

Научная статья

УДК 677.13

doi 10.34216/2587-6147-2021-2-52-38-42

Марина Владимировна Антонова¹

Александр Сергеевич Парсанов²

^{1,2}Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань, Россия

¹marisha.10@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7313-7804>

²parsanov1982@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9573-1521>

О ВЛИЯНИИ ГАЗОВОГО РАЗРЯДА НА СВОЙСТВА ДЖУТА

Аннотация. В статье рассмотрено влияние высокочастотного емкостного разряда на механические свойства джутовых волокон и джутовых тканей. Изучены поверхностные изменения джутовых волокон методом сканирующей электронной атомно-силовой микроскопии. Авторами отмечено, что после воздействия газовым разрядом на волокнах наблюдается сглаживание границ рельефа, а также видны продукты травления поверхности волокон; при травлении в среде воздуха появляются разрушенные участки, поверхность повреждается и становится неоднородной. Выявлено повышение прочности волокон джута при модификации в реакционноспособных и инертных газах. В ходе экспериментов установлено, что прочность образцов джутовых волокон, обработанных в ВЧЕ-разряде в среде аргона и азота, выше исходных образцов волокон в среднем на 23 %. По экспериментальным данным выявлено увеличение разрывной нагрузки джутовых тканей в среднем до 20 %.

Ключевые слова: джутовое волокно, джутовая ткань, высокочастотный емкостной разряд, разрывная нагрузка, микроскопия, прочность, плазменное травление

Для цитирования: Антонова М. В., Парсанов А. С. О влиянии газового разряда на свойства джута // Технологии и качество. 2021. № 2(52). С. 38–42. <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2021-2-52-38-42>.

Original article

Marina V. Antonova¹, Aleksandr S. Parsanov²

^{1,2}Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

ON THE EFFECT OF A GAS DISCHARGE ON THE PROPERTIES OF JUTE

Abstract. The article considers the influence of high-frequency capacitive discharge on the mechanical properties of jute fibres and jute fabrics. The surface changes of jute fibres were studied by scanning electron atomic force microscopy. The authors noted that after exposure to a gas discharge on the fibres, there is a smoothing of the relief boundaries, and the products of etching of the fibre surface are also visible; when etching in the air, destructed areas appear, the surface is damaged and becomes inhomogeneous. An increase in the strength of jute fibres during modification in reactive and inert gases was revealed. During the experiments, it was found that the strength of the samples of jute fibres treated in the high-frequency capacitive discharge in the argon and nitrogen medium is higher than the original fibre samples by an average of 23 %. According to experimental data, an increase in the breaking load of jute fabrics was found to be up to 20% on average. The use of plasma modification at the stage of preparation of jute fibres for carding processes is recommended.

Keywords: jute fibre, jute fabric, high-frequency capacitive discharge, breaking load, microscopy, strength, plasma etching

For citation: Antonova M. V., Parsanov A. S. On the effect of a gas discharge on the properties of jute. *Tekhnologii i kachestvo* = Technologies & Quality. 2021;2(52):38–42. (In Russ.) <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2021-2-52-38-42>.

К числу приоритетных направлений легкой промышленности относится получение экологически чистых материалов и технологий их обработки. Поэтому натуральные текстильные материалы становятся все более востребованными в различных отраслях промышленности. Джутовые волокна применяются для утепления зданий и сооружений, для производства технического

текстиля, композитов, а также декоративных тканей, национальной одежды, обуви, поздравительных открыток, формованных дверных панелей. Поэтому к данным видам волокнистых материалов применяются повышенные эксплуатационные требования, основанные на различных методах модификаций. В связи с тем что джутовые волокна обладают повышенной жесткостью, в России они используются в основном для производства грубых технических материалов.

© Антонова М. В., Парсанов А. С., 2021

Химические методы модификации, направленные на устранение жесткости волокон, неизбежно приводят к потере прочностных характеристик получаемых материалов. Кроме того, при разработке технологического процесса химической модификации джутового волокна необходимо учитывать специфику его структуры, химического состава и поведения основных примесей в щелочных растворах [1].

Среди эффективных электрофизических и электрохимических методов модификации волоконистых материалов необходимо выделить применение плазмы высокочастотного разряда в инертных и реакционноспособных газах. Такая обработка широко применяется для растительных волокон, таких как хлопок и лен. Поверхностная обработка натуральных волокон является одним из важных методов улучшения механических свойств композиционных материалов на их основе. В ряде работ [2–4] установлено, что в результате обработки натуральных текстильных материалов из льняных и хлопковых волокон в потоке плазмы ВЧЕ-разряда (высокочастотного емкостного) улучшаются технологические и механические свойства тканей без изменения их химического состава и нарушения микроструктуры.

Целью данной работы является исследование прочностных свойств джутовых волокон, модифицированных высокочастотным емкостным разрядом в среде различных газов.

В качестве объектов исследования использованы волокна джута и ткань мешочная джутовая обыкновенная [5]. Результаты по повышению прочности джутовых волокон получены на экспериментальной плазменной установке [6, 7]. Испытания проводились на промышленной установке ВЧЕ-разряда. Параметры установки: давление в рабочей камере $P = 24,4 \dots 22,4$ Па; расход газа $G = 1500$ см³/мин; мощность разряда $W = 1200$ Вт, варьируемые параметры – время обработки $t = 5 \dots 15$ мин, вид используемых газов (аргон, азот, воздух).

Прочностные характеристики образцов джутовой ткани находили на электромеханической разрывной машине РЭМ-5 («Метротест», Россия) по стандартным методикам [8]. Прочность волокон джута определяли косвенным методом на устройстве для определения прочности шерстяного волокна [9]. Для достоверности результатов эксперимента для исследования выбиралось 100 волокон для каждого режима обработки в ВЧЕ-разряде. Статистический расчет погрешности измерений проводили с помощью пакета программ Statistica. Поверхность волокон исследовали с помощью микроскопа Olympus

OLS LEXT 4000 (Olympus corporation, Япония) методом атомно-силовой микроскопии [10].

Для определения характера воздействия низкотемпературной плазмы на физико-механические свойства джутовых волокон и тканей использовались как стандартные, так и специальные методы исследований.

В исследованиях [2, 3, 6] выявлено, что плазменная модификация текстильных волокон и высокомолекулярных материалов приводит к изменениям их поверхностной структуры.

Для оценки воздействия низкотемпературной плазмы на структуру джутовых волокон исследовалась их поверхность методом атомно-силовой микроскопии. Для проведения данного эксперимента волокна джута закреплялись на предметном стекле и исследовались под микроскопом. Затем эти волокна обрабатывались в газовом разряде, после чего снова исследовались. Наиболее явные поверхностные изменения наблюдаются при обработке волокон в режимах плазменного травления в среде азота и воздуха. Микрофотографии образцов волокон до и после обработки в среде указанных газов представлены на рис. 1.

Как видно из микрофотографий (см. рис. 1), волокно джута имеет на поверхности систему широких канавок, параллельных оси волокна. До модификации рельеф волокон имеет более выраженный характер, границы канавок видны отчетливо.

После воздействия газовым разрядом на волокнах наблюдается сглаживание границ канавок, а также видны продукты травления поверхности волокон. Кроме того, на волокне при травлении в среде воздуха появляются деструктурированные участки, поверхность повреждается и становится неоднородной. При травлении в среде азота на волокне появляются трещины, поверхность волокна также становится неоднородной.

Изменение поверхностной структуры джутовых волокон может положительно сказываться на проведении жидкостных процессов обработки джута, таких как мягчение, делигнификация (дегуммирование) с использованием различных химических реагентов и крашение. Все указанные процессы проводят с применением агрессивных химических реагентов, воздействие которых приводит к значительной потере прочности волокон джута. Благодаря тому что плазменное травление приводит к образованию микротрещин на поверхности джута, повышаются его сорбционные свойства. Химические реагенты легче проникают вглубь волокна, а следовательно, возможно снижение их концентрации

в процессах обработки джута. Снижение концентрации химических реагентов способствует сохранению прочности волокон.

Одним из важных показателей износостойкости текстильных материалов является прочность составляющих их волокон. Как правило, она зависит от толщины и строения волокон. После микроскопического исследования проводилось измерение прочности джутовых волокон. В данном исследовании прочность волокон характеризуют величиной нагрузки при разрыве. Это связано с тем, что при расчете границы прочности волокна джута очень трудно определить площадь его поперечного сечения. Отклонение измеренной при испытании величины значительно, даже при тщательном подборе волокон. Характерной особенностью элементарного джутового волокна является нерав-

номерность его канала, который местами то расширяется, то сильно сужается до минимума [11]. Поэтому для испытываемой и контрольной проб волокна подбирают без дефектов и не менее 100 однородных по толщине для каждой пробы.

Для проведения эксперимента волокно закрепляли в зажим. К нижнему концу волокна прикреплялся сосуд для жидкости, в который приливалась вода до тех пор, пока не происходил обрыв. Нагрузкой при разрыве принималась масса сосуда с водой.

После статистической обработки данных выявлены средние значения прочности волокон в зависимости от времени обработки и вида используемого газа. Прочность волокон выражена в граммах (масса сосуда с водой, далее груза). Результаты экспериментов приведены на рис. 2.

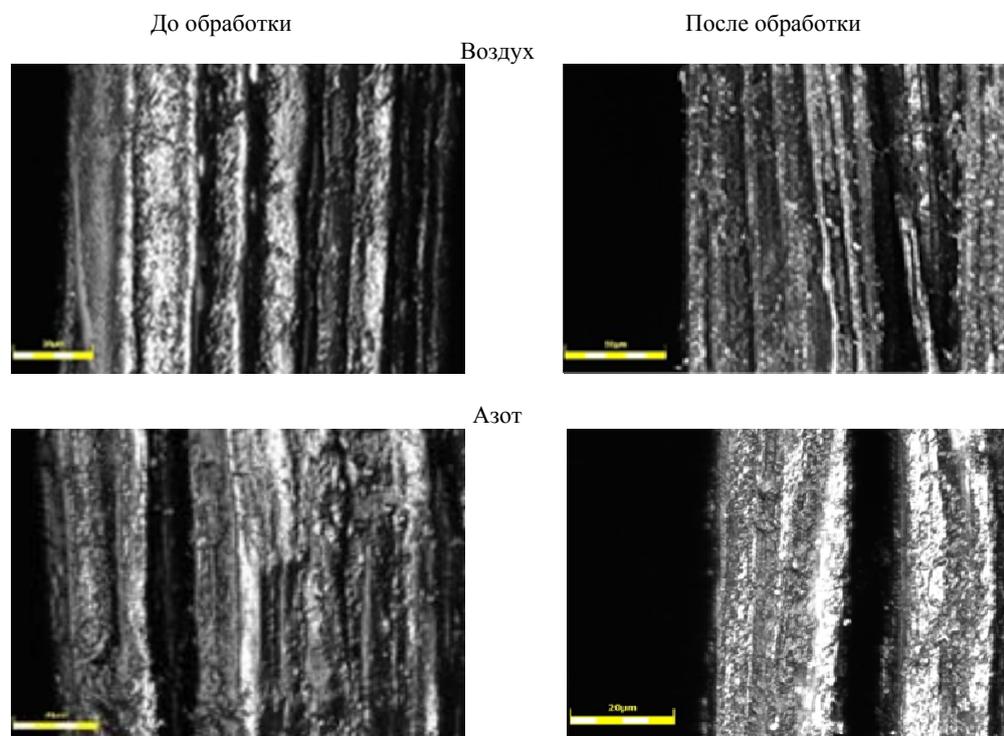


Рис. 1. Микрофотографии образцов джутовых волокон до и после модификации в газовом разряде, $\times 1000$

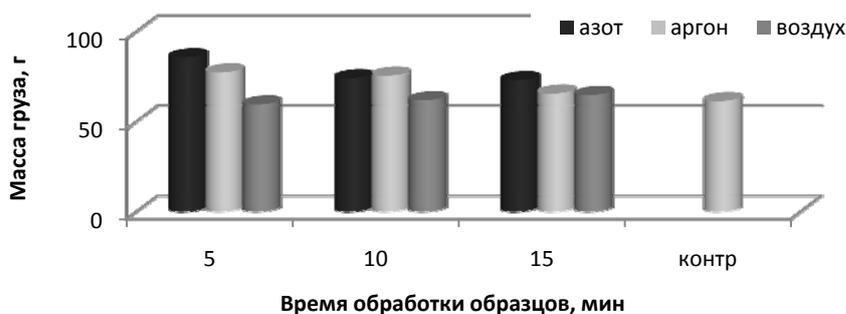


Рис. 2. Изменение массы выдерживаемого джутовым волокном груза от времени обработки в ВЧЕ-разряде и вида используемого газа

В ходе эксперимента выявлено, что прочность образцов джутовых волокон, обработанных в ВЧЕ-разряде в среде аргона и азота (см. рис. 2), выше исходных образцов волокон в среднем на 23 %. При этом обработка волокон джута в среде азота в течение 5 мин дает увеличение прочности до 40 % в сравнении с необработанным. Увеличение продолжительности обработки до 10 и 15 мин приводит к снижению прочности волокон. При травлении поверхности в среде воздуха происходит растрескивание волокна и, вследствие этого, прочность его снижается.

После определения прочности отдельных волокон джута проводилось измерение прочности ткани из джутовой пряжи. Для исследования выбрана ткань джутовая мешочная обыкновенная. Исследования механических характеристик джутовой ткани проводили до и после плазменной обработки согласно ГОСТ 3813–72. Для ткани выбран режим обработки в высокочастотном емкостном разряде при пониженном давлении в плазмообразующей среде инертного газа аргона, время обработки 5 мин.

Сводные данные по экспериментам представлены на рис. 3.

Из результатов экспериментов, представленных на рис. 3, видно, что обработка образцов ткани из джута в низкотемпературной плазме

позволила повысить показатель прочности на разрыв в сравнении с контрольным образцом до 20 % по основе и до 50 % по утку. При этом относительное удлинение модифицированных образцов ткани находится в пределах исходного необработанного образца.

ВЫВОДЫ

В исследовании показано, что обработка джутовых волокон в среде инертных и реакционноспособных газов приводит к повышению их прочности в среднем на 23 %, а также способствует увеличению разрывной нагрузки джутовой ткани до 20 %. Кроме того, выявлено, что обработка джутовых волокон в режиме плазменного травления в среде азота и воздуха приводит к поверхностным изменениям волокон. Структура поверхности становится неоднородной, рыхлой, появляются трещины.

Таким образом, модификация джутовых волокон низкотемпературной плазмой может быть использована на стадии подготовки сырья к процессам чесания, где волокно подвергается интенсивным механическим воздействиям. Кроме того, данная обработка может способствовать лучшему протеканию процессов отбеливания и крашения как джутовой пряжи, так и готовых джутовых изделий.



Рис. 3. Зависимость прочности джутовой ткани от режима обработки

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Коннычева М. В., Стокозенко В. Г., Морыганов А. П. Джутовое волокно: оценка возможности химической модификации // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2008. № 5(311). С. 65–68.
2. Structural and chemical changes of aramid fibers modified by low temperature plasma / A. Ibatullina, I. Krasina, M. Antonova, S. Ilushina et al // Journal of Physics: Conference Series. 2020. July. Vol. 1588. 012020.
3. Modification of semi-finished rabbit pelts by low-temperature plasma / A. R. Garifullina, V. A. Sysoev, G. G. Lutfullina, V. P. Tihonova et al // Journal of Physics: Conference Series. 2020. July. Vol. 1588. 012015.

4. The influence of the capacitive coupled radio-frequency discharge on cotton fiber and technological effects of its application / I. A. Borodaev, A. A. Azanova, V. S. Zheltukhin, L. N. Abutalipova et al // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Oct. Vol. 1328. 012033.
5. ГОСТ 30090–93. Мешки и мешочные ткани. Общие технические условия. Введ. 1995-01-01. М. : Изд-во стандартов, 2001. 34 с.
6. Using of radio-frequency capacitive discharge plasma for modification of jute fabrics / M. V. Antonova, I. V. Krasina, S. V. Ilyushina, R. R. Mingaliev et al // Journal of Physics: Conference Series. 2020. July. Vol. 1588. 012003.
7. Исследование прочности джутовых волокон, модифицированных в ВЧ-разряде / Р. Р. Шаехметов, Т. О. Графская, М. В. Антонова, И. В. Красина // Новые технологии и материалы легкой промышленности : сб. ст. Казань, 2020. С. 258–260.
8. ГОСТ 3813–72. Материалы текстильные. Ткани и штучные изделия. Методы определения разрывных характеристик при растяжении. Введ. 1973-01-01. М. : Изд-во стандартов, 2003. 21 с.
9. Головтеева А. А. Лабораторный практикум по химии и технологии кожи и меха : учеб. пособие для вузов / под ред. И. П. Страхова. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Лег. и пищ. пром-сть, 1982. 310 с.
10. 3D Measuring Laser Microscope LEXT OLS4000. URL: <https://www.olympus-ims.com/en/metrology/ols4000> (дата обращения: 19.04.2021).
11. Техническая энциклопедия. Т. 6. Графические методы – Доменная печь / гл. ред. Мартенс Л. К. М. : Советская энциклопедия, 1929. 925 с.

REFERENCES

1. Konycheva M. V., Stokozenko V. G., Moryganov A. P. Dzhutovoe volokno: ochenka vozmozhnosti himicheskoy modifikatsii // Izvestiya vuzov. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti. 2008. № 5(311). S. 65–68.
2. Structural and chemical changes of aramid fibers modified by low temperature plasma / A. Ibatullina, I. Krasina, M. Antonova, S. Ilushina et al // Journal of Physics: Conference Series. 2020. July. Vol. 1588. 012020.
3. Modification of semi-finished rabbit pelts by low-temperature plasma / A. R. Garifullina, V. A. Sysoev, G. G. Lutfullina, V. P. Tihonova et al // Journal of Physics: Conference Series. 2020. July. Vol. 1588. 012015.
4. The influence of the capacitive coupled radio-frequency discharge on cotton fiber and technological effects of its application / I. A. Borodaev, A. A. Azanova, V. S. Zheltukhin, L. N. Abutalipova et al // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Oct. Vol. 1328. 012033.
5. GOST 30090–93. Meshki i meshochnye tkani. Obshchie tekhnicheskie usloviya. Vved. 1995-01-01. М. : Изд-во стандартов, 2001. 34 с.
6. Using of radio-frequency capacitive discharge plasma for modification of jute fabrics / M. V. Antonova, I. V. Krasina, S. V. Ilyushina, R. R. Mingaliev et al // Journal of Physics: Conference Series. 2020. July. Vol. 1588. 012003.
7. Исследование прочности джутовых волокон, модифицированных в ВЧ-разряде / Р. Р. Шаехметов, Т. О. Графская, М. В. Антонова, И. В. Красина // Новые технологии и материалы легкой промышленности : сб. ст. Казань, 2020. С. 258–260.
8. ГОСТ 3813–72. Материалы текстильные. Ткани и штучные изделия. Методы определения разрывных характеристик при растяжении. Введ. 1973-01-01. М. : Изд-во стандартов, 2003. 21 с.
9. Головтеева А. А. Лабораторный практикум по химии и технологии кожи и меха : учеб. пособие для вузов / под ред. И. П. Страхова. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Лег. и пищ. пром-сть, 1982. 310 с.
10. 3D Measuring Laser Microscope LEXT OLS4000. URL: <https://www.olympus-ims.com/en/metrology/ols4000> (дата обращения: 19.04.2021).
11. Техническая энциклопедия. Т. 6. Графические методы – Доменная печь / гл. ред. Мартенс Л. К. М. : Советская энциклопедия, 1929. 925 с.

Статья поступила в редакцию 30.04.2021
Принята к публикации 27.05.2021