

Научная статья

УДК 678.8

DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-11-37-46

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА АНТИФРИКЦИОННОГО САМОСМАЗЫВАЮЩЕГОСЯ ОРГАНОПЛАСТИКА НА ОСНОВЕ ТКАНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ ИЗ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНОВЫХ ВОЛОКОН И НИТЕЙ АРСЕЛОН

Г.С. Кулагина¹, Г.Ф. Железина¹, А.Ч. Кан¹, Е.В. Куршев¹

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

Аннотация. Рассмотрены эксплуатационные свойства антифрикционных органо-пластиков на основе новой армирующей ткани, состоящей из комплексных нитей двух типов – из политетрафторэтиленового волокна и полиоксадиазольного волокна Арселон. Исследованы характер разрушения при отслаивании органопластика от металлической подложки и влияние различных внешних факторов (температуры, влажности, солевого тумана, условий камеры тропического климата и др.) на сохранение прочности клеевого соединения. Показано, что при действии эксплуатационных факторов значения прочности при отслаивании органопластика от стали выше минимально допустимого уровня.

Ключевые слова: антифрикционный органопластик, антифрикционный самосмазывающийся материал, полимерные волокна, политетрафторэтилен, волокна Арселон, эксплуатационные свойства

Для цитирования: Кулагина Г.С., Железина Г.Ф., Кан А.Ч., Куршев Е.В. Эксплуатационные свойства антифрикционного самосмазывающегося органопластика на основе тканого наполнителя из политетрафторэтиленовых волокон и нитей Арселон // Труды ВИАМ. 2023. № 11 (129). Ст. 04. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-11-37-46.

Scientific article

EXPLOITATION PROPERTIES OF ANTIFRICTION SELFLUBRICATING ORGANOPLASTIC BASED ON FABRIC MADE OF POLYTETRAFLUOROETHYLENE AND ARCELON FIBERS

G.S. Kulagina¹, G.F. Zhelezina¹, A.Ch. Kan¹, E.V. Kurshev¹

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

Abstract. The article studied the exploitation properties of antifriction organoplastics based on a new reinforcing fabric consisting of two types of fibers: polytetrafluoroethylene and polyoxadiazole fiber Arcelon. The nature of destruction during delamination of organoplastic from a metal substrate and the influence of various factors (temperature, humidity, salt fog, tropical chamber conditions, etc.) on adhesive strength were studied. It has been shown that, under the influence of operational factors, organoplastic has high adhesive strength values – above the allowable minimum level.

Keywords: antifriction organoplastic, antifriction selflubricating material, polymer fibers, polytetrafluoroethylene, fibers Arcelon, exploitation properties

For citation: Kulagina G.S., Zhelezina G.F., Kan A.Ch., Kurshev E.V. Exploitation properties of antifriction selflubricating organoplastic based on fabric made of polytetrafluoroethylene and Arcelon fibers. *Trudy VIAM*, 2023, no. 11 (129), paper no. 04. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-11-37-46.

Введение

Антифрикционные органопластики широко применяют в авиационной технике в составе тяжело нагруженных узлов трения скольжения в качестве тонкослойного покрытия на металлической основе [1, 2]. В связи с ужесточением требований к подшипникам скольжения перспективных вертолетов возрастают требования к эксплуатационным характеристикам антифрикционного органопластика при воздействии различных факторов внешней среды. Эксплуатационные свойства антифрикционного органопластика как композиционного материала в значительной степени зависят от состава и структуры армирующей ткани, а также ее взаимодействия с полимерной матрицей [3–5].

Разработаны и изготовлены экспериментальные ткани для создания антифрикционных самосмазывающихся материалов на основе двух видов комплексных нитей, сплетенных в единую текстильную структуру, – из политетрафторэтиленового (ПТФЭ) волокна и волокон различной химической структуры: ароматический полиимид (марка Аримид), ароматический полиамид (марка Руслан), полиэфирэфиркетон, полиоксадиазол (марка Арселон) [6]. Применение двух типов волокон позволяет сочетать в ткани антифрикционные и армирующие свойства: волокна ПТФЭ обеспечивают низкий коэффициент трения [7–11], силовые волокна из перечисленных полимеров – армирование структуры.

Одной из важнейших особенностей спроектированных комбинированных тканей является способ переплетения нитей, обеспечивающий наличие лицевой и изнаночной сторон с различным составом. Благодаря такому подходу на поверхности узлов трения из препрега на основе ткани, пропитанной реакционноспособным связующим, формируется покрытие, рабочая поверхность которого обогащена антифрикционным компонентом из ПТФЭ [12]. Наличие армирующих волокон в структуре ткани, локализованных преимущественно с изнаночной стороны, обеспечивает адгезию к связующему [13, 14], и, как следствие, при получении органопластика формируется его адгезионное соединение с металлической поверхностью узла трения. Согласно работам [15, 16], механизм действия антифрикционных материалов, содержащих волокна ПТФЭ, заключается в образовании на поверхности контакта с контртелом самосмазывающейся пленки, возобновляемой без разрушения пролонгировано в процессе трения.

Для изготовления тканей в работе [6] применяли полутораслойное переплетение с дополнительным утком, позволяющее получить ткань с застилой поверхностью. Схемы переплетения варьировались, например: на базе неправильного четырехремизного сатина; усиленного сатина 8/3; сатина 8/3 (первая сторона) и полотняного переплетения (вторая сторона) и др. Значения поверхностной плотности изготовленных экспериментальных тканей сопоставимы и находятся в диапазоне 290–320 г/м², однако их физико-механические свойства отличаются.

С использованием растворного фенолокаучукового связующего и разработанных тканей изготовлены экспериментальные образцы препрегов и органопластиков на их основе. Сравнительные испытания триботехнических свойств антифрикционных органопластиков на примере пар трения со сталью марки 30ХГСА показали, что коэффициент трения для всех образцов находится на уровне 0,04–0,06. Установлено, что все типы спроектированных и изготовленных тканей можно применять в качестве наполнителей для создания антифрикционных самосмазывающихся материалов.

В данной работе рассмотрены эксплуатационные свойства антифрикционных органопластиков на основе новой армирующей ткани, состоящей из комплексных нитей двух типов – из волокна на основе ПТФЭ и полиоксадиазольного волокна Арселон.

Материалы и методы

В составе антифрикционного органопластика применяли тканый наполнитель, включающий нити ПТФЭ с линейной плотностью 44 текс и нити Арселон с линейной плотностью 29 текс. Текстильная структура ткани – полутораслойное переплетение на базе усиленного сатина 8/3 [6].

Поверхностную плотность ткани и разрывную нагрузку полосы ткани размером 50×200 мм определяли по ГОСТ 29104.1–91.

Тканый наполнитель обладает следующими свойствами:

Поверхностная плотность, г/м ²	290
Толщина (мкм) при давлении, кПа:	
19	413
199	274
Разрывная нагрузка полосы ткани размером 50×200 мм, Н:	
по основе	830
по утку	1171

Для пропитки ткани применяли растворное связующее марки АФК-101, содержащее фенолформальдегидные смолы и нитрильный каучук. Выбор связующего определялся его свойствами [2, 17]. Пропитку проводили на лабораторной установке ЛПУ-1000 производства НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ. Полученный полуфабрикат – препрег антифрикционного органопластика – имеет следующие характеристики:

Поверхностная плотность, г/м ²	386
Массовая доля связующего, %	22,3
Массовая доля летучих веществ, %	3,8
Прочность клеевого соединения при отслаивании органо-пластика от стали, Н/мм	1,9

Формование образцов антифрикционного органопластика на поверхности металлической подложки проводили в прессе при температуре 150–200 °С и удельном давлении 5–10 МПа.

Микроструктуру поверхностей расслаивания антифрикционного органопластика и металлической подложки исследовали методом сканирующей электронной микроскопии в режиме вторичных электронов по методике, описанной в работах [18–20]. Микроструктуру выявляли ионно-плазменным травлением с последующим напылением слоя золота толщиной 20 нм с помощью вакуумной установки для магнетронного напыления.

Триботехнические испытания образцов органопластиков проводили на установке трения И-47 при удельной нагрузке 3,1 МПа и линейной скорости скольжения от 0,005 до 0,1 м/с. Вид сопряжения – торцевое трение двух цилиндрических образцов, пара трения – органопластик/сталь 30ХГСА. Продолжительность испытаний составила 60 мин.

Лабораторные климатические испытания выполнены с использованием оборудования ЦКП «Климатические испытания» НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ.

Стойкость к термическому старению при повышенных температурах (200 и 225 °С) определяли согласно СТО 1-595-20-101–2016, время экспозиции изменяли от 8 до 100 ч. Воздействие минимальной температуры среды (–60 °С) при эксплуатации в течение 24 ч оценивали по ГОСТ 30630.2.1–2013 (метод 203-1). Экспозицию в камере солевого тумана проводили при температуре 35 °С в течение 7 сут согласно ГОСТ 9.719–94.

Термовлажностное старение при температуре 60 °С и влажности 85 % осуществляли по ГОСТ 9.707–81, испытания в климатической камере, имитирующей тропический климат, – по СТП 1.595-20-100–2002. Стойкость к действию различных сред исследовали согласно ГОСТ Р 56762–2015 (метод В – воздействие влаги, режим кондиционирования при температуре 23 °С и влажности 98 %) и по ГОСТ 12020–2018 (влияние авиационного топлива ТС-1 и масла ИПМ-10). Продолжительность экспозиции образцов в соответствующих средах составила 1 мес.

Прочность клеевого соединения при отслаивании органопластика от металлической подложки (нержавеющей стали) определяли на испытательной машине по ОСТ 1 90315–83, угол отслаивания составил 90 градусов. Испытания проводили при температурах –60, 20, 200 и 225 °С.

Результаты и обсуждение

Прочность клеевого соединения при отслаивании органопластика от стали является важной характеристикой для антифрикционного материала на основе тканого наполнителя и полимерного связующего, предназначенного для работы в качестве покрытия на металлической поверхности узла трения. Данный показатель характеризует прочность адгезионного контакта, реализуемого в системе «полимерное волокно–полимерная матрица–металлическая подложка». Высокое значение прочности при отслаивании от стали гарантирует надежную работу узлов трения в процессе эксплуатации ответственных деталей и механизмов, поэтому этот показатель должен тщательно контролироваться.

В данной работе эксплуатационные свойства антифрикционного органопластика оценивали, анализируя значения прочности клеевого соединения при отслаивании органопластика от металлической подложки после воздействия различных факторов окружающей среды.

Характеристики антифрикционного органопластика, представляющего собой покрытие на поверхности плоской металлической основы, следующие:

Толщина антифрикционного органопластика, мм	0,28
Прочность при отслаивании от стали (Н/мм) при температуре испытаний, °С:	
–60	2,6
20	2,5
200	1,5
225	1,2
Коэффициент трения (отн. ед.) при скорости скольжения, м/с:	
0,005	0,09
0,020	0,07
0,050	0,06
0,075	0,06
0,100	0,03

Прочность при отслаивании органопластика от стали зависит от температуры испытаний: наибольшее значение (2,6 Н/мм) получено при температуре $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$, наименьшее (1,2 Н/мм) – при температуре $225\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Триботехнические испытания образцов органопластика проведены при удельной нагрузке 3,1 МПа и различных скоростях скольжения. Значения коэффициента трения изменяются в диапазоне 0,03–0,09. Показано, что в изученных условиях испытаний в течение 60 мин износа не наблюдалось (определена линейная интенсивность изнашивания).

Результаты исследования длительного воздействия различных эксплуатационных факторов (тепла и влаги, повышенных и отрицательных температур, солевого тумана, влаги, технических сред) на прочность клеевого соединения при отслаивании органопластика от стали представлены на рис. 1 и 2. Испытания на отслаивание после температурного воздействия проводили при температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

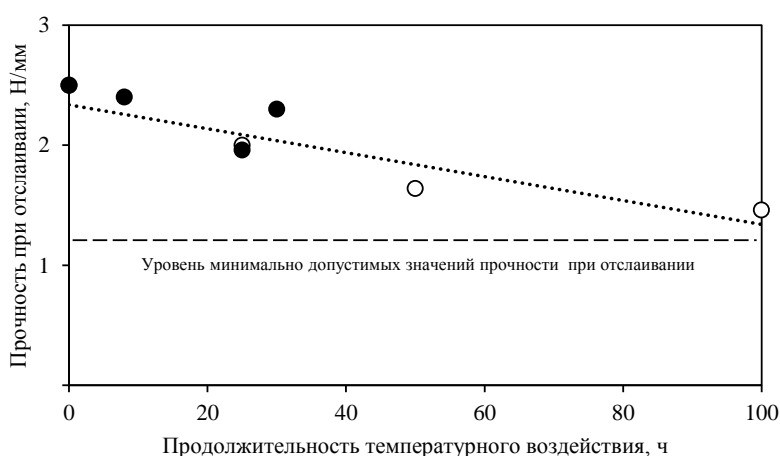


Рис. 1. Прочность клеевого соединения при отслаивании антифрикционного органопластика от стали после воздействия повышенных температур $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ (○) и $225\text{ }^{\circ}\text{C}$ (●)

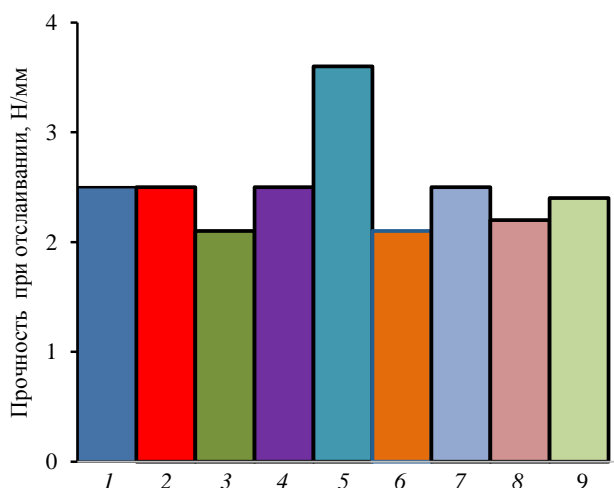


Рис. 2. Прочность клеевого соединения при отслаивании антифрикционного органопластика от стали после воздействия различных эксплуатационных факторов: 1 – исходное состояние; 2 – тепловлажностное старение (1 мес); 3 – камера тропического климата (1 мес); 4 – камера солевого тумана (температура $35\text{ }^{\circ}\text{C}$, 7 сут); 5 – температура $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 24 ч; 6 – циклическое изменение температуры от -60 до $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ с увлажнением; 7 – выдержка в парах воды (1 мес); 8 – выдержка в топливе ТС-1 (1 мес); 9 – выдержка в масле ИПМ-10 (1 мес)

Испытания на воздействие высоких температур (200 и 225 °С), которым подвергали образцы антифрикционного органопластика на поверхности металлической подложки, обусловлены возможностью возникновения повышенных температур в реальных условиях эксплуатации узлов трения в результате комплексного воздействия внешних факторов окружающей среды и повышения температуры за счет возникающих сил трения. Показано, что прочность адгезионного соединения при температурах 200 и 225 °С снижается в 1,7–2 раза по сравнению с аналогичным показателем при температуре 20 °С. Это обусловлено изменением релаксационных свойств полимерного связующего под действием температуры. Следует отметить, что, несмотря на переход из стеклообразного состояния полимерной матрицы (температура стеклования ~200 °С), сетка пространственных связей, возникающая при отверждении фенолокаучукового связующего, позволяет сохранять прочность при отслаивании на уровне 1,2–1,5 Н/мм. Для аналогичных материалов прочность при отслаивании, равная 1,2 Н/мм, установлена как минимально допустимая [2].

Образцы выдерживают воздействие постоянной температуры 200 °С в течение 100 ч, при этом прочность при отслаивании снижается в ~2 раза (до 1,4 Н/мм) по сравнению с исходным значением (при температуре 20 °С). Экспозиция при температуре 225 °С имеет аналогичную тенденцию: показано линейное снижение прочности адгезионного соединения при увеличении продолжительности температурного воздействия. Образцы, экспонированные при температурах 200 и 225 °С в течение <30 ч, характеризуются близкими значениями данного показателя.

Влияние различных факторов на прочность при отслаивании антифрикционного покрытия от металлической подложки исследовали, сравнивая полученные данные с исходными значениями показателя для образцов, кондиционированных при температуре 23±3 °С и влажности 45±5 %. Показано, что экспозиция при минимальной температуре –60 °С в течение 24 ч способствует повышению значения прочности при отслаивании. Полученный эффект требует дополнительного исследования.

Воздействие циклической смены температур с увлажнением на прочность при отслаивании оценивали при следующих условиях: повышенная влажность при температуре 40 °С (10 циклов); термоциклирование от –60 до +80 °С (5 циклов); повышенная влажность при температуре 40 °С (10 циклов). Экспозиция при данных условиях приводит к снижению показателя на 20 %.

На аналогичном уровне (80 %) сохраняется значение прочности при отслаивании после экспозиции в условиях камеры тропического климата в течение 1 мес. После выдерживания при повышенной влажности и комнатной температуре, при воздействии солевого тумана в течение 7 сут, а также при совместном воздействии температуры 80 °С и влажности 60 % в течение 1 мес значение прочности при отслаивании не изменилось, а после экспозиции в среде топлива ТС-1 и масла ИПМ-10 в течение 1 мес – уменьшилось на 10–15 %.

Следует отметить, что уровень прочности клевого соединения при отслаивании органопластика от стали под влиянием исследуемых эксплуатационных факторов снизился на ≤20 %. Значение показателя составило не менее 2 Н/мм, что значительно превышает минимально допустимый уровень (1,2 Н/мм). Наиболее «жесткими» условиями эксплуатации стали циклическая смена температуры и влажности, а также камера, имитирующая условия тропического климата.

На рис. 3 приведены изображения лицевой и изнаночной сторон комбинированной двухсторонней ткани на основе нитей ПТФЭ и Арселон, использованной для изготовления антифрикционного материала. Видно, что на лицевую поверхность выходят преимущественно нити ПТФЭ (черного цвета), на изнаночную – нити Арселон (рыжего цвета). Поскольку ПТФЭ обладает низкой адгезией к полимерному связующему, формирование антифрикционного материала из препрега на металлической подложке осуществляется стороной, обогащенной нитями Арселон. В связи с этим адгезионная прочность антифрикционного покрытия и металлической поверхности определяется взаимодействием на границе «полиоксадиазольное волокно–связующее».

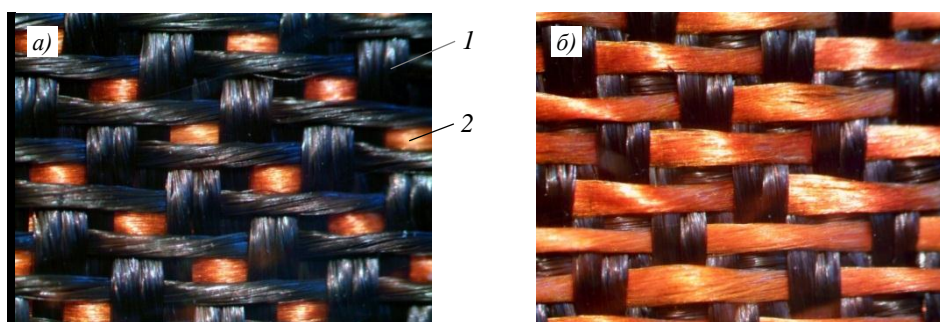


Рис. 3. Лицевая (а) и изнаночная (б) стороны тканого наполнителя [6]: 1 – нити ПТФЭ; 2 – нити Арселон

Более детально взаимодействие полимерной матрицы и волокна исследовано методом сканирующей электронной микроскопии. На рис. 4 и 5 представлена микроструктура поверхности расслаивания образцов органопластик со сторон армирующего наполнителя и металлической подложки. Видно, что расслаивание происходит по смешанному типу: адгезионному («полимерная матрица–волокно») и когезионному (по полимерной матрице и по волокну). Преимущественно реализуется первый тип. Наблюдается повреждение волокон, частично включенных в структуру полимерной матрицы и перенесенных с полимерной матрицей на поверхность металлической подложки. Повреждение волокон характерно для нитей Арселон (рис. 4, а). Между волокнами присутствует прослойка разрушенной в процессе расслаивания полимерной матрицы (рис. 4, б). Для волокон ПТФЭ типична гладкая поверхность (рис. 4, в).

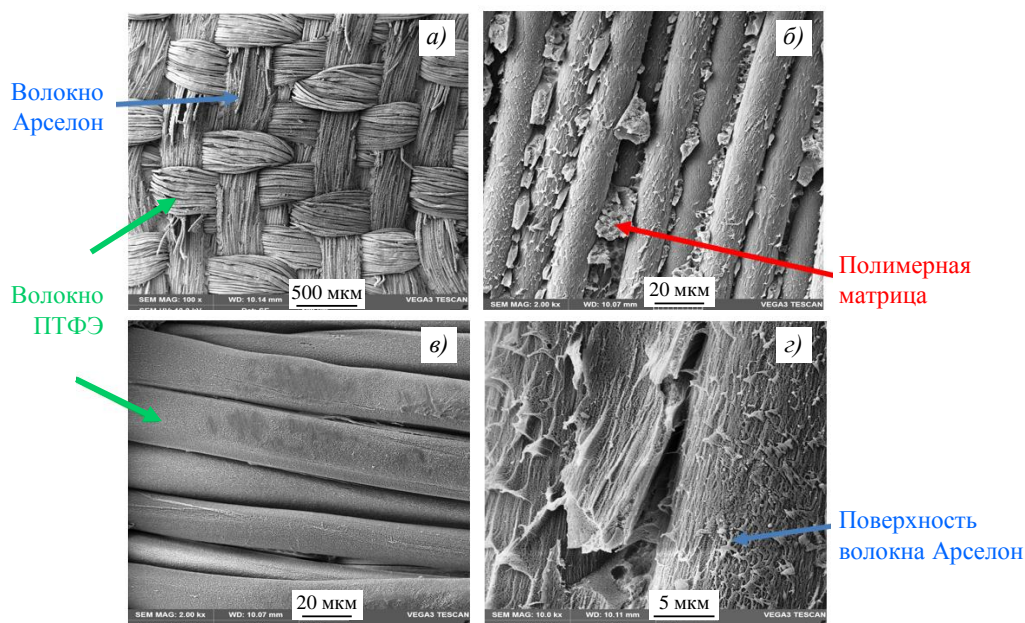


Рис. 4. Микроструктура поверхности расслоения «органопластик–металлическая подложка» со стороны армирующего наполнителя при различном увеличении

Со стороны металлической подложки зафиксированы отпечаток структуры ткани и волокна (рис. 5, а) – на поверхности отчетливо виден рельеф, образованный волокнистой структурой ткани; структура полимерной матрицы с включением некоторого количества поврежденных волокон тканого наполнителя (рис. 5, б). При большем увеличении полимерная матрица (рис. 5, в, г) характеризуется дисперсной фазовой структурой с размером частиц 200–400 нм, объединенных в агрегаты размером 1–2 мкм.

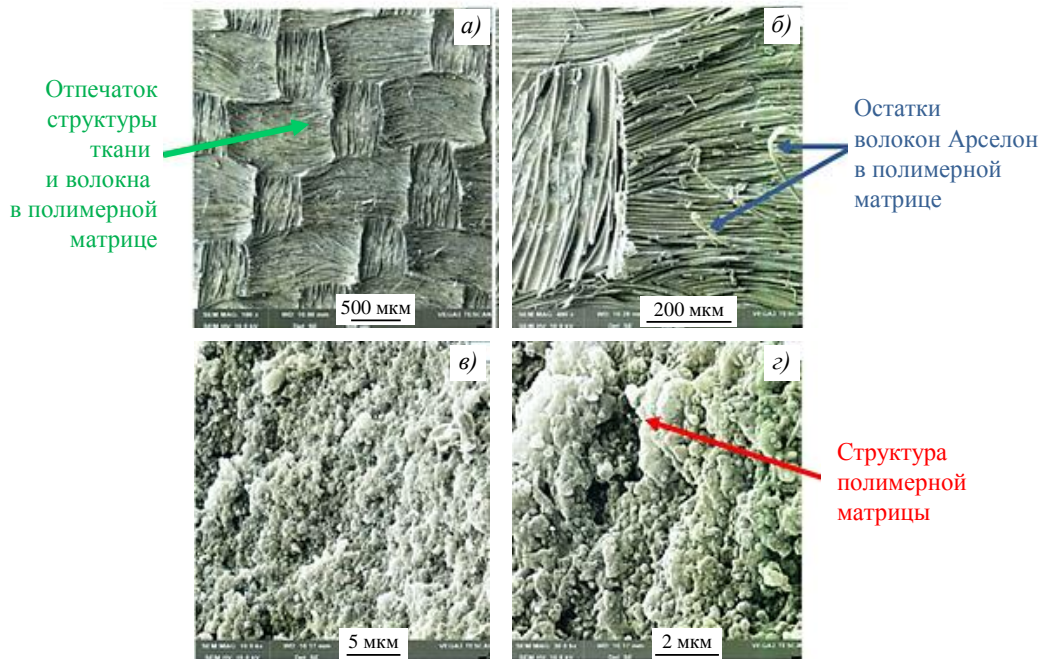


Рис. 5. Микроструктура поверхности расслоения со стороны металлической подложки при различном увеличении

Исследование микроструктуры подтверждает, что адгезионные характеристики при отслаивании определяются свойствами полимерного связующего и его взаимодействием с поверхностью волокна Арселон.

Заключения

Разработанный органопластик на основе тканого армирующего наполнителя из нитей ПТФЭ и Арселон, а также фенолокаучукового связующего способен работать без смазки и может применяться в качестве антифрикционного покрытия толщиной 0,25–0,30 мм, нанесенного на поверхность металлической основы в узлах трения. Результаты оценки эксплуатационных свойств позволяют рекомендовать антифрикционный самосмазывающийся органопластик для изготовления узлов трения изделий, работающих на открытом воздухе при различных температурах, влажности и перепадах температур при повышенной влажности.

Список источников

1. Каблов Е.Н. Основные направления развития материалов для авиакосмической техники XXI века // Перспективные материалы. 2000. № 3. С. 27–36.
2. Кулагина Г.С., Железина Г.Ф., Левакова Н.М. Антифрикционные органопластики для высоконагруженных узлов трения // Труды ВИАМ. 2019. № 2 (74). Ст. 09. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 22.09.2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-2-89-96.
3. 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.
4. 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.
5. 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. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-4-80-86.

6. Кулагина Г.С., Кан А.Ч., Железина Г.Ф., Левакова Н.М. Антифрикционные материалы на основе полимерных волокон // Труды ВИАМ. 2022. № 11 (117). Ст. 05. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 22.09.2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-11-48-59.
7. Пашин Ю.А., Малкевич С.Г., Дунаевская И.С. Фторопласты. Л.: Химия, 1978. С. 232.
8. Сагалаев Г.В. Триботехнические свойства антифрикционных самосмазывающихся пластмасс. М.: Изд-во стандартов, 1982. 64 с.
9. Кужаров А.С., Рядченко В.Г., Гречко В.О. и др. Исследование триботехнических свойств различных текстильных структур на основе волокнистого политетрафторэтилена // Трение и износ. 1986. Т. 7. № 5. С. 945–950.
10. Кужаров А.С., Рядченко В.Г. Композиционные антифрикционные покрытия на основе волокон политетрафторэтилена // Безызносность: межвуз. сб. науч. тр. Ростов н/Д: РИСХМ, 1992. Вып. 2. С. 140–147.
11. Войнштейн В.Э., Трояновская Г.И. Сухие смазки и самосмазывающиеся материалы. М.: Машиностроение, 1968. С. 179.
12. Препрег антифрикционного органопластика и изделие, выполненное из него: пат. 2404202 Рос. Федерация; № 2009111566/05; заявл. 31.03.09; опубл. 20.11.10. Бюл. № 32.
13. Перепелкин К.Е. Армирующие волокна и волокнистые полимерные композиты. СПб.: Научные основы и технологии, 2009. 380 с.
14. Дресвянина Е.Н., Макарова Р.А., Трусов Ю.Д. Высокотермостойкие полиоксадиазольные волокна, нити и текстиль на их основе // Технический текстиль. 2007. № 16. С. 15–20.
15. Погосян А.К. Трение и износ наполненных полимерных материалов. М.: Наука, 1977. 138 с.
16. Мышкин Н.К., Петроковец М.И. Трибология. Принципы и приложения. Гомель: ИММС НАНБ, 2002. 310 с.
17. Ткачук А.И., Донецкий К.И., Терехов И.В., Караваев Р.Ю. Применение термореактивных связующих для изготовления полимерных композиционных материалов методами безавтоклавного формования // Авиационные материалы и технологии. 2021. № 1 (62). Ст. 03. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 22.09.2023). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-1-22-33.
18. Деев И.С., Кобец Л.П. Исследование микроструктуры и микрополей деформаций в полимерных композитах методом растровой электронной микроскопии // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 1999. Т. 65. № 4. С. 27–34.
19. Деев И.С., Каблов Е.Н., Кобец Л.П., Чурсова Л.В. Исследование методом сканирующей электронной микроскопии деформации микрофазовой структуры полимерных матриц при механическом нагружении // Труды ВИАМ. 2014. № 7. Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 22.09.2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-7-6-6.
20. Григоренко В.Б., Морозова Л.В. Применение растровой электронной микроскопии для изучения начальных стадий разрушения // Авиационные материалы и технологии. 2018. № 1 (50). С. 77–87. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-1-77-87.

References

1. Kablov E.N. The main directions of the development of materials for the Authoric technique of the XXI century. *Perspektivnye materialy*, 2000, no. 3, pp. 27–36.
2. Kulagina G.S., Zhelezina G.F., Levakova N.M. Antifriction organoplastics for high-loaded friction knots. *Trudy VIAM*, 2019, no. 2 (74), paper no. 09. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: September 22, 2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-2-89-96.
3. Kablov E.N., Startsev V.O. Climate aging of polymer composite aviation materials. I. Assessment of the influence of significant factors of exposure. *Deformatsiya i razrusheniye materialov*, 2019, no. 12, pp. 7–16.
4. 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. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-2-47-58.
5. 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.

6. Kulagina G.S., Kan A.Ch., Zhelezina G.F., Levakova N.M. Antifriction materials based on polymer fibers. *Trudy VIAM*, 2022, no. 11 (117), paper no. 05. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: September 22, 2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-11-48-59.
7. Pashin Yu.A., Malkevich S.G., Dunaevskaya I.S. *Fluoroplasts*. Leningrad: Khimiya, 1978, p. 232.
8. Sagalaev G.V. *The tribotechnical properties of antifriction self-losing plastics*. Moscow: Publ. house of standards, 1982, 64 p.
9. Kuzharov A.S., Rygchenko V.G., Grechko V.O. et al. Study of the tribotechnical properties of various textile structures based on fibrous polyoxadiazol radiator-ethyl. *Trenie i iznos*, 1986, vol. 7, no. 5, pp. 945–950.
10. Kuzharov A.S., Rygchenko V.G. Compositional antifriction coatings based on the fibers of polyoxadiazol. *Consistency: interuniversity collection scientific works*. Rostov-on-Don: RISHM, 1992, is. 2, pp. 140–147.
11. Voinstein V.E., Troyanovskaya G.I. *Dry lubricants and selflubricating materials*. Moscow: Mechanical Engineering, 1968, p. 179.
12. *Permant antifriction organoplasty and product made from it*: pat. 2404202 Rus. Federation; No. 2009111566/05; appl. 31.03.09; publ. 20.11.10.
13. Perepelkin K.E. *Reinforcing fibers and fibrous polymer composites*. St. Petersburg: Scientific foundations and technologies, 2009, 380 p.
14. Dresvyanina E.N., Makarova R.A., Trusov Yu.D. Highterm-resistant polyoxadiazol fibers, threads and textiles based on them. *Tekhnicheskiiy tekstil*, 2007, no. 16, pp. 15–20.
15. Poghosyan A.K. *Friction and wear of filler materials filled*. Moscow: Science, 1977, 138 p.
16. Myshkin N.K., Petrookovets M.I. *Tribology. Principles and applications*. Gomel: IMMS NANB, 2002, 310 p.
17. Tkachuk A.I., Donetsky K.I., Terekhov I.V., Karavaev R.Yu. The use of thermosetting matrices for the manufacture of polymer composite materials by the non-autoclave molding methods. *Aviation materials and technology*, 2021, no. 1 (62), paper no. 03. Available at: <https://journal.viam.ru> (accessed: September 22, 2023). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-1-22-33.
18. Deev I.S., Kobets L.P. Study of microstructure and micropolis of deformations in polymer composites by the method of raster electron microscopy. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov*, 1999, vol. 65, no. 4, pp. 27–34.
19. Deev I.S., Kablov E.N., Kobets L.P., Chursova L.V. Research of the scanning electron microscopy method deformation of microphase structure of polymeric matrix at mechanical loading. *Trudy VIAM*, 2014, no. 7, paper no. 06. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: September 22, 2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-7-6-6.
20. Grigorenko V.B., Morozova L.V. Application of the scanning electron microscopy for studying of initial destruction stages. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2018, no. 1 (50), pp. 77–87. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-1-77-87.

Информация об авторах

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

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

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

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

Information about the authors

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

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

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

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

Статья поступила в редакцию 02.10.2023; одобрена и принята к публикации после рецензирования 10.10.2023.

The article was submitted 02.10.2023; approved and accepted for publication after reviewing 10.10.2023.