

УДК 677.014

**МОДИФИКАЦИЯ СВОЙСТВ ХЛОПКОВОГО ВОЛОКНА  
С ПОМОЩЬЮ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ\***

**MODIFICATION OF THE PROPERTIES OF COTTON FIBERS  
WITH LOW TEMPERATURE PLASMA**

*А.А. АЗАНОВА, Л.Н. АБУТАЛИПОВА, Г.Н. КУЛЕВЦОВ, Н.В. ТИХОНОВА, Я.В. ИВШИН*  
A.A. AZANOVA, L.N. ABUTALIPOVA, G.N. KULEVTSOV, N.V. TIKHONOVA, YA.V. IVSHIN

(Казанский национальный исследовательский технологический университет)  
(Kazan State Research Technological University)  
E-mail: azanovlar@mail.ru

*В статье описано воздействие низкотемпературной плазмы кислородсодержащего газа на хлопковое волокно, которое заключается в деструкции его кутикулы и наружного слоя первичной стенки.*

*The article describes the influence of low-temperature plasma of oxygen-containing gas to the cotton fiber, which is the destruction of its cuticle and the outer layer of the primary wall.*

**Ключевые слова:** низкотемпературная плазма, кислородсодержащий газ, хлопковое волокно, деструкция кутикулы.

**Keywords:** low-temperature plasma, oxygen-containing gas, cotton fiber, destruction of cuticle.

---

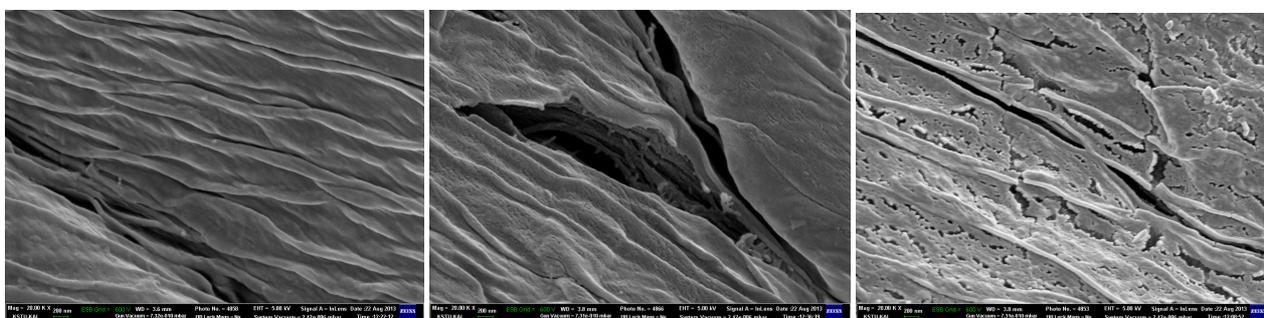
\* Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках Соглашения № 14.577.21.0019 от 05.06.2014.

Поверхность хлопкового волокна, состоящего почти на 95% из целлюлозы, гидрофобна [1]. В связи с этим суровые текстильные материалы плохо смачиваются, и подготовительные операции текстильно-отделочного производства направлены, в первую очередь, на придание полотнам способности равномерно и быстро смачиваться рабочими растворами. Гидрофобность нативного хлопкового волокна обусловлена наличием на его поверхности кутикулы – тонкого (0,0015...0,025 мкм) воскового слоя, а также гидрофобных нецеллюлозных примесей, содержащихся в основном в первичной стенке и наружном слое вторичной стенки.

Одним из методов, позволяющих направленно регулировать гидрофобно-гидрофильные свойства поверхности текстильных материалов различной природы, является обработка низкотемпературной плазмой (НТП). После плазменной обработки в кислородсодержащей среде суровые хлопчатобумажные текстильные материалы приобретают способность быстро и равномерно смачиваться водой [2...4]. Целью работы являлось изучение изменений

свойств поверхности хлопкового волокна, происходящих под воздействием кислородсодержащей НТП.

В качестве объектов исследования использовали хлопчатобумажную пряжу. Плазменную обработку проводили на установке высокочастотного емкостного разряда, варьируя продолжительность экспозиции образца  $\tau$ , с использованием в качестве плазмообразующего газа воздуха [4]. Поверхность волокна исследовали методом сканирующей электронной микроскопии с применением рабочей станции AURIGA Cross Beam в режиме детектирования вторичных электронов. Степень деградации целлюлозы хлопкового волокна оценивали по вязкости медно-аммиачных растворов [5], а также по разрывной нагрузке хлопчатобумажной пряжи [6]. Содержание гидрофобных нецеллюлозных примесей определяли экстрагированием четыреххлористым углеродом. Изменение структуры волокна определяли методом рентгеноструктурного анализа на дифрактометре "Дрон-2.0". Изменение функциональных групп регистрировали методом инфракрасной спектроскопии на ИК-Фурье спектрометре "IRAffinity-1".



а)

б)

в)

Рис. 1

Результаты электронно-микроскопического исследования поверхности хлопковых волокон до и после НТП обработки представлены на рис. 1 (микрофотографии хлопковых волокон (X20000): а) – исходного, б) – после НТП обработки ( $\tau = 420$  с); в) – после НТП обработки ( $\tau = 900$  с)). Поверхность исходного волокна (рис. 1-а) достаточно однородная, имеет развитую складчатую структуру, на которой про-

сматриваются очертания отдельных фибрилл, расположенных спирально. После плазменной обработки поверхность хлопкового волокна становится неоднородной, проявляются "вытравленные" участки межфибрилярного пространства, шириной около 10...20 нм (рис. 1-б), при продолжительном воздействии плазмы ( $\tau = 900$  с) площадь деградированных участков увеличивается до 30...40 нм

(рис. 1-в), появляются многочисленные трещины шириной до 100 нм, фибриллы проявляются четче, при этом ширина их уменьшается, что говорит об уплотнении структуры. Наружный слой первичной стенки волокна теряет целостность, при-

чем не исключено и полное его удаление. При продолжительном плазменном травлении хлопкового волокна деструкция затрагивает не только межфибрилярное пространство, но и фибриллы.

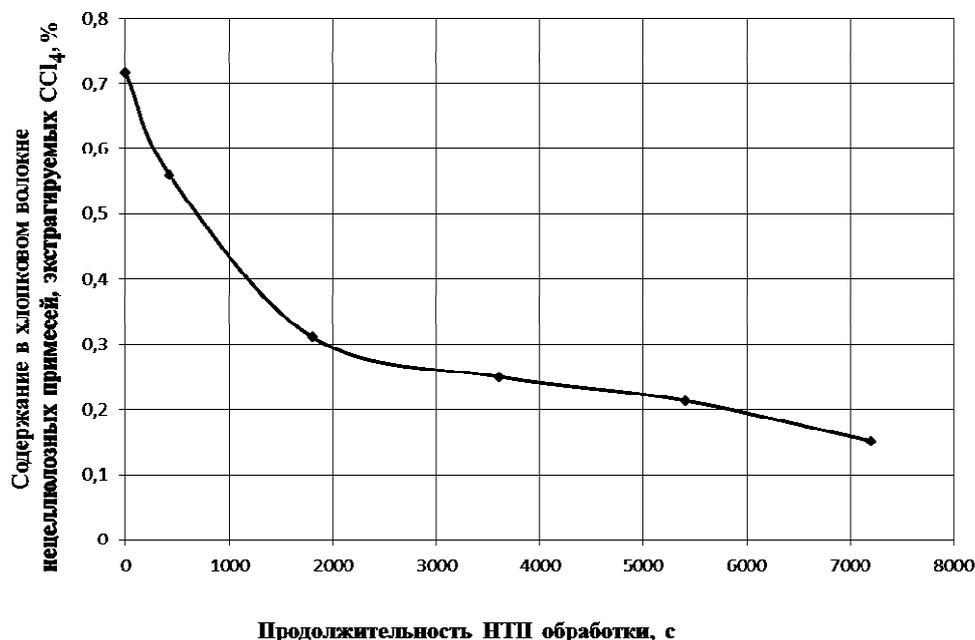


Рис. 2

Протекание процессов травления поверхности хлопкового волокна, связанного с частичным удалением гидрофобных нецеллюлозных примесей, подтверждается результатами их экстрагирования органическим растворителем ( $CCl_4$ ) (рис. 2 – влияние продолжительности НТП обработки на содержание нецеллюлозных примесей хлопкового волокна, экстрагируемых четыреххлористым углеродом). С увеличением времени экспозиции образца в плазме содержание экстрагируемых веществ снижается, однако полного их удаления в приведенных временных режимах не происходит.

О деструкции целлюлозной составляющей волокна можно судить по ее средней степени полимеризации (СП), которая характеризуется удельной вязкостью медно-аммиачного раствора. При НТП обработке происходит незначительное снижение данного показателя, при  $\tau = 420$  с – на 5% и при  $\tau = 900$  с – на 6%. То есть можно говорить о протекании процессов деполиме-

ризации целлюлозы контактирующих с плазмой фибрилл первичной стенки хлопкового волокна.

В случае разрыва глюкопиранозного цикла целлюлозы прогнозируемо образование различных функциональных групп, для регистрации которых применяли ИК-Фурье спектроскопию. ИК-спектры хлопковой целлюлозы до и после НТП обработки в основном идентичны. Вместе с тем, после плазменного воздействия появляются полосы  $1627\text{ см}^{-1}$  и  $1709\text{ см}^{-1}$ , характерные для карбонильной ( $C=O$ ) группы, а также полоса  $1055\text{ см}^{-1}$ , которая может свидетельствовать о появлении карбоксильной группы ( $COOH$ ). В совокупности с происходящим незначительным снижением СП появление данных функциональных групп позволяет предположить, что механизм воздействия кислородсодержащей плазмы на целлюлозу аналогичен механизму радиационного разложения [7]. Однако следует подчеркнуть, что процессы деструкции носят поверхностный ха-

рактар, не затрагивая объемную структуру волокна. Это подтверждается результатами определения механической прочности хлопчатобумажных текстильных материалов. Напротив, благодаря плазменному травлению, вызывающему увеличение микрорельефа, и появлению шероховатости коэффициент трения между волокнами и нитями увеличивается, что в итоге приводит к увеличению разрывной нагрузки пряжи на 10...15%.

Протекание процессов деструкции и удаления, в первую очередь, наружных слоев хлопкового волокна, имеющих по большей части неупорядоченное строение, подтверждают результаты рентгеноструктурного анализа. Рентгенограммы исходного и обработанного НТП образцов в целом идентичны, однако наблюдается незначительное различие в угловом интервале  $13...18^{\circ} 2 \Theta$ , в котором проявляются два рефлекса с межплоскостным расстоянием 5,9 и 5,4 Å. У обработанного плазмой образца они лучше разрешены и несколько выше степень кристалличности (СК). Тенденция к увеличению СК после плазменной обработки объясняется избирательным травлением, в первую очередь, аморфной части поверхности хлопкового волокна, что приводит к увеличению доли упорядоченных участков.

## ВЫВОДЫ

1. НТП обработка в среде кислородсодержащего газа вызывает деструкцию кутикулы и наружного слоя первичной стенки хлопкового волокна.

2. Деструкция носит поверхностный характер, не затрагивая основную объемную структуру волокна.

3. При продолжительном плазменном травлении поверхности хлопкового волокна деструкция затрагивает не только вещества, расположенные в межфибрилярном пространстве, но и фибриллы.

1. *Кричевский Г.Е.* Химическая технология текстильных материалов – М.: Изд-во РосЗИТЛП, 2000.

2. *Александрова Н.В., Горберг Б.Л., Иванов А.А.* Использование низкотемпературной плазмы для обработки трикотажных полотен // *Текстильная промышленность*. – 1990, №4. С. 64...66.

3. *Акулова М.В., Шарнина Л.В.* Применение тлеющего разряда в текстильной и строительной промышленности. – Иваново: ИГХТИ, 2008.

4. *Азанова А.А., Абдуллин И.Ш., Нуруллина Г.Н., Кулецов Г.Н.* Модификация хлопчатобумажных трикотажных полотен низкотемпературной плазмой перед крашением активными красителями // *Вестник Казанского технологического университета*. – 2011. Т.14, №4. С. 69...73.

5. *Никитина Н.Н., Петров А.И., Баранова Н.В.* Получение и анализ нитратов целлюлозы: лабораторный практикум. – Казань: Изд-во КГТУ, 2003.

6. ГОСТ 6611.2–73. Нити текстильные. Методы определения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве.

7. *Ершов Б.Г.* Радиационно-химическая деструкция целлюлозы и других полисахаридов // *Успехи химии*. – 1998. Т 67, №4. С. 353...375.

## REFERENCES

1. Krichevskij G.E. Himicheskaia tehnologija tekstil'nyh materialov – M.: Izd-vo RosZITLP, 2000.

2. Aleksandrova N.V., Gorberg B.L., Ivanov A.A. Ispol'zovanie nizkotemperaturnoj plazmy dlja obrabotki trikotazhnyh poloten // *Tekstil'naja promyshlennost'*. – 1990, №4. S. 64...66.

3. Akulova M.V., Sharnina L.V. Primenenie tleushhego razrjada v tekstil'noj i stroitel'noj promyshlennosti. – Ivanovo: IGHTI, 2008.

4. Azanova A.A., Abdullin I.Sh., Nurullina G.N., Kulecov G.N. Modifikacija hlochatobumazhnyh trikotazhnyh poloten nizkotemperaturnoj plazmoj pered krasheniem aktivnymi krasiteljami // *Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta*. – 2011. T.14, №4. S. 69...73.

5. Nikitina N.N., Petrov A.I., Baranova N.V. Poluchenie i analiz nitratoj cellulozy: laboratornyj praktikum. – Kazan': Izd-vo KGTU, 2003.

6. GOST 6611.2–73. Niti tekstil'nye. Metody opredelenija razryvnoj nagruzki i udlinenija pri razryve.

7. Ershov B.G. Radiacionno-himicheskaia destruktija cellulozy i drugih polisaharidov // *Uspehi himii*. – 1998. T 67, №4. S. 353...375.

Рекомендована кафедрой моды и технологии.  
Поступила 16.06.16.