

ПРИМЕНЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОРОШКОВ И ПЛАЗМЕННЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

PLASMA TECHNOLOGIES FOR PRODUCING FUNCTIONAL TEXTILE MATERIALS

Э.Ф.Вознесенский¹ / howrip@mail.ru
Ю.А.Тимошина¹ / ybuki@mail.ru
И.С.Мифтахов¹ / fortmayn@mail.ru
А.В.Трофимов¹ / m_storm.zip@mail.ru
Я.О. Желонкин² / zhelonkin.ya@gmail.com

E.F.Voznesensky, Y.A.Timoshina, I.S.Miftakhov, A.V.Trofimov, Y.O. Zhelonkin.

¹Казанский национальный исследовательский технологический университет

²ООО «Ферри Ватт»

Экспериментально установлена возможность получения антибактериальных трикотажных материалов, стеклоткани с регулируемой смачиваемостью, световозвращающих текстильных материалов с улучшенными эксплуатационными свойствами.

The possibility of producing antibacterial knitted materials, glass fabric with controlled wettability, retroreflective textile materials with improved performance characteristics is established experimentally.

Ключевые слова: антибактериальные трикотажные материалы, стеклоткани, световозвращающие текстильные материалы

Key words: antibacterial knitted materials, glass fabric, retroreflective textile materials.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время для функционализации текстильных материалов используются различные методы модификации их поверхности. Для получения антибактериального текстиля широко применяют препараты на основе наночастиц металлов, в том числе наночастиц серебра, обладающих антибактериальной активностью по отношению ко многим видам микроорганизмов. Нанесение на текстильные волокна неорганических наночастиц позволяет создать функциональный рельеф на их поверхности, обеспечивающий получение материалов с повышенными адгезионными свойствами и регулируемой смачиваемостью. А получение современных световозвращающих текстильных материалов основано на диффузном рассеянии света на дисперсном оптическом наполнителе, в качестве которого обычно применяют микрошарики из стекла (МСШ), закрепленные на поверхности текстиля в слое светоотражающего полимерного связующего.

При нанесении функциональных модификаторов немаловажным остается выбор методов их нанесения и закрепления, а также подготовки поверхности текстильных волокон. В настоящее время предпочтение отдается применению экологичных и ресурсоэффективных подходов в получении функциональных материалов, одним из которых является модификация высокочастотной (ВЧ) плазмой пониженного давления. Обработка материалов ВЧ плазмой пониженного давления позволяет регулировать поверхностные свойства, направленно изменять адгезионные, сорбционные, оптические, физические и механические свойства модифицируемых материалов [1–3].

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Оценку результатов модификации текстильных материалов функциональными наполнителями с применением ВЧ плазмы пониженного давления проводили по значениям показателей капиллярности (ГОСТ 29104.11–91), краевого угла смачивания, коэффициента световозвращения (ГОСТ Р 12.4.026-2001), зоны задержки роста микроорганизмов вокруг образца (диффузионный метод бумажных дисков).

В исследованиях использовали следующее аналитическое оборудование: прибор Kruss Easy Drop DSA 20E, конфокальный лазерный сканирующий микроскоп (КЛСМ) Olympus OLS Lext 4100, ретрорефлектометр Zehntner ZRS 6060.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для установления закономерностей воздействия параметров высокочастотной емкостной (ВЧЕ) плазмы пониженного давления на свойства трикотажных полипропиленовых (ПП) материалов при их обработке варьировали: мощность разряда $Wp = 0.4–2.2$ кВт; время обработки $\tau = 60–600$ с; давление в рабочей камере $P = 10–30$ Па; расход плазмообразующего газа $G = 0.01–0.04$ г/с; плазмообразующий газ – воздух. Значения краевого угла смачивания трикотажных материалов до и после ВЧЕ плазменной модификации представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Изменение показателей краевого угла смачивания поверхности трикотажного материала до и после ВЧЕ плазменной модификации

Образец	Плазмообразующая среда	Угол смачивания (θ), град.
контрольный	–	109
модифицированный	воздух	49

После ВЧЕ плазменной модификации образцов наблюдается уменьшение значения краевого угла смачивания на 55% по сравнению с контрольным образцом, что позволяет произвести эффективную пропитку трикотажных полотен антибактериальным препаратом на основе наночастиц серебра. Пропитку образцов осуществляли водным коллоидным раствором с концентрацией наночастиц серебра 0.028 г/дм³, температура раствора – 22°C , время пропитки – 20 мин.

Для устойчивого закрепления наночастиц серебра в поверхностном слое нетканого материала предложен следующий режим ВЧЕ плазменной обработки: $Wp = 1.4$ кВт, $t = 180$ с, $P = 30$ Па, $G = 0.04$ г/с, плазмообразующая среда – смесь газов аргон/пропан-бутан в соотношении 70/30. Повторная ВЧЕ плазменная обработка трикотажных материалов способствует закреплению наночастиц серебра в поверхностном слое модифицируемых материалов и получению текстиля с устойчивыми антибактериальными свойствами [4].

Результаты оценки антибактериальной активности полученных трикотажных материалов представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Антибактериальная активность трикотажных материалов до и после их модификации наночастицами серебра с применением ВЧЕ плазменной обработки

Тест-культура	Зона задержки роста микроорганизмов, мм	
	исходный образец	модифицированный образец
Bacillus subtilis	0,0	23,0
Ps. aeruginosa	0,0	22,0
S. aureus	0,0	22,0
Candida albicans	0,0	30,0
Escherichia coli	0,0	24,0

Проведенные исследования на модельных тест-культурах позволяют утверждать, что полученные трикотажные материалы, модифицированные наночастицами серебра, обладают антибактериальными свойствами по отношению к патогенной микрофлоре, и могут применяться для изготовления термобелья и одежды для активного отдыха.

Для получения текстиля с регулируемой смачиваемостью использовали стекловолоконистый материал, на который наносили наночастицы SiO₂ в соответствии с методикой, описанной в источнике [5]. Для устранения поверхностных дефектов и повышения адгезионного взаимодействия волокон с наночастицами производили предварительную высокочастотную индукционную (ВЧИ) плазменную обработку стеклоткани. Режим предварительной ВЧИ плазменной обработки: сила тока на аноде генераторной лампы $I_a = 2.5$ А, высота установки образца над срезом плазмотрона $h = 30$ мм; $\tau = 300$ с, $P = 60-90$ Па, $G = 0.06$ г/с, плазмообразующая среда – аргон. Нанесение наночастиц SiO₂ осуществляли в условиях ВЧИ плазмы в следующем режиме: $I_a = 1.6$ А, $h = 30$ мм; $\tau = 60$ с, $P = 55$ Па, $G = 0.06$ г/с, расход наночастиц SiO₂ $G_{nano} = 0.5$ г/с, плазмообразующая среда – аргон.

Полученный микрорельеф на поверхности стеклоткани с применением ВЧИ плазменной обработки оценивался методом КЛСМ (рис. 1).

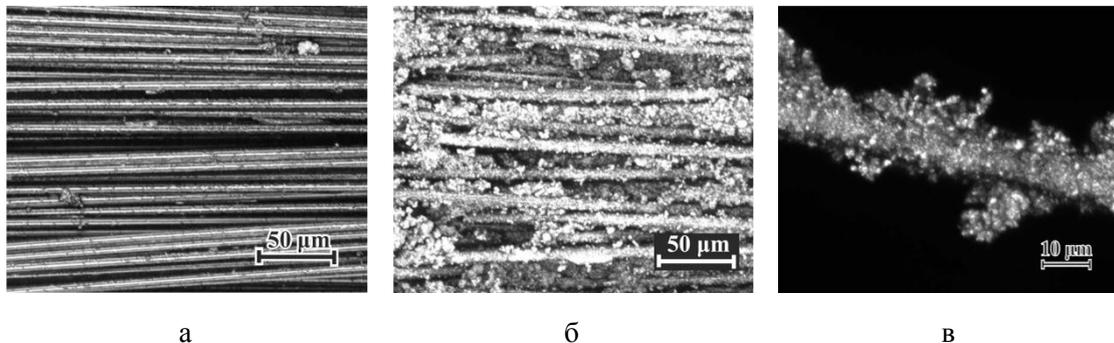


Рис. 1. КЛСМ-изображения поверхности стеклотекстильного образца: а – до модификации; б, в – после модификации.

Влияние модификации стеклоткани наночастицами SiO₂ с применением ВЧИ плазменной обработки на показатели смачиваемости представлено в таблице 3.

Таблица 3.

Влияние модификации стеклоткани наночастицами SiO₂ с применением ВЧИ плазменной обработки на показатели смачиваемости

Образец	Значение показателя капиллярности, мм	Время подъема жидкости, с
контрольный	52	1500
модифицированный	148	15

При нанесении наночастиц SiO₂ в условиях ВЧИ плазмы пониженного давления с предварительной плазменной обработкой стеклоткани достигается формирование развитого функционального рельефа, а модифицированный стеклотекстиль обладает повышенными показателями смачиваемости. Полученные материалы могут быть использованы для создания изоляционных материалов с управляемой смачиваемостью и композиционных материалов с улучшенными адгезионными свойствами.

Для исследования влияния применения ВЧИ плазменной модификации оптического наполнителя (МСШ) на получение световозвращающих текстильных материалов испытаниям подвергались текстильные полиэфирные (ПЭФ) ленты, полученные по экспериментальной методике [6], на основе МСШ до и после ВЧИ

плазменной модификации в режиме: $G = 0.05$ г/с; $Wp = 1.6$ кВт; $P = 40$ Па; $G_{МСШ} = 1$ г/с. Результаты оценки коэффициента световозвращения представлены в таблице 4.

Таблица 4.
Значения коэффициента световозвращения образцов светоотражающих текстильных материалов, кд/(лк·м²)

Образец	Углы исследования		
	20′	1°	1°30′
на основе исходных МСШ	4,9	2,7	1,9
на основе модифицированных МСШ	5,6	3	2,3

Полученные результаты свидетельствуют об эффективности ВЧИ плазменной модификации МСШ для улучшения эксплуатационных свойств световозвращающих текстильных материалов, увеличение коэффициента световозвращения материалов на основе модифицированных МСШ на 0,3–0,7 кд/(лк·м²) составляет 14,3%, 11% и 21% для углов 20′, 1° и 1°30′, соответственно, относительно образцов световозвращающих текстильных материалов на основе исходных МСШ.

ОБСУЖДЕНИЕ

Применение предварительной ВЧЕ плазменной модификации для получения текстильных материалов с антибактериальными свойствами обеспечивает эффективную пропитку волокнистых материалов антибактериальным препаратом за счет очистки поверхности волокон и их активации вследствие окисления поверхностных слоев в плазмообразующей среде воздуха. Повторная плазменная обработка приводит к дополнительному закреплению наночастиц на поверхности материала за счет ионной бомбардировки и физической адсорбции наночастиц серебра в приповерхностных слоях, а также взаимодействию компонентов плазмообразующей среды пропан-бутана со свободными радикалами в поверхностном слое волокнообразующих полимеров.

Использование предварительной ВЧИ плазменной обработки для получения материалов с регулируемой смачиваемостью приводит к устранению поверхностных дефектов и повышению адгезионного взаимодействия стекловолокон с наночастицами диоксида кремния. Нанесение наночастиц в условиях ВЧИ плазмы пониженного давления позволяет получать стекловолоконные материалы с устойчиво закрепленным модификатором на поверхности материала.

В процессах получения световозвращающих материалов ВЧИ плазменная модификация приводит к очистке поверхности МСШ от органических аппретов, технологических примесей, загрязнений, а также к сглаживанию микрорельефа МСШ. Процессы модификации МСШ связаны с физико-химическими процессами при ВЧИ-плазменной обработке, среди которых наиболее значимыми являются процессы ионной бомбардировки и рекомбинация ионов.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что ВЧ плазменная модификация является перспективным методом в процессах получения текстильных материалов с различными функциональными свойствами. Полученные материалы могут быть использованы для производства одежды повышенной комфортности с антибактериальными свойствами, создания технических текстильных материалов с регулируемой смачиваемостью, получению световозвращающих сигнальных элементов для одежды специального назначения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Modification of synthetic fibrous materials and products by non-equilibrium low-temperature plasma. Theory, models, methods. Sergeeva E.A., Zheltukhin V.S., Abdullin I.Sh // KSTU, 2011, 252 p.
2. Modification of nanolayers in radio-frequency plasma of low pressure. Abdullin I.Sh., Zheltukhin V.S., Sagbiev I.R., Shaekhov M.F. // KSTU, 2007, 356 p.
3. Modification of Textile Materials with Nanoparticles Using Low-Pressure High-Frequency Plasma. Timoshina Y.A., Trofimov A.V., Miftakhov I.S., Voznesensky E.F. // Nanotechnologies in Russia, 2018, 13, p. 561-564
4. Modification of surface of textile materials with silver nanoparticles in the radio-frequency induction plasma discharge of low pressure. Timoshina Y.A., Voznesensky E.F., Tskhay E.S., Sysoev V.A., Krasina I.V., Kulevtsov G.N. // Journal of Physics: Conference Series, 2019, 1328, p. 012083.
5. Creation of relief coatings on the surface of silicate materials in the plasma of radio-frequency induction discharge at low pressure. Trofimov A.V., Voznesensky E.F., Miftakhov I.S., Sharifullin F.S., and Skidchenko E.A. // Journal of Physics: Conference Series, 2017, 927, p. 012069.
6. About a possibility of increasing the adhesion strength between mineral glass and polymeric binder under radio-frequency induction plasma treatment. Miftakhov I.S., Voznesensky E.F., Trofimov A.V., Nagmutdinova A.I., Sharifullin F.S., Krasina I.V., Rakhmatullina G.R. // Journal of Physics: Conference Series, 2017, 789, p. 012033.