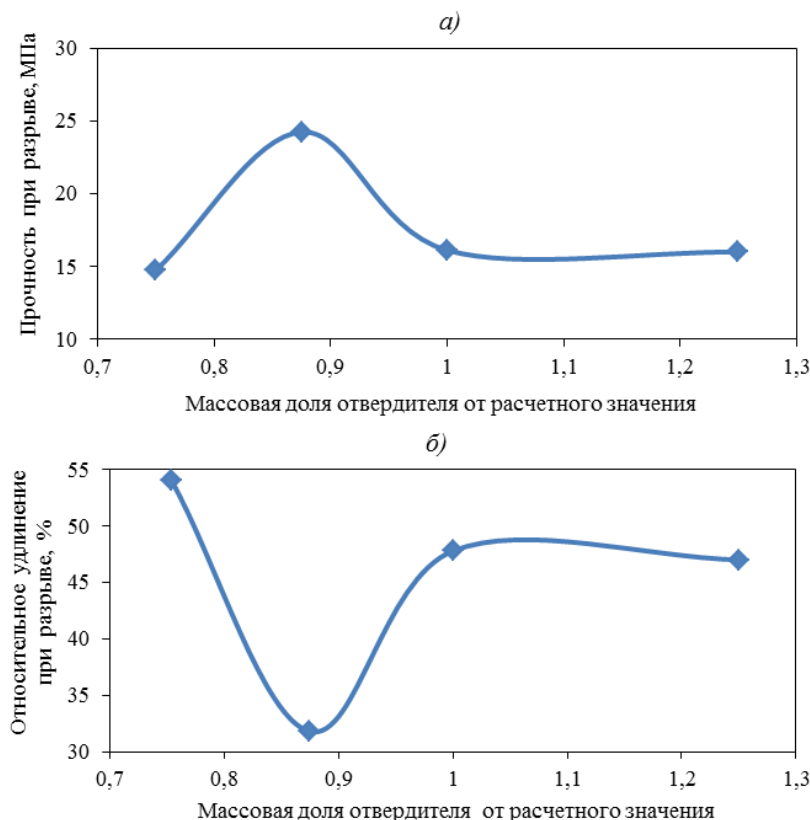


Рис. 5. Влияние содержания отвердителя на прочность (а) и относительное удлинение (б) при разрыве свободных пленок эпоксидно-каучуковых композиций

Из представленных результатов следует, что на механические характеристики свободных пленок эпоксидно-каучуковых композиций существенное влияние оказывает содержание отвердителя. На кривой зависимости прочности пленки при разрыве (σ_p) имеется максимум, соответствующий содержанию отвердителя 0,875 от эквивалентного значения. При этом количестве отвердителя значение удлинения при разрыве эпоксидно-каучуковой композиции минимально и соответствует 32,3%. Наблюдаемый максимум, возможно, связан с участием в процессе структурообразования карбоксильных групп.

Исследовано влияние продолжительности пластикации каучука на кинетику сорбции свободных пленок эпоксидно-каучуковых композиций в воде при соотношении эпоксидного олигомера и каучука 75:25 мас. ч. Из кинетических кривых сорбции следует (рис. 6), что продолжительность пластикации каучука в эпоксидно-каучуковых композициях влияет на процесс сорбции в воде. Следует отметить, что пластикация

каучука в течение 10 мин приводит к уменьшению сорбции свободной пленки эпоксидно-каучуковой композиции с 10 до 7% (по массе). Следовательно, оптимальной продолжительностью пластикации карбоксилатного бутадиен-нитрильного каучука, обеспечивающего повышение механических свойств свободных пленок эпоксидно-каучуковых композиций, является 10 мин. Полученные результаты исследований кинетики сорбции воды свободными пленками эпоксидно-каучуковых композиций подтвердили выбранный режим пластикации каучука при исследовании механических свойств свободных пленок эпоксидно-каучуковых композиций.

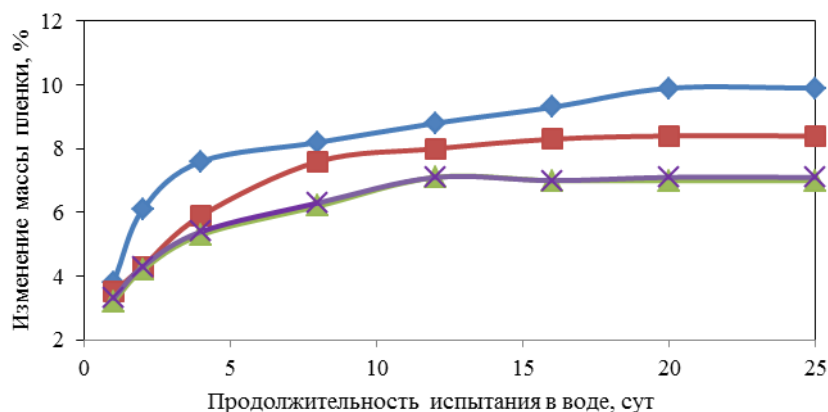


Рис. 6. Влияние продолжительности пластикации в течение 5 (■), 10 (▲) и 15 мин (×) каучука СКН-26-1,25 на сорбцию свободных пленок эпоксидно-каучуковых композиций в воде (◆ – без пластикации)

На основе полученных результатов выбран состав эпоксидно-каучуковой композиции, изготовлены лаковые покрытия и исследованы их физико-механические свойства в исходном состоянии и после длительных испытаний в топливе ТС-1 и в воде при температуре 20°С в течение 3000 ч. Результаты приведены в табл. 3.

Таблица 3

Физико-механические свойства эпоксидно-каучуковых лаковых покрытий в исходном состоянии и после длительных испытаний в топливе ТС-1 и воде

Адгезия к сплаву Д16-АТ Ан.Окс.нхр, балл	Прочность при растяжении, мм	Прочность при ударе, см (Дж)	Твердость по прибору ТМЛ, отн. ед.	Набухание, %
В исходном состоянии				
1	7,5	50 (5,0)	0,4	–
После 3000 ч испытаний в дистиллированной воде				
1	8,0	45 (4,5)	0,36	2,4
После 3000 ч испытаний в топливе ТС-1				
1	7,7	45 (4,5)	0,37	1,6

Из полученных результатов следует, что лаковое покрытие на основе эпоксидно-каучуковой полимерной матрицы обладает высокой адгезией к алюминиевому сплаву Д16-АТ Ан.Окс.нхр как в исходном состоянии, так и после длительных испытаний в дистиллированной воде и топливе ТС-1 при температуре 20°С в течение 3000 ч.

При этом длительное воздействие воды и топлива не приводит к существенному изменению твердости и физико-механических свойств.

Следует отметить, что длительное воздействие воды и топлива в течение 3000 ч оказывает пластифицирующее действие на эпоксидно-каучуковое лаковое покрытие, приводящее к:

- повышению эластичности при растяжении после воздействия топлива – на 2,7%, дистиллированной воды – на 7,0%;
- снижению твердости после воздействия топлива – на 7,5%, дистиллированной воды – на 10,0%;
- снижению прочности при ударе после воздействия топлива и дистиллированной воды – на 10,0%. При этом набухание покрытия в топливе после 3000 ч испытаний не превышает 1,6%, а в дистиллированной воде 2,4%.

Обсуждение и заключения

Исследовано влияние эластомерного модификатора бутадиен-нитрильного каучука и технологии его пластикации на свойства полимерной композиции для топливостойкого покрытия с целью определения оптимального режима пластикации каучука и определения оптимального состава полимерной матрицы для топливостойкого покрытия.

Исследована кинетика топливонабухаемости и водопоглощения (сорбции) лаковых покрытий и свободных пленок, полученных на основе эпоксидно-каучуковых полимерных композиций. Анализ кривых равновесной сорбции лаковых покрытий и свободных пленок в топливе показывает, что сорбция топлива покрытием на основе эпоксидно-каучуковых композиций на подложке увеличивается с повышением содержания в композиции доли каучука.

Исследовано влияние содержания каучука на механические свойства (σ_p , ϵ_p) свободных пленок на основе эпоксидно-каучуковых композиций.

Исследовано влияние продолжительности пластикации карбоксилатного бутадиен-нитрильного каучука на механические свойства свободных пленок, а также на топливо- и водостойкость.

Выбран оптимальный режим пластикации каучука, обеспечивающий улучшение сорбционных, физико-механических свойств эпоксидно-каучуковых композиций, а также технологических свойств (снижение вязкости при изготовлении топливостойкой грунтовки).

ЛИТЕРАТУРА

1. История авиационного материаловедения. ВИАМ – 80 лет: годы и люди / под общ. ред. Е.Н. Каблова. М.: ВИАМ, 2012. 520 с.
2. Каблов Е.Н., Лукин В.И., Оспенникова О.Г. Перспективные алюминиевые сплавы и технологии их соединения для изделий авиакосмической техники // Тез. докл. 2-ой Междунар. конф. «Алюминий-21. Сварка и пайка». Спб, 2012. Ст. 08.
3. Каблов Е.Н. На перекрестке науки, образования и промышленности // Эксперт. 2015. №15 (941). С. 49.
4. Каблов Е.Н. Из чего сделать будущее? Материалы нового поколения, технологии их создания и переработки – основа инноваций // Крылья Родины. 2016. №5. С. 8–18.
5. Шавнев А.А., Курбаткина Е.И., Косолапов Д.В. Методы соединения алюминиевых композиционных материалов (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2017. №3 (48). С. 35–42. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-3-35-42.
6. Кондрашов Э.К., Кузнецова В.А., Семенова Л.В., Лебедева Т.А. Основные направления повышения эксплуатационных, технологических и экологических характеристик лакокрасочных покрытий для авиационной техники // Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 96–102.
7. 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.

8. 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.
9. Чеботаревский В.В., Кондрашов Э.К. Технология лакокрасочных покрытий в машиностроении. М.: Машиностроение, 1978. С. 214–220.
10. Воробьев Г.Я. Химическая стойкость полимерных материалов. М.: Химия, 1981. 296 с.
11. Зуев Ю.С. Разрушение полимера под действием агрессивных сред. 2-е изд. М.: Химия, 1972. 232 с.
12. Чертков Я.В., Спиркин В.Г. Применение реактивных топлив в авиации. М.: Транспорт, 1974. 160 с.
13. Нарисава И. Прочность полимерных материалов. Пер. с яп. М.: Химия, 1987. 364 с.
14. Чалых А.Е. Диффузия в полимерных системах. М.: Химия, 1987. 312 с.
15. Еськов А.А., Лебедева Т.А., Белова М.В. Лакокрасочные материалы с пониженным содержанием летучих веществ (обзор) // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн.* 2015. №6. Ст. 08. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 01.02.2019). DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-6-8-8.
16. Кузнецова В.А., Кузнецов Г.В., Шаповалов Г.Г. Исследование влияния молекулярной массы эпоксидной смолы на адгезионные, физико-механические свойства и эрозионную стойкость покрытий // *Труды ВИАМ: электрон. научн.-технич. журн.* 2014. №8. Ст. 08. URL: <http://www.viam-works.ru>. (дата обращения: 19.11.2018). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-8-8-8.
17. 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.
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. Кузнецова В.А., Кузнецов Г.В. Тенденции развития в области топливостойких лакокрасочных покрытий для защиты топливных кессон-баков летательных аппаратов (обзор) // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн.* 2014. №11. Ст. 08. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 07.12.2018). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-11-8-8.
20. Кочнова З.А., Жаворонок Е.С., Котова А.В. Особенности получения эпоксидно-каучуковых композиций на основе жидких бутадиен-нитрильных каучуков и эпоксидных олигомеров // *Лакокрасочные материалы и их применение*. 1998. №11. С. 27–28.
21. Состав для покрытия по металлу: пат. 2260610С1 Рос. Федерация; заявл. 13.05.04; опубл. 20.09.05.
22. Сорокин М.Ф., Кочнова З.А., Захарова А.А., Голова Н.А. Отверждение эпоксидных олигомеров аминоалкоксисиланами // *Лакокрасочные материалы и их применение*. 1986. №5. С. 24–28.
23. Берлин А.А., Басин В.Е. Основы адгезии полимеров. М.: Химия, 1969. 319 с.
24. Кузнецова В.А., Деев И.С., Кондрашов Э.К., Кузнецов Г.В. Влияние отвердителей на микроструктуру и свойства модифицированного эпоксидного связующего для топливостойкого покрытия // *Все материалы. Энциклопедический справочник*. 2012. №11. С. 38–41.
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.
26. 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.
27. Кочнова З.А. Модифицированные эпоксидные лакокрасочные материалы для антикоррозионной защиты: дис. ... д-ра хим. наук. М.: МХТИ, 1990. 464 с.
28. Сорокин М.Ф., Кочнова З.А., Захарова А.А., Голова Н.А. Отверждение эпоксидных олигомеров аминоалкоксисиланами // *Лакокрасочные материалы и их применение*. 1986. №5. С. 24–27.