

**МЕТОД НАНОМОДИФИЦИРОВАНИЯ
НАТУРАЛЬНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ
КОЛЛОИДНЫМ РАСТВОРОМ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА***

**METHOD OF NANOMODIFICATION
OF NATURAL TEXTILE MATERIALS
BY SOLUTION OF COLLOIDAL SILVER NANOPARTICLES**

*В.В. ХАММАТОВА
V.V. КНАММАТОВА*

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

В статье рассматриваются вопросы, связанные с разработкой метода наномодифицирования натурального текстильного материала с использованием коллоидного раствора наночастиц серебра. Исследованы стойкость наномодифицированных материалов к воздействию тест-культур и механическим характеристикам, необходимым при эксплуатации изделий специального назначения.

This article discusses issues related to the development of a method of nanomodification of natural textile colloid solution with silver nanoparticles. Nanomodified studied resistance of materials to the effects of the test cultures and mechanical characteristics required in the operation of special purpose products.

Ключевые слова: плазма, наномодифицирование, коллоидный раствор, текстильный материал, наночастицы серебра.

Keywords: plasma, nanomodification, colloid solution, textile silver, nanoparticles.

Исследователи многих стран изучают и разрабатывают методы борьбы с грибно-

выми инфекциями, возникающими во влажном пространстве одежды, и практи-

* Проект выполняется в организации исполнителя (Получателе субсидии) при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в соответствии с требованием соглашения №14.577.21.0019 о предоставлении субсидии на проведение прикладных научных исследований. Уникальный идентификатор прикладных научных исследований (проекта) RFMEFI57714X0019.

чески все они основываются на пропитке материалов специальными противомикробными препаратами [1], [2].

В настоящее время существуют методы борьбы с грибковыми инфекциями за счет использования наномодифицированных текстильных материалов с применением наночастиц серебра, которые используются как биоцидная добавка – в форме модификатора, предназначенного для создания и производства новых материалов, покрытий и других видов продукции с биоцидными свойствами широкого спектра действия. Наночастицы серебра, как и другие наночастицы, характеризуются уникальными свойствами, связанными с высоким отношением их поверхности к объему, что определяет большую эффективность их действия [3].

В случае применения частиц серебра ткани приобретают свойство бактерицидности. В ряде случаев на ткань можно наносить наночастицы серебра, которые способны поглощать излучение в определенной области длин волн. Это позволит производить ткани для спецодежды, защищающей, например от СВЧ-излучения, что особенно важно для военнослужащих. Но проблема взаимодействия наночастиц серебра с волокнами текстильных материалов, разработка способов их закрепления на тканях таким образом, чтобы не терялись их полезные свойства, остается пока нерешенной.

Большое внимание уделяется функциональной активности наночастиц серебра с точки зрения придания не только бактерицидных, но и бактериостатических свойств различным материалам и изделиям из них. Наночастицы наиболее эффективны для уничтожения болезнетворных микроорганизмов при размере частиц серебра 9...15 нм, имеют чрезвычайно большую удельную площадь поверхности, что увеличивает область контакта серебра с бактериями, значительно улучшая его бактерицидные действия [4].

Антибактериальный эффект препаратов на основе серебра сильнее действия карболовой кислоты при одинаковых концентрациях. Антибактериальные препараты на

основе наночастиц серебра обладают фунгицидным действием при концентрации 0,1 мг/дм³ [5]. Действие растворов серебра при одинаковых концентрациях эффективнее действия хлора, хлорной извести, гипохлорида натрия и других сильных окислителей. Растворы серебра являются наиболее эффективным средством при непосредственном соприкосновении с поверхностями, гноящимися и воспаленными, вследствие бактериального заражения.

Бактерицидная добавка на основе наночастиц серебра является одним из последних достижений отечественной науки в области нанобиотехнологий. В наноразмерном состоянии частицы серебра приобретают новые свойства и становятся в биологическом отношении весьма активными. Таким образом, применение серебра в виде наночастиц позволяет в сотни раз снизить концентрацию серебра с сохранением всех бактерицидных свойств. Активное использование нанокompозитов серебра для пропитки материалов, выпускаемых легкой промышленностью, обусловлено их значительными и неоспоримыми преимуществами перед всеми существующими антимикробными средствами, поскольку соединения серебра, обладая широким спектром антимикробной активности, во многом лишены недостатков, связанных с проблемой резистентности к ним патогенных микроорганизмов [6].

Анализ препаратов, используемых для придания антибактериальных свойств текстильным материалам, показал, что высокой антимикробной активностью, широким спектром антибактериального действия, а вместе с этим отсутствием деструктирующего влияния на материалы и экологической безопасностью обладают антибактериальные препараты, содержащие наночастицы серебра [7]. Кроме того, они не являются токсичными в тех концентрациях, которые обеспечивают стабильный антибактериальный эффект. При этом важным является разработка метода нанесения и закрепления антибактериального препарата на поверхности кожевенных и текстильных материалов, так как это является необходимым для получения ан-

тибактериальных материалов, производящихся легкой промышленностью, много-разового использования с устойчивыми во времени свойствами.

Одним из современных методов наномодифицирования поверхности натуральных текстильных материалов является их обработка коллоидным раствором наночастиц серебра, а затем их закрепление в потоке неравновесной низкотемпературной плазмы (ННТП) пониженного давления.

В данной работе проведены исследования влияния коллоидного раствора наночастиц серебра на стойкость натуральных текстильных материалов, которые применяются при производстве одежды специального назначения. Состав коллоидного раствора серебра состоял из нитрата серебра $AgNO_3$, аммиака водного NH_4OH , воды бидистиллированной, полиакриловой кислоты и полиакрилата натрия.

Объектом исследования являлась ткань "Премьер Cotton 300", артикул 10408, состав 100% хлопок, пропитанная маслодоотталкивающей пропиткой.

Для оценки стойкости образцов натуральных текстильных материалов, наномодифицированных коллоидным раствором наночастиц серебра, с закреплением затем потоком неравновесной низкотемпературной плазмы (ННТП) пониженного давления, использовали стандартный метод исследования чувствительности микроорганизмов к действию антибиотиков и антисептиков на твердых питательных средах (диффузионный метод бумажных дисков).

Метод наномодифицирования основан на диффузии антисептика в толщу агара и образовании так называемых зон ингибиции. Антимикотическую и антибактериальную активность образцов исследовали на тест-культурах патогенной и условно-патогенной микрофлоры. В работе использовали музейные штаммы: *Escherichia coli* O55, *Salmonella paratyphi* B, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC-9027, *Staphylococcus aureus* 6538-Ps, *Candida albicans*. Суточные культуры музейных штаммов стандартизовали до оптической плотности 0,5 по Мак Фарланду ($1,5 \times 10^8$ КОЕ/мл). Чашки Петри с питательной средой Сабуро (для *Candida albicans*) и Мюллера-Хинтона для всех остальных микроорганизмов засеивали от-стандартизованными взвесями тест-культур, используя тампон. Через 5 минут на поверхность инокулированных чашек раскладывали носители, пропитанные разными концентрациями серебра, обработанной поверхностью на взвесь микроорганизмов. Через 24...48 часов при инкубации $37^\circ C$ оценивали величину зоны задержки роста микроорганизмов (зоны ингибиции).

Результаты исследования влияния стойкости к микроорганизмам образцов тканей "Премьер Cotton 300", артикул 10408 под воздействием тест-культуры *Bacillus subtilis* представлены на рис. 1 (а) – контрольный образец, б) – наномодифицированный образец), а тест-культуры *Escherichia coli* – на рис. 2 (а) – контрольный образец, б) – наномодифицированный образец).



а)



б)

Рис. 1



а)



б)

Рис. 2

Используемые в данном исследовании тест-культуры *Bacillus subtilis* и *Escherichia coli* традиционно являются модельными, имеют общее происхождение, механизмы хранения и реализацию наследственной информации, а также схожесть метаболизма с микроорганизмами, присутствующими в микрофлоре человека. Исследования, проведенные на модельных тест-культурах, позволяют утверждать, что полученные текстильные материалы, наномодифицированные в коллоидном растворе наночастиц серебра, обладают антибактериальными свойствами по отношению к патогенной микрофлоре.

Одним из основных показателей, определяющих стойкость наномодифицированных материалов с содержанием натуральных волокон к воздействию тест-культур, являются механические характеристики, такие как разрывная нагрузка и стойкость к истиранию [8]. Стандартный метод экспериментальной оценки разрывной нагрузки материалов (ГОСТ 3813–72) позволяет определить их выносливость, то есть устойчивость к действию многоцикловых нагрузок. Величина стойкости к истиранию на изгибах и поверхности образцов тканей измерялась в соответствии с ГОСТом 9913–90. Материалы текстильные. Методы определения стойкости к истиранию и осуществлялась с помощью прибора МТ191 на контрольном образце и образце, наномодифицированном коллоидным раствором наночастиц серебра.

Экспериментальные исследования разрывной нагрузки ткани "Премьер Cotton 300", артикул 10408 проводились после наномодифицирования коллоидным раствором наночастиц серебра и закрепления

ННТП в режиме: расход газа ($G_{\text{воздух}} = 0,04$ г/с, давление в вакуумной камере ($P_{\text{к}} = 21$ Па, потребляемая мощность ($P_{\text{потр}} = 3,5$ кВт и время обработки ($\tau = 1$ м/мин. Испытания образцов тканей проводились с применением современного оборудования – разрывной машины МТ110-5. Результаты исследований представлены на рис. 3 (разрывная нагрузка ткани "Премьер Cotton 300", артикул 10408 после наномодифицирования коллоидным раствором наночастиц серебра).

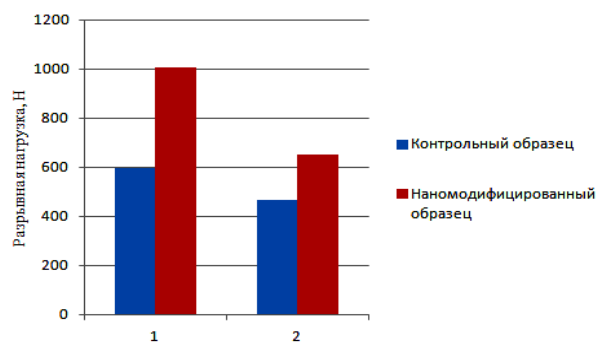


Рис. 3

На основе проведенных исследований установлено, что максимальные показатели разрывной нагрузки увеличиваются в результате наномодифицирования коллоидным раствором наночастиц серебра и ННТП, при времени обработки 1 м/мин в плазмообразующем газе – воздух. При этом разрывная нагрузка повышается на 66,6% по основе и 46,5% – по утку ткани относительно контрольных образцов, что связано с уплотнением структуры целлюлозосодержащих волокон и закреплением коллоидного раствора наночастиц серебра в межволоконном пространстве.

На основе полученных результатов и анализа табл. 1 (изменение стойкости к истиранию наномодифицированных образцов текстильных материалов "Премьер Cotton 300" (состав 100% хлопок)) установлено, что стойкость к истиранию ис-

следуемых образцов текстильного материала после наномодифицирования коллоидным раствором наночастиц серебра увеличивается в два раза относительно контрольных образцов.

Т а б л и ц а 1

Мощность разряда W_p , кВт	Стойкость к истиранию текстильного материала*, циклы при давлении в вакуумной камере P_k (Па)			
	$P_k = 18$	$P_k = 20$	$P_k = 22$	$P_k = 24$
2,0	6 200	6 900	6 500	6 300
2,5	6 700	7 900	7 500	7 200
3,0	7 200	8 300	8 100	7 700
3,5	7 400	9 000	9 000	8 200
4,0	7 200	7 400	7 500	7 300
4,5	6 600	7 100	7 400	7 000
Контрольный образец	4 000			

Значения полученных показателей стойкости к истиранию образцов текстильного материала "Премьер Cotton 300" (состав 100% хлопок)* (табл. 1), наномодифицированных коллоидным раствором наночастиц серебра, также зависят от вида и состава применяемых текстильных волокон, их строения, истираемой поверхности материалов. Увеличение стойкости к истиранию образцов происходит за счет уплотнения надмолекулярной структуры хлопковых волокон после наномодифицирования коллоидным раствором наночастиц серебра и их закрепления потоком ННТП пониженного давления.

Таким образом, данный комбинированный метод наномодифицирования текстильных материалов коллоидным раствором наночастиц серебра, а затем закрепления потоком ННТП пониженного давления позволяет не только повышать бактерицидные свойства, но и упрочнять и повышать стойкость к истиранию исследуемой ткани, которая применяется при производстве одежды специального назначения.

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что наномодифицирование текстильных материалов коллоидным раствором наночастиц серебра является новым перспективным способом бактерицид-

ной обработки материалов, выпускаемых текстильной промышленностью, что позволяет улучшить их антибактериальные и механические свойства. При употреблении ионных растворов серебра не только уничтожаются болезнетворные бактерии и вирусы, но и активизируются обменные процессы в организме человека, повышается его иммунитет. В суточном рационе человека должно содержаться в среднем 80 мкг серебра. Ионы серебра выступают в роли защитников, уничтожая болезнетворные бактерии, вирусы, грибки.

2. Проведение исследований по применению коллоидного раствора наночастиц серебра при наномодифицировании тканей, а затем их закрепление потоком ННТП пониженного давления актуально и способствует производству более качественных текстильных материалов для одежды специального назначения.

3. Максимальные показатели разрывной нагрузки увеличиваются в результате обработки коллоидным раствором наночастиц серебра + ННТП на 40,74% по основе и 34,44% – по утку ткани, а стойкость к истиранию увеличивается в 2 раза относительно контрольных образцов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зуй Г.И., Терентьев В.И. К профилактике микозов стоп в гарнизоне // Военно-медицинский журнал. – 1987, №3. С.59...60.

2. Чиж И.М. Актуальные проблемы охраны здоровья личного состава вооруженных сил // Военно-медицинский журнал. – 1987, №8. С.4...12.

3. Туйсин С.Р. Лечение длительно незаживающих ран путем применения комбинированных перевязочных материалов //Фундаментальные исследования. – 2010, № 1. С. 91...94.

4. Букина Ю.А., Сергеева Е.А. Антибактериальные свойства и механизм бактерицидного действия наночастиц и ионов серебра // Вестник Казанского технологического университета. – 2012, №14. С.170...172.

5. Chen X., Schluesener H.J. Nanosilver: a nano-product in medical application // Toxicology letters. – 2008. Vol. 176, № 1. P. 1...12.

6. Супотницкий М.В. Механизмы развития резистентности к антибиотикам у бактерий // Биопрепараты. – 2011, № 2. С. 44.

7. Мосин О.В. Физиологическое воздействие наночастиц серебра на организм человека // NanoWeek. – 2008, № 3. С. 34...37.

8. Хамматова Э.А. Повышение механических свойств многофункциональных текстильных материалов для производства изделий специального назначения //Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2014, №5. С. 44...48.

REFERENCES

1. Zuj G.I., Terent'ev V.I. K profilaktike mikofov stop v garnizone // Voенно-медицинский журнал. – 1987, №3. С.59...60.

2. Chizh I.M. Aktual'nye problemy ohrany zdorov'ja lichnogo sostava vooruzhennyh sil // Voенно-медицинский журнал. – 1987, №8. С.4...12.

3. Tujsin S.R. Lechenie dlitel'no nezazhivajushhih ran putem primeneniya kombinirovannyh perevjazochnyh materialov //Fundamental'nye issledovanija. – 2010, № 1. С. 91...94.

4. Bukina Ju.A., Sergeeva E.A. Antibakterial'nye svojstva i mehanizm baktericidnogo dejstvija nanochastic i ionov serebra // Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta. – 2012, №14. С. 170...172.

5. Chen X., Schluesener H.J. Nanosilver: a nano-product in medical application // Toxicology letters. – 2008. Vol. 176, № 1. P. 1...12.

6. Supotnickij M.V. Mehanizmy razvitija rezistentnosti k antibiotikam u bakterij // Biopreparaty. – 2011, № 2. С. 44.

7. Mosin O.V. Fiziologicheskoe vozdejstvie nanochastic serebra na organizm cheloveka // NanoWeek. – 2008, № 3. С. 34...37.

8. Hammatova Je.A. Povyshenie mehanicheskikh svojstv mnogofunkcional'nyh tekstil'nyh materialov dlja proizvodstva izdelij special'nogo naznachenija //Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2014, №5. С. 44...48.

Рекомендована кафедрой дизайна. Поступила 05.10.15.