

Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. 2024. С. 141–146.  
*Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century. 2024. P. 141–146.*

Научная статья  
УДК 678

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТВЕРДОСТИ ДРЕВЕСНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Дарья Валерьевна Захарова<sup>1</sup>, Ксения Алексеевна Чернавская<sup>2</sup>,  
Алексей Евгеньевич Шкуро<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Уральский государственный лесотехнический университет,  
Екатеринбург, Россия

<sup>1</sup> dariyazharova9@gmail.com

<sup>2</sup> 6360273ksushechka@gmail.com

<sup>3</sup> shkuruae@m.usfeu.ru

**Аннотация.** Твердость является одной из важнейших эксплуатационных характеристик изделий из древесины и композиционных материалов на ее основе. Существует множество способов определения твердости. Зачастую результаты их применения плохо соотносятся между собой. В настоящей работе проведено исследование твердости некоторых древесных композитов (древесно-стружечная плита и древесно-полимерный композит). Для этого были выбраны такие способы определения твердости как метод Шора и метод Бринелля. Результаты испытаний были подвергнуты корреляционному и регрессионному анализу для установления зависимости между методами испытаний твердости.

**Ключевые слова:** древесные композиционные материалы, твердость по Шору, твердость по Бринеллю, регрессионный анализ

**Для цитирования:** Захарова Д. В., Чернавская К. А., Шкуро А. Е. Исследование твердости древесных композиционных материалов // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. Екатеринбург, 2024. С. 141–146.

Original article

## THE STUDY OF THE HARDNESS OF WOOD COMPOSITE MATERIALS

**Daria V. Zakharova<sup>1</sup>, Ksenia A. Chernavskaya<sup>2</sup>, Alexey E. Shkuro<sup>3</sup>**

<sup>1, 2, 3</sup> Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

<sup>1</sup> dariyaxarova9@gmail.com

<sup>2</sup> 6360273ksushechka@gmail.com

<sup>3</sup> shkuruae@m.usfeu.ru

**Abstract.** Hardness is one of the most important performance characteristics of wood products and wood-based composite materials.

There are many ways to determine hardness. Often the results of their use do not correlate well with each other. In this work, a study of the hardness of some wood composites (chipboard and wood-polymer composite) was carried out. For this purpose, the following methods for determining hardness were chosen: the Shore method and the Brinell method. The test results were correlated and regression analyzed in order to establish the relationship between hardness testing methods.

**Keywords:** wood composite materials, Shore hardness, Brinell hardness, regression analysis

**For citation:** Zakharova D. V., Chernavskaya K. A., Shkuro A. E. The study of the hardness of wood composite materials // Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century. Yekaterinburg, 2024. P. 141–146.

Твердость – это способность материала оказывать сопротивление пластической деформации. Твердость можно оценить с помощью ряда методов, в основе которых лежат различные типы механического воздействия на материал: вдавливание, нанесение царапин или отскок от поверхности образца. Сегодня для определения твердости применяются 7 основных методов [1]: Роквелла, Бринелля, Викерса, Кнупа, Шора, Вебстера и Лееба. В области переработки полимерных композиционных материалов наиболее широко распространены методы Шора и Бринелля. Их схемы приведены на рис. 1 и 2.

Существующие способы определения твердости не являются отражением некоторого фундаментального свойства материалов, поэтому значения твердости, определенные различными методами, не всегда коррелируют друг с другом. В настоящее время не существует теорий, которые позволяли бы переводить твердость из одной шкалы в другую. Целью настоящего исследования являлось определение твердости древесных

композиционных материалов с помощью методов Бринелля и Шора, а также установление зависимостей между величинами определенных показателей.



Рис. 1. Схема определения твердости по методу Бринелля



Рис. 2. Схема определения твердости по методу Шора

В качестве образцов композиционных материалов в работе были использованы следующие материалы: фасадная доска из древесно-полимерного композита (ДПК) с полимерной фазой полиэтилена высокой плотности производства ООО «Скринек» (г. Екатеринбург); древесно-стружечная плита производства ООО «СВЕЗА-Лес». Также в работе были изучены образцы древесины сосны и пенополистирола (ППС). Внешний вид исследованных материалов представлен на рис. 3.

Твердость по Шору определялась по 3 шкалам – А, С и D, по ГОСТ 24621–2015 (ISO 868:2003). Твердость по Бринеллю определялась по ГОСТ 4670-67. Результаты испытаний приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты определения твердости образцов материалов

№ образца	Образец	Твердость			
		Шор С	Шор А	Шор Д	Бринелль, МПа
1	Древесина (сосна)	95,7	95,3	43,0	6,9
2	ППС	45,0	18,4	0,0	0,0
3	ДПК	96,8	98,4	70,1	57,0
4	ДСтП	94,2	91,8	65,0	20,5

Наибольшими показателями твердости среди рассматриваемых образцов характеризуются древесные композиционные материалы. Методы определения твердости «Шор А» и «Шор С» дают близкие результаты при испытании более жестких материалов, но существенно различаются при установлении твердости ППС. С помощью методов «Шор Д» и «Бринелль» практически невозможно определить твердость ППС. Для установления наличия зависимости между показателями твердости по рассматриваемым шкалам был проведен корреляционный анализ. Его результаты представлены в табл. 2. Полученные данные свидетельствуют о наличии сильной линейной связи между результатами определения твердости методами «Шор А», «Шор С» и «Шор Д». Поскольку эти методы относятся к одной общей группе, такой результат в целом был предсказуем. Большой интерес представляет наличие сильной линейной корреляции ( $r_{xy} = 0,77$ ) между показателями твердости по Шору D и твердости по Бринеллю.

Наличие линейной зависимости между результатами двух последних измерений является предпосылкой для проведения регрессионного анализа и поиска взаимосвязи между этими переменными. Результаты анализа представлены на рис. 4.

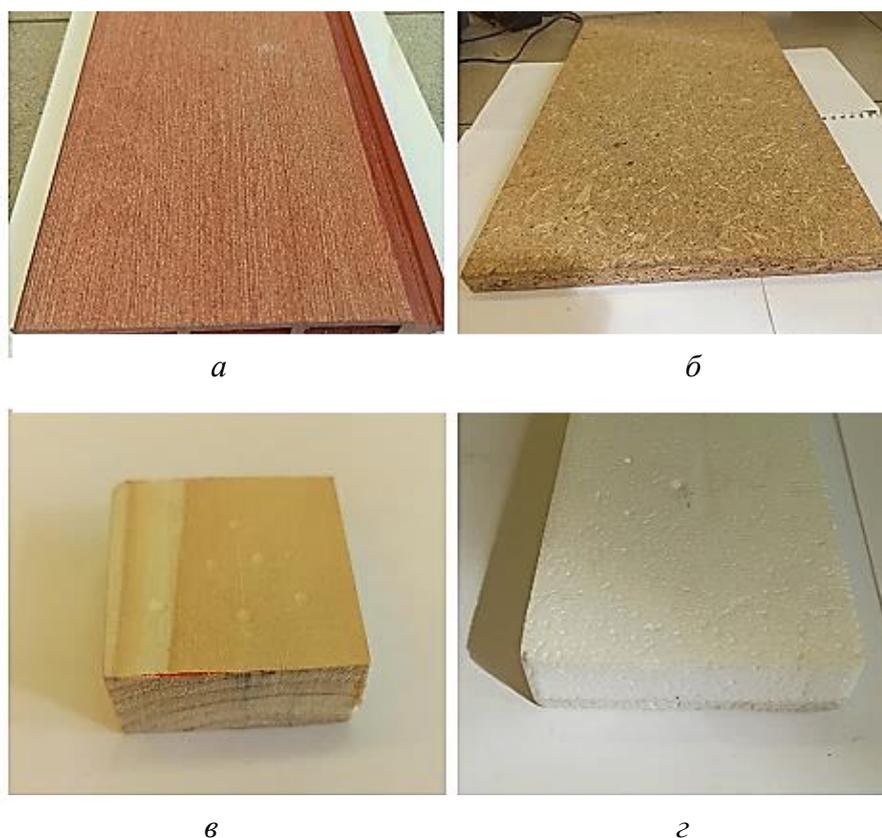


Рис. 3. Образцы исследуемых материалов:  
*a* – древесно-полимерный композит; *б* – древесно-стружечная плита;  
*в* – древесина (сосна); *г* – вспененный полистирол

Таблица 2

## Результаты корреляционного анализа

	Шор С	Шор А	Шор Д	Бринелль
Шор С	1,00	–	–	–
Шор А	1,00	1,00	–	–
Шор Д	0,93	0,93	1,00	–
Бринелль	0,58	0,59	0,77	1,00

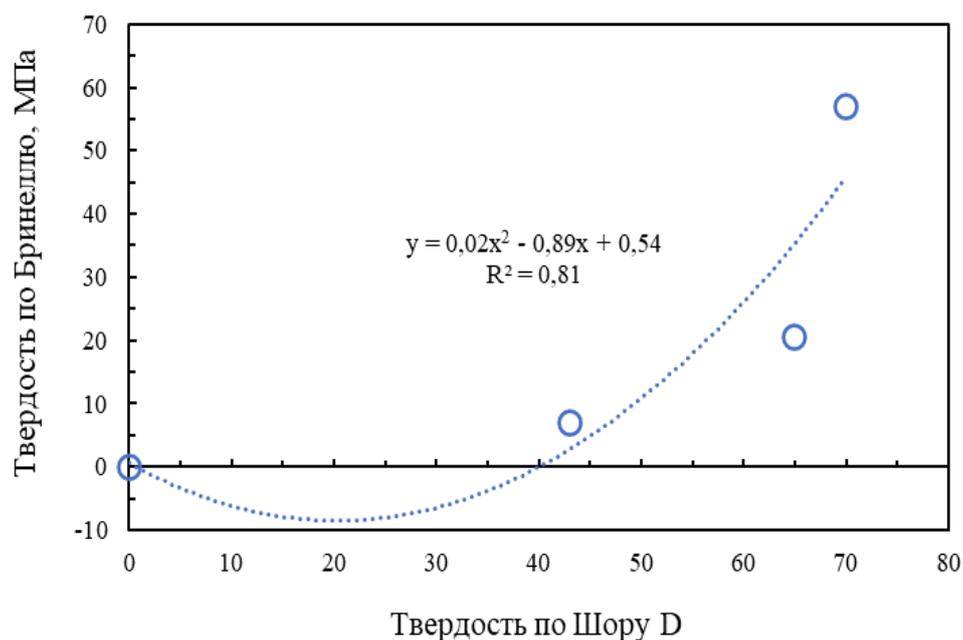


Рис. 4. Регрессионная зависимость между величиной показателей твердости по Бринеллю и по Шору D

По результатам анализа экспериментальных данных можно сделать следующие выводы:

1. Связь между величинами твердости по Шору шкала D и Бринеллю описывается полиномиальной функцией второго порядка.

2. Связь между величинами твердости характеризуется как тесная ( $R^2 = 0,81$ ).

3. Предложенная экспериментально-статистическая модель более точно описывает взаимосвязь величин твердости в области относительно высоких значений (более 40 условных единиц по шкале Шора D).

4. Для построения более адекватных моделей с большей значимостью и установления взаимосвязей между большим числом экспериментальных методов определения твердости требуется большое количество опытов с различными материалами.

## Список источников

1. Bentley A. 7 Types of Hardness Testers! The Best Method, Scale, and Test for your Application // Digital Micrometers. 2021. URL: [https:// digitalmicrometers.co.uk/types-of-hardness-testers](https://digitalmicrometers.co.uk/types-of-hardness-testers) (дата обращения: 22.05.2024).

## References

1. Bentley A. 7 Types of Hardness Testers! The Best Method, Scale, and Test for your Application // Digital Micrometers. 2021. URL: [https:// digitalmicrometers.co.uk/types-of-hardness-testers](https://digitalmicrometers.co.uk/types-of-hardness-testers) (accessed 22.05.2024).