

674  
H37

БЕЛОРУССКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ С.М.КИРОВА

На правах рукописи

НГУЕН ХЫУ ЛОК

РАЗРАБОТКА РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ  
ДРЕВЕСИНЫ ТРОПИЧЕСКИХ ПОРОД МЕТОДОМ  
ФРЕЗЕРОВАНИЯ

Специальность 05.21.05 – Технология и оборудование  
деревобрабатывающих производств, древесиноведение

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Минск 1991

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

- Научный руководитель - кандидат технических наук,  
доцент КЛУБКОВ А.П.
- Официальные оппоненты - доктор технических наук,  
профессор АМАЛИЦКИЙ В.В.,  
- кандидат технических наук,  
доцент КАРПОВИЧ С.И.
- Ведущая организация - НПО "Минскпроектнаучмебель".

Защита состоится 21 января 1992 г. в 15 часов на заседании специализированного совета К.056.01.01 в Белорусском технологическом институте им. С.М.Кирова по адресу: 220630, г. Минск, ул. Свердлова, 13а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского технологического института им. С.М. Кирова.

Автореферат разослан 25 декабря 1991 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета  
кандидат технических наук

ТРОФИМОВ С.П.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Оптимизация режимов резания древесины является одной из наиболее актуальных проблем в совершенствовании деревообрабатывающих производств. Ее роль возрастает при применении в деревообработке автоматических линий и особенно станков с программным управлением. Оптимальные режимы резания позволяют существенно повысить производительность станка,

стойкость инструмента, точность обработки и качество обработанной поверхности. Для этой цели необходимо разработать математические модели описания режимов резания, исследовать сущность процесса износа и затупления режущего инструмента для прогнозирования стойкости и повышения его долговечности. Анализ расчетных методов силовых и качественных показателей показывает, что в настоящее время деревообрабатывающая промышленность не располагает достаточной информацией, дающей возможность получить аналитическим путем математическое описание процесса фрезерования древесины тропических пород. Поэтому проведение исследований с целью разработки рациональных режимов обработки древесины тропических пород методом фрезерования представляется актуальным.

Цель и задачи исследований. Целью работы является исследование процесса фрезерования древесины тропических пород.

В соответствии с поставленной целью в программу исследований были включены следующие задачи.

1. Исследовать параметры стружки при фрезеровании древесины резцом с углом наклона профиля  $\psi$ .

2. Разработать математическое описание профиля фрезерного инструмента.

3. Исследовать процесс формирования поверхности обработки при фрезеровании древесины тропических пород.

4. Разработать математические модели зависимости силовых показателей и шероховатости поверхности обработки от основных технологических параметров при прямолинейном резании и фрезеровании древесины тропических пород.

5. Исследовать приработочный износ инструмента и составить уравнения зависимости линейного износа и радиуса округления лезвия от длины пути резания при фрезеровании древесины тропических пород.

Научная новизна. Разработаны уточненные формулы для определения параметров стружки при фрезеровании древесины с углом наклона профиля  $\psi$ , которые являются основными для процесса профильной обработки. Получены зависимости для определения длины дуги контакта резца с древесиной с учетом подачи на резец  $S_z$ . Разработаны математическое описание профиля фрезерного инструмента и методика расчета его на прочность. Разработаны уравнения регрессии шероховатости поверхности при прямолинейном резании и фрезеровании древесины тропических пород. Определены оптимальные зоны формирования поверхности обработки, получены зависимости длины дуги скольжения резца по древесине от параметров  $D$ ,  $\alpha$  и  $\rho$ . Разработаны математические модели зависимости силовых показателей от основных факторов режимов резания при фрезеровании. Выявлено влияние основных факторов режимов резания на приработочный износ инструмента и получены модели прогнозирования его стойкости при фрезеровании. Результаты исследований обработаны на ЭЕМ.

Практическая ценность. Теоретические и экспериментальные исследования могут быть применены для разработки системы автоматизированного проектирования фрезерных инструментов, технологических процессов производства. Математические модели зависимости силовых и качественных показателей позволяют определить оптимальные режимы при прямолинейном резании и фрезеровании древесины тропических пород. Стойкость фрезерного инструмента можно определять по моделям его прогнозирования. Результаты исследований также могут быть использованы при проектировании машин, работающих методом фрезерования.

Реализация результатов исследований. Результаты научных исследований опробованы в производственных условиях по выпуску строганого шпона и штучного паркета в объединении "Минскмебель". Впервые испытана новая конструкция фрезы по А.с. № 666080 в промышленных условиях.

Апробация работы. Результаты исследований обсуждались на научных семинарах кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов Белорусского технологического института им. С.М.Кирова.

Публикация результатов работы. По теме диссертации опубликовано 3 работы.

Объем работы. Диссертация содержит введение, шесть глав, выводы, список использованной литературы и приложения. Основная часть работы изложена на 149 страницах машинописного текста, иллюстрирована 100 рисунками на 93 страницах, имеет 30 таблиц и допол-



нена приложениями на 44 страницах!

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дано обоснование актуальности темы диссертации и приведена краткая характеристика работы в целом.

Глава I посвящена литературному обзору по основным положениям процесса фрезерования древесины и состоянию вопроса исследований. Вначале дан анализ расчетных формул сил резания по данным различных теорий и экспериментальных исследований И.А.Тиме, К.А.Зворыкина, А.А.Брикса, М.А.Дешевого, А.Л.Бершадского, С.А.Воскресенского, В.И.Санева, Е.Г.Ивановского и др. На шероховатость поверхности в определенной степени влияет процесс стружкообразования, который непосредственно связан с контактными явлениями на поверхностях резца и процессом врезания лезвия резца в материал. Проведен обзор влияния основных факторов режимов резания: толщины стружки  $a$ , угла резания  $\delta$ , радиуса округления лезвия  $\rho$ , скорости резания  $V$ , угла встречи с волокнами  $\psi_{\text{в}}$  ... на силовые параметры и шероховатость поверхности обработки при фрезеровании древесины. Износ и затупление инструмента является неотделимой частью процесса фрезерования. Начальный радиус округления лезвия определяет стойкость инструмента, и начальное затупление резца происходит главным образом в результате выкрашивания лезвия, что нашло подтверждение в работах А.Э.Грубе, С.А.Воскресенского, А.Л.Бершадского, А.В.Моисеева, Ф.И.Манжоса, К.И.Демьяновского, А.В.Алексеева, В.С.Рыбалко и многих других.

Анализируя результаты силовых и качественных показателей по литературным источникам, можно сделать следующий вывод: до настоящего времени нет расчетного метода определения качественной оценки шероховатости поверхности и силовых показателей при обработке древесины тропических пород; кроме этого, не вскрыта физическая сущность приработочного износа инструмента при фрезеровании древесины тропических пород. В связи с этим выявлены цель и задачи исследований.

Вторая глава посвящена теоретическому исследованию процесса фрезерования древесины резцом с углом наклона профиля  $\psi$ . При фрезеровании древесины резцом с углом наклона профиля  $\psi$  и положительным передним углом  $\chi$  не все точки режущей кромки резца одновременно вступают в работу. Сначала вступает в работу точка

режущей кромки резца с наибольшим радиусом резания, а затем точки с уменьшающимися радиусами резания. Процесс стружкообразования при фрезеровании древесины резцом с углом наклона профиля  $\psi$  можно разделить на три стадии (рис.1).

Первая стадия начинается тогда, когда точка режущей кромки с максимальным радиусом резания вступает в работу. При полном внедрении всей ширины режущей кромки резца в заготовку начинается вторая стадия стружкообразования. С выходом точки режущей кромки резца с минимальным радиусом резания из заготовки начинается третья стадия стружкообразования и продолжается до полного выхода резца из заготовки.

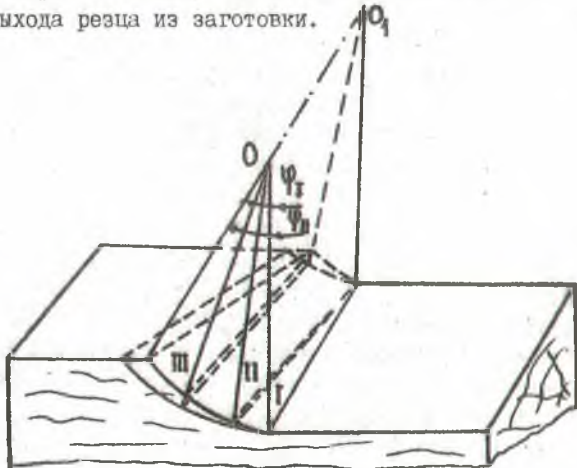


Рис.1. Схема стружкообразования при фрезеровании древесины резцом с углом наклона профиля  $\psi$ .

При вращении инструмента вокруг оси  $OO_1$  режущая кромка резца с углом наклона профиля  $\psi$  образует гиперboloид, уравнение которого имеет вид:

$$\frac{z^2}{R^2 \sin^2 \gamma} - \frac{y^2}{R^2 \sin^2 \gamma} - \frac{(R \cos \gamma - x \operatorname{tg} \psi)}{R^2 \sin^2 \gamma} = 1 \quad (2.1)$$

Уравнение нормали к гиперboloиду в точке  $A(0, R, 0)$

$$(y - R) \cos \gamma \operatorname{tg} \psi = x, \quad (2.2)$$

т.е. нормаль к гиперboloиду находится в плоскости  $xOy$  (линия  $nn'$  рис.2).

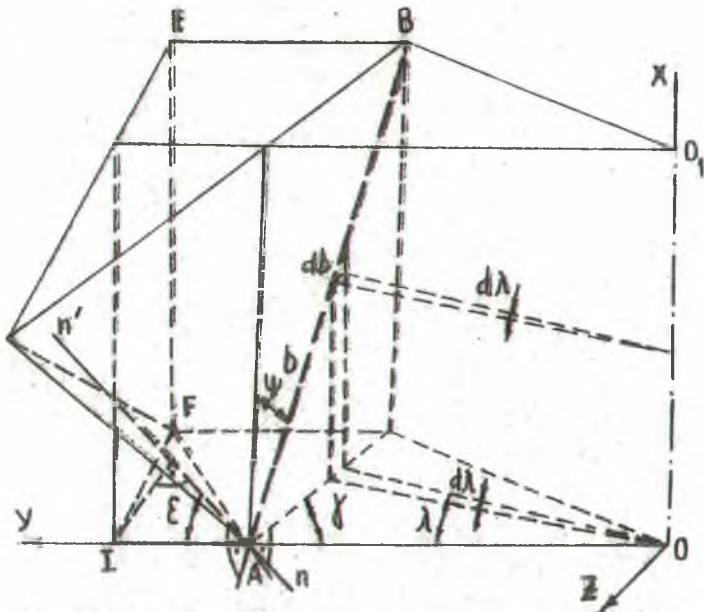


Рис.2. Схема определения толщины и площади поперечного сечения стружки при фрезеровании древесины резцом с углом наклона профиля  $\psi$ .

Толщина стружки при фрезеровании древесины резцом с углом наклона профиля  $\psi$  имеет следующий вид:

$$a = S_z \sin \psi \cos \epsilon, \quad (2.3)$$

где  $\epsilon$  - угол между прямой AI и нормалью к гиперboloиду,

$$\operatorname{tg} \epsilon = \operatorname{tg} \psi \cos \gamma \quad (2.4)$$

Площадь поперечного сечения стружки определяется по формуле

$$F = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{R S_z \sin \gamma \sin(\psi - \lambda) d \lambda}{\sin \psi \sin^2(\lambda + \gamma) \sqrt{1 + \cos^2(\gamma + \lambda) \operatorname{tg}^2 \psi}} \quad (2.5)$$

или:

$$F = \frac{R S_z \sin \gamma \cos \epsilon}{\sin \psi} \left[ \frac{\sin(\psi + \gamma)}{\sin(\lambda + \gamma)} + \cos(\psi + \gamma) \ln \left| \operatorname{ctg} \frac{\lambda + \gamma}{2} \right| \right] \Big|_{\lambda_1}^{\lambda_2} \quad (2.6)$$

где  $\lambda_1, \lambda_2$  - предельные значения искажения контурного переднего угла по ширине режущей кромки резца, контактирующей с древесиной.

Значения  $\lambda_I$  и  $\lambda_2$  в каждой стадии стружкообразования различны

1. В первой стадии:

$$0 \leq \lambda \leq \varphi \quad \text{и} \quad 0 \leq \varphi \leq \varphi_I = \gamma_2 - \gamma$$

$$\lambda_I = 0 \quad ; \quad \lambda_2 = \gamma_2 - \gamma$$

2. Во второй стадии:

$$0 \leq \lambda \leq \varphi_I \quad \text{и} \quad \varphi_I \leq \varphi \leq \varphi_{II}$$

$$\lambda_I = 0 \quad ; \quad \lambda_2 = \varphi_I$$

3. В третьей стадии:

$$\varphi_{II} \leq \varphi \leq \varphi_{III} = \lambda$$

$$\lambda_I = 0 \quad ; \quad \lambda_2 = \lambda$$

где

$$\operatorname{tg} \lambda = \operatorname{tg} \gamma \frac{\cos(\varphi - \lambda) - \cos \varphi_{III}}{\cos \varphi_{III}}$$

Для определения площади поперечного сечения стружки при фрезеровании древесины резцом с криволинейным профилем используем метод разбивки профиля резца на  $n$  участков. Каждый участок можно рассматривать как резец с углом наклона профиля  $\psi_i$ . Путем интегрирования площадей участков с помощью ЭВМ можно определить площадь поперечного сечения стружки при фрезеровании резцом с криволинейным профилем.

При фрезеровании древесины с большой подачей на резец  $S_z$  резец внедряется в заготовку не тангенциально к обработанной поверхности, а под углом  $\varphi_0$ . Длина дуги контакта резца с древесиной с учетом подачи на резец  $S_z$  имеет следующий вид:

$$l = R \int_{-\varphi_0}^{\varphi} \sqrt{1 + \left(\frac{S_z}{R\omega}\right)^2} + 2 \frac{S_z}{R\omega} \cos \varphi \, d\varphi \quad (2.7)$$

или

$$l = \left(R \pm \frac{S_z}{\omega}\right) \frac{(S_z + 2\sqrt{2h(R-h)})}{2R} \quad (2.8)$$

Профиль обработанной поверхности, полученный при фрезеровании резцом с углом наклона профиля  $\psi$ , имеет вид гиперболы и определяется уравнением



$$\frac{(R-y)^2}{R^2 \sin^2 \gamma} - \frac{(R \cos \gamma - x \operatorname{tg} \psi)^2}{R^2 \sin^2 \gamma} = 1$$

Если профиль режущей кромки резца на передней поверхности имеет вид дуги окружности, то профиль обработанной детали имеет вид кривой четвертого порядка. Если затлование зубьев фрезы осуществляется методом точения и профиль затловочного резца является линейным с углом наклона профиля  $\psi_2$ , то уравнения профиля получаемой детали можно представить

$$y = x \operatorname{tg} \psi_2 + R \operatorname{tg} \alpha \arcsin \left( \frac{R \sin \gamma}{R-y} \right) - R \operatorname{tg} \alpha \gamma \quad (2.10)$$

В работе дана методика расчета аналитическим путем профиля затловочного шлифовального круга с применением ЭВМ. Проектирование дереворежущих инструментов предусматривает решение многих вопросов, связанных с их расчетом, конструированием, изготовлением и эксплуатацией. В связи с возрастающими требованиями к качеству и надежности фасонных дереворежущих инструментов и с широким внедрением в промышленность ЭВМ возникла проблема разработки методики их расчета на прочность. Поэтому в работе представлена методика определения сил инерции зуба затлованных фасонных фрез, которая базируется на математическом описании фрезы в полярных координатах.

В третьей главе изложена методическая часть исследований. Эксперименты проведены на трех установках: фрезерный универсальный станок по металлу модели 675П для исследования шероховатости поверхности при прямолинейном резании и фрезеровании; рейсмусовый станок СРЗ-6 для определения зависимости силовых параметров от основных факторов режимов резания; фрезерный станок с автоматической подачей для исследования шероховатости поверхности, износа и затупления фрезерного инструмента.

В исследованиях использованы следующие тропические породы: соан дао (*Pygeum arboreum* Enbl.), плотность  $\rho_0 = 450 + 550 \text{ кг/м}^3$ ; чам хонг (*Canarium* Sp.),  $\rho_0 = 460 + 500 \text{ кг/м}^3$ ; чуа хьет (*Chukrasia tabularis* var *attopenensis*),  $\rho_0 = 720 \text{ кг/м}^3$ ; ванг там (*Mangletie fordiana*),  $\rho_0 = 410 + 550 \text{ кг/м}^3$  и красное дерево,  $\rho_0 = 800 \text{ кг/м}^3$ .

В зависимости от цели исследования были выбраны исследуемые факторы. Математическое описание объекта исследований осуществлялось с применением В-планирования.

Шероховатость поверхности обработки замеряли на микроскопах МИС-II и ТСН-4. Для измерения линейного износа  $A_d$  резаца непосредственно на станке использован специальный профилометр.

В четвертой главе представлены результаты исследований и математическое описание шероховатости поверхности при прямолинейном резании и фрезеровании. Процесс стружкообразования начинается тогда, когда толщина стружки достигает некоторой критической величины  $a_{кр}$

$$a_{кр} = \kappa \rho,$$

где  $\kappa$  - коэффициент, зависящий от факторов режимов фрезерования.

В первом подразделе приведены результаты экспериментов для определения зависимости коэффициента  $\kappa$  от следующих факторов:

- диаметр окружности резания  $D$  ( $x_1$ ) 130 мм  $\leq D \leq$  200 мм;
- подача на резец  $S_z$  ( $x_2$ ) 0,39 мм  $\leq S_z \leq$  1,53 мм;
- радиус округления лезвия  $\rho$  ( $x_3$ ) 4 мкм  $\leq \rho \leq$  43 мкм.

Уравнения регрессии значения  $\kappa$  после отбрасывания незначимых и пересчета остальных коэффициентов имеют следующий вид:

порода чуа:

$$\kappa_1 = -0,276 + 0,0086 D + 0,428 S_z - 0,000675 \rho - 0,2056 S_z^2 + 0,0054 \rho^2 + 0,003446 D S_z - 0,00021795 D \rho - 0,0051 S_z \rho; \quad (4.1)$$

порода чам хонг:

$$\kappa_2 = -0,573 + 0,0149 D + 1,23 S_z + 0,01 \rho - 0,1962 S_z^2 + 0,00062 \rho^2 - 0,00034 D \rho - 0,011 S_z \rho; \quad (4.2)$$

Граничная поверхность оптимальных значений факторов, при которых обработанная поверхность формируется за счет срезания стружки в зоне кинематической волны, определяется уравнением:

$$2 S_z^2 - \kappa \rho D 10^{-3} = 0 \quad (4.3)$$

Подставив значение коэффициента  $\kappa$  из формул (4.1) и (4.2) в формулу (4.3), получаем уравнения граничной поверхности для пород чуа и чам хонг. Если значения исследуемых факторов  $D$ ,  $S_z$  и  $\rho$  находятся в зоне I (рис.3), то формирование поверхности обработки будет за счет скольжения резаца по древесине и шероховатость поверхности ухудшается. Если значения  $D$ ,  $S_z$  и  $\rho$  лежат в зоне II, то формирование поверхности обработки будет за счет срезания стружки в пределах кинематической волны и при этом получается наилучшее качество обработки. Поэтому зона II является оптимальной при фрезеровании древесины.

Длина дуги скольжения резаца по древесине рассчитана по формуле

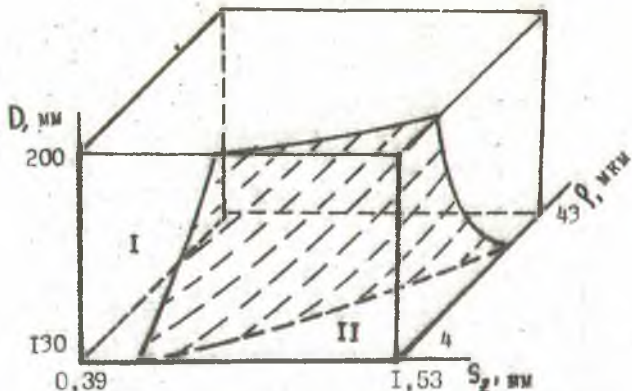


Рис.3. Граничная поверхность оптимальных значений исследуемых факторов при фрезеровании древесины породы чуа.

$$\rho_{ск} = \frac{\rho D \psi^3}{2 S_2} \quad (4.4)$$

С уменьшением подачи на резец  $S_2$ , увеличением радиуса округления лезвия  $\rho$  и диаметра  $D$  длина дуги скольжения резца по древесине увеличивается (рис.4).

Во втором подразделе представлены результаты исследований шероховатости поверхности при прямолинейном резании древесины породы соан дао и красного дерева. Эксперименты проведены при следующих уровнях варьирования исследуемых факторов:

- толщина срезаемого слоя  $a$  ( $x_1$ )  $0,1 \text{ мм} \leq a \leq 0,7 \text{ мм}$  ;
- радиус округления лезвия  $\rho$  ( $x_2$ )  $5 \text{ мкм} \leq \rho \leq 43 \text{ мкм}$  ;
- угол заострения  $\beta$  ( $x_3$ )  $30^\circ \leq \beta \leq 60^\circ$  ;
- угол скоса слоёв волокон  $\psi_c$  ( $x_4$ )  $0^\circ \leq \psi_c \leq 60^\circ$  ;  
 $60^\circ \leq \psi_c \leq 90^\circ$ .

Проверка гипотезы об однородности дисперсий опытов проведена по  $G$  - критерию Кохрена. После отбраковки незначимых и пересчета остальных коэффициентов уравнения регрессии имеют следующий вид:

порода соан дао при  $\psi_c = 0^\circ + 60^\circ$ :

$$R_{z \max} = -15,6 - 65,9a + 58,9a^2 + 0,525\rho - 0,013\rho^2 + 4,2\beta + 0,65\beta^2 + 0,047\psi_c + 0,0057\psi_c^2 + 1,02a\beta + 0,25a\psi_c + 0,61\rho\beta; \quad (4.5)$$

порода соан дао при  $\psi_c = 60^\circ + 90^\circ$ :

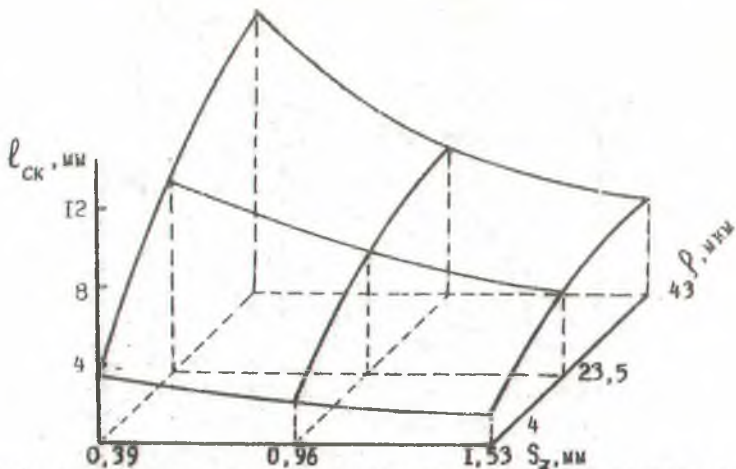


Рис. 4. Зависимость длины дуги скольжения реза по древесине от  $S_g$  и  $\varphi$  при фрезеровании древесины породы чам хонт.

$$R_{zmax} = -497,1 - 88,8a - 111,4a^2 - 2,44\varphi - 0,056\beta - 0,037\beta^2 + (4.6) \\ + 14,3\psi_c - 0,097\psi_c^2 + 1,43a\varphi + 2,6a\psi_c + 0,65\varphi\psi_c + 0,053\beta\psi_c;$$

красное дерево при  $\psi_c = 0^\circ + 60^\circ$ :

$$R_{zmax} = -17,79 - 93,4a + 69,9a^2 - 0,3\varphi + 4\beta - 0,047\beta^2 + (4.7) \\ + 0,29\psi_c + 1,03a\varphi + 1,2a\beta + 0,0126\beta\psi_c;$$

красное дерево при  $\psi_c = 60^\circ + 90^\circ$ :

$$R_{zmax} = -717 - 162a - 154,3a^2 - 1,3\varphi + 0,02\beta^2 + 3,15\beta - 0,036\beta^2 + (4.8) \\ + 18,8\psi_c - 0,115\psi_c^2 + 0,97a\varphi + 1,14a\beta + 4,3\beta\psi_c + 0,015\beta\psi_c.$$

Анализ уравнений регрессии показывает, что при угле скоса слоёв волокон  $\psi_c = 0 + 60^\circ$  степень влияния всех исследуемых факторов на шероховатость поверхности почти одинакова. При  $\psi_c = 60^\circ + 90^\circ$  самым влияющим фактором на шероховатость является угол скоса слоёв волокон. С увеличением  $\psi_c$  от  $60^\circ$  до  $90^\circ$  шероховатость поверхности увеличивается примерно в 2 раза. Вторым по значению фактором, влияющим на шероховатость поверхности, является толщина срезаемого слоя  $a$ . При резании поперёк волокон с увеличением  $a$  от 0,1 мм до 0,7 мм  $R_{zmax}$  увеличивается на 102 мкм для красного дерева и 85 мкм для породы соан дао. Наименее влияющим фактором является угол заострения  $\beta$ . Шероховатость поверхности при резании древеси-



ны породы соан дао получается больше, чем при резании красного дерева.

В третьем подразделе приведены результаты экспериментальных исследований влияния основных факторов режимов резания на шероховатость поверхности при фрезеровании древесины пород: чуа и соан дао. Получены уравнения регрессии шероховатости поверхности от следующих факторов:

- подача на резец  $S_z$  ( $x_1$ ):
  - для породы соан дао 0,24 мм  $\leftarrow S_z \leftarrow$  0,96 мм;
  - для породы чуа 0,39 мм  $\leftarrow S_z \leftarrow$  1,53 мм;
- радиус округления лезвия  $\rho$  ( $x_2$ ): 4 мкм  $\leftarrow \rho \leftarrow$  43 мкм;
- передний угол  $\gamma$  ( $x_3$ ):  $12^\circ$   $\leftarrow \gamma \leftarrow$   $36^\circ$  ;
- угол скоса слоёв волокон  $\psi_c$  ( $x_4$ ):  $0^\circ$   $\leftarrow \psi_c \leftarrow$   $90^\circ$  ;
- угол наклона профиля режущей кромки резца  $\psi$  ( $x_5$ ):  $0^\circ$   $\leftarrow \psi \leftarrow$   $90^\circ$ .

При фрезеровании древесины:

породы соан дао:

$$R_{z\max} = 95 - 91S_z + 59,6S_z^2 - 0,61\rho + 0,017\rho^2 + 1,38\gamma - 0,499\gamma^2 - 0,384\psi_c + 0,0055\psi_c^2 + 1,08S_z\psi_c + 0,02\rho\psi_c \quad (4.9)$$

и:

$$R_{z\max} = 84 - 56,8S_z + 32,2S_z^2 + 0,205\rho + 1,44\gamma - 0,051\gamma^2 - 0,21\psi + 0,002\psi^2 + 0,115S_z\psi + 0,0019\rho\psi + 0,0083\gamma\psi ; \quad (4.10)$$

породы чуа:

$$R_{z\max} = 124 - 93,3S_z + 35,2S_z^2 - 0,475\rho - 0,838\gamma - 1,2\psi_c - 0,0098\psi_c^2 - 1,99\psi + 0,0113\psi^2 + 0,5716S_z\rho + 1,34\psi_c + 1,02S_z\psi + 0,016\rho\gamma + 0,007\rho\psi_c - 0,0049\rho\psi - 0,007\gamma\psi_c + 0,02336\gamma\psi . \quad (4.11)$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по F-критерию Фишера. Регрессионные модели были адекватны результатам экспериментальных измерений при 5%-м уровне значимости.

Анализ приведенных уравнений показывает, что при цилиндрическом фрезеровании вдоль волокон факторы  $S_z$ ,  $\rho$  и  $\gamma$  не оказывают существенного влияния на шероховатость поверхности. При цилиндрическом фрезеровании поперёк волокон самым влияющим фактором на шероховатость поверхности является подача на резец  $S_z$ . При фрезеровании древесины породы соан дао с увеличением подачи на резец от 0,24 мм до 0,96 мм  $R_{z\max}$  увеличивается на 56 мкм, а породы чуа с увеличением  $S_z$  от 0,39 мм до 1,53 мм - на 136 мкм. С увеличением радиуса округления лезвия  $\rho$  от 4 до 43 мкм  $R_{z\max}$  увеличивается



ется на 77,6 мкм при фрезеровании древесины породы соан дао и на 43 мкм для породы чуа.

Угол наклона профиля режущей кромки резца  $\Psi$  при фрезеровании древесины породы соан дао незначительно влияет на шероховатость поверхности ( $R_{\text{max}}$  увеличивается на 34 мкм при увеличении  $\Psi$  от  $0^\circ$  до  $90^\circ$ ). При фрезеровании древесины породы чуа с увеличением угла  $\Psi$  от  $0^\circ$  до  $90^\circ$  при условиях:  $S_2 = 1,53$  мм;  $\gamma = 36^\circ$ ,  $R_{\text{max}}$  увеличивается на 127 мкм. При  $S_2 = 0,39$  мм с увеличением угла  $\Psi$  шероховатость поверхности уменьшается.

При фрезеровании древесины породы чуа поперёк волокон резцом в углом наклона профиля  $\Psi$  с увеличением подачи на резец от 0,39 мм до 1,53 мм  $R_{\text{max}}$  увеличивается (на 242 мкм при  $\Psi = 90^\circ$ ).

Для выявления влияния скорости резания  $V$  и диаметра фрезы  $D$  на шероховатость поверхности проведены отдельные серии опытов. Скорость резания в диапазоне от 1,9 м/с до 11,9 м/с и от 20,4 м/с до 62,8 м/с незначительно влияет на шероховатость поверхности. С увеличением диаметра фрезы  $D$  от 130 мм до 200 мм  $R_{\text{max}}$  уменьшается на 20 + 25 мкм.

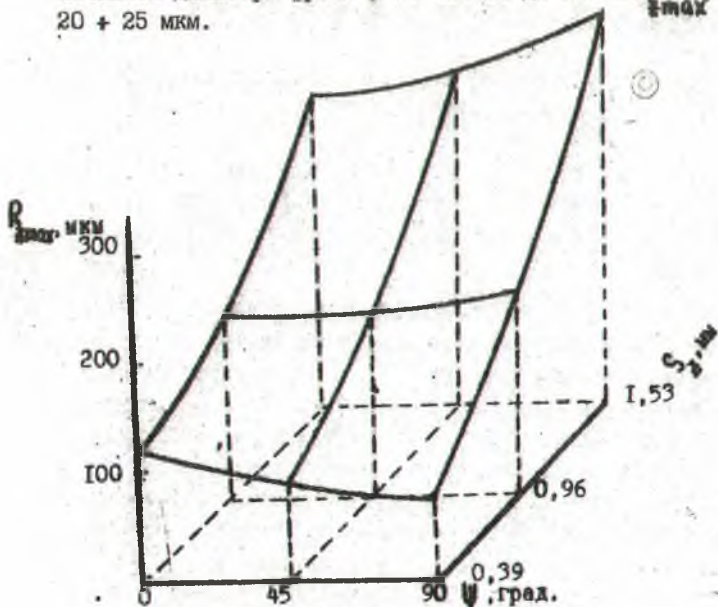


Рис. 6. Зависимость  $R_{\text{max}}$  от подачи на резец  $S_2$  и угла наклона профиля резца  $\Psi$  при фрезеровании породы чуа поперёк волокон.

В пятой главе приведены результаты экспериментальных исследований зависимости силовых параметров при фрезеровании от следующих факторов:

- подача на резец  $S_z (x_1)$  : 0,645 мм  $\leq S_z \leq$  1,935 мм;
- глубина фрезерования  $h (x_2)$  : 1 мм  $\leq h \leq$  3 мм ;
- радиус округления лезвия  $\rho (x_3)$  : 4 мкм  $\leq \rho \leq$  43 мкм .

Эксперименты проведены при следующих постоянных условиях: скорость резания  $V = 33,4$  м/с; диаметр окружности резания  $D = 103$  мм; угол заострения  $\beta = 40^\circ$ ; задний угол  $\alpha = 10^\circ$ .

Уравнения регрессии зависимости удельной работы резания от исследуемых факторов после отбрасывания незначимых и пересчета остальных коэффициентов имеют следующий вид:

порода чуа

$$K = 70,3 - 50,2S_z + 13,6S_z^2 - 21,3h + 3,4h^2 + 2,13\rho + 0,016\rho^2 + 5,31S_z h - 0,675S_z \rho - 0,41 h \rho ; \quad (5.1)$$

порода ванг там

$$K = 63,5 - 40,1S_z + 10,3S_z^2 - 22,4h + 3,9h^2 + 1,84\rho + 0,024\rho^2 + 5,35S_z h - 0,81S_z \rho - 0,358 h \rho ; \quad (5.2)$$

порода чам хонг.

$$K = 64,5 - 18,4S_z - 28,8h + 4,07h^2 + 1,17\rho + 0,0105\rho^2 + 6,84S_z h - 0,49S_z \rho - 0,1765 h \rho . \quad (5.3)$$

Анализ уравнений регрессии показывает, что самым влияющим фактором на удельную работу резания является радиус округления лезвия  $\rho$ . С увеличением  $\rho$  от 4 мкм до 43 мкм удельная работа резания увеличивается на 79,4 ; 81,8 и 45,6 Дж/см<sup>3</sup> при фрезеровании древесины чуа, ванг там и чам хонг. С увеличением подачи на резец от 0,645 мм до 1,935 мм удельная работа резания уменьшается на 50,2 ; 55,4 ; 42,2 Дж/см<sup>3</sup> при фрезеровании древесины этих пород. При постоянной величине толщины стружки  $a$  с увеличением глубины фрезерования  $h$  от 1 до 3 мм удельная работа резания уменьшается ( на 20 + 21 Дж/см<sup>3</sup> при  $a = 0,1$  мм для всех пород).

Хотя существует большая разница по плотности между породами чуа и ванг там ( $\rho_0 = 720$  кг/м<sup>3</sup> и  $\rho_0 = 500$  кг/м<sup>3</sup>), но значения удельной работы резания при фрезеровании обеих пород в диапазоне варьирования факторов находятся на одних уровнях.

В шестой главе представлены результаты экспериментальных ис-

следований приработочного износа и разработки уравнений зависимости линейного износа и радиуса округления лезвия инструмента при фрезеровании от длины пути резания для прогнозирования его стойкости. При исследовании приработочного износа ножи изготавливали из стали 8Х6НФТ, измерение параметра линейного износа проводилось через определенные промежутки длины пути резания: 10, 16, 25, 40, 65, 100, 160, 250, 400, 650, 1000, 1250, 1500 м. Результаты исследований показывают, что после длины пути резания 250 + 400 м для породы чуа, 400 + 650 для породы чам хонг и 1000 + 1250 м для породы ванг там заканчивается период приработочного износа инструмента. Среднее значение интенсивности изменения линейного износа  $\bar{L}_{\text{ли}}$  при фрезеровании породы чам хонг при  $L = 10 + 16$  мм составляет 0,153 мкм/м, в конце периода приработки  $\bar{L}_{\text{ли}} = 0,00445$  мкм/м. Значение  $\bar{L}_{\text{ли}}$  в периоде приработки при фрезеровании породы чам хонг составляет 0,0205 мкм/м, породы чуа  $\bar{L}_{\text{ли}} = 0,054$  мкм/м и породы ванг там  $\bar{L}_{\text{ли}} = 0,01356$  мкм/м. Для разработки зависимости линейного износа и радиуса округления от длины пути резания использовался метод ускоренных испытаний инструмента на стойкость.

После расчета коэффициентов уравнений зависимости линейного износа и радиуса округления лезвия от длины пути резания, они имеют следующий вид:

при фрезеровании породы ванг там, материал реза:

- сталь 8Х6НФТ:

$$\Delta \rho = 2,99 L^{0,48};$$

$$\Delta R_{\text{ок}} = 13,34 L^{0,46};$$

- твердый сплав ВК60М:

$$\Delta \rho = 1,18 L^{0,51};$$

$$\Delta R_{\text{ок}} = 4,2 L^{0,51};$$

при фрезеровании породы чуа, материал реза:

- сталь 8Х6НФТ:

$$\Delta \rho = 4,96 L^{0,43};$$

$$\Delta R_{\text{ок}} = 22,2 L^{0,45};$$

- твердый сплав ВК60М:

$$\Delta \rho = 2,83 L^{0,41};$$

$$\Delta R_{\text{ок}} = 8,83 L^{0,41}.$$

По перечисленным формулам можно определить стойкость инструмента при фрезеровании древесины тропических пород. Стойкость инструмента из твердого сплава ВК60М при фрезеровании древесины пород ванг там и чуа в 4,6 + 5 раз выше стойкости инструмента из

стали ВХБНФТ. Мощность и удельная работа резания при фрезеровании древесины пород чуа и ванг там почти одинаковы (глава 5), однако по нашим исследованиям стойкость инструмента при фрезеровании древесины породы ванг там почти в два раза выше, чем при обработке породы чуа. Отсюда можно сделать вывод о том, что механическая составляющая не является главной в общем балансе затупления инструмента.

## ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

По результатам выполненной работы можно сделать следующие выводы:

1. Разработано математическое описание, характеризующее процесс формирования поверхности, на основании чего установлены оптимальные значения исследуемых факторов при фрезеровании древесины тропических пород. Поверхность обработки формируется срезаемостью стружки при условиях:  $S_z \geq 0,55$  мм ;  $34,2$  мкм  $\geq \rho$  для породы чуа и  $S_z \geq 0,71$  мм ;  $\rho \leq 16,5$  мкм для породы чам хонг.

2. Получены уравнения регрессии влияния переменных факторов на силовые и качественные показатели процесса фрезерования, позволяющие осуществить технологические и инструментальные расчеты режимов резания. Установлено, что при фрезеровании древесины породы чуа резцом с углом наклона профиля  $\psi$  поперёк волокон высокое качество обработки получается при  $S_z \leq 0,39$  мм. При фрезеровании вдоль волокон хорошее качество обработки получается при  $S_z \leq 1,53$  мм. При цилиндрическом фрезеровании передний угол должен быть в пределах  $24^\circ + 36^\circ$ , а при фрезеровании резцом с углом наклона профиля  $\psi - \gamma = 12^\circ + 24^\circ$ . Для обеспечения высокого качества обработки при фрезеровании древесины тропических пород радиус округления лезвия не должен быть больше 43 мкм. Включение в план эксперимента факторов: угол скоса слоев волокон:  $\psi_c$  и угол наклона профиля режущей кромки резца  $\psi$  позволяет исследовать основные варианты взаимодействия резца с древесиной при фрезеровании.

3. Исследовано влияние основных факторов режимов резания на шероховатость поверхности при прямолинейном резании. Установлено, что высокое качество поверхности обработки при прямолинейном резании древесины тропических пород получается при значении угла скоса слоев волокон  $\psi_c \leq 60^\circ$ .

4. Математические модели позволяют осуществить оптимизацию процесса фрезерования древесины тропических пород.

5. Результаты теоретических и экспериментальных исследований



могут быть использованы при разработке технологических режимов и проектирования дереворежущих инструментов и станков фрезерной группы.

6. На основании результатов исследований по стойкости инструмента установлен период приработочного износа и получены уравнения потери режущей способности главной режущей кромки резца, что позволяет дать прогнозирование по работоспособности инструмента.

7. При переходе деревообрабатывающей промышленности к системе автоматического управления производственными процессами полученные уравнения регрессии могут быть использованы для разработки программ.

8. Полученные расчетным путем рациональные режимы фрезерования позволяют повысить качество выпускаемой продукции, увеличить производительность оборудования и снизить себестоимость изделий.

9. Силовые, качественные показатели, износ и затупления инструмента при фрезеровании древесины тропических пород зависят от их структурного строения.

10. Проведены опытно-промышленные испытания сборной фрезы по а.с. №666080, которая обеспечивает изменение переднего угла в пределах  $\gamma = 0^\circ + 30^\circ$  и быстрый съем режущих элементов без снятия корпуса фрезы со станка. Фрезу можно рекомендовать для серийного производства и применения на продольно-фрезерном станке.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований могут быть рекомендованы в качестве руководящих материалов для деревообрабатывающих предприятий, где используется древесина тропических пород.

Работы, опубликованные автором по теме диссертации:

1. Расчет фасонных цельных насадных затылованных фрез на прочность с применением ЭВМ// Технол. и оборуд. загот. и перераб. древесины.-1990.-№5.-С.121-127.

2. Формирование поверхности обработки при фрезеровании древесины тропических пород.-Минск, 1991.-17 с.-ДЭП. в БелНИИТИ 17.05.1991, №991-Б91.

3. Исследование поверхности обработки при прямолинейном резании древесины тропических пород// Технол. и оборуд. загот. и перераб. древесины.-1991.-№6.-С.109-113.

*И. Киселев*



НГУЕН ХЫУ ЛОК

РАЗРАБОТКА РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ  
ДРЕВЕСИНЫ ТРОПИЧЕСКИХ ПОРОД МЕТОДОМ  
ФРЕЗЕРОВАНИЯ

Подписано в печать 23.12.1991. Формат 60x84 1/16.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,3. Усл. кр.-отт. 1,3. Уч.-изд. л. 1,1.

Тираж 100 экз. Заказ 557. Бесплатно

Белорусский ордена Трудового Красного Знамени технологический  
институт им. С.М.Кирова. 220630. г. Минск, ул. Свердлова, 13а.

Отпечатано на ротационной машине Белорусского ордена Трудового Красного  
Знамени технологического института им. С.М.Кирова.

220630. Минск, Свердлова, 13.