

**ВЛИЯНИЕ ПОТОКА ПЛАЗМЫ НА ПОВЫШЕНИЕ  
ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕХНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ****EFFECT OF PLASMA FLOW ON IMPROVING  
THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF TECHNICAL MATERIALS***Р.Ф. ГАЙНУТДИНОВ, В.В. ХАММАТОВА**R.F. GAINUTDINOV, V.V. KHAMMATOVA*

(Казанский национальный исследовательский технологический университет)

(Kazan National Research Technological University)

E-mail: venerabb@mail.ru

*В статье рассматриваются вопросы, связанные с методом повышения механических свойств текстильных материалов с содержанием химических волокон. Рассматривается метод модификации экспериментальных образцов арселоновой ткани с использованием плазменной установки, поскольку предложенная ткань специального назначения играет первостепенную роль в различных сферах, в авиации и автомобилестроении, медицине, сельском хозяйстве, военной промышленности, строительстве и ряде других областей, и подвергается механическим факторам воздействия. Проведено наноструктурирование арселоновой ткани на основе применения потока неравновесной плазмы пониженного давления. Анализ экспериментальных исследований показал значительное увеличение показателей арселоновой ткани, обработанной потоком неравновесной низкотемпературной плазмы пониженного давления. Ткани становятся малоусадочными, имеют повышенную прочность на разрыв и удлинение, повышенный кислородный индекс и уровень равновесной влажности.*

*The article deals with issues related to the method of improving the mechanical properties of textile materials containing chemical fibers. The method of modification of experimental samples of Arselon fabric using a plasma installation is considered, since the proposed special-purpose fabric plays a primary role in various fields in aviation and automotive industry, medicine, agriculture, military industry, construction and a number of other areas and is exposed to mechanical factors. Nanostructuring of Arselon tissue was performed using a low-pressure nonequilibrium plasma flow. Analysis of experimental studies has shown a significant increase in the parameters of Arselon tissue, treated with a flow of non-equilibrium low-temperature plasma of reduced pressure, become low-shrink, have an increased tensile strength and elongation, an increased oxygen index and the level of equilibrium humidity.*

**Ключевые слова:** химические волокна, арселон, наноструктурированный, специальная одежда, текстильный материал, плазма, модификация, свойства.

**Keywords:** chemical fiber, arselon, nanostructured, special clothing, of textile material, plasma, modification, properties.

Производство тканей с содержанием химических волокон – развитое направление текстильной промышленности. Ее продукция пользуется большим спросом, так как активно применяется в различных сферах в авиа- и автомобилестроении, медицине, сельском хозяйстве, военной промышленности, строительстве и ряде других областей. Поэтому современный рынок требует от производителей текстильных материалов: постоянного улучшения свойств изготавливаемых товаров; проведения разработок и исследований; использования инновационных технологий; модернизации оборудования для изготовления современных и наукоемких видов продукции [1].

Необходимость в инновационном развитии отрасли стала причиной ее распространения в развитых странах. Однако потребность в доступном сырье осталась прежней, что является сегодня определяющим фактором географического размещения химической промышленности в мире.

В зависимости от вида выпускаемого изделия используемое химическое волокно приобретает различные свойства и характеристики [1]. Текстильный материал с содержанием химических волокон имеет ряд преимуществ по сравнению с натуральными, так как не зависит от сезона, погоды и является менее трудоемким. Это позволяет производить из одного исходного сырья текстильные ткани с различными характеристиками. Их физико-механические и химические свойства могут быть изменены путем модификации потоком неравновесной низкотемпературной плазмы (ННТП) пониженного давления как самого материала, так и уже готового изделия, что позволит достичь высоких показателей устойчивости к разрывам, действиям бактерий и плесени, формоустойчивости, несминаемости, стойкости к неблагоприятным воздействиям (свету, влаге и т.п.), нагреванию, многократным нагрузкам.

Кроме того, текстильные материалы с содержанием химических волокон могут смешиваться для создания новых моделей и расширения ассортимента товаров различной структуры. Поэтому к 2050 г. намечается дальнейший подъем производства текс-

тильных материалов с содержанием химических волокон до 37...49 млн. тонн в год.

Производство химических волокон ввиду их высокой рентабельности и огромной сырьевой базы растет очень интенсивно и дает большой экономический эффект. Себестоимость химической продукции зависит от стоимости и полноты использования сырья, от стоимости и расхода топлива и энергии. Поэтому экономное использование сырья, топлива и энергии является основным условием снижения себестоимости продукции.

Целью работы является разработка метода повышения эксплуатационных свойств текстильных материалов с содержанием химических волокон для улучшения их физико-механических свойств.

В качестве объекта исследования выбрали термостойкие материалы из полиоксадиазольного волокна класса арамидов под общим названием Арселон (полипарафенилен-1,3,4-оксадиазол или полиарилен-1,3,4-оксадиазол), которые выпускаются в виде штапельного волокна, измельченного волокна, нити и ткани.

В производстве нити арселоновой используется сырье: кислота терефталевая, гидразин-сульфат, кислота серная техническая (улучшенная), олеум, умягченная вода, натрий двууглекислый, замасливатель А-1, модификатор ДНС, который вводят для получения термо- и светостойкой нити, а также используется для придания повышенной гидрофильности, способности к окрашиванию, устойчивости к атмосферным воздействиям, антистатичности.

Волокно Арселон и изделия на его основе обладают уникальными свойствами и находят широкое применение в различных отраслях промышленности, а также при производстве защитной и специальной одежды (костюмы пожарных, сотрудников МЧС, работников горячих цехов, терморукавицы); тентов для грузовых автомобилей (предназначенных для высокотемпературных перевозок); защитной обивки самолетов и поездов. Однако он имеет низкий коэффициент трения по металлу (до 0,2), что обеспечивает его использование в композиционных материалах.

Главное назначение любого текстильного материала, используемого для пошива специальной одежды – высокий уровень защиты в течение всего срока эксплуатации. Степень защиты зависит от характеристик: физико-механических показателей, сохранения специальных свойств во время эксплуатации. Специальная одежда на основе волокон Арселона должна надежно защищать от опасных факторов производства, быть прочной и обеспечивать нормальную терморегуляцию организма и хорошо очищаться от грязи.

Применение нетрадиционных технологий наноструктурирования материалов, основанных на использовании электрохимических, плазменных, лазерных и других высокоэффективных методов модификации, существенно влияет на свойства не только изделий одежды специального назначения, но и на технические материалы различной структуры и назначения. Известные методы химического и физического наноструктурирования технических материалов потребуют усложнения технологии их получения, что приведет к увеличению времени технологических процессов, повышению расхода химических веществ и, как правило, в условиях промышленных производств – к сложным экологическим проблемам. Для существующей технологии наноструктурирования текстильных материалов с использованием волокон Арселона характерны высокая материалоемкость, трудоемкость, зависимость от зарубежных поставок, а следовательно, высокая стоимость арселоновой ткани. Поэтому необходимо разрабатывать импортозамещающие технологии в техническом текстиле – это создание и промышленное освоение технологий, обеспечивающих получение текстильных материалов с широким набором новых свойств, расширяющих области их применения при производстве одежды специального назначения. По этой технологии текстильным материалам для специальной одежды могут придаваться такие свойства, как водо- и маслостойкость, пониженная горючесть, противозагрязняемость, мягкость, антистатический и антибактериаль-

ный эффекты, термостойкость, формоустойчивость и др.

Специальная одежда, полученная из импортозамещающих тканей, должна поддерживать требуемую температуру в пододежном пространстве, нейтрализовать химические отравляющие вещества, обладать гигиеническими свойствами. Экипировка рабочего должна при этом оставаться легкой, не стесняющей движений. Реализовать подобный инновационный текстильный материал возможно в связи с разработкой наукоемких технологий в текстильное производство.

Так, сотрудниками Ивановской государственной текстильной академии установлено, что с помощью плазмы атмосферного давления в растворах электролитов осуществляется физико-химическое воздействие на поверхность полипропиленовой нити (ПП), при этом происходит ее упрочнение с 34 до 39 сН/текст [3]. Это же направление модификации ПП нити сравнивается с обработкой плазмой тлеющего разряда. Установлено, что плазмохимическая модификация волокна в растворе электролита является более мягкой, приводящей к переходу аморфной фазы ПП в  $\alpha$ -кристаллическую [4]. В работе Петрова С.В. показано, что многокомпонентная химически активная плазма продуктов сгорания углеводородного газа с воздухом с уникальными транспортными и теплофизическими свойствами служит для напыления покрытий и обработки поверхности материалов специального назначения [5].

Низкотемпературная плазма тлеющего разряда является эффективным средством изменения свойств поверхности полимерных материалов. В тлеющем разряде обработка текстильных материалов осуществляется в зоне положительного столба и характеризуется постоянством напряженности электрического поля, его мощности и ровным свечением [6...9].

На сегодняшний день в качестве импортозамещающей технологии можно предложить плазменную технологию модификации арселоновой ткани с использованием потока неравновесной низкотемпературной плазмы (ННТП) [10]. ННТП обра-

ботка обладает следующими преимуществами: эффективно и устойчиво изменяет поверхностные свойства образца, не ухудшает объемных (в том числе физико-механических) характеристик, не нагревает материал до температуры выше  $50^{\circ}\text{C}$ . Эффект наноструктурирования текстильных материалов с помощью потока ННТП зависит от природы плазмообразующего газа. В зависимости от состава газа, давления, длительности и напряжения разряда, природы материала можно менять следующие свойства: смачиваемость, относительную молекулярную массу, химический состав, микрошероховатость, устойчивость к усадке натуральных и синтетических волокон, диффузионная способность и др. [11].

Причинами ухудшения качества материалов для спецодежды строительной отрасли могут быть физические факторы, таковыми являются: движущиеся машины, механизмы или их части; вращающееся оборудование; внешний микроклимат (температура и влажность воздуха), электрический ток и вибрация и др. Менее интенсивное воздействие на материалы специальной одежды оказывают химические и биологические факторы, что зависит от условий работы сотрудников. Биологические факторы в основном зависят от внешних условий эксплуатации. Как правило, внешние условия эксплуатации – это внешние природные условия, а также внешние условия, созданные самим продуктом или внешними источниками. Изнашивание специальной одежды проявляется в основном в процессе эксплуатации и зависит от воздействия внешних факторов, от режимов эксплуатации и работы изделий.

Изменяя параметры разряда и вид плазмообразующего газа, можно управлять составом химически активных частиц и, следовательно, характером воздействия ННТП обработки на материал, используемый для производства швейного изделия специального назначения [10].

Метод получения экспериментальных образцов арселеновой ткани осуществ-

лялся на плазменной установке ВАТТ 1500 Р/Р ПЛАЗМА 3, которая предназначена для обработки рулонных тканей из натуральных и смесовых тканей в потоке ННТП пониженного давления в условиях вакуума. Данная установка является однокамерной установкой периодического действия. Питание установки осуществляется от сети переменного тока напряжением  $380/220\text{ В} \pm 5\%$ , частотой 50 Гц. Объемная обработка текстильных материалов из арселеновых волокон осуществлялась при варьировании входных параметров плазменной установки, к которым относятся: мощность разряда ( $P_p$ )= $0,2...2,0$  кВт, расход плазмообразующего газа ( $G$ ) от 0 до  $0,08$  г/с, давление в вакуумной камере ( $P$ ) от 13 до 53 Па и время обработки (\*) от 1 до 3 метров в минуту, мощность, потребляемая установкой ( $P_{\text{потр}}$ ), от 1,0 до 5,0 кВт. В качестве плазмообразующего газа использовался азот.

Наноструктурирование арселеновой ткани проводилось следующим образом: рулон исходного материала устанавливался внутри вакуумной камеры и протягивался через перемоточные валы на приемный вал для перемотки рулонного материала и устанавливался между ВЧ-электродами в вакуумной камере, затем вакуумная камера закрывалась. При закрытии крышки вакуумной камеры с помощью откатной двери электроды устанавливались в рабочее положение. В камере создавалось низкое давление и происходила обработка в потоке неравновесной низкотемпературной плазмы пониженного давления.

Арселеновые ткани, обработанные потоком ННТП пониженного давления, становятся малоусадочными, имеют повышенную прочность на разрыв и удлинение, повысился кислородный индекс и уровень равновесной влажности. Результаты экспериментов представлены в табл. 1 (основные показатели тканей из волокна Арселон после наноструктурирования ННТП пониженного давления).

Показатели тканей	Контрольный образец	Наноструктурированный в потоке ННТП при давлении в вакуумной камере, $P_k$ (Па)			
		$P_k = 20$ Па	$P_k = 22$ Па	$P_k = 24$ Па	$P_k = 24$ Па
Разрывная нагрузка, Н, не менее:					
- основа	999	1050	1100	1020	960
- уток	618	750	850	710	602
Разрывное удлинение, % не менее:					
- основа	34	36	38	32	30
- уток	24	26	28	24	22
Кислородный индекс, не менее	28	30	32	28	28
Уровень равновесной влажности, %	10	10	12	10	8
Состав волокон, %	волокно Арселон 100				
Ширина, см	160				
Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	240				
Переплетение	саржа, полотно				

Как видно из табл. 1, показатели тканей из волокна Арселон имеют высокие значения поверхностной плотности и разрывной нагрузки как по основе, так и по утку; обладают улучшенными механическими свойствами (разрывной нагрузкой и разрывным удлинением, трением, раздирающей нагрузкой и др.).

Из многообразных причин, приводящих к ухудшению свойств текстильных изделий специального назначения в процессе их эксплуатации, а в отдельных случаях, делающих невозможным дальнейшее использование изделий по назначению, стойкость (устойчивость) тканей к истиранию является основным фактором. Действительно, в процессе эксплуатации специальной одежды она разрушается в первую очередь там, где отдельные ее детали многократно соприкасаются с окружающими предметами или с тканью других участков этого же изделия. Наибольшей стойкостью к истиранию обладают ткани, которые состоят из волокон, имеющих высокую стойкость к многократным деформациям растяжения, изгиба, кручения и смятия, в том числе и высокую стойкость к истиранию, это натуральные волокна шерсть, лен, хлопок. Повышенной стойкостью к истиранию обладают, как правило, смешанные ткани из комплексных химических и натуральных нитей.

Величина стойкости к истиранию на изгибах и поверхности образцов технического материала Арселон измерялась в соответствии с ГОСТ 9913–90 "Материалы текстильные. Методы определения стойкости к истиранию" с помощью прибора типа МТ191 на контрольном образце и образце, наноструктурированном в потоке ННТП пониженного давления.

На основе проведенных исследований установлено, что после наноструктурирования образцов технического материала Арселон для специальной одежды стойкость к истиранию образцов увеличивается для всех материалов, используемых в качестве объектов исследования. Результаты исследований образцов технического материала Арселон для специальной одежды представлены в табл. 2 (изменение стойкости к истиранию образцов технического материала Арселон для специальной одежды от параметров наноструктурирования в потоке ННТП пониженного давления: режим модифицирования:  $G = 0,04$  г/с;  $\tau = 1$  м/мин).

Анализ результатов экспериментальных исследований, представленных в табл. 2, показал, что стойкость к истиранию образцов материалов для специальной одежды от параметров модифицирования в потоке "холодной" плазмы пониженного давления увеличивается относительно конт-

рольных образцов материалов "Премьер Комфорт 250" на 50,0%, "Премьер FR-350" – на 28,5%, "Парусина полульняная" – на

66,6%, а в ткани "Премьер Cotton 300" – в 1,2 раза.

Т а б л и ц а 2

Мощность разряда $W_p$ , кВт	Стойкость к истиранию, циклы при давлении в вакуумной камере $P_k$ (Па)			
	$P_k = 20$ Па	$P_k = 22$ Па	$P_k = 24$ Па	$P_k = 24$ Па
2,0	21 900	21 000	21 500	21 750
2,5	22 700	22 700	22 300	22 830
3,0	23 000	23 500	22800	22 910
3,5	23 400	23000	23 000	23 000
4,0	22 000	22 500	22 500	22 890
4,5	21 800	21 000	21 800	21 850
Контрольный образец	21 000			

Значения полученных показателей стойкости к истиранию образцов текстильных материалов зависят от вида и состава применяемых текстильных волокон, их строения, истираемой поверхности и режимов модифицирования потоком "холодной" плазмы пониженного давления. Увеличение стойкости к истиранию образцов после плазменного модифицирования происходит за счет конформационных изменений макромолекул целлюлозы, вследствие чего происходит усиление межмолекулярных водородных связей между гидроксильными группами, что приводит к уплотнению надмолекулярной структуры хлопковых волокон.

## ВЫВОДЫ

Таким образом, используемые материалы для изготовления специальной одежды на основе применения метода модифицирования потоком "холодной" плазмы пониженного давления способны повысить их качество и безопасность труда работников строительных специальностей за счет улучшения комплекса механических характеристик, влияющих на эксплуатационные свойства готовых изделий.

При этом ткани "Премьер Комфорт 250" увеличили стойкость к истиранию на 50,0%, "Премьер FR-350" – на 28,5%, "Парусина полульняная" – на 66,6%, а в ткани "Премьер Cotton 300" – в 1,2 раза, а также увеличили прочностные свойства от 12 до 25% в зависимости от параметров моди-

фицирования в потоке "холодной" плазмы пониженного давления: рабочем давлении в вакуумной камере  $P_k=20...24$  Па и времени воздействия  $\tau=2$ м/мин,  $P_k=20...22$  Па, мощности разряда  $W_p = 3,5...4,0$  кВт, расходом плазмообразующего газа  $G_{Ar} = 0,04$  г/с.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Рынок химических волокон и нитей в России. Текущая ситуация и прогноз 2020-2024 гг. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://alto-group.ru/>
2. Ткань арселон. [Электронный ресурс]. Режим доступа : <https://tkanchik.ru/tkani/tkan-arselon/>. 2020г.
3. Жердев В.П., Пророкова Н.П., Вавилова С.Ю., Кузьмин С.М. Оценка эффективности способов физико-химической модификации поверхности синтетического волокна по электрооптическим эффектам в мезофазе // Изв. вузов: Химия и химическая технология. – 2007. Т. 50. Вып. 3. С.113...117.
4. Голубчиков О.А., Горнухина О.В., Агеева Т.А. и др. Влияние плазмоактивации на поверхностную структуру и прочностные характеристики полипропиленовой пленки //Пластические массы. – 2006, № 12. С. 7...9.
5. Петров С.В. Плазма продуктов сгорания в инженерии поверхности. – Киев, 2000.
6. Гильман А.Б., Пискарев М.С., Стариченко О.В., Шмакова Н.А., Яблоков М.Ю., Кузнецов А.А. Модификация пленок промышленного полипропилена в разряде постоянного тока // Сб. тр. – Иваново: Ивановский гос. хим-технол. ун-т, 2008. Т.2. С. 372...375.
7. Гильман А.Б., Пискарев М.С., Стариченко О.В., Шмакова Н.А., Яблоков М.Ю., Кузнецов А.А. Модификация пленок полипропилена в разряде постоянного тока // Химия высоких энергий. – 2008. Т.42. С. 368...371.

8. Акишев Ю.С., Грушин М.Е., Дятко Н.А., Каральник В.Б., Кочетов И.В., Напартович А.П., Петряков А.В., Трушкин Н.И. Экспериментальные и теоретические исследования воздействия неравновесной низкотемпературной плазмы атмосферного давления на поверхность полимерных пленок // Сб. тр. – Иваново: Ивановский гос. хим-технол. ун-т, 2008. Т.2. С.372...375.

9. Шикова, Т.Г., Рыбкин В.В., Титов В.А., Чой Х.С. Взаимодействие активных частиц плазмы кислорода с полиэтиленом // Химия высоких энергий. – 2006. Т.40. №5. С. 396...400.

10. Гайнутдинов Р.Ф., Хамматова Э.А., Матвеев Ю.Н. Разработка технологий производства модифицированных композиционных волокнистых материалов, применяемых в нефтехимическом и нефтеперерабатывающем комплексах. – Казань: Изд-во КНИТУ, 2016.

11. Райзер Ю.П., Шнейдер М.Н., Яценко Н.А. Высокочастотный емкостной разряд. – М.: Наука. Физматлит, 1995. С.7...10.

#### REFERENCES

1. Rynok khimicheskikh volokon i nitey v Ros-sii. Tekushchaya situatsiya i prognoz 2020-2024 gg. [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <https://altogroup.ru/>

2. Tkan' arselon. [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa : <https://tkanchik.ru/tkani/tkan-arselon/>. 2020g.

3. Zherdev V.P., Prorokova N.P., Vavilova S.Yu., Kuz'min S.M. Otsenka effektivnosti sposobov fiziko-khimicheskoy modifikatsii poverkhnosti sinteticheskogo volokna po elektroopticheskim efektam v mezofaze // Izv. vuzov: Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya. – 2007. Т. 50. Вып. 3. S.113...117.

4. Golubchikov O.A., Gornukhina O.V., Ageeva T.A. i dr. Vliyanie plazmoaktivatsii na poverkhnostnyuyu

strukturu i prochnostnye kharakteristiki polipropileno-voy plenki //Plasticheskie massy. – 2006, № 12. S. 7...9.

5. Petrov S.V. Plazma produktov sgoraniya v inzhenerii poverkhnosti. – Kiev, 2000.

6. Gil'man A.B., Piskarev M.S., Starichenko O.V., Shmakova N.A., Yablokov M.Yu., Kuznetsov A.A. Modifikatsiya plenok promyshlennogo polipropilena v razryade postoyannogo toka // Sb. tr. – Ivanovo: Ivanovskiy gos. khim-tekhnol. un-t, 2008. Т.2. S.372...375.

7. Gil'man A.B., Piskarev M.S., Starichenko O.V., Shmakova N.A., Yablokov M.Yu., Kuznetsov A.A. Modifikatsiya plenok polipropilena v razryade postoyannogo toka // Khimiya vysokikh energiy. – 2008. Т.42. S. 368...371.

8. Akishev Yu.S., Grushin M.E., Dyatko N.A., Karal'nik V.B., Kochetov I.V., Napartovich A.P., Petryakov A.V., Trushkin N.I. Eksperimental'nye i teoreticheskie issledovaniya vozdeystviya neravnovesnoy nizkotemperaturnoy plazmy atmosfernogo davleniya na poverkhnost' polimernykh plenok // Sb. tr. – Ivanovo: Ivanovskiy gos. khim-tekhnol. un-t, 2008. Т.2. S.372...375.

9. Shikova, T.G., Rybkin V.V., Titov V.A., Choy Kh.S. Vzaimodeystvie aktivnykh chastits plazmy kisloroda s polietilenom // Khimiya vysokikh energiy. – 2006. Т.40. №5. S. 396...400.

10. Gaynutdinov R.F., Khammatova E.A., Matveev Yu.N. Razrabotka tekhnologiy proizvodstva modifitsirovannykh kompozitsionnykh voloknistykh materialov, primenyaemykh v neftekhimicheskom i neftepererabatyvayushchem kompleksakh. – Kazan': Izd-vo KNIU, 2016.

11. Rayzer Yu.P., Shneyder M.N., Yatsenko N.A. Vysokochastotnyy emkostnoy razryad. – М.: Наука. Физматлит, 1995. S.7...10.

Рекомендована кафедрой дизайна. Поступила 30.10.20.