

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЦЕССА СУШКИ ПЛОТНЫХ ШЕРСТЯНЫХ СУКОННЫХ ТКАНЕЙ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

IMPROVING THE TECHNOLOGY OF THE DRYING PROCESS OF DENSE WOOLEN CLOTH FABRICS FOR SPECIAL PURPOSES

М.В. Исаев¹, М.К. Кошелева¹, А.В. Шалунов²
M.V. Isaev¹, M.K. Kosheleva¹, A.V. Shalunov²

¹Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство) (Москва)

²Бийский технологический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

¹Kosygin Russian State University (Technology. Design. Art) (Moscow)

²Biysk Institute of Technology (branch) of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Altai State Technical University named after I.I. Polzunov»
E-mail: isaev9mv@gmail.com, oxtpaxt@yandex.ru, shalunov@u-sonic.ru

Показана возможность сокращения продолжительности процесса сушки типовой плотной шерстяной суконной ткани специального назначения (сукно шинельное) при существенном понижении температуры сушильного агента за счёт интенсификации процесса ультразвуковым полем. При этом происходит повышение производительности, снижение тепловых выбросов в рабочей зоне и в окружающую среду, снижение расхода электроэнергии и водяного пара при сохранении качества материала. Получено положительное решение о выдаче патента «Способ сушки плотных суконных тканей с применением ультразвукового поля» от 17.06.2024 по заявке № 2023124488.

Ключевые слова: шерстяное сукно; сушка; кинетика; массопроводность; интенсификация; ультразвук; энергосбережение; техносферная безопасность.

The possibility of reducing the duration of the drying process of a typical dense woolen cloth for special purposes (overcoat cloth) with a significant decrease in the temperature of the drying agent due to the intensification of the process by an ultrasonic field is shown. At the same time, there is an increase in productivity, a reduction in thermal emissions in the work area and into the environment, a reduction in electricity and water vapor consumption while maintaining the quality of the material. A positive decision was received on the grant of a patent «Method for drying dense cloth fabrics using an ultrasonic field» dated 06/17/2024 under application № 2023124488.

Keywords: woolen cloth; drying; kinetics; mass conductivity; intensification; ultrasound; energy saving; technosphere safety.

Тепловая сушка, являясь составной частью многих технологий, относится к числу наиболее энергоёмких процессов. По данным Комитета РосСНИО по проблемам сушки затраты топливно-энергетических ресурсов на сушку составляют около 12% всех затрат энергии в промышленности и сельском хозяйстве, а в отделке тканей существенно больше. При этом конвективные сушильные установки преобладают в общем парке обезвоживающих устройств. Поэтому проблема повышения энергоэффективности в работе рассматривается применительно к конвективной сушке. В промышленных условиях на текстильных тонкосуконных фабриках сушка плотной шерстяной ткани, как правило, проводится в сушильно-ширильных (СШМ) и в сушильно-ширильных стабилизационных (СШСМ) машинах при температуре сушильного агента 110–145°C, что приводит к значительному расходу электроэнергии, увеличению тепловых выбросов в рабочей зоне и в окружающую среду. Анализ технологической, экологической и производственной безопасности на текстильных предприятиях показывает, что процесс сушки является не только одним из самых энергоёмких, но и травмоопасным процессом.

Объектом исследования является шерстяная суконная ткань специального назначения (сукно шинельное) [1], которая используется для специальных целей и для изготовления средств индивидуальной защиты - СИЗ: рукавицы суконные для защиты от повышенных температур ГОСТ 12.4.010-75, костюм мужской суконный для защиты от кислот ГОСТ 3 12.4.251-2013, костюм металлурга суконный для защиты от повышенных температур ГОСТ 12.4.045-87 и др.

Анализ материалов международных выставок и литературных источников показывает, что среди современных энергоэффективных способов интенсификации тепло-массообменных процессов, в том числе в технологии отделки тканей, наложение физических полей является перспективным. На основании сравнения эффективности и безопасности различных интенсификаторов, анализа задачи массообмена при сушке тканей выбрано ультразвуковое интенсифицирующее воздействие (УЗ).

Ультразвуковое воздействие является одним из самых эффективных способов интенсификации технологического процесса сушки различных, в том числе текстильных материалов. Анализ отечественных и зарубежных литературных источников показывает, что исследования процесса непрерывной сушки плоских волокнистых материалов, в том числе плотных шерстяных тканей с ультразвуковым воздействием для интенсификации процесса, практически не проводились [2-7].

Целью работы является повышение энергоэффективности и техноферной безопасности производства плотных шерстяных суконных тканей специального назначения для средств индивидуальной защиты посредством интенсификации энергоёмкого и опасного для техноферы процесса сушки, от которого во многом зависит качество готового материала. Для достижения цели было необходимо обосновать выбор способа интенсификации, провести экспериментальные исследования процесса непрерывной сушки при различных температурах и скоростях сушильного агента с использованием ультразвука для интенсификации на специальной модельной установке, установить рациональное сочетание теплового конвективного нагрева и ультразвукового воздействия на кинетику процесса сушки, провести сравнительный анализ режимных параметров. Аппроксимировать экспериментальные кинетические кривые, определить кинетические коэффициенты массопроводности.

Экспериментальные исследования процесса сушки проводились в центре ультразвуковых технологий Бийского технологического института на специально созданной модельной установке для изучения непрерывной акусто-конвективной сушки плоских текстильных материалов. Проведена большая серия опытов. Результаты анализа экспериментальных кривых кинетики сушки позволили определить, что наиболее эффективным для изученного объекта является комбинированное воздействие (ультразвуковое и тепловое) при температуре сушильного агента (воздуха) 80°C, что существенно ниже приведённых выше производственных температур. Скорость сушильного агента может составлять 6 м/с [8]. Таким образом, использование на данных сушилках непрерывного действия ультразвуковой интенсификации позволит снизить температуру процесса сушки до 80°C, сократить его продолжительность, что приведёт к более экономному расходу электроэнергии, снижению тепловых выбросов в рабочей зоне и в окружающую среду, что повысит экологическую и производственную безопасность.

Для расчёта кинетики сушки в результате аппроксимации экспериментальных данных по кинетике сушки типовой плотной шерстяной ткани получено уравнение:

$$U = U_0 * e^{-bt} \quad (1)$$

где: U_0 – начальное влагосодержание ткани, $U_0=0,76$ кг/кг; τ – время в минутах; b – коэффициент, характеризующий скорость процесса сушки:

$$b = p_0 + p_1 Y + p_2 * t_c \quad (2)$$

Значение b зависит от температуры сушильного агента и наличия ультразвукового воздействия. При наличии УЗ $Y=1$, при отсутствии УЗ $Y=0$. t_c – температура сушильного агента в исследованном диапазоне. Значения коэффициентов: $p_0= -0,01164$; $p_1= -0,01298$; $p_2=$

-0,0001675. Уравнение может применяться для оценки кинетики сушки разных тканей изученной группы.

На рисунке 1 представлены экспериментальные значения кинетики сушки и рассчитанные с использованием уравнения (1) кривые кинетики сушки при разных температурах и при наличии или отсутствии УЗ воздействия. По всем кривым кинетики сушки сумма квадратов отклонений опытных и расчётных данных не превышает 5,5%, что приемлемо для инженерных расчётов.

Полученные результаты существенно дополняют данные других исследований, связанные с изучением, обобщением и расчётом кинетики сушки, в том числе конвективной сушки полотенных материалов.

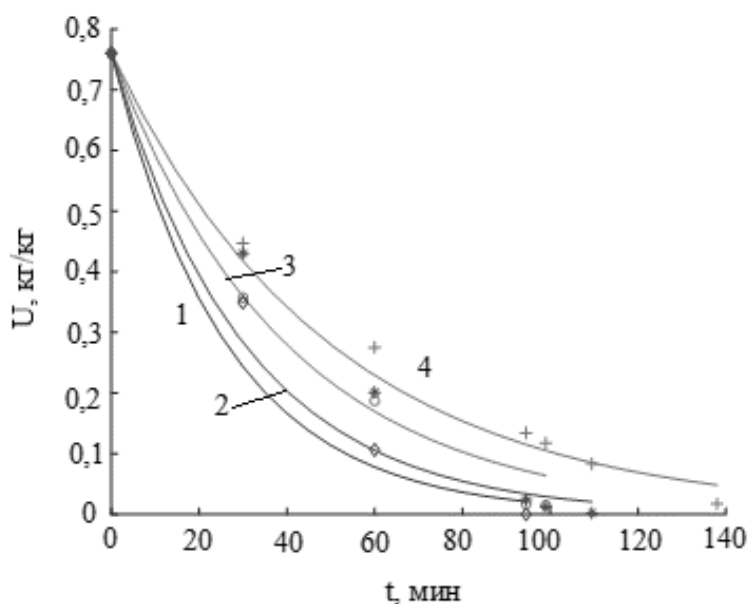


Рис. 1. Рассчитанные с использованием уравнения (1) кривые кинетики сушки при разных температурах и при наличии или отсутствии УЗ воздействия и экспериментальные значения
1 - УЗ, T = 80°C; 2 - T = 80°C; 3 - УЗ, T = 50°C; 4 - T = 50°C.

Наличие концентрационной зависимости важного кинетического коэффициента-коэффициента массопроводности при различных температурах сушильного агента позволяет во многих случаях осуществлять кинетический расчет и численное моделирование процесса сушки на основе математических моделей [9].

Накопление и систематизация данных по кинетике сушки и коэффициенту массопроводности для различных тканей расширяет практическое использование математических методов для расчета и анализа кинетики их сушки. Экспериментально обоснованные зависимости коэффициентов массопроводности от влагосодержания материала и температуры сушильного агента получены из кривых кинетики сушки и могут использоваться при прогнозировании кинетики конвективной сушки плотных шерстяных тканей.

Коэффициенты массопроводности k получены зональным методом [9-10] на основе экспериментальных кинетических кривых сушки. Получена функциональная зависимость k от влагосодержания ткани (u) и от температуры сушки (t_c):

$$K(u, t_c) = 0.04125 \cdot \exp(0.01834 \cdot t_c + 1.246 \cdot u) + 0.01114 \quad (3)$$

Сумма квадратов отклонений расчетных данных от опытных составила <0.01 для нормированных значений, следовательно, рассчитанные по уравнению (3) кинетические коэффициенты массопроводности могут использоваться для кинетических расчётов тканей рассмотренной группы.

Полученные результаты можно использовать для анализа и расчёта кинетики конвективной сушки плотных шерстяных тканей, с учётом экспериментально обоснованной зависимости влагосодержания материала от температуры сушильного агента и наличия интенсифицирующего ультразвукового воздействия, прогнозировать кинетику конвективной сушки плотных шерстяных тканей.

Получено положительное решение о выдаче патента «Способ сушки плотных суконных тканей с применением ультразвукового поля» от 17.06.2024 по заявке № 2023124488 [11]. Технический результат достигается за счет того, что сушка суконной шерстяной ткани плотностью 760 – 800 г/м² проводится при ультразвуковом воздействии десяти источников ультразвука с частотой ультразвукового колебания 20 кГц и амплитудой колебаний рабочего инструмента ≥ 70 мкм, с одновременной противоточной подачей со скоростью 6 м/с горячего воздуха, нагретого до температуры 80°C.

Интенсификация процесса сушки позволит повысить производственную и экологическую безопасность производства изученного объекта сушки. Для безопасности применения ультразвука в качестве интенсификатора, необходимо соблюдать требования к охране труда при использовании физических полей. Важную роль играет выбор параметров ультразвукового воздействия, что реализовано в работе. Проведённый предварительный экономический анализ показывает, что при внедрении ультразвуковых аппаратов в сушильно-ширильную машину будет происходить уменьшение затрачиваемой электрической энергии, сократятся расходы тепла для нагревания воздуха за счёт понижения температуры сушильного агента. При использовании десяти ультразвуковых излучателей время процесса сушки в реальной сушилке сократится на 65-70%, производительность средней фабрики увеличится, например, с 150000 до 225000 погонных метров в год.

Показано, что при интенсификации процесса в соответствии с запатентованным способом снижаются затраты энергии, водяного пара, уменьшаются тепловые выбросы, негативный вклад в образование карбонового следа, улучшаются параметры микроклимата в рабочей зоне и др. В результате математической обработки экспериментальных данных получены уравнения, позволяющие прогнозировать эффективность процесса сушки при различных режимных параметрах процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 27542-87 Ткани суконные чистошерстяные и полшерстяные ведомственного назначения. Дата введения 1989-01-01 / Изд. официальное. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 1987. – 12 с.
2. Сажин Б.С., Кошелева М.К., Сажина М.Б. Процессы сушки и промывки текстильных материалов. – М.: МГУДТ, 2013. – 301 с.
3. M. Kosheleva, A. Shalunov, O. Dornyak, M. Isaev, S. Terentiev Kinetics of contact ultrasonic drying of thick woolen fabric. E3S Web of Conf. V. 389. Art. N. 01008. (2023). DOI: 10.1051/e3sconf/202338901008.
4. Хмелев В.Н., Нестеров В.А., Кошелева М.К., Генне Д.В., Тertiшников П.П. Разработка экспериментального стенда для исследования непрерывной конвективной сушки текстильных материалов при контактном ультразвуковом воздействии. Промышленные процессы и технологии. 2022. Т. 2. № 2. С. 64-76. [https://doi.org/10.37816/2713-0789-2022-2-2\(4\)-64-76](https://doi.org/10.37816/2713-0789-2022-2-2(4)-64-76).
5. Гуляев Ю.В., Белгородский В.С., Кошелева М.К. Обзор материалов симпозиума "Вторые международные Косыгинские чтения "Энергоресурсоэффективные экологически безопасные технологии и оборудование", приуроченные к 100-летию РГУ имени А.Н. Косыгина" Теоретические основы химической технологии. 2020. Т. 54. № 3. С. 392-396. DOI: 10.31857/S0040357120030057.
6. Павлюкевич Н. В. Введение в теорию тепло- и массопереноса в пористых средах / Н.В. Павлюкевич; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова. — Минск : Ин-т тепло- массообмена, 2002. — 140 с. ил.; 20. — ISBN 985-6456-31-2.

7. Акулич П. В. Термогидродинамические процессы в технике сушки / П.В. Акулич; Под ред. д.т.н. П.С. Куца, Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова. — Минск : Ин-т тепло- и массообмена, 2002. — 267 с. ил.; 20. — ISBN 985-6456-27-4.
8. Исаев М.В. Повышение эффективности процесса конвективной сушки плотных шерстяных тканей / М.В. Исаев, М.К. Кошелева, А.В. Шалунов // Тезисы докладов Всероссийской школы-конференции молодых ученых «ДНИ НАУКИ В ИГХТУ», 24-28 апреля 2023 года. - Иваново, Ивановский государственный химико–технологический университет, 2023. – С. 419.
9. Рудобашта С.П., Карташов Э.М. Диффузия в химико-технологических процессах. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: КолосС, 2013. 478 с.
10. Kosheleva M.K., Rudobashta S.P., Dorniyak O.R., Dmitriev V.M. Mass conductivity of flat fibrous materials during their convective drying. ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]. 2023. V. 66. N 1. P. 120-125. DOI: 10.6060/ivkkt.20236601.6683.
11. Заявка 2023124488, 22.09.2023, Российская Федерация. Способ сушки плотных суконных тканей с применением ультразвукового поля / Кошелева М.К., Шалунов А.В., Исаев М.В., Новикова Т.А.; заявитель ФГБОУ ВО «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», приоритет от 22.09.2023.