

УДК 66.017

*А.П. Петрова¹, В.А. Кузнецова¹, Н.Ф. Лукина¹, А.Ю. Исаев¹***ВЛИЯНИЕ АНТИКОРРОЗИОННОЙ ГРУНТОВКИ
НА СВОЙСТВА КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ, ВЫПОЛНЕННЫХ
С ПРИМЕНЕНИЕМ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКОГО КЛЕЯ-ГЕРМЕТИКА**

DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-10-13-20

Приведены свойства клеевых соединений алюминиевого сплава Д16-АТ с предварительно нанесенным адгезионным грунтовочным покрытием ЭП-0214, полученных с применением клея-герметика Эласил 137-175М. Показана стабильность свойств клеевых соединений как без грунтовки, так и с грунтовкой ЭП-0214, непосредственно после склеивания и после термического старения при температурах до 250 °С, воздействия воды, тропических условий. Применение грунтовочного покрытия позволяет увеличить период времени между операциями анодирования и склеивания и повысить коррозионную стойкость.

Ключевые слова: *клей-герметик, грунтовочное покрытие, клеевое соединение, термическое старение, водостойкость, тропикостойкость, климатическая стойкость.*

*A.P. Petrova¹, V.A. Kuznetsova¹, N.Ph. Lukina¹, A.Yu. Isayev¹***INFLUENCE OF CORROSION INHIBITING PRIMER
ON PROPERTIES OF THE GLUED JOINTS EXECUTED
USING ORGANIC SILICON GLUE-HERMETIC**

Properties of glued joints of D16-AT aluminum alloy with previously put adhesive priming covering EP-0214, received using glue-hermetic Elasil 137-175M are given. Stability of properties of glued joints, both without first coat, and with first coat EP-0214 is shown, is direct after pasting and after thermal aging at temperatures up to 250 °C, influences of water, tropical conditions. Application of priming covering allows to increase gap between anodizing and pasting operations and to increase corrosion resistance.

Keywords: *glue-hermetic, priming covering, glued joint, thermal aging, water resistance, tropic resistance, climatic resistance.*

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

В некоторых изделиях авиационной техники имеются агрегаты, в которых требуется к обшивке из алюминиевого сплава приклеить пористые материалы, такие как пенопласты и теплоизоляционные материалы. Поскольку пористые материалы являются водопроницаемыми, обшивка из алюминиевого сплава будет контактировать с парами влаги, адсорбируемой на поверхности металлической обшивки, которая может вызвать начало коррозии. В связи с этим требуется защита от коррозии обшивки, находящейся под слоем пористого материала. Для этих целей используются антикоррозионные эпоксидные грунтовки, содержащие в своем составе ингибиторы коррозии – например, модифицированная эпоксидная грунтовка ЭП-0214, которую предварительно

наносят на поверхность из алюминиевого сплава до проведения технологических операций по склеиванию.

Данная работа посвящена исследованию влияния грунтовочного покрытия ЭП-0214 на свойства клеевых соединений, выполненных клеем-герметиком Эласил 137-175М по загрунтованной поверхности предварительно анодированного алюминиевого сплава.

Работа выполнена в рамках реализации комплексной научной проблемы 15.1. «Многофункциональные клеящие системы» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [1, 2].

Материалы и методы

В данной работе для склеивания использован клей-герметик Эласил 137-175М, представляющий собой одноупаковочную композицию на основе низкомолекулярного кремнийорганического каучука, который поставляется в готовом для применения виде, упакованным в тубы в соответствии с ТУ 6-02-1319–85. Вулканизация клея-герметика проходит после удаления его из тубы при взаимодействии (контакте) с влагой воздуха, или влагой, адсорбированной на склеиваемой поверхности, поэтому гарантийный срок хранения его в тубах составляет 6 мес при условии герметичной упаковки. Завулканизованная пленка клея-герметика имеет белый цвет и обладает плотностью не более $1,5 \text{ г/м}^3$. Определены следующие свойства клея-герметика Эласил 137-175М при температуре $20 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$:

Предел прочности при растяжении, МПа	1,4
Модуль упругости при растяжении, МПа	1,8
Относительное удлинение, %	160–200

Наиболее широко применяемым способом подготовки поверхности алюминиевых сплавов под склеивание в авиастроении является нанесение анодно-оксидных хромокислотных или сернокислотных покрытий. Период времени между операцией подготовки поверхности до склеивания не должен превышать 2 ч. Однако не всегда это возможно, особенно в случае склеивания крупногабаритных конструкций, когда до склеивания на анодированные поверхности наносят адгезионные грунтовки. Для повышения климатической стойкости высоконагруженных клеевых конструкций применяется адгезионный грунт ЭП-0234, который наносят на склеиваемые металлические поверхности в течение 2 ч после проведения операции анодирования. Адгезионный грунт содержит в своем составе ингибиторы коррозии. Срок хранения загрунтованных деталей до склеивания увеличивается с 2 ч до 60 сут [3–5]. Клеевые соединения имеют более высокую водостойкость и тропикостойкость благодаря улучшению монолитности клеевого слоя на границе раздела «клей–субстрат». Однако грунт ЭП-0234 требует отверждения при повышенной температуре, поэтому на практике он используется только в сочетании с высокопрочными пленочными клеями.

Весьма перспективно применение грунтовок, не требующих искусственной сушки покрытия перед нанесением клеевых композиций. Для применения в клеевых соединениях наиболее перспективной является модифицированная эпоксидная грунтовка ЭП-0214. Она используется для защиты поверхности алюминиевых сплавов непосредственно после анодирования. Грунтовка ЭП-0214 наносится на анодированные поверхности алюминиевых сплавов, затем покрытие подвергается термической обработке при температуре $120 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 2 ч. Такие загрунтованные детали могут быть использованы в работах по получению крупногабаритных агрегатов и конструкций. Непосредственно перед склеиванием поверхности промывают и наносят второй слой

грунтовки ЭП-0214 холодной сушки. Такая подготовка поверхности используется при наклеивании пористых материалов, имеющих невысокую прочность, например, клеем-герметиком Эласил-137-175М [6].

В данной работе для защиты поверхности алюминиевого сплава в качестве ингибирующей грунтовки исследована модифицированная эпоксидная грунтовка ЭП-0214 (ТУ 1-595-15-770–2004), которая представляет собой двухкомпонентную систему, состоящую из полуфабриката грунтовки и отвердителя (кремнийорганического амина).

Определены следующие свойства двухслойного покрытия на основе грунтовки ЭП-0214:

Адгезия к сплаву Д16-АТ Ан.Окс.нхр, балл	1
Предел прочности покрытия:	
при ударе, Дж	5,0
при изгибе, мм	1
при растяжении, мм	7,0
при разрыве, МПа	28,9
Относительное удлинение при разрыве, %	13,0

Грунтовку ЭП-0214 наносили на образцы из сплава Д16-АТ Ан.Окс.нхр методом пневматического распыления в 2 слоя. Первый слой грунтовки ЭП-0214 наносили на поверхность алюминиевого сплава не позднее, чем через 2 ч после проведения операции анодирования, и отверждали при температуре 120 °С в течение 2 ч, второй слой – непосредственно перед склеиванием. Суммарная толщина покрытия составляла 30–40 мкм [7–12].

Испытания образцов клеевых соединений при сдвиге, выполненных с применением клея-герметика Эласил 137-175М и алюминиевого сплава Д16-АТ, проводили в соответствии с ГОСТ 14759–91. Часть образцов склеивали по поверхности, анодированной в хромовой кислоте (Ан.Окс.хр) или в серноокислотном электролите с наполнением анодной пленки в растворе дихромата калия (Ан.Окс.нхр). Часть образцов, подлежащих испытанию, окрашивали грунтовкой ЭП-0214. Первый слой грунтовки наносили непосредственно после проведения операции анодирования, второй слой – перед склеиванием образцов не позднее 24 ч после нанесения грунтовки. Отверждение клея-герметика проводили при комнатной температуре в течение 5 сут под давлением 0,01–0,02 МПа [13–17].

Длительную прочность при сдвиге определяли в соответствии с ОСТ1 90092–79 «Клеи. Метод определения длительной прочности на сдвиг при растяжении». В соответствии с этим методом образцы испытывали под действием постоянной статической сдвиговой нагрузки при заданной температуре и определяли величину напряжения, которую выдерживает клей в клеевом соединении, длительно не разрушаясь.

Выносливость при сдвиге определяли в соответствии с ОСТ1 900-112–79 «Клеи. Метод определения предела выносливости при сдвиге». Образцы клеевых соединений доводили до разрушения при воздействии заданной нагрузки, меняющейся во времени по закону, близкому к синусоидальному, с частотой циклов 25–30 Гц и коэффициентом асимметрии цикла $R=0,1$.

Водостойкость и стойкость к термическому старению определяли в соответствии с ОСТ1 09236–76 путем выдержки образцов клеевых соединений для испытаний при сдвиге в ненагруженном состоянии в заданном режиме и оценивали изменение прочности клеевых соединений. Применяли следующий циклический режим испытаний в камере, имитирующей тропический климат:

– выдержка при температуре 50 ± 5 °С и относительной влажности $\phi=100\%$ в течение 8 ч;

- выдержка при температуре 18 ± 7 °С и относительной влажности $\phi=100\%$ в течение 12 ч;
- выдержка при температуре 18 ± 7 °С и относительной влажности $\phi=55 \pm 12\%$ в течение 8 ч.

Результаты и обсуждение

Для определения влияния покрытия на основе грунтовки ЭП-0214, нанесенной на поверхность алюминиевого сплава Д16-АТ, на эксплуатационные свойства клеевых соединений, выполненных с применением клея-герметика Эласил 137-175М, проведены параллельные испытания клеевых соединений анодированного алюминиевого сплава Д16-АТ с покрытием грунтовкой ЭП-0214 и без покрытия. В табл. 1 приведены результаты испытаний клеевых соединений алюминиевого сплава Д16-АТ Ан.Окс.нхр с покрытием грунтовкой ЭП-0214 и без покрытия (рис. 1).

Таблица 1

Свойства клеевых соединений при сдвиге

Склеиваемые материалы	Предел прочности при сдвиге, МПа, при температуре испытания, °С	
	20	180
Сплав Д16-АТ Ан.Окс.нхр	3,4	1,4
Сплав Д16-АТ Ан.Окс.нхр + грунтовка ЭП-0214	4,6	1,8

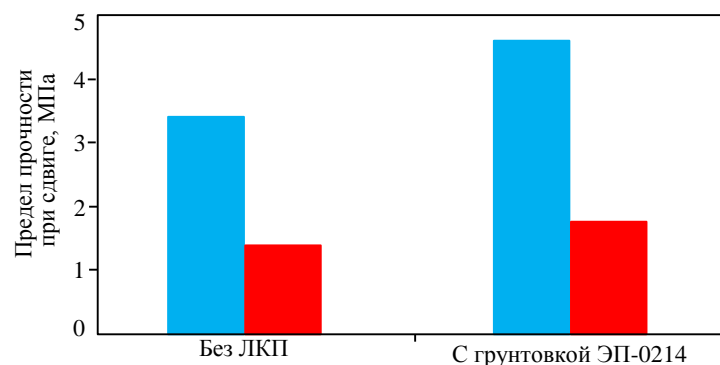


Рис. 1. Предел прочности при сдвиге клеевых соединений при температуре испытания 20 (■) и 180 °С (■)

Из полученных результатов испытаний следует, что применение грунтовки ЭП-0214 в качестве клеевой грунтовки не снижает прочности клеевых соединений как при температуре 20 °С, так и при 180 °С.

В табл. 2 приведены результаты испытаний клеевых соединений, определяющих влияние покрытия грунтовки ЭП-0214 на работоспособность клеевых соединений при длительном воздействии постоянно действующей нагрузки.

Таблица 2

Длительная прочность клеевых соединений

Склеиваемые материалы	Температура испытания, °С	Предел прочности при сдвиге, МПа, на базе испытания, ч					
		0,1	1,0	10	10 ²	5·10 ²	10 ³
Сплав Д16-АТ Ан.Окс.нхр	20	2,7	2,5	2,2	2,0	1,8	1,75
	190	1,15	1,1	1,05	1,02	1,0	–
	260	0,6	0,45	0,35	0,25	–	–
Сплав Д16-АТ Ан.Окс.нхр + грунтовка ЭП-0214	20	2,75	2,6	2,42	2,2	2,1	2,0
	200	0,95	0,86	0,8	0,72	0,66	–

Из результатов испытаний, представленных в табл. 2, следует, что нанесение грунтовки ЭП-0214 на поверхность алюминиевого сплава Д16-АТ Ан.Окс.нхр не приводит к снижению длительной прочности клеевых соединений, полученных с применением клея-герметика Эласил 137-175, более того, прочность клеевых соединений повышается на ~5%.

Аналогичные результаты получены при испытании клеевых соединений на определение предела выносливости при сдвиге (табл. 3). Применение грунтовки приводит к незначительному повышению предела выносливости при сдвиге клеевых соединений, выполненных клеем-герметиком Эласил 137-175М.

Таблица 3

Вибропрочность клеевых соединений, склеенных клеем-герметиком Эласил 137-175М

Склеиваемые материалы	Температура испытания, °С	Максимальное напряжение цикла, МПа, при числе циклов до разрушения				
		10	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵
Сплав Д16-АТ Ан.Окс.нхр	20	1,27	1,12	0,97	0,8	0,67
Сплав Д16-АТ Ан.Окс.нхр + + грунтовка ЭП-0214	20	1,32	1,23	1,12	0,98	0,8
	200	0,7	0,65	0,55	0,53	0,5

Видно, что применение грунтовки ЭП-0214 в клеевых соединениях, выполненных клеем-герметиком Эласил 137-175М, при температуре испытаний 20 °С не приводит к снижению вибропрочности клеевых соединений. Следует отметить даже незначительное повышение вибропрочности клеевых соединений при сдвиге.

Исследована стойкость клеевых соединений к воздействию повышенных температур (термическому старению). Результаты испытаний клеевых соединений приведены в табл. 4.

Таблица 4

Стойкость клеевых соединений к воздействию повышенных температур

Склеиваемые материалы	Предел прочности при сдвиге, МПа, образцов							
	в исходном состоянии				после выдержки при температуре 250 °С в течение, ч			
					50		100	
	при температуре испытания, °С							
	20	180	250	300	20	250	20	250
Сплав Д16-АТ Ан.Окс.нхр	3,4	1,4	0,8	0,5	2,3	0,7	1,5	0,7
При температуре, °С	20	180	200	–	200 °С в течение 50 ч*		–	–
Сплав Д16-АТ Ан.Окс.нхр + + грунтовка ЭП-0214	4,6	1,8	1,4	–	3,7	1,6	–	–

* Испытания проведены при температуре 20 и 200 °С.

Из полученных результатов следует, что клеевые соединения, выполненные клеем-герметиком Эласил 137-175М по поверхностям, загрунтованным грунтовкой ЭП-0214, выдерживают воздействие температуры 200 °С в течение 50 ч с сохранением высокого уровня прочности клеевых соединений. Следует отметить, что после термостарения прочность клеевых соединений при комнатной температуре несколько снижается, а при температуре испытаний 200 °С – повышается на ~15%. Покрытие эпоксидной грунтовкой ЭП-0214 предназначено для работы при температуре до 200 °С (в закрытых клеевых соединениях), поэтому ее не рекомендуют использовать в клеевых соединениях, выполненных с применением клея-герметика Эласил 137-175М при температурах >200 °С, несмотря на то, что клей-герметик рекомендован на рабочие температуры до 300 °С.

Исследовано влияние грунтовочного покрытия ЭП-0214 на прочность клеевых соединений при сдвиге, изготовленных с применением клея-герметика Эласил 137-175М, после выдержки в воде в течение 30 сут. Результаты испытаний приведены в табл. 5 и на рис. 2.

Таблица 5

Стойкость клеевых соединений к действию воды в течение 30 сут

Склеиваемые материалы	Вид испытания	Предел прочности при сдвиге, МПа, при температуре испытания, °С	
		20	180
Сплав Д16-АТ Ан.Окс.нхр	В исходном состоянии	2,7	2,1
	После выдержки в воде	4,8	2,0
Сплав Д16-АТ Ан.Окс.нхр + + грунтовка ЭП-0214	В исходном состоянии	4,6	1,6
	После выдержки в воде	4,7	1,9

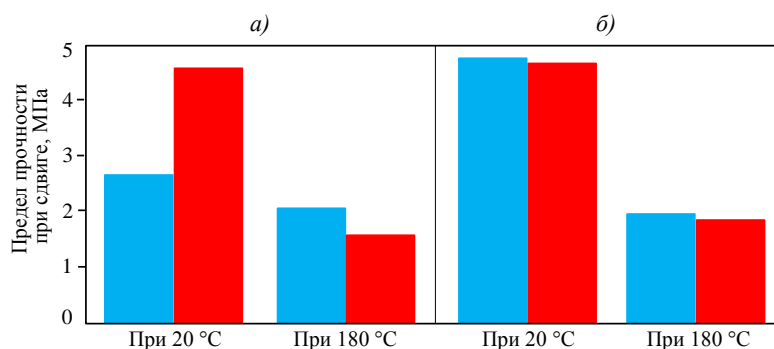


Рис. 2. Предел прочности при сдвиге клеевых соединений без ЛКП (■) и с грунтовкой ЭП-0214 (■) в исходном состоянии (а) и после выдержки в воде в течение 30 сут (б)

Клеевые соединения, выполненные с применением клея-герметика Эласил 137-175М в сочетании с покрытием грунтовкой ЭП-0214, обладают высокой водостойкостью. Воздействие воды на образцы клеевых соединений в течение 30 сут не приводит к снижению их прочности при сдвиге – наблюдается незначительное возрастание прочности при сдвиге, что можно объяснить дальнейшим отверждением клея при воздействии влаги.

При экспозиции клеевых соединений на открытых климатических площадках и в неотапливаемых складских помещениях получены результаты, подтверждающие положительное влияние покрытия на основе грунтовки ЭП-0214 на прочностные характеристики клеевых соединений. Во всех случаях наблюдалось увеличение прочности клеевых соединений:

- при 20 °С – с 3,3 до 4,5 и 5,2 МПа;
- при 200 °С – с 0,5 до 1,6–2,1 МПа.

В табл. 6 приведены результаты определения устойчивости клеевых соединений образцов из сплава Д16-АТ, выполненных с применением клея-герметика Эласил 137-175М, нанесенного на загрунтованную поверхность, и без грунтовочного покрытия к воздействию тропического климата в течение 1 мес.

Таблица 6

Стойкость клеевых соединений к воздействию условий искусственных тропиков

Склеиваемые материалы	Продолжительность воздействия, мес	Предел прочности при сдвиге, МПа, при температуре испытания, °С	
		20	180
Сплав Д16-АТ Ан.Окс.нхр	В исходном состоянии	3,3	1,6
	1	4,0	1,3
	3	3,7	1,6
Сплав Д16-АТ Ан.Окс.нхр + + грунтовка ЭП-0214	В исходном состоянии	4,6	1,8
	1	4,0	1,8

Из приведенных данных следует, что экспозиция образцов клеевых соединений, выполненных клеем-герметиком Эласил 137-175М, к воздействию условий искусственных тропиков в течение 3 мес не снижает их прочностных характеристик. Применение грунтовки ЭП-0214 приводит к повышению прочностных характеристик клеевых соединений при температуре испытания 20 °С – на 39%, а при температуре 180 °С – на 12%. После воздействия условий искусственных тропиков в течение 1 мес прочность клеевых соединений при температуре испытания 20 °С снижается на 15%, но остается на уровне прочности клеевых соединений, выполненных клеем-герметиком Эласил 137-175М без грунтовки. Испытания клеевых соединений при температуре 180 °С показали, что прочность клеевых соединений остается без изменений.

Заключения

На основании полученных результатов исследований установлено, что применение грунтовки ЭП-0214 для защиты анодированной поверхности алюминиевого сплава Д16-АТ Ан.Окс.нхр перед нанесением клея-герметика Эласил 137-175М:

- приводит к повышению прочности при сдвиге на ~5% (аналогичные результаты получены при испытании клеевых соединений на предел выносливости при сдвиге);
- после испытания при температуре 200 °С в течение 50 ч не приводит к снижению прочности клеевых соединений при сдвиге;
- при температуре испытания 20 °С не приводит к снижению вибропрочности клеевых соединений, а наблюдается незначительное повышение вибропрочности клеевых соединений;
- не снижает водостойкости и тропикостойкости вышеуказанных клеевых соединений при сдвиге; наличие грунтовочного покрытия в клеевом соединении способствует незначительному возрастанию прочности при сдвиге, что можно объяснить дальнейшим отверждением клея при воздействии влаги.

Анализируя полученные результаты, подтверждающие положительное влияние покрытия ЭП-0214 на прочность клеевых соединений, выполненных с применением клея-герметика Эласил 137-175М, можно предположить, что данный эффект может быть связан с присутствием в составе грунтовки эластомерного модификатора, способствующего релаксации напряжений, возникающих на границе раздела «грунтовочное покрытие–клей», а также с присутствием в составе грунтовки кремнийорганического амина АГМ-9. Входящие в состав молекулы отвердителя АГМ-9 алкоксигруппы при атоме кремния, гидролизующиеся влагой воздуха, способствуют хемосорбционному взаимодействию покрытия с анодированной поверхностью алюминиевого сплава [18–22].

В результате выполнения работы установлено, что применение антикоррозионной грунтовки ЭП-0214 для защиты поверхности алюминиевых сплавов и увеличение временного интервала между операциями анодирования и склеивания позволяет защитить поверхности без снижения прочности клеевых соединений при использовании клея-герметика Эласил 137-175М.

Библиографический список

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. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
2. 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.

3. Каблов Е.Н., Чурсова Л.В., Лукина Н.Ф., Куцевич К.Е., Рубцова Е.В., Петрова А.П. Исследование эпоксидно-полисульфоновых полимерных систем как основы высокопрочных клеев авиационного назначения // Клеи. Герметики. Технологии. 2017. №3. С. 7–12.
4. Петрова А.П., Аниховская Л.И. Влияние адгезионного грунта ЭП-0234 на свойства клеевых соединений, выполненных фенольно-каучуковым клеем ВК-50 // Клеи. Герметики. Технологии. 2016. №6. С. 26–28.
5. Петрова А.П., Лукина Н.Ф. Влияние адгезионного грунта ЭП-0234 на работоспособность эпоксидного пленочного клея // Клеи. Герметики. Технологии. 2015. №9. С. 16–19.
6. Доспехи для «Бурана». Материалы и технологии ВИАМ для МКС «Энергия–Буран» / под общ. ред. Е.Н. Каблова. М.: Наука и жизнь, 2013. 128 с.
7. Стороженко П.А., Минасян Р.М., Поливанов А.Н., Никитушкин И.В., Минасян О.И. Новые теплопроводные силиконовые клеи-герметики // Клеи. Герметики. Технологии. 2017. №2. С. 7–10.
8. Минасян Р.М. Однокомпонентные силиконовые герметики // Клеи. Герметики. Технологии. 2010. №10. С. 18–20.
9. Минасян Р.М., Поливанов А.Н., Минасян О.И. Основные направления работы ГНИИХТЭОС в области кремнийорганических клеев-герметиков // Химическая промышленность сегодня. 2015. №11. С. 28–32.
10. Авиационные материалы: справочник: в 13 т. / под общ. ред. Е.Н. Каблова. М.: ВИАМ, 2019. Т. 10: Клеи, герметики, резины, гидрожидкости. Ч. 1: Клеи, клеевые препреги. 275 с.
11. Петрова А.П., Донской А.А. Клеящие материалы. Герметики: справочник. СПб.: Профессional, 2008. 589 с.
12. Кузнецова В.А., Железняк В.Г., Силаева А.А. Влияние механических характеристик грунтовочных покрытий на устойчивость систем эрозионностойких дисперсно-армированных покрытий к циклическим механическим нагрузкам // Труды ВИАМ: электрон. науч.-техн. журн. 2018. №6 (66). Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 03.08.2020). DOI: 10/18577/2307-6046-2018-0-6-59-67.
13. Антипов В.В., Петрова А.П., Козлов И.А., Фомина М.А., Волков И.А. Влияние технологических нагревов и способов подготовки поверхности под склеивание на механические свойства алюминиевой фольги из сплава АМг2Н // Труды ВИАМ: электрон. науч.-техн. журн. 2018. №7 (67). Ст. 02. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 03.08.2020). DOI: 10/18577/2307-6046-2018-0-7-10-24.
14. Барановская Н.Б., Захарова М.З., Мизикин А.И., Берлин А.А. Каталитическое отверждение полидиметилсилоксана при комнатной температуре // Доклады АН СССР. 1958. Т. 122. №4. С. 603–606.
15. Северный В.В., Минасян Р.М., Макаренко И.А., Бизюкова Н.М. Механизм «холодной» вулканизации низкомолекулярных полиорганосилоксановых каучуков // Высокомолекулярные соединения. 1976. Т. 18. №6. С. 1276–1281.
16. Способ получения силиконового клея и состав клея: пат. 2009145967/05 Рос. Федерация. №2467048; заяв. 07.12.09; опубл. 20.11.12.
17. Грунтовочная композиция для кремнийорганических герметиков: пат. 2004109931/04 Российская Федерация. №2272059; заявл. 02.04.2004; опубл. 20.03.2006.
18. Савенкова А.В., Тихонова И.В., Требукова Е.А. Тепломорозостойкие герметики // Авиационные материалы на рубеже XX–XXI веков. М.: ВИАМ, 1994. С. 432–439.
19. Антипов В.В., Чесноков Д.В., Козлов И.А., Волков И.А., Петрова А.П. Подготовка поверхности алюминиевого сплава В-1469 перед применением в составе слоистого гибридного материала // Труды ВИАМ: электрон. науч.-техн. журн. 2018. №4 (64). Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 03.08.2020). DOI: 10/18577/2307-6046-2018-0-4-59-65.
20. Сорокин М.Ф., Кочнова З.А., Захарова А.А., Голова Н.А. Отверждение эпоксидных олигомеров аминоксиланами // Лакокрасочные материалы и их применение. 1986. №5. С. 24–28.
21. Чалых А.Е., Кочнова З.А., Жаворонок Е.С. Совместимость и диффузия в системах эпоксидные олигомеры – жидкие карбоксилатные каучуки // Высокомолекулярные соединения. Сер. А. 2001. Т. 43. №12. С. 1–9.
22. Аниховская Л.И., Павловская Т.Г., Дементьева Л.А., Петрова А.П. Подготовка поверхности под склеивание. URL: <https://docplayer.ru/61526227-Podgotovka-poverhnostey-pod-skleivanie.html> (дата обращения: 25.08.2020).