

Научная статья

УДК 678.8

DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-11-26-36

ПОЛИМЕРНЫЕ ВОЛОКНА В СОСТАВЕ ТКАНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ ДЛЯ САМОСМАЗЫВАЮЩИХСЯ АНТИФРИКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Г.С. Кулагина¹, Г.Ф. Железина¹, Н.М. Левакова², П.Е. Сафонов²

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. Рассмотрены синтетические термостойкие полимерные волокна, которые могут применяться для изготовления композиционных материалов антифрикционного назначения. Приведены свойства нитей различной химической природы (пара- и метаарамидные, полиимидные, фторсодержащие и др.). Рассмотрены комбинированные двухсторонние ткани, содержащие термостойкие полимерные волокна с антифрикционными и армирующими свойствами и предназначенные для применения в составе самосмазывающихся антифрикционных материалов.

Ключевые слова: полимерные волокна, арамидные волокна, фторсодержащие полимерные волокна, ткани из полимерных волокон, антифрикционные материалы

Для цитирования: Кулагина Г.С., Железина Г.Ф., Левакова Н.М., Сафонов П.Е. Полимерные волокна в составе тканых наполнителей для самосмазывающихся антифрикционных материалов // Труды ВИАМ. 2023. № 11 (129). Ст. 03. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-11-26-36.

Scientific article

POLYMER FIBERS IN THE COMPOSITION OF FABRICS FOR SELF-LUBRICATING ANTIFRICTION MATERIALS

G.S. Kulagina¹, G.F. Zhelezina¹, N.M. Levakova², P.E. Safonov²

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 article discusses synthetic heatresistant polymer fibers that for the manufacture of antifriction composite materials. The properties of fibre of various chemical nature (para- and metaaramid, polyimide, fluorinecontaining, etc.) are given. Doublesided fabrics based on heat-resistant polymer fibers containing two types of fibers with antifriction and reinforcing properties for use as part of selflubricating antifriction materials are considered.

Keywords: polymer fibers, aramid fibers, fluorinated polymer fibers, fabrics from polymer fibers, antifriction materials

For citation: Kulagina G.S., Zhelezina G.F., Levakova N.M., Safonov P.E. Polymer fibers in the composition of fabrics for self-lubricating antifriction materials. *Trudy VIAM*, 2023, no. 11 (129), paper no. 03. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-11-26-36.

Введение

Процесс создания полимерных композиционных материалов с заданными свойствами, в частности антифрикционных материалов, армированных волокнистыми наполнителями, целесообразно начинать с изучения свойств волокон и нитей, а также текстильных структур на их основе.

В настоящее время для получения материалов технического и специального назначения широко используются термостойкие, высокопрочные и высокомодульные полимерные нити, например пара- и метаарамидные, полиимидные, фторсодержащие и др., обладающие уникальными свойствами [1–5].

Свойства синтетических нитей зависят от природы и условий производства исходного волокна. Свойства ткани в свою очередь определяются характеристиками и строением нитей, из которых она изготовлена, а также условиями механических процессов (натяжения и деформации) их текстильной переработки.

Однако условия механических процессов текстильной переработки современных видов синтетических нитей не изучены должным образом, что осложняет прогнозирование процесса ткачества и затрудняет проектирование нового ассортимента тканей технического и специального назначений.

В данной работе рассмотрены свойства и способность к текстильной переработке нитей специального назначения, а также свойства тканей, получаемых на их основе для создания антифрикционных полимерных композиционных материалов.

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

Параарамидные волокна и нити

По химической природе параарамидные волокна относятся к классу полимеров – ароматических полиамидов. Впервые параарамидные волокна появились в 1970-е годы практически одновременно в СССР (под названием СВМ) и США (под торговой маркой Kevlar[®] фирмы DuPont).

Параарамидные волокна обладают высоким уровнем механических характеристик (в том числе при повышенных температурах) и химической стойкостью. Арамидные волокна получают из волокнообразующих полиамидов, химическая структура полимерного звена которых включает амидные группы, связанные с ароматическими кольцами [1].

По химическому строению и свойствам различают следующие основные группы параарамидных нитей, выпускаемых отечественными и зарубежными производителями [1, 4, 6]:

– высокомодульные нити на основе гетероциклических параполиамидов – полиамидобензимидазолов – СВМ, Русар, Руслан и Армос с модулем упругости при растяжении от 120 до 150 ГПа;

– высокопрочные и высокомодульные карбоциклические нити на основе полипарафенилентерефталамида, формируемые по технологии сухого формования, – Тварон (фирма «Тейджин»), Кевлар (фирма DuPont) с модулем упругости при растяжении от 90 до 160 ГПа;

– нити на основе сополимера, близкого по составу к полипарафенилентерефталамиду, с содержанием сомономеров 5–15 % – Терлон, Армалон (ООО «ТЕМА-М») [7];

– высокопрочные нити на основе карбоциклических параметаарамидов, синтезированных из парафенилендиамина, параметадиаминодифенилоксида и терефталевой кислоты и содержащих метазвенья – сополипарафенилен-3,4-оксидифенилентерефталамид, – Технора (метапараарамид).

Гетероциклические параарамидные нити сочетают высокий уровень механических свойств, термостойкость и устойчивость к воздействию открытого пламени [1, 7]. Температура стеклования волокна из полипарафенилентерефталамида составляет 345–360 °С, нитей на основе полиамидобензимидазолов: 270–290 °С.

В России производят в основном гетероциклические нити торговой марки Руслан по технологии мокрого формования (АО «Каменскволокно»); нити Русар-С, Русар-НТ – по технологии сухо-мокрого формования (ООО НПФ «ТЕРМОТЕКС»); ООО «ТЕМА-М» также осуществляет опытное производство нитей Армалон из сополиамидов на базе полипарафенилентерефталамида по технологии сухого формования.

Параарамидные волокна обладают плотностью вещества 1,44–1,47 г/см³, модулем упругости 90–160 ГПа, прочностью при растяжении 3,5–5,5 ГПа и удлинением при разрыве 1,5–4,5 % [2, 4].

Свойства параарамидных волокон можно варьировать, изменяя природу растворителя, условия нитеобразования и последующей термической обработки. Для увеличения значения модуля упругости нити подвергают термической обработке под натяжением или незначительной термической вытяжке. Повысить прочность арамидных нитей можно путем уменьшения линейной плотности филаментов. Этот прием позволяет увеличить долю высокоориентированного наружного слоя филамента [4].

Арамидные волокна представляют собой высокоориентированные жесткоцепные полимеры с кристаллической структурой в виде параллельно упакованных палочкообразных фибриллярных элементов. Высокая жесткость вследствие наличия ароматических колец способствует ориентации макромолекул в одном направлении. Распрямленные полимерные цепи определяют их плотную упаковку в объеме и обеспечивают высокую прочность волокон. Межмолекулярное взаимодействие осуществляется посредством физических водородных связей. Различие в энергии продольных (ковалентных) и поперечных (водородных) связей обуславливает высокую анизотропию механических свойств в продольном и поперечном относительно оси волокна направлениях [4, 5].

Процесс разрушения параарамидных волокон под действием механических нагрузок имеет уникальные особенности: происходят межфибрилярное расщепление волокна, последующий обрыв отдельных продольно расположенных структурных элементов и вырывание участков микрофибрилл. На рис. 1 для иллюстрации описанного механизма представлены изображения волокон Кевлар после разрушения при одноосном растяжении. Процесс разрушения арамидного волокна представляет собой обширное аксиальное расщепление.

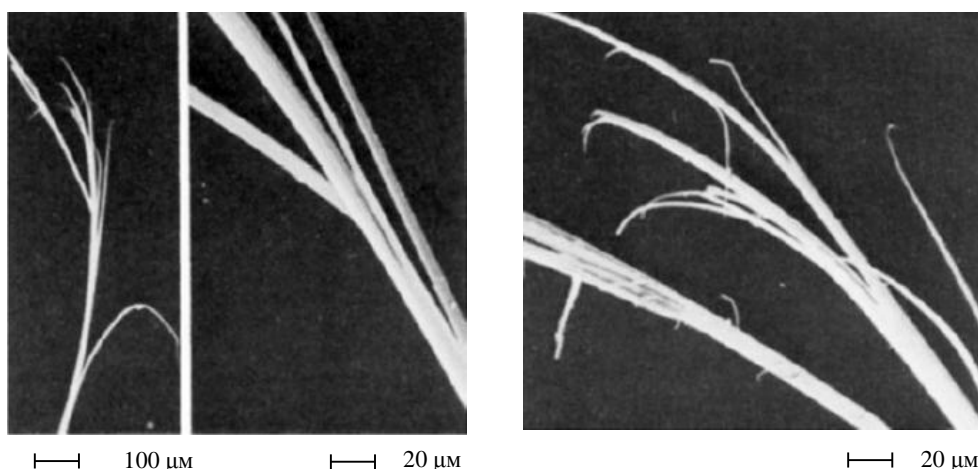


Рис. 1. Параарамидные волокна Кевлар после испытаний на одноосное растяжение [8]

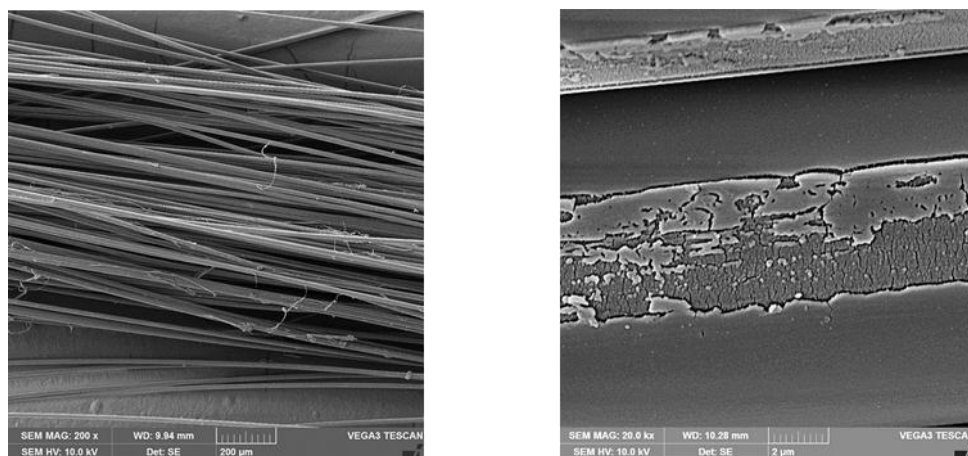


Рис. 2. Микроструктура поверхности арамидных волокон Русар-НТ [9]

Структура поверхности волокна отличается от структуры ядра и включает множество желобков, ориентированных в продольном направлении. Эта особенность определяет поверхностные свойства волокна и позволяет предполагать возможные негативные последствия, которые могут возникнуть при текстильной переработке. На рис. 2 продемонстрирована микроструктура поверхности волокна Русар-НТ, полученная методом сканирующей электронной микроскопии [9]. Некоторые волокна имеют отщепленные микрофибриллярные структуры, поверхность волокна гладкая, но в некоторых областях отмечены дефекты в виде микротрещин и отслаиваний. В местах разрушения слоя оболочки видна внутренняя структура волокон.

Метаарамидные волокна и нити

Волокно на основе линейного ароматического полиамида полиметафениленизофталамида (Фенилон) разработано в 1960-е годы во ВНИИСВ (г. Тверь), серийное производство комплексных нитей осуществлялось на заводе «Казхимволокно» (г. Костанай). В настоящее время производство прекращено. Зарубежным аналогом волокна Фенилон является волокно марки Номекс (фирма DuPont). Данные волокна из метаарамидных полимеров имеют одинаковую структуру и свойства. Элементарное звено макромолекул включает бензольное кольцо и амидные группы. Однако метаположение амидной группы не позволяет достичь высокой жесткости молекул, как у параарамидов. Значения деформации при разрыве у метаарамидных нитей Фенилон и Номекс весьма существенны (~20 % для комплексной нити) в сравнении с удлинением параарамидов (1,5–4,5 %), что свидетельствует о невысокой степени ориентации.

Согласно работам [2, 4, 10], материалы на основе полиметафениленизофталамида и его сополимеров обладают высокими уровнями теплостойкости и механической прочности.

Волокно Фенилон можно использовать в широком диапазоне температур, оно имеет малую ползучесть и небольшие остаточные деформации при циклических нагрузках, обладает стойкостью к длительному тепловому (при температуре 220–250 °С) и атмосферному старению, а также стойкостью к ионизирующему излучению. Температура стеклования составляет 275–300 °С, температура разложения: 370–400 °С [1, 10]. Усадка после кипячения метаарамидной нити достигает 1,6 %, усадка в сухом состоянии при температуре 350 °С: 7 %.

В соответствии с ТУ 6-06-32-185–76 рабочая температура для фенилоновой нити находится в интервале от –60 до +250 °С. После выдержки в течение 100 ч при температуре 250 °С нить сохраняет не менее 50 % прочности. Нить устойчива к двойным изгибам и истиранию, что является преимуществом с точки зрения текстильной переработки.

Волокна и нити на основе полиэфиркетона

Полиэфиркетон (ПЭК) относится к полиарилэфиркетонам, представляющим собой ароматические полимеры, молекулярные цепи которых построены из фениленовых циклов, карбонильных групп и атомов кислорода. Полиарилэфиркетоны имеют уникальный комплекс эксплуатационных свойств (высокая деформационная теплоустойчивость, термо-, огне-, химическая и радиационная стойкость, гидрофобность, диэлектрические свойства [10–12]), которые определяются содержанием кетонных групп.

Нити на основе ПЭК устойчивы к действию большинства органических растворителей, кислот и оснований, жидкого аммиака, муравьиной и азотной кислот, бензола, а также к гидролизу. Они не воспламеняются и имеют кислородный индекс 35 %, температура стеклования составляет 143 °С, температура плавления: 340 °С. Нити имеют усадку 2,2 % в горячем воздухе при температуре 180 °С в течение 15 мин. Плотность волокна составляет 1,3–1,32 г/см³.

Нити на основе ПЭК характеризуются высокой термостойкостью. При нагреве до 530 °С потеря массы составляет 2,6 %, выше 530 °С – начинается основная стадия терморазложения, максимальная скорость разложения (16,5 %/мин) достигается при температуре 597 °С.

Волокна и нити на основе полифениленсульфида

Полифениленсульфид (ПФС) является представителем класса теплостойких карбоциклических полимеров, к которому также относятся ароматические простые (полифениленоксиды) и сложные (полиарилаты, поликарбонаты, полиэфиркетоны, жидкокристаллические полиэфиры) полисульфоны, полиэфирсульфоны, полиарилсульфоны, ароматические полиамиды [12]. Полифениленсульфид, получаемый при взаимодействии *n*-дихлорбензола с сернистым натрием в *n*-метилпирролидоне, является полиариленом из чередующихся N-замещенных фениленовых циклов и атомов серы.

Комплексные нити на основе ПФС отличаются высокой химической стойкостью, стабильностью свойств при действии высоких температур (до 260 °С), низким влагопоглощением и высоким сопротивлением гидролизу. Кислородный индекс ПФС составляет 35–40 % и превосходит кислородный индекс ПЭК и метараминов. Температура стеклования ПФС составляет 85 °С, температура плавления 283 °С, температура длительной эксплуатации 192 °С, максимальная температура длительной эксплуатации 220 °С, удельная плотность волокна 1,34–1,36 г/см³.

Изделия на основе ПФС характеризуются высокой стабильностью размеров в течение длительной эксплуатации в условиях воздействия агрессивных сред. Полифениленсульфид считается одним из наиболее химически инертных термопластичных материалов.

Полиимидные волокна и нити

Анализ разработок в области создания конструкций с высокой температурой эксплуатации показывает, что в качестве их полимерной основы, отличающейся высокой деформационной (теплостойкость) и химической (термостойкость) устойчивостью при нагреве, можно эффективно использовать полиимиды. Это циклоцепные полимеры с макромолекулами из чередующихся ароматических циклов и гетероциклов [12, 13].

В России производят термостойкие и трудногорючие полиимидные комплексные нити Аримид. Предельная температура эксплуатации данных нитей достигает 270–320 °С, температуры стеклования 360–380 °С, плавления 550 °С, разложения 420–450 °С. Сохранение прочности нитей Аримид при температуре 300 °С составляет не менее 55–65 % [13].

Полиоксадиазольные волокна и нити

Полиоксадиазольные волокна и нити на основе полипарафенилен-1,3,4-оксадиазола выпускают под торговым названием Арселон и Арселон-С (с повышенной светостойкостью).

Благодаря более дешевой схеме производства, наличию доступной сырьевой базы, практически полному отсутствию вредных выбросов в атмосферу полиоксадиазольное волокно Арселон обладает существенными экономическими преимуществами по сравнению с арамидными волокнами и их аналогами. Разрывная нагрузка комплексных нитей Арселон составляет не менее 38 сН/текс, удлинение: 10–15 %. Механические свойства нитей Арселон позволяют проводить их текстильную переработку.

Волокна и нити Арселон имеют высокую температуру стеклования (200–250 °С), стойкость к термической и термоокислительной деструкции (температура разложения выше 400–500 °С). Кислородный индекс оксадиазольного полимера составляет 28–30 %, что меньше по сравнению с аналогичной характеристикой для ПЭЭК, ПФС, параарамидов и полиимидов. Важной особенностью является отсутствие у термообработанных волокон и нитей заметной усадки до температур 350–400 °С, что позволяет использовать их в экстремальных условиях [7, 14, 15].

Волокна и нити из сверхвысокомолекулярного полиэтилена

Волокна и нити из сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) применяют при создании средств бронезащиты, спортивной амуниции (шлемы, горные лыжи, корпуса катеров и яхт), медицинских изделий (замена суставов, хирургические шовные нити), канатов, шнуров для морского и речного транспорта, транспортерных лент, рукавов и шлангов высокого давления и др.

В России опытное производство нитей на основе СВМПЭ осуществляется во ВНИИСВ (г. Тверь). Основным преимуществом таких нитей является способность поглощать ударную энергию. Полиэтиленовые нити гидрофобны, поэтому их прочность во влажной среде уменьшается незначительно (не более 10 %) [16].

Нити на основе СВМПЭ отличаются высокой прочностью в узле и стойкостью к истиранию. Коэффициент трения СВМПЭ сравним с коэффициентом трения политетрафторэтилена (ПТФЭ). Таким образом, СВМПЭ относится к классу антифрикционных полимеров, которые по износостойкости превосходят фторопласты.

К недостаткам СВМПЭ можно отнести относительно низкую по сравнению с ПТФЭ, параарамидом, метаарамидом и полиимидом температуру плавления. Максимальные температуры эксплуатации волокон на основе СВМПЭ составляют 90–120 °С. При более высоких температурах нарушается устойчивость надмолекулярной структуры волокна и аморфно-кристаллического строения филаментов, из которых состоит волокно, что приводит к его разупрочнению.

Таким образом, несмотря на наличие полезных свойств, область использования нитей на основе СВМПЭ ограничена. Данные нити не являются огне- и термостойкими, но благодаря сочетанию высоких значений прочности, модуля упругости и небольшой удельной плотности (0,97 г/см³) составляют конкуренцию параарамидным нитям при изготовлении средств баллистической защиты.

Фторсодержащие волокна и нити

Фторсодержащие полимеры широко применяются для создания антифрикционных материалов, обладают термо- и хемостойкостью. Применение таких полимеров в виде волокон и волокнистых материалов в контакте с поверхностью твердых тел, в частности металлов, позволяет значительно снизить коэффициент трения. Так, для полностью фторированных полимеров коэффициенты трения обычно не превышают 0,04–0,08, что важно для их практического применения в качестве антифрикционных материалов [12].

Уникальные свойства волокон и нитей на основе ПТФЭ определяются специфической атомной структурой, строением и структурой высокомолекулярного высококристаллического полимера. Высокие температуры начала деструкции (425 °С) и плавления (342 °С) определяются высокой энергией диссоциации связи С–F (390–500 кДж/моль). Благодаря спиралевидной форме молекул ПТФЭ образуется своеобразный идеальный цилиндр с плотной внешней оболочкой из атомов фтора. Именно таким строением молекул объясняются уникальная химическая стойкость, низкий коэффициент трения и высокая пластичность при низких температурах.

Технология получения волокон на основе ПТФЭ довольно сложна и трудоемка, поскольку полимер нельзя перевести в расплав без разложения, он не растворяется в известных растворителях. Поэтому данное волокно формируется из прядильного раствора волокнообразующего полимера (гидратцеллюлозы или поливинилового спирта) с распределенными мельчайшими частицами ПТФЭ. Благодаря высокой концентрации наполнителя прочность нитей составляет ~8 мН/текс, повышение прочности нити достигается за счет дополнительных операций: спекание при температуре до 380–390 °С и вытяжка до 300–500 %.

Волокна на основе ПТФЭ имеют плотность 2,2 г/см³, комплексные нити – невысокую прочность 100–150 мН/текс. Рабочий диапазон температур нити от –160 до +275 °С.

Разработаны и другие виды фторсодержащих волокон и текстильных нитей. Например, нити Фторлон с плотностью 2,13 г/см³ имеют более низкую температуру эксплуатации (120–130 °С), чем нити на основе ПТФЭ, но превосходят их по прочности. Производят также моониты Фторин диаметром 0,09 и 0,13 мм, изготовленные из фторопласта-4МБ. Данные моониты устойчивы к действию агрессивных сред при повышенных температурах и 93–100%-ной серной кислоты, температурный диапазон эксплуатации от –180 до +200 °С.

Фторсодержащие нити характеризуются высокой гидрофобностью, что приводит к высокой электризуемости при переработке в ткачестве, а значит, способствует увеличению обрывности нитей. Этот вывод относится и к волокнам на основе СВМПЭ.

В табл. 1 представлены характеристики комплексных нитей, которые необходимо учитывать при проектировании и производстве тканей. Наибольшим уровнем разрывной нагрузки и модуля упругости обладают параарамидные нити Руслан и нити на основе СВМПЭ. Показатели свойств при растяжении нитей Фенилон, Аримид, Арселон, на основе ПЭЭК и ПФС достаточно близки при температурах ниже температуры их стеклования, разрывная нагрузка находится в пределах от 33 до 59 сН/текс, удлинение от 11,6 до 25,2 %, модуль упругости от 6,5 до 13,1 ГПа.

Таблица 1

Свойства синтетических нитей различной природы

Комплексная нить	Удельная плотность волокна*, г/см ³	Температура длительной эксплуатации*, °С	Кислородный индекс*, %	Разрывная нагрузка**, сН/текс	Удлинение**, %	Модуль упругости**, ГПа
Руслан	1,45	250–300	38–45	240–280	3,6	130–150
Кевлар	1,44–1,45	250–300	27–30	220–270	2,9	90–160
На основе СВМПЭ	0,97	90–120	До 20	220–280	2,8–4,2	48–150
Фенилон	1,37–1,38	250–300	28–30	36	25,2	13,1
На основе ПЭЭК	1,30–1,32	250	35	59	17,8	9,2
На основе ПФС	1,34–1,36	190	35–45	40	24,6	6,5
Аримид	1,41–1,45	270–320	40–75	54	11,6	12,2
Арселон	1,42–1,44	270–320	27–30	33	17,8	13,0
На основе ПТФЭ	2,1–2,3	250–275	Более 80	15	13–30	5,3

* Данные работ [1, 10, 12, 15–17].

** Результаты собственных исследований.

Нити на основе ПТФЭ отличаются наименьшим уровнем разрывной нагрузки среди рассмотренных синтетических нитей при достаточно высоком значении разрывного удлинения, что необходимо учитывать при разработке технологических режимов изготовления тканей.

Нити Арселон и Аримид имеют наибольшие значения предельной температуры длительной эксплуатации (самые термостойкие), а нити на основе ПТФЭ (типа Полифен) – максимальный кислородный индекс.

Ткани на основе полимерных волокон

Для создания антифрикционных материалов применяются комбинированные ткани, сочетающие два типа полимерных волокон: антифрикционные (как правило, ПТФЭ или СВМПЭ) и армирующие (арамидные, полиимидные, ПФС, ПЭЭК и др.) [17, 18]. С лицевой (рабочей) стороны ткани преобладают нити из антифрикционного волокна, с противоположной (изнаночной) стороны – из армирующего (рис. 3).

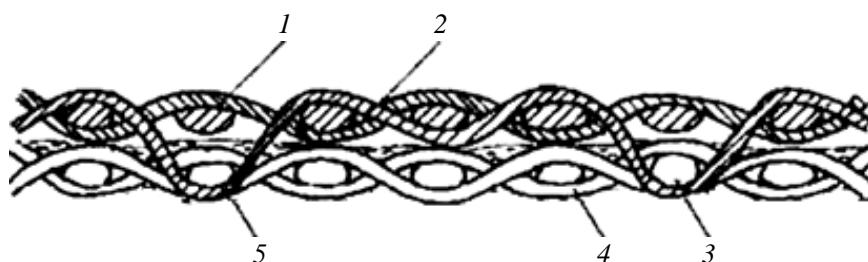


Рис. 3. Схема двухсторонней ткани, содержащей нити основы антифрикционного (1) и армирующего (2, 3) слоя; нити утка армирующего (4) и антифрикционного (5) слоя, соединяющего его с адгезионным слоем

В отличие от листовых фторопластов, которые подвержены пластическим деформациям, ткань выдерживает высокие удельные нагрузки и после первичного уплотнения структуры в последующем почти не подвержена деформации сжатия. На базе ООО «Текс-Центр» разработаны такого рода текстильные структуры:

- ткани полутораслойного переплетения арт. 5392-81 и арт. 5387/2-79. Используются комплексные нити ПТФЭ и Аримид. Базовым переплетением является неправильный четырехремизный атлас;

- ткани арт. 5392-81Р и арт. 5387/2-79Р. Включают комплексные нити ПТФЭ и арамидные нити Руслан. Базовым переплетением ткани арт. 5387/2-79 является неправильный шестиремизный атлас;

- ткань арт. 5384/3-80, в составе которой используются комплексные нити ПТФЭ и Аримид, на лицевом антифрикционном слое сформирована дополнительная армирующая клетка из арамидных нитей. Базовым переплетением ткани арт. 5384/3-80 является саржа 1/3.

В ООО «Текс-Центр» также опробованы различные варианты экспериментальных тканей с использованием рассмотренных ранее нитей (Арселон, на основе ПЭЭК, ПФС и др.) в качестве армирующих. Использованы варианты текстильной структуры полутораслойного переплетения на базе усиленного сатина 8/3; сатина 8/3 и полотняного переплетения; неправильного четырехремизного сатина.

В табл. 2 представлены свойства серийно выпускаемых антифрикционных тканей.

Свойства антифрикционных тканей согласно техническим условиям

Показатель	Значения показателей для ткани артикула				
	5392-81	5387/2-79	5384/3-80	5392-81P	5387/2-79P
Поверхностная плотность, г/м ²	≤350	≤700	≤590	≤350	≤700
Толщина ткани, мкм (при 1 кг/см ² = 100 кПа)	≤500	≤950	≤690±40	≤500	≤900
Разрывная нагрузка полоски ткани (размером 50×200 мм), Н:					
	по основе	≥686	≥1568	≥1182,0	≥686
по утку	≥1470	≥2450	≥1280,5	≥2942	≥1862

Заключения

Рассмотрены виды синтетических нитей, потенциально пригодных для изготовления тканых наполнителей. Проанализированы составы и типы структуры тканей, предназначенных для изготовления антифрикционных композиционных материалов. Особенность таких текстильных структур – полтораслойное переплетение нитей с лицевой поверхностью из антифрикционных нитей, изнаночная сторона обеспечивает армирование и адгезионные свойства по отношению к полимерным связующим.

На базе рассмотренных в данной статье серийно выпускаемых и экспериментальных тканей в НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ разработаны антифрикционные материалы марок Оргалон АФ-1М-260, Оргалон АФ-1М-500, ВАП-8, ВКО-28 [19–23], а также опробованы экспериментальные ткани различного состава и структуры в рамках научно-исследовательской работы.

Список источников

1. Перепелкин К.Е. Армирующие волокна и волокнистые полимерные композиты. СПб.: Научные основы и технологии, 2009. 380 с.
2. Михайлин Ю.А. Волокнистые полимерные композиционные материалы в технике. СПб.: Научные основы и технологии, 2013. 720 с.
3. Любин Дж. Справочник по композиционным материалам: в 2-х кн. / под ред. Б.Э. Геллера. М.: Машиностроение, 1988. Кн. 1. 448 с.
4. Перепелкин К.Е. Высокопрочные, высокомодульные нити на основе линейных полимеров: принципы получения, структура, свойства, применение // Химические волокна. 2010. № 2. С. 3–10.
5. Михайлин Ю.А. Конструкционные полимерные композиционные материалы. 2-е изд. СПб.: Научные основы и технологии, 2013. 822 с.
6. Кобылкин И.Ф., Селиванов В.В. Материалы и структуры легкой бронезащиты: учебник. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 191 с.
7. Гладков А.Н. Разработка процесса получения высокопрочных и высокомодульных нитей Армалон: дис. ... канд. техн. наук. М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2007. 109 с.
8. Hearle J.W.S., Lomas B., Cooke W.D. Atlas of fibre fracture and damage to textiles. 2nd ed. Woodhead Publishing Ltd., 1998. 477 p.
9. 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.
10. Михайлин Ю.А. Тепло-, термо- и огнестойкость полимерных материалов. СПб.: Научные основы и технологии, 2011. 416 с.
11. Ли Г., Стоффи Д., Невилл К. Новые линейные полимеры. М.: Химия, 1972. 280 с.
12. Михайлин Ю.А. Термоустойчивые полимеры и полимерные материалы. СПб.: Профессия, 2012. 624 с.

13. Мусина Т.К., Волохина А.В., Щетинин А.М. и др. Полиимидные и арамидные волокна и нити со специальными свойствами и изделия на их основе // В мире оборудования. 2010. № 2 (91). С. 4–8.
14. Дресвянина Е.Н., Макарова Р.А., Трусков Ю.Д. Высокотермостойкие полиоксадиольные волокна, нити и текстиль на их основе // Технический текстиль. 2007. № 16. С. 15–20.
15. Перепелкин К.Е., Маланьина О.Б., Пакшвер Э.А., Макарова Р.А. Сравнительная оценка термических характеристик ароматических нитей (полиоксадиольных, полиимидных и полиарамидных) // Химические волокна. 2004. № 5. С. 45–48.
16. Корнеева Н.В. Разработка волокнистых полимерных композиционных материалов, армированных СВМПЭ-волокнами, тканями и неткаными материалами, обработанными неравновесной низкотемпературной плазмой: дисс. ... д-ра техн. наук. Казань, 2011. 296 с.
17. 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.
18. 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.
19. 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: 01.09.2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-3-91-101.
20. Каблов Е.Н. Материалы для авиакосмической техники // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2007. № 5. С. 7–27.
21. Каблов Е.Н. Основные направления развития материалов для авиакосмической техники XXI века // Перспективные материалы. 2000. № 3. С. 27–36.
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: 01.09.2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-2-89-96.
23. 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: 01.09.2023). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-1-41-50.

References

1. Perepelkin K.E. *Reinforcing fibers and fibrous polymer composites*. St. Petersburg: Scientific principles and technologies, 2009, 380 p.
2. Mikhailin Yu.A. *Fibrous polymer composite materials in technology*. St. Petersburg: Scientific principles and technologies, 2013, 720 p.
3. Lubin J. *Handbook of composite materials*: in 2 books. Ed. B.E. Geller. Moscow: Mechanical Engineering, 1988, book 1, 448 p.
4. Perepelkin K.E. High-strength, high-modulus yarns based on linear polymers: principles of production, structure, properties, application. *Khimicheskiye volokna*, 2010, no. 2, pp. 3–10.
5. Mikhailin Yu.A. *Structural polymer composite materials*. 2nd ed. St. Petersburg: Scientific principles and technologies, 2013, 822 p.
6. Kobylkin I.F., Selivanov V.V. *Materials and structures of light armor protection*: textbook. Moscow: MSTU im. N.E. Bauman, 2014, 191 p.
7. Gladkov A.N. *Development of a process for producing high-strength and high-modulus Armalon threads*: thesis, Cand. Sc. (Tech.). Moscow: MSTU im. A.N. Kosygin, 2007, 109 p.
8. Hearle J.W.S., Lomas B., Cooke W.D. *Atlas of fibre fracture and damage to textiles*. 2nd ed. Woodhead Publishing Ltd., 1998, 477 p.
9. 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.

10. Mikhailin Yu.A. *Heat, thermal and fire resistance of polymer materials*. St. Petersburg: Scientific principles and technologies, 2011, 416 p.
11. Lee G., Stoffey D., Neville K. *New linear polymers*. Moscow: Khimiya, 1972, 280 p.
12. Mikhailin Yu.A. *Heat-resistant polymers and polymer materials*. St. Petersburg: Profession, 2012, 624 p.
13. Musina T.K., Volokhina A.V., Shchetinin A.M. et al. Polyimide and aramid fibers and threads with special properties and products based on them. *V mire oborudovaniya*, 2010, no. 2 (91), pp. 4–8.
14. Dresvyanina E.N., Makarova R.A., Trusov Yu.D. High-heat-resistant polyoxadisole fibers, threads and textiles based on them. *Tekhnicheskij tekstil*, 2007, no. 16, pp. 15–20.
15. Perepelkin K.E., Malanyina O.B., Pakshver E.A., Makarova R.A. Comparative assessment of the thermal characteristics of aromatic threads (polyoxazole, polyimide and polyaramid). *Khimicheskiye volokna*, 2004, no. 5, pp. 45–48.
16. Korneeva N.V. *Development of fibrous polymer composite materials reinforced with UHMWPE fibers, fabrics and non-woven materials treated with nonequilibrium low-temperature plasma*: thesis, Dr. Sc. (Tech.). Kazan, 2011, 296 p.
17. Kuzharov A.S., Ryadchenko V.G., Grechko V.O. et al. Study of tribological properties of various textile structures based on fibrous polytetrafluoroethylene. *Trenie i iznos*, 1986, vol. 7, no. 5, pp. 945–950.
18. Kuzharov A.S., Ryadchenko V.G. Composite antifriction coatings based on polytetrafluoroethylene fibers. *Wearlessness: interuniversity collection scientific works*. Rostov-on-Don: RISHM, 1992, vol. 2, pp. 140–147.
19. 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: September 01, 2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-3-91-101.
20. Kablov E.N. Materials for aerospace technology. *Vse materialy. Entsiklopedicheskiy spravochnik*, 2007, no. 5, pp. 7–27.
21. Kablov E.N. Main directions of development of materials for aerospace technology of the XXI century. *Perspektivnye materialy*, 2000, no. 3, pp. 27–36.
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 01, 2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-2-89-96
23. Sorokin A.E., Ivanov M.S., Sagomonova V.A. Thermoplastic polymer composite materials based on polyetheretherketones of various manufacturers. *Aviation materials and technologies*, 2022, no. 1 (66), paper no. 04. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: September 01, 2023). DOI: 10.18577/2071-9140-2022-0-1-41-50.

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

Левакова Наталья Марковна, генеральный директор, к.т.н., ООО «Текс-Центр», info@teks-centre.ru

Сафонов Павел Евгеньевич, старший научный сотрудник, к.т.н., ООО «Текс-Центр», info@teks-centre.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

Natalia M. Levakova, General Director, Candidate of Sciences (Tech.), LLC «Teks-Centre», info@teks-centre.ru

Pavel E. Safonov, Senior Researcher, Candidate of Sciences (Tech.), LLC «Teks-Centre», info@teks-centre.ru

Статья поступила в редакцию 25.09.2023; одобрена и принята к публикации после рецензирования 28.09.2023.

The article was submitted 25.09.2023; approved and accepted for publication after reviewing 28.09.2023.