

Научная статья

УДК 541.64:539.24

DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-11-48-59

АНТИФРИКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНЫХ ВОЛОКОН

Г.С. Кулагина¹, А.Ч. Кан¹, Г.Ф. Железина¹, Н.М. Левакова²

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

²Общество с ограниченной ответственностью «ТЕКС-ЦЕНТР», Москва, Россия; info@teks-centre.ru

Аннотация. Работа направлена на создание самосмазывающихся антифрикционных материалов, армированных тканым наполнителем на основе органических волокон. Спроектированы и изготовлены экспериментальные ткани различного состава и текстильной структуры. В состав тканей входят политетрафторэтиленовые волокна (ПТФЭ) и волокна из других органических полимеров. Исследованы образцы тканей и антифрикционных органопластиков на их основе, определены их физико-механические и трибологические свойства. Показано, что органопластики на основе экспериментальных тканей могут быть рассмотрены в качестве самосмазывающихся антифрикционных материалов.

Ключевые слова: антифрикционный органопластик, антифрикционная ткань, самосмазывающийся материал, политетрафторэтиленовое волокно, коэффициент трения

Для цитирования: 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>. DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-11-48-59.

Scientific article

ANTIFRICTION MATERIALS BASED ON POLYMER FIBERS

G.S. Kulagina¹, A.Ch. Kan¹, G.F. Zhelezina¹, N.M. Levakova²

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

²Limited Liability Company «TEKS-CENTRE», Moscow, Russia; info@teks-centre.ru

Abstract. The paper considers self-lubricating antifriction materials reinforced with fabric based on organic fibers. Experimental fabrics of various composition and textile structure were designed and manufactured. Fabrics contain fibers of PTFE and other organic polymers. Samples of fabrics and antifriction organoplastics based on them have been studied, their physical-mechanical and tribological properties have been determined. It is shown that organoplastics based on experimental tissues can be considered as self-lubricating antifriction materials.

Keywords: ant-friction organoplastic, antifriction fabric, self-lubricating material, polytetrafluoroethylene fiber, friction coefficient

For citation: 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>. DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-11-48-59.

Введение

Как известно, полимерные композиты широко применяются в триботехнике в качестве антифрикционных материалов. Наполнитель или комплекс наполнителей в композите (дисперсные порошки или волокна, ткани различной природы, в том числе полимерные) выполняют роль функциональных, в частности антифрикционных, или армирующих компонентов [1–6]. Полимерная матрица сама по себе также может обладать антифрикционными свойствами.

Типичные полимеры, применяемые в триботехнике, – это термопластичные полимеры, например:

- фторуглероды – политетрафторэтилен (ПТФЭ), фторэтиленпропилен (ФЭП), перфторалкоксид (ПФА);

- полиэтилены – полиэтилен высокой плотности (ПЭВП), полиэтилен сверхвысокой молекулярной массы (СВМПЭ);

- полиамиды (нейлоны), поликарбонат, полифениленсульфид (ПФС), поли(амид-имид), полиимиды, полиэфирсы [6–8].

Термореактивные полимеры – это фенольные, эпоксидные, полиэфирные смолы; эластомеры – каучуки, полиуретаны, кремнийорганические и фторсодержащие полимеры и др. Термореактивные полимеры в большинстве случаев применяются в качестве матрицы в составе полимерных композитов [6, 8–10]. Эластомеры зачастую используются для изготовления поверхностей с высоким сопротивлением абразивному изнашиванию [3].

В качестве функциональных наполнителей и армирующих компонентов широкое распространение получили:

- волокна – асбест, углерод, графит, ПТФЭ, стекло, полиамиды (арамид, нейлон), полиэфирсы и другие текстильные волокна;

- порошки – дисульфид молибдена, графит, углерод, ПТФЭ, полиимид, серебро, бронза, кварц, оксид алюминия, слюда;

- жидкости – минеральные масла, жирные кислоты, кремнийорганические жидкости и др. [2].

В самосмазывающихся материалах для подшипников скольжения используют главным образом термопластичные полимеры. Область их применения определяется нагрузочно-скоростными параметрами, реализуемыми в узлах трения. С этой точки зрения особое положение занимает политетрафторэтилен (ПТФЭ), так как обладает исключительной самосмазывающейся способностью, низким коэффициентом трения при высоких нагрузках, теплостойкостью, химической стойкостью в агрессивных средах [5, 6, 10]. Однако чистый ПТФЭ редко используется в подшипниках сухого трения из-за высокой скорости изнашивания и низкого предела текучести, вследствие чего ПТФЭ зачастую входит в состав композиционного материала либо в качестве полимерной матрицы, либо в качестве наполнителя.

Для высоконагруженных узлов трения скольжения применяют антифрикционные материалы, содержащие ПТФЭ в виде наполнителя, который в процессе трения способен к пролонгированному выделению в виде тонкой пленки на поверхности контакта, способной к многократному деформированию без разрушения благодаря кристаллической структуре полимера [3, 11].

Задачу внедрения ПТФЭ в состав композиционного материала решают несколькими способами. Один из них – формирование прочно связанного с металлической подложкой, тонкослойного полимерного покрытия – например, антифрикционного покрытия на стальной основе с промежуточным слоем пористой бронзы [4]. Такие подшипники достаточно эффективны в условиях ограниченной смазки и больших перерывов между операциями смазывания.

Другим вариантом является создание антифрикционного покрытия на поверхности узла трения из полимерных композитов, армированных наполнителями – текстильными изделиями (тканый наполнитель или ткань), содержащими ПТФЭ-волокна. Благодаря тому, что фторопластовые нити ткуются совместно с нитями другого состава, тканый наполнитель обладает адгезией по отношению к полимерным связующим и высокими механическими свойствами [12–15].

Исследования в области создания комбинированных тканых наполнителей и антифрикционных материалов на их основе проводили, начиная с середины прошлого столетия, о чем свидетельствуют многочисленные отечественные и зарубежные патенты и публикации. В результате предложен и разработан ряд материалов для подшипников на основе текстильных структур, сочетающих по меньшей мере два типа волокон: антифрикционные и армирующие. Особенностью структуры рассматриваемых тканых наполнителей является способ ее переплетения. Ткань выполнена так, что с одной ее стороны преобладают нити из антифрикционного волокна (как правило, ПТФЭ), а с противоположной стороны – нити армирующего волокна. Волокна, выполняющие армирующую роль, могут быть хлопковые, льняные, арамидные, базальтовые, стеклянные, углеродные и др. В качестве связующего в составе антифрикционного материала чаще всего применяют реакционноспособные олигомеры. В структуру материала также возможно включение дополнительных функциональных добавок – графита, графена, дисульфида молибдена, наночастиц оксида алюминия, порошка ПТФЭ и др. [2, 5, 6].

Подшипники с антифрикционным тканевым покрытием нашли широкое применение в авиакосмической отрасли, железнодорожном транспорте, при строительстве мостов и эстакад для передвижения тяжелых опор, сейсмоустойчивых сооружений и крупных промышленных сооружений. Не нуждаясь в смазке, они способны работать при удельных нагрузках до 140 МПа, обладают отличными демпфирующими свойствами при воздействии ударных и вибронагрузок. Наиболее целесообразно применение таких подшипников при нагрузках на уровне 21 МПа: коэффициент трения при этом низкий, а скорость износа мала. Не рекомендуется применять подшипники из ПТФЭ-содержащей ткани при скоростях >1 м/с [14].

Например, сферические подшипники скольжения за счет использования на поверхности трения антифрикционных покрытий на основе ткани из волокна ПТФЭ и стеклянного волокна [15] широко используются в зарубежных авиационных конструкциях и рекомендованы для эксплуатации при динамической нагрузке от 3,5 до 35 МПа и скоростях скольжения до 0,1 м/с. Максимальное динамическое рабочее давление составляет 70 МПа, максимальное статическое рабочее давление 140 МПа; диапазон рабочих температур – от -50 до $+200$ °С; коэффициент трения $\leq 0,1$.

Для антифрикционных материалов разработаны и выпускаются в ООО «ТЕКС-ЦЕТР» комбинированные ткани артикулов: 5392-81 (ТУ 8278-124-35227510–2005), 5387/2-79 (ТУ 8278-125-35227510–2005), 5392-81Р, 5387/2-79Р (ТУ 8278-161-35227510–2008), выполненные из комплексных нитей ПТФЭ и полиимидных (или арамидных) нитей.

В НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ разработаны антифрикционные материалы, армированные наполнителями – тканями артикулов 5392-81, 5387/2-79, 5392-81Р и 5387/2-79. Материалы предназначены для тяжело нагруженных подшипников скольжения авиационных конструкций и применяются в шарнирах (несущих систем, систем управления, стоек шасси, креплений демпфера лопастей вертолетов и др.), тягах, втулках управлений закрылками самолета и др. [16–22].

В данной работе в рамках проведения научных исследований в области создания самосмазывающихся антифрикционных материалов на тканевой основе с повышенной

износостойкостью созданы экспериментальные ткани различного состава и текстильной структуры, исследованы свойства образцов тканей и антифрикционных материалов на их основе.

Материалы и методы

Для изготовления образцов экспериментальных тканей для самосмазывающихся антифрикционных материалов выбраны следующие комплексные нити:

– в качестве антифрикционных компонентов тканей – монопить торговой марки Фторин (диаметр 0,13 мм, в две нити), нить из волокна ПТФЭ с линейной плотностью 44,4 текс;

– в качестве армирующих компонентов тканей – нить торговой марки Аримид (ароматический полиимид) с линейной плотностью 29,4 текс; нить торговой марки Руслан (ароматический полиамид) с линейной плотностью 29,4 текс; нить торговой марки Арселон-С (полиоксидазольное волокно) с линейной плотностью 29,4 текс; нить ПЭЭК (полиэфирэфиркетон) с линейной плотностью 30 текс. Эти нити, отличаются термостойкостью и прочностью при растяжении и стирании.

На базе ООО «ТЕКС-ЦЕТР» спроектированы экспериментальные ткани различного состава и текстильной структуры. Ткани выполнены полутораслойным переплетением с дополнительным утком на челночном ткацком станке фирмы «Рюти». В системе основы использовали нити антифрикционного компонента ПТФЭ; в системе утка изнающего слоя (нижний уток) – нити армирующего компонента; в системе утка лицевого слоя (верхний уток) – нити ПТФЭ. Состав и текстильная структура экспериментальных антифрикционных тканей представлены в табл. 1.

Таблица 1

Состав и текстильная структура экспериментальных тканей с направлением крутки нитей «Z»

Условный номер образца ткани	Состав	Текстильная структура
1	Нить ПТФЭ (180 кр/м) + нить Аримид (180 кр/м)	Полутораслойное переплетение на базе неправильного четырехремизного сатина
2	Нить ПТФЭ (180 кр/м) + нить ПЭЭК 30 текс (120 кр/м – 36 филаментов)	
3	Фторин моно (180 кр/м) + нить Аримид (180 кр/м) + нить Аримид 29,4 текс (180 кр/м)	
4	Нить ПТФЭ (180 кр/м) + нить Аримид (180 кр/м)	Полутораслойное переплетение на базе усиленного сатина 8/3
5	Нить ПТФЭ (180 кр/м) + нить Аримид (180 кр/м)	Полутораслойное переплетение на базе сатина 8/3 (1-я сторона из ПТФЭ) и полотняного переплетения (2-я сторона из Аримида)
6	Нить ПТФЭ (180 кр/м) + нить Аримид (180 кр/м)	Полутораслойное переплетение на базе сатина 8/3 (1-я сторона из Аримида) и полотняного переплетения (2-я сторона из ПТФЭ)
7	Нить ПТФЭ (180 кр/м) + нить Руслан (100 кр/м)	Полутораслойное переплетение на базе неправильного четырехремизного сатина
8	Нить ПТФЭ (180 кр/м) + нить Арселон-С (240 кр/м)	

Исходное некрученное сырье (нити) подвергали кручению на тростильно-крутильной машине. В табл. 1 для каждой нити, используемой в составе экспериментальных тканей, указано количество кручений на 1 м и направление крутки.

На производственной базе НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ на основе экспериментальных комбинированных тканей по растворной технологии изготовлены полуфабрикаты – препреги антифрикционных органопластиков. Пропитку тканей осуществляли из раствора фенолкаучукового связующего на лабораторной пропиточной установке ЛПУ-1000.

Образцы органопластика изготавливали из препрегов прессовым формованием при температуре 180–200 °С.

Образцы для определения прочности при отслаивании от конструкционной стали изготавливали путем формования препрега на поверхности металлической пластины по режиму: температура 180–200 °С и давление 2 МПа.

Свойства экспериментальных тканей определяли по ГОСТ 29104.1–91 (поверхностная плотность, число нитей на 10 см), ГОСТ 29104.4–91 (разрывная нагрузка полоски ткани размером 50×200 мм, удлинение), ГОСТ 18976–73 (стойкость к истиранию).

Свойства препрегов (массовая доля связующего, массовая доля летучих веществ, поверхностная плотность) определяли на образцах препрегов и тканей размером 100×100 мм.

Испытания на отслаивание (от конструкционной стали) проводили согласно ОСТ1 90315–83. Коэффициент трения и износ для образцов органопластиков определяли на установке трения И-47 при удельной нагрузке 3,1 МПа и скорости скольжения 0,1 м/с. Вид сопряжения – торцевое трение двух цилиндрических образцов в контакте со сталью марки 30ХГСА. Продолжительность испытаний составляла 60 мин.

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП «Климатические испытания» НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ.

Результаты

Вид образцов ряда экспериментальных тканей для антифрикционных материалов представлен на рис. 1–5. Видно, что структура всех тканей при рассмотрении с лицевой и изнаночной сторон отличается: на каждую сторону преимущественно выходят нити из одного или другого типа волокон. Лицевая сторона обогатена антифрикционными волокнами ПТФЭ (на фотографиях – нити темного цвета), а изнаночная – армирующими волокнами (на фотографиях – нити светлого цвета). Видны также отличия в структуре переплетения каждой ткани. На рис. 6 на примере образца 8 показаны фотографии разреза вдоль утка и основы, которые демонстрируют сложную структуру ткани с полутораслойной схемой переплетения.

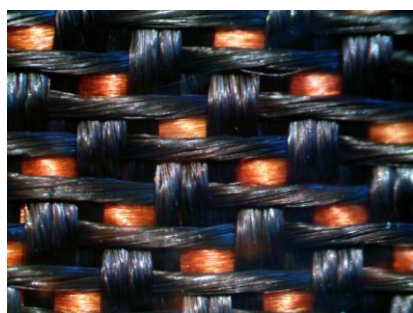


Лицевая сторона

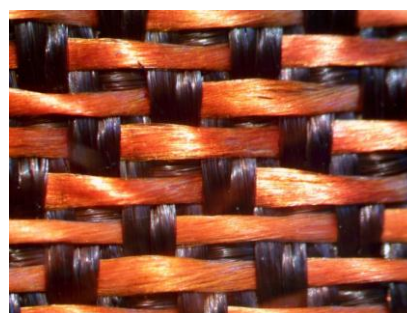


Изнаночная сторона

Рис. 1. Фотография образца экспериментальной ткани 3: лицевая сторона – нити Фторин и ПТФЭ; изнаночная сторона – нити Аримид

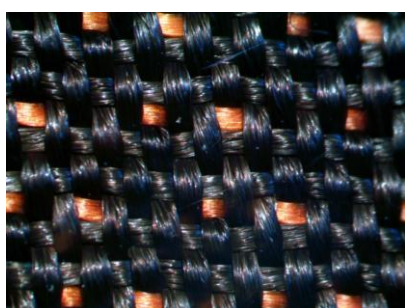


Лицевая сторона



Изнаночная сторона

Рис. 2. Фотография образца экспериментальной ткани 4: лицевая сторона – нити ПТФЭ; изнаночная сторона – нити Аримид

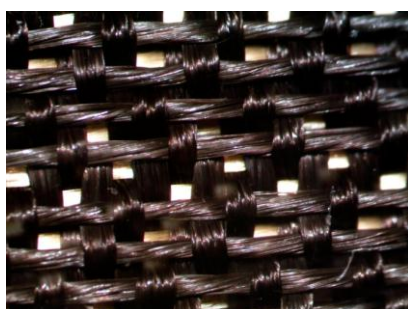


Лицевая сторона

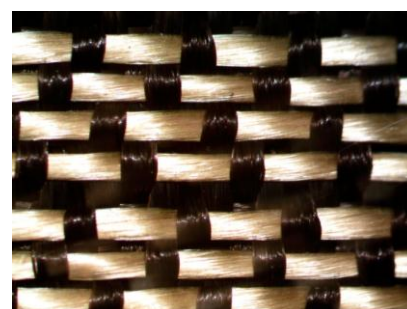


Изнаночная сторона

Рис. 3. Фотография образца экспериментальной ткани 6: лицевая сторона – нити ПТФЭ; изнаночная сторона – нити Аримид



Лицевая сторона



Изнаночная сторона

Рис. 4. Фотография образца экспериментальной ткани 7: лицевая сторона – нити ПТФЭ; изнаночная сторона – нити Руслан



Лицевая сторона



Изнаночная сторона

Рис. 5. Фотография образца экспериментальной ткани 8: лицевая сторона – нити ПТФЭ; изнаночная сторона – нити Арселон-С

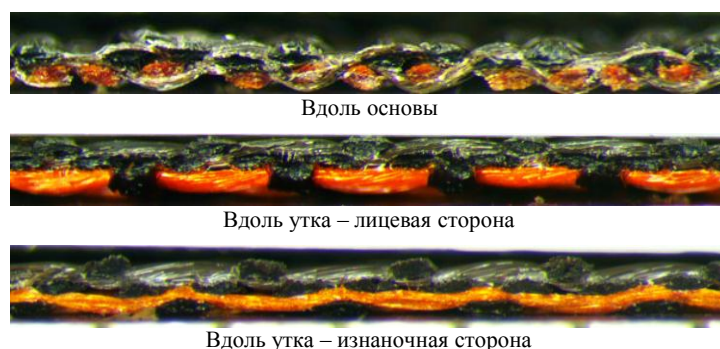


Рис. 6. Фотография разреза образца экспериментальной ткани 8 вдоль утка и основы: лицевая сторона – нити ПТФЭ; изнаночная сторона – нити Арселон-С

В табл. 2 приведены результаты испытаний образцов тканей состава и текстильной структуры из табл. 1.

Проведены исследования свойств образцов из комбинированных полутораслойных тканей, определены их физические и физико-механические свойства. В табл. 2 и 3 представлены значения следующих показателей: число нитей на 10 см, поверхностная плотность ткани, стойкость к истиранию с лицевой и изнаночной сторон, разрывная нагрузка и удлинение при разрыве. Видно, что все исследуемые ткани сопоставимы по поверхностной плотности, значения которой находятся в диапазоне 290–320 г/м².

Таблица 2

Физические свойства антифрикционных тканей

Условный номер образца ткани	Число нитей на 10 см (по основе/по утку)	Поверхностная плотность, г/м ²	Стойкость к истиранию, циклы	
			с лицевой стороны	с изнаночной стороны
1	308/357	302	1049	1385
2	308/361	302	1300	907
3	308/365	319	949	1884
4	317/372	303	1277	3225
5	318/353	295	1793	2329
6	317/345	290	1624	7579
7	–/380	297	1853	3359
8	308/368	300	1647	2195

Таблица 3

Физико-механические свойства антифрикционных тканей при разрыве

Условный номер образца ткани	Разрывная нагрузка полоски ткани размером 50×200 мм, Н (по основе/по утку)	Удлинение, % (по утку)
1	–/1418	13,5
2	–/1891	20,0
3	1040/1213	11,8
4	1060/1587	13,5
5	–/1554	13,5
6	1050/1542	14,2
7	1120/5845	6,2
8	1040/1272	8,3

Установлено, что стойкость к истиранию с лицевой стороны (со стороны преимущественного расположения волокон ПТФЭ) составляет 949–1853 цикла и зависит от состава ткани и структуры ее переплетения. Наилучшие результаты показали образцы из тканей 5, 6, 7 и 8. С изнаночной стороны показатель стойкости к истиранию имеет более высокие значения, что закономерно, так как на поверхность этой стороны выходят более прочные нити по сравнению с нитями ПТФЭ на лицевой поверхности. Для исследуемых образцов в зависимости от их структуры и состава стойкость к истиранию с изнаночной стороны изменяется в широком диапазоне – от 907 до 7579 циклов.

Исследования образцов экспериментальных тканей на растяжение показали, что значения разрывной нагрузки при растяжении вдоль утка превышают значения вдоль основы. Наиболее прочной оказалась ткань, содержащая нити Руслан. Значения разрывной нагрузки полоски ткани размером 50×200 мм по основе находятся на уровне ~(1000–1100) Н, по утку – в диапазоне от 1200 до 5845 Н; удлинение при разрыве по утку – от 6 до 20 %.

Свойства препрегов, изготовленных на основе экспериментальных антифрикционных тканей, представлены в табл. 4. Показано, что массовая доля связующего в препрегах составляет 15,6–19,8 %; массовая доля летучих продуктов, оставшихся после изготовления препрега, составляет 2,0–3,1 %; поверхностная плотность 344–398 г/м², т. е. данные препреги, пропитанные по единому режиму, показали сравнимые свойства.

Таблица 4

Свойства препрегов на основе экспериментальных тканей

Условный номер образца ткани	Массовая доля связующего в препреге, %	Массовая доля летучих продуктов, %	Поверхностная плотность препрега, г/м ²
1	16,3	2,5	360
2	18,2	3,1	370
3	19,8	2,2	398
4	17,8	2,7	369
5	18,6	1,9	362
6	15,6	2,0	344
7	16,7	2,9	357
8	15,9	3,0	357

Органопластики, изготовленные из препрегов на основе исследуемых экспериментальных тканей, как антифрикционные покрытия имеют сравнимую толщину, изменяющуюся в диапазоне 0,25–0,32 мм. Важной характеристикой для оценки практического применения материала и технологии его формования на металлической поверхности является прочность при отслаивании органопластика от конструкционной стали. Из данных табл. 5 видно, что наименьшее значение прочности при отслаивании имеют образцы 2, 5 и 7, что свидетельствует либо о недостаточно хорошей адгезии компонентов связующего и армирующих волокон, либо требует корректировки технологического процесса изготовления органопластика из препрега. Наилучшие результаты по прочности при отслаивании показали органопластики на основе тканей 3, 4 и 6.

Таблица 5

Свойства антифрикционных органопластиков на основе экспериментальных тканей

Условный номер образца ткани	Толщина антифрикционного покрытия на поверхности металлической основы (среднее значение), мм	Прочность при отслаивании от конструкционной стали (среднее значение), Н/см
1	0,27	1,1
2	0,28	0,5
3	0,30	1,6
4	0,27	2,0
5	0,27	0,6
6	0,26	1,6
7	0,26	0,6
8	0,26	0,9

Трибологические свойства антифрикционных органопластиков в парах трения со сталью 30ХГСА показаны в табл. 6. Видно, что при заданных условиях испытаний (удельная нагрузка 3,1 МПа, скорость скольжения 0,1 м/с) средние значения коэффициента трения для всех исследуемых образцов составляют ~(0,04–0,06). Показано, что испытания в течение 1 ч при данных условиях не привели к износу (контролировали линейные размеры) исследуемых антифрикционных органопластиков (табл. 6).

**Трибологические свойства антифрикционных органопластиков
в парах трения сталь 30ХГСА/органопластик**

Условный номер образца ткани	Коэффициент трения	Интенсивность изнашивания
1	0,048	Без износа
2	0,073	Без износа
3	0,059	Без износа
4	0,052	Без износа
5	0,063	Без износа
6	0,065	Без износа
7	0,061	Без износа
8	0,055	Без износа

Обсуждение и заключения

В данной работе спроектированы и изготовлены экспериментальные ткани для самосмазывающихся антифрикционных материалов. В состав тканей входят два типа волокон: антифрикционные и армирующие. В данном случае функцию антифрикционного компонента выполняют комплексные нити из волокна ПТФЭ, функцию армирующего компонента – нити из различных волокнообразующих полимеров (ароматический полиимид, ароматический полиамид, полиэфирэфиркетон, полиоксидадиазол). При этом варьировали состав – нити ПТФЭ сочетали с различными видами армирующих нитей, применяли также комплексные нити различной линейной плотности и степени крутки.

Одной из важнейших особенностей спроектированных комбинированных тканей, предназначенных для антифрикционных материалов, является их двухстороннее переплетение, а это важнейшее условие, позволяющее (за счет адгезии армирующих волокон и реакционноспособного полимерного связующего [23]) формировать антифрикционное покрытие на металлической поверхности в узлах трения. Для изготовления всех тканей выбрано полутораслойное переплетение с дополнительным утком, так как оно позволяет получить ткань с застилизованной поверхностью. Варьировались также схемы переплетения – например, полутораслойное переплетение на базе неправильного четырехремизного сатина или усиленного сатина 8/3; полутораслойное переплетение на базе сатина 8/3 (одна сторона) и полотняного переплетения (вторая сторона). Показано, что все изготовленные экспериментальные ткани сопоставимы по поверхностной плотности (в диапазоне 290–320 г/м²), однако отличаются по физико-механическим свойствам. Наибольший интерес представляет показатель стойкости к истиранию, так как он характеризует износостойкость ткани. Важно отметить различную стойкость к истиранию лицевой и изнаночной сторон, что вполне закономерно в связи с тем, что лицевая сторона обогащена волокнами ПТФЭ и предназначена в качестве поверхности трения, тогда как волокна изнаночной стороны имеют большую прочность и выполняют армирующую функцию ткани и антифрикционного покрытия на ее основе. Следует отметить, что наименьшее значение стойкости к истиранию с изнаночной стороны показал образец ткани 2, содержащей нити ПЭЭК, а наибольшей стойкостью обладает образец ткани 6, содержащий полиимидные нити и характеризующийся переплетением на базе сатина 8/3 с изнаночной стороны и полотняного переплетения с лицевой стороны. По характеру износа и разрушения образцов антифрикционных тканей в процессе истирания установлено, что в исследуемых тканях в первую очередь разрушаются ПТФЭ-нити основы, связывающие лицевой и изнаночный слои, а потом – ПТФЭ-нити утка лицевого слоя и нити армирующего компонента.

Если рассматривать прочностные свойства тканей (полученные при растяжении), то наибольшей прочностью обладает ткань, содержащая в своем составе армирующие нити из арамидного волокна, что вполне закономерно, так как арамидное волокно отличается самой высокой прочностью среди используемых в данной работе

волокон. Однако следует отметить, что арамидное волокно уступает по температуре эксплуатации (не более 180 °С), например, полиимидным или полиоксадиазольным волокнам (250 °С и более).

Рассматривая полученные свойства тканей в комплексе, установлено, что для применения в составе антифрикционных органопластиков можно применять все спроектированные ткани. К наиболее интересным и перспективным структурам тканого наполнителя можно отнести:

- полутораслойное переплетение на базе усиленного сатина;
- полутораслойное переплетение на базе полотняного переплетения (лицевая сторона) и сатина (изнаночная сторона).

Эти типы структур при одинаковом составе показывают лучшие характеристики по прочности ткани и стойкости к истиранию. Стойкость к истиранию, например, увеличивается в 1,5–1,7 по лицевой стороне и в 1,7–5,5 раза по изнаночной – по сравнению с другими типами плетения.

Показано, что все экспериментальные ткани могут быть применены для изготовления препрега из раствора связующего – например, фенолкаучукового. При этом следует отметить, что препрег на основе образца ткани 2, который содержит в своем составе монопенти Фторин, показал недостаточно хорошую технологичность при изготовлении препрега и работе с препрегом в процессе формования органопластика. Однако возможность его применения может быть решена путем отработки технологии пропитки или использования другого типа связующего – например, расплавного.

Как известно, механизм работы антифрикционных органопластиков, армированных тканью, содержащей ПТФЭ-волокна, заключается в формировании на поверхности при контакте двух тел самосмазывающейся пленки ПТФЭ, которая возобновляется без разрушения в процессе трения. По результатам определения трибологических свойств антифрикционных органопластиков без смазки в парах трения сталь 30ХГСА/органопластик показано, что коэффициент трения для всех исследуемых образцов находится на уровне $\sim(0,04-0,06)$. Линейный износ при данных условиях не наблюдался.

Таким образом, по результатам работы показано, что все типы спроектированных и изготовленных тканей могут быть рассмотрены в качестве наполнителей для создания самосмазывающихся антифрикционных материалов с учетом нагрузочно-скоростных параметров трения и условий эксплуатации.

Список источников

1. Современные машиностроительные материалы. Неметаллические материалы: справочник / под общ. ред. И.В. Горынина, А.С. Орыщенко. СПб.: Профессинал, 2012. 916 с.
2. Погосян А.К. Трение и износ наполненных полимерных материалов. М.: Наука, 1977. 138 с.
3. Мышкин Н.К., Петроковец М.И. Трибология. Принципы и приложения. Гомель: ИММС НАНБ, 2002. 310 с.
4. Семенов А.П., Савинский Ю.Э. Металлофторопластовые подшипники. М.: Машиностроение, 1967. 354 с.
5. Машков Ю.К., Овчар З.Н., Байбарацкая М.Ю., Мамаев О.А. Полимерные композиционные материалы в триботехнике. М.: Недра-Бизнесцентр, 2004. 262 с.
6. Воронков Б.Д. Подшипники сухого трения. Л.: Машиностроение, 1979. 224 с.
7. Сорокин А.Е., Иванов М.С., Сагомонова В.А. Термопластичные полимерные композиционные материалы на основе полиэфирэфиркетонов различных производителей // Авиационные материалы и технологии. 2022. № 1 (66). Ст. 04. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 01.09.2022). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-1-41-50.
8. Михайлин Ю.А. Термоустойчивые полимеры и полимерные материалы. СПб.: ЦОП «Профессия», 2012. 624 с.
9. Мухаметов Р.Р., Петрова А.П. Терморезистивные связующие для полимерных композиционных материалов (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2019. № 3 (56). С. 48–58. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-3-48-58.

10. Ткачук А.И., Донецкий К.И., Терехов И.В., Караваев Р.Ю. Применение терморезистивных 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: 05.09.2022). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-1-22-33.
11. Craig W.D., Remorenko R.P. Initial wear of PTFE lined bearings // *Lubrication Engineering*. 1966. Vol. 22. No. 5. P. 181–186.
12. Антифрикционная ткань: пат. 590383 СССР. № 2319403/28-12; заявл. 15.12.75; опубл. 30.01.78.
13. 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.
14. Кужаров А.С., Рядченко В.Г. Композиционные антифрикционные покрытия на основе волокон политетрафторэтилена // *Безызнаемость: межвуз. сб. науч. тр. Ростов н/Д: РИСХМ*, 1992. Вып. 2. С. 140–147.
15. Amper X-1 an improved bearing material // *Industrial lubrication and Tribology*. 1975. Vol. 97. No. 2. P. 54–56.
16. Препрег антифрикционного органопластика и изделие, выполненное из него: пат. 2404202 Рос. Федерация. № 2009111566/05; заявл. 31.03.09; опубл. 20.11.10.
17. Каблов Е.Н. Материалы для авиакосмической техники // *Все материалы. Энциклопедический справочник*. 2007. № 5. С. 7–27.
18. Каблов Е.Н. Материалы и химические технологии для авиационной техники // *Вестник Российской академии наук*. 2012. Т. 82. № 6. С. 520–530.
19. Каблов Е.Н. Авиакосмическое материаловедение // *Все материалы. Энциклопедический справочник*. 2008. № 3. С. 2–14.
20. Соломенцева А.В., Фадеева В.М., Железина Г.Ф. Антифрикционные органопластики для тяжело нагруженных 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.
21. Кан А.Ч., Кулагина Г.С., Аюпов Т.Р., Железина Г.Ф. Влияние факторов внешней среды на характеристики антифрикционного органопластика Оргалон АФ-1М // *Труды ВИАМ*. 2022. № 3 (109). Ст. 09. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 06.10.2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-3-91-101.
22. 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: 05.09.2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-2-89-96.
23. 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.

References

1. *Modern engineering materials. Non-metallic materials*: reference book. Ed. I.V. Gorynin, A.S. Oryshchenko. St. Petersburg: Professional, 2012, 916 p.
2. Pogosyan A.K. *Friction and wear of filled polymeric materials*. Moscow: Nauka, 1977, 138 p.
3. Myshkin N.K., Petrokovets M.I. *Tribology. Principles and applications*. Gomel: IMMS NASB, 2002, 310 p.
4. Semenov A.P., Savinsky Yu.E. *Metallic fluoroplastic bearings*. Moscow: Mashinostroenie, 1967, 354 p.
5. Mashkov Yu.K., Ovchar Z.N., Baibaratskaya M.Yu., Mamaev O.A. *Polymer composite materials in tribotechnics*. Moscow: Nedra-Businesscenter, 2004, 262 p.
6. Voronkov B.D. *Dry friction bearings*. Leningrad: Mashinostroenie, 1979, 224 p.
7. Sorokin A.E., Ivanov M.S., Sagomonova V.A. Thermo-plastic polymer composite materials based on polyether-etherketones of various manufacturers. *Trudy VIAM*, 2022, no. 1 (107), paper no. 04. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: September 01, 2022). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-1-41-50.
8. Mikhailin Yu.A. *Heat-resistant polymers and polymeric materials*. St. Petersburg: Professiya, 2012, 624 p.

9. Mukhametov R.R., Petrova A.P. Thermosetting binders for polymer composites (review). *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2019, no. 3 (56), pp. 48–58. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-3-48-58.
10. Tkachuk A.I., Donetskyy 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 05, 2022). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-1-22-23.
11. Craig W.D., Remorenko R.P. Initial wear of PTFE lined bearings. *Lubrication Engineering*, 1966, vol. 22, no. 5, pp. 181–186.
12. *Anti-friction fabric*: pat. 590383 USSR, no. 2319403/28-12; filed 15.12.75; publ. 30.01.78.
13. Kuzharov A.S., Ryadchenko V.G., Grechko V.O. Study of tribotechnical properties of various textile structures based on fibrous polytetrafluoroethylene. *Trenie i iznos*, 1986, vol. 7, no. 5, pp. 945–950.
14. Kuzharov A.S., Ryadchenko V.G. Composite antifriction coatings based on polytetrafluoroethylene fibers. *Wearlessness*: Interuniver. collection of scientific papers. Rostov-on-Don: RISHM, 1992, is. 2, pp. 140–147.
15. Амреп X-1 an improved bearing material. *Industrial lubrication and Tribology*, 1975, vol. 97, no. 2, pp. 54–56.
16. *Antifriction organoplastic prepreg and product made from it*: pat. 2404202 Rus. Federation, no. 2009111566/05; filed 31.03.09; publ. 20.11.10.
17. Kablov E.N. Materials for aerospace engineering. *Vse materialy. Entsiklopedicheskiy spravochnik*, 2007, no. 5, pp. 7–27.
18. Kablov E.N. Materials and chemical technologies for aviation equipment. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk*, 2012, vol. 82, no. 6, pp. 520–530.
19. Kablov E.N. Aerospace materials science. *Vse materialy. Entsiklopedicheskiy spravochnik*, 2008, no. 3, pp. 2–14.
20. 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.
21. 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*, 2018, no. 3 (109), paper no. 09. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: October 06, 2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-3-91-101.
22. 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 05, 2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-2-89-96.
23. 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.

Информация об авторах

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

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

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

Левакова Наталия Марковна, генеральный директор, к.т.н., ООО «ТЕКС-ЦЕНТР», info@teks-centre.ru

Information about the authors

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

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

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

Nataliya M. Levakova, Director General, Candidate of Sciences (Tech.), LLC «TEKS-CENTRE», info@teks-centre.ru

Статья поступила в редакцию 17.10.2022; одобрена и принята к публикации после рецензирования 19.10.2022.

The article was submitted 17.10.2022; approved and accepted for publication after reviewing 19.10.2022.