

УДК 677.02.001.5

**ВЛИЯНИЕ ВКЛЮЧЕНИЙ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА
В ТЕКСТИЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
НА ИХ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА**

**INFLUENCE OF SILVER NANOPARTICLES INCLUSIONS
IN TEXTILE MATERIALS
ON THEIR THERMOPHYSICAL PROPERTIES**

*К.И. КОБРАКОВ, Д.Н. КУЗНЕЦОВ, В.И. РОДИОНОВ, Р.И. СОКОЛОВСКИЙ, А.И. ФЕДОСЕЕВ
K.I. KOBRAKOV, D.N. KUZNETSOV, V.I. RODIONOV, R.I. SOKOLOVSKY, A.I. FEDOSEEV*

**(Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство),
ООО Эдельхаус,
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова)
(Russian State University named after A.N. Kosygin (Technology. Design. Art),
LLC Edelhaus,
Moscow State University named after M.V. Lomonosov)
E-mail: occd@mail.ru**

В статье приводятся теплофизические параметры модифицированных наноразмерными частицами серебра текстильных материалов. Принципиально показано, что подавление радиационной составляющей теплового потока открывает возможности для управления теплофизическими свойствами текстильных материалов.

The article presents thermophysical parameters of textile materials modified with nanosized silver particles. It is shown that the suppression of the radiative compo-

ment of the heat flux opens up opportunities for controlling the thermophysical properties of textile materials.

Ключевые слова: наномодифицирующий препарат, наномодифицирование, наноразмерные частицы серебра, теплофизические характеристики.

Keywords: nanomodifying preparation, nanomodification, nanosilver particles, thermophysical characteristics.

Изучение химизма закрепления наноразмерных частиц серебра на волокнистых материалах и разработка эффективной технологии процесса без введения дополнительных операций и нового оборудования осуществлялась на этапе отделки текстильных материалов [1...3]. В результате были разработаны рекомендации к нормам технологических режимов наномодифицирования шерстяной, полушерстяной, полиамидной и хлопчатобумажной тканей, а также трикотажных полотен и изделий из них, коллоидным раствором, содержащим микрокапсулированные наноразмерные частицы серебра [4].

Изделия, произведенные по разработанной технологии, прошли опытно-промышленную апробацию на предприятиях отрасли и опытную эксплуатацию в соответствующих структурах: МЧС РФ, Следственном комитете, на Калининской АЭС, а также использовались спортсменами сборной РФ и других организаций [5].

Разработанная методика в зависимости от условий эксплуатации изделий и требований к уровню и характеру биозащиты позволяет получать материалы, содержащие количества серебра от единиц до сотен ppm и сохранять биоцидные свойства после многократных стирок и мокрых обработок.

Обработка образцов окрашенной шерстяной ткани наномодифицирующим препаратом проводилась по методике, описанной в работе [3].

Количество серебра в наноразмерной форме, закрепленного на волокне, определялось методом лазерно-искровой эмиссионной спектроскопии в отделе мониторинга Института проблем мониторинга загрязнения природных сред НПО "Тайфун"

(аттестат аккредитации № РОСС RU. 0001.5R 774) и составило 7...8 ppm.

Эксперимент проводили следующим образом.

На медную пластину, температура которой поддерживалась равной 54°C, помещали три образца. Первый – образец шерстяной ткани, содержащий наноразмерные частицы серебра, помещенный на подложку из шерстяной ткани (рис. 1-а); второй – эталонный образец с $\varepsilon = 1$ (рис. 1-б); третий – образец шерстяной ткани, не содержащий наноразмерных частиц серебра, помещенный на подложку из шерстяной ткани (рис. 1-в).

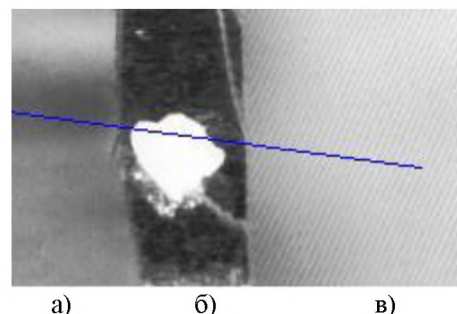


Рис. 1

Система образцов рассматривалась на экране монитора тепловизора Flir-SC-7700 (область регистрации 3,7...4,8 мкм), где черным цветом выделена прямая линия, вдоль которой измерялась температура (рис. 2).

Теплообмен человеческого тела с окружающей средой происходит через пакет одежды. Тепловой поток состоит из двух составляющих: конвекции и излучения. Для твердой нагретой поверхности до температуры порядка 40°C их величины одного порядка. Для тела, покрытого одеждой, потоки различны. В силу различия их

физической природы они могут подавляться по отдельности различными способами. В частности, металл (в данном случае серебро) оказывает достаточно сильное влияние на радиационную составляющую потока, вплоть до ее практического исчезновения.

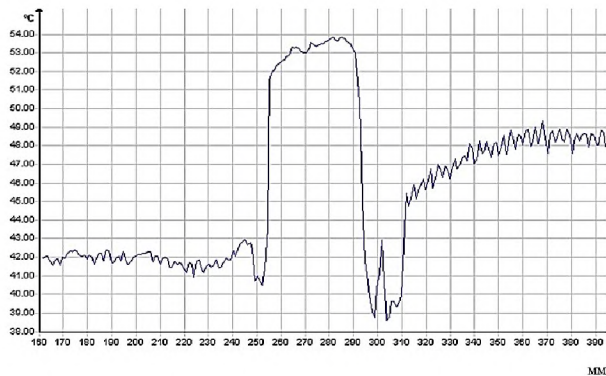


Рис. 2

Радиационный поток, излученный нагретой поверхностью, испытывает рассеяние на внедренных в покрытие металлических частицах с некоторым сечением рассеяния σ . В результате распространения света в теплоизоляционном покрытии часть r потока отражается назад и вновь возвращается к излучателю. В результате на излучающее тело падает дополнительный радиационный поток E_{π} , часть которого поглощается с коэффициентом поглощения A , а часть отражается с коэффициентом отражения R . Так как рассматривается излучение непрозрачного тела, то

$$R + A = 1.$$

Эффективный радиационный поток [6]:

$$E_{\text{эф}} = E + RE_{\pi},$$

где $E = \varepsilon\sigma T^4$; T – абсолютная температура излучателя; ε – степень черноты излучателя; σ – постоянная Стефана-Больцмана.

Выражая падающий тепловой поток через эффективный:

$$E_{\pi} = rE_{\text{эф}},$$

получим следующее уравнение:

$$E_{\text{эф}} = E + (1 - A)rE_{\text{эф}},$$

решение которого:

$$E_{\text{эф}} = \frac{E}{1 - (1 - \varepsilon)r}. \quad (1)$$

При выводе формулы (1) использовался закон Кирхгофа, строго справедливый для равновесного излучения [6]. Формула дает выражение для эффективного потока теплового излучения, который распространяется между внешней поверхностью теплоизоляционного покрытия и излучаемой поверхностью. Наружу выходит только часть этого потока, так как другая часть отражается обратно. Тепловизор фиксирует поток, выходящий из теплоизоляционного покрытия:

$$E_T = (1 - r)E_{\text{эф}},$$

а следовательно, измеряемая им по величине температура определяется выражением для теплового потока:

$$E_T = f(r)\sigma T^4,$$

где первый множитель зависит от размера, сечения рассеяния и поверхностной концентрации наноразмерных металлических частиц, внедренных в теплоизоляционный материал. Он находится по формуле:

$$f(r) = \frac{1 - r}{1 - (1 - \varepsilon)r}. \quad (2)$$

График функции $f(r)$ изображен на рис. 3.

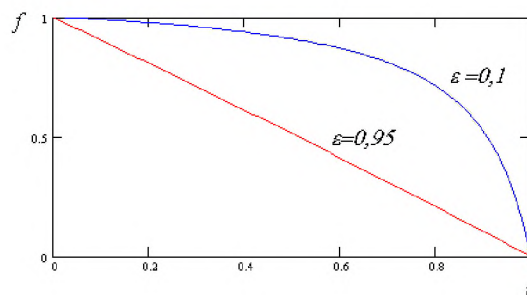


Рис. 3

Фактор $f(r)$ показывает: какая часть теплового потока проходит через ткань, закрывающую источник теплового излучения. Из рис. 3 видно, что измеряемый прибором тепловой поток в результате рассеяния излучения металлическими частицами можно заметно ослабить, подбирая пару: теплоизоляционное покрытие – излучаемая подложка, вплоть до его полного исчезновения. Физический механизм явления довольно простой. Рассеянное назад излучение возвращается к излучающему объекту, где частично поглощается и частично отражается. Когда ϵ близко к единице (см. формулу (1) и рис. 3), зависимость выходящего наружу потока от коэффициента рассеяния практически линейная. Чем больше излучения отражается, тем меньше его выходит и меньше попадает в объектив тепловизора. Соответственно он фиксирует более низкую температуру объекта, защищаемого тканью, чем она есть на самом деле. Одновременно уменьшаются радиационные потери объекта в окружающую среду, а следовательно, и затраты объекта на нагревание окружающей среды за счет расхода своей энергии.

Как видно из рис. 2, в местах, где были дислоцированы наночастицы (использованная технология наномодифицирования не смогла обеспечить равномерного распределения наночастиц по материалу), температура, фиксируемая тепловизором, примерно на 6°C ниже, что приблизительно равно относительному изменению теплового потока:

$$\frac{\Delta E_T}{E_T} \approx 4 \frac{\Delta T}{T} = \frac{24}{320} = 0,075.$$

Относительное изменение теплового потока, рассчитанное по формуле (2), дает величину 0,069 при значении $\rho_{\text{рт}} = 7$. При отсутствии равномерности нанесения наночастиц на материал это вполне приемлемый результат, подтверждающий выводы теории.

ВЫВОДЫ

Экспериментально показано, что теплофизические характеристики текстильных материалов зависят от включения в них дос-

таточно малого по массе количества металлических наночастиц серебра.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кобраков К.И., Родионов В.И., Ручкина А.Г., Станкевич Г.С., Золина Л.И., Кузнецов Д.Н., Ковальчукова О.В. Синтез гетарилсодержащих бисазокрасителей и исследование их взаимодействия с ионами и наноразмерными частицами металлов // Изв. вузов. Химия и химическая технология. – 2013. Т. 56, № 4. С. 33...37.
2. Кобраков К.И., Кузнецов Д.Н., Станкевич Г.С., Ковальчукова О.В., Родионов В.И. Спектрофотометрическое изучение взаимодействия некоторых азокрасителей, содержащих хелатирующие группы, с ионами и наноразмерными частицами серебра // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015, №3. С.82...87.
3. Кобраков К.И., Дмитриева М.Б., Золина Л.И., Родионов В.И., Ручкина А.Г., Серенко О.А., Станкевич Г.С. Получение наномодифицированных биоцидных шерстяных материалов и исследование устойчивости их фунгицидных свойств к мокрым обработкам // Бутлеровские сообщения. – 2014. Т.37. №2. С. 53...59.
4. Пат. 2405557 РФ. Композиция на основе гидрозоля серебра для придания антимикробных свойств волокнисто-сетчатым материалам / Баранов В.Д., Золина Л.И., Мишаков В.Ю., Жихарев А.П., Полухина Л.М., Межуев С.В.
5. Кобраков К.И., Закускин С.Г., Кузнецов Д.Н., Золина Л.И., Станкевич Г.С., Родионов В.И. Наномодифицированные текстильные материалы с биоцидными свойствами: разработка и опытно-промышленная апробация технологии изготовления // Химическая технология. – 2016, №7. С. 322...327.
6. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. – М.: Энергия, 1969.

REFERENCES

1. Kobrakov K.I., Rodionov V.I., Ruchkina A.G., Stankevich G.S., Zolina L.I., Kuznecov D.N., Koval'chukova O.V. Sintez getarilsoderzhashhih bisazokrasitelej i issledovanie ih vzaimodejstvija s ionami i nanorazmernymi chasticami metallov // Izv. vuzov. Himija i himicheskaja tehnologija. – 2013. T. 56, № 4. S. 33...37.
2. Kobrakov K.I., Kuznecov D.N., Stankevich G.S., Koval'chukova O.V., Rodionov V.I. Spektrofotometricheskoe izuchenie vzaimodejstvija nekotoryh azokrasitelej, soderzhashhih helatirujushhie grupy, s ionami i nanorazmernymi chasticami srebra // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2015, №3. S.82...87.
3. Kobrakov K.I., Dmitrieva M.B., Zolina L.I., Rodionov V.I., Ruchkina A.G., Serenko O.A., Stankevich G.S. Poluchenie nanomodificirovannyh biocidnyh sherstjanyh materialov i issledovanie

ustojchivosti ih fungicidnyh svojstv k mokrym obrabotkam // Butlerovskie soobshhenija. – 2014. T.37. №2. S. 53...59.

4. Pat. 2405557 RF. Kompozicija na osnove gidrozolja srebra dlja pridaniya antimikrobnnyh svojstv voloknisto-setchatym materialam / Baranov V.D., Zolina L.I., Mishakov V.Ju., Zhiharev A.P., Poluhina L.M., Mezhuev S.V.

5. Kobrakov K.I., Zakuskin S.G., Kuznecov D.N., Zolina L.I., Stankevich G.S., Rodionov V.I.

Nanomodificirovannye tekstil'nye materialy s biocidnymi svojstvami: razrabotka i opytno-promyshlennaja aprobacija tehnologii izgotovlenija // Himicheskaja tehnologija. – 2016, №7. S. 322...327.

6. Isachenko V.P., Osipova V.A., Sukomel A.S. Teploperedacha. – M.: Jenergija, 1969.

Рекомендована кафедрой материаловедения РГУ им. А.Н. Косыгина. Поступила 03.10.17.

,