

Научная статья
УДК 674.02:533.924
DOI 10.18101/2306-2363-2025-3-3-9

Применение плазменной обработки для модификации поверхности изделий из древесины

© **Волокитин Геннадий Георгиевич**
доктор технических наук, профессор
vgg-tomsk@mail.ru.

© **Черемных Владимир Алексеевич**
аспирант
vacheremnykh@gmail.com

© **Клопотов Анатолий Анатольевич**
доктор физико-математических наук, профессор
klopotovaa@tsuab.ru

© **Власов Виктор Алексеевич**
доктор физико-математических наук, профессор
rector@tsuab.ru

Томский государственный архитектурно-строительный университет
Россия, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2

В статье рассматривается применение высокоэнтальпийной плазмы для модификации поверхности изделий из древесины хвойных пород. Представлены результаты комплексных исследований, включающих оптическую и сканирующую электронную микроскопию, позволяющих оценить морфологические и микроструктурные изменения древесины после плазменной обработки. Установлено, что воздействие плазменного потока приводит к формированию многослойной структуры приповерхностного слоя, изменению рельефа и цветового градиента, а также к выравниванию и уплотнению поверхности. Плазменная обработка способствует снижению шероховатости, частичному заполнению пор смолами, что приводит к повышению гидрофобности, износостойкости, огнестойкости и улучшению адгезионных свойств древесных материалов. Метод отличается экологической безопасностью и высокой эффективностью, открывая широкие перспективы для применения в строительстве, мебельном производстве и для подготовки поверхности к нанесению покрытий и клеевых составов.

Ключевые слова: древесина, плазменная обработка, модификация поверхности, морфология, микроструктура, гидрофобность, высокоэнтальпийная плазма.

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FEMN-2023-0003).

Для цитирования

Применение плазменной обработки для модификации поверхности изделий из древесины / Г. Г. Волокитин, В. А. Черемных, А. А. Клопотов, В. А. Власов // Вестник Бурятского государственного университета. Химия. Физика. 2025. Вып. 3. С. 3–9.

Введение

Обработка поверхности древесины является одной из ключевых задач в деревообработке и материаловедении, направленной на улучшение эксплуатационных характеристик изделий [1]. Современные требования к древесным материалам включают повышение их износостойкости, устойчивости к влаге, биодеструкции и воспламеняемости, а также улучшение адгезионных свойств для последующего нанесения покрытий [2-4]. Традиционные методы обработки часто связаны с длительным временем воздействия. Обработка поверхности древесины потоками высокоэнтальпийной плазмы представляет собой инновационный метод модификации древесных материалов, основанный на использовании высокотемпературных и высокоэнергетических плазменных струй [5]. В отличие от традиционных методов термообработки и химической модификации плазменная обработка обеспечивает локальный и контролируемый нагрев поверхности древесины с высокой скоростью, что позволяет изменять физико-химические свойства материала без глубокого разрушения структуры. Плазменная обработка, во-первых, приводит к повышению износостойкости и огнестойкости поверхности за счет изменения химического состава и структуры верхнего слоя. Во-вторых, происходит улучшение адгезионных свойства поверхности, что важно для последующих этапов нанесения покрытий и клеевых соединений. В-третьих, способствует снижению гигроскопичности и биodeградации. В-четвертых, обеспечивает экологически чистый процесс без использования токсичных химикатов [6-8]. В результате плазменная обработка древесины может быть широко использована в промышленности.

В настоящей работе представлены результаты исследования влияния обработки поверхности изделий из древесины хвойной породы (сосны) потоком высокоэнтальпийной низкотемпературной плазмы на морфологию и микроструктуру древесины с целью разработки эффективного и экологически безопасного метода модификации поверхности, обеспечивающего повышение износостойкости, огнестойкости, гидрофобности и адгезионных характеристик древесных материалов.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования использованы бруски из древесины хвойной породы сосны 100×30×10 см.

На рис. 1 представлена схема стенда для обработки изделий из древесины потоком низкотемпературной плазмы, сконструированного в ТГАСУ [9].

В процессе обработки образцов из древесины мощность плазменного генератора меняли в широких пределах — от 14,4 до 25,5 кВт. Сканирование поверхности образцов проводили со скоростями от 0,05 до 0,1 м/с при величине удельного теплового потока, равной $1,8 \cdot 10^6$ Вт/м², и скорости обработки 0,03 м/с [5].

Оптические исследования проводили при помощи цифрового микроскопа YaSmart USB 800X. Микроструктурные исследования поверхности проводили при помощи сканирующего электронного микроскопа Quanta 200 3D.

Результаты и обсуждение

Методом оптической микроскопии были проведены исследования морфологии поверхности срезов образцов из сосны до и после плазменной обработки.

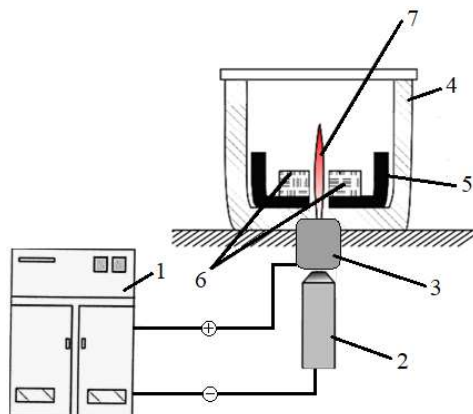


Рис. 1. Устройство стенда для обработки древесины:
1) блок питания; 2) генератор плазменного потока; 3) анодный элемент;
4) камера для фокусировки тепловых потоков; 5) направляющие для подачи образцов;
6) обрабатываемые образцы; 7) поток плазмы

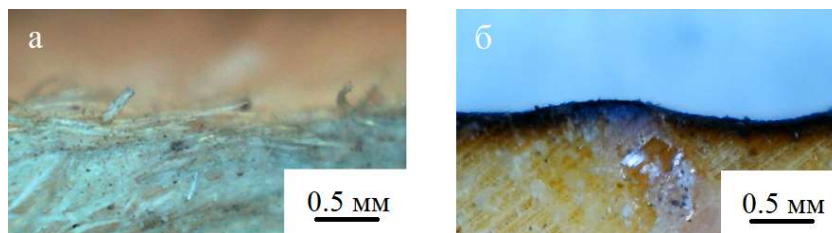


Рис. 2. Микрофотографии поверхности среза образцов из сосны: а — исходный образец;
б — обработанный потоком низкотемпературной плазмы

На микрофотографии поверхности среза древесины до обработки (рис. 2 а) видны ворсинки длиной 0,3–0,7 мм, образовавшиеся в процессе подготовки образца. Количество ворсинок и размер главным образом зависят от состояния режущего инструмента, скорости подачи (реза), сорта и влажности древесины [10].

После воздействия потоком плазмы ворсинки отсутствуют, наблюдается образование волнообразного рельефа поверхности древесины. Такой эффект связан с разной реакцией ранних и поздних клеток древесины на термическое воздействие из-за разницы в их плотности [11; 12]. Ранняя древесина за счет более низкой плотности при термическом воздействии разлагается интенсивнее, чем более поздняя. На микрофотографиях (рис. 3а) заметно чередование ранней (*область 1*) и поздней (*область 2*) древесины.

Также заметен цветовой градиент от черного на поверхности древесины до желтого на расстоянии 0,5 мм и ниже от поверхности. На рис. 3 б, в выделены три цветовые области, соответствующие разным стадиям разложения древесины. Область 1 толщиной ~0,2 мм имеет черный окрас и соответствует стадии разложения углерода. Область 2 толщиной ~ 0,25 мм имеет градиентный окрас от коричневого до золотистого цвета, соответствует стадии пиролиза древесины. Об-

ласть 3 имеет светло-желтый окрас и соответствует исходной древесине (с началом процесса сушки на границе с областью 2).

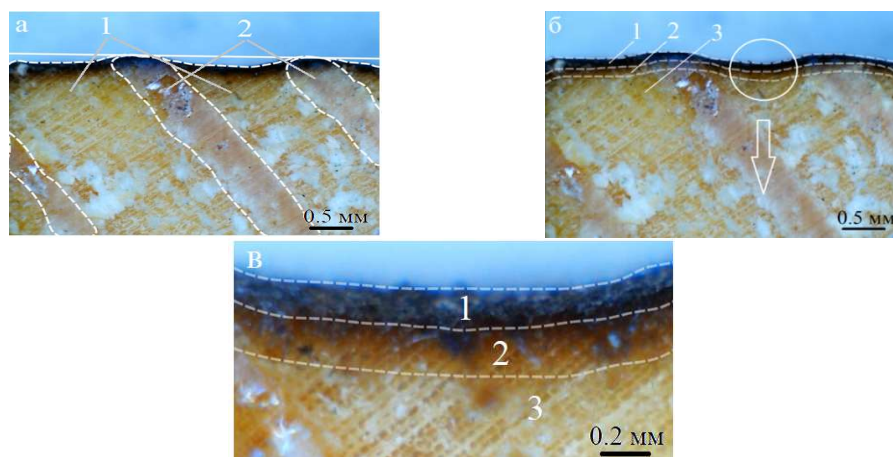


Рис. 3. Микрофотографии среза образцов из сосны после плазменной обработки:
 а — цифрами 1 и 2 показаны области ранней и поздней древесины, соответственно;
 б, в — цифрами 1 и 2 показаны области конечной стадии пиролиза и начальной стадии пиролиза соответственно; б, в — цифрой 3 область исходной древесины

По данным сканирующей электронной микроскопии (рис. 4), структура поверхности исходных (необработанных) образцов из сосны неоднородная, шероховатая, с большим количеством открытых пор и каналов (смоляные ходы, межклеточные полости, капилляры), образованных в результате распиловки изделий.

На электронных снимках образцов после обработки потоком низкотемпературной плазмы (рис. 5) заметно значительное увеличение однородности структуры древесины и уменьшение шероховатости поверхности за счет термического разложения древесных волокон. Виднеются продукты разложения древесины — частички сажи по всей площади поверхности древесины. Наблюдается большее количество пор и каналов, которые до плазменной обработки были скрыты древесными волокнами. Поры и каналы частично или полностью заполнены смолами. Это связано с движением смол к поверхности при термическом воздействии [13].

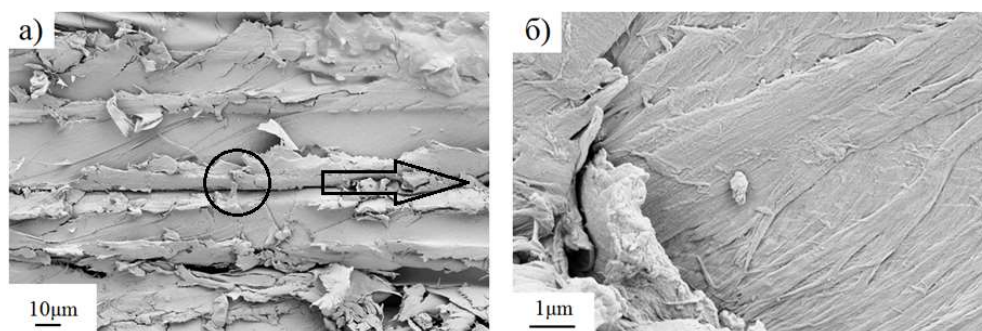


Рис. 4. Микрофотографии сканирующей электронной микроскопии поверхности древесины до обработки потоком низкотемпературной плазмы

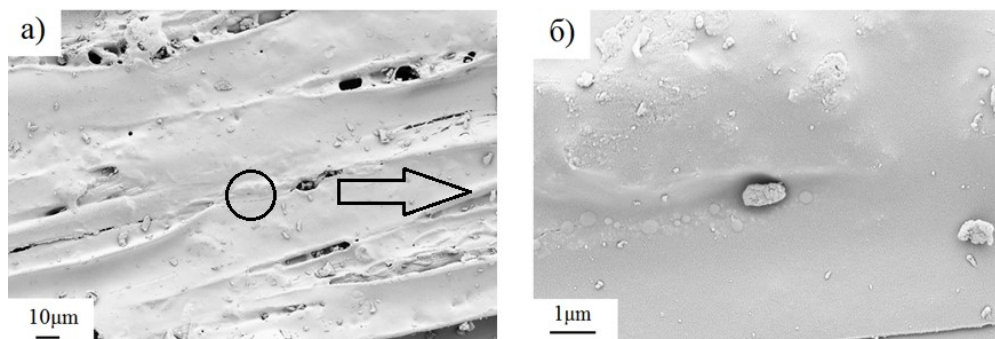


Рис. 5. Микрофотографии сканирующей электронной микроскопии поверхности древесины после обработки потоком низкотемпературной плазмы

Заключение

Плазменная обработка древесины представляет собой перспективный высокоэффективный подход к модификации поверхностных свойств древесных материалов. Комплексное исследование морфологии и микроструктуры поверхности подтвердило возможность контролируемого изменения физико-химических характеристик древесины.

Методом оптической микроскопии установлено, что на поверхности формируется многослойная структура с чётко выраженными областями разложения и цветовым градиентом, а также изменением морфологии поверхности – появляется волнообразный рельеф, обусловленный неоднородностью плотности ранней и поздней древесины.

С помощью сканирующей электронной микроскопии было обнаружено значительное сглаживание и уплотнение поверхности, снижение её шероховатости, а также раскрытие ранее невидимых пор и каналов. Под воздействием тепла смолы перемещаются и частично заполняют пористые структуры, что способствует увеличению гидрофобности и улучшению адгезионных характеристик поверхности.

Литература

1. Чижова М. А. Особенности отделки древесины хвойных пород // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2009. № 7. С. 157–161. Текст: непосредственный.
2. Уголев Б. Н. Древесиноведение и лесное товароведение. Москва: Изд-во МГУЛ, 2007. 351 с. Текст: непосредственный.
3. Щелокова Т. Н. Современные тенденции улучшения свойств древесины и деревянных строительных конструкций // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2018. № 6. С. 39–45. Текст: непосредственный.
4. Стенина Е. И., Левинский Ю. Б. Защита древесины и деревянных конструкций: учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2011. 223 с. Текст: непосредственный.
5. Создание защитного декоративного покрытия на поверхности древесины с помощью энергии низкотемпературной плазмы / Г. Г. Волокитин, Н. К. Скрипникова, О. Г. Волокитин, В. В. Шеховцов // Низкотемпературная плазма в процессах нанесения функциональных покрытий. 2014. Т. 1, № 5. С. 185–189. Текст: непосредственный.

6. Волокитин Г. Г., Устинова М. В., Черемных В. А. Определение влияния различных видов термической обработки на механические свойства древесины сосны с учетом их себестоимости // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26, № 3. С. 210–218. Текст: непосредственный.

7. Влияние обработки потоком низкотемпературной плазмы на водопроницаемость и паропроницаемость древесины сосны / Г. Г. Волокитин, В. А. Черемных, А. А. Клопотов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2024. № 5(785). С. 49–56.

8. Повышение биостойкости строительных изделий из древесины сосны путем обработки потоком низкотемпературной плазмы / Г. Г. Волокитин, В. А. Черемных, А. М. Адам, Ю. С. Саркисов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2025. Т. 27, № 1. С. 172–179.

9. Патент на полезную модель № 212821 U1 Российская Федерация, МПК В27К 5/00. Устройство для обработки поверхности изделий из древесины низкотемпературными потоками плазмы: № 2021139632: заявл. 29.12.2021: опубл. 10.08.2022 / Г. Г. Волокитин, В. В. Шеховцов, К. А. Безухов, В. А. Черемных; заявитель ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет».

10. Фридрих А. П., Клубков А. П., Санкович А. И. Влияние упруговязких свойств древесины и режимов обработки на шероховатость поверхности при фрезеровании // Механическая технология древесины. 1975. Вып. 5. С. 138–143.

11. Тарбеева Н. А., Рублева О. А. Механизм формирования модифицированного поверхностного слоя заготовок из древесины // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. Екатеринбург, 2021. С. 23–28.

12. Чубинский А. Н., Тамби А. А., Федяев А. А. Влияние строения и свойств древесины на прочность ее склеивания // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2010. № 190. С. 155–162.

13. Горбунов Д. Е., Цыбаев Д. В. Влияние условий пиролиза на выход жидких продуктов // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2010. №. 27. С. 46–48.

Статья поступила в редакцию 30.08.2025; одобрена после рецензирования 10.11.2025; принята к публикации 17.11.2025.

Application of Plasma Treatment for Surface Modification of Wood Products

Gennadii G. Volokitin
Dr. Sci. (Engineering), Prof.
vgg-tomsk@mail.ru

Vladimir A. Cheremnykh
Research Assistant
vacheremnykh@gmail.com

Anatolii A. Klopotov
Dr. Sci. (Physics and Mathematics), Prof.
klopotovaa@tsuab.ru

Viktor A. Vlasov
Dr. Sci. (Physics and Mathematics), Prof.
rector@tsuab.ru

Tomsk State University of Architecture and Building
2 Solyanaya Ploshchad, 634003 Tomsk, Russia

Abstract. The article examines the application of high-enthalpy plasma for surface modification of softwood products. The results of comprehensive studies, including optical and scanning electron microscopy, are presented to evaluate the morphological and microstructural changes in the wood after plasma treatment. It has been established that exposure to the plasma jet leads to the formation of a multilayer structure in the near-surface region, changes in surface topography and color gradient, as well as surface leveling and densification. Plasma treatment contributes to a reduction in roughness and partial filling of pores with resins, resulting in increased hydrophobicity, wear resistance, fire resistance, and improved adhesion properties of wood materials. The method is environmentally safe and highly efficient, offering broad prospects for application in construction and furniture manufacturing, as well as for surface preparation prior to the application of coatings and adhesives.

Keywords: wood, plasma treatment, surface modification, morphology, microstructure, hydrophobicity, high-enthalpy plasma.

Acknowledgments

The work was carried out within the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (topic No. FEMN-2023-0003).

For citation

Volokitin G. G., Cheremnykh V. A., Klopotov A. A., Vlasov V. A. Application of Plasma Treatment for Surface Modification of Wood Products. *Bulletin of Buryat State University. Chemistry. Physics.* 2025; 3: 3–9 (in Russ.).

The article was submitted 30.08.2025; approved after reviewing 10.11.2025; accepted for publication 17.11.2025.