
Научная статья

УДК 678.83

DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-3-91-101

ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ АНТИФРИКЦИОННОГО ОРГАНОПЛАСТИКА ОРГАЛОН АФ-1М

А. Ч. Кан¹, Г. С. Кулагина¹, Т. Р. Аюпов¹, Г. Ф. Железина¹

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

Аннотация. Исследовано влияние климатических факторов, воды и технических жидкостей на прочность соединения антифрикционного органоластика с металлической основой. Установлено, что сохранение прочности при сдвиге связующего АФК-101 и прочности при отслаивании органоластика от металлической подложки составляет 60–82 % после длительного воздействия указанных сред, что свидетельствует о надежности соединения антифрикционного органоластика с металлической подложкой в составе тяжело нагруженных подшипников скольжения при эксплуатации в условиях воздействия факторов внешней среды.

Ключевые слова: антифрикционные органоластики, климатические факторы, подшипники скольжения, адгезия

Для цитирования: Кан А. Ч., Кулагина Г. С., Аюпов Т. Р., Железина Г. Ф. Влияние факторов внешней среды на характеристики антифрикционного органоластика Оргалон АФ-1М // Труды ВИАМ. 2022. № 3 (109). Ст. 09. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-3-91-101.

Scientific article

THE INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL FACTORS ON THE CHARACTERISTICS OF ANTIFRICTION ORGANOPLASTY ORGALON AF-1M

A. Ch. Kan¹, G. S. Kulagina¹, T. R. Ayupov¹, G. F. Zhelezina¹

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

Abstract. The influence of climatic factors, water and industrial fluids on the strength of the connection of antifriction organic plastics with a metal base is investigated. It was found that the preservation of the shear strength of the binder AFK-101 and the strength when peeling the organic plastics from the metal substrate are 60–82 % after prolonged exposure in these environments, which indicates the reliability of the connection of the antifriction organic plastics with the metal substrate in the composition of heavily loaded plain bearings during operation under the influence of environmental factors.

Keywords: antifriction organic plastics, climatic factors, sliding bearings, adhesion

For citation: Kan A. Ch., Kulagina G. S., Ayupov T. R., Zhelezina G. F. The influence of environmental factors on the characteristics of antifriction organoplasty Orgalon AF-1M. *Trudy VIAM*, 2022, no. 3 (109), paper no. 09. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-3-91-101.

Введение

Обеспечение надежности эксплуатации в составе авиационных конструкций – одно из основных требований, предъявляемых к материалам авиационного назначения. При разработке полимерных композиционных материалов необходимо обеспечить их устойчивость к воздействию факторов внешней среды. Эта проблема является особо важной для материалов, предназначенных для силовых ответственных элементов конструкций [1–3].

Тяжелонагруженные узлы трения скольжения являются особо ответственными конструктивными элементами вертолетов и самолетов. К ним относятся различного рода шарниры и приводы, используемые в системах управления и механизации летательных аппаратов. В конструкциях самолетов – это приводы и шарниры руля, воздухозаборника, стабилизатора, закрылка, а также подшипники опоры крыла, пилона и др. В вертолетах тяжелонагруженными узлами трения скольжения являются шарниры крепления демпфера лопастей и внешней подвески, шарниры стоек шасси, подшипники рычага и управления шагом рулевого винта и др. [4, 5].

Для конструкций, работающих в условиях трения и износа, важной технической проблемой является обеспечение работоспособности без применения смазки, т. е. в условиях сухого трения, так как это позволяет значительно снизить затраты на их изготовление и эксплуатацию [6–9].

В машиностроении широко используется самосмазывающийся антифрикционный материал – металлофторопласт, который представляет собой стальную основу с нанесенным пористым слоем бронзы толщиной до 0,4 мм. Поры металла заполнены фторопластом, содержащим дисульфид молибдена, обеспечивающим работоспособность узла трения без смазки [10]. Для авиационной техники применение антифрикционного металлофторопласта ограничено из-за его небольшого ресурса при высоких нагрузках, которым подвергаются авиационные узлы трения скольжения.

Для авиационной техники разработан и широко внедрен антифрикционный органопластик марки Оргалон АФ-1М, представляющий собой тонкослойный композиционный материал, армированный тканью из полимерных нитей. Армирующая ткань сконструирована из двух типов полимерных нитей: полиимидных и политетрафторэтиленовых. Полиимидные нити выполняют в армирующей ткани функцию силового каркаса, политетрафторэтиленовые – предназначены для обеспечения низкого коэффициента трения при отсутствии смазки.

В составе антифрикционного органопластика используется фенолокаучуковое связующее АФК-101, обеспечивающее монолитность полимерного композита и его адгезионное соединение с металлической основой.

Основные технические характеристики органопластика Оргалон АФ-1М следующие:

- коэффициент трения 0,08–0,10;
- предельная нагрузочная способность 40–100 МПа;
- предельная скорость перемещения сопряженных поверхностей 0,05 м/с;
- прочность при отслаивании от металлической подложки (нержавеющая сталь, титановый сплав, конструкционная сталь) 0,12–0,31 Н/м.

Узлы трения на основе антифрикционного органопластика Оргалон АФ-1М отличаются высокой стабильностью трибологических характеристик: коэффициент трения практически не изменяется до полного износа органопластика. При эксплуатации подшипников отсутствует износ контртела. Органопластик Оргалон АФ-1М не вызывает коррозии сталей 12Х18Н9Т и 30ХГСА, алюминиевых и титановых сплавов.

Ресурс подшипников с использованием антифрикционного органопластика в 2,0–2,3 раза больше, чем с металлофторопластом [5].

Полуфабрикатом антифрикционного органопластика Оргалон АФ-1М является препрег, изготавливаемый путем пропитки армирующей ткани раствором связующего. Препрег имеет длительную жизнеспособность: 1 год в холодильнике при температуре не более 8 °С. Нанесение антифрикционного органопластика на металлическую основу осуществляется различными технологическими способами (автоклавное формование, прямое прессование, формование в оснастке), в процессе которых одновременно происходит отверждение органопластика и его адгезионное соединение с металлической подложкой.

Антифрикционный органопластик Оргалон АФ-1М рекомендован для применения не только для изготовления тяжело нагруженных самосмазывающихся узлов трения скольжения, но и для защиты от фреттинг-коррозии контактирующих поверхностей металлов, номинально неподвижных, но испытывающих небольшие периодические относительные перемещения, а также в качестве герметизирующих и антифрикционных прокладок в различных механизмах и агрегатах.

Тяжелонагруженные узлы трения с использованием антифрикционного органопластика Оргалон АФ-1М имеются в конструкциях практически всех российских вертолетов серий Ка и Ми. В конструкциях самолетов семейств Ту и Су с использованием материала Оргалон АФ-1М изготовлены втулки в кронштейнах отклонения, тяги, втулки в управлении закрылками, шарниры амортизаторов и системы уборки носового и основного шасси и др.

Накопленный опыт эксплуатации показал высокую эффективность применения антифрикционного органопластика Оргалон АФ-1М в тяжело нагруженных узлах трения авиационных конструкций: повышение в 2–5 раз ресурса подвижных соединений и их надежности в условиях повышенной запыленности, что особенно важно в конструкциях вертолетов. Применение Оргалона АФ-1М позволяет сократить время и затраты на техническое обслуживание и ремонт, уменьшить количество деталей, металлоемкости и габаритов подшипников.

Важным вопросом для обеспечения надежности эксплуатации подшипников скольжения в составе авиационной техники является сохранение характеристик антифрикционного органопластика при воздействии неблагоприятных факторов внешней среды: атмосферной влаги, технических жидкостей и др.

Известно, что при воздействии внешних факторов на полимерные композиционные материалы возможны поглощение влаги, изменение толщины, нарушение адгезионных связей и другие процессы, свойственные климатическому старению полимеров [11–13].

Цель данной работы – изучение влияния климатических факторов и воздействия технических жидкостей на свойства антифрикционного органопластика Оргалон АФ-1М. В статье приведены сведения о характеристиках антифрикционного органопластика после термо- и тепловлажностного старения, длительной выдержке в воде и технических жидкостях.

Материалы и методы

Объектами исследования являются антифрикционные покрытия из органопластиков Оргалон АФ-1М-260 и Оргалон АФ-1М-500, отличающиеся толщиной. Для изготовления антифрикционных органопластиков используется фенолформальдегидное модифицированное нитрильным каучуком связующее АФК-101 и армирующие ткани артикулов 5392-81 и 5387/2-79.

Изготовление органопластика Оргалон АФ-1М осуществляли в два этапа: пропитка ткани на установке ЛУП-1000 и формование органопластика на металлической подложке в прессе в соответствии с методикой изготовления образцов по ТУ 1-595-11-391–2006.

Для анализа влияния факторов внешней среды на свойства антифрикционного материала проводили экспозицию образцов в различных условиях:

- камера тропического климата – циклический режим испытаний: 8 ч при температуре 50 ± 5 °С и влажности 100 % + 12 ч при температуре 20 ± 5 °С и влажности 100 % + 8 ч при температуре 20 ± 5 °С и влажности 65 %;
- камера солевого тумана – распыление 5 %-ного раствора NaCl, время распыления 3 мин, периодичность распыления 20 мин, температура в камере 35 °С;
- термическое старение при температурах 70 и 200 °С;
- вода, бензин, керосин, синтетическое и минеральное масло при температуре 23 ± 2 °С.

Механические испытания антифрикционных органопластиков проводили на испытательных машинах Тиратест-2200 и РКМ-50 в соответствии с ГОСТ 14759–69 и ОСТ 190315–83.

Результаты и обсуждение

При эксплуатации тяжело нагруженных подшипников скольжения важно обеспечить надежное сцепление антифрикционного органопластика с металлической основой, в том числе при воздействии повышенных температур и факторов внешней среды. Прочность соединения антифрикционного органопластика с металлом зависит от уровня адгезии отвержденного полимерного связующего АФК-101 к металлической подложке, от прочности самой полимерной матрицы и ее адгезии к армирующим полимерным волокнам.

Для оценки адгезионной прочности полимерной матрицы АФК-101 с металлической подложкой определяли предел прочности при межслойном сдвиге образцов клеевого соединения металлических пластин, в котором в качестве клея использовали связующее АФК-101. Для комплексной оценки прочности соединения антифрикционного органопластика с металлической подложкой с учетом прочности полимерной матрицы и ее взаимодействия с армирующими волокнами определяли прочность при отслаивании слоя антифрикционного органопластика от металла.

В табл. 1–5 приведены данные о влиянии различных факторов (температуры, влажности, среды) на прочность при сдвиге клеевого соединения, выполненного связующим АФК-101.

Как видно из данных табл. 1, предел прочности при сдвиге для связующего АФК-101 зависит от типа металлической подложки: при склеивании стали (нержавеющей или конструкционной) значения предела прочности при сдвиге больше, чем при склеивании титановых сплавов.

Таблица 1

**Предел прочности при сдвиге связующего АФК-101
в зависимости от типа склеиваемых металлических сплавов**

Материал подложки	Предел прочности при сдвиге, МПа
Нержавеющая сталь	22,6
Конструкционная сталь	23,9
Титановые сплавы	11,9

Известно, что клеям как полимерным композиционным материалам свойственна зависимость механических характеристик от температуры и продолжительности нагрева [14]. Как показано в табл. 2, у связующего АФК-101 наблюдается снижение прочности при сдвиге с 20,6 до 10,8 МПа при повышении температуры с -60 до $+200$ °С. При температуре 200 °С прочность при сдвиге сохраняется на уровне 48 % от значения при комнатной температуре.

Таблица 2

Предел прочности при сдвиге клеевого соединения АФК-101

Материал подложки	Предел прочности при сдвиге, МПа, при температуре испытания, °С						
	-60	20	60	80	120	150	200
Сталь 12Х18Н9Т	20,6	22,6	21,6	21,1	17,7	15,8	10,8

В табл. 3 приведены данные об изменении предела прочности при сдвиге для связующего АФК-101 при длительном воздействии повышенных температур. Нагрев при 70 °С в течение 70 ч не влияет на значение предела прочности при сдвиге связующего АФК-101. При нагреве при температуре 200 °С в течение 150 ч происходит снижение прочности до уровня 19 % от исходного значения.

Таблица 3

Предел прочности при сдвиге клеевого соединения АФК-101 после термостарения

Материал подложки	Предел прочности при сдвиге, МПа, при температуре, °С					
	70			200		
	за время экспозиции, ч					
	300	500	1000	25	75	150
Сталь 12Х18Н9Т	21,4	22,9	21,6	11,9	8,4	4,3

При использовании связующего АФК-101 в производстве подшипников важным является возможность его длительного хранения. В табл. 4 показано, что в течение 12 мес выдержки связующего АФК-101 при комнатной температуре не происходит существенного изменения предела прочности при сдвиге клеевого соединения на его основе.

Таблица 4

Предел прочности при сдвиге связующего АФК-101 в зависимости от срока его хранения при комнатной температуре

Материал подложки	Предел прочности при сдвиге, МПа, за время хранения, мес				
	в исходном состоянии	2	6	8	12
Сталь 12Х18Н9Т	22,6	20,7	21,6	19,6	20,6

Одним из требований, предъявляемых к материалам авиационных конструкций, является стойкость к различным техническим жидкостям, которые могут попадать на детали в процессе эксплуатации, а также способность сохранять высокий уровень свойств после воздействия факторов внешней среды [15, 16].

На рис. 1 и в табл. 5 приведены результаты исследования влияния воды, топлива и смазочных жидкостей, а также условий, имитирующих тропический и морской климат, на предел прочности при сдвиге связующего АФК-101. Установлено, что после 3 мес экспозиции в данных средах сохранение значений предела прочности при сдвиге связующего АФК-101 составляет от 68 до 82 %.

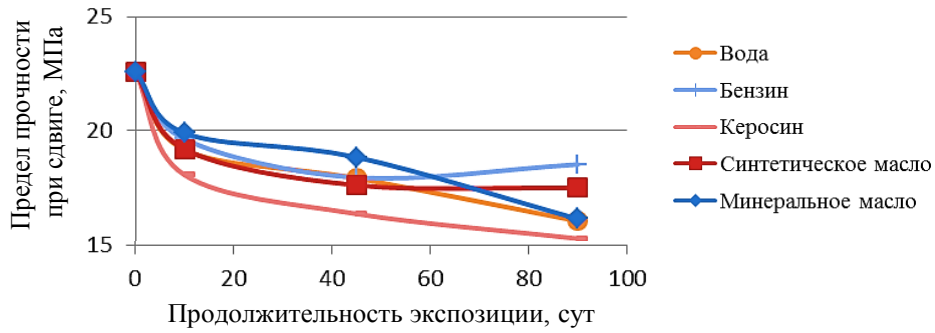


Рис. 1. Влияние среды на предел прочности при сдвиге связующего АФК-101 (материал подложки – нержавеющая сталь)

Таблица 5

Предел прочности при сдвиге связующего АФК-101 в зависимости от условий, имитирующих тропический и морской климат

Материал подложки	Предел прочности при сдвиге, МПа, за время экспозиции в камере тропиков, мес			
	в исходном состоянии	1	2	6
Сталь 12Х18Н9Т	22,6	16,9	14,9	14,8

Следует отметить, что при испытаниях клеевого соединения, выполненного связующим АФК-101, как в исходном состоянии, так и после воздействия различных внешних факторов (воды, технических жидкостей, климатических факторов) разрушение образцов носит когезионный характер, т. е. происходит преимущественно по слою полимерной матрицы.

Таким образом, проведенные исследования показали, что связующее АФК-101, используемое в составе самосмазывающегося антифрикционного органопластика Оргалон АФ-1М, характеризуется высокой адгезионной способностью по отношению к металлическим сплавам и имеет высокую стойкость к воздействию факторов внешней среды. Сохранение значений предела прочности при сдвиге составляет 68–82 % после экспозиции в воде и технических жидкостях и 66 % после выдержки в камере тропического климата.

Известно, что свойства полимерных композиционных материалов в значительной степени зависят от взаимодействия связующего с армирующими волокнами и состояния границы раздела «волокно–связующее» [17–19].

В структуре антифрикционного органопластика присутствуют внутренние границы раздела компонентов «связующее–полиимидное волокно» и «связующее–политетрафторэтиленовое волокно». Наличие армирующих волокон и границы раздела между волокнами и полимерной матрицей способны оказывать существенное влияние на поведение композиционного материала при воздействии механических нагрузок и факторов внешней среды.

Для оценки влияния армирующих волокон на прочность соединения антифрикционного органопластика с металлической основой проводили испытания на отслаивание органопластика от металлической подложки [20]. В табл. 6 и на рис. 2 показаны исходные значения прочности при отслаивании антифрикционного органопластика от металла и уровень сохранения этой характеристики после воздействия воды, топлива и масла.

Таблица 6

**Прочность при отслаивании антифрикционного органопластика Оргалон АФ-1М
от металлической основы**

Материал подложки	Прочность при отслаивании, Н/м, для органопластика	
	Оргалон АФ-1М-260	Оргалон АФ-1М-500
Нержавеющая сталь	0,21–0,29	0,19–0,21
Конструкционная сталь	0,22–0,31	0,20–0,22
Титановые сплавы	0,15–0,17	0,11–0,17

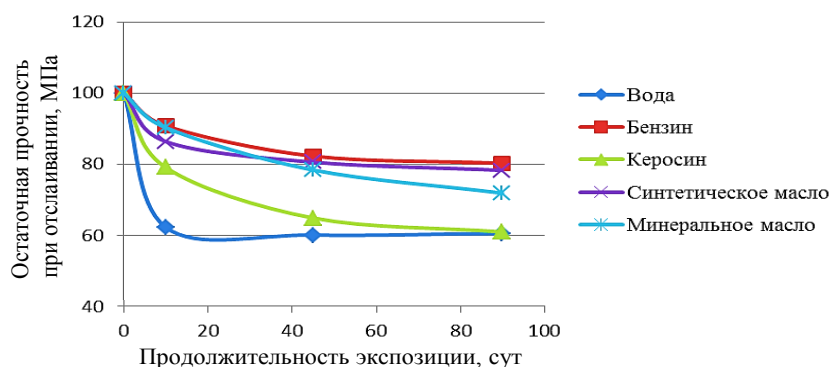


Рис. 2. Влияние среды на остаточную прочность при отслаивании антифрикционного органопластика Оргалон АФ-1М от металлической подложки из нержавеющей стали

На рис. 3 представлен уровень сохранения прочности при отслаивании после воздействия факторов внешней среды – условий, имитирующих тропический климат.

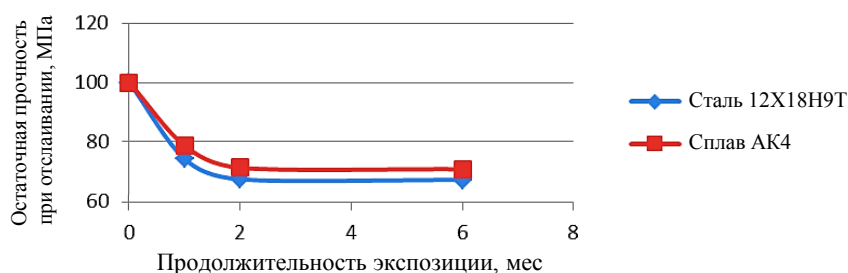


Рис. 3. Влияние тропической среды на прочность при отслаивании антифрикционного органопластика Оргалон АФ-1М от металлической подложки

На рис. 4 представлен уровень сохранения этой характеристики после воздействия камеры солевого тумана.

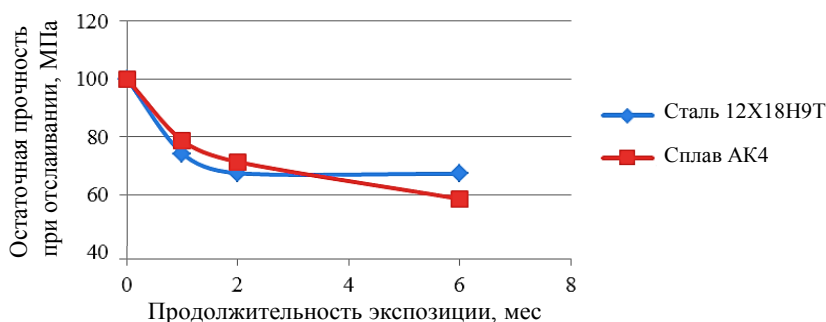


Рис. 4. Влияние камеры солевого тумана на прочность при отслаивании антифрикционного органопластика Оргалон АФ-1М от металлической подложки

Установлено, что наибольшее снижение значений предела прочности при отслаивании антифрикционного органопластика от металлической подложки наблюдается после выдержки в камере солевого тумана, при этом остаточная прочность при отслаивании составляет 59 % после выдержки в течение 8 мес.

На рис. 5 приведены результаты, показывающие уровень сохранения прочности клеевого соединения АФК-101 и прочности при отслаивании антифрикционного органопластика от металлической подложки после воздействия различных факторов (вода, топливо, масло, температура, солевой туман). Установлено, что присутствие в антифрикционном органопластике полимерных волокон не оказывает существенного влияния на изменение прочности соединения органопластика с металлической подложкой. Уровень сохранения значений предела прочности при отслаивании органопластика от металла составляет от 61 до 80 % после длительного воздействия агрессивных сред, что свидетельствует об эксплуатационной надежности соединения антифрикционного органопластика с металлической основой в составе тяжело нагруженных подшипников скольжения при воздействии факторов внешней среды.

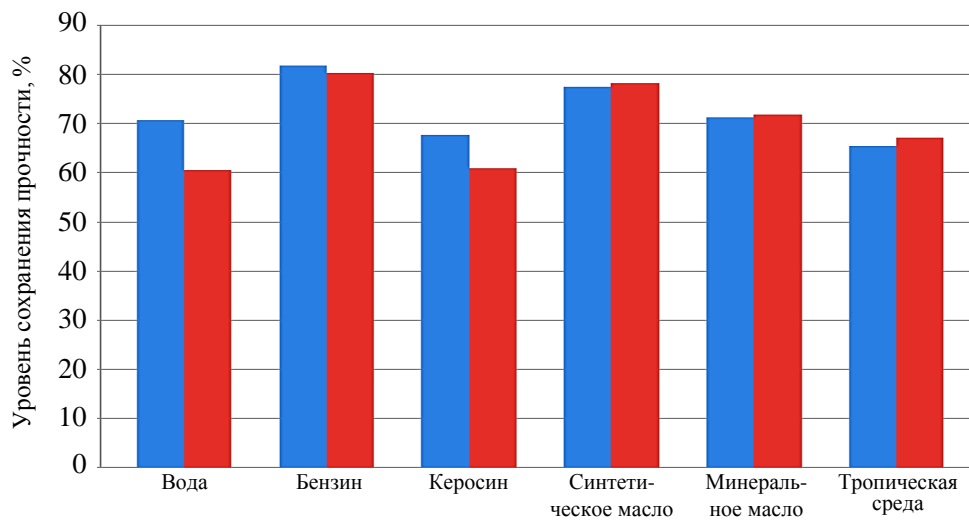


Рис. 5. Сохранение прочности при сдвиге связующего АФК-101 (■) и прочности при отслаивании антифрикционного органопластика Оргалон АФ-1М (■) от металлической подложки после воздействия различных факторов

Заключения

Эксплуатационная надежность тяжело нагруженных подшипников скольжения в значительной степени зависит от прочности соединения антифрикционного органопластика с металлической основой и стабильности этой характеристики в условиях воздействия внешних факторов. Исследовано изменение прочности при межслойном сдвиге образцов клеевого соединения АФК-101 и прочности при отслаивании антифрикционного органопластика Оргалон АФ-1М от металлической подложки под влиянием длительного воздействия повышенных температур, воды и технических жидкостей.

Установлено, что связующее АФК-101 обладает высокой стабильностью адгезионной прочности к металлической подложке: сохранение значений предела прочности при сдвиге составляет 68–82 % после экспозиции в условиях повышенной влажности, выдержки в воде и технических жидкостях. Прочность при отслаивании

антифрикционного органопластика от металлической подложки в аналогичных условиях сохраняется на уровне от 61 до 80 % от исходного значения.

Проведенные исследования свидетельствуют о надежности соединения антифрикционного органопластика с металлической подложкой в составе тяжелонагруженных подшипников скольжения при эксплуатации в условиях воздействия факторов внешней среды – повышенной температуры, влажности и технических жидкостей.

Список источников

1. Каблов Е.Н., Старцев В.О. Климатическое старение полимерных композиционных материалов авиационного назначения. I. Оценка влияния значимых факторов воздействия // Деформация и разрушение материалов. 2019. № 12. С. 7–16.
2. Мухаметов Р.Р., Петрова А.П., Пономаренко С.А. Антиадгезионные покрытия и их свойства // Труды ВИАМ. 2018. № 12 (72). Ст. 10. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 16.11.2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2018-0-12-88-96.
3. Силаева А.А., Кузнецова В.А., Железняк В.Г., Куршев Е.В. Исследование адгезии функциональных лакокрасочных покрытий для защиты поверхности ПКМ // Труды ВИАМ. 2021. № 9 (103). Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 16.11.2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-9-59-66.
4. Кулагина Г.С., Коробова А.В., Ильичев А.В., Железина Г.Ф. Физические и физико-механические свойства антифрикционного органопластика на основе комбинированного тканого наполнителя и эпоксидного связующего // Труды ВИАМ. 2017. № 10 (58). Ст. 08. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 16.11.2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-10-8-8.
5. Соломенцева А.В., Фадеева В.М., Железина Г.Ф. Антифрикционные органопластики для тяжелонагруженных узлов трения скольжения авиационных конструкций // Авиационные материалы и технологии. 2016. № 2 (41). С. 30–34. DOI: 10.18577/2071-9140-2016-0-2-30-34.
6. Машков Ю.К., Овчар З.Н., Байбарацкая М.Ю., Мамаев О.А. Полимерные композиционные материалы в триботехнике. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2004. 262 с.
7. Воронков Б.Д. Подшипники сухого трения. Л.: Машиностроение, 1979. 224 с.
8. Юдин А.С. Разработка износостойких, антифрикционных органотекстолитов на основе полиоксадиазольных тканей и полимер-минеральных модификаторов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: ИНЭОС РАН, 2013. 20 с.
9. Адаменко Н.А., Агафонова Г.В. Триботехнические полимерные материалы. Волгоград: ВолгГТУ, 2013. 107 с.
10. Бобарикин Ю.Л., Шишков С.В. Способ изготовления полосового антифрикционного металлофторопластового материала // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого. 2011. № 3. С. 3–9.
11. Каблов Е.Н., Старцев О.В. Фундаментальные и прикладные исследования коррозии и старения материалов в климатических условиях (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2015. № 4 (37). С. 38–52. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-4-38-52.
12. Каблов Е.Н., Старцев В.О. Системный анализ влияния климата на механические свойства полимерных композиционных материалов по данным отечественных и зарубежных источников (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2018. № 2 (51). С. 47–58. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-2-47-58.
13. Каблов Е.Н., Старцев В.О., Кротов А.С., Кириллов В.Н. Климатическое старение композиционных материалов авиационного назначения. III. Значимые факторы старения // Деформация и разрушение материалов. 2011. № 1. С. 34–40.
14. Петрова А.П., Малышева Г.В. Клеи, клеевые связующие и клеевые препреги: учеб. пособие / под науч. ред. Е.Н. Каблова. М.: ФГУП «ВИАМ», 2017. 472 с.
15. Каблов Е.Н. Материалы для авиакосмической техники // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2007. № 5. С. 7–27.

16. Каблов Е.Н. Материалы и химические технологии для авиационной техники // Вестник Российской академии наук. 2012. Т. 82. № 6. С. 520–530.
17. Гуляев А.И., Медведев П.Н., Сбитнева С.В., Петров А.А. Экспериментальное исследование по оценке адгезионной прочности «волокно–матрица» в углепластиках на основе эпоксидного связующего, модифицированного полисульфоном // Авиационные материалы и технологии. 2019. № 4 (57). С. 80–86. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 16.11.2021). DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-4-80-86.
18. Каблов Е.Н., Кулагина Г.С., Железина Г.Ф., Лонский С.Л., Куршев Е.В. Исследование микроструктуры однонаправленного органопластика на основе арамидных волокон Русар-НТ и эпоксидно-полисульфонового связующего // Авиационные материалы и технологии. 2020. № 4 (61). С. 19–26. DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-4-19-26.
19. Анисимов А.В., Бахарева В.Е., Балышко И.В., Гинзбург Б.М., Кирик Е.В., Точильников Д.Г. Характеристики органопластиков на основе фенольной матрицы и оксоланового волокна // Вопросы материаловедения. 2006. № 2. С. 113–118.
20. Яковлев А.Л., Ночовная Н.А., Путьтский С.В., Крохина В.А. Титанополимерные слоистые материалы // Авиационные материалы и технологии. 2016. № S2 (44). С. 56–62. DOI: 10.18577/2071-9140-2016-0-S2-56-62.

References

1. Kablov E.N., Startsev V.O. Climatic aging of polymer composite materials for aviation purposes. I. Evaluation of the influence of significant factors of influence. *Deformatsiya i razrusheniye materialov*, 2019, no. 12, pp. 7–16.
2. Mukhametov R.R., Petrova A.P., Ponomarenko S.A. Anti-adhesive coatings and their properties. *Trudy VIAM*, 2018, no. 12 (72), paper no. 10. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: November 16, 2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2018-0-12-88-96.
3. Silaeva A.A., Kuznetsova V.A., Zheleznyak V.G., Kurshev E.V. Research of adhesion and adhesive durability of functional paint coatings for protection of polymer composite surface. *Trudy VIAM*, 2021, no. 9 (103), paper no. 06. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: November 16, 2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-9-59-66.
4. Kulagina G.S., Korobova A.V., Ilichev A.V., Zhelezina G.F. Physical and physico-mechanical properties of antifriction organoplastics based on combined fabric filler and epoxy binder. *Trudy VIAM*, 2017, no. 10 (58), paper no. 08. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: November 16, 2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-10-8-8.
5. Solomentseva A.V., Fadeeva V.M., Zhelezina G.F. Antifriction organoplastics for heavy loaded sliding friction units of aircraft structures. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2016, no. 2, pp. 30–34. DOI: 10.18577/2071-9140-2016-0-2-30-34.
6. Mashkov Yu.K., Ovchar Z.N., Baibaratskaya M.Yu., Mamaev O.A. *Polymer composite materials in tribotechnics*. Moscow: Nedra-Businesscenter, 2004, 262 p.
7. Voronkov B.D. *Dry friction bearings*. Leningrad: Mashinostroenie, 1979, 224 p.
8. Yudin A.S. *Development of wear-resistant, anti-friction organo-textolites based on polyoxadiazole fabrics and polymer-mineral modifiers*: thesis abstract, Cand. Sc. (Tech.). Moscow: INEOS RAN, 2013. 20 p.
9. Adamenko N.A., Agafonova G.V. *Tribotechnical polymeric materials*. Volgograd: VolgGTU, 2013, 107 p.
10. Bobarikin Yu.L., Shishkov S.V. Method for manufacturing a strip antifriction metal-fluoroplastic material. *Vestnik Gomelskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. P.O. Sukhogo*, 2011, no. 3, pp. 3–9.
11. Kablov E.N., Startsev O.V. The basic and applied research in the field of corrosion and ageing of materials in natural environments (review). *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2015, no. 4 (37), pp. 38–52. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-4-38-52.
12. Kablov E.N., Startsev V.O. Systematical analysis of the climatic influence on mechanical properties of the polymer composite materials based on domestic and foreign sources (review). *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2018, no. 2 (51), pp. 47–58.

13. Kablov E.N., Startsev V.O., Krotov A.S., Kirillov V.N. Climatic aging of aviation composite materials. III. Significant factors of aging. *Deformatsiya i razrusheniye materialov*, 2011, no. 1, pp. 34–40.
14. Petrova A.P., Malysheva G.V. *Adhesives, adhesive binders and adhesive prepregs: textbook*. Ed. E.N. Kablov. Moscow: VIAM, 2017. 472 p.
15. Kablov E.N. Materials for aerospace engineering. *Vse materialy. Entsiklopedicheskiy spravochnik*, 2007, no. 5, pp 7–27.
16. Kablov E.N. Materials and chemical technologies for aviation equipment. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk*, 2012, vol. 82, no. 6, pp. 520–530.
17. Gulyaev A.I., Medvedev P.N., Sbitneva S.V., Petrov A.A. Experimental research of «fiber–matrix» adhesion strength in carbon fiber epoxy/polysulphone composite. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2019, no. 4 (57), pp. 80–86. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-4-80-86.
18. Kablov E.N., Kulagina G.S., Zhelezina G.F., Lonskii S.L., Kurshev E.V. Microstructure research of the unidirectional organoplastic based on Rusar-NT aramid fibers and epoxy-polysulfone binder. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2020, no. 4 (61), pp. 19–26. DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-4-19-26.
19. Anisimov A.V., Bakhareva V.E., Balyshko I.V. et al. Characteristics of organoplastics based on a phenol matrix and oxolane fiber. *Voprosy materialovedeniya*, 2006, no. 2, pp. 113–118.
20. Yakovlev A.L., Nochovnaya N.A., Putyrskij S.V., Krohina V.A. Titanium-polymer laminated materials. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2016, no. S2, pp. 56–62. DOI: 10.18577/2071-9140-2016-0-S2-56-62.

Информация об авторах

Кан Алексей Чангирович, ведущий инженер, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Кулагина Галина Серафимовна, старший научный сотрудник, к.х.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Аюпов Тимур Ринатович, техник, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Железина Галина Федоровна, начальник сектора, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Information about the authors

Alexey Ch. Kan, Leading Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Galina S. Kulagina, Senior Researcher, Candidate of Sciences (Chem.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Timur R. Ayupov, Technician, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Galina F. Zhelezina, Head of Sector, Candidate of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Статья поступила в редакцию 15.12.2021; одобрена и принята к публикации после рецензирования 21.12.2021.

The article was submitted 15.12.2021; approved and accepted for publication after reviewing 21.12.2021.