

УДК 678.83

А.В. Соломенцева<sup>1</sup>, В.М. Фадеева<sup>1</sup>, Г.Ф. Железина<sup>1</sup>**АНТИФРИКЦИОННЫЕ ОРГАНОПЛАСТИКИ ДЛЯ ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННЫХ УЗЛОВ ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

DOI: 10.18577/2071-9140-2016-0-2-30-34

*Исследованы трибологические свойства самосмазывающегося антифрикционного материала Оргалон АФ-1М на основе комбинированных тканей из полиимидных нитей марки Ариמיד и политетрафторэтиленовых нитей марки Полифен в сочетании с фенолокаучуковым связующим, предназначенного для тяжело нагруженных узлов трения скольжения авиационных конструкций. Материал получен методом машинной пропитки ткани раствором связующего. Представлены результаты трибологических исследований. Приведены графические зависимости коэффициента трения материала от удельной нагрузки, скорости скольжения и температуры, а также линейного износа узлов трения от продолжительности работы для втулок и шарнирных подшипников.*

*Работа выполнена в рамках реализации комплексного научного направления 13 «Полимерные композиционные материалы» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [1].*

**Ключевые слова:** органопластик, антифрикционные материалы, узлы трения скольжения, трибологические свойства, коэффициент трения.

*Research works on the tribological properties of the self-lubricating antifriction material Orgalon AF-1M based on the combined fabrics of polyimide Aramid fibers and Polyphemus PTFE fibers with phenolic and rubber binder, intended for heavy loaded sliding friction units of aircraft structures are presented. The material is manufactured by machine impregnation of fabric by binder solution. The results of tribological investigations are provided. The graphical dependences of the friction coefficient of the material on the unit load, sliding speed and temperature and also the linear wear of friction units on the work time for bushings and spherical plain bearings are given.*

*Work is executed within implementation of the complex scientific direction 13 «Polymeric composite materials» («The strategic directions of development of materials and technologies of their processing for the period till 2030») [1].*

**Keywords:** organoplastics, antifriction materials, units of sliding friction, tribological properties, friction factor.

<sup>1</sup>Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal state unitary enterprise «All-Russian scientific research institute of aviation materials» State research center of the Russian Federation] E-mail: admin@viam.ru

**Введение**

В настоящее время авиационная промышленность остается одним из наиболее высокотехнологичных секторов экономики, потребляющих наукоемкую продукцию, однако без новых материалов невозможно развитие и других отраслей промышленности – электроэнергетики, машиностроения, строительства, медицины, приборостроения и др. Многолетняя отечественная и зарубежная практика показывает, что более 80% инновационных разработок в ведущих отраслях промышленности и секторах экономики базируется на внедрении новых материалов и технологий их производства [1].

Развитие авиационной техники требует постоянного совершенствования материалов [2]. Анализ зарубежных научных источников, а также

общие тенденции развития материаловедения показывают, что в настоящее время интенсивно ведутся разработки и исследования в области композиционных материалов (КМ), армирующих компонентов, связующих для них и технологий их переработки в высокотехнологичную наукоемкую продукцию с большой долей инновационной составляющей.

Одним из основных направлений является использование полимерных композиционных материалов (ПКМ) не только в авиации, но и в других отраслях экономики. Полимерные композиционные материалы по объемам использования в мире существенно опередили многие материалы [3, 4].

Современные машины работают в весьма жестких условиях, рассчитаны на длительный

ресурс и должны быть высоконадежны. Это, в свою очередь, повышает требования к узлам трения машин в отношении нагрузок, скоростей, диапазона рабочих температур и износостойкости. В связи с необходимостью увеличения сроков между ремонтными работами и профилактического обслуживания летательных аппаратов подшипники, работающие на смазке, все больше вытесняются подшипниками сухого трения.

Для изготовления узлов сухого трения применяются каркасные ленточные антифрикционные материалы, представляющие собой систему из несущей трехмерной структуры (каркаса) и межкаркасной полости, заполненной чистым полимером или композицией на основе полимеров, сухих смазок и других трибологических добавок.

Для изготовления конструкций, работающих в условиях трения и износа, превосходным материалом являются фторполимеры, которые позволяют решить важную техническую проблему – обеспечение работоспособности без применения смазки, т. е. в условиях сухого трения [5].

Срок эксплуатации современных машин и механизмов во многом зависит от механических и триботехнических свойств материалов узлов трения. В настоящее время детали узлов трения, изготовленные из различных металлов и сплавов, постепенно заменяются полимерами и полимерными композиционными материалами, в частности на основе политетрафторэтилена [6].

Механические и триботехнические свойства политетрафторэтилена позволяют применять его в узлах трения без смазки. В то же время низкая износостойкость политетрафторэтилена требует разработки новых способов и методов повышения механических и триботехнических свойств для работы при высоких удельных нагрузках и скоростях [7–9].

В конструкциях фирмы «Камов» впервые применен разработанный в ВИАМ антифрикционный органоластик Оргалон АФ-1М, который был использован во всех шарнирах системы управления, в узлах трения осевого и горизонтального шарниров торсионной втулки, в направляющих ползунов автоматов перекоса, в карданных подвесках и шлиц-шарнирах автоматов перекоса. Благодаря применению Оргалона АФ-1М решена проблема создания тяжело нагруженных узлов трения скольжения, работающих без смазки в режиме знакопеременного динамического нагружения, увеличен в 1,5–2 раза их ресурс, значительно сокращено количество подвижных соединений (в ~10 раз) и уменьшена трудоемкость изготовления агрегатов [10].

Для самосмазывающихся узлов трения скольжения в ВИАМ разработаны и широко внедрены в конструкции вертолетов и самолетов антифрикционные органоластики марок Оргалон АФ-1М-260 и Оргалон АФ-1М-500. Материалы этих марок представляют собой органоластики

на основе комбинированных тканей из полиимидных нитей марки Аримид и политетрафторэтиленовых нитей марки Полифен в сочетании с фенолокаучуковым связующим. Полиимидные нити выполняют функцию силового каркаса, обеспечивающего работоспособность узла трения при повышенных механических нагрузках, а антифрикционной составляющей служат нити Полифена. Монолитность материала и соединение его с несущей основой подшипника обеспечиваются благодаря фенолокаучуковому связующему АФК-101.

#### *Антифрикционные органоластики*

Задача, которую решают с помощью антифрикционных органоластиков, применяемых в авиационной технике, – это создание тихоходных высоконагруженных подшипников скольжения, работающих без смазки, т. е. в условиях сухого трения. Антифрикционные органоластики – это тонкослойные покрытия, армированные тканью. Ткань помимо высокопрочных волокон содержит политетрафторэтиленовые волокна, которые выходят на поверхность и обеспечивают низкий коэффициент трения [11].

Антифрикционные органоластики обладают высокой стабильностью при эксплуатации: коэффициент трения не зависит от продолжительности работы вплоть до полного износа покрытия. Органоластики не вызывают износа контртела, не боятся запыленности [11].

Антифрикционные органоластики широко применяются в конструкциях самолетов и вертолетов для изготовления шарниров и приводов различного назначения. Применение антифрикционных органоластиков позволяет сократить количество деталей в подшипнике в 10 раз, уменьшить продолжительность и затраты на их техническое обслуживание [12, 13].

Антифрикционные органоластики на основе полифеновых волокон позволяют решить очень важную задачу – обеспечить возможность работы тяжело нагруженных узлов трения без применения смазки, т. е. в условиях сухого трения. Это позволяет значительно упростить конструкцию подшипников скольжения самолетов и вертолетов и снизить затраты на их обслуживание при эксплуатации [14–16].

В процессе эксплуатации подшипники могут подвергаться различным внешним воздействиям: механическим нагрузкам различного уровня, повышенным температурам и др. Целью данного исследования является изучение влияния различных факторов на трибологические характеристики антифрикционных органоластиков, такие как коэффициент трения и износостойкость.

#### **Материалы и методы**

Препрег антифрикционного материала Оргалон АФ-1М получают методом машинной пропитки ткани раствором связующего, он может

храниться в запаянном полиэтиленовом мешке при 20°C до 1 года. Формирование трещей поверхности узла трения из Оргалона АФ-1М осуществляется методом горячего прессования препрега на оправке с одновременным соединением его с несущим каркасом. Покрытие из препрега получают при удельном давлении не менее 3 МПа для обеспечения необходимой толщины антифрикционного покрытия.

Трибологические исследования Оргалона АФ-1М проводили на стенде возвратно-качательного движения с диапазоном изменения скоростей перемещения 0,002–0,11 м/с и удельных нагрузок 5–50 МПа. Образец представлял собой две полувтулки с внутренней поверхностью из испытуемого материала. В качестве контртела использовали цилиндры из титанового сплава ВТ3-1 и нержавеющей стали 12Х18Н9Т с номинальным диаметром 15 и 31 мм соответственно. Определяли влияние удельных нагрузок, скорости скольжения и повышенных температур на коэффициент трения антифрикционных органо-пластиков.

Эффективность работы антифрикционного материала наиболее полно может быть оценена в процессе ресурсных испытаний реальных подшипников. В данной работе объектом испытаний служили цилиндрические подшипники скольжения с внутренней трещей с поверхностью диаметром 30 и 32 мм, цилиндрический подшипник с наружной трещей с поверхностью диаметром 78 мм, а также шарнирные подшипники типа ШН-30Ю.

Условия испытания подшипников, имитировавших работу узлов трения в процессе качательного движения, приведены в таблице. Контртело во всех случаях обработано с чистотой поверхности по 8–9 классу точности.

### Результаты

На рис. 1–3 представлены результаты трибологических испытаний материала Оргалон АФ-1М.

Приведены зависимости коэффициента трения материала от удельной нагрузки, скорости скольжения и температуры.

Изучение влияния нагрузки на коэффициент трения (рис. 1) показало, что с увеличением нагрузки с 10 до 40 МПа коэффициент трения исследуемого материала уменьшается с 0,14 до 0,08 и с 0,12 до 0,062 – для Оргалона АФ-1М в сочетании с титановым сплавом и нержавеющей сталью соответственно.

На рис. 2 и 3 представлены графические зависимости коэффициента трения от скорости скольжения. Показано, что с ростом скорости скольжения  $v$  до 0,01 м/с коэффициент трения повышается (рис. 2), что связано с увеличением отставания во времени релаксационных процессов в слое фторопласта при механическом движении, т. е. затрудненной приработкой материала. Температура в зоне контакта при этом меняется весьма незначительно и не оказывает существенного воздействия на коэффициент трения.

Иной характер зависимости коэффициента трения от скорости скольжения при значениях  $v > 0,01$  м/с (рис. 3) объясняется преобладающим (по сравнению со скоростью) влиянием температуры в зоне контакта. С ее повышением коэффициент трения снижается. Видимо, это связано с условиями теплоотвода и температурой в зоне контакта исследуемого материала с металлом (рис. 4). У Оргалона АФ-1М температура контакта выше средней температуры узла трения.

Зависимость линейного износа подшипников от продолжительности работы для втулок  $\varnothing 32$  мм и шарнирных подшипников показана на рис. 5. Как для втулок, так и для шарнирных подшипников основной износ материала происходит на первоначальном этапе приработки. После этого износ стабилизируется, причем его интенсивность более чем на два порядка ниже, чем в режиме приработки.

Условия испытаний различных подшипников

Вид подшипника	Материал контртела	Радиальная нагрузка, Н	Скорость скольжения $v$ , м/с	Удельная нагрузка $p$ , МПа	Критерий $p \cdot v$ , (МПа·м)/с	
Цилиндрический с внутренней поверхностью трения диаметром, мм:	32	Нержавеющая сталь	3530	0,027	7,35	0,198
			7060	0,027	14,70	0,396
			14121	0,027	29,41	0,794
	30	То же	22064	0,004	49,03	0,196
Шарнирный типа ШН-30Ю	Нержавеющая сталь	3530	0,027	7,35	0,198	
		3530	0,054	7,35	0,396	
Цилиндрический с наружной поверхностью трения $\varnothing 78$ мм	Титановый сплав ВТ3-1	267721	0,006	39,22	0,235	

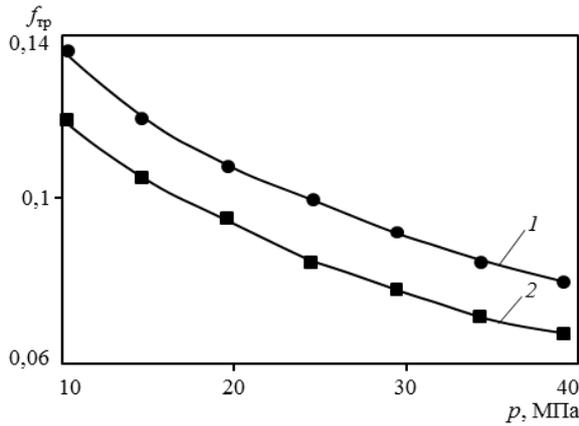


Рис. 1. Зависимость коэффициента трения Оргалона АФ-1М по титановому сплаву ВТЗ-1 (1) и нержавеющей стали (2) от удельной нагрузки  $p$  (диаметр втулки 14 мм, скорость скольжения  $v=0,0048$  м/с)

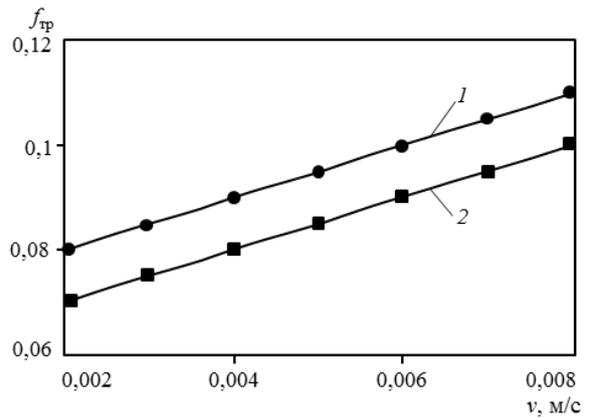


Рис. 2. Зависимость коэффициента трения Оргалона АФ-1М по титановому сплаву ВТЗ-1 (1) и нержавеющей стали (2) от скорости скольжения  $v$  – до 0,01 м/с (диаметр втулки 14 мм, удельная нагрузка  $p=30$  МПа)

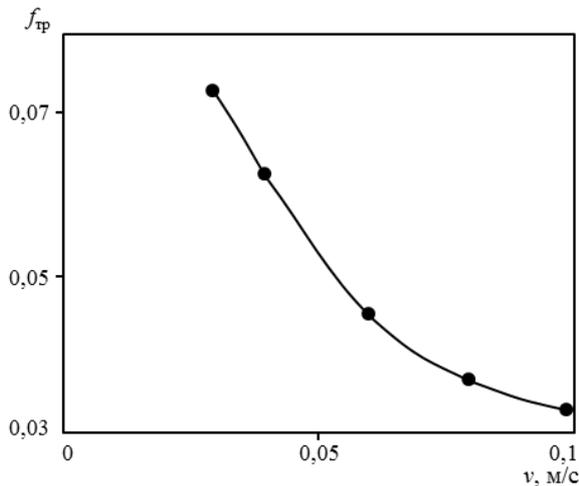


Рис. 3. Зависимость коэффициента трения Оргалона АФ-1М по нержавеющей стали от скорости скольжения  $v > 0,01$  м/с (диаметр втулки 30 мм, удельная нагрузка  $p=30$  МПа)

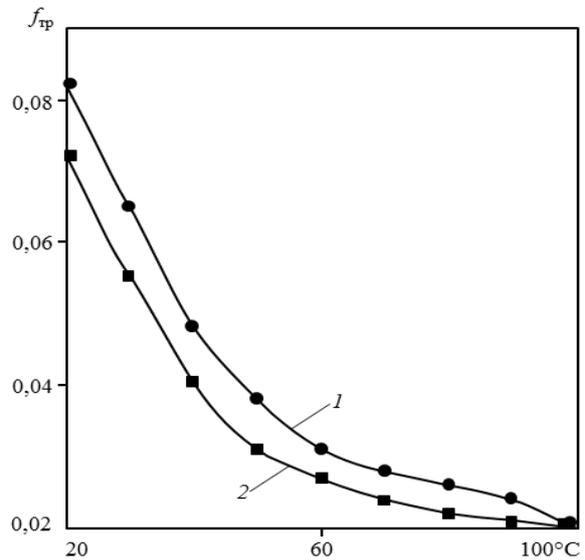


Рис. 4. Зависимость коэффициента трения Оргалона АФ-1М по титановому сплаву ВТЗ-1 (1) и нержавеющей стали (2) от температуры (диаметр втулки 14 мм, удельная нагрузка  $p=20$  МПа, скорость скольжения  $v=0,0064$  м/с)

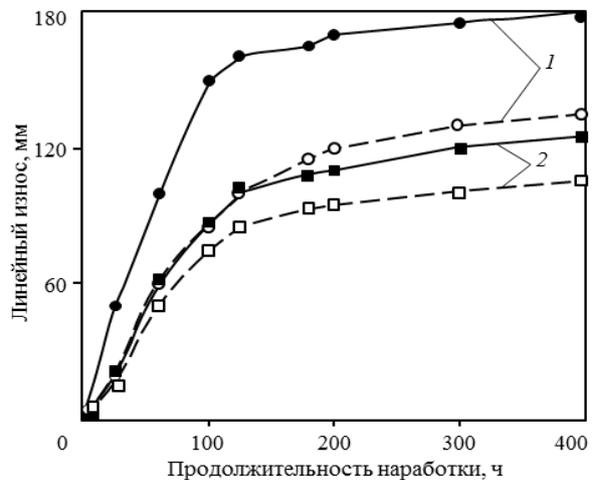


Рис. 5. Зависимость линейного износа Оргалона АФ-1М от продолжительности наработки для подшипника типа ШН-30Ю при критерии  $p \cdot v$ , равном 0,4 (1) и 0,2 (МПа·м)/с (2):

— радиальный износ; - - - осевой износ

**Обсуждение и заключения**

Антифрикционные органопластики Оргалон АФ-1М-260 и Оргалон АФ-1М-500, разработанные для тяжело нагруженных узлов трения скольжения, отличаются высокими трибологическими характеристиками. Материалы работоспособны при скоростях скольжения до 0,15 м/с и удельных нагрузках до 50 МПа. Коэффициент трения при этом составляет от 0,08 до 0,12. В работе узла трения с покрытием из антифрикционного органопластика практически отсутствует износ материала контртела. Это позволяет значительно облегчить ремонт узлов трения, в которых на старой несущей основе заменяют только покрытие при том же контртеле. Применение Оргалона АФ-1М позволяет сократить время на техническое обслужи-

вание и ремонт, уменьшить количество деталей и металлоемкость.

Благодаря высоким трибологическим характеристикам материал Оргалон АФ-1М нашел широкое применение для изготовления трущихся поверхностей узлов и пар трения в конструкциях вертолетов Ка-32, Ка-50, Ми-28, Ми-34 и др., таких как шарниры систем управления, стоек шасси, крепления демпфера лопастей и др. В конструкциях самолетов Ту-204, Су-27, Су-38 с использованием материала Оргалон АФ-1М изготовлены втулки в кронштейнах отклонения, механизм тяги, втулки в управлении закрылками, шарниры амортизаторов и системы выпуска носового и основного шасси.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // *Авиационные материалы и технологии*. 2015. №1 (34). С. 3–33.
2. Каблов Е.Н. Современные материалы – основа инновационной модернизации России // *Металлы Евразии*. 2012. №3. С. 10–15.
3. Каблов Е.Н. Материалы и химические технологии для авиационной техники // *Вестник Российской академии наук*. 2012. Т. 82. №6. С. 520–530.
4. Каблов Е.Н. Химия в авиационном материаловедении // *Российский химический журнал*. 2010. Т. LIV. №1. С. 3–4.
5. Бейдер Э.Я., Донской А.А., Железина Г.Ф., Кондрашов Э.К., Сентюрин Е.Г., Сурнин Е.Г., Сытый Ю.В. Опыт применения фторполимерных материалов в авиационной технике // *Российский химический журнал*. 2008. Т. LII. №3. С. 30–44.
6. Еремин Е.Н., Негров Д.А. Совершенствование технологии изготовления подшипников скольжения из композиционных материалов на основе политетрафторэтилена // *Технология машиностроения*. 2010. №1. С. 30–32.
7. Негров Д.А., Еремин Е.Н., Путинцев В.Ю. Исследование влияния энергии ультразвуковых колебаний на структуру композиционного материала // *Справочник. Инженерный журнал* 2014. №7. С. 3–5.
8. Негров Д.А., Еремин Е.Н. Влияние параметров ультразвукового прессования на механические и триботехнические свойства структурно-модифицированного политетрафторэтилена // *Омский научный вестник*. 2009. №2 (80). С. 58–60.
9. Петрова П.Н., Федоров А.Л. Разработка полимерных композитов на основе политетрафторэтилена с повышенной износостойкостью для узлов сухого трения // *Вестник машиностроения*. 2010. №8. С. 50–53.
10. Гуняев Г.М., Кривонос В.В., Румянцев А.Ф., Железина Г.Ф. Полимерные композиционные материалы в конструкциях летательных аппаратов // *Конверсия в машиностроении*. 2004. №4 (65). С. 65–69.
11. Железина Г.Ф. Конструкционные и функциональные органопластики нового поколения // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн.* 2013. №4. Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 02.03.2015).
12. Бузник В.М., Юрков Г.Ю. Применение фторполимерных материалов в трибологии: состояние и перспективы // *Вопросы материаловедения*. 2012. №4 (72). С. 133–150.
13. Давыдова И.Ф., Кавун Н.С. Теплостойкие антифрикционные текстолиты // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн.* 2014. №11. Ст. 04. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 02.03.2015). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-11-4-4.
14. 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: электрон. науч.-технич. журн.* 2014. №7. Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 02.03.2015). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-7-6-6.
15. Тимошков П.Н., Коган Д.И. Современные технологии производства полимерных композиционных материалов нового поколения // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн.* 2013. №4. Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 02.03.2015).
16. Михайлин Ю.А. Термоустойчивые полимеры и полимерные материалы. СПб.: Профессия, 2006. 624 с.