

УДК 667.648.84:621.922.024

А. П. Фридрих, О. И. Костюк

Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет», Минск

**ОСОБЕННОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ
МЕТОДОМ ПЛОСКОГО ШЛИФОВАНИЯ, ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ
НА ПЕРИОД СТОЙКОСТИ ИНСТРУМЕНТА И МОЩНОСТЬ РЕЗАНИЯ**

Рассматриваются особенности обработки древесины методом шлифования. Исследовано влияние пород древесины на мощность резания при переменных режимах шлифования, таких как скорость резания, скорость подачи, припуск на обработку, длина шлифуемой поверхности и т. д. Описывается характер потери режущей способности шлифовального инструмента в зависимости от переменных факторов и пород древесины.

Ключевые слова: шлифование, абразивная способность материала, работоспособность инструмента, калибрование древесины.

Введение. Шлифование — это процесс обработки заготовок абразивными инструментами в целях получения поверхности установленного качества (гладкости обрабатываемой поверхности), требуемых линейных величин по толщине детали (калибрования) [1].

Абразивная способность шлифовального материала — важнейшая его характеристика. Это свойство позволяет проводить съём неровностей в обрабатываемом материале при определённых условиях. По литературным источникам установлено, что сохранение абразивной способности материалов располагается в определённой последовательности: электрокорунд, карбид кремния, эльбор, алмаз [2]. Для обработки древесных материалов, вследствие дешевизны, в основном используют электрокорундовые абразивные инструменты.

Известно, что стойкость шлифовального инструмента, т. е. его работоспособность, в основном зависит от технологических факторов: вида используемых абразивов, метода насыпки, обрабатываемого древесного материала и других переменных факторов процесса резания. Однако разработанные рекомендации по расходу абразивного инструмента и затрат мощности на выполнение технологического процесса приемлемы для шлифования древесины при срезании припусков на обработку, не превышающих 0,1 мм, с получением микронеровностей на обработанной поверхности, не превышающих 0,008 мм.

Анализ современного ленточного шлифовального оборудования показывает, что наряду с процессом финишного выравнивания микронеровностей в обрабатываемых заготовках станки оснащены агрегатами, позволяющими производить съём припуска, превышающего 0,1 мм. Такой процесс шлифования назван калиброванием, он широко используется для предварительного выравнивания поверхностей на обрабатываемых деталях мебельного производства. Рекомендаций по расчётам расхода абразивного инструмента и затрат мощности для данного вида обработки не имеется. Учитывая данное обстоятельство, проведены исследования, позволяющие устанавливать влияние технологических режимов на стойкость шлифовального инструмента, выраженного в метрах погонных, и расхода энергоносителя на резание в киловаттах.

Методология и методы исследования. Методология классифицирует типичные исследовательские задачи в области резания древесины по целевому признаку (в зависимости от цели проведения исследования). В исследовании нами использованы 1) задачи идентификации — получение математического описания причинно-следственных связей между входными переменными (исходными условиями) и выходными характеристиками (оценочными показателями) резания древесины новыми способами, новыми инструментами на новом оборудовании; 2) задачи оптимизации — нахождение оптимального сочетания входных переменных для обеспечения заданных требований к процессу резания.

Организация исследований. Исследования проводились на экспериментальной установке, разработанной на кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет», на базе фрезерно-шлифовального станка HOUFEK BULDOG BRICK FRC-910.

Анализ расчётного метода определения продолжительности работы абразивной ленты — до потери её работоспособности.

В настоящее время считается, что абразивная шлифовальная лента не пригодна для дальнейшей работы в случае, когда в результате затупления её удельная производительность уменьшается вдвое. Снижение производительности пропорционально пути резания L , см, пройденному 1 см² шкурки в контакте с древесиной. В этом случае работоспособность шлифовальной ленты $R_{\text{шл}}$, см³/см², при длине контакта 1 см определяется по формуле

$$R_{\text{шл}} = L(A_{\text{шл}} + 0,5A_{\text{шл}})/2 = 0,75A_{\text{шл}}L, \quad (1)$$

где $A_{\text{шл}}$ — удельная производительность абразивной ленты, определяемая следующим образом:

$$A_{\text{шл}} = 1,12 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{q}{\rho} (\sqrt{d_i} a_m a_n a_p), \quad (2)$$

где q — удельное давление, МПа;

ρ — плотность древесины, г / см³;

d_i — размер абразивного зерна основной фракции зернистости, мм;

a_m — коэффициент, учитывающий абразивный материал;

a_n — коэффициент, учитывающий способ нанесения зерна на основу ленты;

a_p — коэффициент, учитывающий степень округления (остроту) абразивных зёрен.

При рабочей длине всего инструмента $R_{\text{ин}}$ и длине контакта 1 см работоспособность всей ленты, установленной на шлифовальном агрегате $R_{\text{шл}}$, см³/см², и шириной 1 см, определяется зависимостью

$$R_{\text{ин}} = R_{\text{шл}} l_{\text{ин}} / l_k = 0,75A_{\text{шл}} L l_{\text{ин}} / l_k, \quad (3)$$

где $l_{\text{ин}}$ — рабочая длина абразивной ленты, см.

Зависимость (3) справедлива при условии, что $l_k < l_{\text{ин}}$.

Путь резания L_p , см, для данного случая составит

$$L_p = L l_{\text{ин}} / l_k = 6\,000 v_e T, \quad (4)$$

где v_e — скорость резания;

T — время работы инструмента без учёта потери на использование рабочего и машинного времени, определяемое по формуле $T = (L l_{\text{ин}}) / (6\,000 v_e l_k)$.

Путь резания L , см, до полной потери режущей способности абразивной ленты можно выразить формулой

$$L = 8 \cdot 10^5 \left(\frac{0,01}{q} \right)^{1,15} \cdot \left(\frac{d_i}{0,14} \right)^{1,41} \cdot (0,1 \cdot v_e)^{0,31} a_n a_b, \quad (5)$$

где a_n — коэффициент, учитывающий породу древесины;

a_b — коэффициент, учитывающий вид основы шлифовальной ленты.

Анализируя представленные зависимости с учётом современных конструкций ленточных шлифовальных станков и области их применения, а также практического использования в производстве, можно сделать следующие выводы:

1) в расчётных формулах учитывается удельное давление q , МПа, которое учитывает номер зернистости абразивной ленты, древесный материал и вид станка. Разработанные рекомендации приемлемы для станков, на которых возможно регулирование данного параметра. При калибровании древесных материалов предусмотрена жёсткая связь контактного вальца с объектом обработки. В этом случае удельное давление будет зависеть от скорости подачи обрабатываемых заготовок;

2) в формуле (2) используется показатель a_p , который учитывает степень остроты абразивных зёрен; для острой ленты он составляет 1,4, средней остроты — 1 и затупленной — 0,7. Не представляется возможным определить удельную производительность при расчётах пути контакта шлифовальной ленты с объектом обработки, так как этот показатель постоянно изменяется. Работоспособность инструмента или длительность его эксплуатации предусматривает период времени, когда абразивные зёрна (острые) достигают, в результате износа, критического округления зёрен;

3) отсутствуют рекомендации при расчётах пути резания с помощью выражения (5) по выбору коэффициента, учитывающего породу древесины. Предусматриваются только два вида древесных материалов: твёрдолиственные и хвойные породы. Известно, что в настоящее время имеет место шлифование различных пород древесины, как мягких, так и твёрдых;

4) расчётные формулы базируются на показателе только степени округления абразивных зёрен. Однако опыт эксплуатации шлифовальных лент показывает, что при обработке натуральной древесины работоспособность шлифовальной ленты зависит от объёмов сошлифованных припусков, которые при калибровании значительно выше, чем при шлифовании. Лента не выполняет свои функциональные возможности не по причине округления абразивов, а в результате заполнения межзерновых пространств мельчайшими частицами сошлифованного материала.

Учитывая представленные выводы, на данном этапе исследований необходимо установить критерии работоспособности абразивного инструмента.

Результаты исследования и их обсуждение. При умелом подборе зернистости и правильном подборе глубины шлифования, осуществляемой каждой лентой, можно добиться оптимального режима шлифования, при котором все ленты будут работать максимально долго. Создавая рациональный режим работы для шлифовальных лент, можно существенно продлить срок их службы, тем самым добиться не только эффективного шлифования, но и получить максимальный экономический эффект машинной обработки. Количество активных, т. е. взаимодействующих с обрабатываемой поверхностью, зёрен зависит от зернистости инструмента, степени его округления, площади контакта с обрабатываемым изделием и характеристик режима шлифования.

Обработка опытных данных позволила определить стойкость шлифовального инструмента при скорости резания v_e , равной 18 м/с, припуска на обработку h , составляющего 0,4 мм, скорости подачи v_s , равной 8 м/мин. Калибрование производилось электрокорундовым абразивным инструментом зернистостью Р80.

Аналогично получены результаты исследований и для других режимов шлифования, например, при скорости резания v_e — 18 м/с, при скорости подачи v_s — 6 м/мин, припуске на обработку h — 0,4 мм (таблица 1).

Результаты исследований влияния припуска на обработку и скорости подачи при шлифовании древесины ольхи представлены в виде графиков (рисунки 1 и 2), на которых показаны зависимости припуска на обработку от длины пройденного пути (см. рисунок 1) и скорости подачи (см. рисунок 2) при шлифовании древесины ольхи.

При скорости подачи 8 м/мин отмечается влияние пути контакта при шлифовании древесины сосны (рисунок 3). Величина производительности шлифовальной шкурки (см. рисунок 1) имеет вид, приближённый к параболе, т. е. увеличение припуска значительно сокращает длину обработанных

Т а б л и ц а 1 — Износостойкость шлифовальной ленты при шлифовании древесины

Скорость подачи, м / мин	Длина обработанной поверхности древесины, пог. м			
	сосна	берёза	дуб	ольха
8	80	2 150	1 500	2 500
6	250	4 300	3 140	5 200

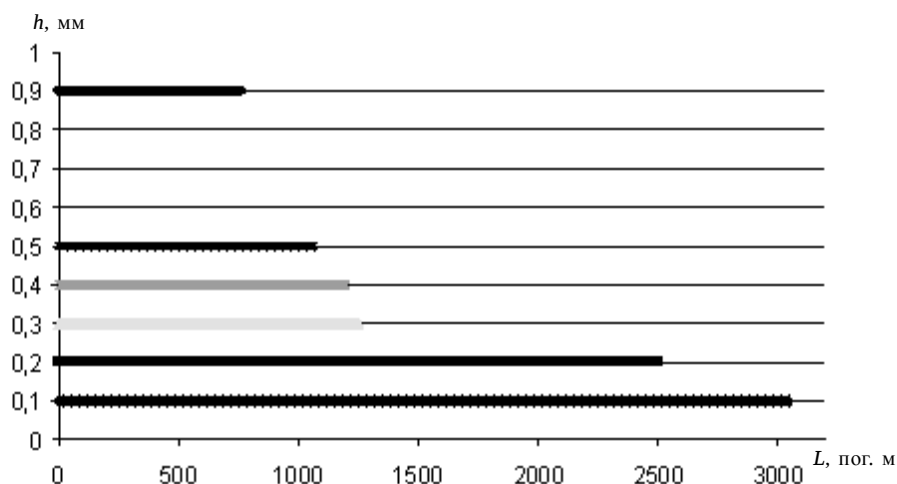


Рисунок 1 — Зависимость припуска на обработку от длины пройденного пути при шлифовании древесины ольхи

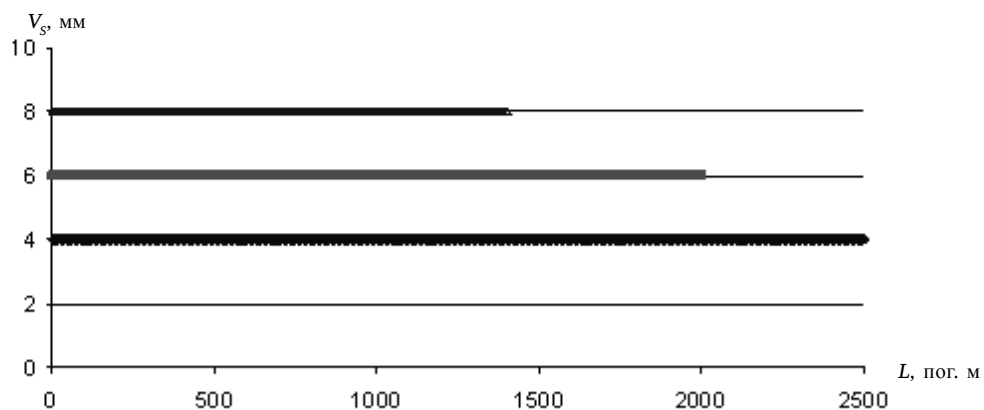


Рисунок 2 — Зависимость длины обработанной поверхности от мощности резания

заготовок. В то же время скорость подачи влияет на выходной показатель практически прямо пропорционально (см. рисунок 2).

Параллельно производилась регистрация затрат мощности на выполнение технологии калибрования в зависимости от зернистости абразивного инструмента (см. рисунок 3). Мощность резания фиксировалась при шлифовании древесины сосны. Ширина шлифования составляла 150 мм.

Основными параметрами режима (для шкурки выбранной зернистости) являются удельное давление на шлифуемую поверхность, направление шлифования относительно волокон древесины, скоростей резания и подачи, длины контакта шкурки с древесиной [3].

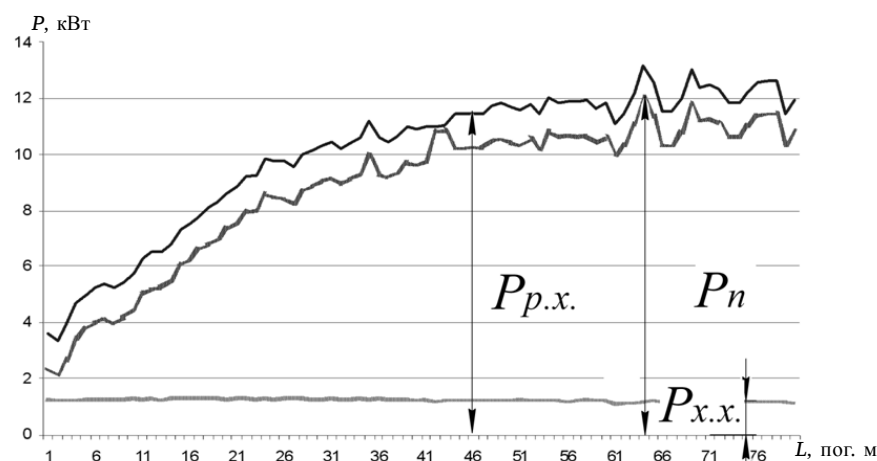


Рисунок 3 — Шлифование древесины сосны при скорости резания 18 м / с, скорости подачи 8 м / мин, припуске на обработку 0,4 мм, зернистости Р80

Когда стружка переполняет межзерновое пространство, она оттесняет шлифовальную шкурку от поверхности древесины, поэтому производительность её быстро снижается. Удельная производительность шлифовальной шкурки также уменьшается по мере округления абразивных зёрен. Установлено интенсивное падение производительности инструмента за первый период её работы (5—10 мин). За это время наиболее выступающие и непрочно закреплённые абразивные зёрна обламываются и выкрашиваются из связки [4]. Учитывая вышеизложенное, разработана схема резания абразивным зерном (рисунок 4).

При работе шлифовальной ленты можно наблюдать, как происходит заполнение межзернового пространства продуктами резания (абразива и сошлифованного материала) (рисунки 5 и 6). При шлифовании с припуском 0,4 мм на шлифовальной ленте видны (при увеличении) волокна древесины ольхи (стружка-волокно) (рисунок 7). Имеет место зависимость мощности от длины пути при шлифовании различных пород древесины (рисунок 8).

При увеличении скорости подачи размеры фракций возрастают и, как следствие, теряют свойства налпипая. В данном случае абразивные зёрна имеют тенденцию к истиранию вершин, в результате чего глубина вдавливания уменьшается, что приводит к падению мощности. Аналогичные зависимости имеют место и при шлифовании других древесных материалов, притом при калибровании древесины ольхи затраты на мощность на 150 мм ширины шлифования составили 3,1 кВт, а сосны — в 3 раза больше.

Заключение. На основании проведённого исследования нами выявлено следующее:

1) при шлифовании древесины сосны при оптимальном режиме (скорость резания 18 м / с, скорость подачи 8 м / мин, припуск на обработку 0,4 мм) полезная мощность изменяется в диапазоне от 3,8 до 12,1 кВт, что составляет около 318%; при шлифовании древесины дуба при оптимальном режиме полезная мощность изменяется в диапазоне от 4,5 до 6,5 кВт, что составляет 144%; при

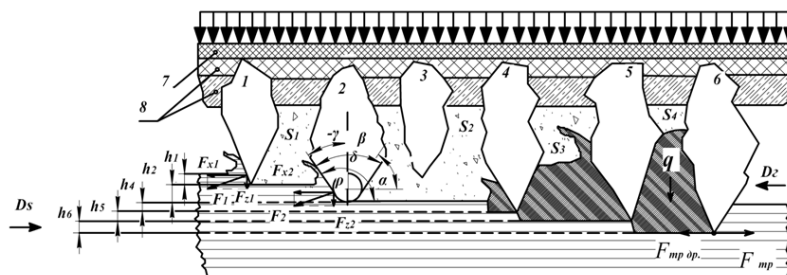
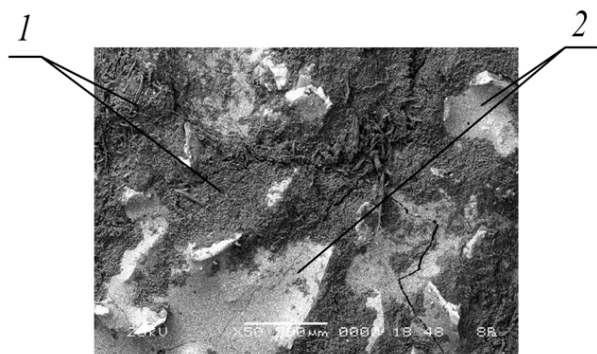


Рисунок 4 — Схема резания абразивным зерном при шлифовании древесины



1 — заполненное межзерновое пространство; 2 — свободное пространство

Рисунок 5 — Шлифовальная лента с заполненным межзерновым объёмом

Это вызвано видом срезаемой стружки и способности сошлифованного материала заполнять пространство между абразивными зёрнами. При финишном шлифовании стружка имеет вид мелких частиц практически одного размера фракций. При калибровании срезанный материал, наряду с мельчайшими частицами, имеет форму микроволокон древесины.

шлифовании древесины ольхи при оптимальном режиме полезная мощность изменяется в диапазоне от 3,1 до 5,8 кВт, что составляет 187%; при шлифовании древесины берёзы при оптимальном режиме полезная мощность изменяется в диапазоне от 3,1 до 5,6 кВт, что составляет 180%;

2) результаты исследований позволили установить критерий потери режущей способности, который характеризуется не как степень износа абразивных зёрен, а как заполнение пространства между режущими элементами (в процентном соотношении);

3) калибрование натуральной древесины значительно отличается от финишного шлифования.

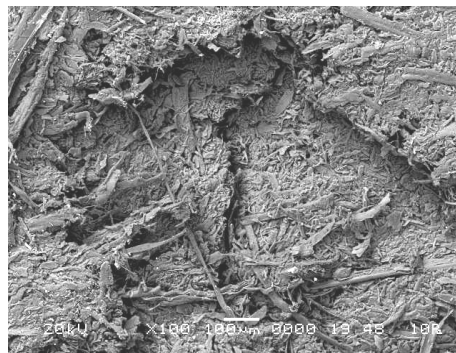
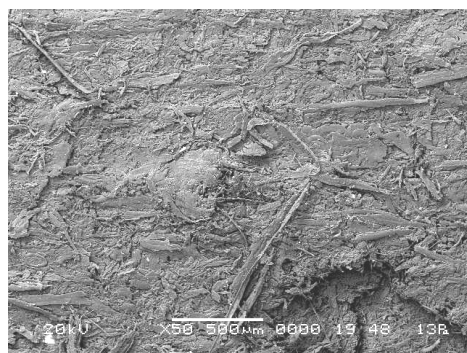


Рисунок 6 — Шлифовальная лента P80, потерявшая режущую способность

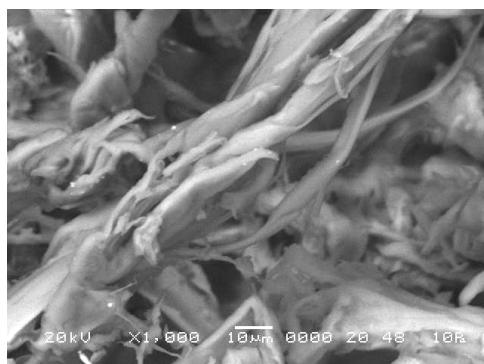


Рисунок 7 — Волокна древесины ольхи (стружка-волокно)

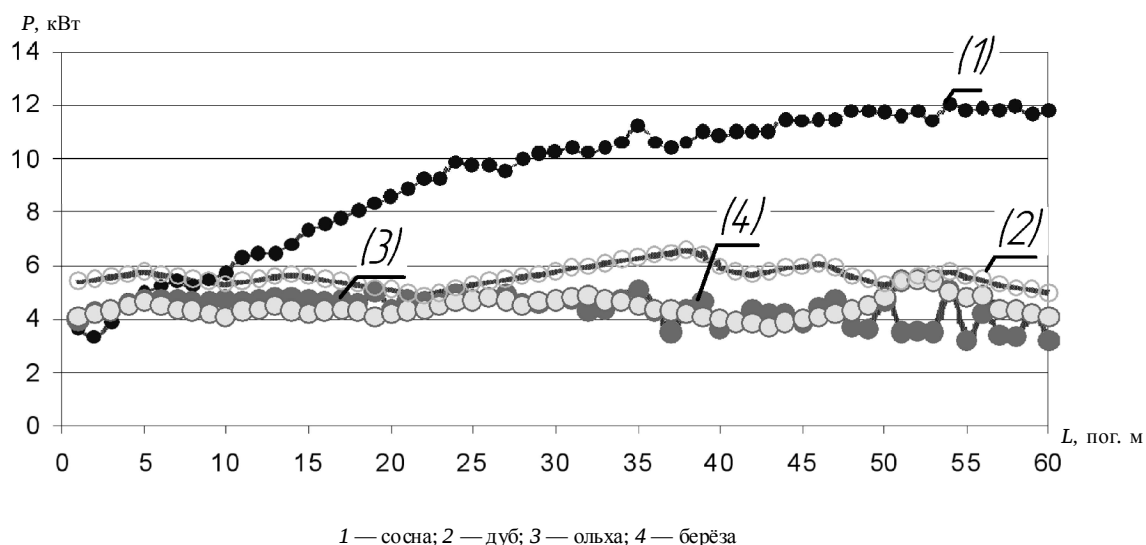


Рисунок 8 — Зависимость мощности от длины пути при шлифовании пород древесины

Список цитируемых источников

1. Гришкевич, А. А. Механическая обработка древесины и древесных материалов, управление процессами резания : учеб.-метод. пособие для студентов специальности 1-36 05 01 специализации 1-36 05 01 03 / А. А. Гришкевич. — Минск : БГТУ, 2012.
2. Зотов, Г. А. Подготовка и эксплуатация дереворежущего инструмента / Г. А. Зотов, Ф. А. Швырев. — М. : Лесная пром-сть, 1986. — 301 с.
3. Любченко, В. И. Резание древесины и древесных материалов / В. И. Любченко. — М. : Лесная пром-сть, 1986.
4. Бершадский, А. Л. Резание древесины / А. Л. Бершадский, Н. И. Цветова. — Минск : Высш. шк., 1975.

Материал поступил в редакцию 13.05.2014 г.

The article dwells upon the peculiarities of wood processing by grinding. We consider the study of the effect on the wood cutting power at variable grinding modes, such as cutting speed, feed rate, allowance for processing, the length of the ground surface, etc. The paper describes the nature of the grinding tool cutting ability loss depending on the variables and timber.

Key words: grinding, abrasive ability of the material, tool efficiency, timber calibration.