



УДК 629.7.023.222

DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-8-5-5

АДГЕЗИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ТРИАЛКОКСИСИЛАНОВ ДЛЯ АЛЮМИНИЯ И СТАЛИ

Н.В. Кулюшина

кандидат технических наук

И.А. Козлов

А.Е. Кутырев

кандидат химических наук

Т.А. Ваграмян

доктор технических наук

Август 2015

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

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

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

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

Н.В. Кулюшина¹, И.А. Козлов¹, А.Е. Кутырев¹, Т.А. Ваграмян²

АДГЕЗИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ТРИАЛКОКСИСИЛАНОВ ДЛЯ АЛЮМИНИЯ И СТАЛИ

В качестве альтернативы процессам фосфатирования стали и хромирования алюминия предлагается более экологически безопасный процесс формирования адгезионных слоев на металлической поверхности в растворах кремнийорганических соединений. На основании экспериментальных данных разработаны водные составы на основе триалкоксисиланов и определены оптимальные параметры процесса формирования кремнийорганических покрытий на металлической поверхности. Предлагаемые процессы нанесения адгезионных покрытий включают меньшее количество стадий подготовки металлической поверхности как алюминиевых сплавов, так и стали к нанесению последующего ЛКП.

Ключевые слова: *силаны, коррозионная стойкость, подготовка поверхности перед окрашиванием, защитные адгезионные покрытия.*

N.V. Kulyushina, I.A. Kozlov, A.E. Kutyrev, T.A. Vagramyan

ADHESIVE COATINGS ON THE BASIS OF TRIALKOXYSILANES FOR ALUMINUM AND STEEL

A more environment-saving process of formation of adhesive layers on metal surfaces in solutions of organic silicone compounds is offered as an alternative to the processes of phosphating of steels and chromating of aluminum. Trialkoxysilanes-based water compositions were developed and optimum parameters of the process of forming of organic silicone coatings on metallic surfaces were determined on the basis of experimental data. The offered processes of formation of adhesive coatings have a smaller quantity of stages of surface preparation (both aluminum alloys and steels) for the subsequent application of paint coating.

Keywords: *silanes, corrosion resistance, surface preparation before painting, protective adhesion coating.*

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

²Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева [D.I. Mendeleev University of Chemical Technology] E-mail: rector@muctr.ru

Введение

В настоящее время активно развиваются технологии получения многофункциональных материалов, применяющихся в различных отраслях промышленности и использующихся для создания военной и специальной техники нового поколения [1, 2]. Современные материалы обеспечивают более высокие прочностные свойства деталям и конструкциям приборов, аппаратов и машин, но, несмотря на хорошие физико-механические свойства, нуждаются в дополнительной антикоррозионной защите. Поэтому увеличение стойкости конструкций из новых материалов к воздействию внешних факторов окружающей среды является важной научно-технической задачей [3, 4].

Одним из наиболее эффективных способов защиты металла от коррозии является нанесение комплексной системы покрытий, состоящей из неметаллического адгезионного слоя и системы лакокрасочных покрытий (ЛКП). В последние годы российскими и зарубежными исследователями уделяется большое внимание разработке новых лакокрасочных и полимерных материалов с хорошей адгезией и высокими защитными свойствами [5, 6]. Проводимые в данном направлении отечественные исследования позволили создать альтернативу импортным технологиям и материалам и внедрить их на некоторых промышленных предприятиях РФ [7, 8]. Появляющиеся на рынке новые системы лакокрасочных материалов требуют совершенствования подготовки поверхности к окрашиванию, от которой зависит срок службы лакокрасочного покрытия [9].

Существующие технологические процессы подготовки металлических изделий к окрашиванию – такие как кристаллическое и аморфное фосфатирование стали и хромирование алюминиевых сплавов – способствуют улучшению защитной способности и адгезии системы ЛКП. Однако данные процессы имеют ряд существенных недостатков: токсичность используемых химических соединений, высокая трудоемкость процесса, сложный контроль производственного цикла, шламообразование [10]. Поэтому в ряде случаев применение традиционных технологий подготовки металлической поверхности к окрашиванию экономически и экологически не оправдано.

Ряд зарубежных фирм в качестве альтернативы технологиям фосфатирования и хромирования предлагают процессы подготовки поверхности металлов с использованием кремнийорганических соединений, обеспечивающие адгезионные свойства ЛКП к металлической основе. В связи с тем, что составы импортных растворов и режимы процессов не раскрываются, а отечественных аналогов не существует, разработка отече-

ственной импортозамещающей технологии нанесения кремнийорганических покрытий является актуальной задачей.

Материалы и методы

Для приготовления растворов применяли реактивы квалификации не ниже «ч». В качестве образцов использовали холоднокатаную сталь отечественного производства марки 08пс толщиной 0,8 мм и алюминиевый сплав холодного прессования АД1 толщиной 0,8 мм, широко применяющиеся в машиностроении для производства изделий, подлежащих окрашиванию.

Предварительная подготовка включала обезжиривание уайт-спиритом и активацию стальных образцов в 10%-ном растворе соляной кислоты с добавлением ингибитора (4%-ного уротропина) в течение 30 с при 20–25°C, обезжиривание алюминиевых образцов в 5%-ном растворе едкого натрия в течение 5 мин при 20–25°C. Для формирования защитных адгезионных слоев подготовленные образцы погружали в раствор кремнийорганических соединений, затем высушивали в сушильном шкафу.

Для ускоренной оценки защитной способности кремнийорганических покрытий использовали капельный метод в соответствии с ГОСТ 9.302–88. На пассивированную стальную поверхность наносили каплю контрольного раствора, содержащего 40 мл 0,5 М раствора $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 20 мл 10%-ного раствора NaCl и 0,8 мл 0,1 н. раствора HCl ; на поверхность алюминиевого сплава – 1 М раствор хлорного олова. Защитную способность покрытия (ЗСП) определяли как время до изменения цвета контрольного участка покрытия под каплей (от серого до красного цвета – на стали или до черного – на алюминиевом сплаве). Испытание проводили на 5–10 различных участках образца и рассчитывали среднее ЗСП.

Толщину покрытий оценивали эллипсометрическим методом с помощью эллипсометра фирмы Gaertner Scientific Corp. (США) с твердотельным лазером LSM-S-111.

Коррозионные испытания системы ЛКП, состоящей из двух слоев грунтовок ЭП-0215 или ЭП-076 с адгезионным грунтом, проводили в камере солевого тумана в соответствии со стандартом ASTM В 117 и ГОСТ 9.401–91. Критерием оценки защитных свойств системы покрытий являлась средняя ширина распространения коррозии от надреза, величина которой не должна превышать 2 мм после 480 ч испытаний в соответствии с требованиями указанных стандартов.

Адгезию лакокрасочного покрытия в сочетании с кремнийорганическим подслоем определяли методом решетчатого надреза в соответствии с ГОСТ 15140.

Результаты и обсуждение

Для исследований выбраны наиболее доступные кремнийорганические соединения (триалкоксисиланы) с различными функциональными группами (винил, первичный амин, диамин, меркапто), которые в настоящее время используют для производства коррозионностойких лакокрасочных материалов, клеев, герметиков.

Адгезионные кремнийорганические покрытия на металлических изделиях перед их окрашиванием предпочтительно формировать в водных растворах силанов, поскольку использование органических растворителей увеличивает как токсичность, так и пожаро- и взрывоопасность процесса.

Согласно литературным данным [11, 12], в водных растворах триалкоксисиланы гидролизуются с образованием силанольных соединений, имеющих активную функциональную силанольную группу, которая взаимодействует с гидроксильной группой на поверхности металла за счет водородных связей. В процессе сушки вследствие реакции дегидратации образуются более прочные ковалентные связи Si–O–Me, а также происходит полимеризация органических соединений благодаря образованию связей Si–O–Si между соседними молекулами. Однако в некоторых условиях гидролизованные триалкоксисиланы конденсируются между собой с образованием гелеобразных осадков, и в таком случае раствор становится непригодным для формирования покрытий. С учетом изложенного исследована способность выбранных кремнийорганических соединений образовывать стабильные водные растворы.

Результаты исследований показали (табл. 1), что стабильными являются разбавленные до 5% растворы аминоэтиламинопропилтриметоксисилана и 3-глицидопропилтриметоксисилана, в которых образовавшиеся в процессе гидролиза силанольные соединения относительно изолированы друг от друга и стабилизированы водородными связями с водой, а также смеси силанов винилтриацетоксисилана с *бис*(триметоксисилилпропил)-амином и 3-глицидопропилтриметоксисилана с *бис*(триметоксисилилпропил)-амином. Установлено, что быстрее всего триалкоксисиланы гидролизуются при pH=3,0–4,5, поэтому в ряде случаев исходные растворы триалкоксисиланов подкисляли гексафторциркониевой или уксусной кислотой до указанных значений pH. В некоторых случаях для ускорения стадии гидролиза в растворы добавляли этиловый или изопропиловый спирт [12].

Таблица 1

Характеристика растворов триалкоксисиланов

Наименование соединения	pH раствора	Продолжительность гидролиза, ч	Внешний вид раствора
Винилтриацетоксисилан	1–2	48	Дисперсный раствор молочного цвета с осадком в объеме раствора
3-глицидопропилтриметоксисилан	4,5	48	Прозрачный бесцветный раствор (без осадка)
<i>Бис</i> (триэтоксисилпропил)-тетрасульфид	8,5	90	Мутный раствор, осадок на дне емкости
Аминоэтиламинопропилтриметоксисилан	9,5–10,2	120	Прозрачный бесцветный раствор (без осадка)
<i>Бис</i> (триметоксисилпропил)-амин	11	120	Мутный раствор, осадок во всем объеме

Исследовано влияние состава растворов силанов на внешний вид формирующихся на стальной и алюминиевой поверхностях покрытий и их защитную способность. Из результатов, приведенных в табл. 2, видно, что лучшие по внешнему виду равномерные кремнийорганические покрытия формировались на стали из растворов 1, 5, 6, 7, 11; на алюминиевом сплаве – 1, 2, 5, 6, 7, 11. Результаты эллипсометрического анализа показали, что формирующиеся кремнийорганические покрытия имеют толщину 70–100 нм. Полученные в указанных растворах покрытия обладают хорошей защитной способностью (рис. 1), измеренной по методу Г.В. Акимова, как на стали (30–60 с), так и на алюминиевом сплаве (20–50 с).


Таблица 2


Состав раствора и внешний вид покрытий

Компонент	Содержание компонента, г/л, в растворе										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Аминоэтиламинопропилтриметоксисилан	–	–	–	50	–	–	–	–	–	10	1
<i>Бис</i> (триметоксисилпропил)-амин	15	6	–	–	50	50	17,5	50	17,5	–	–
Винилтриацетоксисилан	12	3	–	–	–	–	–	–	–	–	–
3-глицидопропилтриметоксисилан	–	–	5	–	–	–	32,5	–	32,5	–	–
Этиловый спирт	–	–	–	50	50	90	25	90	25	–	–
Изопропиловый спирт	–	–	–	–	–	–	–	–	–	10	–
Уксусная кислота	–	–	–	–	–	–	–	0,3	1,7	1,7	–
Гексафторциркониевая кислота	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	5
Внешний вид покрытия на стали											
Внешний вид покрытия на алюминии											

 – радужное, равномерное

 – бесцветное, равномерное

 – радужное, неравномерное

 – серое, равномерное

 – бесцветное, с подтеками

 – со следами вторичной коррозии

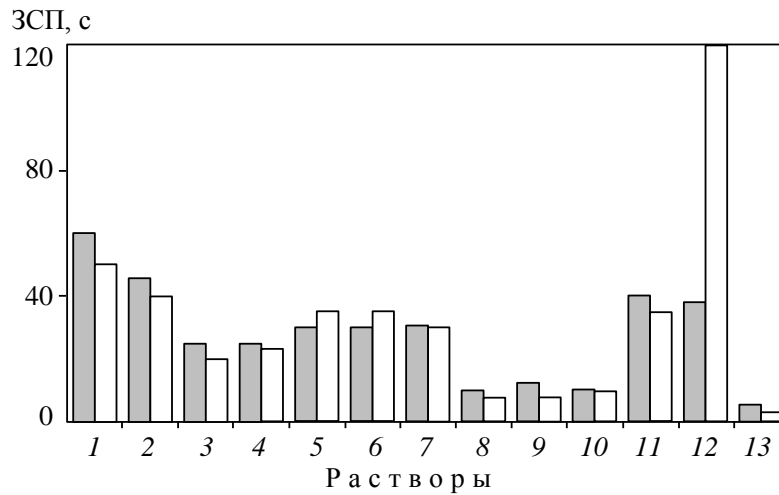


Рис. 1. Защитная способность (ЗСП) кремнийорганических покрытий, сформированных в растворах: 1–11 – номера растворов – см. табл. 2; 12 – фосфатирование стали в растворе КФ-14; хромирование алюминия в Экомет А101; 13 – сталь без покрытия:

■ – стальная основа; □ – алюминиевая основа

Проведены коррозионные испытания окрашенных стальных и алюминиевых образцов системой ЛКП с адгезионными покрытиями, сформированными в растворах 1–11, в сравнении с фосфатированными стальными и хромированными алюминиевыми образцами. Из приведенных на рис. 2 результатов видно, что ЛКП с адгезионным кремнийорганическим слоем, сформированным в растворах 1, 2, 11 и 12, удовлетворяют предъявляемым требованиям – ширина распространения коррозии от надреза не превышает 2,0 мм после 1000 ч испытаний.

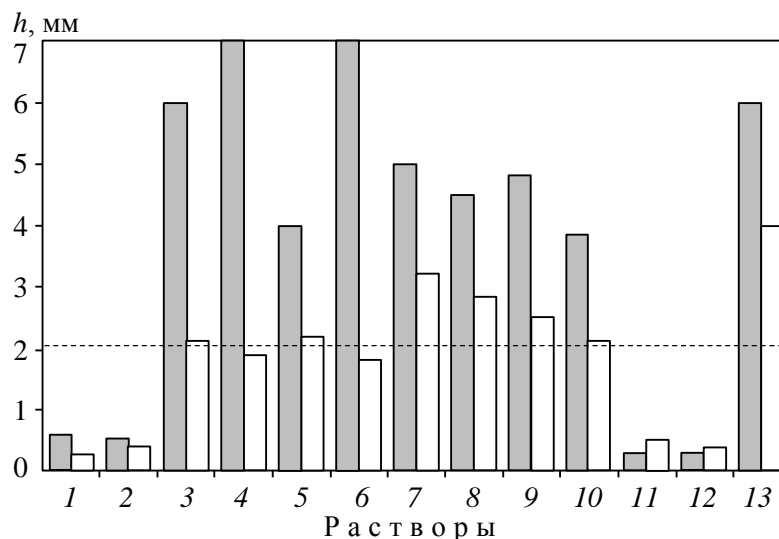


Рис. 2. Результаты коррозионных испытаний окрашенных образцов с адгезионным кремнийорганическим слоем, сформированным в растворах: 1–11 – номера растворов – см. табл. 2; 12 – фосфатирование стали в растворе КФ-14; хромирование алюминия в Экомет А101; 13 – сталь без покрытия:

■ – стальная основа; □ – алюминиевая основа

В остальных случаях наблюдалось недопустимо большое (>2 мм) распространение коррозии от места надреза и отслаивание ЛКП, косвенно свидетельствующее о плохих адгезионных свойствах кремнийорганических покрытий. Установлено, что наилучшей адгезией (1 балл) характеризуются ЛКП с фосфатным адгезионным слоем на стали, хроматным – на алюминиевом сплаве и с кремнийорганическим покрытием, сформированным как на стали, так и на алюминиевом сплаве в растворе *II*, содержащем аминоэтиламинопропилтриметоксисилан и гексафторциркониевую кислоту.

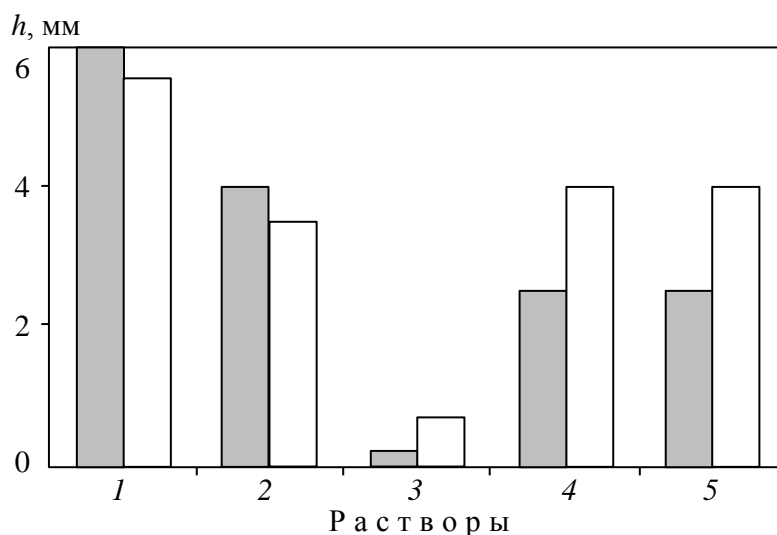


Рис. 3. Результаты коррозионных испытаний окрашенных образцов без адгезионного подслоя (1), с адгезионным кремнийорганическим слоем, сформированным в растворах аминоэтиламинопропилтриметоксисилана (1 г/л) без добавок (2) и с добавками ZrF_6^- (3); Ce^{3+} (4) и SiO_2 (5):

■ – стальная основа; □ – алюминиевая основа

Исследована возможность улучшения физико-механических характеристик покрытий путем введения в состав раствора ионов Ce (III) или мелкодисперсного диоксида кремния (SiO_2). Из приведенных на рис. 3 результатов циклических коррозионных испытаний видно, что ширина распространения коррозии от надреза не превышает 2 мм лишь для покрытий, сформированных в растворах с добавками гексафторциркониевой кислоты. Покрытия, формирующиеся в растворе аminosилана с добавками нитрата церия или диоксида кремния, не обеспечивают требуемых адгезии и защитной способности суммарного покрытия.

Улучшение адгезионных и защитных свойств покрытий обусловлено механизмом образования кремнийорганических слоев в присутствии гексафторциркониевой кислоты в растворе силанов. В процессе формирования адгезионного подслоя на металлической поверхности протекают следующие реакции: на микроанодных участках – травление металла $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$, на микрокатодных – восстановления ионов водорода $2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$. В результате происходит подщелачивание

приграничного слоя и осаждение гидроксида циркония, на поверхности обрабатываемого металла: $ZrF_6^{2-} + 4OH^- \rightarrow Zr(OH)_4 + 6F^-$. Силанольные группы аminosилана образуют химические связи с гидроксидами как циркония, так и металла подложки, а функциональные группы аminosилана образуют химические связи с ненасыщенными смолами лакокрасочного материала, обеспечивая хорошую адгезию ЛКП.

На основании данных по защитной способности кремнийорганических слоев, формируемых в растворах 1, 2 и 11, определены оптимальные параметры процесса, при которых удавалось формировать покрытия, не уступающие по своим функциональным свойствам импортным аналогам. Результаты испытаний показали, что лучшей защитной способностью обладали кремнийорганические пленки, сформированные после 1–3 мин обработки металлических изделий в рабочем растворе. При сокращении времени обработки (<1 мин) защитная способность покрытий ухудшается, по-видимому, в таких условиях с металлической поверхностью связывается недостаточное количество силанольных групп для образования плотного слоя. Увеличение времени обработки (>3 мин) не приводит к улучшению ни защитных свойств покрытий, ни адгезии последующего лакокрасочного покрытия. Установлено, что нагрев рабочего раствора – с 15 до 60°C – не оказывает влияния на качество формирующихся адгезионных слоев, поскольку в указанном интервале температур защитная способность сформированных покрытий не изменяется. Исследования проводили при различных температурах сушки металлических образцов после обработки в растворах кремнийорганических соединений. Обнаружено, что повышение температуры сушки образцов с 50 до 170°C приводило к росту защитной способности и улучшению адгезии последующего ЛКП. При дальнейшем увеличении температуры сушки (>200°C) металлических образцов ухудшались защитные характеристики покрытий.

Таким образом, на основании экспериментальных данных разработаны растворы на основе кремнийорганических соединений и определены оптимальные параметры процесса формирования адгезионных покрытий на стали и алюминии, не уступающих по свойствам фосфатным и хроматным слоям. Предлагаемый процесс нанесения кремнийорганических покрытий включает меньшее количество технологических операций подготовки металлической поверхности как алюминия, так и стали для последующего нанесения ЛКП (табл. 3). Такое сокращение стадий в производственном цикле позволяет снизить производственные затраты на воду и энергию. Кроме того, данная техноло-

гия формирования защитных адгезионных слоев не имеет существенных отходов в связи с отсутствием шлама и сточных вод, содержащих ионы тяжелых металлов.

Таблица 3

Сравнение процессов формирования адгезионных покрытий на стали и алюминии

Стадии процесса формирования адгезионных покрытий на стали		Стадии процесса формирования адгезионных покрытий на алюминиевом сплаве	
при фосфатировании	при нанесении кремний-органического покрытия	при хромировании	при нанесении кремний-органического покрытия
Обезжиривание	Обезжиривание	Обезжиривание	Обезжиривание
Промывка	Промывка	Промывка	Промывка
Промывка		Промывка	
Активация		Травление	
Фосфатирование	Обработка в растворе триалкоксисиланов	Промывка	
Промывка	Промывка	Промывка	Обработка в растворе триалкоксисиланов
Промывка		Хромирование	
		Промывка	
		Промывка	Промывка
Сушка	Сушка	Сушка	Сушка

Заключение

На основании экспериментальных данных выбраны наиболее доступные триалкоксисиланы, образующие стабильные водные растворы, пригодные для формирования адгезионных слоев на алюминиевом сплаве и стали. Разработаны составы на основе кремнийорганических соединений, таких как аминоэтиламинопропилтриметоксисилан, 3-глицидопропилтриметоксисилан и смеси силанов винилтриацетоксисилана с бис(триметоксисилпропил)-амином и 3-глицидопропил-триметоксисилана с бис(триметоксисилпропил)-амином.

По результатам исследования защитной способности кремнийорганических слоев, сформированных в растворах указанных триалкоксисиланов, определены оптимальные параметры процесса, при которых удавалось получать покрытия с хорошими защитными и адгезионными свойствами.

Коррозионные испытания окрашенных стальных и алюминиевых образцов показали, что лакокрасочные покрытия в сочетании с адгезионными кремнийорганическими слоями, удовлетворяют предъявляемым требованиям – ширина распространения коррозии от надреза не превышает 2,0 мм после 1000 ч испытаний.

По сравнению с традиционными процессами фосфатирования стали и хромирования алюминия предлагаемый способ нанесения кремнийорганических покрытий включает меньшее количество стадий подготовки металлической поверхности к окрашиванию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» //Авиационные материалы и технологии. 2015. №1 (34). С. 3–33.
2. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Медведев И.М. Обзор зарубежного опыта исследований коррозии и средств защиты от коррозии //Авиационные материалы и технологии. 2015. №2. С. 76–87.
3. Каблов Е.Н. Коррозия или жизнь //Наука и жизнь. 2012. №11. С. 16–21.
4. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Медведев И.М., Панин С.В. Коррозионная агрессивность приморской атмосферы. Ч. 1. Факторы влияния (обзор) //Коррозия: материалы, защита. 2013. №12. С. 6–18.
5. Семенова Л.В., Малова Н.Е., Кузнецова В.А., Пожого А.А. Лакокрасочные материалы и покрытия //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 315–327.
6. Каримова С.А., Павловская Т.Г. Разработка способов защиты от коррозии конструкций, работающих в условиях космоса //Труды ВИАМ. 2013. №4. Ст. 02 (viam-works.ru).
7. Козлова А.А., Кондрашов Э.К. Системы лакокрасочных покрытий для противокоррозионной защиты магниевых сплавов //Авиационные материалы и технологии. 2014. №2. С. 44–47.
8. 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 (viam-works.ru).
9. Акимова Е.Ф. Требования к подготовке поверхности черных и цветных металлов перед окрашиванием. Контроль качества подготовки поверхности /В сб. науч. трудов «Покрытия и обработка поверхности. Последние достижения в технологиях, экологии и оборудовании». М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева. 2015. С. 11–12.
10. Кулюшина Н.В., Акимова Е.Ф., Григорян Н.С., Ваграмян Т.А., Аснис Н.А. Подготовка металлической поверхности с помощью кремнийорганических покрытий //Практика противокоррозионной защиты. 2011. №4 (62). С. 6–11.
11. Gerald L. Witucki //Journal of coatings technology. 1993. V. 65. №822. P. 57–60.
12. Меньшиков В.В., Калинкина А.А., Мазурова Д.В., Акимова Е.Ф., Ваграмян Т.А. Применение водных растворов на основе силанов для подготовки поверхности перед нанесением лакокрасочных покрытий (Обзор литературных данных) //Коррозия: материалы, защита. 2010. №4. С. 30–37.

REFERENCES LIST

1. Kablov E.N. Innovacionnye razrabotki FGUP «VIAM» GNC RF po realizacii «Strategicheskikh napravlenij razvitija materialov i tehnologij ih pererabotki na period do 2030 goda» [Innovative development of VIAM Federal State Unitary Enterprise of GNTs Russian Federation on implementation «The strategic directions of development of materials and technologies of their processing for the period till 2030»] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2015. №1 (34). S. 3–33.
2. Kablov E.N., Starcev O.V., Medvedev I.M. Obzor zarubezhnogo opyta issledovanij korrozii i sredstv zashhity ot korrozii [The overview of foreign experience of researches of corrosion and security features from corrosion] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2015. №2. S. 76–87.
3. Kablov E.N. Korrozija ili zhizn' [Corrosion or life] //Nauka i zhizn'. 2012. №11. S. 16–21.
4. Kablov E.N., Starcev O.V., Medvedev I.M., Panin S.V. Korroziionnaja agressivnost' primorskoj at-mosfery. Ch. 1. Faktory vlijanija (obzor) [Corrosion aggression of the seaside atmosphere. P.1. Factors of influence (review)] //Korrozija: materialy, zashhita. 2013. №12. S. 6–18.
5. Semenova L.V., Malova N.E., Kuznecova V.A., Pozhoga A.A. Lakokrasochnye materialy i po-krytija [Paint and varnish materials and coverings] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 315–327.
6. Karimova S.A., Pavlovskaja T.G. Razrabotka sposobov zashhity ot korrozii konstrukcij, rabotajushhih v uslovijah kosmosa [Development of ways of corrosion protection of the designs working in the conditions of space] //Trudy VIAM. 2013. №4. St. 02 (viam-works.ru).
7. Kozlova A.A., Kondrashov Je.K. Sistemy lakokrasochnyh pokrytij dlja protivokorroziionnoj zashhity magnievych splavov [Systems of paint coatings for anticorrosive protection of magnesium alloys] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2014. №2. S. 44–47.
8. Kuznecova V.A., Kuznecov G.V. Tendencii razvitija v oblasti toplivostojkih lakokrasochnyh pokrytij dlja zashhity toplivnyh kesson-bakov letatel'nyh apparatov (obzor) [Development tendencies in the field of toplivostoyky paint coatings for protection fuel caisson tanks of flight vehicles (review)] //Trudy VIAM. 2014. №11. St.08 (viam-works.ru).
9. Akimova E.F. Trebovanija k podgotovke poverhnosti chernyh i cvetnyh metallov pered okrashivaniem. Kontrol' kachestva podgotovki poverhnosti [Requirements to surface preparation of black and non-ferrous metals before coloring. Surface preparation quality con-

- tro] /V sb. nauch. trudov «Pokrytija i obrabotka poverhnosti. Poslednie dostizhenija v tehnologijah, jekologii i oborudovanii». M.: RHTU im. D.I. Mendeleeva. 2015. S. 11–12.
10. Kuljushina N.V., Akimova E.F., Grigorjan N.S., Vagramjan T.A., Asnis N.A. Podgotovka metallicheskoj poverhnosti s pomoshh'ju kremnijorganicheskikh pokrytij [Preparation of metallic surface by means of organic silicon coverings] //Praktika protivokorroziionnoj zashhity. 2011. №4 (62). S. 6–11.
11. Gerald L. Witucki //Journal of coatings technology. 1993. V. 65. №822. P. 57–60.
12. Men'shikov V.V., Kalinkina A.A., Mazurova D.V., Akimova E.F., Vagramjan T.A. Primenenie vodnyh rastvorov na osnove silanov dlja podgotovki poverhnosti pered naneseniem lakokrasochnyh pokrytij (Obzor literaturnyh dannyh) [Application of aqueous solutions on the basis of silons for surface preparation before drawing paint coatings (The review of literary data)] //Korrozija: materialy, zashhita. 2010. №4. S. 30–37.