

674  
Г47

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 621.9.023

**Гиль Виталий Иванович**

**РАЗРАБОТКА РЕЖИМОВ ФРЕЗЕРОВАНИЯ КРОМОК  
ДРЕВЕСНОВОЛОКНИСТОЙ ПЛИТЫ СРЕДНЕЙ ПЛОТНОСТИ (MDF)**

Специальность 05.21.05 – Дреvesиноведение, технология и оборудование  
деревообработки

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Минск 2004

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет» на кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов.

Научный руководитель

кандидат технических наук,  
доцент Клубков А.П.  
(БГТУ, кафедра  
деревообрабатывающих стан-  
ков и инструментов)

Официальные оппоненты:

доктор технических наук,  
профессор Врублевская В.И.  
(БелГУТ, кафедра деталей  
машин и подъемно-  
транспортных механизмов);  
кандидат технических наук,  
доцент Карпович С.И.  
(БГТУ, кафедра технологии  
металлов и машиностроения)

Оппонирующая организация

ОАО «Минскпроектмебель»

Защита состоится 28 июня 2004 г. в 14.00 час. на заседании совета по защите диссертаций Д 02.08.06 в Белорусском государственном технологическом университете по адресу: Республика Беларусь, 220050, г. Минск, ул. Свердлова 13а.

Телефон ученого секретаря совета: 227-83-41.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского государственного технологического университета.

Автореферат разослан 27 мая 2004 г.

Учёный секретарь совета  
по защите диссертаций  
кандидат технических наук



С.П. Мохов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Рост объёма производства и производительности труда неразрывно связан с получением новых экологически чистых материалов. К таким материалам относятся и древесноволокнистые плиты средней плотности (англ. medium density fiberboard – МДФ). Одним из условий повышения производительности труда и качества выпускаемой продукции с минимальными энергозатратами в мебельной промышленности является разработка и внедрение оптимальных режимов резания. Для этого разработаны формулы и методики расчета, позволяющие устанавливать научно обоснованные режимы фрезерования древесины и древесностружечных плит. Методического обеспечения и рекомендаций для рационализации режимов фрезерования кромок плиты МДФ до настоящего времени не имеется.

Существующие методики расчёта режимов обработки кромок древесных материалов, разработанные Ю.А. Цукановым, В.В. Амалицим, А.Л. Берщадским и др. учеными не могут быть использованы для МДФ вследствие существенных различий физико-механических свойств этих материалов. Цилиндрическое фрезерование кромок является самым распространенным процессом механической обработки при изготовлении корпусной мебели, а с внедрением в производство нового высокопроизводительного оборудования с программным управлением оно вытесняет такой процесс как пиление. Поэтому проведение исследований по изучению процессов, протекающих при цилиндрическом фрезеровании кромок МДФ, с учетом силовых и стойкостных показателей представляется актуальным

**Связь работы с научными программами, темами.** Исследования выполнены в соответствии с планами научно-исследовательских работ Белорусского государственного технологического университета в рамках тем БС 93–112/1, задание 3.04; БС 93–112/2, задание 3.05; БС 051–97, задание 2.14 Государственных научно-технических программ «Стапки и инструменты» и «Инструмент» и соответствуют одному из научных направлений кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов.

**Цель и задачи исследования.** Целью данной работы является разработка методики расчёта силовых и стойкостных показателей режимов резания при механической обработке кромок МДФ, позволяющей рационально устанавливать технологические режимы обработки для оборудования, работающего методом цилиндрического фрезерования.

Задачи исследований:

– установить физические особенности и закономерности процесса фрезерования кромок МДФ с учетом его цикличности;

569а/



- разработать теоретический метод расчета напряжений, возникающих во фрезерном дереворежущем инструменте, позволяющий производить расчёты его на прочность в зависимости от циклически изменяющейся нагрузки;

- разработать конструкцию фрезерного дереворежущего инструмента с улучшенными технико-экономическими показателями для обработки кромок плит МДФ;

- установить критерий оптимизации режимов фрезерования кромок МДФ и исследовать влияние основных технологических факторов на стойкостные показатели процесса;

- получить исходные режимные данные для фрезерования кромок МДФ позволяющие получить высокую стойкость фрезерного дереворежущего инструмента при наименьшей себестоимости обработки;

- исследовать зависимость силовых показателей процесса элементарного резания кромок МДФ от основных технологических факторов.

**Объект и предмет исследования.** Объектом исследования являются плиты МДФ, а предметом исследований – силовые и стойкостные показатели процесса их фрезерования по кромке.

**Методология и методы проведенного исследования.** Общая методология работы предусматривала сочетание теоретических и экспериментальных исследований, которые базировались на четко поставленном эксперименте с использованием современных методов его планирования и на статистическом анализе результатов.

**Научная новизна и значимость полученных результатов.** Впервые разработаны теоретические зависимости, позволяющие рассчитывать фрезерный дереворежущий инструмент с учетом переменных нагрузок, возникающих в процессе фрезерования, что позволило создать конструкцию многоножевой фрезы для фрезерования кромок МДФ. На основании проведенных экспериментальных исследований дано математическое описание стойкостных показателей процесса фрезерования кромок МДФ в зависимости от основных переменных факторов с применением критерия малоциклового усталости, а также силовых показателей процесса элементарного резания.

**Практическая значимость полученных результатов.** Результаты теоретических и экспериментальных исследований позволяют устанавливать рациональные режимы фрезерования кромок МДФ, рассчитывать силовые показатели процесса, необходимые для проектирования фрезерного дереворежущего инструмента и оборудования, работающего методом цилиндрического фрезерования. Результаты исследований позволяют повысить эффективность использования оборудования за счет повышения стойкости инструмента. В результате внедрения разработанных рациональных режимов

обработки, обеспечивающих снижение трудозатрат и увеличение производительности фактический экономический эффект в ценах на февраль месяц 2004 года составил 1 458 640 руб. С учетом массовости применения плит МДФ в производстве на различных предприятиях экономический эффект будет составлять более значительные суммы.

#### **Основные положения диссертации, выносимые на защиту:**

- методика расчета фрезерного дереворежущего инструмента на прочность с учетом переменных нагрузок, возникающих в процессе цилиндрического фрезерования;
- математическое описание закономерностей влияния основных технологических факторов (толщины стружки, угла резания и высоты снимаемого слоя) на стойкостные показатели процесса фрезерования кромок плит МДФ, позволяющее устанавливать рациональные режимы их обработки;
- установленные закономерности влияния основных технологических факторов (толщины стружки, угла резания и высоты снимаемого слоя) на силовые показатели элементарного резания плит МДФ по кромке.

**Личный вклад соискателя.** Диссертация является результатом личной работы соискателя. Соискателем разработаны теоретические методы расчета фрезерного дереворежущего инструмента с учетом переменных нагрузок, позволившие создать конструкцию новой по технологическим и эксплуатационным качествам многоножевой фрезы для фрезерования кромок плит МДФ. Разработка конструкции фрезы, являющейся предметом изобретения, выполнена совместно с научным руководителем.

Соискателем выполнены экспериментальные исследования влияния основных технологических переменных факторов на стойкостные и силовые показатели процесса цилиндрического фрезерования и элементарного резания кромок МДФ с впервые примененным критерием малоциклового усталости и проведено промышленное внедрение выработанных на их основе рациональных режимов фрезерования в производственных условиях.

**Апробация результатов диссертации.** Основные положения работы доложены на университетских научно-технических конференциях (1999– 2003 гг., г. Минск, БГТУ), на Международной научно-технической конференции «Ресурсосберегающие технологии в лесном хозяйстве, лесной и деревообрабатывающей промышленности» (Минск, Бел. гос. технолог. ун-т., 1999).

**Опубликованность результатов.** По материалам диссертации имеется 9 печатных работ, в том числе: 1 статья в научном журнале (3 стр.), 4 статьи в сборниках научных трудов (13 стр.), 3 депонированные статьи (29 стр.), тезисы

доклада на научной конференции (1 стр.), а также имеется акт внедрения и акт производственных испытаний.

**Структура и объём диссертации.** Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, 5 глав, заключения, списка использованных источников и приложения. Объём диссертации составляет 125 страниц машинописного текста. Диссертация содержит 40 иллюстраций, 24 таблицы, 89 использованных источника и приложение.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дано обоснование актуальности темы и необходимости проведения исследований, а также оценка современного состояния проблемы.

Первая глава содержит краткие сведения о физико-механических свойствах плит МДФ, а также обзор и анализ литературных источников по основным направлениям исследований, связанных с обработкой древесины и древесных материалов методом цилиндрического фрезерования.

Плиты МДФ изготавливают из древесины различных пород и древесных отходов. Они относятся к плитам средней плотности ( $600-800 \text{ кг/м}^3$ ) в отличие от твердых древесноволокнистых плит, имеющих плотность на 20–25 % выше.

Стандарт Республики Беларусь, касающийся плит МДФ отсутствует. Поэтому технические данные, относящиеся к этим плитам, взяты на основании данных заводов-изготовителей (компания «Кроноспан») и заводов-производителей оборудования для производства (фирмы «Зимпелькамп», «Квернер Панел Системс» и др.). При рассмотрении обрабатываемости МДФ надо учитывать факторы, отличающие процесс их обработки от резания древесины и древесных плит. Одним из них является отличие физико-механических характеристик древесины и материала плит. Связующие, входящие в состав плит, изменяют структуру, деформативные свойства и величины коэффициентов трения скольжения обрабатываемых материалов по контактными поверхностям реза. Действие высоких температур и давлений при изготовлении плит нарушают клеточное строение древесины, входящей в состав плит.

В работах Ю.А. Цуканова, В.В. Амалицкого, исследованиях кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов Белорусского государственного технологического университета (БГТУ) было получено математическое описание фрезерования ДСтП, позволяющее определять величину касательной силы и мощности на резание. Из работ А.Л. Бершадского известны зависимости, применяемые при расчете режимов резания натуральной древесины. Г.А. Зотовым проводились опыты по фрезерованию твердых ДВП

плотностью более  $1000 \text{ кг/м}^3$  при изменении скорости резания, толщины стружки и переднего угла. Наряду с отмеченным были изучены рекомендации ведущих европейских фирм производящих дереворежущий инструмент и оборудование, таких как «LEUCO», «Leitz» (Германия) и их рекомендации.

Во вторую главу включен теоретический анализ усталостных явлений, возникающих при фрезеровании при переменных нагрузках, рассмотрены основы расчёта стойкостных и силовых показателей многоножевых фрез.

Теоретические исследования, а также многочисленные результаты экспериментов показывают, что микрогеометрия режущего инструмента оказывает существенное влияние на интенсивность износа главной режущей кромки, а через нее на силовые и стойкостные показатели процесса резания. Фрезерный дереворежущий инструмент работает при переменных напряжениях, многократно изменяющихся во времени. Поэтому его режущая кромка разрушается при меньших напряжениях, чем в случае статической нагрузки. Периодичность процесса фрезерования выражена тем, что сила резания равна нулю в начале дуги контакта и достигает максимума на выходе резца, затем происходит холостой ход.

В структурной формуле пути резания для процесса фрезерования, самостоятельным параметром должна являться частота импульсов воздействия, она может быть выражена частотой вращения шпинделя станка при фрезеровании. Это правомерно потому, что предел прочности при циклических нагрузках зависит от частоты приложения нагрузки и предел выносливости определяется при условно принятых числах импульсов.

Кроме напряжений от внешних нагрузок в режущем инструменте есть внутренние остаточные напряжения. Эти постоянные напряжения направлены вдоль оси  $Z$ , обозначим их  $\sigma_z$  (рис.1).

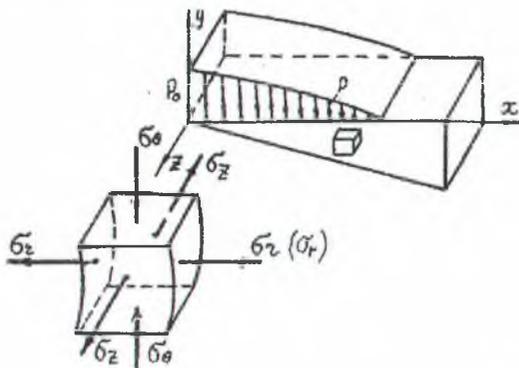


Рис.1 Схема нагружения резца силами резания и напряженное состояние

Так как резец находится в сложном напряженном состоянии, то при фрезеровании в резце возникают нормальные напряжения в радиальном  $\sigma_r$  тангенциальном  $\sigma_\theta$  направлениях (рис.1), эти напряжения циклически изменяются во времени.

Они меняются по отнулевому (пульсирующему) циклу:

$$\sigma_{rm} = \sigma_{ra} = \frac{\sigma_r}{2}; \sigma_{\theta m} = \sigma_{\theta a} = \frac{\sigma_\theta}{2}$$

Резец рассекается цилиндрической поверхностью с радиусом  $r = \text{const}$  и осью, проходящей по лезвию резца. Принимаем гипотезу, аналогичную гипотезе плоских сечений. Считается, что при нагружении резца силой резания, цилиндрическое сечение поворачивается, смещается, но кривизна его не меняется. Получены формулы для определения напряжений  $\sigma_r$  и  $\sigma_\theta$  для произвольной точки В (рис.2).

$$\sigma_r = \frac{2M \sin \theta}{r^2 (\alpha - \sin \alpha)}; \quad (1)$$

$$\sigma_\theta = \frac{P \cos \frac{\alpha}{2}}{\cos \theta} \left[ 1 - \frac{\sin^2 \frac{\alpha}{2}}{2(\alpha - \sin \alpha)} \left( \frac{\alpha}{2} - \theta \right) - \frac{1}{4(\alpha - \sin \alpha)} \left( \frac{\alpha}{2} - \theta - \frac{1}{2} \sin \alpha + \frac{1}{2} \sin 2\theta \right) + \left( \frac{\operatorname{tg} \theta}{2(\alpha - \sin \alpha)} - \frac{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{(\alpha + \sin \alpha)} \right) \cdot \left( \sin^2 \frac{\alpha}{2} - \sin^2 \theta \right) \right] \quad (2)$$

где  $M$  — изгибающий момент в сечении;

$P$  — интенсивность нормального давления в сечении.

Если в опасной точке резца определены напряжения  $\sigma_z$ , а по формулам (1) и (2) определены напряжения  $\sigma_r$  и  $\sigma_\theta$ , то по формулам (3)–(4) можно определить интенсивность амплитудных и средних напряжений.

$$\sigma_{ia} = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(\sigma_{1a} - \sigma_{2a})^2 + (\sigma_{2a} - \sigma_{3a})^2 + (\sigma_{3a} - \sigma_{1a})^2} \quad (3)$$

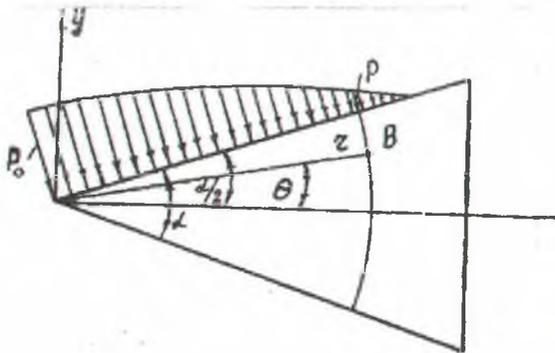


Рис.2 Расчетная схема для определения радиальных и тангенциальных нормальных напряжений

$$\sigma_{im} = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(\sigma_{1m} - \sigma_{2m})^2 + (\sigma_{2m} - \sigma_{3m})^2 + (\sigma_{3m} - \sigma_{1m})^2} \quad (4)$$

Воспользуемся для расчета критерием Писаренко-Лебедева.

$$A \frac{\eta_a}{\eta_e} + \left( \frac{\eta_m}{\sigma_e} \right)^{\alpha A} = 1, \quad (5)$$

где  $\eta_a$ —эквивалентное амплитудное напряжение,

$\eta_m$ —эквивалентное среднее напряжение.

Введем обозначения

$$\lambda_a = \frac{\eta_a}{\sigma_e}, \quad \lambda_m = \frac{\eta_m}{\sigma_e} \quad (6)$$

Тогда уравнение (5) можно записать в таком виде

$$A \lambda_a + \lambda_m^{\alpha A} = 1 \quad (7)$$

если  $\alpha=1$ , то

$$A \lambda_a + \lambda_m^A = 1 \quad (8)$$

Диаграмма предельных напряжений, соответствующая критерию Писаренко–Лебедева легко строится из уравнения (8).

В главе также проведен анализ влияния числа ножей на режимы фрезерования МДФ. Суть альтернативы состоит в снижении частоты вращения шпинделя при одновременном увеличении числа режущих элементов.

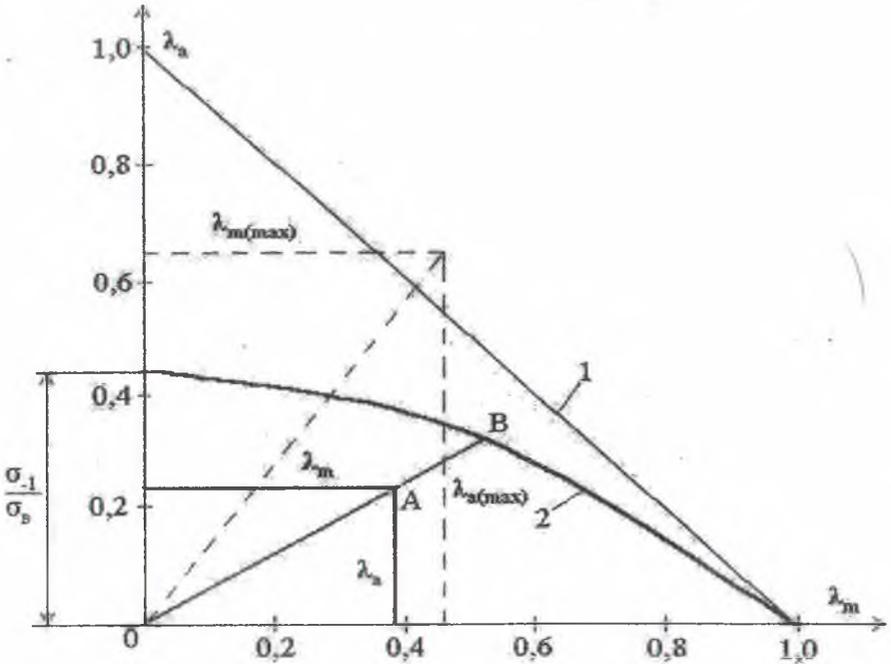


рис. 3 Диаграмма предельных напряжений. 1—линия статического разрушения, 2—кривая предельных напряжений

Для конкретных скоростей подач при условии обеспечения требуемого качества обработки, величина произведения частоты вращения  $n$  и числа зубьев  $z$  "пх $z$ " должна составлять определённую величину. Это влияние можно проанализировать на основании теории резания древесины проф. А.А. Бершадского. Как показывает анализ величина прироста  $\Delta r$  и стойкости инструмента  $S$  имеет обратную пропорциональную зависимость от числа ножей  $z$ . Если проанализировать влияние числа резцов с учётом динамики и кинематики цилиндрического фрезерования, то обозначив мощность на резание фрезы с меньшим числом зубьев  $z_1$  через  $N_1$ , а с большим числом зубьев  $z_2$  через  $N_2$ , получим после преобразований (учитывая что величина  $n \times z = \text{const}$ ):

$$N_1 - N_2 = \frac{\pi D}{1000} (n_1 - n_2) (a_2 + a_4 e_{cp}) \quad (9)$$

где  $D$ —диаметр фрезы,  $a_2$  и  $a_4$ —произведение постоянных режимных факторов,  $e_{cp}$ —средняя толщина стружки.

Ввиду того, что  $n_1 > n_2$  выражение (9) положительно, т.е. мощность резания для фрезы с большим числом зубьев будет меньше.

При разработке конструкции многорезцовых фрез, режимов их эксплуатации, при проектировании и создании оборудования с использованием такого инструмента должны быть предусмотрены условия, при которых обеспечивается максимальная точность расположения резцов на окружности резания. Фреза подобного типа разработана на кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов БГТУ. По данной фрезе подана заявка на предмет изобретения.

В третьей главе представлена методика экспериментальных исследований. Рассмотрены факторы, влияющие на выходные показатели процесса фрезерования кромок МДФ. На основании проведенного анализа для экспериментальных исследований по стойкостным показателям обоснованы постоянные и переменные факторы, диапазоны их изменения и уровни варьирования, которые представлены в табл. 1. Установлена возможность применения критерия малоциклового усталости для изучения процессов происходящих при фрезеровании древесины и древесных материалов. Условной границей между малоциклового и многоциклового усталостью является число циклов  $10^5$ . Для математического описания выходных показателей использован математический метод планирования эксперимента. Исследования проводили на экспериментальной установке, выполненной на базе четырёхстороннего продольно-фрезерного станка модели С 26-2. Для проведения экспериментальных исследований была использована специальная насадная цилиндрическая сборная фреза с конструкцией позволяющей получить углы резания 50–80 град.

Таблица 1

Условия проведения опытов по исследованию стойкостных показателей при фрезеровании кромок плит МДФ.

Факторы	Код условного обозначения	Нижний уровень (-1)	Основной уровень (0)	Верхний уровень (+1)	Интервал варьирования
<b>1. Переменные факторы:</b>					
1.1 Толщина стружки, мм	X1 [a]	0,05	0,2	0,35	0,15
1.2 Толщина срезаемого слоя, мм	X2 [h]	2	4	6	2
1.3 Угол резания, град.	X3 [δ]	50	60	70	10
<b>2. Постоянные факторы:</b>					

2.1 Материал	плита МДФ
2.3 Ширина фрезерования, мм	16
2.4 Диаметр фрезы D, мм	180
2.5 Частота вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup>	3000
2.6 Угол заострения главной режущей кромки $\beta$ , град.	40
2.6. Начальная острота режущей кромки $\rho$ , мкм	7
2.7 Число циклов нагружения инструмента, N	$10^5$

При испытаниях инструмента на стойкость согласно «Методике стойкостных испытаний при проведении НИР» разработанных Всесоюзным научно-исследовательским инструментальным институтом контроль микрогеометрии производится измерением величины следующих параметров: линейный износ по биссектрисе угла заострения радиус округления лезвия, длина фаски по передней поверхности.

Линейный износ  $A_n$  замерялся по биссектрисе угла заострения режущего элемента по снимкам сделанным с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM-5610LV.

Радиус округления  $\rho$  и длина фаски по передней поверхности  $l_n$  (рис. 4) измерялся по снимкам сделанным этим же микроскопом и рассчитывался по методике предложенной Д. М. Калининым.

В разделе также приведены: обоснование по выбору метода математического планирования; расчёт необходимого числа наблюдений и подготовка образцов и инструмента для проведения исследований.

В четвёртой главе представлены результаты экспериментальных исследований влияния установленных технологических факторов на стойкостные показатели фрезерования кромки МДФ. После обработки опытных данных получены модели зависимости линейного износа ( $Y_1$ ), радиуса округления ( $Y_2$ ) и фаски по передней поверхности ( $Y_3$ ) от влияющих на них

переменных факторов: толщины стружки ( $X_1$ ), толщины срезаемого слоя ( $X_2$ ), угла резания ( $X_3$ ).

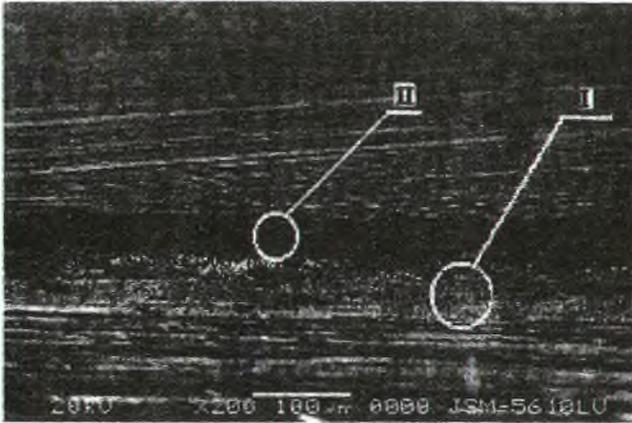


Рис. 4 Лезвие ножа фрезы по направлению биссектрисы угла заострения, (I–зона износа по передней поверхности, II–радиус округления), толщина стружки 0,2 мм; угол резания  $50^\circ$ , высота припуска 4 мм

$$Y_1 = 106,0 - 5,0 \cdot x_1 + 5,2 \cdot x_2 - 3,2 \cdot x_3 + 2,3 \cdot x_1 \cdot x_2 - 3,5 \cdot x_1 \cdot x_3 + 6,0 \cdot x_2 \cdot x_3 + 6,0 \cdot x_2^2 + 20,0 \cdot x_3^2 \quad (10)$$

$$Y_2 = 20,55 - 2,47 \cdot x_1 + 1,87 \cdot x_2 - 1,03 \cdot x_3 + 0,46 \cdot x_1 \cdot x_2 - 1,54 \cdot x_1 \cdot x_3 + 1,64 \cdot x_2 \cdot x_3 + 3,05 \cdot x_2^2 + 5,45 \cdot x_3^2 \quad (11)$$

$$Y_3 = 51,6 - 9,8 \cdot x_1 + 6,1 \cdot x_2 - 3,7 \cdot x_3 + 11,4 \cdot x_2^2 + 19,4 \cdot x_3^2 - 5,1 \cdot x_1 \cdot x_3 + 5,1 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (12)$$

В полученных квадратичных моделях (ф. 10–12) переменные факторы находятся в кодированном масштабе. Квадратичные модели зависимостей линейного износа  $A_\mu$ , радиуса затупления  $\rho$ , длины фаски по передней грани  $l_\mu$  от переменных факторов в натуральном выражении имеют вид (ф: 13–15):

$$A_\mu = 914,6 + 76,1 \cdot a - 28,9 \cdot h - 25,0 \cdot \delta + 7,7 \cdot a \cdot h - 2,3 \cdot a \cdot \delta + 0,3 \cdot h \cdot \delta + 1,5 \cdot h^2 + 0,2 \cdot \delta^2 \quad (13)$$

$$\rho = 243,22 + 39,03 \cdot a - 10,37 \cdot h - 6,77 \cdot \delta - 1,21 \cdot a \cdot \delta + 0,08 \cdot h \cdot \delta + 1,53 \cdot a \cdot h + 0,76 \cdot h^2 + 0,05 \cdot \delta^2 \quad (14)$$

$$l_\mu = 863,5 + 269,3 \cdot a - 35 \cdot h - 27,3 \cdot \delta + 3,4 \cdot a \cdot \delta + 0,3 \cdot h \cdot \delta + 2,9 \cdot h^2 + 0,2 \cdot \delta^2 \quad (15)$$

Изучение влияния переменных факторов на параметры микрогеометрии реза осуществлено построением графических зависимостей по полученным уравнениям (10–15), с учётом диапазонов изменения переменных факторов.

С увеличением средней толщины стружки от 0,05 до 0,35 мм наблюдается снижение выходных показателей микрогеометрии резца: линейного износа  $A_n$  на 8–10 %, радиуса затупления  $\rho$  на 20–23%, длины фаски по передней грани  $l_n$  на 10–15%. Увеличение толщины стружки до 0,35 мм ведет к появлению опережающей трещины. Площадь контакта резца с обрабатываемым материалом уменьшается. Это и влияет на состояние главной режущей кромки в сторону уменьшения выходных показателей процесса. При фрезеровании МДФ стружка формируется в виде очень мелких фракций, на толщинах до 0,2 мм, сравнимых со шлифовальной пылью. Удаление этих фракций приводит к более интенсивному истиранию передней грани.

С увеличением высоты припуска от 2 до 6 мм наблюдаются следующие закономерности изменения выходных показателей. Линейный износ возрастает при работе на режимах: средняя толщина стружки до 0,2 мм, угол резания до 60 град. Увеличение достигает 10–20% от первоначального. При работе на режимах с толщиной стружки до 0,35 мм и угле резания 70 град. линейный износ сначала уменьшается на 7–8%, а при увеличении припуска свыше 4,5 мм его величина начинает незначительно возрастать, не более 5%. Радиус округления режущей кромки уменьшается на всех режимах по мере увеличения толщины срезаемого слоя свыше 2 мм. После прохождения точки перегиба (для толщины стружки 0,05 мм и угла резания 50 град. это составляет 3,5 мм, для режимов толщина стружки 0,35 мм и угол резания 70 град. величина 4,5 мм) начинается увеличение этого показателя на 8–10%. Однако это увеличение не достигает величин радиуса округления, отмеченных на более легких режимах. В изменении величины фаски по передней поверхности наблюдаются также выше изложенные закономерности. В процессе стружкообразования при обработке МДФ, увеличение высоты припуска существенно не меняет условия формирования стружки, но приводит к росту длины контакта резца с обрабатываемым материалом. Увеличение дуги контакта приводит к возникновению опережающей трещины появление, которой ослабляет воздействие материала на лезвие режущего элемента, увеличивает фракционность снимаемой стружки и интенсивность механического диспергирования поверхностей резца.

При увеличении угла резания от 50 до 60 град. для всех принятых выходных показателей наблюдается резкое падение их величин на 15–20%. При увеличении этого угла свыше 60 град. микрогеометрические показатели резко возрастают и практически достигают показателей отмеченных при угле резания 50 град. Причем интенсивность изменения радиуса округления наиболее заметна. Показатели радиуса округления  $\rho$  при угле резания 70 град. на 20–25% выше, чем при угле резания 60 град. В данном случае наблюдается процесс

аналогичный тому, что и при выявлении влияния толщины стружки. При увеличении угла резания плавность схода стружки ухудшается, что вызывает более высокие силы трения и соответственно ухудшает микрогеометрию лезвия инструмента. В процессе открытого резания основную работу по срезанию стружки выполняет передняя поверхность резца, которая, завися от величины  $\delta$ , оказывает влияние на вид стружкообразования. Г. Морозовым отмечалось, что увеличение угла резания отрицательно сказывается на показателях микрогеометрии, увеличиваются величины радиуса округления и линейного износа, и имеет место высокий износ по передней поверхности, что подтверждено опытным путем и для МДФ.

В пятой главе рассмотрены вопросы силового взаимодействия резца с кромками МДФ. Процесс элементарного резания является основным процессом, имеющим место при любом сложном виде резания. При этом исходили из того, что к настоящему времени нет информации об исследованиях ни одного из известных способов резания плит МДФ. Изучение элементарного резания позволяет установить влияние важнейших факторов: толщины стружки, направления резания, угла резания, физико-механических свойств материалов на силовые показатели процесса. Взаимодействие режущих инструментов с материалом в процессе резания проявляется в возникновении касательных и нормальных усилий резания, предопределяющих величину потребной мощности на резание и подачу.

Для организации экспериментальных исследований был принят однофакторный (классический) эксперимент, он эффективен, если необходимо установить физическую сущность влияния только одного фактора на изучаемую величину и установить закономерности процесса.

Отобранные для исследования резцы имели первоначальный радиус округления главной режущей кромки в пределах  $\rho = 7$  (острый резец) и 20, 31, 41 мкм – резец затупленный. Они были затуплены естественным путем в опытах по исследованию цилиндрического фрезерования. Условия проведения опытов сведены в табл. 2.

Таблица 2

Условия проведения опытов при исследовании элементарного резания МДФ.

Наименование и величина фактора				
1. Переменные факторы:				
1.1 Толщина стружки, мм	0,1	0,2	0,3	0,4
1.2 Угол резания, град.	50	60	70	
1.3. Острота режущей кромки $\rho$ , мкм	7	20	31	41

2. Постоянные факторы:	
2.1 Материал	плита МДФ
2.2 Ширина резания, мм	16
2.3 Угол заострения главной режущей кромки $\beta$ , град.	40

Был использован лабораторный стенд для исследования элементарного резания. В состав стенда входят: оптико-динамометрическое устройство для изучения прямолинейного резания конструкции доцента А.А. Соловьева, тензометрический усилитель с блоком питания и реостатом, приборный щит. Для измерения раздельно касательных и радиальных сил резания, на упругом элементе расположены два тензометрических моста в перпендикулярных плоскостях.

Полученные результаты обработки опытных данных дали возможность построить графические зависимости для касательной и радиальной сил резания в зависимости от толщины стружки при различных значениях радиуса округления  $\rho$  и угла резания  $\delta$ .

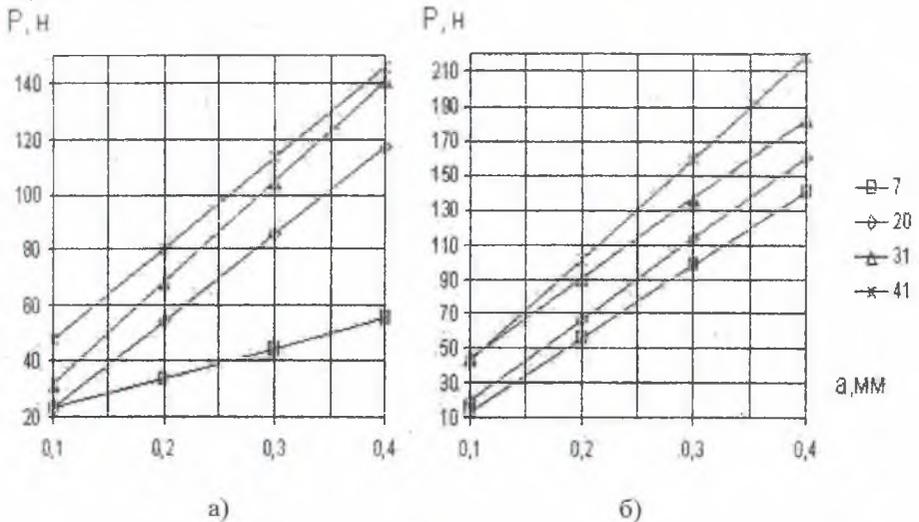


Рис. 5 Зависимость касательной силы резания от толщины стружки при угле резания а) 50 град., б) 60 град.

Для всех опытов соблюдается общая закономерность: с ростом радиуса округления от 7 до 41 мкм касательная сила возрастает, причем ее интенсивность максимальна при угле резания 60 град. Наиболее интенсивному износу при резании подвергается лезвие резца, поэтому радиус округления  $\rho$  является основным показателем степени затупления резца.

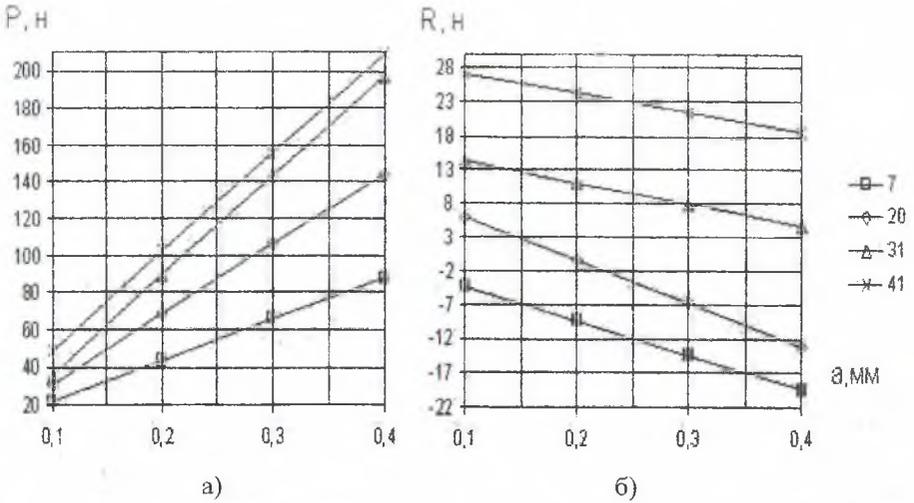


Рис. 6 Зависимость а) касательной силы резания при угле резания 70 град. и б) радиальной силы резания при угле резания 50 град. от толщины стружки

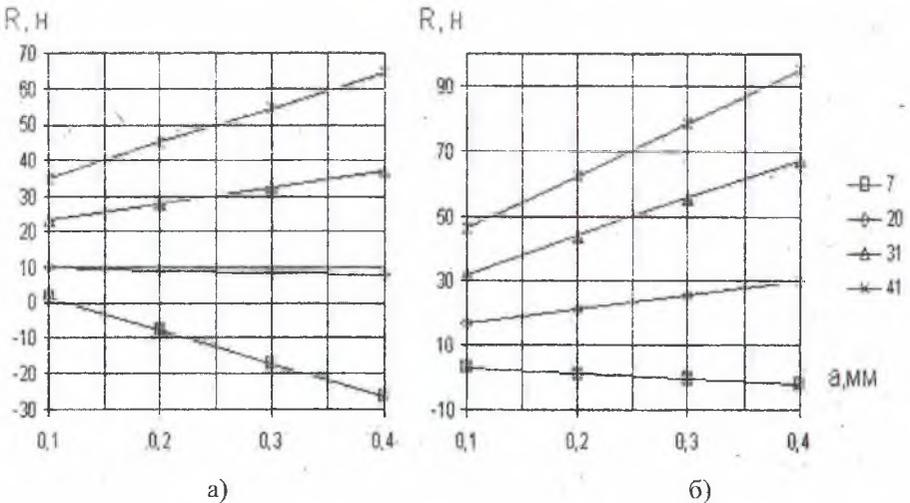


Рис. 7 Зависимость касательной силы резания от толщины стружки при угле резания а) 50 град., б) 60 град.

Увеличение  $\rho$  вызывает рост сил по лезвию и задней грани, в меньшей степени затупление резца влияет на силы по передней грани резца. Для острого резца для всех углов резания характерно, по мере увеличения толщины стружки, уменьшение радиальной силы с переходом ее из силы отжима в силу затягивания. С увеличением величины радиуса округления сила нормальная растет численно, и с увеличением угла резания она оказывается только затягивающей.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Физико-механические свойства МДФ значительно отличаются от свойств других древесных материалов. Это связано с их механическим составом и технологией производства. Цикличность процесса фрезерования оказывает существенное влияние на стойкость инструмента в сторону ее ослабления [4,6,9].
2. Разработана теоретические основы расчёта напряжений, возникающих во фрезерном инструменте, позволяющие производить расчёты режущего инструмента на прочность в зависимости от циклически изменяющейся нагрузки, при известных размерах инструмента, для любых материалов реза [8].
3. Разработана конструкция новой многоножевой фрезы, отличающаяся улучшенными технико-экономическими показателями: повышенной стойкостью резцов, малыми трудозатратами на подготовку к работе, повышенной безопасностью [1,2,5].
4. Установлена возможность применения критерия малоциклового усталости для изучения процессов происходящих при фрезеровании древесины и древесных материалов. Разработано математическое описание стойкостных показателей в зависимости от средней толщины стружки, высоты срезаемого слоя и угла резания при фрезеровании по кромке плит МДФ [3,9].
5. Получены исходные режимные данные, обеспечивающие получение высокого качества обработки с наиболее целесообразным использованием оборудования: средняя толщина стружки  $a = 0,25 - 0,35$  мм, угол резания  $\delta = 58^\circ - 60^\circ$  при высоте срезаемого слоя  $h = 3$  мм и частоте вращения инструмента  $n = 3000$  мин<sup>-1</sup>. Полученные рациональные режимы фрезерования были апробированы в промышленных условиях, что позволило повысить выход выпускаемой продукции при наименьших энергетических затратах, снизить трудозатраты и себестоимость выпускаемой продукции. Фактический экономический эффект от внедрения этих режимов составил по ООО «ДИМкомпания» 1 458 640 рублей [9].
6. Получено математическое описание зависимостей касательной и радиальной сил резания от толщины стружки для острого и затупленного резцов при различных углах резания, позволяющее вести изготовление и проектирование фрезерного инструмента для обработки кромок МДФ с учетом силового фактора [7].

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Клубков А.А., Гиль В.И. Перспективы применения многоножевого фрезерного инструмента в деревообработке//Сб. науч. тр. /Бел. гос. технолог. ун-т. Сер. II. Лесн. и деревообраб. пром-сть.-Минск, 1999.-Вып. VII.-с. 132-138.

2. Клубков А.А., Гиль В.И. Влияние числа ножей на режимы фрезерования древесины и древесных материалов//Сб. науч. тр. /Бел. гос. технолог. ун-т. Сер. II. Лесн. и деревообраб. пром-сть.-Минск, 2000.-Вып. VIII.-с. 187-192.

3. Клубков А.П., Клубков А.А., Гиль В.И. Влияние послепаляльных остаточных напряжений на приработочный износ твердосплавных ножей при фрезеровании ДВП средней плотности // Деревообрабатывающая промышленность/Москва, 2002. № 1. - С. 18–20.

4. Клубков А.П., Гриневиц С.А., Гиль В.И. Удельная сила и среднее условное напряжение резания в области микростружек при резании древесины//Сб. науч. тр. /Бел. гос. технолог. ун-т. Сер. II. Лесн. и деревообраб. пром-сть.-Минск, 2002.-Вып. X.-с. 191-194

5. Клубков А.П., Гришкевич А.А., Гиль В.И. Аналитические зависимости между параметрами микрогеометрии резца//Сб. науч. тр. /Бел. гос. технолог. ун-т. Сер. II. Лесн. и деревообраб. пром-сть.-Минск, 2003.-Вып. XI.-с. 213-215.

6. Клубков А.А., Гиль В.И. Основные направления ресурсосбережения инструментальных материалов при изготовлении режущего инструмента//Ресурсосберегающие технологии в лесном хозяйстве, лесной и деревообрабатывающей промышленности: Материалы докладов Международной научно-технической конференции (тез. докл.), Минск, 24–25 ноября 1999 г./Минск, Бел. гос. технолог. ун-т., 1999.-с. 396.

7. Гиль В.И. Ортогональное резание древесноволокнистых плит средней плотности (MDF)/ Беларус. гос. технолог. ун-т. – Мн., 2004. — 9 с. — Деп. в БелИСА .12.04, № Д 199628.

8. Гиль В.И. Расчет нормальных и тангенциальных напряжений возникающих в режущих элементах деревообрабатывающего инструмента от циклической нагрузки/ Беларус. гос. технолог. ун-т. – Мн., 2004. — 11 с. — Деп. в БелИСА .12.04, № Д 199629.

9. Гиль В.И. Планирование эксперимента для оценки циклической прочности фрезерного дереворежущего инструмента / Беларус. гос. технолог. ун-т. – Мн., 2004. — 9 с. — Деп. в БелИСА .12.04, № Д 199630.

Гіль Віталій Іванавіч

## РАСПРАЦОЎКА РЭЖЫМАЎ ФРЭЗЕРАВАННЯ КАНТАЎ ДРАЎНЯНАВАЛАКНІСТАЙ ПЛІТЫ СЯРЭДНЯЙ ШЧЫЛЬНАСЦІ (МДФ)

Ключавыя словы: драўнянавалакністая пліта, фрэзераванне, вугал рэзання, таўшчыня стружкі, вышыня здымаемага слоя, лік цыклаў, трываласць, фрэза.

Аб'ект даследавання. Фрэзераванне кантаў драўнянавалакністых пліт сярэдняй шчыльнасці (МДФ), стойкасныя і сілавыя паказчыкі пры фрэзераванні МДФ, прагназаванне працаздольнасці фрэзернага інструмента, канструкцыі пажавых галовак.

Мэта працы. Распрацоўка разліковага метаду вызначэння паказчыкаў рэжымаў рэзання пры механічнай апрацоўцы кантаў драўнянавалакністых пліт сярэдняй шчыльнасці, даследаванне з'яў у фрэзерным інструменце і прагназаванне яго працаздольнасці.

Метад даследавання і апаратура. Метад даследавання заключаецца ў правядзенні тэарэтычных і эксперыментальных даследаванняў сілавых і стойкасных паказчыкаў пры цыліндрычным фрэзераванні кантаў драўнянавалакністых пліт сярэдняй шчыльнасці, супастаўленне і аналіз вынікаў. Для эксперыментальных даследаванняў выкарыстоўвалі прамысловае дрэваапрацоўчае абсталяванне, электронны сканіруючы мікраскоп, вымяральныя прыборы і інструмент, доследныя лабараторныя ўстаноўкі.

Атрыманыя вынікі і навізна. Распрацавана матэматычнае апісанне сілавых і стойкасных паказчыкаў працэсу фрэзеравання ў залежнасці ад асноўных пераменных фактараў пры цыліндрычным фрэзераванні драўнянавалакністых пліт сярэдняй шчыльнасці, якое дазваляе рацыянальна ўсталёўваць рэжымы апрацоўкі, прагназаваць часавы рэсурс работы інструмента па зададзеным крытэрыі малацыклавой стомленасці. Атрыманы тэарэтычныя залежнасці пры даследаванні стомленасных з'яў у фрэзерным інструменце і даследаваны уплыў цыклічнасці працэсу фрэзеравання на стойкасць дрэварэжучага інструмента. Распрацавана канструкцыя шматнажавой фрэзы.

Рэкамендацыі па выкарыстанні і галіна ўжывання. Вынікі даследаванняў можна выкарыстоўваць пры планаванні тэхналагічных рэжымаў апрацоўкі МДФ, практаванні абсталявання і рэжучага інструмента, які працуе метадам цыліндрычнага фрэзеравання.

Гиль Виталий Иванович

## РАЗРАБОТКА РЕЖИМОВ ФРЕЗЕРОВАНИЯ КРОМОК ДРЕВЕСНОВОЛОКНИСТОЙ ПЛИТЫ СРЕДНЕЙ ПЛОТНОСТИ (МДФ)

Ключевые слова: древесноволокнистая плита, фрезерование, угол резания, толщина стружки, высота снимаемого слоя, число циклов, усталостная прочность, фреза.

Объект исследования. Фрезерование кромок древесноволокнистых плит средней плотности, стойкостные и силовые показатели при фрезеровании МДФ, прогнозирование работоспособности фрезерного инструмента, конструкция многоножевой фрезы.

Цель работы. Разработка расчётного метода определения показателей режимов резания при механической обработке кромок древесноволокнистых плит средней плотности, исследование усталостных явлений, возникающих во фрезерном инструменте, и прогнозирование его работоспособности.

Метод исследований и аппаратура. Метод исследований заключается в проведении теоретических и экспериментальных исследований силовых и стойкостных показателей при цилиндрическом фрезеровании кромки древесноволокнистых плит средней плотности, сопоставлении и анализе результатов. Для экспериментальных исследований использовали промышленное деревообрабатывающее оборудование, электронный сканирующий микроскоп, измерительные приборы и инструмент, опытные лабораторные установки.

### Полученные результаты и новизна.

Разработано математическое описание силовых и стойкостных показателей процесса фрезерования в зависимости от основных переменных факторов для древесноволокнистых плит средней плотности (МДФ), которое позволяет рационально устанавливать режимы обработки; прогнозировать временной ресурс работы инструмента по заданному критерию малоциклового усталости. Получены теоретические зависимости при исследовании усталостных явлений, возникающих во фрезерном инструменте и исследовано влияние цикличности процесса фрезерования на стойкость дереворежущего инструмента. Разработана конструкция многоножевой фрезы.

Рекомендации по использованию и область применения. Результаты исследований можно использовать при планировании технологических режимов обработки МДФ; проектировании оборудования и режущего инструмента, работающего методом цилиндрического фрезерования.

Vitaly I. Gil

DEVELOPMENT OF MODES OF MILLING OF EDGES MEDIUM DENSITY  
FIBRE-BOARD

Key words: medium density fibre-board, planing, slant of cutting, chip gauge, height of removed layer, number of loading cycles, fatigue strength, multiknife shaper cutter.

Subject of research. The medium density fibre-board edges shaping, the index of stability and force parameters at medium density fibre-board shaping, forecasting of stability of the planing tool, blade-heads construction.

Purpose of research. To develop the test method of the index of stability and force determination at the mechanical treatment of medium density fibre-board edges, research of the fatigue conditions arising in the planing tool and forecasting of its serviceability.

Research method and equipment. The research method consists of the theoretical and experimental investigations force and stability parameters at cylindrical planing an edge of medium density fibre-board, comparison and analysis of obtained results. Industrial woodworking plant, electronic scanning microscope, measuring devices and tools, skilled laboratory installations were used for experimental investigations.

Obtained results and novelty. The mathematical description stability and force parameters of process of planing is developed depending on the basic variable factors at the mechanical treatment medium density fibre-board which allows to establish modes of processing rationally, to predict a time resource of work of the tool by the set criterion low-cycle fatigue. The theoretic dependences at research of the fatigue condition arising in the planing tool and influence of ciclicity of process planing on stability woodworking tool. The design multi-knife mills is developed.

Recommendations for use and usage area. The results of research could be used for the planning of technological conditions of medium density fibre-board treatment, designing of equipment and the cutting tool working as a method of cylindrical planing.

Гиль Виталий Иванович

РАЗРАБОТКА РЕЖИМОВ ФРЕЗЕРОВАНИЯ КРОМОК  
ДРЕВЕСНОВОЛОКНИСТОЙ ПЛИТЫ СРЕДНЕЙ ПЛОТНОСТИ (MDF)

Подписано в печать 26.05.2004. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.  
Гарнитура Таймс. Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,4. Уч.-изд. л. 1,2.  
Тираж 90 экз. Заказ 289

Учреждение образования

«Белорусский государственный технологический университет».  
Лицензия ЛВ № 276 от 15.04.03. 220050, Минск, Свердлова, 13а.

Отпечатано в лаборатории полиграфии учреждения образования  
«Белорусский государственный технологический университет».  
220050, Минск, Свердлова, 13.



569ар