

## Анализ силовых показателей процесса жёсткого шлифования древесины

Сергеевичев А.В.<sup>a</sup>, Федяев Ар.А.<sup>b</sup>, Костюков И.И.<sup>c</sup>, Федяева Н.Ю.<sup>d</sup>, Вохмянин Н.А.<sup>e</sup>, Михайлова А.Е.<sup>f</sup>

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, Институтский пер. 5, Санкт-Петербург, Россия

<sup>a</sup> 910sav@gmail.com, <sup>b</sup> art\_fedyayev@mail.ru, <sup>c</sup> spb.kostyukov@mail.ru, <sup>d</sup> nat\_fedyayeva@mail.ru, <sup>e</sup> 7520910@gmail.com, <sup>f</sup> mikhailovaae@ya.ru

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0003-3655-207X>, <sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0001-8036-7432>,

<sup>c</sup> <https://orcid.org/0000-0002-3629-8190>, <sup>d</sup> <https://orcid.org/0000-0002-9454-9285>,

<sup>e</sup> SPIN-код: 8306-1032, Author ID: 106080, <sup>f</sup> <https://orcid.org/0000-0003-0280-7409>.

Статья поступила 12.01.2026, принята 12.02.2026

*Шлифование – это процесс резания древесины и древесных материалов многолезвийным режущим инструментом, микро-резцы которого перемещаются с большой скоростью и находятся под действием касательных и нормальных составляющих силы резания. Операции шлифования могут быть представлены калиброванием или черновым шлифованием и чистовым шлифованием. Эффективность операций шлифования зависит от свойств режущего инструмента и режима обработки, которые определяют производительность процесса шлифования. При шлифовании на каждое из абразивных зёрен в зоне контакта с древесиной возникают касательные и нормальные силы. Эти элементарные силы суммируются и дают общую касательную и нормальную силы. Общая касательная сила определяет мощность на резание при шлифовании. Общая нормальная сила, направленная перпендикулярно к обрабатываемой поверхности, создаёт требуемое давление шлифовальной шкурки на обрабатываемую поверхность. Касательную силу резания при шлифовании рассматривают как силу абразивного трения с коэффициентом сцепления абразивного инструмента с древесиной. В статье приведена методика исследования и результаты экспериментов по определению степени влияния режимных и инструментальных факторов, а также параметров шлифуемой древесины на касательные силы резания и силы отжима. Экспериментальные исследования проводились в условиях жёсткого шлифования абразивным инструментом цилиндрической и плоской формы. Представлены зависимости касательной силы резания и силы отжима от скорости подачи, глубины резания, угла подачи, ширины обрабатываемой заготовки при шлифовании древесины поперёк волокон и под углом к волокнам древесины, выявлено влияние зернистости абразивного инструмента и породы обрабатываемой древесины, а также направления обработки на силовые показатели процесса шлифования. На основании полученных экспериментальных данных возможно рассчитать силу резания и её составляющие процесса жёсткого шлифования древесины.*

**Ключевые слова:** жёсткое шлифование древесины; абразивный инструмент плоской и цилиндрической формы; силовые показатели процесса жёсткого шлифования.

## Analysis of the power parameters of the process of hard grinding of wood

A.V. Sergeevichev<sup>a</sup>, Ar.A. Fedyayev<sup>b</sup>, I.I. Kostyukov<sup>c</sup>, N.Yu. Fedyayeva<sup>d</sup>, N.A. Vokhmyanin<sup>e</sup>, A.E. Mikhailova<sup>f</sup>

St. Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov; 5U, Institutsky Lane, St. Petersburg, Russia

<sup>a</sup> 910sav@gmail.com, <sup>b</sup> art\_fedyayev@mail.ru, <sup>c</sup> spb.kostyukov@mail.ru, <sup>d</sup> nat\_fedyayeva@mail.ru, <sup>e</sup> 7520910@gmail.com, <sup>f</sup> mikhailovaae@ya.ru

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0003-3655-207X>, <sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0001-8036-7432>,

<sup>c</sup> <https://orcid.org/0000-0002-3629-8190>, <sup>d</sup> <https://orcid.org/0000-0002-9454-9285>,

<sup>e</sup> SPIN-код: 8306-1032, Author ID: 106080, <sup>f</sup> <https://orcid.org/0000-0003-0280-7409>.

Received 12.01.2026, accepted 12.02.2026

*Grinding is the process of cutting wood and wood-based materials with a multi-blade cutting tool whose micro-cutting edges move at high speed and are subject to tangential and normal cutting forces. Grinding operations can be classified as calibrating, rough grinding, or finishing grinding. The effectiveness of grinding operations depends on the properties of the cutting tool and the machining conditions, which determine the productivity of the grinding process. During grinding, each abrasive grain in contact with the wood experiences tangential and normal forces. These elementary forces are summed to produce the total tangential and normal forces. The total tangential force determines the cutting power during grinding. The total normal force directed perpendicular to the workpiece creates the required pressure of the sanding paper on the workpiece. The tangential cutting force during grinding is considered as the force of abrasive friction with the adhesion coefficient of the abrasive tool to the wood. This article presents the research methodology and experimental results to determine the degree of influence of operating and tool factors, as well as the parameters of the wood being ground, on the tangential cutting force and the force of compression. Experimental studies are conducted under conditions of hard grinding with a cylindrical and flat abrasive tool. The dependences of the tangential cutting force and the force of compression on the feed rate, cutting depth, feed angle, and workpiece width are presented when grinding wood across the grain and at an angle to the grain. The influence of the abrasive tool grain*

size, the type of wood being processed, and the direction of processing on the power indicators of the grinding process are revealed. Based on the obtained experimental data, it is possible to calculate the cutting force and its components in the process of hard grinding of wood.

**Keywords:** hard grinding of wood; flat and cylindrical abrasive tool; power indicators of the hard grinding process.

**Введение.** Развитие механической технологии твёрдых материалов характеризуется повышением производительности и точности формирования изготавливаемых изделий из древесины.

Шлифование – один из видов механической обработки древесины и древесных материалов резанием, характеризуемый перемещением с большими скоростями активных абразивных зёрен, расположенных на рабочей поверхности шлифовальной шкурки и находящихся под действием нормальных и касательных сил [Ветошкин Ю.И., Газеев М.В., Чернышев О.Н., 2018, Гришкевич А.А., Морозова О.И., Швед В.Т., 2018, Гришкевич А.А., Юдицкий А.Ю., 2020, Каменев Б.Б., Сергеевичев А.В., 2013, Сергеевичев А.В., 2018, Ding T., Zhao J., Zhu N., Wang C., 2020, Emilia-Adela S., 2017, Marková I., Jad'ud'ová J. Hroncová E., 2018, Zhang J., Yang Y., Luo B., Liu H., Li L., 2021].

Основное назначение процесса шлифования – подготовка поверхности к отделке путём ликвидации неровностей, дефектов предыдущей обработки.

Эффективность шлифования в большей степени зависит от режимов обработки, характеристик и свойств абразивного инструмента. Изучением вопросов жёсткого шлифования древесины занимались многие отечественные и иностранные учёные [Гончар И.Н., Магура Б.А., 2013, Евдокименко Е.С., Кхатри Т., 2021, Сергеевичев А.В., 2015, Du Y., Tian B., Zhang J., Liu H. Luo, B., 2021, O'skajová A., Ku'cerka M., Kminiak R., Banski A., 2021, Ying J.H., Cheng F., Zhang J., Wu D.N., Luo B., Li L., 2019, Yang Y., Wang S., Yiming Z., Jian Z., Bin L., 2020].

Шлифование древесины и древесных материалов отличается от других видов резания древесины и материалов на её основе. Отличия заключаются не только в применяемом режущем инструменте – шлифовальной шкурке, но и в специфике возникающих в процессе резания физических явлений. Режущий инструмент является многорезцовым, за счёт большого количества абразивных зёрен, при этом абразивные зёрна в большинстве своём имеют отрицательные передние углы, неправильную геометрическую форму, неравномерно распределены по рабочей поверхности инструмента, не имеющей сплошной режущей поверхности, поэтому процесс шлифования дискретен. Сам процесс шлифования нельзя назвать просто резанием, это процесс микрорезания-царапания большой совокупностью абразивных зёрен. Точное размерное формирование готового изделия возможно только при жёстком шлифовании [Романов В.А., Прусс Б.Н., Мосина Е.А., Прозоров Я.С., 2020, Санев В.И., Каменев Б.Б., Сергеевичев А.В., 2018, Сергеевичев А.В., Лебедев А.А., Дедерер М.А., 2022, Mei Y.M., Yu Z.H., Yang Z.S., 2017, Pedzik M., Stuper-Szablewska K., Sydor M., Rogozinski T., 2020, Sydor M., Mirski R., Stuper-Szablewska K., Rogozinski T., 2021].

В данной статье представлены зависимости касательной силы резания и силы отжима от режимных и инструментальных факторов, а также от параметров обрабатываемой древесины.

**Методы и средства исследований.** Процесс жёсткого шлифования характеризуется следующими показателями:

- шероховатостью обработанной поверхности;
- точностью обработки;
- производительностью;
- работоспособностью шлифовального инструмента;
- силовыми параметрами.

Факторы, влияющие на эти показатели, можно классифицировать следующим образом (рис. 1):

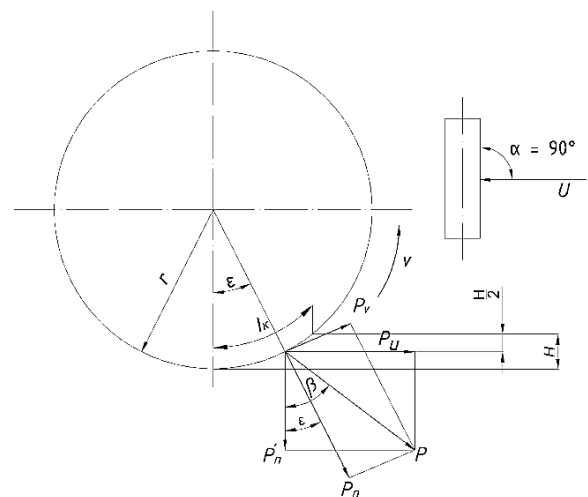


**Рис. 1.** Классификация факторов, влияющих на процесс жёсткого шлифования

Исследование будет проводиться при жёстком шлифовании инструментом цилиндрической и плоской формы.

Силы резания при жёстком шлифовании измеряются при помощи, специально спроектированной и изготовленной, тензостанции.

Полученные таким образом данные позволяют рассчитать силу резания и её составляющие при любой схеме жёсткого шлифования.



**Рис. 2.** Схема расчёта сил резания при жёстком шлифовании инструментом цилиндрической формы с углом подачи  $\alpha = 90^\circ$

В случае, когда  $\alpha = 90^\circ$ , силы резания определяются в следующем порядке. Опытным путём определяются силы  $P_u$ ,  $P_n'$  и для контроля  $P_v$ . Затем по этим данным вычисляется результирующая сила по формуле

$$P = \sqrt{P_u^2 + P_n'^2}. \quad (1)$$

Из схемы, приведённой на рис. 2, видно, что при известной силе  $P$  можно определить касательную силу резания  $P_v$  и силу отжима  $P_n$  по следующим формулам:

$$P_v = P \cdot \sin(\beta - \varepsilon), \quad (2)$$

$$P_n = P \cdot \cos(\beta - \varepsilon), \quad (3)$$

Углы  $\varepsilon$  и  $\beta$  определяются по известным величинам

$$\varepsilon = \frac{360}{\pi} \sqrt{\frac{H}{2 \cdot D}} \quad (4)$$

$$\beta = \arctg \frac{P_u}{P_n} \quad (5)$$

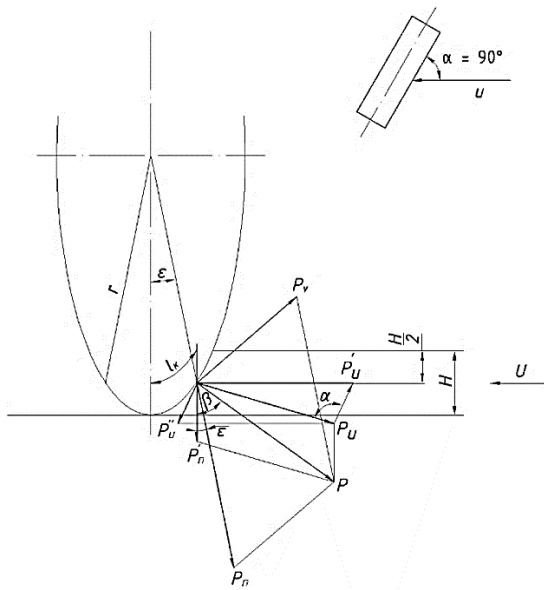


Рис. 3. Схема для расчёта сил резания при жёстком шлифовании

В случае, когда  $0^\circ < \alpha < 90^\circ$  (рис. 3), силы резания определяются в следующей последовательности. Опытным путём определяются силы  $P_v, P_u', P_n'$ . Затем по этим данным вычисляются остальные составляющие силы резания.

$$P_u = \frac{P_u'}{\sin \alpha} \quad (6)$$

$$P_u'' = P_u' \cdot ctg \alpha \quad (7)$$

$$P = \sqrt{P_u^2 + P_n'^2} \quad (8)$$

$$P_n = \sqrt{P^2 - P_v^2} \quad (9)$$

На рис. 4 изображена схема для расчёта сил резания при жёстком шлифовании инструментом плоской формы с углом подачи  $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ . Условные обозначения сил резания на схеме приняты следующие:

- $P_v$  – касательная сила резания;
- $P_n$  – сила отжима;
- $P$  – результирующая сила;
- $P_u$  – горизонтальная составляющая силы резания;
- $P_n'$  – вертикальная составляющая силы резания;
- $P'$  – проекция результирующей силы на вертикальную плоскость.

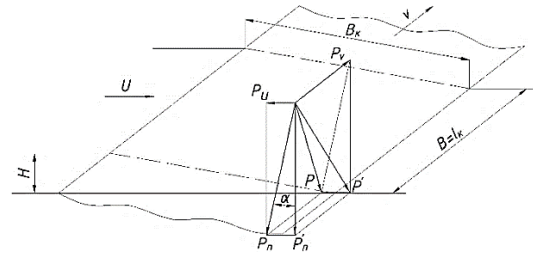


Рис. 4. Схема для расчёта сил резания жёсткого шлифования инструментом плоской формы с углом подачи  $90^\circ > \alpha > 0^\circ$

В этой схеме силы резания определяются в следующем порядке. Опытным путём определяются силы  $P_v, P_u, P_n'$ . Затем по этим данным определяется сила отжима

$$P_n = \sqrt{P_u^2 + P_n'^2}. \quad (10)$$

По известным  $P_n$  и  $P_v$  результирующая сила равна

$$P = \sqrt{P_v^2 + P_n^2}. \quad (11)$$

Силы резания, приходящиеся на 1 см ширины рабочей части шлифовального инструмента, определяются путём деления соответствующих сил на ширину рабочей части шлифовальной шкурки. Для шлифовального инструмента цилиндрической формы

$$P_{v_1} = \frac{P_v \cdot \sin \alpha}{B}; \quad P_{n_1} = \frac{P_n \cdot \sin \alpha}{B}; \quad (12)$$

где  $B$  – ширина детали, см;  $\alpha$  – угол подачи, град.

Для шлифовального инструмента плоской формы:

$$P_{v_1} = \frac{P_v \cdot \sin \alpha}{H}; \quad P_{n_1} = \frac{P_n \cdot \sin \alpha}{H}; \quad (13)$$

где  $H$  – ширина детали, см;  $\alpha$  – угол подачи, град.

Удельные силы резания вычисляются путём деления  $P_v$  и  $P_n$  на площадь контакта  $F$  шлифовального инструмента с обрабатываемым образцом

$$P_{v_{уд}} = \frac{P_v}{F}; \quad P_{n_{уд}} = \frac{P_n}{F}; \quad (14)$$

$$F = B_k \cdot l_k;$$

где  $B_k$  – ширина контакта в см;  $l_k$  – длина контакта в см.

Для шлифовального инструмента цилиндрической формы

$$l_k = \sqrt{D \cdot H}. \quad (15)$$

Удельная работа резания во всех случаях определяется по формуле

$$K = \frac{60 \cdot P_v \cdot v}{B \cdot H \cdot U}, \quad \frac{H \text{ мм}}{\text{см}^3}, \quad (16)$$

где  $v$  – скорость резания, м/с;  $P_v$  – касательная сила резания, Н;  $B$  – ширина детали, мм;  $H$  – глубина резания, мм;  $U$  – скорость подачи, м/мин.

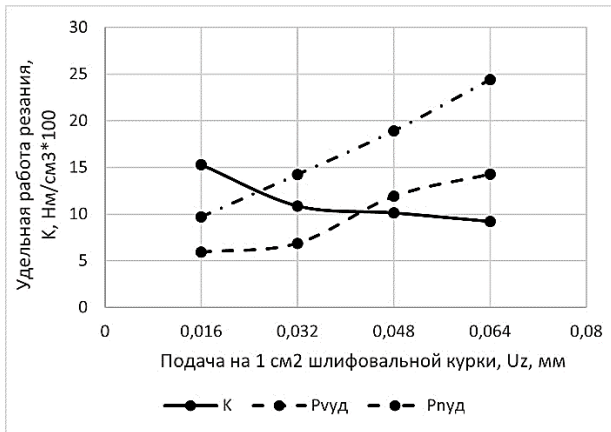
Коэффициент абразивного трения определяется по формуле:

$$C = \frac{P_v}{P_n} \quad (17)$$

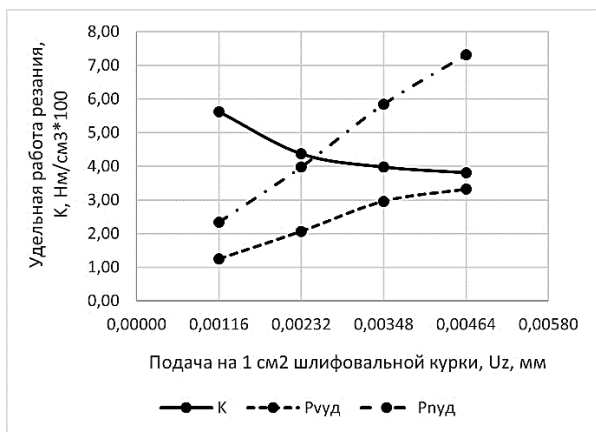
**Результаты и обсуждение.** Опыты по исследованию силовых показателей проводились при местном шлифовании инструментом цилиндрической и плоской форм. Режущим элементом является шлифовальная шкурка.

*Определение влияния режимных факторов*

Результаты экспериментов по выявлению влияния скорости подачи на силы резания представлены в виде графиков на рис. 5 и рис. 6.



**Рис. 5.** Влияние скорости подачи на силы резания при шлифовании инструментом цилиндрической формы:  $\alpha = 90^\circ$ ,  $H = 0,5$  мм, P150, дуб вдоль волокон

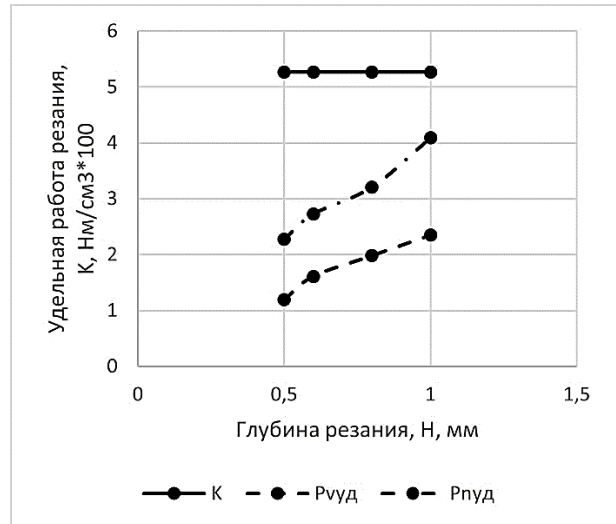


**Рис. 6.** Влияние скорости подачи на силы резания при шлифовании инструментом плоской формы:  $\alpha = 2^\circ$ ,  $H = 0,5$  мм, P150, дуб поперёк волокон

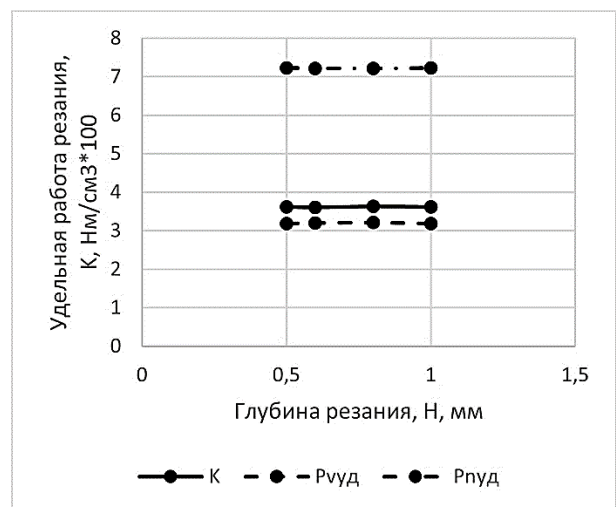
Из графиков видно, что с увеличением скорости подачи сила резания  $P_{вуд}$  и сила отжима  $P_{нуд}$  растут, а удельная работа резания  $K$  снижается. При этом сила отжима растёт в большей степени, чем сила резания. Это можно объяснить тем, что при увеличении скорости подачи увеличивается толщина стружек, снимаемых абразивными зёрнами, количество зёрен, участвующих в работе, и степень заполнения свободного межзернового пространства стружкой. Степень заполнения отдельных впадин стружкой будет разной вследствие их различной величины. Наименьшие впадины могут быть заполнены полностью, а большие будут ещё не заполнены. Переполнение впадин стружкой приводит к исключению из работы части абразивных зёрен, а также к увеличению силы отжима и силы резания.

При шлифовании инструментом цилиндрической формы, с увеличением глубины резания, возникает сила резания, сила отжима и удельная работа резания (рис. 7).

При шлифовании инструментом плоской формы с увеличением глубины резания пропорционально увеличивается ширина контакта шлифовальной ленты с древесиной (рис. 8).



**Рис. 7.** Влияние глубины резания на силы резания при шлифовании инструментом цилиндрической формы:  $\alpha = 90^\circ$ ,  $U_z = 0,016$  мм, P150, дуб, вдоль волокон



**Рис. 8.** Влияние угла подачи на силы резания при шлифовании инструментом плоской формы:  $\alpha = 2^\circ$ ,  $U_z = 0,00464$  мм, P150, дуб, поперёк волокон

Эти зависимости в исследованных пределах имеют линейный вид. При этом с увеличением глубины резания увеличивается длина контакта, толщина снимаемых стружек и, следовательно, степень заполнения межзернового пространства стружкой. Увеличивается также угол перерезания волокон. Все вышеперечисленные факторы и приводят к увеличению сил резания. При этом сила отжима возрастает в большей степени, чем сила резания (рис. 9).

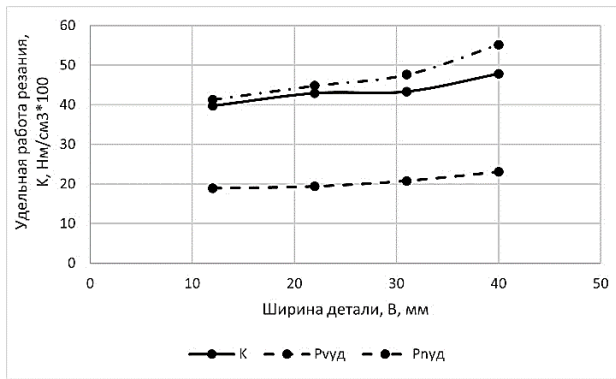


Рис. 9. Влияние ширины детали на силы резания при шлифовании инструментом плоской формы:  $\alpha = 2^\circ$ ,  $U_z = 0,00464$  мм,  $H = 0,5$  мм, P150, дуб поперёк волокон

Изменение ширины обрабатываемой детали при шлифовании инструментом плоской формы приводит к изменению длины контакта абразивных зёрен шкурки с древесиной. На рис. 10 изображён график зависимости сил резания от ширины детали. В исследовательских пределах получена линейная зависимость. С возрастанием ширины детали сила резания, сила отжима и удельная работа резания увеличиваются. Это можно объяснить тем, что при увеличении ширины детали увеличивается длина контакта абразивных зёрен с древесиной и, следовательно, увеличивается количество стружки, которое должно разместиться во впадинах между зёрнами, т. е. увеличивается степень заполнения межзернового пространства стружкой, что и вызывает увеличение удельных сил резания и силы отжима.

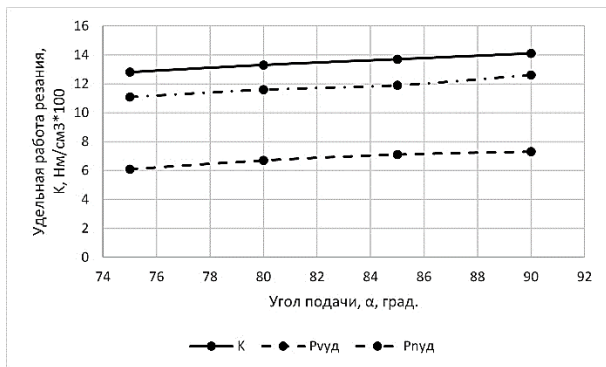


Рис. 10. Влияние угла подачи на силы резания при шлифовании инструментом цилиндрической формы:  $V = 21$  м/с,  $H = 0,5$  мм, P150,  $u = 8$  м/мин, дуб,  $B_k = 12,5$  мм,  $\varphi_c = 0-15^\circ$

Влияние угла подачи на силы резания исследовалось при шлифовании инструментами цилиндрической и плоской формы (рис. 10, рис. 11). С уменьшением угла подачи удельные силы резания уменьшаются.

При шлифовании инструментом плоской формы с уменьшением угла подачи и постоянных других факторах увеличивается ширина контакта, а, следовательно, и площадь контакта. При этом уменьшается толщина стружек вследствие уменьшения подачи на  $1 \text{ см}^2$  шлифовальной ленты. Процесс шлифования из поперечно-торцового приближается к поперечному. Уменьшение толщины стружек и переход процесса резания от попе-

речно-торцового к поперечному и приводит к уменьшению удельных сил резания. Изменение подачи на  $1 \text{ см}^2$  шлифовальной ленты оказывает преобладающее влияние на силы резания потому, что удельная работа резания с уменьшением угла подачи увеличивается, хотя переход от поперечно-торцового к поперечному резанию приводит к уменьшению удельной работы резания.

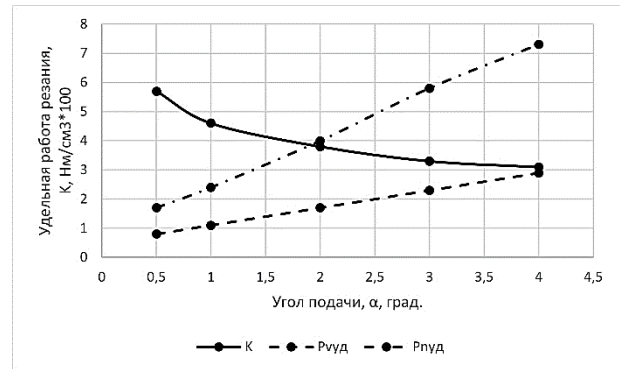


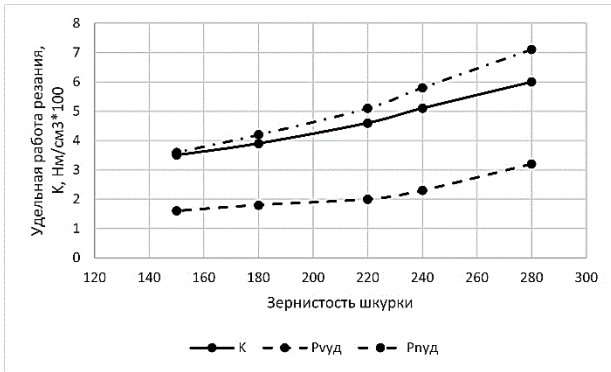
Рис. 11. Влияние угла подачи на силы резания при шлифовании инструментом плоской формы:  $V = 10$  м/с,  $H = 0,5$  мм, P150,  $u = 8$  м/мин, дуб

При шлифовании инструментом цилиндрической формы в изменении сил резания принимают участие те же вышеперечисленные факторы, но направление резания по отношению к волокнам изменяется от продольного к поперечному (рис. 10). Для исключения влияния измерения направления резания по отношению к волокнам образец древесины в следующей серии опытов устанавливался под углом к направлению подачи, соответствовавшим углу поворота шлифовального цилиндра. В результате этого резание всегда происходило вдоль волокон. Таким образом, установлено влияние на силы резания только угла подачи. На этих графиках видно, что с уменьшением угла подачи удельные сила резания и сила отжима уменьшается, а удельная работа резания возрастает в результате уменьшения подачи на  $1 \text{ см}^2$  шлифовальной ленты.

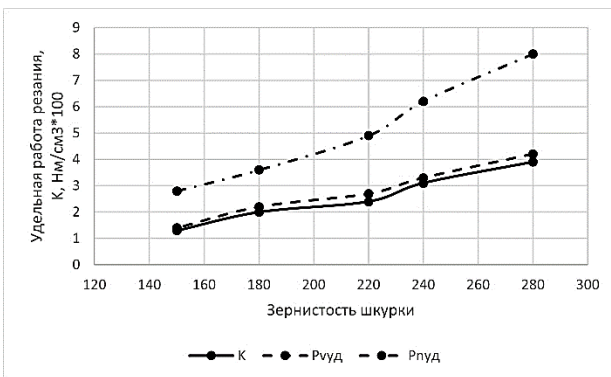
#### Определение влияния факторов инструмента

Результаты исследования влияния зернистости шлифовальной шкурки на силы резания представлены в виде графиков на рис. 12 и 13.

Опыты показали, что увеличение размера абразивных зёрен приводит к уменьшению сил резания. При этом сила отжима уменьшается в большей степени, чем касательная сила резания. Снижение сил резания с увеличением зернистости шкурки можно объяснить уменьшением количества абразивных зёрен, участвующих в стружкообразовании, а также увеличением объёма межзерновых впадин. С увеличением зернистости абразивные зёрна срезают стружки больших сечений, уменьшается число зёрен не срезающих стружек, но находящихся в контакте с древесиной и затрачивающих работу на деформирование древесины и трение о древесину. Степень заполнения межзерновых впадин стружкой уменьшается с возрастанием зернистости шкурки, что оказывается и на силах резания.



**Рис. 12.** Влияние зернистости шкурки на силы резания при шлифовании инструментом плоской формы:  $\alpha = 2^\circ$ ,  $U_z = 0,00464$  мм,  $H = 0,5$  мм, дуб, поперёк волокон



**Рис. 13.** Влияние зернистости шкурки на силы резания при шлифовании инструментом цилиндрической формы:  $\alpha = 90^\circ$ ,  $H = 0,5$  мм,  $v = 21$  м/с,  $u = 2,25$  м/мин, дуб, вдоль волокон

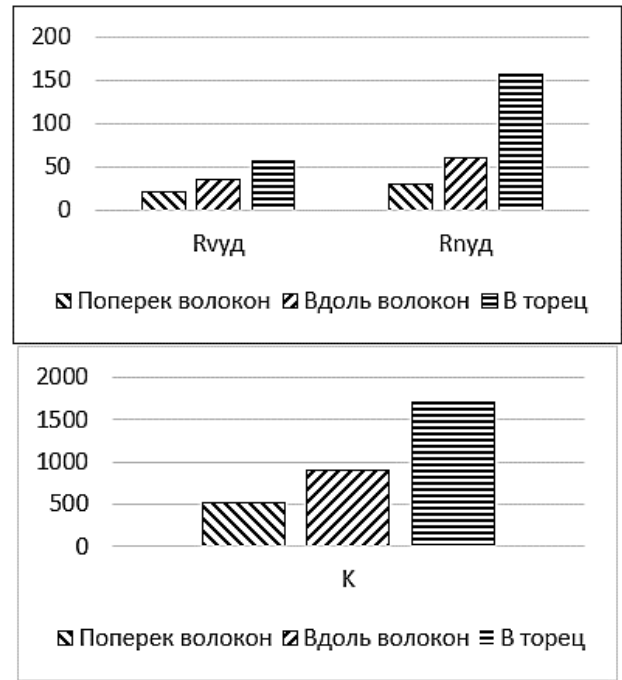
На рис. 13 представлены графики зависимости сил резания от зернистости шкурки при одинаковой степени заполнения межзерновых впадин – достигалась изменением скорости подачи. Как видим, и в этом случае силы резания и удельная работа резания уменьшаются с увеличением зернистости шкурки. Следовательно, количество зёрен, участвующих в работе, оказывает преобладающее влияние по сравнению с другими факторами.

*Определение влияния факторов обрабатываемой древесины*

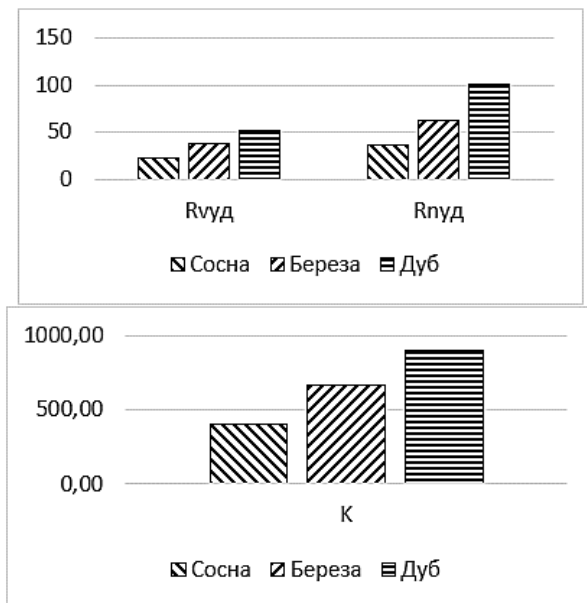
Древесина – анизотропный материал волокнисто-слоистого строения. Известно, что сопротивляемость её разрушения зависит от направления действия сил относительно направления волокон.

Опыты показали, что при жёстком шлифовании образцов из дуба силы резания наибольшие при шлифовании в торец, в наименьшие при шлифовании поперёк волокон. Наглядно это видно из диаграммы рис. 14.

Исследование влияния породы древесины на силовые параметры процесса жёсткого шлифования проводилось с тремя породами – дуб, берёза и сосна. По результатам опытов построена диаграмма рис. 15, из которой видно, что силы резания наибольшие при шлифовании дуба, меньше при шлифовании берёзы и наименьшие при шлифовании сосны.



**Рис. 14.** Влияние направления волокон на силовые параметры процесса жёсткого шлифования:  $\alpha = 90^\circ$ ,  $H = 0,5$  мм,  $U_z = 0,00464$  мм, P150, дуб



**Рис. 15.** Влияние породы древесины на силовые параметры процесса жёсткого шлифования:  $\alpha = 90^\circ$ ,  $H = 1$  мм,  $U_z = 0,064$  мм, P150, вдоль волокон

**Заключение.** На основании анализа и интерпретации полученных экспериментальных данных определена степень влияния режимных, в том числе и угла подачи, и инструментальных факторов процесса жёсткого шлифования древесины, а также параметров обрабатываемой древесины на его силовые показатели при абразивной обработке инструментом цилиндрической и плоской формы.

*Литература*

1. Ветошкин Ю.И., Газеев М.В., Чернышев О.Н. Кинематические параметры и производительность шлифовальной поверхности древесины // *Forest Engineering : мат-лы науч.-практ. конф. с международным участием*, 2018. С. 49–54.
2. Гончар И.Н., Магура Б.А. К вопросу повышения стойкости жесткого абразивного инструмента при обработке массивной древесины // *Актуальные проблемы лесного комплекса*, 2013. № 36. С. 54–56.
3. Гришкевич А.А., Морозова О.И., Швед В.Т. Результаты исследований влияния технологических режимов шлифования древесины сосны на производительность инструмента и пути увеличения периода его стойкости // *Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов*, 2018. № 2 (210). С. 276–283.
4. Гришкевич А.А., Юдицкий А.Ю. Результаты исследований, определяющие критические режимы шлифования древесины // *Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов*. 2020. № 2 (234). С. 336–342.
5. Евдокименко Е.С., Ххатри Т. Проблемы идентификации и классификации лесоматериалов различной глубины обработки // *Administrative Consulting*. 2021. Т. 7. № 3. С. 17–26.
6. Каменев Б.Б., Сергеевичев А.В. *Дереворежущие инструменты*. СПб. : СПбГЛТУ, 2013. 332 с.
7. Романов В.А., Прусс Б.Н., Мосина Е.А., Прозоров Я.С. Снижение расхода шлифовальной шкурки в деревообработке за счет компьютерного моделирования процессов обработки заготовок // *Современная наука: актуальные вопросы, достижения и инновации*. Пенза, 2020. С. 61–64.
8. Санев В.И., Каменев Б.Б., Сергеевичев А.В. *Резание древесины и древесных материалов*. СПб, 2018. 456 с.
9. Сергеевичев А.В. *Формирование поверхности древесины и древесных материалов шлифованием : монография*. СПб. : СПбГЛТУ, 2015. 136 с.
10. Сергеевичев А.В. Анализ влияния скорости резания и подачи на шероховатость шлифованной поверхности древесины // *Мат-лы третьей Междунар. науч.-техн. конф. «Леса России: политика, промышленность, наука, образование»*. СПб., 2018. С. 336–339.
11. Сергеевичев А.В., Лебедев А.А., Дедерер М.А. Анализ условий и характера стружкообразования при шлифовании древесины в условиях частичной самозатачиваемости абразивного инструмента // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. СПб., 2022. № 240. С. 223–233.
12. Ding T.; Zhao J.; Zhu N.; Wang C. A comparative study of morphological characteristics of medium-density fiberboard dust by sieve and image analyses. *J. Wood Sci.* 2020, 66, 1–9.
13. Du, Y.; Tian, B.; Zhang, J.; Liu, H.; Luo, B. Research on abrasive belt wear and working life evaluation during sanding medium density fiberboard. *J. Beijing For. Univ.* 2021, 43, 126–134.
14. Emilia-Adela S. Optimization of the cutting schedule during sanding // *Lesnoy Vestnik. Forestry Bulletin*. 2017. Т. 21. № 4. С. 70–72.
15. Marková, I.; Jad'ud'ová, J.; Hroncová, E. Assessment the Region's Sustainability through Quality Labels for Small Farmers' Products. *Slovak Case Study* 2018.
16. Mei, Y.M.; Yu, Z.H.; Yang, Z.S. Numerical investigation of the evolution of grit fracture and its impact of cutting performance in single grit grinding. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2017, 89, 3271–3284.
17. O'ckajová, A.; Kučerka, M.; Kminiak, R.; Banski, A. Sustainable manufacturing process in the context of wood processing by sanding. *Coatings* 2021, 11, 1463.
18. Pedzik, M.; Stuper-Szablewska, K.; Sydor, M.; Rogozinski, T. Influence of Grit Size and Wood Species on the Granularity of Dust Particles during Sanding. *Appl. Sci.* 2020, 10, 8165.
19. Sydor, M.; Mirski, R.; Stuper-Szablewska, K.; Rogozinski, T. Efficiency of Machine Sanding of Wood. *Appl. Sci.* 2021, 11, 2860.
20. Ying, J.H.; Cheng, F.; Zhang, J.; Wu, D.N.; Luo, B.; Li, L. Effect of sanding parameters on energy consumption in wood belt sanding. *J. For. Eng.* 2019, 4, 38–45.
21. Yang, Y.; Wang, S.; Yiming, Z.; Jian, Z.; Bin, L. Wear mechanism and life of brown corundum abrasive belt in wood sanding process. *J. For. Eng.* 2020, 5, 121–127.
22. Zhang, J.; Yang, Y.; Luo, B.; Liu, H.; Li, L. Research on wear characteristics of abrasive belt and the effect on material removal during sanding of medium density fiberboard (MDF). *Eur. J. Wood Prod.* 2021, 79, 1563–1576.

*References*

1. Vetoshkin Yu.I., Gazeev M.V., Chernyshev O.N. Kinematic parameters and productivity of wood surface grinding // *Forest Engineering. materials of the scientific and practical conference with international participation*, 2018. pp. 49–54.
2. Gonchar I.N., Magura B.A. On the issue of increasing the durability of hard abrasive tools in the processing of solid wood // *Actual problems of the forest complex*, 2013. no. 36. pp. 54–56.
3. Grishkevich A.A., Morozova O.I., Shved V.T. Results of studies of the influence of technological modes of pine wood grinding on tool performance and ways to increase its service life // *Proceedings of BSTU. Series 1: Forestry, nature management and processing of renewable resources*, 2018. no. 2 (210). pp. 276–283.
4. Grishkevich A.A., Yuditsky A.Yu. Research results determining critical wood grinding modes // *Proceedings of BSTU. Series 1: Forestry, nature management and processing of renewable resources*. 2020. no. 2 (234). pp. 336–342.
5. Evdokimenko E.S., Khatri T. Problems of identification and classification of timber materials of different processing depths // *Administrative Consulting*. 2021. Vol. 7. no. 3. pp. 17–26.
6. Kamenev B.B., Sergeevichev A.V. *Wood-cutting tools*. St. Petersburg: St. Petersburg State Forest Technical University, 2013. 332 p.
7. Romanov V.A., Pruss B.N., Mosina E.A., Prozorov Ya.S. Reducing the consumption of sanding paper in woodworking due to computer modeling of workpiece processing processes // *Modern science: current issues, achievements and innovations*. Penza, 2020. pp. 61–64
8. Saney V.I., Kamenev B.B., Sergeevichev A.V. *Cutting wood and wood materials*. Textbook. Saint Petersburg, 2018. 456 p.
9. Sergeevichev A.V. *Formation of the surface of wood and wood materials by grinding*. Monograph. SPb. : SPbGLTU, 2015. – 136 p.
10. Sergeevichev A.V. Analysis of the influence of cutting speed and feed on the roughness of the ground wood surface // *Proceedings of the third international scientific and technical conference "Forests of Russia: policy, industry, science, education"*. Saint Petersburg, 2018. Pp. 336–339.
11. Sergeevichev A.V., Lebedev A.A., Dederer M.A. Analysis of the conditions and nature of chip formation during wood grinding under conditions of partial self-sharpening of the abrasive tool // *Bulletin of the Saint Petersburg Forest Engineering Academy*. Saint Petersburg, 2022. No. 240. P. 223–233.
12. Ding T.; Zhao J.; Zhu N.; Wang C. A comparative study of morphological characteristics of medium-density fiberboard dust by sieve and image analyses. *J. Wood Sci.* 2020, 66, 1–9.
13. Du, Y.; Tian, B.; Zhang, J.; Liu, H.; Luo, B. Research on abrasive belt wear and working life evaluation during sanding medium density fiberboard. *J. Beijing For. Univ.* 2021, 43, 126–134.

14. Emilia-Adela S. Optimization of the cutting schedule during sanding // *Lesnoy Vestnik. Forestry Bulletin*. 2017. Т. 21. № 4. С. 70–72.
15. Marková, I.; Jad'ud'ová, J.; Hroncová, E. Assessment the Region's Sustainability through Quality Labels for Small Farmers' Products. Slovak Case Study 2018.
16. Mei, Y.M.; Yu, Z.H.; Yang, Z.S. Numerical investigation of the evolution of grit fracture and its impact of cutting performance in single grit grinding. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2017, 89, 3271–3284.
17. Očkajová, A.; Kučerka, M.; Kminiak, R.; Banski, A. Sustainable manufacturing process in the context of wood processing by sanding. *Coatings* 2021, 11, 1463.
18. Pedzik, M.; Stuper-Szablewska, K.; Sydor, M.; Rogozinski, T. Influence of Grit Size and Wood Species on the Granularity of Dust Particles during Sanding. *Appl. Sci.* 2020, 10, 8165.
19. Sydor, M.; Mirski, R.; Stuper-Szablewska, K.; Rogozinski, T. Efficiency of Machine Sanding of Wood. *Appl. Sci.* 2021, 11, 2860.
20. Ying, J.H.; Cheng, F.; Zhang, J.; Wu, D.N.; Luo, B.; Li, L. Effect of sanding parameters on energy consumption in wood belt sanding. *J. For. Eng.* 2019, 4, 38–45.
21. Yang, Y.; Wang, S.; Yiming, Z.; Jian, Z.; Bin, L. Wear mechanism and life of brown corundum abrasive belt in wood sanding process. *J. For. Eng.* 2020, 5, 121–127.
22. Zhang, J.; Yang, Y.; Luo, B.; Liu, H.; Li, L. Research on wear characteristics of abrasive belt and the effect on material removal during sanding of medium density fiberboard (MDF). *Eur. J. Wood Prod.* 2021, 79, 1563–1576.