

УДК 667.6

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОПИТКИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ

А.С. Марущак, В.И. Ольшанский, С.В. Жерносек

Витебский государственный технологический университет

(г. Витебск, Республика Беларусь)

Аннотация. Объектом исследования является процесс пропитки текстильных материалов в ультразвуковом поле. Авторами проведены экспериментальные исследования пропитки текстильных материалов от режимных параметров процесса пропитки в условиях воздействия ультразвука. Результаты работы позволяют прогнозировать изменение физико-механических и физико-химических характеристик аппретирующего состава и обрабатываемого волокнистого материала в процессе заключительной отделки в условиях ультразвуковой обработки, оптимизировать технологические параметры процесса пропитки.

Ключевые слова: пропитка тканей, поверхностное натяжение, вязкость, краевой угол смачивания, эффективность пропитки, объемная скорость пропитки.

ВВЕДЕНИЕ

В операциях заключительной отделки текстильных материалов с использованием аппретов (в особенности, на основе термореактивных смол) существуют определенные трудности, связанные с сушкой и термофиксацией, так как полимерные вещества обычно мигрируют к поверхности материала в процессе конвективной сушки, неравномерно распределяясь по толщине и локализуясь на поверхности волокнистого материала. В результате этого качество отделки материала находится на невысоком уровне [1–7]. Одним из способов повышения качества и интенсификации процессов отделки текстильных материалов является применение ультразвуковых колебаний [2–5, 7].

Преимущество ультразвуковой обработки при отделке, по сравнению с конвективным способом подвода тепла, обусловлено возможностью совмещения операций химической отделки: крашения, аппретирования, сушки. Технологический процесс заключительной отделки включает операцию нанесения аппрета способом импрегнирования с последующей сушкой на материале. Аппретирующая композиция проникает в капилляры и поры материала, затем растворитель удаляется, а полимер остается в его капиллярах и порах. Качество готового материала зависит от эффективности протекания основных физико-химических процессов, происходящих при пропитывании волокнистого материала. К этим процессам относятся смачивание волокнистых материалов жидкими системами на основе полимерных композиций; капиллярные явления, т.е. особенности движения жидкости в капилляре; выделение и закрепление полимера на поверхности волокон путем образования адгезионных контактов [2–5].

Целью является исследование процесса пропитки текстильных материалов полимерным составом под действием ультразвуковых колебаний различной частоты. Эффективность процесса пропитывания тканей может характеризоваться скоростью и полнотой пропитывания. Под скоростью пропитывания обычно понимают скорость продвижения жидкости вглубь волокнистого материала. Указанная скорость зависит как от свойств аппрета, так и от структуры ткани; может быть также охарактеризована

временем, необходимым для поглощения материалом определенного количества жидкости [8].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для исследования процессов жидкостной обработки текстильных материалов в условиях ультразвукового воздействия разработана опытно-экспериментальная установка.

Для реализации технологических процессов под действием ультразвуковых колебаний в аппретирующих составах и красителях необходимы источники ультразвуковых колебаний (ультразвуковые преобразователи). Ультразвуковой преобразователь – это устройство, обеспечивающее преобразование подводимой энергии какого-либо вида в энергию ультразвуковых колебаний [9]. Интенсивность ультразвуковых колебаний в жидкости на частоте 20 кГц, соответствующая порогу кавитации, составляет около 0,3–1,0 Вт/см² [7, 11]. При увеличении частоты колебаний до 40 кГц размеры кавитационных областей пропорционально уменьшаются и интенсивность падает примерно в 2 раза.

Применяемое в промышленности ультразвуковое оборудование имеет общие признаки, связанные с принципами организации функционирования. На рис. 1 представлена структурная схема ультразвукового технологического аппарата, который состоит из сетевого источника питания, транзисторного усилителя (инвертора), задающего генератора ультразвуковой частоты, устройства контроля и управления, устройства согласования, колебательной системы (ультразвукового преобразователя и концентратора), технологической среды [9, 11].



Рис. 1. Схема ультразвукового аппарата

Для создания ультразвуковых колебаний в различных средах применяют пьезоэлектрические преобразователи, которые характеризуются высоким электроакустическим КПД, требуют относительно низких напряжений питания, обеспечивают генерацию упругих колебаний в широком диапазоне частот, способны работать без принудительного охлаждения при высоких температурах (более 100 °С).

Ультразвуковые электронные генераторы предназначены для преобразования тока промышленной частоты в ток высокой частоты и используются для питания электроакустических преобразователей. В настоящее время ультразвуковые генераторы выполняются на полупроводниковых приборах – транзисторах и тиристорах. Применение тиристорных инверторов ограничено из-за низких частотных свойств тиристоров и сложности схемы управления. Наиболее широко в настоящее время используют ультразвуковые генераторы на транзисторах. Поскольку параметры транзисторов непрерывно улучшаются, они являются самыми подходящими приборами для разработки новых ультразвуковых генераторов [1, 11].

Ультразвуковой генератор является сложным электронным прибором, объединяющим в себе силовые модули, измерительные цепи с управляющими микропроцессорными системами.

Процессы аппретирования и крашения происходят в жидкой среде и не требуют стабилизации амплитуды колебаний из-за инерционности и достаточно длительного времени воздействия. Для исследования процессов крашения и промывки тканей в работе применялась лабораторная установка (рис. 2).



Рис. 2. Экспериментальная установка для исследования процессов крашения и промывки тканей

Установка имеет съемную ванну с установленными на ней контактными датчиками температуры (термопары) и быстросъемным штуцером для удаления технологического раствора, каркаса с закрепленной на нем погруженной в технологический раствор

ультразвуковой колебательной системой с пьезоэлектрическими преобразователями, создающими колебания ультразвукового диапазона частот (22–40 кГц), ультразвуковым генератором мощностью до 300 Вт (рис. 3).

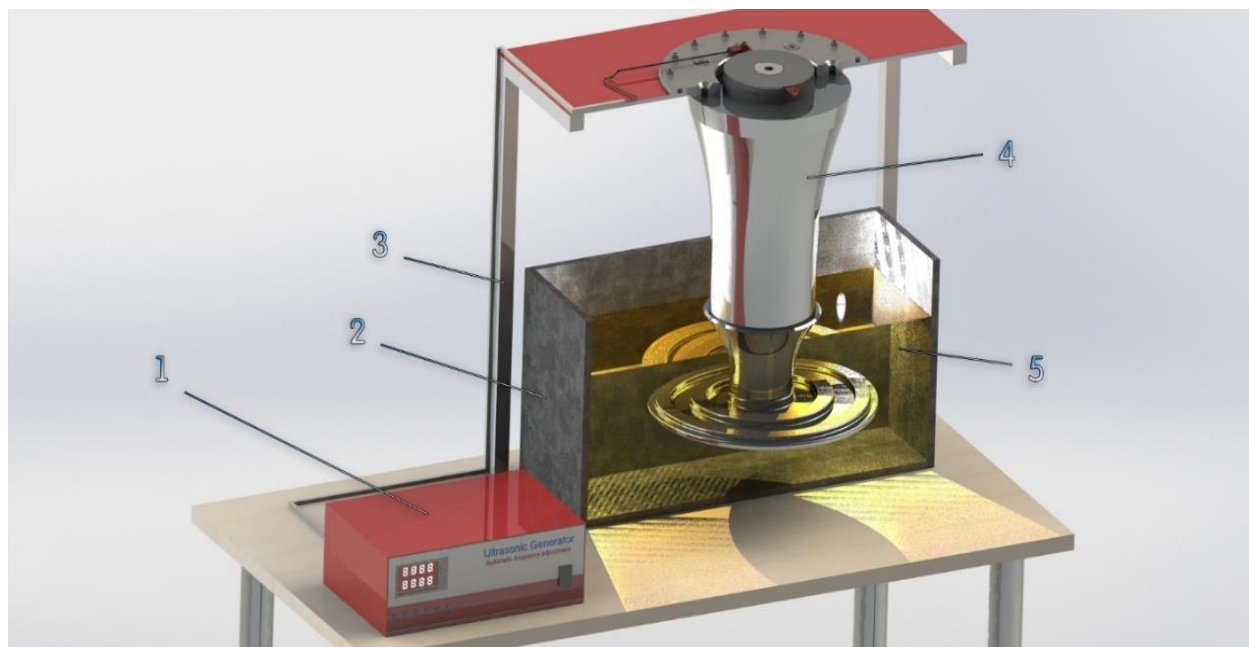


Рис. 3. Экспериментальная установка для исследования процессов крашения и промывки тканей: 1 – ультразвуковой генератор; 2 – ванна; 3 – каркас; 4 – ультразвуковая колебательная система; 5 – раствор

Известно, что при центральном возбуждении плоского тонкого диска распределение колебательных смещений изгибных колебаний вдоль поверхности диска будет иметь вид стоячих волн. Из-за того, что различные точки поверхности диска излучают колебания в противоположенных фазах (на некотором расстоянии от диска на его оси) акустическое излучение отдельных участков диска частично компенсируется. Для того чтобы уменьшить влияние участков диска, излучающих колебания в «отрицательной» фазе, увеличена толщина диска в указанных участках. Поэтому излучатель выполнен в виде ступенчато-переменного по толщине диска (рис. 4) [5]. Из представленного на рис. 4 распределения колебаний видно, что амплитуда колебаний «отрицательных» зон уменьшена по сравнению с амплитудой колебаний «положительных» зон. При этом полной взаимной компенсации ультразвуковых колебаний в воздушной среде не происходит.

Для обеспечения максимальной амплитуды колебаний и возможности работы при максимальных механических напряжениях излучатели выполняют из титановых сплавов (рис. 4). В настоящее время разработаны и используются в практике ультразвуковые аппараты с титановыми излучателями различного диаметра (от 200 до 430 мм). Однако из-за высокой стоимости и низкой технологичности титана при изготовлении акустических систем часто применяют алюминиевые сплавы.

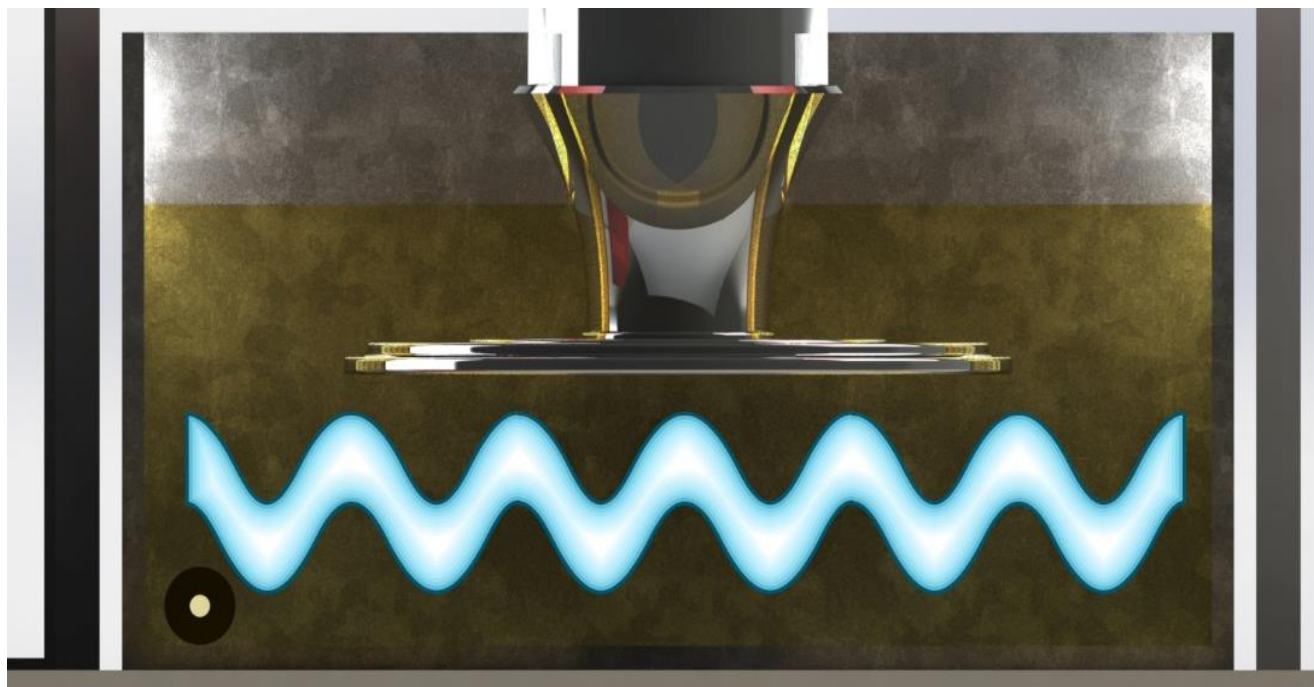


Рис. 4. Диск ступенчато-переменного сечения с преимущественным излучением одной фазы колебаний

Для проведения эксперимента была выбрана трикотажная полиэфирная ткань, технические характеристики которой представлены в табл. 1.

Таблица 1

Технические характеристики исследуемых материалов

Маркировка материала	Вид материала	Поверхностная плотность, г/м ²	Разрывная нагрузка, Н (продольное/поперечное направление)	Термостойкость, °С
ВФ-12	Трикотаж	420±50	1 850/1 200	145

Отбор проб производился по ГОСТ 3813-72 (ИСО 5081-77, ИСО 5082-82) «Материалы текстильные. Ткани и штучные изделия», климатические параметры лаборатории – по ГОСТ 10681-75 «Материалы текстильные. Климатические условия для кондиционирования и испытания проб и методы их определения». Климатические параметры для умеренной зоны: относительная влажность воздуха – 65±2%; температура воздуха – 20±2°С.

Режимные параметры: частота ультразвука – 22, 40 кГц; мощность ультразвука – 30, 90 Вт.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Графические зависимости высоты капиллярного подъема от времени для трикотажного материала ВФ-12 представлены на рис. 5.

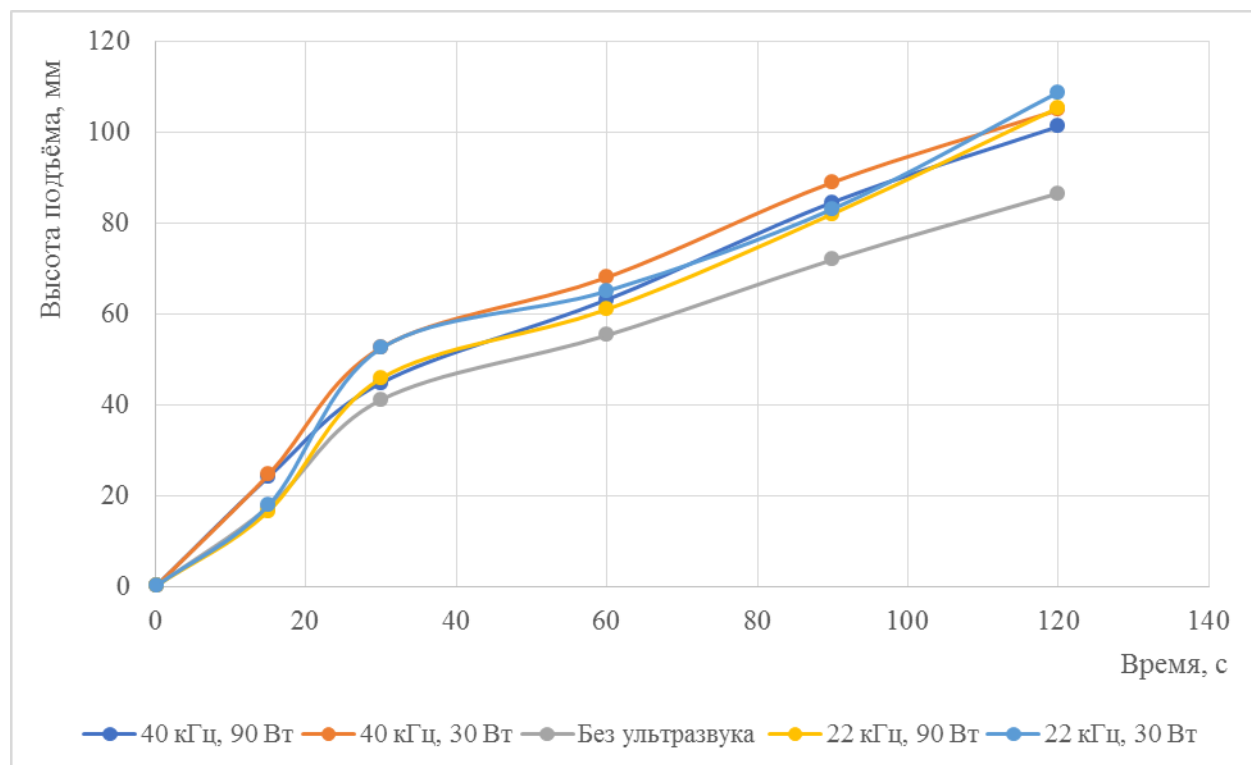


Рис. 5. Зависимость высоты капиллярного подъема от времени для трикотажного материала ВФ-12

Анализ графика показывает, что для исследуемого материала максимальная высота капиллярного подъема достигается при воздействии ультразвука мощностью 30 Вт и частотой 22 кГц. При рассмотренных режимах обработки трикотажного материала с использованием ультразвукового кавитационного воздействия установлено увеличение скорости капиллярного подъема жидкости. Основным параметром, характеризующим эффективность кавитационного воздействия, является индекс кавитации, который определяется как отношение объема кавитационных пузырьков к объему жидкости, в котором локализовано это облако. Подход к установлению индекса кавитации заключается в нахождении радиуса кавитационного пузырька в зависимости от частоты и интенсивности воздействия и определении в зависимости от частоты ультразвукового поля и физических свойств обрабатываемой жидкости. R и R_{MAX} определяются на основании решений уравнений динамики кавитационного пузырька, связывающих скорость движения стенки кавитационного пузырька, текущий радиус пузырька и звуковое давление.

Установленные закономерности имеют практическое применение при определении рациональных режимов жидкостной обработки капиллярно-пористых материалов. При решении задач по установлению рациональных режимов обработки с использованием акустической кавитации необходимо разграничивать два типа активности пузырьков: стабильную кавитацию и коллапсирующую, или нестационарную, кавитацию. Однако четкую границу между ними не всегда удается провести. Стабильные полости пульсируют под воздействием давления ультразвукового поля. Радиус пузырька колеблется около

равновесного значения, полость существует в течение значительного числа периодов звукового поля. С активностью такой стабильной кавитации может быть связано возникновение акустических микропотоков и высоких сдвиговых напряжений. Коллапсирующие, или нестационарные, полости осциллируют неустойчиво около своих равновесных размеров, вырастают в несколько раз и энергично схлопываются. Схлопыванием таких пузырьков могут быть обусловлены высокие температуры и давления. Малые пузырьки могут расти вследствие процесса, называемого выпрямленной, или направленной, диффузией. Объяснение этого явления состоит в том, что за период акустического поля газ поочередно диффундирует в пузырек во время фазы разрежения и из пузырька во время фазы сжатия [10, 12].

При схлопывании кавитационного пузырька возникает местное повышение давления. Поскольку таких пузырьков образуется до нескольких миллионов в секунду, появляется кавитационная область, в которой действие указанных факторов весьма значительно. Следствием схлопывания кавитационных пузырьков являются ударные волны, которые создают в ближайшей зоне давления, в 100 раз превышающие первичное давление акустического поля [10]. При значительном увеличении интенсивности колебаний и достижении «порогового» значения мощности излучателя могут происходить повреждение микроволокон материала и снижение прочности текстильных материалов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведения теоретико-экспериментальных исследований установлены закономерности пропитки трикотажных полиэфирных материалов с применением акустических колебаний ультразвукового диапазона. Полученные результаты могут быть использованы для определения рациональных режимов обработки (комбинаций мощности, частоты и продолжительности обработки для водных дисперсий с заданной концентрацией полимеров), обеспечивающих отсутствие разрушений микроволокон, создание благоприятных условий для впитывания в капиллярно-пористую структуру, достижение высокой прочности пропитанных в условиях ультразвукового кавитационного воздействия композиционных материалов и ускорение технологического процесса влажно-тепловой обработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ возможностей и выработка предложений для реализации малогабаритной системы акустической сушки для стиральных машин. URL: http://ultrasonic.ru/downloads/issled/Acoustic_Drying_Cloth_1.pdf (дата обращения: 15.05.2018).
2. Бизюк А.Н., Жерносек С.В., Ясинская Н.Н., Ольшанский В.И. Исследование пропитки текстильных материалов в поле СВЧ-излучения // *Вестник Витебского государственного технологического университета*. 2014. № 26. С. 21–28.
3. Kulnev A., Zhernosek S., Alshanski V., Yasinskaya N. Intensification of the process of dyeing polyester fabrics by dispersive dyes under conditions of acoustic vibrations of ultrasonic range // *Education and Science in the 21st century*. 2017. pp. 64–67.
4. Ясинская Н.Н., Скобова Н.В., Бизюк А.Н. Исследование процесса пропитки при формировании композиционных текстильных материалов. *Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2018): сборник материалов Международной научно-технической конференции*. М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2018. С. 96–100.

5. Беззубцева М.М., Сапрыкин А.Е., Пилуков И.Г. Интенсификация технологических процессов АПК ультразвуковой кавитацией // *Успехи современного естествознания*. 2014. № 12. С. 180–185.
6. Хмелев В.Н., Хмелев С.С., Цыганок С.Н., Титов Г.А. Ультразвуковая пропитка полимерных композиционных материалов // *Южно-Сибирский научный вестник*. 2012. № 2 (2). С. 193–196.
7. Герасимов М.Н. Пропитка тканей: процесса, технология, оборудование. Иваново: ИГТА, 2002. 176 с.
8. Воюцкий С.С. Физико-химические основы пропитывания и импрегнирования волокнистых систем водными дисперсиями полимеров. М.: Химия. 1969. 336 с.
9. Кононов И.С. Исследование реологических свойств растворов полимеров и полимерных композиций на ротационном вискозиметре «Реотест-2». Бийск: АлтГТУ, 2011. 18 с.
10. Шибашов А.В., Шибашова С.Ю. Изучение влияния низкочастотного ультразвукового поля на пероксидные растворы // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*. 2012. № 2 (338). С. 73–75.
11. Хмелев В.Н., Сливин А.Н., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н., Шалунов А.В. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности. Бийск: АлтГТУ, 2010. 203 с.
12. Сарсенгалиев А.М. Повышение эффективности ультразвукового удаления оксидного поверхностного слоя с внутренних поверхностей в деталях сложной конструкции сочетанием кавитации и контактного вибровоздействия: дис... канд. техн. наук. Саратов, 2018. 131 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

МАРУЩАК Алексей Сергеевич – аспирант кафедры технологии и оборудования машиностроительного производства, УО «Витебский государственный технологический университет», 210035, Республика Беларусь, г. Витебск, Московский пр., 72. E-mail: alexeumarushak@mail.ru

ОЛЬШАНСКИЙ Валерий Иосифович – кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии и оборудования машиностроительного производства, УО «Витебский государственный технологический университет», 210035, Республика Беларусь, г. Витебск, Московский пр., 72.

ЖЕРНОСЕК Сергей Васильевич – кандидат технических наук, доцент, заместитель заведующего кафедрой технологии и оборудования машиностроительного производства, УО «Витебский государственный технологический университет», 210035, Республика Беларусь, г. Витебск, Московский пр., 72.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Марущак А.С., Ольшанский В.И., Жерносек С.В. Исследование процесса пропитки текстильных материалов в условиях воздействия ультразвуковых колебаний // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2020. № 1 (5). С. 83–92.

RESEARCH OF THE PROCESS OF IMPREGNATION OF TEXTILE MATERIALS UNDER THE CONDITIONS OF EXPOSURE TO ULTRASONIC OSCILLATIONS

A.S. Marushchak, V.I. Olshansky, S.V. Shernosek
Vitebsk State Technological University (Vitebsk, Belarus)

Abstract. The object of research is the process of impregnation of textile materials in an ultrasonic field. The authors conducted experimental studies of the impregnation of textile materials from the operating parameters of the impregnation process under the influence of ultrasound. The results of the work make it possible to predict a change in the physicochemical and physicochemical characteristics of the sizing composition and the processed fibrous material during the final finishing under ultrasonic treatment, to optimize the technological parameters of the impregnation process.

Keywords: tissue impregnation, surface tension, viscosity, wetting angle, impregnation efficiency, impregnation volumetric rate.

REFERENCES

1. Analysis of opportunities and development of proposals for the implementation of a small-sized system of acoustic drying for washing machines. URL: http://u-sonic.ru/downloads/issled/Acoustic_Drying_Cloth_1.pdf. (date of access: 05.15. 2018). (In Russian).
2. Bizyuk A. N., Zhernosek S. V., Yasinskaya N. N., Olshansky V. I. The study of the impregnation of textile materials in the field of microwave radiation. *Vestnik VGTU*. 2014. No. 26, pp. 21–28. (In Russian).
3. Kulnev A., Zhernosek S., Alshanski V., Yasinskaya N. Intensification of the process of dyeing polyester fabrics by dispersive dyes under conditions of acoustic vibrations of ultrasonic range. *Education and Science in the 21st century*. 2017. pp. 64–67. (In Russian).
4. Yasinskaya N.N., Skobova N.V., Bizyuk A.N. Study of the impregnation process in the formation of composite textile materials. *Design, Technologies and Innovations in the Textile and Light Industry (INNOVATIONS-2018): Papers of International scientific conference*. M.: RGU im. A.N. Kosygina, 2018. pp. 96 –100. (In Russian).
5. Bezzubtseva M.M., Saprykin A.E., Pilyukov I.G. Intensification of technological processes in the agricultural sector with ultrasonic cavitation. *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya*. 2014. No. 12, pp. 180–185. (In Russian).
6. Khmelev V.N., Khmelev S.N., Tsyganovk S.N., Titov G.A. Ultrasonic impregnation of polymer composite materials. *Yuzhno-Sibirskij nauchnyj vestnik*. 2012. No. 2 (2), pp. 180–185. (In Russian).
7. Gerasimov M.N. Propitka tkaney: processa, tekhnologiya, oborudovanie [Impregnating fabrics: process, technology, equipment]. Ivanovo: ISTA, 2002. 176 p.
8. Voyutskiy S.S. Fiziko-himicheskie osnovy propityvaniya i impregnirovaniya voloknistykh sistem vodnymi dispersiyami polimerov [Physico-chemical principles of impregnation and impregnation of fibrous systems with aqueous dispersions of polymers]. M.: Himia, 1969. 336 p.
9. Kononov I.S. Research of the rheological properties of polymer solutions and polymer compositions on a Reotest-2 rotational viscometer. Biysk: Publishing house AltGTU, 2011. 18 p.

10. Shibashov A.V., Shibashova S.Y. Study of the influence of the low-frequency ultrasonic field on peroxide solutions. *Izvestiya vuzov. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti*. 2012, No. 2 (338), pp. 73-75. (In Russian).
11. Khmelev V.N., Slivin A.N., Barsukov R.V., Tsyganok S.N., Shalunov A.V., Khmelev V.N. Application of high-intensity ultrasound in industry. Biysk: Publishing house Alt. state tech. unth. 2010. 203 p.
12. Sarsengaliev A. M. Increasing the efficiency of ultrasonic removal of an oxide surface layer from internal surfaces in complex design details by a combination of cavitation and contact vibration exposure. Cand. Diss. (Engineering). Saratov. 2018. 131 p. (In Russian).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

MARUSHCHAK Aleksey Sergeevich – postgraduate student of the Department of Technology and Equipment of Machine-building Production, Vitebsk State Technological University, 72, Moskovsky avenue, Vitebsk, 210035, Belarus. E-mail: alexeymarushak@mail.ru

OLSHANSKY Valery Iosifovich – Candidate of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Technology and Equipment of Machine-building Production, Vitebsk State Technological University, 72, Moskovsky avenue, Vitebsk, 210035, Belarus.

ZHERNOSEK Sergey Vasilievich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Assistant Manager, Head of the Department of Technology and Equipment of Machine-building Production, Vitebsk State Technological University, 72, Moskovsky avenue, Vitebsk, 210035, Belarus.

CITATION FOR AN ARTICLE

Marushchak A.S, Olshanskii V.I., Zhernosek S.V. Research of the process of impregnation of textile materials under the conditions of exposure to ultrasonic oscillations // Vestnik of Tver state technical university. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2020. No. 1 (5), pp. 83–92.

УДК 614.8.084

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ТЕРМООБРАБОТКИ НА КАЧЕСТВО ПЛАЩЕВЫХ ТКАНЕЙ, ОБРАБОТАННЫХ В ПСЕВДООЖИЖЕННОМ СЛОЕ ИНЕРТНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

С.Д. Семейников, Т.С. Копылова, Д.С. Семейников

Тверской государственный технический университет (г. Тверь)

Аннотация. В данной работе проведены исследования качественных показателей плащевых тканей, обработанных в псевдоожигенном слое инертного теплоносителя. Приводятся сравнительные характеристики опытных образцов с образцами, обработанными в «кипящем слое». Особое внимание уделяется адгезии полимерного покрытия к ткани. У опытных образцов этот показатель оказывается более высоким, чем у производственных.