

ОЦЕНКА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ КОМПОЗИТНЫХ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ НИТЕЙ

EVALUATION OF PHYSICAL-MECHANICAL AND OPERATIONAL PROPERTIES OF COMPOSITE ELECTRICALLY CONDUCTIVE THREADS

V.V. VASILYEVA¹, O.A. MOLOKANOVA^{1,2}, E.S. TSOBKALLO¹, P.V. POGREBNIYAKOV³

V.V. VASILYEVA¹, O.A. MOLOKANOVA^{1,2}, E.S. TSOBKALLO¹, P.V. POGREBNIYAKOV³

¹Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна,

²Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта,

³ООО «Ампертекс»)

(¹Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,

²Immanuel Kant Baltic Federal University,

³Amperteks LLC)

E-mail: olga-moskalyuk@mail.ru

Данная работа посвящена экспериментальным исследованиям физико-механических и эксплуатационных свойств электропроводящих композитных нитей. Проведены испытания на одноосное растяжение, самоистирание и измерены значения электрического сопротивления композитных нитей до и после истирания. Установлен тип нити, позволяющий изготавливать электропроводящие ткани, устойчивые к многократным истирающим нагрузкам. Установлено, что в процессе истирания бикомпонентная нить ввиду разрушения электропроводящей оболочки теряет свою электропроводность после 50 циклов. Данные образцы нити могут быть востребованы при производстве электропроводящих тканей, не подвергающихся активным истирающим нагрузкам. Выявлено, что мононити, изготовленные полностью из электропроводящего композита, позволяют получать изделия, устойчивые к многократным истирающим нагрузкам более 2000 циклов.

This work is devoted to experimental studies of the physical, mechanical and operational properties of conductive composite threads. Uniaxial tension and self-abrasion tests were carried out, and the electrical resistance values of the composite threads were measured before and after abrasion. A thread type was established that allows producing conductive fabrics resistant to multiple abrasion loads. It was found that during abrasion, the bicomponent thread loses its electrical conductivity after 50 cycles due to the destruction of the conductive shell. These thread samples can be used in the production of conductive fabrics that are not subjected to active abrasion loads. It was revealed that monofilaments made entirely of conductive composite allow producing products resistant to multiple abrasion loads for more than 2000 cycles.

Ключевые слова: композит, нити, растяжение, прочность, устойчивость к истиранию, циклы, электропроводность.

Keywords: composite, threads, tensile strength, abrasion resistance, cycles, electrical conductivity.

Одними из перспективных и востребованных материалов для современной промышленности являются текстильные материалы, изготовленные из полимерных композитов. Это обусловлено уникальными свойствами полимерных композитов, среди которых малая плотность, высокие пластичность и упругость, термо- и износоустойчивость, химическая и радиационная стойкость, малая электро- и теплопроводность, трещиностойкость в условиях высокоинтенсивных нагрузок и др.

Появление на рынке уникальных электропроводящих наполнителей, в том числе углеродных наночастиц – нановолокон, многостенных и одностенных нанотрубок, мелкодисперсных теплопроводящих наполнителей и др., дало возможность создавать композитные текстильные материалы с принципиально улучшенной способностью проводить электрическую энергию. Области применения таких тканей/нитей очень обширны. Они используются при изготовлении одежды специального назначения и СИЗ (защита от электрической дуги, нефтепродуктов, наведенного напряжения, электрического поля и электромагнитного излучения), обеспечивают безопасность (МАСО концепция «Vision Zero») при варочных, пожарных и спасательных работах, выбросах пламени или пара, работах на высоте, а также применяются при производстве гибких нагревательных систем и умной одежды [1...5]. Создание таких текстильных материалов невозможно без знания фундаментальных основ полимерного материаловедения, владения практическими навыками формирования наноструктурированных полимерных композитов и прогнозирования их свойств с применением математических и цифровых инструментов.

В процессе производства и эксплуатации текстильные материалы подвергаются множественным воздействиям различных изнашивающих факторов, приводящих к ухудшению их физико-механических и потребительских свойств. Истирание является главным фактором износа и присутствует при большинстве его видах [6, 7]. Например, трение нить-нить или нить-металл в процессе ткачества.

Истирание представляет собой сложный комплексный процесс, при котором происходит отделение частиц материала с поверхности тел, разрушаемых при трении. Такое разрушение может приводить к ухудшению электропроводности композитных текстильных материалов, что существенно снизит срок эксплуатации и ограничит области применения готовых изделий.

Цель работы состояла в экспериментальном исследовании деформационно-прочностных, электропроводящих свойств и оценке устойчивости к истиранию электропроводящих нитей, полученных на основе полимерных композитов.

Объекты и методы исследований

В качестве объектов исследования выбраны два типа электропроводящих нитей. Первый – композитная мононить (ООО «Ампертекс», Россия), изготовленная методом экструзии, а электропроводящий углеродный наполнитель распределен по всему объему нити (рис. 1, а). Второй – нить бикомпонентная «Бикарболон 2М» (ОАО «Химволокно», Россия), представляющая собой нить, состоящую из «ядра» из поликапроамида и электропроводящей оболочки из углеродсодержащего композита (рис. 1, б).

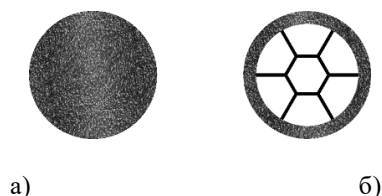


Рис. 1

Фактическая линейная плотность (T_f , текс) образцов определялась по ГОСТ 6611.1-73 (ИСО 2060-72) на нити длиной 1 м с использованием весов лабораторных электронных ЛВ 120-А, класс точности I, дискретность 0,1 мг.

Оценка механических свойств электропроводящих композитных нитей проводилась по ГОСТ 6611.2-73 (ИСО 2062-72, ИСО 6939-88) с использованием универсальной испытательной машины Instron. Подготовка образцов к испытанию выпол-

нялась по ГОСТ 6611.1-73. Расстояние между зажимами разрывной машины принималось равным 500 мм. Скорость растяжения составляла 200 мм/мин. Нити заправлялись в зажимы разрывной машины при предварительной нагрузке, которая устанавливалась в зависимости от номинальной линейной плотности из расчета $(0,5 \pm 0,1)$ сН/текс. На основе полученных диаграмм растяжения определялись удлинение при разрыве (L , %) и удельная разрывная нагрузка нитей (P_y , сН/текс).

Исследование процесса истирания композитных нитей проводилось на приборе ИШН-10, который позволяет исследовать износоустойчивость волокон и нитей при самоистирании. Сущность метода заключается в измерении количества циклов до полного разрушения нити (N_p) путем взаимодействия трущихся поверхностей испытуемого материала. Количество одновременно испытываемых образцов до 10 шт., число истирающих циклов в минуту – 25 об/мин или 50 об/мин, угол истирания в градусах – 5, 45, 90. В нашей работе

использовались следующие режимы испытания композитных нитей: угол истирания 90 °С, скорость 50 об/мин, предварительная нагрузка 20 г.

Значения удельного поверхностного электрического сопротивления ($R_{уд}$, Ом/см) композитных нитей до и после истирания определялись с использованием тераомметра Е6-13А. Закрепление образцов проводилось в натянутом состоянии при помощи разъемов типа «крокодил» Hirschmann AGF20 с низким переходным сопротивлением. Расстояние между электродами составляло 30 мм.

Результаты и их обсуждение

В табл. 1 представлены физико-механические характеристики исследуемых образцов электропроводящих нитей. Исследуемые образцы нитей обладают близкими значениями линейной плотности и деформационно-прочностными характеристиками и могут быть использованы для создания текстильных материалов технического назначения [1...5].

Т а б л и ц а 1

Образец/параметр	Физическая линейная плотность, текс	Удельная разрывная нагрузка, сН/текс	Удлинение при разрыве, %
Композитная монопить	46±2	21±2	20±2
Бикомпонентная нить	56±2	25±3	15±2

Сравнение значений удельного поверхностного электрического сопротивления электропроводящих нитей до и после истирания представлено в табл. 2. Для бикомпонентной нити измерения проводились после 10 циклов истирания, в случае композитной монопить – после 2000 циклов.

Т а б л и ц а 2

Образец/параметр	Удельное поверхностное электрическое сопротивление, 10^5 Ом/см	
	до истирания	после истирания
Композитная монопить (после 2000 циклов)	1,3±0,1	1,1±0,1
Бикомпонентная нить (после 10 циклов)	1,5±0,1	1,6±0,2

Как видно из данных, в начальный момент испытания значения электрического сопротивления для обоих образцов прак-

тически одинаковы и составляют $R_y = 1,3 \cdot 10^5 \dots 1,5 \cdot 10^5$ Ом/см. В процессе истирания оба образца демонстрируют сохранение электропроводности в исследуемом диапазоне циклов истирания.

При испытании бикомпонентной нити при самоистирании отслоение и истирание электропроводящей оболочки наблюдалось уже при 5...8 циклах (рис. 2, а) ввиду низкого адгезионного взаимодействия на границе ядро-электропроводящая оболочка. Полное отслоение композитной оболочки фиксировалось после 50 циклов истирания (рис. 2, б). Следовательно, такую нить уже нельзя считать электропроводящей вследствие нарушения сплошности ее проводящей оболочки. Дальнейшее истирание до разрушения происходило за счет самоистирания ядра бикомпонентной нити, и по достижении $N_p=538 \pm 188$ нить обрывалась.



а) б) в)
Рис. 2

При тех же начальных условиях электропроводящая композитная мононить выдержала 2000 циклов практически без внешних признаков деформации и разрушения поверхности. На рис. 2, в показан внешний вид композитной мононити после 2000 циклов истирания. В дальнейшей работе планируется провести более длительные циклы истирания до полного разрушения композитных мононитей.

Таким образом, бикомпонентная нить может быть использована для производства электропроводящего текстиля, не подвергающегося активным стирающим нагрузкам, и требует более тщательного подбора технологических режимов ткачества. За счет введения наполнителя внутрь полимерной матрицы возможно изготовление электропроводящих мононитей с повышенной устойчивостью к многократным стирающим нагрузкам, что позволит расширить области применения электропроводящего текстиля в технической сфере.

ВЫВОДЫ

1. Проведена оценка физико-механических и эксплуатационных свойств электропроводящих нитей двух типов: композитной мононити, в которой электропроводящий углеродный наполнитель распределен по всему объему синтетической полимерной матрицы, и бикомпонентной нити, состоящей из «ядра» из поликапроамида и электропроводящей оболочки из углеродсодержащего композита.

2. Показано, что оба образца композитных нитей имеют сравнительно одинаковые значения линейной плотности и де-

формационно-прочностных характеристик при разрыве.

3. Установлено, что в процессе истирания бикомпонентная нить ввиду разрушения электропроводящей оболочки теряет свою электропроводность после 50 циклов. Данные образцы нити могут быть восстановлены при производстве электропроводящих тканей, не подвергающихся активным стирающим нагрузкам.

4. Выявлено, что мононити, изготовленные полностью из электропроводящего композита, позволяют получать изделия, устойчивые к многократным стирающим нагрузкам более 2000 циклов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акбаров Р.Д., Жилисбаева Р.О., Таштулатов С.Ш. и др. Применение композиционных материалов для защитной одежды от воздействия электрических полей // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2018. №5(377). С. 188...192.
2. Иванова Т.П., Володько М.А., Замостоцкий Е.Г. Разработка и исследование ткани специального назначения с применением электропроводящих нитей // Новое в технике и технологии текстильной и легкой промышленности: матер. междунар. науч. конф. Витебск, 2009. С. 117...118.
3. Сапожников С.В., Сафонов В.В. Инновационные технологии в производстве электропроводящих текстильных материалов // Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности: матер. конф. Витебск, 2018. С. 69...71.
4. Евсеев З.И., Дмитриев П.С. Одежда с встроенным подогревом на основе графенового электронного текстиля // Научные исследования молодых ученых: сб-к ст. XXII Междунар. науч.-практ. конф. Пенза, 2023. С. 68...73.
5. Климова Н.А., Бешапошникова В.И. Разработка и исследование свойств электрообогреваемого композиционного текстильного материала терморегулируемой одежды // Сб-к науч. тр. междунар. науч. конф., посвященной 150-летию со дня рождения профессора Н.А. Васильева. М., 2021. Т. 1. С. 132...136.
6. Кветковский Д.И., Невских В.В., Кузнецов А.А., Иваненков Д.А. Разработка экспресс-метода определения износостойкости текстильных нитей // Новое в технике и технологии текстильной и легкой промышленности: матер. междунар. науч. конф. Витебск, 2005. С. 83...84.
7. Назарова М.В., Романов В.Ю. Исследование многоцикловых и полумногоцикловых характеристик нитей до и после ткачества // Современные проблемы науки и образования. 2010. №6. С. 89...94.

REFERENCES

1. Akbarov R.D., ZHilisbaeva R.O., Tashpulatov S.SH. etc. Application of composite materials for protective clothing from exposure electric fields // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstilnoi Promyshlennosti. 2018. №5(377). P. 188...192.
2. Ivanova T.P., Volod'ko M.A., Zamostockij E.G. Razrabotka i issledovanie tkani special'nogo naznacheniya s primeneniem elektroprovodyashchih nitej // Novoe v tekhnike i tekhnologii tekstil'noj i legkoj promyshlennosti: materialy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii. Vitebsk, 2009. P. 117...118.
3. Sapozhnikov S.V., Safonov V.V. Innovacionnye tekhnologii v proizvodstve elektroprovodyashchih tekstil'nyh materialov // Innovatsionnye tekhnologii v tekstil'noy i legkoj promyshlennosti: materialy konferencii. Vitebsk, 2018. P. 69...71.
4. Evseev Z.I., Dmitriev P.S. Odezhda s vstroennym podogrevom na osnove grafenovogo elektronnoho tekstilya // Nauchnye issledovaniya molodyh uchyonyh: sbornik statej XXII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Penza, 2023, P. 68...73.
5. Klimova N.A., Besshaposhnikova V.I. Razrabotka i issledovanie svojstv elektroobogrevaemogo kompozitsionnogo tekstil'nogo materiala termoreguliruemoy odezhdy // Sbornik nauchnyh trudov mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, posvyashchennoj 150-letiyu so dnya rozhdeniya professora N.A. Vasil'eva. Moskva, 2021. T. 1. P. 132...136.
6. Kvetkovsky D.I., Nevskih V.V., Kuznecov A.A., Ivanenkov D.A. Razrabotka ekspress-metoda opredeleniya iznosostojkosti tekstil'nyh nitej // Novoe v tekhnike i tekhnologii tekstil'noj i legkoj promyshlennosti: materialy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii. Vitebsk, 2005. P. 83...84.
7. Nazarova M.V., Romanov V.YU. Issledovanie mnogociklovyh i poluciklovyh harakteristik nitej do i posle tkachestva // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2010, №6, P. 89...94.

Рекомендована оргкомитетом XX Международной научно-практической конференции «Новые полимерные композиционные материалы». Поступила 01.10.24.
