

74.05
КС1

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ БССР

БЕЛОРУССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ИМЕНИ С. М. КИРОВА

На правах рукописи

А. П. КЛУБКОВ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ
ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ФАКТОРОВ НА СИЛОВЫЕ
И КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ ДРЕВЕСИНЫ**

(Специальность 05—421—„Машины, оборудование
и технология лесопильных и дерево-
обрабатывающих производств“)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

МИНСК, 1969 год

674.05

К51

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ БССР

БЕЛОРУССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ С.М.КИРОВА

На правах рукописи

А.П.КЛУБКОВ



Пров. 1969 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ФАКТОРОВ НА СИЛОВЫЕ И КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ ДРЕВЕСИНЫ

/специальность 05-42I - "Машины, оборудование и техно-
логия лесопильных и деревообрабатывающих производств" /

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Минск
1969

2139ap

БЕЛОРУССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ С.М.КИРОВА
Минск

Работа выполнена на кафедре станков и инструментов
Белорусского технологического института имени С.М.Кирова .

Научный руководитель - доктор технических наук ,
профессор А.Л. Бершадский.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Н.А.Батин,
кандидат технических наук, доцент А.В.Моисеев.

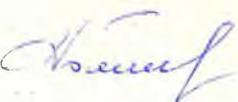
Ведущее предприятие - Речицкий фанерно-мебельный комбинат,
г.Речица.

Автореферат разослан " 30 " апрель 1969 г.

Защита диссертации состоится " 4 " июня 1969 г.
на заседании Учёного Совета Белорусского технологического ин -
ститута имени С.М.Кирова, г.Минск, ул.Свердлова, 13^а, ауд.220 .

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ваши отзывы на автореферат в 2-х экземплярах с заверенными
подписями просим присылать по адресу: г.Минск, ул.Свердлова, 13^а,
БТИ им.С.М.Кирова, учёному секретарю Совета .

Учёный секретарь Совета  / Н.П.Блинцова/

В в е д е н и е

Создание материально-технической базы коммунизма предусматривает широкое и всестороннее развитие деревообрабатывающей промышленности.

В результате развития и совершенствования техники и технологии деревообрабатывающих производств в текущем пятилетии выпуск мебели должен возрасти в 1,5 раза, производство плит из древесных материалов в 3,3-3,5 раза.

Одним из основных условий повышения производительности труда, качества изделий и снижения себестоимости продукции в деревообрабатывающей промышленности является разработка и внедрение оптимальных режимов резания, в особенности при фрезеровании.

Получение оптимальных режимов возможно лишь при наличии данных первичной информации по определенному процессу резания. В настоящее время нет достаточно полных данных первичной информации применительно к процессу фрезерования.

Учитывая перспективность применения в дальнейшем счетно-решающих устройств для получения оптимальных режимов резания, в работе предусматривается более широкое получение первичной информации по силовым и качественным показателям процесса фрезерования, которая необходима для получения вторичной информации в форме алгоритмов.

Из выше изложенного вытекает актуальность темы, задачами которой являются:

1. Исследование влияния основных технологических факторов на силовые характеристики процесса фрезерования в широком диапазоне толщин стружек /от 0,022 мм до 0,48 мм/ с уточнением центра давления сил на дуге контакта, что имеет большое значение для определения радиальных сил резания.

2. Составление уравнений резания для расчета режимов фрезерования.

3. Выявление количественных значений коэффициентов и углов трения на передней и задней гранях резца.

4. Определение нормального давления β на площади контакта древесины с передней гранью резца и давления на поперечное сечение стружки κ и взаимосвязь между ними.

5. Влияние степени затупления инструмента и некоторых технологических факторов на высоту неровностей разрушения и появление ворса.

Учтенная работа базируется на классических трудах по резанию древесины проф. И.А.Тиме, проф. К.А.Зворыкина, проф. А.А.Брикса, проф. М.А.Дешевого и современных фундаментальных научных работах проф. А.Л.Баршадского, проф. С.А.Воскресенского, проф. Ф.М.Манжоса, проф. А.Э.Грубе, доц. Е.Г.Ивановского.

Краткое содержание работы

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, примера расчета режимов резания, заключения, двух актов внедрения, двух приложений и библиографии.

Во введении рассматриваются вопросы, которые в настоящее время не изучены или изучены с недостаточной для практики точностью. На этой основе дается обоснование темы диссертации, определяются цели и задачи исследований.

В первой главе кратко приведены классические схемы стружкообразования и аналитические уравнения сил резания проф. И.А.Тиме, проф. К.А.Зворыкина, проф. А.А.Брикса, проф. П.А.Афанасьева, проф. М.А.Дешевого, проф. А.Л.Баршадского, проф. С.А.Воскресенского.

Во второй главе приведены основные теоретические положения, касающиеся вопросов резания древесины в целом и фрезерования в частности.

Третья глава - методическая. В этой главе на основании рекомендаций проф. С.А.Воскресенского все исследуемые факторы были разделены на три группы. Исходя из этого, были составлены две методические сет-

ки опытов: первая - для исследования силовых характеристик, вторая - для исследования качества поверхности.

В четвертой главе обосновывается принятая экспериментальная установка для одновременной записи касательной силы резания P , усилия подачи Q и усилия S , нормального к подаче.

В пятой главе приведены результаты экспериментальных исследований.

В шестой главе приведены данные исследований по выявлению влияния степени затупления инструмента на чистоту^{х/} поверхности обработки. Выявлены основные факторы, влияющие на образование ворсистости и мшистости.

В заключении подведены итоги исследований, даны рекомендации по практическому их применению в промышленности.

Особенности процесса резания древесины. Теоретические предпосылки к исследованию

При создании теории расчета режимов резания невозможно учесть все многообразие свойств древесины, вследствие чего приходится пользоваться эмпирическими формулами, полученными на основании опытных данных. Теоретические формулы применительно к процессу резания аннотированного материала /древесины/ позволяют установить лишь характер взаимосвязи, тенденцию изменения того или иного фактора, но не дают возможности определить количественные значения.

На основании независимости сил, действующих на передней и задней гранях инструмента, касательную силу резания можно представить в таком виде:

$$P = P_s + P_n \quad /1/$$

^{х/} Здесь и в дальнейшем принимаем терминологию и количественную оценку чистоты по ГОСТ 7016-54 "Чистота поверхности древесины".

где P_3 - касательная сила, действующая на задней грани инструмента, кг/мм;
 P_n - касательная сила, действующая на передней грани инструмента, кг/мм.

Многими исследователями установлено, что как при резании металлов, так и при резании древесины сила P_3 не зависит от толщины стружки.

Общую касательную силу резания по опытным графикам Ф. Н. Масленкова, Ф. М. Манжоса можно представить формулой

$$P = P_3 + K_e e^{1-m} \quad /2/$$

где K_e - удельное сопротивление резанию, кг/мм².

Как показывает график рис. 1, при изменении толщины стружки от $e = 0,022$ мм до $e = 0,48$ мм, имеем две прямые с различными углами наклона их к оси e . Следовательно, процесс резания разделяется на два процесса:

- а/ резание в области толщин стружек $e_n < 0,1$ мм;
- б/ резание в области толщины стружек $e > 0,1$ мм.

Разделив кривую $P = f(e)$, рис. 2, на два участка, констатируем, что сила резания на участке $e \leq (0,022 - 0,1)$ мм изменяется по криволинейному, а на участке $e > 0,1$ мм по прямолинейному закону.

Тогда формулы сил резания на указанных выше двух участках будут иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} \text{при } e < 0,1 \text{ мм} \quad P_n &= P_3 + K_n e^{1-m} & /3/ \\ \text{при } e > 0,1 \text{ мм} \quad P &= \bar{P}_3 + \bar{K} e & /4/ \end{aligned}$$

где \bar{P}_3 - начальная ордината на оси P при $e = 0$;
 \bar{K} - давление на поперечное сечение стружки, кг/мм².

Проф. А. Л. Бершадский для описания процесса резания принимает модель сжатия древесины в полужамкнутом пространстве, предложенную Е. Г. Ивановским, и устанавливает закон постоянства давления \bar{K} на поперечное сечение стружки.

Для определения сил на задней грани инструмента применяется

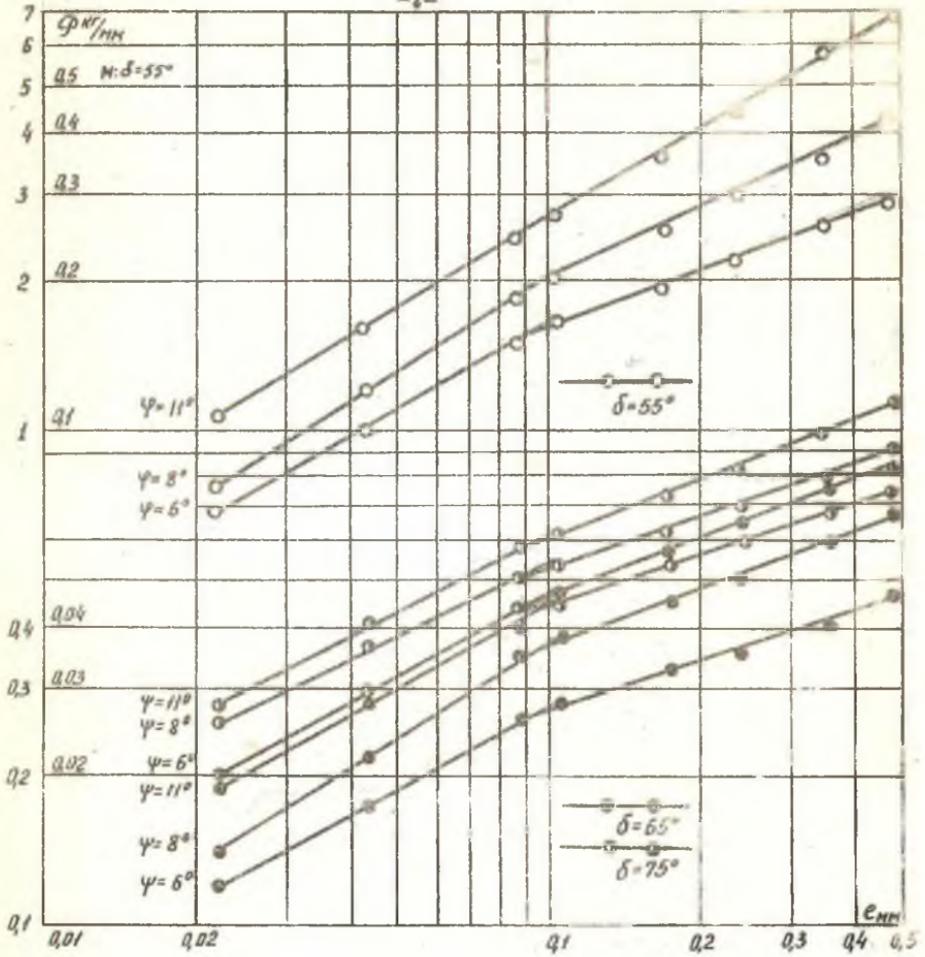


Рис. 1 Зависимость касательной силы резания от толщины стружки в логарифмических координатах.

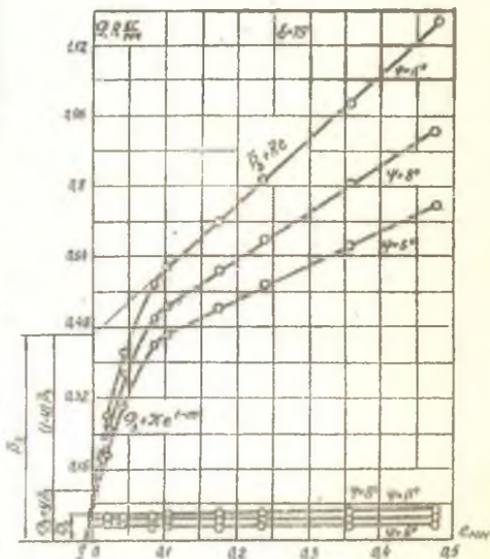
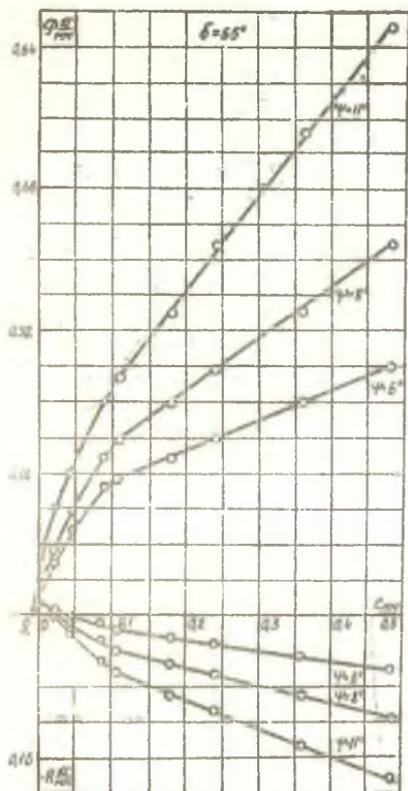


Рис. 2 Зависимость касательной силы P и радиальной силы R от толщины стружки e .

метод экстраполяции касательной и радиальной сил резания на нулевое значение толщины стружки.

Трение в процессе резания. Определение углов и коэффициентов трения на передней и задней гранях резца

Процесс резания древесины представляет один из случаев упруго-пластической деформации, протекающей при наличии сил трения между режущим инструментом и деформируемым материалом.

Угол трения φ определяет направление равнодействующей силы, возникающей на передней грани при отделении стружки. При исследовании процесса фрезерования, с определением сил и коэффициентов трения на передней грани инструмента, необходимо знать радиальную силу.

Радиальную силу резания можно представить следующей формулой:

$$R = P_0 - P_{отп} \quad /5/$$

или

$$R = P_0 - P_n \operatorname{tg}(90^\circ - \delta - \varphi) \quad /6/$$

где P_0 - сила отжима, действующая на заднюю грань;

P_n - сила, действующая на переднюю грань;

φ - угол трения;

δ - угол резания.

На задней грани режущего инструмента действуют две силы, не зависящие от сил на передней грани. Это силы P_3 и P_2 . Их отношение характеризует коэффициент упруго-пластического трения

$$f_0 = \frac{P_3}{P_2} \quad /7/$$

Чтобы определить коэффициенты и углы трения на передней грани, необходимо определить силы, действующие на эту грань:

$$P_n = P - P_3 = \bar{P}_3 + k e - \gamma \bar{P}_3 \quad /8/$$

где

$$P_3 = \gamma \bar{P}_3; \quad \gamma \cong a_2 \quad /9/$$

Подставив значения P_n в формулу /6/ получаем:

$$\operatorname{tg}(90^\circ - \delta - \varphi) = \frac{R_{L-1} - R_L}{K(e_L - e_{L-1})} \quad /10/$$

или

$$\operatorname{tg}(90^\circ - \delta - \varphi) = \frac{R_{L-1} - R_L}{\varphi_{L-1} - \varphi_L} \quad /11/$$

Из уравнений /10/, /11/ угол трения будет равен:

$$\varphi = 90^\circ - \delta - \operatorname{arctg} A \quad /12/$$

где A -- правая часть уравнений 10, 11.

Коэффициент трения определится по формуле

$$\mu = \operatorname{tg} \varphi \quad /13/$$

Определение кинематического угла встречи θ_{cp} между вектором скорости резания и скорости подачи

При круговом резании /фрезерование, шлиение/ во все расчетные формулы входит кинематический угол встречи θ_{cp} , рис. 3

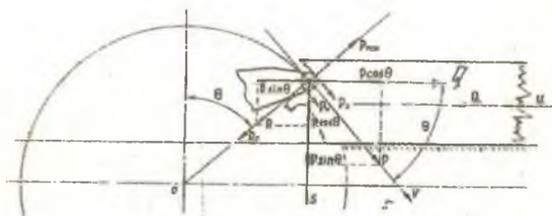


Рис. 3 Схема сил, действующих на резец, при круговом резании.

В практике расчета он принимается равным $\theta_{cp} = \frac{\varphi_c}{2}$, а центр давления сил принимается на середине дуги контакта. Здесь φ_c -- угол контакта ножа на дуге резания ℓ . Тогда кинематический угол встречи θ_{cp} определялся формулами:

$$\theta_{cp} = \operatorname{arcsin} \sqrt{\frac{\ell}{2}} \quad /14/ \quad \text{или} \quad \theta_{cp} = \operatorname{arcsin} \frac{\ell}{2} \quad /15/$$

Сказывается ли смещение принятого центра давления сил от середины

дуги врезания на силовые характеристики? Как показал анализ, смещение принятого центра давления от середины дуги контакта в незначительной мере сказывается на численном значении касательной силы резания и в значительной мере сказывается на радиальной силе. В некоторых случаях при этом радиальная сила может изменить направление.

Для определения значений θ_{cp} необходимо в процессе опытов определять P , Q , S , тогда значение θ_{cp} определим по формуле

$$\theta_{cp} = \arcsin \frac{P \cdot S \pm \sqrt{P^2 S^2 - (S^2 + Q^2)(P^2 - Q^2)}}{Q^2 + S^2} \quad /16/$$

Учет затупления инструмента при резании

Так как в настоящее время влияние степени затупления инструмента на силовые характеристики изучено достаточно полно, то специальных опытов по затуплению инструмента в работе не проводилось.

Как показывает анализ, увеличение общей силы резания P происходит за счет силы, действующей по задней грани, в сильной мере зависящей от степени затупления инструмента.

Обработка опытных данных по затуплению показала, что

$$P_p = a_p P_0 + K e \quad /17/$$

где a_p - коэффициент затупления лезвия.

По обобщениям проф. А. Л. Баршадского

$$a_p = 1 + 0,04 (\rho - \rho_0), \quad \rho_0 = 5 \div 6 \text{ мк} \quad /18/$$

Интенсивность степени затупления лезвия в мк на метр пути контакта определяется формулой

$$\rho = \frac{\rho - \rho_0}{L} = \frac{(\rho - \rho_0) 1000}{\sqrt{h \cdot \Phi} \pi T} \quad /19/$$

где T - время фрезерования в миц.;

L - путь контакта в м.

Коэффициент интенсивности затупления ρ определен нами для процесса фрезерования. Его численное значение находится в пределах $0,0006 \div 0,0008$ мк/м. пути контакта.

Новые обобщения, а также опыты по фрезерованию В. П. Бухтиярова, Э. И. Онезашвили, Т. А. Носовского, В. И. Чуприна, с одной стороны, подтвердили закон независимости действия сил по обе стороны от плоскости раздела, а с другой — указывают на решающее влияние пути контакта реза с древесиной, с увеличением которого увеличивается радиус затупления, а следовательно и сила на задней грани инструмента. С учетом коэффициента затупления, расчетные динамические и кинематические формулы будут иметь следующий вид:

а/ прямая задача

$$N = \frac{K \delta h U}{60 \cdot 102} = \frac{(\bar{R} + \frac{a_p \bar{P}_3}{e}) \delta h U}{60 \cdot 102} \quad /20/$$

$$N_H = \frac{K_H \delta h U}{60 \cdot 102} = \left[(8 \bar{P}_3 + \bar{R}) + \frac{(a_p - 0,8) \bar{P}_3}{e_H} \right] \frac{\delta h U}{60 \cdot 102} \quad /21/$$

б/ обратная задача

$$U = \frac{60 \cdot 102 N}{K \delta h} - \frac{a_p \bar{P}_3 \cdot z \cdot n \sqrt{D}}{10^3 \bar{R} \sqrt{h}} \quad /22/$$

$$U_H = \frac{60 \cdot 102 N}{K_H \delta h} - \frac{(a_p - 0,8) \bar{P}_3 \cdot z \cdot n \sqrt{D}}{10^3 \bar{R}_H \sqrt{h}} \quad /23/$$

Значение скорости подачи, при которой получается микростружка, определяется по формуле

$$e = c_2 \sqrt{\frac{h}{D}} \leq 0,1 \quad \text{т.е.} \quad c_2 < \frac{0,1 \sqrt{D}}{\sqrt{h}}$$

$$U = \frac{c_2 \cdot z \cdot n}{1000} < \frac{0,1 \cdot z \cdot n \sqrt{D}}{10^3 \sqrt{h}}$$

Следовательно, если по расчету получим, что $U < \frac{0,1 \cdot z \cdot n \sqrt{D}}{10^3 \sqrt{h}}$ то N и U необходимо определять по формулам /21/, /23/.

Чистота поверхности при фрезеровании

Одним из основных параметров, влияющих на чистоту обработки, является радиус затупления режущей кромки. Тупой резец при внедрении его в древесину создает обширную зону деформации, что приводит к образованию дефектов обработки в виде ворса, мшистости, вырывов, упругого восстановления по годовым слоям. Если неровности разрушения и

упругого восстановления нормируются и поддаются объективной оценке, то ворсистость и мшистость не нормируются и такой оценке не поддаются.

Основными технологическими факторами, влияющими на появление ворса, являются: радиус затупления, подача на нож, диаметр фрезерной головки, физико-механические свойства ранней и поздней зоны годичного слоя и влажность древесины. Кинематические факторы, влияющие на образование ворса, характеризуются углом выхода ножа из волны, который равен:

$$\psi' = \arcsin \frac{C_2}{\varphi} \quad /24/$$

Ворс образуется на рыхлой древесине годичного слоя за счет поднятия волокон затупленным резцом при движении его от нижней точки касания вверх по направлению вращения режущего инструмента.

Методика проведения экспериментальных исследований

Методикой предусматривается проведение опытов с учетом основных технологических факторов. При проведении экспериментов одни факторы оставались постоянными, неизменными на всем протяжении опыта, другие изменялись в пределах, необходимых для выполнения задач исследований.

На основании анализа были выделены независимые переменные, зависимые переменные и постоянные факторы.

Экспериментальная установка

Установка, принятая для исследования процесса фрезерования, была создана на базе вертикально-фрезерного станка Ф-4.

Установка состоит из следующих основных узлов и механизмов:

а/ механизма резания;

- б/ механизма подачи;
- в/ измерительных динамометров с тензoeлементами;
- г/ измерительного стенда и регистрирующей электронной аппаратуры.

Для замера двух составляющих Q и S общего усилия резания был изготовлен высокоупругий, тонкостенный цилиндрический преобразователь конструкции доц. Е.Г.Ивановского.

Для замера относительной продольной деформации, вызываемой крутящим моментом, была разработана специальная фрезерная насадка, на которую были наклеены фольговые датчики омического сопротивления. Сигналы механических величин, преобразованные в электрические, усиливались и подавались на шлейф осциллографа.

Результаты экспериментальных исследований и их анализ

Экспериментальная установка и регистрирующая аппаратура позволяла измерять касательную силу резания P , усилие подачи Q и усилие S , нормальное к подаче.

Влияние толщины стружки на касательную и радиальную силы резания

Влияние толщины стружки на касательную и радиальную силы резания исследовались при различных ее значениях - от 0,022 мм до 0,48 мм.

Касательная сила резания была определена непосредственно как через крутящий момент, так и посредством расчета через Q и S .

Значения P , Q и S были получены в зависимости от переменных независимых факторов на основании принятой методики.

Опытные значения касательной силы резания были обработаны методами вариационной статистики. Графическое обобщение силы резания в координатах $\bar{P}-e$ /рис. 2/ показывает, что изменение касательной силы резания в области тонких стружек / $e_m < 0,1$ мм/ происходит по криволинейной зависимости. При переходе к более толстым стружкам / $e > 0,1$ мм/ кривая изменения \bar{P} близка к прямой, что подтверждает положение о постоянстве давления на передней грани инструмента при упруго-пластическом деформировании снимаемого объема стружки.

На графике рис. 2 представлено изменение радиальной силы резания, которая была подсчитана по формуле

$$R = Q \sin \theta \pm S \cos \theta \quad /25/$$

где θ и S - опытные значения усилия подачи и усилия, нормального к подаче.

Удельная касательная сила резания / \bar{P} / и удельное сопротивление резанию / K / при толщинах стружки $e > 0,1$ мм

Зависимость касательной силы резания \bar{P} от толщины стружки аппроксимирована прямой, уравнение которой имеет вид

$$\bar{P} = \bar{P}_3 + Ke \quad \text{или} \quad \bar{P} = \bar{P}_3 + \bar{P}_n$$

Уравнения прямых для трех углов резания / $\delta = 55, 65$ и 75° / и трех углов перерезания волокон / $\psi = 6, 8$ и 11° / приведены в табл. I

Таблица I

ψ°	$\delta = 55^\circ$	$\delta = 65^\circ$	$\delta = 75^\circ$
$\psi = 6^\circ$	$\bar{P} = 0,128 + 0,32e$	$\bar{P} = 0,228 + 0,493e$	$\bar{P} = 0,392 + 0,76e$
$\psi = 8^\circ$	$\bar{P} = 0,132 + 0,6e$	$\bar{P} = 0,292 + 0,813e$	$\bar{P} = 0,416 + 1,08e$
$\psi = 11^\circ$	$\bar{P} = 0,152 + 1,06e$	$\bar{P} = 0,342 + 1,2e$	$\bar{P} = 0,46 + 1,46e$

Обработывая эти уравнения в координатах $\bar{P}_3-\delta$, $\bar{P}_3-\psi$, $\bar{K}-\delta$ и $\bar{K}-\psi$, получаем общее уравнение касательной силы резания

$$\bar{P} = [0,013\delta - (0,72 - 0,02\psi)] + [0,023\delta - (2 - 0,16\psi)] e \quad /26/$$

Разделив значение \bar{P} на среднюю толщину стружки e , получим фор-

мулу удельного сопротивления резанию K в кг/мм²:

$$K = \frac{P}{S} = 0,023\delta - (2 - 0,16\psi) + \frac{0,013\delta - (0,72 - 0,02\psi)}{e} \quad /27/$$

Удельная сила резания $/P_N/$ и удельное сопротивление резанию $/K_N/$ в диапазоне толщин стружек $0 < e_N < 0,1$ мм

Силовые характеристики процесса фрезерования при срезе тонких стружек недостаточно изучены и нет уравнений для их определения.

Для установления зависимости P_N и K_N от толщины стружки были проведены опыты по определению коэффициентов, входящих в формулы /3/ и /4/.

Так как силы, действующие на задней грани, не зависят от толщины стружки и сил, действующих на передней грани, то дальнейшая обработка велась с целью определения сил на передней грани по формуле:

$$P_{пн} = K_{пн} e^{1-m} \quad /28/$$

Откладывая по оси абсцисс $\lg e$, а по оси ординат $\lg K_{пн}$, получаем систему уравнений /табл. 2/ вида

$$K_{пн} = \frac{K'}{e^m} \quad /29/$$

Таблица 2

Угол резания δ° Угол перед резания во- дочек ψ°	$\delta = 55^\circ$	$\delta = 65^\circ$	$\delta = 75^\circ$
$\psi = 6^\circ$	$K_{пн} = \frac{0,79}{e^{0,25}}$	$K_{пн} = \frac{1,45}{e^{0,25}}$	$K_{пн} = \frac{2,4}{e^{0,25}}$
$\psi = 8^\circ$	$K_{пн} = \frac{1,07}{e^{0,25}}$	$K_{пн} = \frac{1,86}{e^{0,25}}$	$K_{пн} = \frac{2,88}{e^{0,25}}$
$\psi = 11^\circ$	$K_{пн} = \frac{1,2}{e^{0,24}}$	$K_{пн} = \frac{2,5}{e^{0,24}}$	$K_{пн} = \frac{3,34}{e^{0,25}}$

Тогда уравнение касательной силы резания будет иметь вид:

$$P_N = P_3 + K_{пн} e^{0,76} \quad /30/$$

С учетом влияния некоторых технологических факторов получим полное уравнение P_N

$$P_n = P_3 + [(0,05 + 0,004\varphi)\delta - 3,4] e^{0,7\delta} \quad /31/$$

Фактические силы на задней грани инструмента

Для определения сил, возникающих на задней грани инструмента, применен метод экстраполяции касательной и радиальной сил резания на нулевое значение толщины стружки. Значения касательной силы P_3 и усилия отжима P_2 , действующих на задней грани, приведены в табл. 3. Отношение $\frac{P_3}{P_2}$ характеризуется коэффициентом упруго-пластического трения f_0 . Среднее арифметическое значение f_0 для острых резцов равно $2,0,14$.

Таблица 3

Зависимые переменные факторы	Угол резания δ в градусах								
	$\delta = 55^\circ$			$\delta = 65^\circ$			$\delta = 75^\circ$		
	Высота снимаемого слоя R , мм								
	2	4	8	2	4	8	2	4	8
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P_3	0,0256	0,029	0,036	0,044	0,058	0,068	0,074	0,084	0,096
$P_2 = R_0$	0,0124	0,013	0,016	0,022	0,03	0,034	0,04	0,046	0,05
f_0	2,06	2,16	2,24	2,00	1,94	2,00	1,85	1,83	1,92

Определение радиальных сил резания

Численные значения радиальных сил резания были определены по формуле /25/ по опытным значениям Q и S . Преобразовывая формулу /6/, получаем для определения радиальных сил резания следующую зависимость

$$R = \frac{P_3}{f_0} - P_n \operatorname{tg}(90^\circ - \delta - \varphi) \quad /32/$$

Принимая $P_n = P - P_3$, $f_0 = 2$, а $P_3 \cong 0,2 \bar{P}_3$ /установлено на основании анализа графиков рис. 2 /, получаем

$$R = 0,1 \bar{P}_3 - (P - 0,2 \bar{P}_3) \operatorname{tg}(90^\circ - \delta - \varphi) \quad /33/$$

С учетом затупления режущего инструмента формула /33/ принима-

ет следующий вид:

$$R_p = \frac{(a_e - a_s) \bar{P}_3}{f_p} - [a_s \bar{P}_3 + \bar{K}e] \operatorname{tg}(90^\circ - \delta - \varphi) \quad (134)$$

Углы и коэффициенты трения на передней грани инструмента

Углы и коэффициенты трения на передней грани инструмента были определены по формулам /I0/, /II/, /I2, I3/. В тех пределах изменения независимых переменных факторов, которые были приняты в исследованиях, их значения приведены в табл. 4

Таблица 4

№ пп	Независимые переменные факторы	Угол резания δ , в градусах								
		$\delta = 55^\circ$			$\delta = 65^\circ$			$\delta = 75^\circ$		
		Высота снимаемого слоя h , мм								
		2	4	8	2	4	8	2	4	8
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	II
1	Угол трения φ / по формуле I0 /	15,3	16,5	16,7	15,8	15,2	15,6	14,9	15,1	15,1
2	Угол трения φ / по формуле II /	15,4	16,3	17,1	15,4	15,1	15,7	14,9	15,1	15,1
3	Коэффициент трения μ / по формуле I0 /	0,273	0,297	0,3	0,28	0,27	0,277	0,266	0,269	0,269
4	Коэффициент трения μ / по формуле II /	0,275	0,292	0,307	0,275	0,269	0,281	0,266	0,269	0,269

Кинематический угол встречи $\vartheta_{ср}$.

Для определения кинематического угла встречи $\vartheta_{ср}$ опытные значения φ , Q и S были подставлены в формулу /16/. Полученные значения $\vartheta_{ср}$ на основе формулы /16/, сравнивались со значениями $\vartheta_{ср}$,

подсчитанные по кинематическим формулам /14/, /15/. Результаты подсчетов представлены в табл. 5

Таблица 5

№ пп	Диаметр окружности резания, D , мм	Угол резания δ°	Глубина фрезерования h , мм	Численные значения угла θ_{cp} по кинематическим формулам		Численные значения угла θ_{cp} по формуле /16/
	220	55°	2	5,7°	6,32°	6,2
			4	7,77°	7,94°	7,79
			8	II	II,83	II,22
		65°	2	5,7	6,32	5,8
			4	7,77	7,94	7,95
			8	II	II,83	II,16
		75°	2	5,7	6,32	6,36
			4	7,77	7,94	8,66
			8	II	II,83	II,04

Таким образом, проведенные расчеты показали, что расхождения численных значений угла θ_{cp} , определенного по формулам /14/, /15/ и формуле /16/, составляют не более 1°.

Чистота поверхности обработки фрезерованием с учетом затупления режущего инструмента

Результаты измерений высоты неровностей разрушения на поверхности фрезерованных деталей в зависимости от степени затупления инструмента представлены выборочными графиками, рис.4-5. Из графиков видно, что высота неровностей разрушения с увеличением радиуса затупления инструмента ρ непрерывно возрастает.

Наиболее интенсивно ухудшается чистота поверхности обработки при радиусе затупления $\rho \geq 30$ мк и подаче на нож $C_2 \geq 3,6$ мм.

При указанных выше режимах появляется ворс на ранней древесине годичного слоя на участке выхода ножа из волны. Угол выхода ножа из волны, при котором получается ворс, равен $\psi' = 109$. На образование ворса сказывается различие в физико-механических свойствах ранней и поздней древесины. Для выявления этих различий были проведены опы-

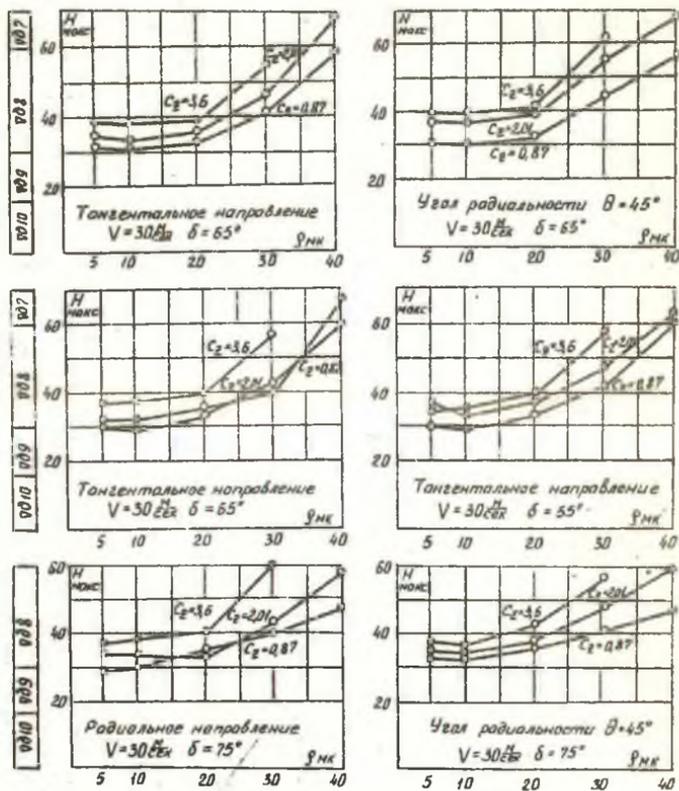


Рис. 4 Влияние радиуса затупления инструмента на чистоту поверхности при фрезеровании сосны.

ты по вдавливанию шарика диаметром 1,5 мм в раннюю и позднюю зону древесины, по методике, предложенной проф. Б.М.Буглаем.

Эти опыты показали прямолинейный характер зависимости величины деформации от нагрузки, что можно видеть на графике рис. 6. Величина деформации ранней зоны годичного слоя в 1,5-2 раза больше, чем поздней.

Интенсивно образуется ворс на тангентальных срезах. Это ухудшение чистоты поверхности можно объяснить наличием большой зоны ранней древесины на дуге контакта. В этом случае резец одновременно перерезает как раннюю, так и позднюю древесину годичного кольца.

При больших радиусах затупления возникают большие усилия, деформирующие отделяемый слой, которые вызывают отслоение одного слоя от другого.

Следовательно, слабая внутренняя связь между годовыми кольцами хвойных пород, резкое различие в физико-механических свойствах ранней и поздней древесины, являются основной причиной появления ворса.

При обработке дуба затупленным инструментом ворс на поверхности не появляется, но имеются большие вырывы и прижоги на поверхности обработки. Это явление можно объяснить большой сопротивляемостью волокон дуба перерезанию, в связи с чем волокно легче вырывается, чем перерезается.

Высота неровностей разрушения при обработке строительных деталей влажностью 12-15% значительно больше, чем для древесины с влажностью 8-10%. Повышенная влажность особенно сказывается на появлении ворса и упругое восстановление по годовым слоям. Наличие у древесины ранней /рыхлой/ и поздней /твердой/ зон, обуславливает появление упругих и вязких деформаций.

Упругое восстановление по годовым слоям образуется при больших радиусах затупления, малых подачах на нож и малых скоростях резания.

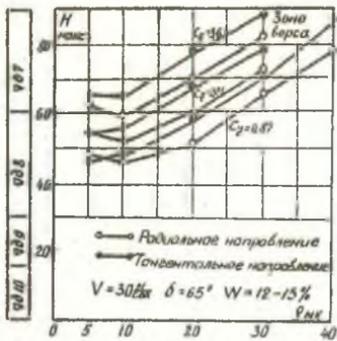


Рис. 5 Влияние радиуса затупления инструмента на чистоту поверхности при фрезеровании.

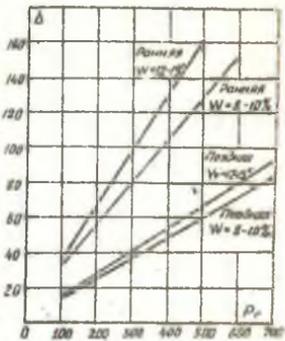


Рис. 6 Зависимость деформации от нагрузки.



Рис. 7 Графики скоростей подачи при фрезеровании древесины с учетом чистоты поверхности.

Это явление объясняется следующим. При нагружении древесины с определенной скоростью, упругая деформация возникает почти мгновенно /со скоростью распространения звука в древесине/, а вязкая - развивается во времени.

Величина упругой деформации не зависит от скорости нагружения, вязкая же деформация зависит от скорости нагружения и она тем больше, чем меньше скорость нагружения.

При больших скоростях резания и подачи, в ранней и поздней зонах годичного слоя будут возникать только упругие деформации, восстанавливающиеся почти мгновенно после прохождения резца.

При малых скоростях резания и подачи успевает развиваться вязкая деформация и она будет больше в ранней зоне, чем в поздней. После прохождения резца вязкие деформации с течением времени восстанавливаются, а так как в раннем слое они были больше, то этот слой будет иметь выступ, а поздний - впадину, что и подтверждается нашими опытами при скорости резания 5 м/сек и подаче на нож 0,87±2,01 мм.

Степень затупления инструмента не оказывает существенного влияния на чистоту поверхности обработки при изменении углов резания от 55° до 75° и скорости резания от 20 до 46 м/сек. Различия в численных значениях высоты неровностей разрушения составляют $H_{\text{нак}}=8-10$ мк.

Особо важное значение при работе затупленным инструментом имеет величина подачи на резец C_z .

С увеличением подачи на резец чистота поверхности обработки ухудшается, вызывая появление ворса. Ворс образуется при $\rho > 30$ мк и $C_z = 3,6$ мм. Величина радиуса затупления в 40 мк считается критическим для фрезерных инструментов.

При подаче на нож 3,6 мм и радиусе затупления 30 мк, скорость подачи ограничивается не длиной волны, а ворсистостью и мшистостью. В этом случае скорость подачи $U' = \frac{C_z \cdot n}{1000} = \frac{3,6 \cdot n}{1000}$ м/мин.

Так, при $\rho = 30$ мк, $n = 6000$ об/мин, максимально возможная скорость подачи будет $U' = 21,6$ м/мин. Скорость подачи, вычисленная по мощности может оказаться выше, чем по волнообразованию, и в этом случае следует работать на меньшем значении U' , а это не целесообразно, так как снижается производительность оборудования.

Для того, чтобы повысить производительность оборудования, необходимо организовать заточку ножей по времени таким образом, чтобы к концу упряга радиус затупления был меньше 30 мк. Это дает возможность вести расчеты из условия волнообразования, что будет гарантировать нужный класс чистоты не снижая производительности.

Решение практического примера на основании проведенных исследований показываея, графики рис. 7 .

В первом случае, как при $a_p = 2$, так и при $a_p = 1$ мощность не лимитирует скорость подачи до $U = 72$ м/мин. Скорость подачи лимитируется длиной волны, но при $\rho = 30$ мк допустимая скорость подачи

$U = 21,6$ м/мин. Это ограничительное значение показано на графике /а/ линией 1-1. Заточивая ножи каждую смену, добиваясь получения $\rho < 30$ мк в конце упряга, можем получать $\nu \delta$ при ширине обрабатываемого материала $b = 70$ мм со скоростью подачи $U = 34$ м/мин. Таким образом, в этом случае можем повысить производительность на 37%.

По графику /б/ при $h = 4$ мм и $b = 70$ мм по мощности можно достигнуть скорости подачи $U = 38$ м/мин, если $\rho < 30$ мк, а при $\rho > 30$ мк скорость подачи ограничивается величиной 21,6 м/мин. Следовательно, при своевременной заточке ножей в этом случае, производительность можно повысить на 45%.

Отсюда следует, что важным фактором повышения производительности является своевременная переточка ножей, время переточки может быть определено по коэффициенту интенсивности износа η /формула 19 /.

В ы в о д ы

1. В результате проведенных исследований подтвержден и развит метод расчета режимов фрезерования древесины, с учетом энергетических, силовых и качественных параметров.

2. Получены формулы для расчета касательной силы резания и удельного сопротивления резанию при толщине стружек больше 0,1 мм /формулы 26, 27 / .

3. Получены формулы для расчета радиальных сил резания для острых и затупленных резцов /формулы 33, 34 / .

4. Получены формулы для расчета касательных сил резания при толщине стружек меньших 0,1 мм. / формулы 30,31 / .

5. Определены фактические силы, действующие на задней грани инструмента /табл. 3 / .

6. Определены коэффициенты (μ) и углы (φ) трения на передней грани инструмента при фрезеровании сосны /табл. 4 / .

7. Определен коэффициент трения (f) по задней грани инструмента для острых резцов при фрезеровании сосны /табл. 3 / .

8. Выявлена возможность применения предлагаемой методики определения углов и коэффициентов трения для исследования других пород древесины /формулы 10, 11, 12, 13 / .

9. Определено значение среднего кинематического угла встречи $\theta_{ср}$ между векторами скорости резания и подачи, что уточнило центр давления сил на дуге контакта резца с древесиной.

10. На основании разработанных и уточненных формул / 20 - 23 / мощности и скорости подачи с учетом затупления можно решать прямые и обратные задачи для различных условий фрезерования.

11. Установлено влияние степени затупления режущего инструмента на чистоту поверхности обработки.

12. Следует считать радиус затупления $\rho = 40$ мк и подачу на

ной $C_z = 3,6$ мм крайним значением для фрезерных станков, так как при указанных режимах на поверхности обработки появляется ворс.

13. Установлено, что при радиусе затупления $\rho \leq 20$ мкм и изменениях углов резания от 55° до 75° , скоростей резания от 20 до 46 м/сек, ρ не оказывает существенного влияния на чистоту поверхности.

14. Вопросы, связанные с переточкой режущего инструмента во времени, выявлены исходя из выведенного коэффициента интенсивности затупления инструмента /по формуле 19 /.

15. Определены численные значения касательных, радиальных сил резания в пределах исследуемых факторов.

Основные положения диссертационной работы доложены на конференциях.

1. На научно-технической конференции, посвященной 50-летию Советской власти. БТИ им. С. М. Кирова, г. Минск, 1967.

2. На научно-технической конференции аспирантов. БТИ им. С. М. Кирова, г. Минск, 1968.

3. На научно-технической конференции, посвященной 50-летию БССР и КПБ, 100-летию со дня рождения В. И. Ленина. БТИ им. С. М. Кирова, г. Минск, 1969.

Основное содержание работы опубликовано в следующих статьях.

1. Клубков А. П. Влияние затупления инструмента на чистоту поверхности при фрезеровании. Промышленность Белоруссии, №7, 1968.

2. Клубков А. П. Определение сил на задней грани инструмента при фрезеровании древесины. Промышленность Белоруссии, №10, 1968.

3. Бершадский А. Л., Клубков А. П. Углы и коэффициенты трения при резании древесины. Промышленность Белоруссии, №11, 1968.

4. Клубков А. П., Санкович А. И. Фреза для обработки открытых и

фасонных поверхностей древесины. Механическая обработка древесины, реферативная информация, № 18, 1968.

5. Клубков А. П., Санкович А. И. Четырехножевая фрезерная головка для обработки древесины. Листок технической информации, Минск, 1968.

6. Клубков А. П. Расчет радиальных сил резания при остром и затупленном резае. Материалы научно-технической конференции. БТИ им. С. М. Кирова, 1969.

7. Клубков А. П. Трехкомпонентная экспериментальная установка для исследования процесса фрезерования древесины. Совершенствование техники и технологии производств. Тезисы докладов. Минск, 1967.