

674
Г85

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 674.023

Гриневич Сергей Анатольевич

**РАЗРАБОТКА РЕЖИМОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ
КРОМОК ФАНЕРЫ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ**

05.21.05 – Дреvesиноведение, технология и оборудование деревообработки

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Минск 2005

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет».

Научный руководитель	кандидат технических наук, доцент Клубков А.П., УО «Белорусский государственный технологический университет», кафедра деревообрабатывающих станков и инструментов
Официальные оппоненты:	доктор технических наук, доцент Невзорова А.Б., БелГУТ, кафедра экологии и рационального использования водных ресурсов; кандидат технических наук, доцент Снопков В.Б., УО «Белорусский государственный технологический университет», кафедра технологии клееных материалов и плит
Оппонирующая организация	ОАО «Минскпроектмебель» (г. Минск)

Защита состоится 20 декабря 2005 г. в 16.00 часов на заседании совета по защите диссертаций Д.02.08.06 при УО «Белорусский государственный технологический университет» (Беларусь, 220050, г. Минск, ул. Свердлова, 13а) в аудитории 240, корп. 4. Тел. 227-83-41; факс (017) 227-62-17, электронная почта: root@bstu/unibel.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского государственного технологического университета.

Автореферат разослан 19 ноября 2005 г.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций
кандидат технических наук, доцент



С.П. Мохов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Одним из основных условий повышения производительности труда и качества выпускаемой продукции с минимальными энергозатратами в деревообрабатывающей промышленности является применение рациональных режимов резания. Для установления режимов резания требуется разработка научно обоснованных методов их расчета с учетом требований к качеству обработки, технических возможностей применяемого оборудования, геометрии и стойкости режущего инструмента. На сегодняшний день существуют методы расчета, позволяющие устанавливать режимы фрезерования древесины и некоторых древесных материалов. На мебельных предприятиях деревообрабатывающего комплекса довольно широко используется фанера общего назначения. Для достижения высокого качества обработки ее кромок используют цилиндрические фрезы. Метода, позволяющего рассчитать режимы фрезерования кромок данного древесного материала, до настоящего времени не имеется. Существующие методы расчета режимов цилиндрического фрезерования натуральной древесины не могут быть применены к фанере. Плотность фанеры на 18–20 % выше, чем плотность натуральной древесины, фанера содержит в своем составе связующее и имеет характерное строение, что отличает ее не только от древесины, но и от других древесных материалов. Поэтому проведение исследований в целях получения научно обоснованных методов расчета режимов фрезерования кромок фанеры общего назначения с учетом технических возможностей оборудования, качества образующейся поверхности, геометрии и стойкости режущего инструмента и разработка на их основе рекомендаций по выбору режимов фрезерования являются актуальными.

Цель и задачи исследования. Целью данной работы является получение научно обоснованных методов расчета режимов цилиндрического фрезерования кромок фанеры общего назначения твердосплавными ножами с механическим креплением и разработка рекомендаций по назначению режимов фрезерования на основе определения влияния основных режимных факторов процесса на силовые, энергетические, стойкостные показатели и качество обработки.

Задачи исследования:

- обосновать целесообразность применения цилиндрических фрез с механическим креплением пластин твердого сплава с достижением высокой стойкости инструмента при обработке кромок фанеры;
- получить описание процесса обработки кромок фанеры цилиндрическими фрезами в виде уравнений регрессии, позволяющих установить влияние основных технологических факторов на силовые показатели;
- исследовать динамику затупления твердосплавного фрезерного инструмента и влияние степени его износа на рост силовых показателей процесса резания;

740af



– получить регрессионную зависимость, отражающую влияние основных технологических факторов цилиндрического фрезерования на стойкость инструмента по критерию качества обработки кромок;

– разработать рекомендации по выбору режимов обработки кромок фанеры общего назначения.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования являются режимы цилиндрического фрезерования, предметом исследования – фанера общего назначения, широко используемая в мебельной промышленности.

Методология и методы проведенного исследования. Для получения описания процесса цилиндрического фрезерования кромок фанеры был применен метод математического планирования эксперимента (план В₄). Экспериментальные данные обработаны с применением методов математической статистики. Фрезерование образцов фанеры проводилось на экспериментальной установке, созданной на базе четырехстороннего продольно-фрезерного станка модели С26-2М. Для проведения сравнительных испытаний на износостойкость твердосплавных паяных и непаяных ножей цилиндрических фрез при обработке кромок фанеры использовалась экспериментальная установка на базе фрезерного станка с нижним расположением шпинделя модели ФС-1. Исследование степени и характера износа режущих элементов проводилось методом «слепок» и путем непосредственного наблюдения с применением сканирующего электронного микроскопа JSM-5610LV.

Научная новизна полученных результатов.

1. Впервые разработан метод расчета остаточных напряжений после пайки в твердосплавном фрезерном ноже. Экспериментально установлена более высокая стойкость твердосплавных ножей с механическим креплением пластин твердого сплава по сравнению с паяным твердосплавным инструментом при фрезеровании кромок фанеры общего назначения.

2. Для обработки кромок фанеры общего назначения разработана новая конструкция сборного фрезерного ножа, позволяющая механически крепить пластины из твердого сплава (заявка на патент № а20040650).

3. Получены уравнения регрессии, отражающие влияние основных технологических факторов (средней толщины стружки, толщины срезаемого слоя, скорости резания и угла резания) на силовые показатели процесса цилиндрического фрезерования кромок фанеры и качество их обработки, позволяющие назначать режимы резания с учетом технических возможностей оборудования, требований к качеству получаемой поверхности, геометрии и стойкости фрезерного инструмента.

4. Установлена динамика затупления твердосплавного фрезерного инструмента при обработке кромок фанеры общего назначения и определено влияние степени износа ножей на силовые показатели процесса резания, что позволяет учитывать затупление ножей при назначении режимов обработки кромок фанеры цилиндрическими фрезами.

Практическая значимость полученных результатов. Результаты теоретических и экспериментальных исследований позволяют:

- назначать режимы цилиндрического фрезерования кромок фанеры общего назначения с учетом требований к качеству обработки, технических характеристик применяемого оборудования, геометрии и стойкости инструмента;

- определять силы и мощность резания в процессе обработки кромок фанеры цилиндрическими фрезами, необходимые для проектирования режущего фрезерного инструмента и оборудования;

- рассчитывать стойкость инструмента по критерию качества обработки, необходимую для прогнозирования объема работ инструментальных служб деревообрабатывающих предприятий;

- при переходе деревообрабатывающей промышленности к системе автоматизированного управления производственными процессами полученные уравнения регрессии могут быть использованы для разработки программного обеспечения.

Полученные результаты рекомендуются для использования на мебельных предприятиях деревообрабатывающего комплекса, конструкторских бюро, а также на инструментальных и станкостроительных заводах.

Экономическая значимость полученных результатов. Результаты диссертационной работы с мая 2005 года внедрены в ОАО «ФанДОК». Ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения процесса обработки кромок фанеры общего назначения методом цилиндрического фрезерования с применением предложенной в работе конструкции сборного фрезерного ножа составляет 11 893,8 тыс. руб. с трех единиц оборудования. Востребованность результатов работы подтверждена справкой концерна «Беллесбумпром», где отмечена потребность отрасли в разработанном фрезерном инструменте (более 30 фрез со сборными ножами).

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

- метод расчета остаточных напряжений в паяном твердосплавном ноже;

- результаты экспериментальных работ, подтверждающие повышенную стойкость фрезерных твердосплавных ножей с механическим креплением пластин твердого сплава по сравнению с паяными твердосплавными ножами при обработке кромок фанеры;

- уравнения регрессии, описывающие влияние переменных режимных факторов на силовые и энергетические показатели процесса цилиндрического фрезерования кромок фанеры общего назначения;

- динамика затупления твердосплавного инструмента и его влияние на силовые показатели процесса цилиндрического фрезерования кромок фанеры;

- регрессионная зависимость, отражающая влияние переменных режимных факторов на технологическую стойкость инструмента по критерию качества обработки кромок фанеры общего назначения;

- оптимальные режимы цилиндрического фрезерования кромок фанеры.

Личный вклад соискателя. Соискатель принял активное участие в получении, обработке и внедрении результатов диссертационной работы. Для проведения исследований с его участием адаптированы две экспериментальные установки. Соискателем разработан теоретический метод расчета напряжений в паяном ноже. В соавторстве разработана конструкция сборного фрезерного ножа с механическим креплением пластин твердого сплава (заявка на патент № а20040650).

Апробация результатов диссертации. Основные положения работы докладывались на научно-технических конференциях в БГТУ 2002–2004 гг. и II Международной научно-технической конференции «Современные методы проектирования машин. Расчет, конструирование, технология изготовления» (Минск, 6–10 декабря 2004 г.).

Опубликованность результатов. По материалам диссертации имеется десять печатных работ. В их числе одна статья в журнале «Деревообрабатывающая промышленность» (Москва), одна статья в журнале «Современные методы проектирования машин» (Минск), шесть статей в сборнике трудов БГТУ, две депонированные рукописи.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, 7 глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Полный объем диссертации 168 страниц, в том числе 51 иллюстрация на 25 страницах, 27 таблиц на 17 страницах, 9 приложений на 33 страницах. Список использованных источников содержит 92 наименования и занимает 7 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дана общая оценка современного состояния проблемы. Обоснованы актуальность темы и необходимость проведения исследований.

В первой главе представлен обзор и анализ литературных источников о физико-механических свойствах фанеры общего назначения; особенностях обработки ее кромок; рекомендациях по выбору режимов фрезерования; существующих методиках расчета режимов цилиндрического фрезерования древесины и древесных материалов.

Использование фанеры общего назначения для изготовления деталей мебели вызывает повышенные требования к качеству обработки, которое может быть достигнуто только при цилиндрическом фрезеровании. В то же время фанера, как объект обработки, уникальна по конструкции и отличается физико-механическими свойствами, что не позволяет использовать рекомендации по установлению режимов резания, разработанные для натуральной древесины. Существующие рекомендации по выбору режимов фрезерования кромок фанеры даны без учета требуемого уровня качества обработки, геометрии и стойкости режущего твердосплавного инструмента и технических возможностей оборудования. Отсутствие научно обоснованных методов по установлению режимов обработки и расчету силовых, энергетических, стойкостных и качественных показателей процесса цилиндрического фрезерова-

ния кромок фанеры общего назначения обуславливает необходимость проведения данных исследований и их актуальность.

Вторая глава посвящена разработке методик проведения экспериментальных исследований. В качестве метода математического планирования эксперимента применен план V_4 , что позволяет получить функции отклика в виде уравнений регрессии второго порядка. На основе анализа возможностей фрезерного оборудования, применяемого для обработки кромок фанеры, определены основные переменные технологические факторы и уровни их варьирования: средняя толщина стружки (от 0,15 мм до 0,45 мм с интервалом 0,15 мм), скорость резания (от 20 м/с до 50 м/с с интервалом 15 м/с), толщина срезаемого слоя (от 1,5 мм до 4,5 мм с интервалом 1,5 мм), угол резания (от 50° до 70° с интервалом 10°). Выходными показателями приняты мощность резания, средняя касательная сила резания за оборот, средняя сила резания на дуге контакта, удельная работа резания. Опыты ставились на экспериментальной установке на базе станка С26-2М. Подопытный материал – фанера береза/береза, ФК, IV/IV, E2, НШ по ГОСТ 3916.1–96, размеры образцов 1525×200×21. Силовые показатели процесса фрезерования определялись через затраты мощности на обработку, которые фиксировались по показаниям ваттметра типа Д539, как разность показаний рабочего и холостого хода. Для проведения исследований использовалась цилиндрическая фреза, позволяющая получить углы резания 50°, 60°, 70° и 80°. В качестве материала режущих элементов принят твердый сплав ВК6. Показателем затупления выбран радиус округления участков лезвия r (мкм), режущих поперечные слои фанеры. Определение величины радиуса округления режущей кромки осуществлялось с применением метода «слепков», для которого использовался металлографический микроскоп ММР-4, и непосредственным замером с использованием современного электронного сканирующего микроскопа JSM-5610LV.

Критерием качества и технологической стойкости фрез определено появление концевых сколов на обработанной кромке.

В разделе также приведен расчет необходимого числа дублированных опытов, описан процесс подготовки образцов и инструмента к работе, представлена методическая сетка опытов.

В третьей главе рассмотрено влияние пайки и остаточных напряжений после ее проведения на стойкость твердосплавного фрезерного инструмента.

Отмечено, что задача определения остаточных напряжений после пайки решена для случаев одноосного напряженного состояния заготовки ножа, когда сечение упруго симметрично и упруго несимметрично. В работе предлагается уточнение метода расчета остаточных напряжений. Особенностью предложенного метода решения является учет двуосного напряженного состояния паяного ножа для случая упруго несимметричного сечения, что имеет место на практике. Сравнение расчетных величин остаточных напряжений в ножах разной конструкции позволяет априори сопоставлять стойкости фрезерного паяного инструмента. Поскольку паяные ножи до сих пор широко применяются в деревообрабатывающей промышленности, то разработанный

метод может явиться основой для оптимизации их конструкции с целью повышения стойкости.

Для проверки степени влияния процесса пайки на стойкость фрезерного инструмента при обработке кромок фанеры общего назначения были проведены сравнительные ускоренные испытания. В качестве материала режущего инструмента приняты две марки твердого сплава с минимальным и максимальным содержанием кобальта (из наиболее распространенных) ВК6 и ВК15. Опыты проводились на экспериментальной установке для сравнительных ускоренных испытаний на износостойкость, созданной на базе фрезерного станка с нижним расположением шпинделя ФС-1. К достоинствам этой установки следует отнести возможность получения большого пути резания при цилиндрическом фрезеровании образцов фанеры, сокращение времени испытаний, снижение расхода обрабатываемого материала. Схема резания соответствует цилиндрическому фрезерованию с радиальной подачей заготовки с постоянной толщиной стружки. Условия проведения эксперимента: диаметр фрезы 180 мм, задний угол 15° , угол резания 60° , частота вращения фрезы 6000 мин^{-1} , толщина стружки 0,1 мм.

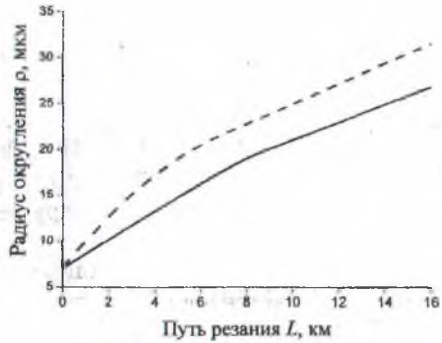


Рис. 1. Динамика затупления фрезерного ножа ВК6 (— механическое крепление; --- пайка) Рис. 2. Динамика затупления фрезерного ножа ВК15 (— механическое крепление; --- пайка)

Проведенные исследования показали, что процесс пайки и возникающие остаточные напряжения отрицательно влияют на износостойкость твердосплавного инструмента при фрезеровании кромок фанеры (рис. 1, 2). Так, по результатам опытов, интенсивность монотонного изнашивания ножей с механическим креплением из сплава ВК15 в 1,29 раза больше, чем ВК6 с механическим креплением. Интенсивность монотонного изнашивания паяных ножей из сплава ВК6 в 1,09 раза больше, чем паяных ножей ВК15. Интенсивности изнашивания паяных ножей приблизительно равны, из чего можно заключить, что процесс пайки и возникающие остаточные напряжения после ее проведения в значительно большей степени влияют на сплав ВК6, чем на сплав ВК15. Сопоставление интенсивностей изнашивания твердосплавных пластин одной марки, но с разными способами крепления показывает, что инструмент с механическим креплением пластин твердого сплава имеет

меньшую интенсивность изнашивания. Интенсивность изнашивания сплава ВК15 с механическим креплением пластины в 1,22 раза, а сплава ВК6 в 1,7 раза меньше, чем интенсивность изнашивания соответствующих паяных ножей.

Вышесказанное подтверждает, что крепление твердосплавной пластины с помощью пайки ведет к появлению остаточных напряжений и деформаций, снижению стойкости инструмента, о чем свидетельствуют вышесприведенные результаты исследований. Кроме того, отечественная промышленность не выпускает паяные твердосплавные ножи для ширины обработки более 110 мм, поскольку изготовление более длинных ножей посредством пайки весьма трудная техническая задача. Это предопределяет необходимость создания новой конструкции сборного фрезерного ножа, представленной на рис. 3 и рис. 4.

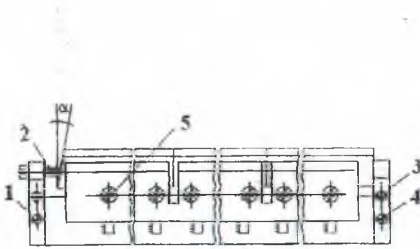


Рис. 3. Общий вид фрезерного ножа

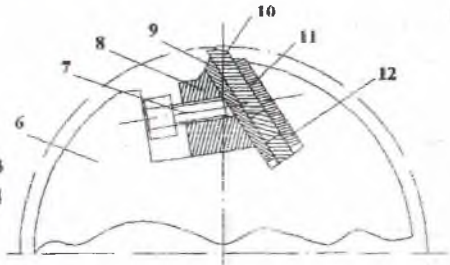


Рис. 4. Фрезерный нож в пазу ножевого вала

Нож фрезерный включает шлифованные по всем поверхностям режущие пластины 10, составленные торец в торец вдоль оси ножевого вала, переднюю фигурную планку 9 и заднюю 11, опорную настроечную линейку 12, крепежные винты 5, боковые ограничители левый 1 и правый 3, упорный винт 2, крепежные винты 4, клин 8, распорный винт 7. Он может быть использован на всех деревообрабатывающих станках фрезерного типа. Предлагаемая конструкция сборного фрезерного ножа может быть также использована для обработки по кромке и по пласти другим древесным материалам, как-то ДВП, МДФ, ДСП и др. Представленная конструкция является предметом изобретения (заявка на патент № а20040650).

В четвертой главе представлены результаты экспериментальных исследований влияния режимных факторов на силовые и энергетические показатели фрезерования кромок фанеры. В качестве режимных факторов приняты: средняя толщина стружки a (мм), скорость резания V (м/с), толщина срезаемого слоя h (мм), угол резания δ (град). Выходными показателями приняты мощность резания P (Вт), средняя касательная сила резания за оборот F_k (Н), средняя сила резания на дуге контакта F_c (Н), удельная работа резания K (Дж/см³). Однородность дисперсий результатов опытов подтверждена проверкой по G -критерию Кохрена.

В результате статистической обработки опытных данных получено математическое описание влияния выбранных переменных технологических факторов на силовые и энергетические показатели процесса цилиндрического фрезерования кромок фанеры (формулы (1–4)).

$$P = 2230,47 - 9951,78 \cdot a - 35,37 \cdot V - 147,04 \cdot h - 24,06 \cdot \delta + 72,09 \cdot a \cdot V + 4,88 \cdot V \cdot h + 90,60 \cdot a \cdot \delta + 326,22 \cdot a \cdot h + 0,43 \cdot V \cdot \delta + 5875,56 \cdot a^2; \quad (1)$$

$$F_k = 28,40 - 208,67 \cdot a - 0,04 \cdot V - 1,56 \cdot h - 0,22 \cdot \delta + 0,06 \cdot V \cdot h + 2,53 \cdot a \cdot \delta + 8,89 \cdot a \cdot h + 168,89 \cdot a^2; \quad (2)$$

$$F_i = 204,83 - 5140,00 \cdot a + 2,83 \cdot V + 157,73 \cdot h + 2,34 \cdot \delta + 70,86 \cdot a \cdot \delta - 3,04 \cdot h \cdot \delta + 4533,34 \cdot a^2; \quad (3)$$

$$K = 1,3 - 613,78 \cdot a + 1,24 \cdot V + 20,13 \cdot h + 1,92 \cdot \delta - 2,84 \cdot a \cdot V + 4,33 \cdot a \cdot \delta - 0,40 \cdot h \cdot \delta + 755,56 \cdot a^2. \quad (4)$$

Адекватность полученных уравнений регрессий подтверждена проверкой по F -критерию Фишера.

Представленные регрессионные модели дают возможность оценить влияние переменных технологических факторов на выходные силовые и энергетические показатели. Из представленных показателей наиболее важным для промышленности является потребляемая мощность. С увеличением средней толщины стружки от 0,15 до 0,45 мм она возрастает 1,1–2,5 раза; при увеличении скорости резания с 20 до 50 м/с – увеличивается в 1,5–2,5 раза; с ростом толщины срезаемого слоя с 1,5 до 4,5 мм – увеличивается в 1,0–1,4 раза; изменение угла резания с 50° до 70° приводит к росту потребляемой мощности в 1,2–1,4 раза.

В пятой главе исследованы динамика затупления твердосплавного инструмента и влияние степени износа на силы резания при цилиндрическом фрезеровании кромок фанеры общего назначения. Зависимость радиуса округления режущей кромки r от пути резания L представлена на рис. 5.

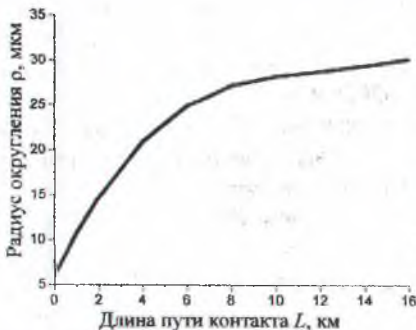


Рис. 5. Зависимость радиуса затупления r от длины пути контакта L

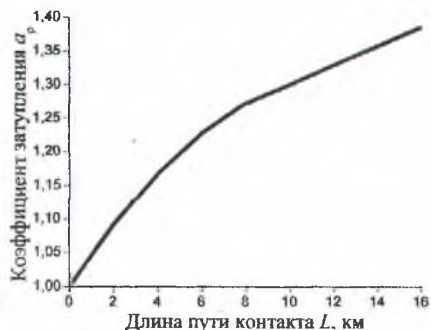


Рис. 6. Зависимость коэффициента затупления a от длины пути контакта L

На участке монотонного изнашивания ($L > 8$ км) зависимость радиуса округления режущей кромки может быть описана уравнением прямой

$$\rho = 24,5 + 0,35 \cdot L \quad (5)$$

Влияние затупления инструмента на силы резания учитывается поправочным коэффициентом (множителем) a_p , который представляет собой отношение касательной силы резания затупленным ножом к касательной силе резания острым ножом. Значения коэффициентов при разных режимах фрезерования кромок фанеры, но одинаковом пути резания отличаются от среднего незначительно (не более 4,6 %), что позволяет в производственных расчетах использовать средние значения a_p . Зависимость величины поправочного коэффициента a_p от пути резания L представлена на рис. 6. При пути резания $L > 8$ км поправочный коэффициент на затупление может быть определен по формуле

$$a_p = 1,16 + 0,014 \cdot L \quad (6)$$

Зависимость коэффициента затупления a_p от радиуса округления ρ для участка монотонного изнашивания ($L > 8$ км) определяется выражением

$$a_p = 0,18 + 0,04 \cdot \rho \quad (7)$$

Период стойкости ножа, рассчитанный по предельному радиусу округления порядка 40 мкм, при обработке кромок фанеры твердосплавным фрезерным инструментом составляет более 44 км.

В шестой главе приведены результаты исследований технологической стойкости инструмента по критерию качества обработки.

По мере изнашивания режущих элементов ухудшается качество обработки. В то же время для нужд производства требуется подобрать режим, который бы обеспечил наибольший срок службы дереворежущего инструмента без снижения качества фрезерования кромок фанеры.

Наблюдения процесса цилиндрического фрезерования кромок фанеры, проведенные на ряде деревообрабатывающих предприятий, показали, что появление первых дефектов – концевых сколов – является критерием качества и свидетельствует о необходимости замены режущего инструмента. Это предопределило выбор критерием качества обработки кромок фанеры методом цилиндрического фрезерования появление концевых сколов на обработанной поверхности.

При планировании экспериментальных работ в качестве входных величин приняты те же переменные технологические режимные факторы и уровни их варьирования, что и при исследовании силовых показателей. Выходным показателем процесса принят путь резания до появления концевых сколов на кромках L (м).

По результатам обработки опытных данных получено уравнение регрессии, позволяющее определить влияние переменных технологических факторов на стойкость инструмента по выбранному критерию качества.

$$L = 2398,0 - 23385,6 \cdot a + 397,5 \cdot V + 835,1 \cdot h + 71,5 \cdot \delta + 38253,3 \cdot a^2 - 581,6 \cdot a \cdot V + 1247,1 \cdot a \cdot h + 10,7 \cdot V \cdot h - 2,4 \cdot V \cdot \delta - 26,4 \cdot h \cdot \delta \quad (8)$$

Анализ влияния режимных факторов на путь резания до первых концевых сколов проведен по графическим зависимостям (рис. 7–10), построенным на основе уравнения (8). Уменьшение средней толщины стружки с 0,45 до 0,15 мм увеличивает путь резания до появления концевых сколов в 1,6–2,8 раза. Стойкость инструмента по критерию качества обработки может быть повышена за счет увеличения скорости резания. Изменение скорости резания с 20 до 50 м/с позволяет увеличить путь резания до появления концевых сколов в 1,8–1,9 раза. Толщина срезаемого слоя не оказывает существенного влияния на качество обработки. Увеличение угла резания с 50° до 70° приводит к уменьшению возможного пути резания в 1,1–1,8 раза.

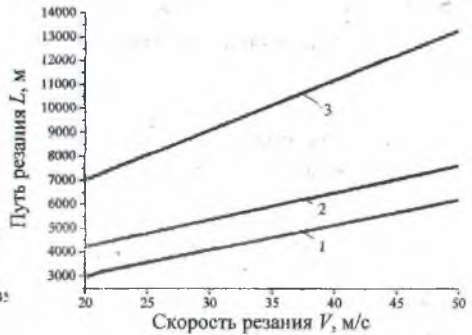
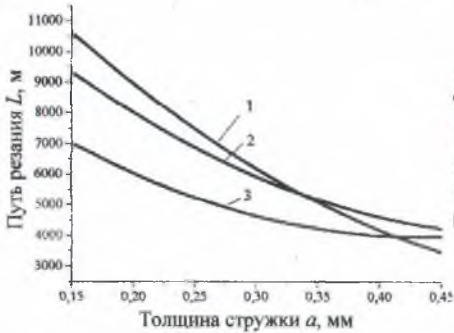


Рис. 7. Влияние толщины стружки на путь резания

1. $V = 50$ м/с 2. $V = 35$ м/с 3. $V = 20$ м/с
 $h = 4,5$ мм $h = 3,0$ мм $h = 1,5$ мм
 $\delta = 70^\circ$ $\delta = 60^\circ$ $\delta = 50^\circ$

Рис. 8. Влияние скорости резания на путь резания

1. $a = 0,45$ мм 2. $a = 0,30$ мм 3. $a = 0,15$ мм
 $h = 4,5$ мм $h = 3,0$ мм $h = 1,5$ мм
 $\delta = 70^\circ$ $\delta = 60^\circ$ $\delta = 50^\circ$

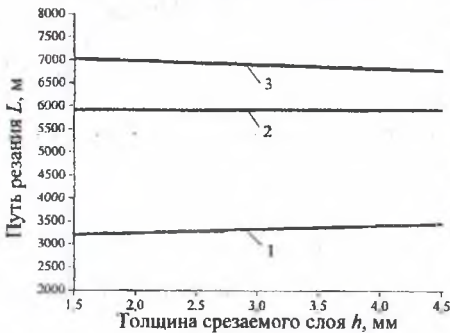


Рис. 9. Зависимость пути резания от толщины срезаемого слоя

1. $a = 0,45$ мм 2. $a = 0,30$ мм 3. $a = 0,15$ мм
 $V = 50$ м/с $V = 35$ м/с $V = 20$ м/с
 $\delta = 70^\circ$ $\delta = 60^\circ$ $\delta = 50^\circ$

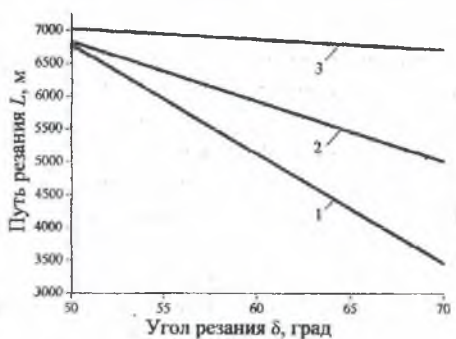


Рис. 10. Зависимость пути резания от угла резания

1. $a = 0,45$ мм 2. $a = 0,30$ мм 3. $a = 0,15$ мм
 $V = 50$ м/с $V = 35$ м/с $V = 20$ м/с
 $h = 4,5$ мм $h = 3$ мм $h = 1,5$ мм

Использованный при получении данного уравнения критерий технологической стойкости при обработке кромок фанеры наиболее распространен, и полученные данные могут быть применены при планировании объемов работ инструментальных служб деревообрабатывающих предприятий.

В седьмой главе представлены примеры практического применения результатов диссертационной работы.

Для нужд производства требуется подобрать режим, который бы обеспечил наибольший срок службы дереворежущего инструмента при высоком качестве обработки. Проведенные исследования позволили получить и проанализировать зависимость пути резания L до появления концевых сколов от переменных технологических факторов. Однако при оценке эффективности применения для обработки кромок фанеры того или иного режима технологическую стойкость удобнее выражать не через путь резания L , а через количество обработанного материала S (м.п.). Количество обработанного материала может быть найдено по формуле

$$S = \frac{a \cdot z \cdot L}{h}. \quad (9)$$

Формула (9) позволяет оценить влияние переменных технологических факторов процесса на возможное количество обработанного материала.

Так, увеличение скорости резания V позволяет не только повысить производительность процесса обработки (для сохранения значения толщины стружки $a = \text{const}$ необходимо увеличить скорость подачи U пропорционально увеличению скорости резания), но и увеличить путь резания L (см. рис. 8). Поэтому в рамках исследованного диапазона можно рекомендовать увеличение скорости резания до 50 м/с.

Влияние толщины стружки противоречиво, поскольку с ростом данной величины возможный путь резания L уменьшается (см. рис. 7). Для определения значения толщины стружки следует дополнительно решить задачу оптимизации. Увеличение толщины срезаемого слоя уменьшает возможное количество обрабатываемого материала, поэтому как в целях ресурсо- и энергосбережения, так и в целях увеличения производительности следует рекомендовать минимальное значение припуска на обработку. Для исследуемого диапазона варьирования толщина срезаемого слоя должна составлять 1,5 мм. При выборе угла резания следует руководствоваться не только максимальной величиной пути резания L , но и оценивать суммарную стойкость режущих элементов. Действительно, несмотря на то, что затупление инструмента, согласно рис. 5, определяется только величиной пути резания и радиусы округления ρ для одинакового пути равны, для того чтобы восстановить режущую способность ножа, нужно снять разный объем материала при разных углах заострения. Наиболее наглядно этот факт может быть пояснен, если на основании рис. 5 построить зависимость величины износа по биссектрисе угла заострения A_d от пути резания при разных углах заострения (рис. 11).

Очевидно, с уменьшением угла заострения износ по биссектрисе угла заострения A_{μ} значительно растёт, что приводит к необходимости снятия большего припуска при заточке для восстановления режущей способности лезвия. Таким образом, влияние угла резания также противоречиво. С увеличением значения угла резания уменьшается возможный путь резания L (см. рис. 10), но увеличивается число возможных переточек ножа, а значит, увеличивается и срок службы инструмента.

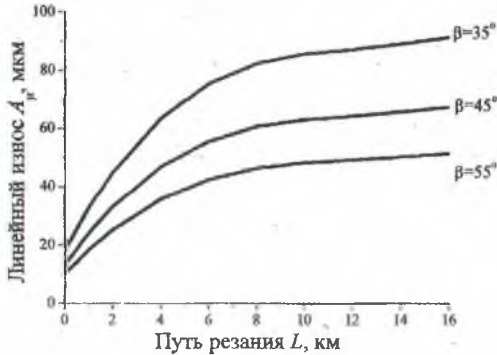


Рис. 11. Зависимость линейного износа реза от пути резания

Условие максимума суммарной стойкости инструмента по критерию качества, выраженной через возможное количество обработанного материала, может быть записано как

$$S \cdot m \rightarrow \max, \quad (10)$$

где m — число возможных переточек инструмента.

Для определения значений угла резания δ и средней толщины стружки a , обеспечивающих выполнение условия (10), был использован метод по координатного поиска (метод Гаусса–Зейделя). Максимум суммарной стойкости фрезерного инструмента по критерию качества обработки кромок фанеры наблюдается при средней толщине стружки 0,25 мм и угле резания 70° .

Следует также отметить, что поскольку толщина срезаемого слоя h незначительно влияет на путь резания L , то полученные значения будут обеспечивать максимум суммарной технологической стойкости при любых значениях h в исследуемом диапазоне.

Процесс обработки фанерных заготовок методом цилиндрического фрезерования с применением предложенной конструкции сборных ножей внедрен на мебельной фабрике ОАО «ФандОК». Ожидаемый экономический эффект в пересчете на три единицы оборудования составляет 11 893,8 тыс. руб. Актуальность и востребованность работы подтверждены концерном «Беллесбумпром». Потребность предприятий концерна во фрезях со сборными ножами разработанной конструкции составляет более 30 единиц.

Результаты исследований также внедрены в учебный процесс на кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов БГТУ в состав практических занятий по курсу «Резание древесины и дереворежущий инструмент»; методы расчета режимов обработки, силовых, энергетических, стойкостных и качественных показателей процесса цилиндрического фрезерования кромок фанеры общего назначения используются в курсовых и дипломных проектах.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Разработан метод расчета остаточных напряжений в паяном твердосплавном ноже, отличающийся учетом двухосного напряженного состояния при упруго несимметричном сечении ножа. По результатам сравнительных испытаний установлено, что процесс пайки и появляющиеся остаточные напряжения в паяном ноже увеличивают интенсивность изнашивания сплава ВК15 в 1,22 раза, а сплава ВК6 в 1,7 раза, что определяет целесообразность применения фрезерного инструмента с механическим креплением пластин твердого сплава. Предложена конструкция сборного фрезерного ножа с механическим креплением пластин твердого сплава (заявка на патент № а20040650). [8, 9]

2. Получено математическое описание процесса обработки кромок фанеры фрезерным инструментом в виде уравнений регрессии, устанавливающих влияние технологических факторов процесса на выходные силовые и энергетические показатели. Наиболее важным показателем для деревообрабатывающей промышленности является потребляемая мощность. С увеличением средней толщины стружки от 0,15 до 0,45 мм она возрастает в 1,1–2,5 раза; при увеличении скорости резания с 20 до 50 м/с – увеличивается в 1,5–2,5 раза; с ростом толщины срезаемого слоя с 1,5 до 4,5 мм – увеличивается в 1,0–1,4 раза; изменение угла резания с 50° до 70° приводит к росту потребляемой мощности в 1,2–1,4 раза. [4, 5]

3. Определены динамика и характер затупления твердосплавного фрезерного инструмента (ВК6) при фрезеровании кромок фанеры. Обоснован выбор в качестве показателя затупления инструмента радиус округления режущей кромки. Определено влияние степени затупления на рост силовых показателей процесса. При пути резания $L > 8$ км поправочный коэффициент на затупление может быть определен по формуле $a_p = 1,16 + 0,014 \cdot L$. [3, 4, 6]

4. Получено уравнение регрессии, отражающее влияние переменных технологических факторов на возможный путь резания по критерию качества обработки. Путь резания по критерию качества может быть повышен за счет увеличения скорости резания, уменьшения угла резания и толщины стружки, а толщина срезаемого слоя на стойкость практически не влияет. Так, при увеличении скорости резания с 20 до 50 м/с путь резания возрастает в 1,8–1,9 раза. Уменьшение средней толщины стружки с 0,45 до 0,15 мм позволяет


увеличить путь резания в 1,6–2,8 раза. При увеличении угла резания с 50° до 70° возможный путь резания уменьшается в 1,1–1,8 раза. [10]

5. Установлено, что режим цилиндрического фрезерования кромок фанеры с параметрами: средняя толщина стружки 0,25 мм, скорость резания 50 м/с, угол резания 70° , толщина срезаемого слоя 1,5 мм обеспечивает максимальную суммарную стойкость инструмента по критерию качества обработки. [10]

6. Результаты диссертационной работы прошли промышленную проверку и внедрены на мебельной фабрике ОАО «ФандОК». Ожидаемый годовой экономический эффект с трех единиц оборудования составляет 11 893,8 тыс. руб. Актуальность и востребованность работы подтверждены концерном «Беллесбумпром». Потребность предприятий концерна во фреззах со сборными ножами разработанной конструкции составляет более 30 единиц. Полученные в работе методы расчета режимов обработки, силовых, энергетических, стойкостных и качественных показателей процесса цилиндрического фрезерования кромок фанеры общего назначения внедрены в учебный процесс на кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов БГТУ при подготовке инженеров-механиков по специальности «Машины и оборудование лесного комплекса».

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

1. Гриневич С.А., Войтеховский Б.В. Обзор динамики производства фанеры в Республике Беларусь // Труды БГТУ. Сер. II. Лесн. и деревооб-
раб. пром-сть. – 2003. – Вып. XI. – С. 205–206.
2. Гриневич С.А. К вопросу цилиндрического фрезерования кромок фанеры // Труды БГТУ. Сер. II. Лесн. и деревооб-
раб. пром-сть. – 2003. – Вып. XI. – С. 219–221.
3. Гриневич С.А. Ведущие составляющие процесса затупления твердосплавного инструмента при фрезеровании кромок фанеры // Труды БГТУ. Сер. II. Лесн. и деревооб-
раб. пром-сть. – 2003. – Вып. XI. – С. 231–233.
4. Гриневич С.А. Определение средней касательной силы резания при фрезеровании кромок фанеры общего назначения // Деревообрабаты-
вающая промышленность. – 2004. – № 6. – С. 17–18.
5. Гриневич С.А. Определение средней касательной силы и мощности ре-
зания при фрезеровании кромок фанеры острым резцом / Бел. гос. тех-
нолог. ун-т. – Минск, 2004. – 4 с. – Деп. в БелИСА 11.05.04, № Д 200437
6. Гриневич С.А. Характер и динамика затупления твердосплавного фре-
зерного инструмента при обработке кромок фанеры общего назначения / Бел. гос. технолог. ун-т. – Минск, 2004. – 7 с. – Деп. в БелИСА 11.05.04, № Д 200435.

7. Гриневич С.А. Определение угловых параметров фрезерного инструмента для обработки кромок фанеры общего назначения // Труды БГТУ. Сер. II. Лесн. и деревообраб. пром-сть. – 2004. – Вып. XII. – С. 222–223.
 8. Клубков А.П., Гришкевич А.А., Гриневич С.А. Сборный нож для фрезерования древесины и древесных материалов // Современные методы проектирования машин. Вып. 2: В 7 т. Т. 5: Технология изготовления машин. – Мн., 2004. – С. 51–55.
 9. Гриневич С.А. Сравнительные испытания на износостойкость твердосплавного фрезерного инструмента при обработке кромок фанеры общего назначения // Труды БГТУ. Сер. II. Лесн. и деревообраб. пром-сть. – 2005. – Вып. XIII. – С. 190–192.
 10. Гриневич С.А. Режимы цилиндрического фрезерования кромок фанеры общего назначения // Труды БГТУ. Сер. II. Лесн. и деревообраб. пром-сть. – 2005. – Вып. XIII. – С. 205–207.
- 

РЕЗЮМЕ**Гриневиц Сергей Анатольевич
РАЗРАБОТКА РЕЖИМОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО
ФРЕЗЕРОВАНИЯ КРОМОК ФАНЕРЫ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Ключевые слова: фанера, кромка, нож, твердый сплав, фреза, затупление, режим фрезерования, качество обработки.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования являются режимы цилиндрического фрезерования, предметом исследования – фанера общего назначения, широко используемая в мебельной промышленности.

Цель работы. Целью работы является получение научно обоснованных методов расчета режимов цилиндрического фрезерования кромок фанеры общего назначения твердосплавными ножами с механическим креплением и разработка рекомендаций по назначению режимов фрезерования на основе определения влияния основных режимных факторов процесса на силовые, энергетические, стойкостные показатели и качество обработки.

Метод исследований и аппаратура. Для получения математического описания процесса цилиндрического фрезерования кромок фанеры был применен метод планирования эксперимента (план В₄). Экспериментальные данные обработаны с применением методов математической статистики. Для проведения исследований использованы: экспериментальные установки на базе станков С26-2М и ФС-1, металлографический микроскоп ММР-4, электронный сканирующий микроскоп JSM-5610LV, измерительные приборы и инструмент.

Полученные результаты и новизна. Разработан метод расчета остаточных напряжений в паяном ноже. Установлена целесообразность использования фрезерных ножей с механическим креплением пластин твердого сплава. Разработана новая конструкция сборного фрезерного ножа. Получены уравнения регрессии, отражающие влияние основных технологических факторов на силовые и энергетические показатели процесса цилиндрического фрезерования кромок фанеры и качество их обработки, позволяющие назначать режимы резания с учетом технических возможностей оборудования, требований к качеству получаемой поверхности, геометрии и стойкости фрезерного инструмента. Установлена динамика затупления твердосплавного фрезерного инструмента при обработке кромок фанеры общего назначения и определено влияние степени износа ножей на силовые показатели процесса резания. Результаты диссертационной работы внедрены в ОАО «ФанДОК».

Рекомендации по использованию и область применения. Областью применения результатов работы является деревообрабатывающая промышленность, в частности мебельное производство. Полученные данные востребованы для проведения: технологических расчетов режимов фрезерования фанеры; планирования объема работ инструментальных служб предприятий; конструкторских расчетов на станкостроительных и инструментальных заводах при проектировании фрезерного оборудования и инструмента.

РЭЗІЮМЭ

Грыневіч Сяргей Анатольевіч

РАСПРАЦОЎКА РЭЖЫМАЎ ЦЫЛІНДРЫЧНАГА
ФРЭЗЕРАВАННЯ КРАЁЎ ФАНЕРЫ АГУЛЬНАГА ПРЫЗНАЧЭННЯ

Ключавыя словы: фанера, край, нож, цвёрды сплаў, фрэза, затупленне, рэжым фрэзеравання, якасць апрацоўкі.

Аб'ект даследавання. Аб'ектам даследавання з'яўляюцца рэжымы цыліндрычнага фрэзеравання, прадметам даследавання – фанера агульнага прызначэння, шырока выкарыстоўваемая ў мэблевай прамысловасці.

Мэта работы. Мэтай работы з'яўляецца атрыманне навукова абгрунтаваных метадаў разліку рэжымаў цыліндрычнага фрэзеравання краёў фанеры агульнага прызначэння і распрацоўка рэкамендацый па прызначэнні рэжымаў фрэзеравання на падставе вызначэння ўплыву асноўных рэжымных фактараў працэсу на сілавая, энергетычныя, стойкасныя паказчыкі і якасць апрацоўкі.

Метад даследавання і апаратура. Для атрымання матэматычнага апісання працэсу цыліндрычнага фрэзеравання краёў фанеры выкарыстаны метады планавання эксперыменту (план В₄). Эксперыментальныя дадзеныя апрацаваны з прымяненнем метадаў матэматычнай статыстыкі. Для правядзення даследаванняў выкарыстаны: эксперыментальныя ўстаноўкі на базе станкоў С26-2М і ФС-1, металаграфічны мікраскоп ММР-4, электронны сканіруючы мікраскоп JSM-5610LV, вымяральныя прыборы і інструмент.

Атрыманыя вынікі і навізна. Распрацаваны метады разліку астаткавых напружанняў у паяным нажы. Устаноўлена мэтазгоднасць выкарыстання фрэзерных нажоў з механічным замацаваннем пласцін цвёрдага сплаву. Распрацавана новая канструкцыя зборнага фрэзернага нажа. Атрыманы раўнанні рэгрэсіі, якія адлюстроўваюць уплыў асноўных тэхналагічных фактараў на сілавая і энергетычныя паказчыкі працэсу цыліндрычнага фрэзеравання краёў фанеры і якасць іх апрацоўкі, што дазваляе прызначаць рэжымы рэзанія з улікам тэхнічных магчымасцей абсталявання, патрабаванняў да якасці атрымліваемай паверхні, геаметрыі і стойкасці фрэзернага інструменту. Устаноўлена дынаміка затуплення цвёрдасплаўнога фрэзернага інструменту пры апрацоўцы краёў фанеры агульнага прызначэння і вызначаны ўплыў ступені зносу нажоў на сілавая паказчыкі працэсу рэзанія. Вынікі дысертацыйнай работы ўжаранены ў ААТ «ФанДАК».

Рэкамендацыі па выкарыстанні і галіна ўжывання. Галіной ўжывання вынікаў работы з'яўляецца дрэваапрацоўчая прамысловасць, у прыватнасці мэблевая вытворчасць. Атрыманыя дадзеныя запатрабаваны для правядзення: тэхналагічных разлікаў рэжымаў фрэзеравання фанеры; планавання аб'ёму работы інструментальных службаў прадпрыемстваў; канструктарскіх разлікаў на станкабудаўнічых і інструментальных заводах пры праектаванні фрэзернага абсталявання і інструменту.

SUMMARY**Sergey A. Grinevich****DEVELOPMENT OF REGIMES FOR CYLINDRICAL MILLING OF EDGES OF PLYWOOD FOR GENERAL USE**

The key words: plywood, edge, knife, hard-facing alloy, mill, dulling, regime of milling, quality of machining.

Object and subject of research. The object of the research are regimes for cylindrical milling, the subject of the research is plywood for general use, which is widely spread in furniture manufacturing.

The aim of research. The research aims at obtaining science-based methods for calculating regimes of cylindrical milling of plywood edges and developing recommendations for the set of milling regimes based on determination of influence of the main milling factors on force, energy, durability parameters and on quality of machining.

The researching method and equipment. The method of experiments design (plan B₄) was used to obtain mathematical formulation of cylindrical milling of plywood edges. The experimental data were processed by the method of mathematical statistics. The research was carried out on the basis of C26-2M and ФC-1 machines, metallurgical microscope MMP-4, electron scanning microscope JSM-5610LV, instrumentation.

The obtained results and novelty. The method of residual stresses calculation in blazing knife is developed. The expediency of use of milling knives with mechanical fastening plates of a hard-facing alloy is established. The new design of a composite milling knife is developed. The equations of regress reflecting influence of the basic technology factors on force and energy parameters of cylindrical milling of plywood edges and quality of their processing are received, allowing to appoint regimes of cutting in view of technical opportunities of the equipment, requirements to quality of a received surface, geometry and stability of the milling tool. Dulling dynamics of hard-facing alloy milling tool is established at processing plywood edges and influence of a knife wear factor on force parameters of cutting is determined. Results of dissertational work are introduced at PC «ФАНДОК»

Recommendations for use and usage area. The results of work are useful for woodworking industry, in particular for furniture manufacture. Findings are claimed for: carrying out of technological calculations of plywood milling regimes; planning of amount of works for enterprise tool services; design calculations at tool and machine-tool plants at designing the milling machines and the mills.

Гриневич Сергей Анатольевич

**РАЗРАБОТКА РЕЖИМОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ
КРОМОК ФАНЕРЫ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Подписано в печать 16.11.2005. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 1,2. Уч.-изд. л. 1,3.
Тираж 75 экз. Заказ 683.

Учреждение образования
«Белорусский государственный технологический университет».
220050, Минск, Свердлова, 13а.
ЛП № 02330/0133255 от 30.04.2004.

Отпечатано в лаборатории полиграфии учреждения образования
«Белорусский государственный технологический университет».
220050, Минск, Свердлова, 13.
ЛП № 02330/0056739 от 22.01.2004.