

применять его для создания функциональных тканей, технического текстиля и упаковочных материалов. В последнее время PLA активно используется в разработке многослойных композитных тканей, где он комбинируется с натуральными или синтетическими волокнами для достижения улучшенных эксплуатационных характеристик.

Несмотря на очевидные преимущества, широкомасштабное внедрение биотехнологических материалов в текстильную промышленность сталкивается с рядом вызовов. Среди них – высокая стоимость производства, необходимость разработки новых технологических решений для масштабирования процессов, а также вопросы сертификации и интеграции в существующие производственные линии. Однако активное развитие биотехнологий и стремление отрасли к экологической трансформации создают предпосылки для широкого распространения подобных инноваций в ближайшем будущем.

Заключение. Использование биотехнологий в текстильной промышленности открывает новые горизонты для создания устойчивых и функциональных материалов. Бактериальная целлюлоза является одним из наиболее перспективных инновационных материалов благодаря своим уникальным свойствам. Несмотря на существующие технологические барьеры, активное развитие биотехнологий способствует интеграции БЦ в текстильное производство, что может существенно изменить рынок текстильных изделий будущего.

Список использованных источников

1. Mahfuzur Rahman, Md Morsaline Billah, Dieu Hack-Polay, Ashuraful Alam. The use of biotechnologies in textile processing and environmental sustainability: An emerging market context// Technological Forecasting and Social Change, Volume 159, October 2020, 120204.
2. Рогова, Е. А., Алашкевич, Ю. Д., Кожухов, В. А. и др. Состояние и перспективы совершенствования способов получения и использования бактериальной целлюлозы // Химия растительного сырья, 2022.
3. Fras-Zemljč L, Kokol V, Čakara D. Antimicrobial and antioxidant properties of chitosan-based viscose fibres enzymatically functionalized with flavonoids. Textile Research Journal. 2011; 81(15):1532-1540. doi:10.1177/0040517511404600.
4. Brown, A. J. "The structure and properties of bacterial cellulose." Journal of Polymer Science, 2018.
5. Грунин, Л. Ю., Никольская, Е. А. "Микроструктура целлюлозы и методы её изучения" // Высокомолекулярные соединения, 2012.
6. Gregory, D. A., Tripathi, L., Fricker, A.T.R. et al. "Bacterial cellulose: A smart biomaterial with diverse applications" // Materials Science and Engineering R, 2021.
7. Zhang, H. "Applications of bacterial cellulose in modern textile industry." Materials Today, 2023.
8. Gatenholm, P., Klemm, D. "Bacterial cellulose as a renewable material for textiles." Cellulose Research, 2020.
9. D. W. Farrington, J. Lunt, S. Davies, R. S. Blackburn. Poly(lactic acid) fibers (PLA), In Woodhead Publishing Series in Textiles, Polyesters and Polyamides, Woodhead Publishing, 2008, Pages 140–170.

УДК 677.016

ФЕРМЕНТАТИВНАЯ ПОЛИРОВКА ВОССТАНОВЛЕННОЙ ВТОРИЧНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Жураева Г. А., докторант, Кадилова Н. Р., PhD, Рафигов А. С., д.х.н., проф.

*Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности,
г. Ташкент, Республика Узбекистан*

Реферат. Осуществлена биополировка ткани из восстановленной вторичной целлюлозы с помощью целлюлазы. После биополировки значительно улучшена текстура материала в результате удаления волоконца, катышек и примесей с поверхности, а также улучшены физико-механические и сорбционные свойства материала.

Ключевые слова: целлюлаза, восстановленная целлюлоза, ферментативная полировка, капиллярность, количество сахаров, морфология, крашение.

Введение. В текстильном производстве для удаления примесей и обеспечения качественной отделки осуществляют различные химические процессы [1]. К сожалению, химическая обработка приводит к образованию огромных отходов в процессах шлихтовки и расшлихтовки тканей, из-за использования отбеливающих химикатов и синтетических красителей, что способствует ухудшению экологической обстановки [2]. Для предотвращения этого в текстильной обработке широко используются ферменты для расшлихтовки, отварки, чистки, отбеливания, заключительной отделки, в том числе биополировки джинсовой ткани [3]. Основная причина их использования связана с их экологически чистым характером, специфичностью субстрата, целенаправленной работой и заменой агрессивных химикатов при обработке текстиля. Способом ферментативного гидролиза можно целенаправленно воздействовать на молекулы целлюлозы, достигнуть эффекта «шлифовки» или «биополировки» поверхности волокон и осуществить их модификацию [4]. Для этих целей используются в основном целлюлазы с микробным происхождением. Главной задачей биополировки является предотвращение появления катышков, так как хлопчатобумажные ткани обычно очень подвержены этому недостатку, и появлению пуха. В свою очередь удаление катышков придает одежде мягкость и гладкость, яркий и равномерный цвет [5]. В этом направлении основное внимание исследователей уделяется проведению биохимической модификации первичных волокон и изделий из них, но не уделяется должное внимание вопросам устранения недостатков вторичной целлюлозы, как сырья для текстильных изделий. Улучшение текстуры и внешнего вида изделий из вторичной целлюлозы, повышение прочностных и колористических свойств полотен относятся к числу актуальных задач. В данной работе возможность решения проблем восстановленной вторичной целлюлозы исследовано методом биополировки с помощью целлюлазы.

Материалы. Ткань, основа которой состоит из 100 % восстановленной хлопковой целлюлозы, уток – из 50 % восстановленной целлюлозы и 50 % восстановленной вискозы. Фермент целлюлаза RMP 1030, 5%-й раствор темного цвета, растворяется в воде. Активный краситель CHEMACTIVE RED GF, порошкообразное вещество темно-красного цвета, растворяется в воде.

Биополировка. Предварительно взвешивали массу образца исходной сырой ткани. Готовили ферментативный раствор, с использованием необходимого количества фермента целлюлазы. В раствор вносили образец исходной ткани при модуле ванны 1:10 и выдерживали в течение 0,5–2 часов при определенной температуре в термостате. После этого образец ткани вынимали из раствора, промывали сначала в проточной воде, затем дистиллированной водой и сушили до постоянной массы. Оставшийся раствор сохранили для определения количества сахаров. Для сравнения отварку другого образца ткани производили традиционным методом в сода-щелочном растворе при температуре 90–95 °С в течение 20–30 минут. Степень ферментативной обработки образца оценивали по капиллярности ткани и количеству редуцированных сахаров в растворе.

Для определения капиллярности ткани образцы шириной 5 см и длиной 30 см опускали вертикально в раствор дихромата калия на глубину 1 см и выдерживали в течение 60 минут. Капиллярность оценивали по средней высоте (мм) поднятия красителя по длине образца ткани. Общее количество редуцированных сахаров в растворе после ферментативной обработки образца ткани определяли по фенол-серному методу Дюбуа [6].

Метод крашения. Процесс крашения осуществлен в лаборатории «КОР-Уз Текстильного Технопарка» при Ташкентском институте текстильной и легкой промышленности. Непрерывное крашение проводилось в два этапа при модуле ванны 1:30. Активный краситель был взят в количестве 2 % от массы ткани. На первом этапе образец обрабатывали в растворе красителя при температуре 45 °С в течение 30 минут с добавлением NaCl в качестве электролита. На втором этапе к раствору добавили Na₂CO₃ и окрашивали в течение 1 часа. После этого образец тщательно промыли, чтобы полностью удалить излишки красителя с волокна. Промывка осуществлялась сначала холодной, затем горячей (80–90 °С) водой в течение 30 минут. После чего обрабатывали раствором ПАВ, при температуре 80–90 °С в течение 30 минут. Последнюю промывку осуществляли в течение 15 минут холодной водой. Этот процесс проводился с каждым образцом.

Свойства. Исследованы морфология и микроструктура, физико-механические, санитарно-гигиенические и структурно-фазовые свойства, колористические свойства модифицированных тканей.

Результаты. Исходные образцы тканей из восстановленной целлюлозы имеют неудовлетворительную текстуру, шероховатую и грубую на ощупь поверхность с большим количеством катушек и отдельных скоплений волокон. Выявлено устранение перечисленных недостатков после ферментативной обработки, текстура стала напоминать текстуру материала из первичных волокон. Исследовано влияние концентрации целлюлазы на капиллярность ткани (рис. 1).

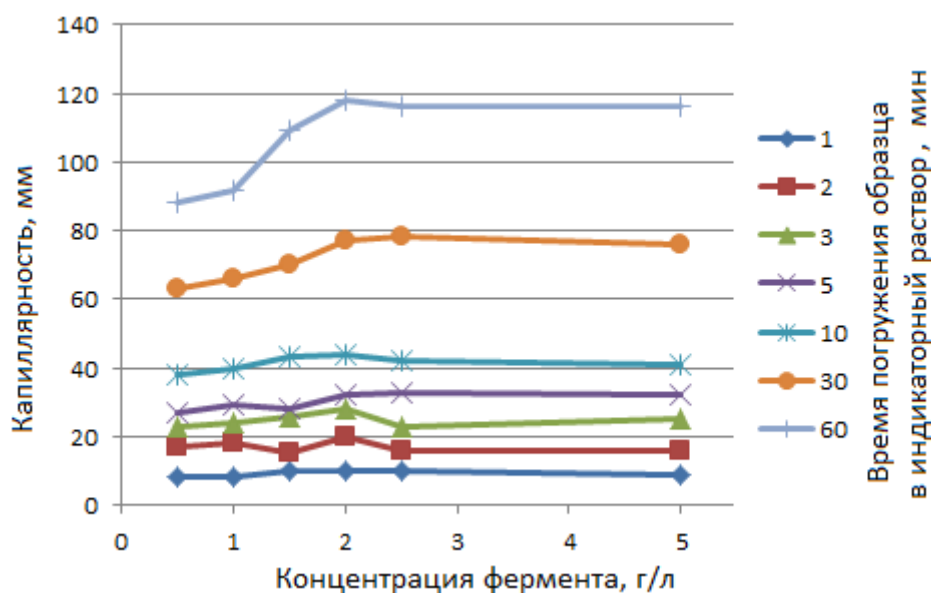


Рисунок 1 – Зависимость капиллярности ткани от концентрации фермента и времени погружения образца в индикаторный раствор

По результатам испытаний видно, что с возрастанием концентрации фермента в растворе до 2 г/л капиллярность возрастает, при дальнейшем увеличении концентрации существенно не изменяется, даже незначительно уменьшается. Как и ожидалось, вначале краситель индикаторного раствора быстро поднимается по образцу, затем процесс замедляется.

Общее количество сахаров в растворе после биополировки также увеличивается до концентрации целлюлазы 2 г/л (рис. 2). Видимо, такая концентрация фермента в растворе обеспечивает почти полное удаление волоконцев и катышек с поверхности материала из вторичной целлюлозы.

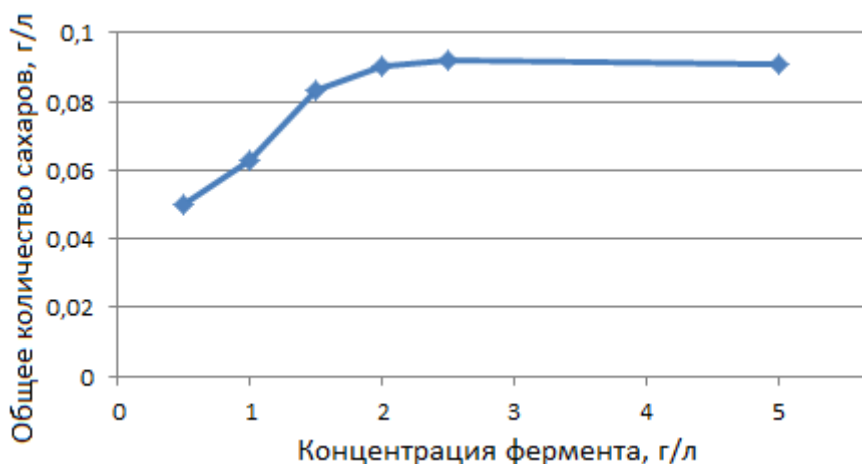


Рисунок 2 – Общее количество редуцированных сахаров после ферментативной обработки при различных концентрациях фермента

Дальнейшие исследования проводили с концентрацией 2 г/л фермента целлюлазы. Исследовано влияние температуры и времени обработки на эффективность

ферментативной обработки. Ферментативная обработка при температуре 50–60 °С в течение 1,5–2 часов выявила наибольшие показатели капиллярности тканей и количество сахаров в растворе.

При сравнении механических свойств ткани, изготовленной из вторичной целлюлозы, после традиционной подготовки и биоотварки можно заметить, что оба способа отделки оказали положительное влияние на эти характеристики. Наблюдается повышение стойкости тканей к истиранию и разрывной нагрузке, и удлинения при разрыве по утку. Для образца суровой ткани значение воздухопроницаемости составляет 25,5 см³/см²·с. После ферментативной обработки это значение увеличивается на 2,3–7,4 %. Это объясняется увеличением расстояния между волокнами за счёт удаления проклеивающего крахмального слоя и маленьких волоконцев в случае применения фермента.

После обработки ткани из вторичной целлюлозы раствором фермента целлюлазы улучшается сорбция и фиксация красителей на волокнах материала. Устойчивость окраски к различным погодным и физико-механическим воздействиям показала самую высокую оценку. Применение вторичной целлюлозы, восстановленной из текстильных отходов, в производстве текстильного материала способствует решению одной из острых экологических проблем и имеет экономическую эффективность путем целенаправленной утилизации технологических отходов.

Список использованных источников

1. Ahuja, S. K., Ferreira, G. M., Moreira, A. R. Utilization of enzymes for environmental applications. *Critical Rev in Biotech*, 2004, V. 24 (2–3), P.125–154. <https://doi.org/10.1080/07388550490493726>.
2. Araujo, R., Casal, M., Cavaco-Paulo, A. Application of enzymes for textile fibres processing. *Biocatal. Biotransfor*, 2008, V. 26 (5), P. 332–349. <http://doi.org/10.1080/10242420802390457>.
3. Gautam, R. L., Bharadwaj, A. K., Shaailendra Kumar Sh., Narain, R. Microbial enzymes for the variable applications of textile industry processing. *Valorization of Biomass to Bioproducts. Biochem and Biomat. Chapter 14*, 2023, P. 297–321. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822887-6.00003-6>.
4. Priya Sutaoney, Sachchida Nand Rai, Sakshi Sinha at all. Current perspective in research and industrial applications of microbial cellulases. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2024, V. 264, Part 1, 130639 <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.130639>.
5. Hao, L., Wang, R., Zhang, L., Fang, K., Men, Y., Qi, Z., Jiao, P., Tian, J., Liu, J. Utilizing cellulase as a hydrogen peroxide stabilizer to combine the biopolishing and bleaching procedures of cotton cellulose in one bath. *Cell.*, 2014, V. 21 (1), P. 777–789. <https://doi.org/10.1007/s10570-013-0130-1>.
6. Rafikov, A., Fayzullayeva, K., Yasinskaya, N. Enzymatic treatment of cotton fabric for desizing. *J of Chemical Eng Research Updates*. 2023, 2. <https://doi.org/10.15377/2409-983X.2023.10.2>.

УДК 677.016

КРАШЕНИЕ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ПОСЛЕ БИОХИМИЧЕСКОЙ МОДИФИКАЦИИ

**Файзуллаева К. С.¹, докторант, Рафиков А. С.¹, д.х.н., проф.,
Ясинская Н. Н.², д.т.н., проф.**

¹*Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности,
г. Ташкент, Республика Узбекистан*

²*Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь*

Реферат. Произведена биохимическая подготовка хлопчатобумажной ткани путем выдерживания в растворе, содержащем α-амилазу, липазу и гидроксид натрия. Подготовленные образцы тканей окрашены активным красителем «Chemactive orange 2 RL R.O Besiktas/Istanbul». Определены цветовые характеристики окрашенных образцов.

Ключевые слова: фермент, целлюлоза, активный краситель, координаты цвета, прочность окрашивания.