

УДК 677.017

DOI 10.47367/0021-3497\_2022\_5\_71

**НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЕ ПОЛУЛЬНЯНОЙ ПАРУСИНОВОЙ ТКАНИ  
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА СПЕЦОДЕЖДЫ \***

**NANOSTRUCTURING OF SEMI-LINEN CANVAS FABRIC  
TO IMPROVE THE QUALITY OF WORKWEAR**

*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

*Представлены результаты научного исследования, ориентированного на решение проблем повышения качества полульняной парусиновой ткани для специальной одежды. Цель работы заключалась в разработке способов получения наноструктурированной полульняной парусины для специальной одежды, которые позволяют повысить прочность, относительное разрывное удлинение и стойкость к истиранию опытных образцов. Объектами исследования выбраны ткани для спецодежды из льняных и хлопковых волокон. Для экспериментальных исследований контрольных и наноструктурированных образцов использовали разрывную машину МТ110-5, а также при-*

---

\* Исследование проведено с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Наноматериалы и нанотехнологии» Казанского национального исследовательского технологического университета при финансовой поддержке проекта Минобрнауки России в рамках гранта № 075-15-2021-699.

бор марки МТ191. Наноструктурирование тканей для спецодежды проводили электрофизическим методом модификации с применением потока неравновесной низкотемпературной плазмы пониженного давления с использованием уникальной полупромышленной плазменной установки периодического действия "WATT 4000 ПТ ПЛАЗМА 3" на базе Центра коллективного пользования "Наноматериалы и нанотехнологии" КНИТУ. Полученные наноструктурированные полульняные парусиновые текстильные материалы для специальной одежды повысили разрывную нагрузку и относительное разрывное удлинение как по основе, так и по утку; при этом стойкость к истиранию увеличилась в 3,7 и 4,2 раза относительно контрольных образцов. При этом полульняные парусиновые ткани достигают максимальных механических показателей при следующих параметрах воздействия потока ННТП пониженного давления: рабочем давлении в вакуумной камере  $P_k=20-21$  Па, времени воздействия  $\tau=1$ м/мин, мощности разряда  $W_p = 3,5$  кВт и расходе плазмообразующего газа  $G_{взод} = 0,04$  г/с.

*The results of a scientific study focused on solving the problems of improving the quality of semi-linen canvas fabric for special clothing are presented. The aim of the work was to develop methods for obtaining nanostructured semi-linen canvas for special clothing, which can increase the strength, relative tensile elongation and abrasion resistance of prototypes. Fabrics for workwear made of linen and cotton were selected as the objects of the study. For experimental studies of control and nanostructured samples, the MT110-5 bursting machine and the MT191 device were used. Nanostructuring of fabrics for workwear was carried out by an electrophysiological modification method using a flow of nonequilibrium low-temperature plasma of reduced pressure using a unique semi-industrial plasma unit of periodic action "WATT 4000 PT PLASMA 3" on the basis of the Center for Collective Use "Nanomaterials and Nanotechnology" of KNIU. The resulting nano-structured semi-linen canvas textile materials for special clothing increased the breaking load and the relative breaking elongation, both on the warp and on the weft; at the same time, the abrasion resistance increased by 3.7 and 4.2 times relative to the control samples. In this case, semi-linen canvas fabrics maximize mechanical performance at the following parameters of the impact of the low-pressure flow of NNTP: operating pressure in the vacuum chamber  $P_k = 20-21$  Pa, exposure time  $\tau = 1$  m/min, discharge power  $W_p = 3.5$  kW and plasma gas flow rate  $G_w = 0.04$  g/s.*

**Ключевые слова:** полульняная, парусина, неравновесная низкотемпературная плазма, механические свойства, разрывная нагрузка, наноструктурирование, материал, специальная одежда, водонепроницаемая, огнестойкая, пропитки.

**Keywords:** semi-linen, canvas, non-equilibrium low-temperature plasma, mechanical properties, breaking load, nanostructuring, material, special clothing, waterproof, fire-resistant, impregnations.

Проблема повышения качества полульняной парусиновой ткани носит сложный комплексный характер и включает в себя множество различных аспектов, из которых прежде всего выделяют технологический и экономический. Практически нет ни одной

отрасли тяжелой промышленности, где в том или ином виде не использовались бы полульняные парусиновые материалы для спецодежды. Причем качество текстильных материалов во многом определяет срок эксплуатации спецодежды [1].

Для спецодежды особо выделяют группу показателей надежности. Эта группа объединяет физико-механические свойства (разрывную нагрузку, относительное разрывное удлинение, стойкость к истиранию и т.д.). Все они определяют эффективность деятельности человека при взаимодействии с изделиями и характеризуются, например, прочностью и формоустойчивостью спецодежды [2].

Повышение качества полульняных парусиновых материалов для спецодежды является нелегкой задачей, реализация которой основывается на применении нанотехнологий, которые связаны с воздействием потока неравновесной низкотемпературной плазмы (ННТП) пониженного давления для улучшения их механических свойств [3].

Поскольку плотная и жесткая парусиновая ткань используется для пошива костюмов для сварщиков, сталеваров, металлургов, специалистов химической промышленности, которые подвергаются в процессе их эксплуатации воздействию высокой температуры; капли раскаленного металла, различные агрессивные среды. Поэтому качественная специальная одежда из парусины должна полностью выдерживать механические нагрузки и деформации, материал должен отлично выдерживать резкие скачки температуры и другие негативные воздействия погодных условий; обладать повышенной износостойкостью; отличаться высоким уровнем гигроскопичности и огнестойкости [4].

На основе анализа литературы выявлено, что техническая ткань наделана еще и высокой воздухопроницаемостью, которая позволяет создать оптимальный климат, ведь часто именно этот параметр важен при изготовлении изделий из брезента. Парусина характеризуется низкой гигроскопичностью, благодаря ей влага не попадает на

тело через спецодежду. Брезент имеет широкую цветовую гамму, но основной его цвет – хаки. Для производства брезентового материала используются смеси хлопчатобумажной и льняной пряжи. Это ткань, которая производится способом полотняного переплетения из плотных скрученных волокон. Обычно в качестве сырья применяют хлопок, лен или джут. Для того чтобы материал приобрел определенные качества, его пропитывают специальным синтетическим составом, который также защищает полотно от гниения [5], [6].

С целью улучшения светопроочной комбинированной пропитки повышенной водоупорности для защиты текстильных материалов спецодежды от гниения используются различные физико-химические методы модификации [7].

Одним из основных направлений улучшения качества текстильных материалов для спецодежды является повышение ее водоупорности, прочности, относительного разрывного удлинения и износостойкости, так как механические свойства увеличивают срок службы специальной одежды. В связи с изложенным повышение механических свойств полульняных тканей для спецодежды, является актуальным и представляет научный и практический интерес.

В данной работе приведены результаты исследования влияния потока ННТП пониженного давления на механические свойства текстильных материалов для специальной одежды, которые изготавливались из контрольных и наноструктурированных образцов с содержанием льняных и хлопковых волокон.

В качестве объектов исследования выбран ассортимент полульняной парусины различной плотности, применяемый при изготовлении спецодежды, характеристики которых представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

№ образца	Наименование тканей	Артикул	Состав волокон, %		Вес, г/м <sup>2</sup>	Переплетение	Пропитка
			лен	хлопок			
1	Полульняная парусина (образец 1)	11292	50	50	550	полотняное	светопроочная комбинированная пропитка
2	Полульняная парусина (образец 2)	11293	59	41	450	полотняное	повышенной водоупорности, огнестойкая

Модификация опытных образцов полульняной парусины осуществлялась на уникальной полупромышленной плазменной установке периодического действия "ВАТТ 4000 ПТ ПЛАЗМА 3", где проводилось наноструктурирование материалов с использованием вакуумной камеры и двух ВЧ электродов. В камере создавалось пониженное давление и происходила модификация в потоке ННТП, не превышающая температуру 80 градусов в сети переменного тока напряжением 380/220 В ± 5%, частотой 50 Гц. В качестве плазмообразующего газа использовали воздух [8].

Варьирование входных параметров плазменной установки, к которым относятся: мощность разряда ( $W_p$ ) осуществлялось в диапазоне от 1,0 до 4,5 кВт, расход плазмообразующего газа ( $G$ ) от 0 до 0,06 г/с, давление в вакуумной камере ( $P_k$ ) от 13 до 53 Па и время обработки ( $\tau$ ) от 1 до 3 м/минут, мощность потребляемая установкой ( $P_{потр.}$ ) от 1,0 до 5,0 кВт.

Наноструктурирование опытных образцов текстильного материала "Парусина полульняная суровая" проводилось на образцах с содержанием 50% льна и 50% хлопка, артикул 11292 (образец 1) и 59% льна и 41% хлопка, артикул 11293 (образец 2).

После плазменного наноструктурирования суровой полульняной парусины для спецодежды проводились последующие отделочные операции технологического процесса, в том числе крашение, светопрочная комбинированная пропитка для придания тканям повышенной водоупорности и огнестойкости (табл. 1). Для этого образцы текстильного материала пропитывали различным химическим составом, в зависимости от их функционального назначения. Поскольку полученные опытные образцы текстильных материалов для спецодежды, прежде всего, должны соответствовать требованиям безопасности труда ГОСТ Р EN 340-210 (EN 340:2003) [8].

Для обеспечения комфортной работы и защиты от опасных факторов на металлургических и химических производствах спецодежда должна обладать не только водоупорностью и огнестойкостью, но и необходимыми механическими свойствами.

При этом полульняная парусина для спецодежды не должна разрушаться. Сведения о безопасности опытных образцов спецодежды из разрабатываемых материалов подлежали проверке. Для этого осуществлялась оценка их качественных характеристик после наноструктурирования в потоке ННТП пониженного давления, в процессе которой определялся уровень сохранения механических свойств опытных образцов спецодежды из разрабатываемых материалов.

Одним из основных показателей, определяющих механические свойства наноструктурированных полульняных парусиновых тканей для специальной одежды с содержанием хлопковых и льняных волокон являлись разрывная нагрузка, относительное разрывное удлинение и стойкость к истиранию. Определение разрывной нагрузки и относительного разрывного удлинения в контрольных и наноструктурированных опытных образцах полульняной парусины проводилось при одноосном растяжении материалов, согласно ГОСТ 3813–72 [9].

Проведено исследование разрывной нагрузки и относительного разрывного удлинения наноструктурированных опытных образцов полульняной парусины для спецодежды после воздействия потока ННТП пониженного давления.

Максимальную нагрузку при растяжении опытных контрольных и наноструктурированных образцов полульняной парусины для спецодежды определяли на разрывной машине МТ110-5. Испытания проводили до разрушения на 5 опытных образцах, затем определяли среднее значение полученных результатов.

На рис. 1 и 2 представлены диаграммы изменения разрывной нагрузки (по основе 1 и утку 2) изготовленных контрольных и наноструктурированных образцов полульняной парусины для спецодежды из разрабатываемых материалов. Параметры наноструктурирования: давление в вакуумной камере ( $P_k$ ) = 20-21 Па; мощность разряда ( $W_p$ ) = 3,5-4,0 кВт; время воздействия плазмой ( $\tau$ )=1м/мин; расход плазмообразующего газа ( $G_{возд}$ )=0,04 г/с.

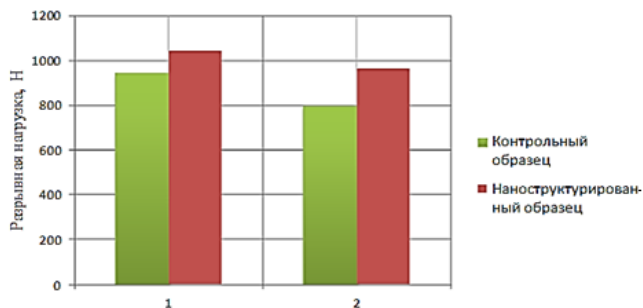


Рис. 1

Как видно из рис. 1, в опытных образцах полульняной парусины для спецодежды из наноструктурированных материалов с содержанием 50% льна и 50% хлопка, артикул 11292 (образец 1), разрывная нагрузка по основе увеличилась на 14,58%, а по утку повысилась на 22,5% относительно контрольных образцов.

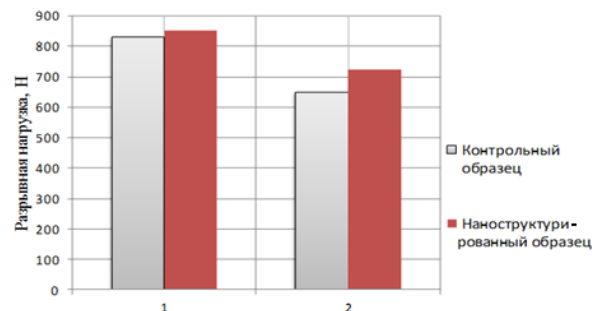
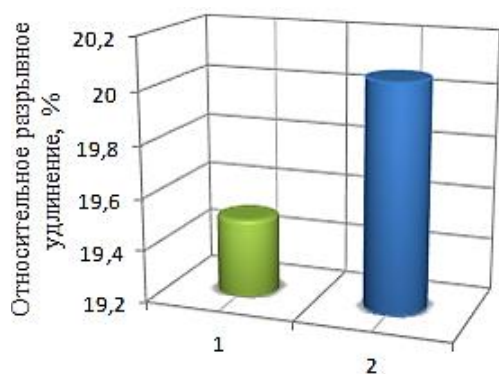
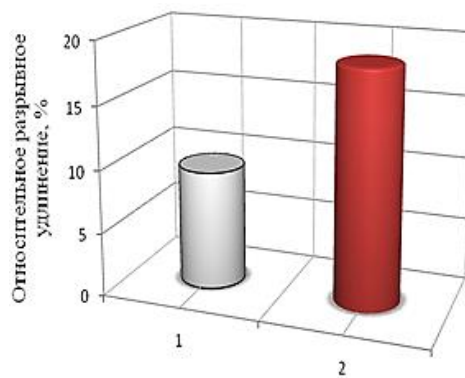


Рис. 2

Исследования текстильных материалов для спецодежды из полульняной парусины с огнестойкой и водоупорной пропиткой (образец 2) показали, что разрывная нагрузка наноструктурированных образцов увеличилась соответственно на 4,0 % и на 9,23% относительно контрольных образцов (рис. 2).



а)



б)

Рис. 3

Если проанализируем результаты исследований образцов полульняной парусины для спецодежды по относительному разрывному удлинению образцов 1 (рис. 3-а) и 2 (рис. 3-б), в результате этого получим их увеличение по основе и утку в наноструктурированных образцах 1 соответственно на 19,4% и 20,1%, а в наноструктурированных образцах 2 по основе на 8,0% и утку на 17% относительно контрольных образцов без плазменной обработки.

Чтобы полностью оценить надежность материалов при эксплуатации спецодежды были проведены исследования стойкости к истиранию. Величина стойкости к истира-

нию на изгибах и поверхности полульняной парусины для спецодежды измерялась с помощью прибора типа МТ191 на контрольном образце и образце, наноструктурированном в потоке ННТП пониженного давления [10].

На основе проведенных исследований установлено, что после наноструктурирования ННТП стойкость к истиранию опытных образцов 1 и 2 увеличивается. Результаты исследований образцов полульняной парусины для спецодежды от параметров наноструктурирования ННТП соответственно представлены в табл. 2 и 3.

Таблица 2

Мощность разряда $W_p$ , кВт	Стойкость к истиранию, циклы при давлении в вакуумной камере $P_k$ , Па			
	$P_k = 18$	$P_k = 20$	$P_k = 21$	$P_k = 22$
2,0	2420	2550	2570	2350
2,5	2560	2630	2640	2470
3,0	2690	2750	2760	2520
3,5	2700	<b>2800</b>	<b>2800</b>	2650
4,0	2650	2730	2740	2520
4,5	2600	2680	2600	2450
Контрольный образец	750			

Таблица 3

Мощность разряда $W_p$ , кВт	Стойкость к истиранию, циклы при давлении в вакуумной камере $P_k$ , Па			
	$P_k = 18$	$P_k = 20$	$P_k = 21$	$P_k = 22$
2,0	2320	2450	2470	2250
2,5	2460	2530	2540	2370
3,0	2590	2650	2660	2420
3,5	2600	<b>3000</b>	<b>3000</b>	2550
4,0	2550	2630	2640	2420
4,5	2500	2580	2500	2350
Контрольный образец	700			

На основе полученных результатов исследований опытных образцов и анализа табл. 2 и 3 установлено, что стойкость к истиранию текстильного материала "Парусина полульняная суровая" с водоупорной и огнезащитной отделкой максимально увеличивается в определенном режиме наноструктурирования ткани:  $P_k=20...21$  Па;  $W_p=3,5$  кВт;  $\tau=1$  м/мин;  $G_{возд}=0,04$  г/с. Стойкость к истиранию опытных образцов тканей с содержанием 50% льна и 50% хлопка, артикул 11292 (образец 1) составляет 2800 циклов, а в контрольных образцах 750 циклов. При этом в образце 2 с содержанием 59% льна и 41% хлопка, артикул 11293 соответственно 3000 циклов и 700 циклов, что превышает требования ГОСТ не менее 600 циклов. Стойкость к истиранию после воздействия потока ННТП пониженного давления увеличивается в ткани "Парусина полульняная суровая" (образец 1) в 3,7 раз, а в образце 2 в 4,28 раза относительно контрольных образцов.

Таким образом, в образцах полульняной парусины для спецодежды, артикул 11292 и 11293 механические свойства в наноструктурированных опытных образцах увеличиваются 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, полученные опытные образцы текстильного материала для спецодежды "Парусина полульняная суровая" прежде всего соответствуют требованиям безопасности средств индивидуальной защиты, обладают повышенной износостойкостью и защищают от различных загрязнений, брызг и искр от расплавленного металла, особенно это касается рабочих металлургических и сталеплавильных предприятий, нефтяников и тех, кто работает на взрыво- и пожароопасном производстве. Полученная полульняная парусина для спецодежды на основе применения метода наноструктурирования потоком ННТП пониженного давления способна повышать разрывную нагрузку от 4,0 до 14,58% (по основе) и от 9,23 до 22,5% (по утку); относительное разрывное удлинение от 8,0 до 19,4% (по основе) и от 17,0 до 20,1% (по утку); при этом стойкость к истиранию уве-

личивается в 3,7 и 4,2 раза относительно контрольных образцов.

При этом материал "Парусина полульняная суровая" достигает максимальных механических показателей при следующих параметрах воздействия потока ННТП пониженного давления: рабочем давлении в вакуумной камере  $P_k=20...21$  Па, времени воздействия  $\tau=1$ м/мин, мощности разряда  $W_p = 3,5$  кВт и расходе плазмообразующего газа  $G_{\text{возд.}} = 0,04$  г/с.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Додонкин Ю.В., Кирюхин С.М. Ассортимент, свойства и оценка качества тканей. – М.: Легкая индустрия, 1973.

2. Хамматова В.В., Гайнутдинов Р.Ф., Хамматова Э.А. Анализ влияния физико-механических факторов модифицированных текстильных материалов на формы проектируемых моделей одежды // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 6. С. 93...97.

3. Хамматова В.В., Гайнутдинов Р.Ф. Влияние потока плазмы на повышение физико-механических свойств технических материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2020, № 6. С.56...62.

4. Парусина [Электронный ресурс] URL: <https://armma.ru/brezent/?ysclid=l71tou91w1428906684> (дата обращения: 01.06.22)

5. Бузов Б.А., Модестова Т.А., Алыменкова Н.Д. Материаловедение швейного производства. – М.: Изд. центр "Академия", 2013.

6. Живетин В.В., Гинзбург Л.Н., Ольшанская О.М. Лен и его комплексное использование. – М.: Информ-знание, 2002.

7. Хамматова В.В., Разумеев К.Э. Разработка промышленной технологии наноструктурирования текстильных материалов для производства многофункциональной одежды специального назначения. – Казань: Изд-во КНИТУ, 2016.

8. Спиридонова В.Г., Циркина О.Г. Анализ методов оценки огнезащитных свойств текстильных материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2021, № 4. С.75...81.

9. ГОСТ 3813-72 (ИСО 5081-77, ИСО 5082-82) Материалы текстильные. Ткани и штучные изделия. Методы определения разрывных характеристик при растяжении (с Изменениями № 1, 2, 3). – Введено 01.01.1973, переутв. 01.01.1982, 01.09.1990, 01.06.1992. (ИУС 4-82, 12-90, 9-92). – М.: Изд-во стандартов, 1973.

10. ГОСТ 9913-90 (СТ СЭВ 5784-86) "Материалы текстильные. Методы определения стойкости к истиранию". – М.: Изд-во стандартов, 1990.

#### REFERENCES

1. Dodonkin Yu.V., Kiryukhin S.M. Assortment, properties and evaluation of the quality of fabrics. – М.: Light industry, 1973.

2. Khammatova V.V., Gainutdinov R.F., Khammatova E.A. Analysis of the influence of physico-mechanical factors of modified textile materials on the forms of designer clothing models // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2017, № 6. P. 93...97.

3. Khammatova V.V., Gainutdinov R.F. Effect of plasma flow on improving the physical and mechanical properties of technical materials // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2020, №6. P. 56 ... 62.

3. Spiridonova V.G., Tsirkina O.G. Evaluating method analysis of fire-resistant properties of textile materials // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2021, №4. P.75...81.

4. Canvas [Electronic resource] URL: <https://armma.ru/brezent/?ysclid=l71tou91w1428906684> (date of reference: 01.06.22)

5. Buzov B.A., Modestova T.A., Alymenkova N.D. Materials science of sewing production. – М.: Publishing center "Academy", 2013.

6. Zhivetin V.V., Ginzburg L.N., Olshanskaya O.M. Flax and its complex use // Moscow: Inform-znanie, 2002.

7. Khammatova V.V., Razumeev K.E. Development of industrial technology of nanostructuring of textile materials for the production of multi-functional clothing for special purposes. – Kazan: Publishing House of KNIU, 2016.

8. Spiridonova V.G., Tsirkina O.G. Analysis of methods for assessing the flame-retardant properties of textiles materials// Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2021, № 4. P. 75...81.

9. GOST 3813-72 (ISO 5081-77, ISO 5082-82) Textile materials. Fabrics and piece goods. Methods for determination of tensile breaking characteristics (with amendments № 1, 2, 3). – Entered on 01.01.1973, reapproved 01.01.1982, 01.09.1990, 01.06.1992 (IUS 4-82, 12-90, 9-92). –М.: Publishing house of standards. – 1973.

10. GOST 9913-90 (ST SEV 5784-86) "Textile materials. Methods for determining abrasion resistance". – М.: Publishing House of Standards, 1990.

Рекомендована кафедрой дизайна. Поступила 05.10.22.