

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2024. Т. 26. № 3. С. 210–218.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2024; 26 (3): 210–218.

Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 691.11–674.02:533.924

DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-3-210-218

EDN: JHCGOJ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ С УЧЕТОМ ИХ СЕБЕСТОИМОСТИ

**Геннадий Георгиевич Волокитин, Мария Владимировна Устинова,
Владимир Алексеевич Черемных**

*Томский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Томск, Россия*

Аннотация. *Актуальность.* В настоящее время вопрос создания новых и модификации существующих строительных материалов с целью улучшения их физико-механических и эксплуатационных свойств является весьма актуальным. Древесина – один из распространенных строительных материалов. Для увеличения срока службы конструкций и изделий из древесины необходимо предусмотреть ее защитную обработку от неблагоприятных факторов. Наиболее экологичным типом обработки является термическая. В качестве альтернативы термической модификации в среде разогретого пара или газа, а также обжига древесины предлагается использовать обработку поверхности древесины потоком низкотемпературной плазмы. Для определения возможности применения данного вида обработки необходимо установить влияние воздействия плазменным потоком на механические свойства древесины. Также важным вопросом, сдерживающим применение данного метода, является его себестоимость.

Цель работы – выявление влияния обработки древесины сосны потоком низкотемпературной плазмы и газозвушной горелкой на предел прочности при сжатии, а также определение и сравнение себестоимости данных видов обработки.

Результаты. В работе представлены результаты определения предела прочности при сжатии вдоль волокон для необработанных образцов из сосны в потоке низкотемпературной плазмы и обработанных с помощью газозвушной горелки. Установлено, что как плазменная обработка, так и обработка горелкой не оказывают влияния на предел прочности при сжатии. Также определено, что стоимость обработки поверхности древесины потоком низкотемпературной плазмы значительно ниже стоимости обработки газозвушной горелкой. Сравнительно низкая стоимость плазменной обработки обеспечивается высокой производительностью процесса, которая, в свою очередь, достигается благодаря значительной величине удельных тепловых потоков.

Ключевые слова: низкотемпературная плазма, древесина, себестоимость, плазменная обработка, газовая горелка

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

Для цитирования: 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. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-3-210-218. EDN: JHCGOJ

ORIGINAL ARTICLE

INFLUENCE OF THERMAL TREATMENT ON MECHANICAL PROPERTIES OF PINE WOOD WITH REGARD TO PRIME COST

Gennady G. Volokitin, Maria V. Ustinova, Vladimir A. Cheremnykh
Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia

Abstract. Currently, it is relevant to create new and modify existing building materials in order to improve their physical, mechanical and operational properties. Wood is one of the common building materials. In order to improve the service life of wooden structures and products, it is necessary to protect them from negative factors. The most eco-friendly is thermal treatment. As an alternative to thermal modification in the hot steam/gas environment and wood burning, it is proposed to use the surface treatment with low-temperature plasma. To determine the possibility of using this type of treatment, it is necessary to study the plasma flow effect on mechanical properties of wood. However, its prime cost restricts the application of this method.

The paper presents results of compressive strength testing along the fiber for pine samples before and after the treatment with low-temperature plasma and gas burner. Both methods have no effect on the compressive strength. It is shown that the treatment cost is significantly lower than that with the gas burner. Comparatively low cost of the plasma treatment is provided by the high process performance, which, in turn, is achieved through a significant value of specific heat flows.

Keywords: low-temperature plasma, wood, prime cost, plasma treatment, gas burner

Funding: This work was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Project No. FEMN-2023-0003).

For citation: Volokitin G.G., Ustinova M.V., Cheremnykh V.A. Influence of thermal treatment on mechanical properties of pine wood with regard to prime cost. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2024; 26 (3): 210–218. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-3-210-218. EDN: JHCGOJ

Введение

Древесина – органический материал растительного происхождения, имеющий широкий спектр применения [1]. Одной из областей использования древесины является ее применение в качестве строительного или отделочного материала [2, 3]. Спрос на древесину обуславливается экологичностью, восполняемостью и механическими характеристиками данного материала [4, 5, 6]. Вместе с тем на свойства древесины значительное влияние оказывает влажность. Кроме того, возможно образование плесени на поверхности изделий или их загнивание с дальнейшим снижением несущей способности конструкции или ее разрушением [7, 8, 9]. Учитывая эти особенности, необходи-

мо предусмотреть защиту древесины от неблагоприятных факторов. Известными методами защиты древесины являются ее термическая модификация и обжиг поверхности [10, 11]. Обжиг, как правило, осуществляют с использованием газоздушных горелок. При термической модификации древесина выдерживается в среде разогретого пара или газа. Такие виды термической обработки приводят к удалению грибков с поверхности древесины, поскольку температура обработки превышает их жизнеспособную температуру, а также к разложению питательной для грибков среды [12]. Однако описанные методы имеют недостатки в виде низкой производительности и высокой стоимости обработки, кроме того, термическая модификация приводит к снижению прочности древесины [13]. В качестве альтернативного метода термической обработки древесины предлагается использование энергии низкотемпературной плазмы [14].

Обработка поверхности древесины потоком низкотемпературной плазмы приводит к изменению цветовой гаммы поверхности (рис. 1), снижению водопроницаемости за счет закупоривания пор смолами и продуктами горения, а также снижению шероховатости поверхности [15]. Термическое воздействие плазменного потока позволяет уничтожить разрушающие древесину микроорганизмы на глубине до 5 мм (рис. 2), поскольку на такой глубине достигается неблагоприятная для микроорганизмов температура [12, 16, 17].



Рис. 1. Фотография образцов из древесины сосны:

a – до обработки (исходная); *б* – после обработки потоком низкотемпературной плазмы

Fig. 1. Pine wood samples:

a – before low-temperature plasma treatment; *b* – after low-temperature plasma treatment

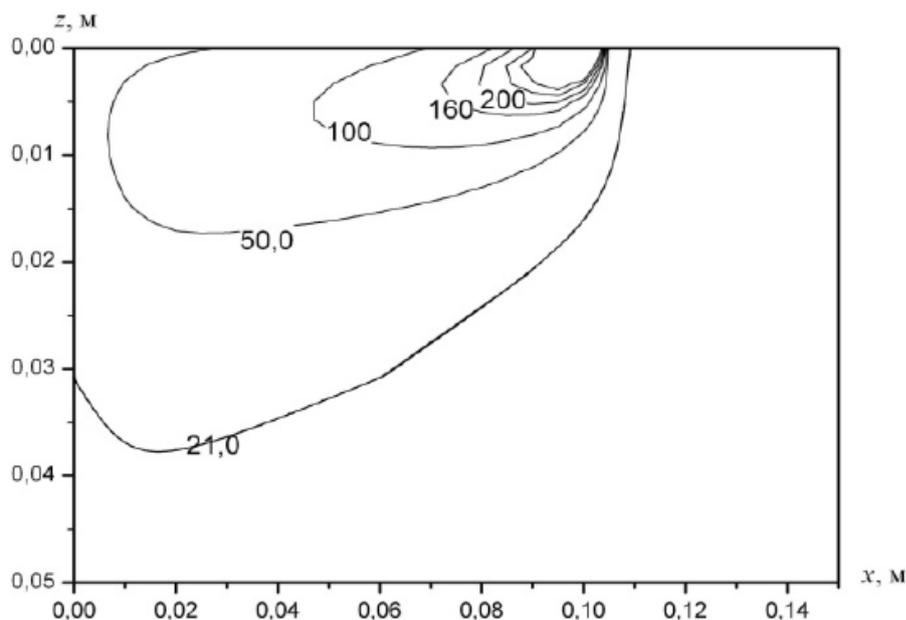


Рис. 2. Температурное поле в момент времени 0,5 с [16]
 Fig. 2. Temperature field at 0.5 s [16]

Целью работы является определение влияния обработки древесины сосны потоком низкотемпературной плазмы и газозвушной горелкой на предел прочности при сжатии, а также расчет и сравнение себестоимости данных видов обработки.

Материалы и методы исследования

Для определения предела прочности при сжатии вдоль волокон были изготовлены образцы размером 20×20×30 мм по ГОСТ 16483.10–73 из сосны Томской области. Рассматривались исходные образцы, обработанные потоком низкотемпературной плазмы и газовой горелкой.

Для обработки древесины потоком низкотемпературной плазмы использовалось устройство для обработки поверхности изделий из древесины низкотемпературными потоками плазмы [14] с плазменным генератором косвенного действия ВПР–410 мощностью 18,8 кВт, с величиной удельного теплового потока, равной $1,0 \cdot 10^6$ Вт/м². В качестве плазмообразующего газа применялся сжатый воздух, расход которого составлял 3 м³/ч. Подача сжатого воздуха осуществлялась воздушным компрессором. Для охлаждения плазменного генератора использовалась кольцевая система, состоящая из емкости объемом 10 м³, водяного насоса и шлангов. Система охлаждения заполнялась водопроводной водой. Давление воды в системе охлаждения составляло $3,0 \cdot 10^5$ Па.

Для обработки обжигом применялась горелка газозвушная с номинальной тепловой мощностью 58 кВт и величиной удельного теплового потока, равной $0,45 \cdot 10^6$ Вт/м². Для работы использовался сжиженный газ. Расход газа составлял 6,7 л/ч. Цена газа принималась равной 20 руб. за литр.

Механические испытания на сжатие образцов проводились на испытательной машине INSTRON 3382. Скорость перемещения нагружающей головки испытательной машины принята в соответствии с ГОСТ 16483.10–73 – 4 мм/мин.

Расчет себестоимости проводился на примере обработки 1 м² доски из сосны размером 20×120×2500 мм и влажностью 12 %. Производительность обработки потоком плазмы составляла 27 м²/ч. Производительность обжига горелкой определялась экспериментально для достижения схожих с плазменной обработкой характеристик покрытий на древесных изделиях и составляла 12,2 м²/ч.

На рис. 3 представлены деформационные кривые в координатах «напряжение – деформация», построенные по результатам испытаний образцов из сосны на испытательной машине INSTRON 3382.

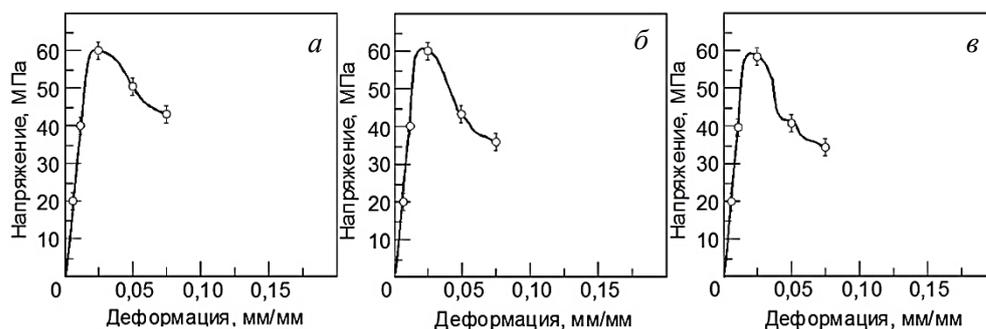


Рис. 3. Графики зависимости деформации от напряжения для образцов, изготовленных из сосны:

a – необработанные образцы; *б* – обработанные газовой горелкой; *в* – обработанные энергией плазмы

Fig. 3. Strain–stress curves for pine samples:

a – untreated; *b* – treated with a gas burner; *c* – treated with plasma

Результаты статистической обработки деформационных кривых из каждой серии образцов из сосны представлены в табл. 1. Установлено, что как обработка древесины потоком низкотемпературной плазмы, так и обработка горелкой не оказывают влияния на предел прочности при сжатии вдоль волокон. Такой результат связан с малым временем воздействия на поверхность древесины.

Таблица 1

Механические характеристики образцов из сосны

Table 1

Mechanical characteristics of pine samples

Вид обработки образцов	Модуль упругости, МПа	ϵ_b , мм/мм	$\sigma_{пл}$, МПа	σ_b , МПа
Необработанные	4540 ± 330	0,017 ± 0,003	43 ± 2	60 ± 3
Плазменная	4498 ± 330	0,017 ± 0,003	44 ± 2	59 ± 3
Газовой горелкой	4505 ± 330	0,017 ± 0,003	43 ± 2	61 ± 3

Результаты расчета себестоимости готовой продукции – древесины, прошедшей термическую обработку потоком низкотемпературной плазмы и газозвдушной горелкой, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Расчет себестоимости термически обработанной древесины

Table 2

Cost calculation of wood after plasma treatment

Статья затрат	Сумма, руб. за 1 м ² изделия	
	Плазменная обработка	Обработка газовой горелкой
Основные материалы (доски из сосны)	342	342
Оборудование и расходные материалы	3,25	0,18
Аренда помещения	6,94	15,37
Коммунальные платежи	4,90	13,55
Транспортные расходы	2,71	5,68
Заработная плата с налоговыми отчислениями	10,53	23,31
Накладные расходы	5,66	11,62
Итого: полная себестоимость	375,99	411,71
Себестоимость обработки без учета материала	33,99	69,71

После проведения анализа полученных результатов установлено: несмотря на высокую стоимость оборудования для обработки древесины потоком низкотемпературной плазмы, себестоимость 1 м² обработанного изделия выше при использовании газовой горелки. Такой результат связан с относительно низкой производительностью обработки газовой горелкой, что отражается на следующих статьях: аренда помещения, коммунальные платежи и заработная плата.

Заключение

Таким образом, в результате исследования установлено, что обработка поверхности древесины потоком низкотемпературной плазмы, как и газовой горелкой, не оказывает влияния на предел прочности при сжатии образцов из сосны. Это свидетельствует о возможности применения древесины после плазменной обработки в качестве конструкционного материала.

Себестоимость термической обработки древесины потоком низкотемпературной плазмы на 51 % ниже, чем при обработке газовой горелкой. Такой эффект связан с производительностью процесса обработки. Сравнительно высокая производительность плазменной обработки обеспечивается большей величиной удельного теплового потока. Повышение производительности обработки газозвдушной горелкой возможно при увеличении количества горелок, однако это приведет к росту таких статей затрат, как оборудование, расходные материалы и коммунальные платежи, и не даст значительного эффекта снижения себестоимости обработки.

Кроме того, стоит отметить, что низкие удельные тепловые потоки при обработке газозвдушной горелкой не смогут обеспечить уничтожения грибковых заболеваний древесины на глубине до 5 мм.

Таким образом, обработка потоком низкотемпературной плазмы может стать альтернативным методом защитной обработки древесины.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Глебов И.Т. Физика древесины. Екатеринбург : УГЛТУ, 2018. 80 с.
2. Рыбьев И.А. Строительное материаловедение. 2-е изд., испр. Москва : Высшая школа, 2004. 701 с.
3. Радина М.А. «Новое деревянное». Русское деревянное зодчество в современной интерпретации // Новые идеи нового века: материалы Международной научной конференции ФАД ТОГУ. 2015. Т. 2. С. 208–214.
4. Косов И.И. Применения древесины в качестве конструкционного материала в XXI веке // Международный журнал прикладных наук и технологий Integral. 2019. № 2-1. С. 16.
5. Запруднов В.И., Серегин Н.Г., Потехин Н.И. Перспективы строительства уникальных зданий и сооружений из древесины // Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2023. Т. 27. № 4. С. 128–136.
6. Сериков Е.А. Древесина – перспективный материал для строительства уникальных зданий и сооружений // Известия Ростовского государственного строительного университета. 2015. № 20. С. 70–75.
7. Уголев Б.Н. Древесиноведение и лесное товароведение. Москва : ГОУ ВПО МГУЛ, 2007. 351 с.
8. Стородубцева Т.Н., Аксомитный А.А., Донских Т.С. Защита древесины от влаги и гниения // Воронежский научно-технический вестник. 2014. Т. 3. № 4 (10). С. 68–73.
9. Сат Д.Х. Долговечность деревянных зданий и сооружений // Вестник Тувинского государственного университета. Вып. 3. Технические и физико-математические науки. 2022. № 4 (102). С. 48–55.
10. Тарбеева Н.А., Рублева О.А. Обоснование технологических возможностей способа упрочняющей декоративной обработки низкотемпературной древесины // Лесотехнический журнал. 2020. Т. 10. № 3 (39). С. 145–154.
11. Тарбеева Н.А., Рублева О.А., Гороховский А.Г., Шишкина Е.Е. Экспериментальное исследование комбинированного процесса изготовления облицовочных изделий на основе пьезотермической обработки деревянных заготовок // Системы. Методы. Технологии. 2021. № 1 (49). С. 90–97.
12. Ванин С.И. Гниль дерева, ее причины и меры борьбы. 3-е изд., испр. и доп. Москва ; Ленинград : Огиз : Гос. изд-во с.-х. и колхоз.-кооп. лит-ры, 1931. 160 с.
13. Владимирова Е.Г. Влияние термической модификации на некоторые физико-механические свойства древесины сосны (*Pinus sylvestris*) // Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2011. № 5. С. 97–101.
14. Патент № 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 / Волокитин Г.Г., Шеховцов В.В., Безухов К.А., Черемных В.А.
15. Черемных В.А., Волокитин Г.Г., Клопотов А.А., Скрипникова Н.К. Перспективы использования плазменных технологий в области создания и обработки строительных материалов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2022. № 8 (764). С. 65–72.
16. Волокитин Г.Г., Волокитин О.Г., Шеховцов В.В. и др. Распределение температурных полей при плазменной обработке поверхности древесины // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2013. № 3 (40). С. 220–227.
17. Бондарцев А.С. Пособие для определения домовых грибов / Акад. наук СССР. Ботан. ин-т им. В.Л. Комарова. Москва ; Ленинград : Изд-во Акад. наук СССР, 1956. 80 с.

REFERENCES

1. Glebov I.T. Physics of wood. Yekaterinburg, 2018. 80 p. (In Russian)
2. Rybyev I.A. Building materials science. 2nd ed., Moscow: Vysshaya shkola, 2004. 701 p. (In Russian)
3. Radina M.A. New wooden Russian architecture in modern interpretation. In: *Proc. Int. Sci. Conf. 'New Ideas of New Century'*, 2015. V. 2. Pp. 208–214. (In Russian)
4. Kosov I.I. The use of wood as a structural material in the XXI century. *Integral*. 2019; (2-1): 16. (In Russian)
5. Zaprudnov V.I., Seregin N.G., Potekhin N.I. Prospects for construction of unique wooden buildings. *Forestry Bulletin*. 2023; 27 (4): 128–136. (In Russian)
6. Serikov E.A. Wood as a promising material for construction of unique buildings. *Izvestiya Rostovskogo gosudarstvennogo stroitel'nogo universiteta*. 2015; (20): 70–75. (In Russian)
7. Ugolev B.N. Wood science and forest commodity science. Moscow, 2007. 351 p. (In Russian)
8. Storodubtseva T.N., Aksomitny A.A., Donskikh T.S. Wood protection from moisture and rot. *Voronezhskii nauchno-tekhnicheskii Vestnik*. 2014; 3 (4 (10)): 68–73. (In Russian)
9. Sat D.H. Durability of wooden buildings and structures. *Vestnik Tuvinskogo gosudarstvennogo universiteta. N 3 Tekhnicheskie i fiziko-matematicheskie nauki*. 2022; 4 (102): 48–55. (In Russian)
10. Tarbeeva N.A., Rubleva O.A. Substantiation of strengthening decorative processing of low-grade wood. *Lesotekhnicheskii zhurnal*. 2020;10 (3): 145–154. (In Russian)
11. Tarbeeva N.A., Rubleva O.A., Gorokhovskiy A.G., Shishkina E.E. Experimental study of combined process of manufacturing facing products based on wood piezothermal processing. *Sistemy. Metody. Tekhnologii*. 2021; 1 (49): 90–97. (In Russian)
12. Vanin S.I. Tree rot, its causes and control. Leningrad, 1931. 160 p. (In Russian)
13. Vladimirova E.G. Influence of thermal modification on some physical and mechanical properties of pine wood (*Pinus sylvestris*). *Forestry Bulletin*. 2011; (5): 97–101. (In Russian)
14. Volokitin G.G., Shekhovtsov V.V., Bezukhov K.A., Cheremnykh V.A. Device for surface treatment of wood products with low-temperature plasma. UMP Rus. Fed. N 212821 U1. 2022. (In Russian)
15. Cheremnykh V.A., Volokitin G.G., Klopotov A.A., Skripnikova N.K. Prospects of using plasma technologies in the field of creation and processing of building materials. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo*. 2022; 8 (764): 65–72. (In Russian)
16. Volokitin G.G., Volokitin O.G., Shekhovtsov V.V., et al. Temperature field distribution in wood surface plasma processing. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2013; 3 (40): 220–227. (In Russian)
17. Bondartsev A.S. Handbook for the definition of wood fungus. Leningrad, 1956. 80 p. (In Russian)

Сведения об авторах

Волокитин Геннадий Георгиевич, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, vgg-tomsk@mail.ru

Устинова Мария Владимировна, канд. экон. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, ustinovoi@yandex.ru

Черемных Владимир Алексеевич, аспирант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, vacheremnykh@gmail.com

Authors Details

Gennady G. Volokitin, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, vgg-tomsk@mail.ru

Maria V. Ustinova, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, ustinovoi@yandex.ru

Vladimir A. Cheremnykh, Research Assistant, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, vacheremnykh@gmail.com

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors contributions

The authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 02.05.2024
Одобрена после рецензирования 13.05.2024
Принята к публикации 14.05.2024

Submitted for publication 02.05.2024
Approved after review 13.05.2024
Accepted for publication 14.05.2024