



Федеральное агентство по образованию

Уральский государственный лесотехнический университет

И.Т. Глебов

ОБОРУДОВАНИЕ ОТРАСЛИ

СПРАВОЧНИК ПО РЕЗАНИЮ ДРЕВЕСИНЫ

Рекомендовано ГОУ ВПО «МГУЛ»
в качестве учебного пособия
для студентов высших учебных заведений

Издание второе, переработанное и дополненное

Екатеринбург
2009



И.Т. Глебов

ОБОРУДОВАНИЕ ОТРАСЛИ

Справочник

по резанию древесины

Электронный архив УГЛТУ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

**Уральский государственный лесотехнический
университет**

И.Т. Глебов

ОБОРУДОВАНИЕ ОТРАСЛИ

Справочник

по резанию древесины

Рекомендовано ГОУ ВПО "МГУЛ"

в качестве учебного пособия для студентов высших
учебных заведений

Издание второе, переработанное и дополненное

Екатеринбург 2009

УДК 674.05(075.8)

Рецензенты:

Кафедра графики и деталей машин Уральской государственной сельскохозяйственной академии,

Гороховский А.Г. – канд. техн. наук, генеральный директор ФГУП ОАО УралНИИПдрев

Глебов И.Т.

Оборудование отрасли. Справочник по резанию древесины. Изд. 2-е, перераб. и доп. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2009. – 314 с. ил. 125. Табл.56. Библиогр.: 34 назв.

ISBN 978-5-94984-238-6

В справочнике даны определения основных понятий, которыми оперирует теория резания древесины. Приведены сведения о резании одиночным резцом и многолезвийным инструментом. Рассмотрены режимы резания. Подробно раскрыты расчетные методы. Даны примеры выполнения расчетов. Книга адресована студентам специальности 250403 "Технология деревообработки" направления 656300 "Технология лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств" и может быть использована специалистами лесопромышленного комплекса.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Уральского государственного лесотехнического университета.

УДК 674.05(075.8)

ISBN 978-5-94984-238-6 © И.Т. Глебов, 2009

© Уральский государственный

лесотехнический университет, 2009

Предисловие

Второе издание "Справочника по резанию древесины" переработано и дополнено. В него включен новый материал, а некоторые разделы переписаны заново.

Справочник – это, прежде всего, учебное издание и предназначен для студентов лесотехнических вузов специальностей 250403 "Технология деревообработки", 150405 "Машины и оборудование лесного комплекса". Первое издание справочника вышло в свет в 1999 г.

Справочник имеет несколько назначений.

Во-первых, он дает фактическую справку о том или ином понятии, определении, обозначении, единицах измерения. Для быстрого нахождения нужной справки имеется подробное оглавление и алфавитный указатель.

Во-вторых, справочник предназначен для систематического чтения. Книга не претендует на роль учебника или учебного пособия и поэтому логические рассуждения и доказательства приведены только в исключительных случаях. Книга особенно полезна для студентов, уже прослушавших дисциплину по резанию древесины и древесных материалов. Она позволит в короткое время вспомнить нужный материал, систематизировать знания и приобрести умения и навыки при решении практических задач.

В-третьих, книга содержит методические указания для решения различных задач, связанных с выбором оптимальных режимов резания. Этот материал может быть использован при выполнении учебных курсовых и дипломных проектов, для разработки алгоритмов при компьютеризации расчетных работ, а также в практической деятельности инженеров.

Термины и обозначения, использованные в книге, унифицированы, единицы измерения физических величин приведены в соответствии с действующими стандартами. Использован многолетний опыт преподавания дисциплины по резанию древесины и древесных материалов, использованы результаты научных исследований, выполненных в Уральском государственном лесотехническом университете.



И.А. Тиме

Введение

Основоположником науки о резании древесины считается профессор Петербургского горного ин-

ститута Иван Августович Тиме, который на основании экспериментальных исследований, проведенных на Луганском заводе, изложил в 1870 г. теорию процесса резания и предложил расчетную формулу для главной составляющей силы резания

$$F_x = F_{y\partial} ab.$$

В этой формуле $F_{y\partial}$ – удельная сила резания, МПа; a , b – соответственно толщина и ширина срезаемого слоя, мм. И.А. Тиме изучал процесс резания при малых скоростях, наблюдения вел невооруженным глазом, а силу резания измерял с помощью рычага путем навешивания на него грузов.

Заметное место в науке о резании древесины занимают работы К.А. Зворыкина, особенно книги “Работа и усилие для отделения металлических стружек” и “Курс механической технологии дерева” (1894 г.) В своих работах К.А. Зворыкин делает попытку выяснить влияние площади сечения стружки на усилие резания при постоянной толщине и переменной ширине стружки. Результаты опытов показали, что работа резания пропорциональна объему снятых стружек, следовательно, сила резания изменяется пропорционально ширине стружки. Совсем другие результаты получились, когда сечение стружки изменялось только за счет толщины ее. Работа резания изменялась непропорционально толщине стружки. К.А. Зворыкин отмечает, удельная работа резания “не есть величина постоянная, а, напротив, переменная и уменьшается с увеличением толщины стружки”.

К.А. Зворыкиным проведено 230 экспериментов, на основании которых получена эмпирическая зависимость для определения удельной работы резания

$$K = \frac{K'}{a^{0,33}},$$

где K' – постоянный коэффициент.

Так, К.А. Зворыкин первым из исследователей экспериментально доказал, что удельная работа резания убывает с увеличением толщины стружки, подтвердив таким образом правильность взглядов И.А. Тиме.

В экспериментальных исследованиях профессора К.А. Зворыкина для измерения силы резания был применен гидравлический динамометр.

На основе обобщений К.А. Зворыкина стала развиваться наука о резании металлов. Наука о резании древесины до 1928 – 1932 гг. оставалась на уровне представлений И.А. Тиме, П.А. Афанасьева.

В 1896 г. профессор А.А. Брикс, обобщив результаты опытов К.А. Зворыкина по новой методике, получил следующую зависимость для главной составляющей силы резания:

$$F_x = (p + ka)b,$$

где p – величина ординаты, отсекаемая прямой линией графика от начала координат; $k = \text{tg}\varphi$, где φ – угол наклона прямой линии графика к оси абсцисс. Расчленение главной составляющей силы резания на две составные части стало основным научным направлением для многих ученых.

Начиная с 1928 г., в стране быстро развивается лесотехническое образование, создаются отраслевые научно-исследовательские институты. Наука о резании древесины получила мощный толчок.



М.А. Дешевой

Михаил Александрович Дешевой в работе "Механическая технология дерева" (1934 г.) изложил оригинальную, глубоко разработанную и методично построенную научную теорию резания древесины. Как и И.А. Тиме, он, применяя методы механики в анализе процесса стружкообразования при резании, установил связи между сопротивлением древесины резанию и показателями ее механических свойств. Были разработаны

более совершенные методы расчета мощности и производительности деревообрабатывающих машин.

Анализируя исследования И.А. Тиме, проф. М.А. Дешевой пришел к выводу, что сила резания равна сумме двух сил: одной, затрачиваемой на срезание материала режущей кромкой, и другой – на сжатие его в стружке. При этом первая составляющая силы резания не зависит от толщины стружки. Это важнейший вывод, используемый в работах всех последующих ученых.

В тридцатых годах выполняются первые исследовательские работы А.Э. Грубе, А.Л. Бершадского, С.А. Воскресенского, Ф.М. Манжоса, Е.Г. Ивановского. Научными трудами этих ученых мы широко пользуемся в настоящее время.

В теоретических и экспериментальных исследованиях в настоящее время широко используется метод условного расчленения процесса резания на составные части, относящиеся к отдельным зонам лезвия: режущей кромке, передней и задней поверхностям. Анализ этих составляющих впервые сделан С.А. Воскресенским.



А.Л. Бершадский

В 1940 г. проф. А.М. Розенберг высказал предположение, что силы резания на задней поверхности не зависят от толщины срезаемого слоя, а значит и от сил, действующих по передней грани. Эта гипотеза была экспериментально проверена Н.Н. Зоревым при точении стали и принята С.А. Воскресенским при исследовании процесса резания древесины.

Исследованиями А.Л. Бершадского и В.И. Чуприна показано, что силы резания, действующие по обе стороны от плоскости резания, не зависят друг от друга.

В 1953 г. были опубликованы исследования М.Н. Ларина о выборе оптимального значения заднего угла лезвий резцов при резании чугуна, стали и пластмасс. Изучая характер износа лезвий при различных значениях задних углов и толщин срезаемых слоев, М.Н. Ларин пришел к выводу, что с увеличением толщины среза оптимальное значение заднего угла убывает. Этот вывод интересен тем, что в нем, с одной стороны, отражается взаимосвязь процессов, происходящих по передней и задней поверхностям лезвия, с другой стороны, он как бы противоречит выводу А.М. Розенберга, С.А. Воскресенского, Н.Н. Зорева о независимости процессов по зонам лезвия.

Современная теория резания древесины не дает пока точного аналитического описания процесса резания. Ее выводы, основанные на результатах экспериментальных исследований, носят пока приближенный характер.

Часть I

Резание древесины одиночным лезвием

1. Введение в теорию резания древесины

1.1. Предмет науки о резании

Теория резания древесины – это наука, которая объясняет физическую сущность процесса резания, открывает законы образования новых поверхностей, выявляет факторы процесса резания и дает им качественную и количественную оценки, а также разрабатывает расчетные методики.

1.2. Методы науки о резании древесины

В итоге научных дискуссий по теории резания древесины, состоявшихся в Ленинграде (1952 г.) и в Москве (1953 г.), было установлено, что уже в то время наука о резании древесины развивалась по трем направлениям [1].

Первое направление применяет метод механико-математического анализа процесса резания. Это школа И.А. Тиме, М.А. Дешевого, С.А. Воскресенского. Ученые этой школы переносят методы науки о сопротивлении материалов на анализ действия сил и поведения стружки в процессе резания древесины.

Второе направление развивает физическую теорию резания древесины. Процесс резания рассматривается как физический. Изучаются прежде всего процессы упругого и остаточного деформирования древесины, трения на молекулярном уровне, влияние на эти процессы скорости резания. Это направление представлено школой В.Д. Кузнецова и Е.Г. Ивановского.

Третье направление использует физико-технологический метод, математически обобщающий экспериментальные данные процессов резания в эмпирические формулы,

пригодные для практических расчетов. Формулы объединяют физические и технологические параметры. Это школа А.Л. Бершадского.

Между теориями резания, которые создаются указанными тремя школами, нельзя провести резких границ. Они части одной теории, объединенные единством цели.

1.3. Задачи теории резания

Перед наукой о резании древесины поставлены следующие задачи.

1. Вскрыть и познать объективные закономерности и взаимосвязи между факторами, влияющими на процесс резания.

2. Изучить физическую сущность процесса резания.

3. Найти возможности назначать оптимальные режимы резания, обеспечивающие получение деталей заданного качества обработки, наибольший полезный выход продукции, а также максимальное увеличение производительности и облегчение труда рабочих.

4. Создать расчетный метод, который явился бы базой для рационального проектирования и эксплуатации режущих инструментов и станков, разработки технологических процессов, технического нормирования, подбора оборудования и расчета технико-экономических показателей.

5. Создать такую теорию, по которой, зная лишь физико-математические свойства обрабатываемого материала и режущего инструмента, можно было бы предсказать наилучшие методы обработки, а также силовые и качественные показатели процесса резания. Наличие такой теории позволило бы резко сократить число экспериментов и направить их по ранее выбранному пути исследования.

1.4. Резание древесины как часть технологической системы

1.4.1. Понятие технологической системы

В деревообрабатывающем цехе при изготовлении изделий выполняются различные технологические операции, которые осуществляются операторами на заданных режимах в конкретной окружающей среде. При этом технологические операции реализуются в тесной взаимосвязи с обрабатываемым материалом, инструментом, приспособлениями. В технологическом процессе со временем возникают разнообразные причинно-следственные связи, последствия которых, накапливаясь, вызывают эволюцию его

качественных показателей и перевод технологического процесса в иное качественное состояние.

Для анализа, контроля и управления технологическим процессом вводится понятие технологической системы.

Технологической системой по ГОСТ 27.004-85 называется совокупность функционально взаимосвязанных средств технологического оснащения, предметов производства и исполнителей для выполнения в регламентированных условиях производства заданных технологических процессов или операций.

Под *средствами технологического оснащения* понимают совокупность орудий производства, необходимых для осуществления технологического процесса.

К *предметам производства* относят материал, заготовки, полуфабрикат и изделие, находящиеся в соответствии с выполняемым технологическим процессом в стадии хранения, транспортирования, формообразования, обработки, сборки, ремонта, контроля и испытаний.

Под *технологическим процессом* понимают часть производственного процесса, содержащую целенаправленные действия по изменению и определению состояния предмета труда. Технологический процесс может быть отнесен к изделию, его составной части или к методам обработки, формообразования и сборки.

Под *технологической операцией* следует понимать законченную часть технологического процесса, выполняемую на одном рабочем месте.

К *регламентированным условиям производства* относят регулярность поступления предметов производства, параметры электроснабжения и окружающей среды, количество исполнителей, и др.

1.4.2. Структура технологической системы

Под структурой понимают конструкцию, состав системы. На рис. 1. показана структура технологической системы деревообрабатывающего цеха.

Все элементы технологической системы (заготовка, режим резания, оператор, режущий инструмент, станки, средства контроля, потребность и промышленно-функциональная среда) взаимосвязаны между собой так, что изменение одного элемента влечет за собой изменение всей системы. Режим резания, характеризующий условия обработки древесины на станках, является одним из элементов системы.

1.4.3. Свойства технологической системы

Система обладает следующими свойствами:

- целостностью и декомпозируемостью (чётким определением целостности системы и разделением ее на отдельные части), при этом свойства системы не сводятся к сумме свойств ее частей. Такое свойство системы позволяет выполнять ее анализ путем расчленения системы на отдельные элементы, и синтез путем объединения отдельных элементов в единое целое. Элемент технологической системы – это часть системы, условно принимаемая неделимой на данной стадии ее анализа (например, станок, заготовка, инструмент и т.д.);

- структурностью, обеспечивающей устойчивые взаимоотношения элементов;

- взаимозависимостью технологической системы и окружающей среды (промышленно-функциональной среды), так как система формирует и проявляет свои свойства в процессе взаимодействия с окружающей средой, являясь активным компонентом взаимодействия;

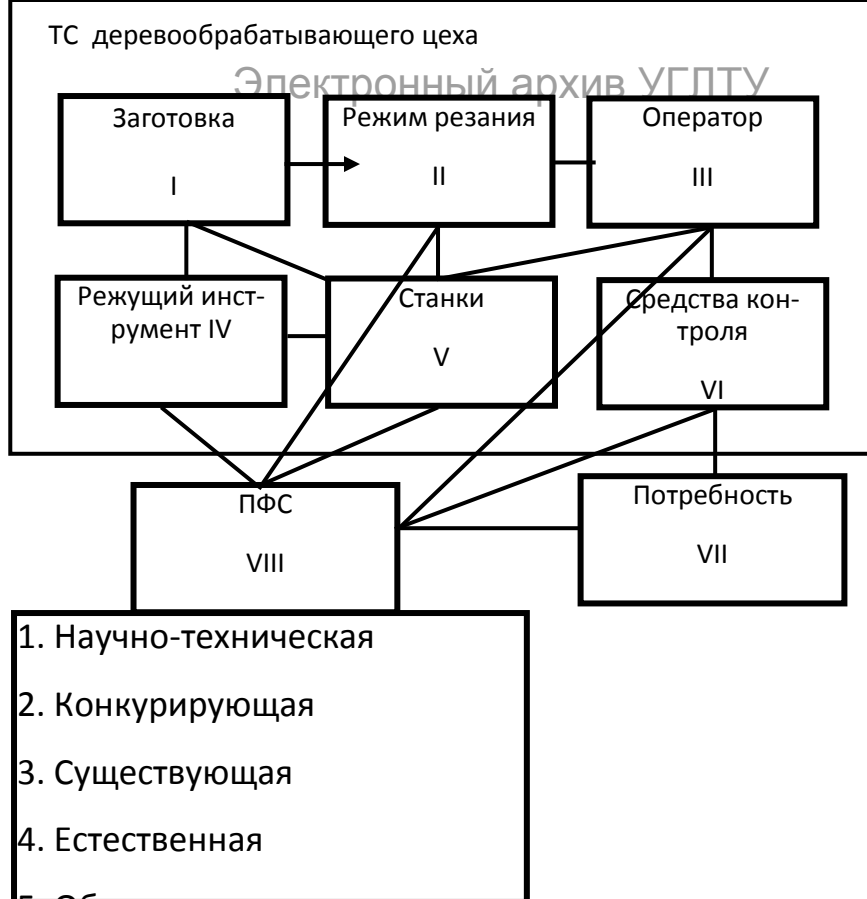


Рис. 1. Структура технологической системы обработки древесины на станках

- наличием структурной и функциональной организации. Организация возникает одновременно со структурой. Организация – это алгоритм совместного функционирования элементов системы в пространстве и времени.

- иерархичностью, когда каждый элемент системы можно рассматривать как подсистему, систему или надсистему.

1.4.4. Подсистема технологической системы

Подсистемой технологической системы называют технологическую систему, выделяемую по функциональному или структурному признаку из технологической системы более высокого уровня.

Подсистема, как и сама технологическая система, представляет собой совокупность функционально взаимосвязанных средств технологического оснащения и человека-оператора, и обладает основными свойствами данной системы.

Каждая технологическая система состоит из элементов. Элемент - это совокупность средств технологического оснащения данной технологической системы, которую допускается рассматривать как объединение технических подсистем и элементов. Таким

образом, элемент - это часть технологической системы, условно принимаемая неделимой на данной стадии ее анализа.

Различают четыре иерархических уровня технологических систем:

– **технологическую систему операции**, которая обеспечивает выполнение одной заданной технологической операции;

– **технологическую систему процесса**, включающую в себя в качестве подсистем совокупность технологических систем операций, относящихся к одному методу (обработки, формообразования, сборки или контроля) или к одному наименованию изготавливаемой продукции;

– **технологическую систему производственного подразделения**, состоящую из технологических систем процессов и операций, функционирующих в рамках данного подразделения;

– **технологическую систему предприятия**, состоящую из технологических систем его производственных подразделений.

В резании древесины изучаются, главным образом, подсистемы технологических операций пиления, фрезерования, строгания, лущения, сверления, точения, шлифования и др.

2. Элементы резания. Основные понятия и определения

2.1. Заготовка

Заготовка – это предмет, подвергаемый изменению формы, размеров и шероховатости [2].

После завершения механической обработки из заготовки получается изделие (обработанная деталь), т.е. предмет труда.

2.2. Резание

Резанием по ГОСТ 3.1109–82 называют технологический процесс разрушения связей между частицами материала обрабатываемой заготовки по проектной поверхности лезвием режущего инструмента с целью получения изделия (детали) требуемой формы, размеров и шероховатости.

Обработка резанием – действие, направленное на изменение формы, размеров и шероховатости предмета труда при выполнении технологической операции резанием.

Лезвие – клиновидный элемент режущего инструмента. Оно предназначено для проникновения в материал заготовки и отделения срезаемого слоя [3, 4, 5].

Обработка резанием, осуществляемая лезвийным инструментом, называется лезвийной обработкой (ГОСТ 25761–83). В случае, если резание осуществляется абразивными зернами, обработку называют абразивной. Абразивное зерно – частица абразивного материала с ненормированной формой и линейными размерами, не превышающими 5 мм.

Схемы лезвийной обработки древесины. На схемах (рис. 2) показаны обрабатываемая заготовка 1, лезвие 4, которое перемещается по проектной поверхности 6, проникает в материал заготовки и отделяет срезаемый слой 2. Срезаемый слой характеризуется длиной l , шириной b и толщиной a . Древесина срезаемого слоя во всем объеме упруго-пластически деформируется, закручивается, разрушается. Эту часть материала 5 принято называть **стружкой**.

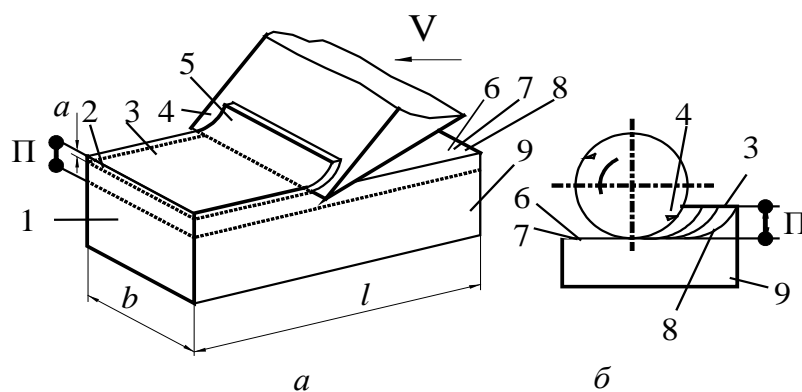


Рис. 2. Схемы лезвийной обработки древесины:

a – строгание; b – фрезерование

Часть древесины, специально оставленная для удаления на данной операции, называется **припуском П**. В ряде случаев припуск П может быть настолько большим, что его срезают не сразу, а последовательно за несколько проходов.

Поверхность 3 заготовки, подлежащую изменению в процессе резания, называют **обрабатываемой поверхностью**. Поверхность 7, полученную вновь во время очередного прохода инструмента, называют **обработанной**. Она совпадает с проектной поверхностью 6. Промежуточную поверхность 8, временно существующую в процессе резания между обрабатываемой и обработанной поверхностями, называют **поверхностью резания**. Последняя всегда находится в контакте с лезвием. После срезания припусков со всех сторон заготовки получается изделие (деталь) 9.

2.3. Глубина резания

Величину проникновения лезвий инструмента в заготовку во время каждого прохода называют **глубиной резания** и обозначают буквой t ; $t = a$ (см. рис.2, а) или $t = \Pi$ (см. рис. 2, б). Глубину резания при фрезеровании называют **глубиной фрезерования** t , мм – это толщина слоя материала, снимаемого с поверхности заготовки фрезой за один проход. Она равна расстоянию между обрабатываемой и обработанной поверхностями.

2.4. Движения при резании

Для осуществления процесса резания необходимо выполнить от двух до четырех рабочих движений. К ним относят движения главное, подачи, касательное и результирующее.

Главным движением резания D_z называется прямолинейное поступательное или вращательное движение режущего инструмента или заготовки, происходящее с наибольшей скоростью и предназначенное для удаления одного срезанного слоя (рис. 3 - 4).

Скорость главного движения V – это скорость рассматриваемой точки режущей кромки лезвия или заготовки в главном движении резания.

Движением подачи D_s называется прямолинейное поступательное или вращательное движение режущего инструмента или заготовки, скорость которого меньше скорости главного движения резания. Предназначено оно для подведения к лезвию новых слоев материала обрабатываемой поверхности (рис. 3 - 4).

Скорость рассматриваемой точки режущей кромки в движении подачи называется *скоростью движения подачи V_s* .

Для характеристики движения подачи и его скорости дополнительно вводятся следующие понятия: подача, подача на оборот, подача на зуб, подача на ход и двойной ход.

Подача – это отношение расстояния, пройденного рассматриваемой точкой режущей кромки или заготовки вдоль направления движения подачи, к соответствующему числу циклов (или его доли) главного движения. Цикл главного движения есть полный оборот, ход или двойной ход режущего инструмента или заготовки. Долей цикла может быть часть оборота, соответствующая угловому шагу зубьев режущего инструмента. Под ходом понимают движение режущего инструмента или заготовки в одну сторону при возвратно-поступательном движении. Различают подачи:

– **на оборот S_o** – подача, соответствующая одному обороту инструмента или заготовки (мм/об);

– **на зуб S_z** – подача, соответствующая перемещению инструмента или заготовки на один шаг зубьев режущего инструмента (мм/зуб);

– **на ход S_x** – подача, соответствующая одному ходу инструмента или заготовки (мм/ход);

– **на двойной ход S_{2x}** – подача, соответствующая одному двойному ходу инструмента или заготовки (мм/дв. ход).

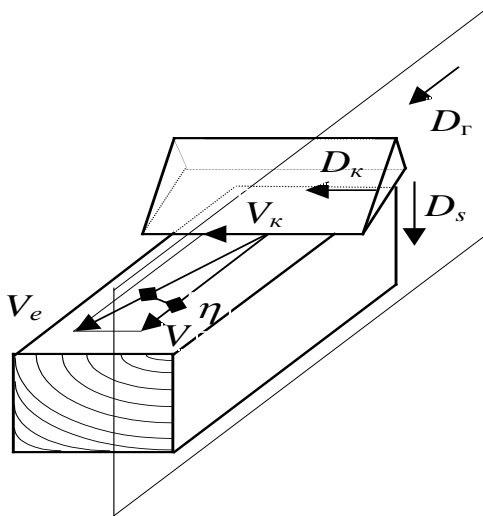


Рис. 3. Рабочие движения

Касательное движение D_k – это прямолинейное или вращательное движение режущего инструмента или за-

готовки, скорость которого меньше скорости главного движения резания и направлена вдоль режущей кромки. Оно предназначено для смены контактирующих с заготовкой участков режущей кромки.

Скорость рассматриваемой точки режущей кромки или заготовки в касательном движении называется скоростью касательного движения V_k (см. рис. 4).

Результующее (суммарное) движение резания D_e является следствием нескольких одновременно осуществляемых движений и включает главное движение, движение подачи и касательное движение. Скорость рассматриваемой точки режущей кромки в результирующем движении резания называется **скоростью результирующего движения V_e** (см. рис. 3 - 4). Вектор V_e равен векторной сумме скоростей указанных движений резания:

$$\bar{V}_e = \bar{V} + \bar{V}_s + \bar{V}_k. \quad (1)$$

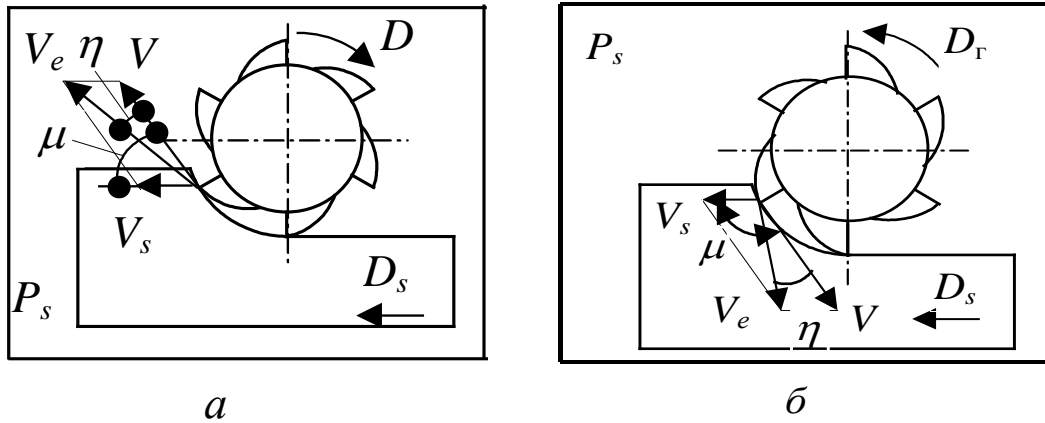


Рис. 4. Рабочие движения при фрезеровании:

а – встречном; б – попутном

Эта скорость всегда направлена по линии, касательной к поверхности резания в рассматриваемой точке. **Поверхность резания R** – это поверхность, образуемая режущей кромкой в результирующем движении резания. Поверхность резания образуется всеми точками главной режущей кромки как совокупность траекторий результирующего движения резания.

2.5. Углы скоростей

Углом скорости резания η называется угол в рабочей плоскости между направлениями скоростей результирующего движения резания и главного движения резания (см. рис. 3 - 4).

Углом подачи μ называется угол в рабочей плоскости между направлениями скоростей движения подачи и главного движения резания (см. рис. 3 - 4).

Рабочей плоскостью P_s называется плоскость, в которой расположены направления скоростей главного движения и движения подачи (см. рис. 3 - 4). В случаях, когда в отдельные моменты времени направления скоростей главного движения резания и движения подачи совпадают (периферийное фрезерование), рабочая плоскость проводится так же, как и в предыдущий или последующий моменты, когда эти направления не совпадают. При отсутствии движения подачи рабочая плоскость проводится через направление скорости главного движения резания перпендикулярно установочной базе режущего инструмента.

3. Характеристика лезвия

3.1. Координатные плоскости. Системы координат

Координатные плоскости. Лезвия режущих инструментов при проектировании, изготовлении и эксплуатации рассматривают в прямоугольной системе координат $P_v t P_n$, где P_v – основная плоскость; t – рассматриваемая точка режущей кромки; P_n – плоскость резания.

Основная плоскость P_v – это координатная плоскость, проведенная через рассматриваемую точку режущей кромки перпендикулярно направлению скорости главного (или результирующего) движения резания.

Плоскость резания P_n – это координатная плоскость, проходящая через режущую кромку параллельно направлению скорости главного (результирующего) движения резания. Она перпендикулярна основной плоскости.

В зависимости от ориентации основной плоскости различают три системы координат: инструментальную $P_{vu} t P_{nu}$, статическую $P_{vc} t P_{nc}$, и кинематическую $P_{vk} t P_{nk}$.

Инструментальная система координат применяется для измерения угловых параметров лезвий в случае, если режущий инструмент лежит на столе или выполняется его эскиз, чертеж (рис. 5, а). При работе с этой системой координат принимают, что направление скорости главного движения резания проходит через режущие кромки касательно к окружности их вращения или вдоль режущих кромок (при расположении их вдоль прямой линии).

Статическая система координат применяется для измерения угловых параметров лезвий в случае, когда режущий инструмент поставлен на станок, но еще не работает.

Рамные пример, созданные так, что лезвий не направлены главного движения (рис. 5, б). В случае круглых садных фрез метрические посадочных режущих ин-

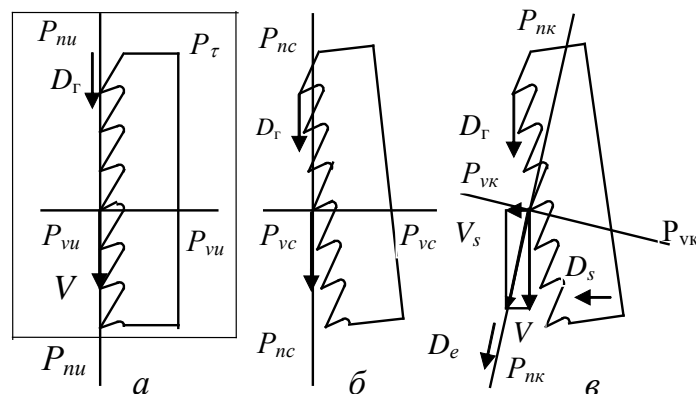


Рис. 5. Системы координат:

а – инструментальная; б – статическая;

пилы, на- нательно ус- с уклоном ни вершин совпадают с ем скорости движения При установ- пил или на- на вал гео- оси вала и отверстий инструментов

могут не совпасть, что изменит пространственное положение лезвий. Статическая система координат применяется для приближенных расчетов углов инструмента в процессе резания и для учета изменения этих углов после установки инструмента на станке.

Кинематическая система координат ориентирована относительно направления скорости результирующего движения резания (рис. 5, в). Она используется в случае, когда движения резания и подачи осуществляются одновременно и применяется для учета реальных значений угловых параметров режущих элементов инструментов в процессе резания.

3.2. Элементы лезвия

Лезвие в поперечном сечении имеет форму клина. Его элементами являются передняя поверхность, одна или несколько задних поверхностей, режущие кромки и углы.

Передней поверхностью лезвия A_γ называется поверхность лезвия, контактирующая в процессе резания со срезаемым слоем и стружкой (рис. 6).

Задней поверхностью лезвия A_α называется поверхность лезвия, контактирующая в процессе резания с поверхностью заготовки (она к обрабатываемой поверхности лезвия несколько поверхностей, то из них называется главной поверхностью $A_{\alpha 1}$, а остальные вспомогательными $A_{\alpha 2}$).

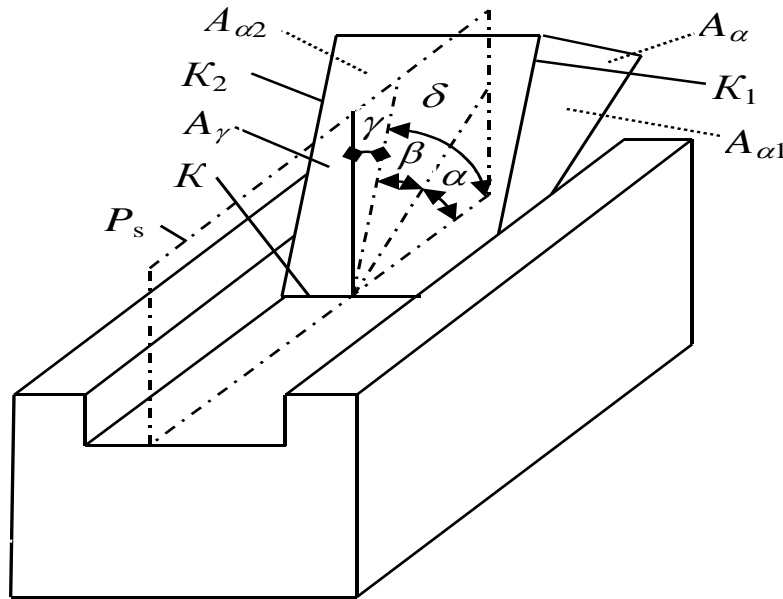


Рис. 6. Элементы лезвия

Режущими кромками лезвия инструмента называют линии пересечения передней поверхности с задними. Часть режущей кромки, формирующая большую сторону сечения срезаемого слоя, называется главной режущей кромкой K , остальные – вспомогательными режущими кромками K_1, K_2 . Главная режущая кромка пересекается со вспомогательными режущими кромками в **вершинах** лезвия.

Положение поверхностей лезвия фиксируется главным и вспомогательными углами заострения. **Главный угол заострения β** измеряется между передней и главной задней поверхностями. Вспомогательные углы заострения измеряются между передней и вспомогательными задними поверхностями.

Положение лезвия на корпусе инструмента фиксируется либо задним, либо передним углами, либо углом резания.

Задний угол α – угол в секущей плоскости между задней поверхностью и плоскостью резания (см. рис. б).

Передний угол γ – угол в секущей плоскости между передней поверхностью лезвия и основной плоскостью (нормалью к плоскости резания).

Угол резания δ – угол в секущей плоскости между передней поверхностью и плоскостью резания, равный сумме углов α и β . Сумма углов резания $\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$.

В зависимости от того, в какой системе координат измерены угловые параметры (рис. 7), их называют соответственно инструментальный передний или задний угол (γ_u, α_u), статический передний или задний угол (γ_c, α_c), кинематический передний или задний угол (γ_k, α_k).

3.3. Секущие плоскости

Линейные углы лезвий режущих инструментов измеряются в секущих плоскостях: главной P_τ , нормальной P_n и плоскости схода стружки P_c .

Главной секущей плоскостью P_τ называется координатная плоскость, перпендикулярная линии пересечения основной плоскости и плоскости резания. На рис. 7, а она совпадает с плоскостью чертежа. В инструментальной системе координат она называется инструментальной главной секущей плоскостью $P_{\tau и}$, в статической – статической главной секущей плоскостью $P_{\tau с}$, в кинематической – кинематической главной секущей плоскостью $P_{\tau к}$.

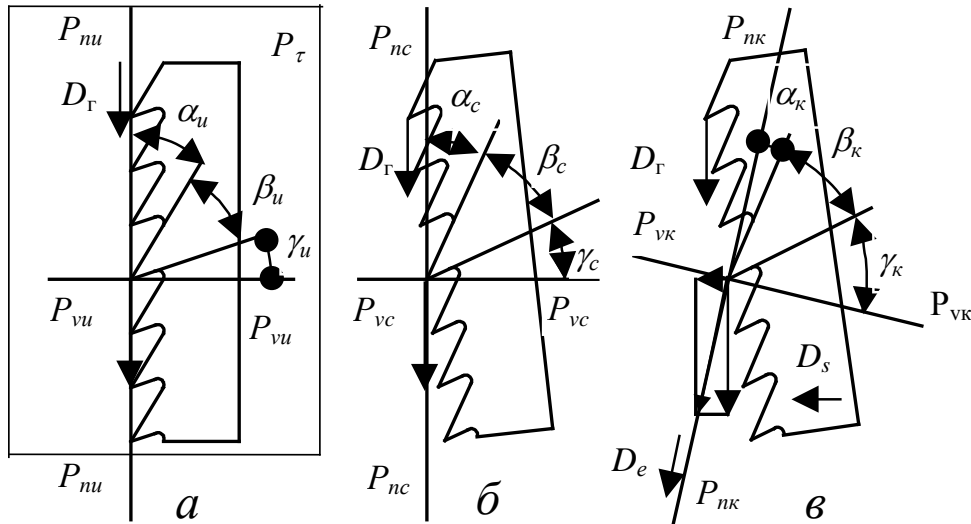


Рис. 7. Угловые параметры зубьев режущих инструментов

в системе координат:

a – инструментальной; *б* – статической; *в* – кинематической

Нормальной секущей плоскостью P_n называется плоскость, перпендикулярная режущей кромке в рассматриваемой точке.

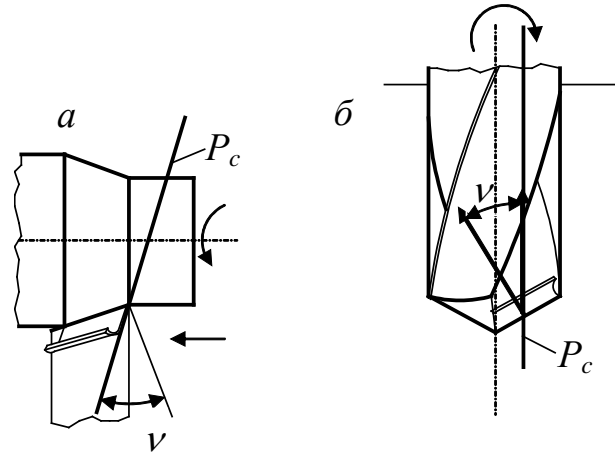
Секущей плоскостью схода стружки P_c называется плоскость, проходящая через направления схода стружки по передней поверхности лезвия и скорости резания в рассматриваемой точке режущей кромки. Направление схода стружки характеризуется углом схода стружки ψ . Этот угол приобретает важное значение для некоторых процессов, связанных с рациональным отводом стружки.

Углом схода стружки ν называется угол, измеряемый в плоскости, касательной к передней поверхности лезвия, между направлением схода стружки и нормалью к главной режущей кромке (рис. 8).

Рис. 8. Углы схода стружки:

a – точение;

б – сверление



3.4. Взаимосвязь углов резания, измеряемых в различных секущих плоскостях

На рис. 9 показан процесс строгания древесины скошенным лезвием. Режущая кромка *K* лезвия наклонена к основной инструментальной плоскости P_{vu} под углом λ . На схеме указаны секущие плоскости: инструментальная главная $P_{ти}$, нормальная $P_{нi}$, а также рабочая плоскость P_s .

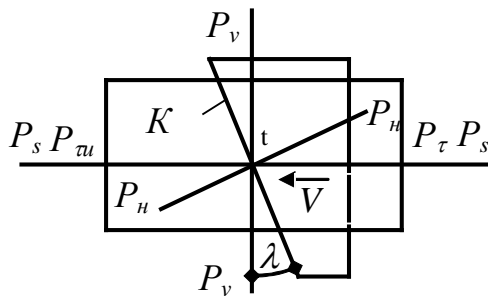


Рис. 9. Резание скошенным лезвием

Задний угол α и угол резания δ в указанных секущих плоскостях взаимосвязаны следующими формулами:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha_{\tau} &= \operatorname{tg} \alpha \cdot \cos \lambda, \\ \operatorname{tg} \delta_{\tau} &= \operatorname{tg} \delta \cdot \cos \lambda. \end{aligned} \quad (2)$$

3.5. Положение режущей кромки

Положение режущей кромки в системе координатных плоскостей определяется углом ее наклона и углами в плане (рис. 10).

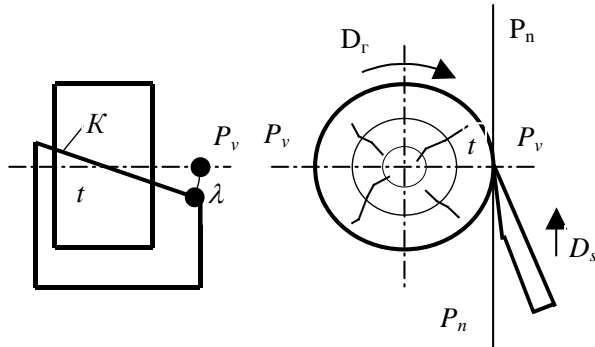


Рис. 10. Наклон режущей кромки к основной координатной плоскости P_v

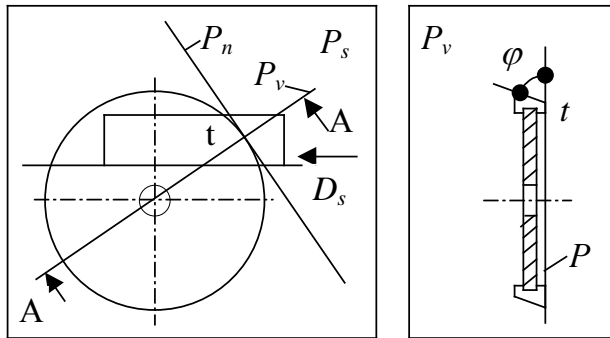


Рис. 11. Угол в плане режущих кромок пилы

Углом наклона режущей кромки λ называется угол в плоскости резания между режущей кромкой и основной плоскостью (если $\lambda \neq 0$, имеем косоугольное резание).

Углом в плане φ называется угол в основной координатной плоскости P_v между режущей кромкой (плоскостью резания) и рабочей плоскостью P_s (рис. 11).

В зависимости от того, в какой системе координат измеряются углы λ и φ , они называются соответственно углами инструментальными, статическими или кинематическими.

3.6. Микрогеометрия режущей кромки

Во время работы режущего инструмента лезвия его под действием ударных нагрузок самопроизвольно обламываются, а затем острые кромки лезвий притираются, притупляются (рис. 12). **Режущая кромка реального лезвия представляет некоторую кривую поверхность, соединяющую поверхности передней и задней граней.**

Радиус ρ этой поверхности служит мерой остроты режущей кромки и называется радиусом округления (затупления) режущей кромки. Для очень острых фуговальных ножей, например, радиус округления режущей кромки равен 2 мкм, а для тупых – 60 мкм. Для лезвия

$$\rho = \rho_0 + \Delta\rho, \quad (3)$$

где ρ – радиус округления режущей кромки произвольной остроты, мкм;

ρ_0 – радиус округления режущей кромки после заточки, мкм;

Δ_p – величина прироста затупления за время работы, мкм.

Для лезвий из сталей ХВГ и 85ХФ принимают следующие значения ρ_0 : для фрез $\rho_0 = 4 \dots 6$ мкм; для пил $\rho_0 = 10$ мкм.

Прирост затупления

$$\Delta_p = \gamma_{\Delta} L, \quad (4)$$

где γ_{Δ} – величина затупления режущей кромки на 1 м пути, мкм/м;

L – путь реза в заготовке, м.

При фрезеровании сосны инструментом из легированной стали принимают $\gamma_{\Delta} = 0,0008$ мкм/м, при пилении $\gamma_{\Delta} = 0,001$ мкм/м. При обработке твердых пород древесины (береза, бук, дуб) значения γ_{Δ} следует увеличить на 30...35%.

3.7. Износ и затупление лезвия

При работе лезвие режущего инструмента под действием сил трения подвергается износу. При этом различают два понятия: износ лезвия и затупление его режущих кромок.

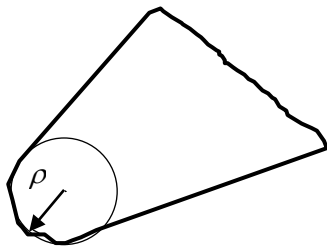


Рис. 12. Схема реального лезвия

Износ – это величина, характеризующая изменение формы и размеров лезвия.

Затупление лезвий характеризуется изменением их микрогеометрии в процессе резания (рис. 13).

Износ и затупление – это явления,

взаимо-
обу-
словли-

вающие друг друга.

Параметрами износа и затупления служат износ по задней поверхности X , по передней поверхности Y , по высоте лезвия λ , по биссек-

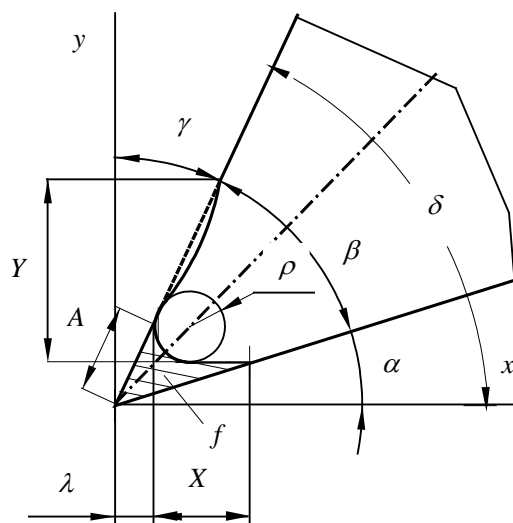


Рис. 13. Параметры износа и затупления лезвия

трисе угла заточки A , площадь износа f , радиус кривизны режущей кромки ρ . Изменение указанных параметров приводит к изменению переднего и заднего углов резания.

Доминирующее значение на динамику и качество обработки оказывает параметр радиуса закругления режущей кромки.

3.8. Критерий затупления

Радиус закругления лезвия не может в полной мере характеризовать работоспособность режущего инструмента. Одно и то же состояние лезвия для одних условий считается тупым, неработоспособным, а для других условий – достаточно острым и работоспособным.

Понятие работоспособность и затупление всегда следует рассматривать во взаимосвязи с результатами работы лезвия: шероховатостью и точностью обработанной поверхности, энергопотреблением, производительностью и параметрами шума. Указанные параметры определяют критерий затупления.

Критерий затупления характеризуется максимально допустимым значением износа режущего инструмента, после достижения которого, наступает его отказ, т.е. неработоспособное состояние.

Продолжение резания таким лезвием приведет к недопустимому нарушению установленных показателей обработки древесины.

3.9. Отказ по параметрам “стойкость” и “точность”

Отказ режущего инструмента означает его неработоспособное состояние.

Отказ по параметру “стойкость” - это постепенный отказ режущего лезвийного инструмента при достижении им критерия затупления. При отказе становится невозможно обработать деталь с заданными параметрами шероховатости или недопустимо повышается уровень шума станка и расход электроэнергии.

Отказ по параметру “точность” - постепенный отказ режущего лезвийного инструмента после достижения размером, формой или расположением обработанной поверхности предела поля допуска. При отказе становится невозможно обработать деталь с заданными допусками размеров, например, деталь с шипами.

При наступлении отказа режущий инструмент подвергается восстановлению. **Восстановление** - приведение рабочей части режущего лезвийного инструмента в работоспособное состояние.

3.10. Период стойкости инструмента

Продолжительность работы инструмента характеризуется периодом стойкости.

Период стойкости - это время резания новым или восстановленным режущим лезвийным инструментом от начала резания до отказа.

Различают еще **полный период стойкости**, равный сумме периодов стойкости режущего лезвийного инструмента от начала резания новым инструментом до достижения предельного состояния. Полный период стойкости R , ч, можно определить по формуле

$$R = T i = \frac{TH}{h}, \quad (5)$$

где T - период стойкости, ч; i - число допустимых переточек; H - допустимая величина стачивания рабочей части инструмента, мм; h - толщина слоя, удаляемого за одну заточку, мм.

Износ лезвия по задней поверхности приводит к образованию фаски, которую характеризуют длиной и ее уменьшающимся задним углом.

Передняя поверхность лезвия изнашивается по-разному. При снятии тонких срезаемых слоев глубина износа уменьшается по мере удаления от режущей кромки. Этот участок напоминает отрезок параболы. Передний угол на нем становится меньше.

При удалении толстых срезаемых слоев на передней грани часто образуется лунка, увеличивающая передний угол. Лезвие самозатачивается.

3.11. Условия резания древесины реальным лезвием

На рис. 14 показана схема резания древесины реальным лезвием. При внедрении лезвия в древесину разрушение последней происходит около наиболее выдвинутой точки лезвия n . Эта точка лежит на плоскости резания P_n . Отделяемая часть древесины, расположенная

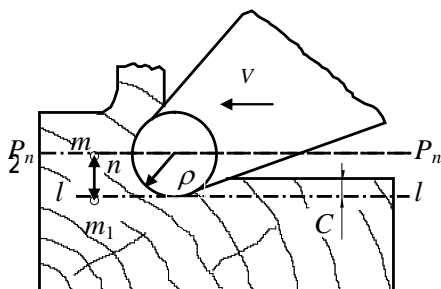


рис. 14. Схема резания древесины реальным лезвием

выше плоскости резания, скользит по передней грани лезвия и образует стружку.

Частицы древесины, расположенные ниже плоскости резания, подминаются режущей кромкой и задней гранью под лезвие. Так, точка m , лежащая на уровне плоскости резания, будет подмита резцом до уровня ll_1 . Она опустится на величину mm_1 . Древесина под лезвием упруго-пластически деформирована. После прохода лезвия древесина освобождается и частично упруго поднимается на величину C . При этом обработанная поверхность располагается ниже плоскости резания на величину остаточной деформации.

3.12. Элементы срезаемого слоя

Срезаемый слой (срез) – это часть припуска между смежными поверхностями резания или слой материала заготовки, отделяемый лезвием за один цикл (или его долю) главного движения резания [6].

Срезаемый слой характеризуется сечением и площадью среза, линейными размерами среза (рис. 15).

Сечение срезаемого слоя – это фигура, образованная при рассечении слоя материала заготовки, отделяемого лезвием за один цикл главного движения резания основной плоскостью P_v . При этом в каждом конкретном случае следует дополнительно указывать систему координатных плоскостей, в которой рассматривается сечение срезаемого слоя. На приведенном рисунке сечение показано в инструментальной системе координат.

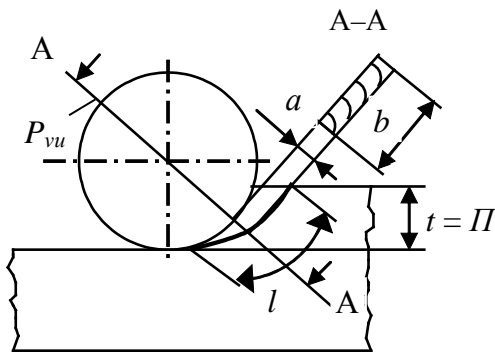


Рис. 15. Размеры срезаемого слоя

Площадь срезаемого слоя A_n есть площадь сечения срезаемого слоя.

Толщина срезаемого слоя a – наименьшее расстояние между предыдущей и последующей поверхностями резания, ограниченное сечением срезаемого слоя.

Ширина срезаемого слоя b – длина стороны сечения срезаемого слоя, образованной поверхностью резания.

Длина срезаемого слоя l – размер стороны срезаемого слоя, образованной поверхностью резания по траектории рассматриваемой точки режущей кромки.

Объем срезаемого слоя $v = abl = A_n l$. Секундный объем срезаемого слоя $v_1 = A_n V$.

3.13. Явления, сопровождающие процесс резания

Процесс резания сопровождается механическими, тепловыми, электрическими, химическими и другими явлениями, которые приводят к затуплению и износу лезвий.

Механические явления при резании – это упругие и пластические деформации, напряжения и трение. Они проявляются в разрушении срезаемого слоя с образованием поверхностей резания и износе лезвия с потерей его режущих свойств. Происходит монотонное истирание, механическое диспергирование элементов лезвия при износе.

Тепловые явления – это результат превращения механической работы резания в тепловую. Тепло выделяется вследствие деформации срезаемого слоя и поверхности резания, а также трения древесины по контактным площадкам лезвия. Выделяемое при резании тепло передается путем теплопроводности в лезвие, стружку и заготовку. Температура на поверхности режущей кромки достигает иногда 800 ... 840°C. На задней поверхности на расстоянии 0,5 мм от режущей кромки она снижается до 240 ... 300°C.

Высокие температуры, возникающие в поверхностных слоях лезвия, приводят к уменьшению прочности металла. Металл тонкого поверхностного слоя размягчается и размазывается. В слоях глубиной 2...3 мкм, прилегающих к режущей кромке, изменяется структура металла. В результате таких преобразований понижается прочность и твердость металла.

Электрические явления – это результат деформирования и трения. При деформировании древесины на ее поверхности образуются пьезозаряды. При трении на контактных поверхностях появляются трибозаряды, величина которых зависит от давления и пути скольжения. Пьезо- и трибозаряды накапливаются на поверхностях скольжения. Образуется сложная электрическая система, в которой возможны на поверхностях лезвия токи нейтрализации и искровые разряды.

Исследованиями Е.Г. Ивановского, П.В. Василевской и Э.М. Лаутнера [7] установлено, что величина зарядов зависит от режима резания. Значения электрических зарядов, снимаемых с лезвия при срезании единицы объема стружки для некоторых пород древесины при толщине срезаемого слоя 0,05 мм, приведены ниже, К/см³:

Сосна	Береза	Лиственница	Липа	Дуб	Граб, вяз
509,0	86,9	74,6	37,7	8,05	0,0

Статическое электричество на лезвии может привести к искровым разрядам и разрушению поверхности металла. На поверхности лезвия образуются кратеры от искровых разрядов.

Химические явления – это результат химических реакций, протекающих на поверхностях контакта лезвия с древесиной. Они приводят к окислительным и коррозион-

ным процессам, насыщению стали кислородом и водородом. Химические явления при резании усиливаются с увеличением влажности древесины.

4. Кинематика процесса резания

4.1. Общие сведения

Кинематика резания рассматривает классификацию принципиальных кинематических схем резания и трансформацию геометрических параметров срезаемых слоев и лезвий во время рабочего цикла [8].

Угловые параметры лезвий могут трансформироваться, если рабочие движения при резании выполняются одновременно.

Движения, сообщаемые инструменту и заготовке, обычно рассматривают в прямоугольной системе координат с осями x, y, z . С ее помощью ориентируют также взаимное положение всех механизмов станка. Кинематика станков обеспечивает различные сочетания движений механизмов:

- а) рабочие и холостые движения;
- б) главное движение при выключенном движении подачи;
- в) движение подачи при бездействующем главном движении;
- г) одновременное действие движений главного и подачи.

Сочетания исходных движений регламентированы системой принципиальных кинематических схем резания. Из большого разнообразия кинематических схем резания наибольшее распространение получили следующие три схемы:

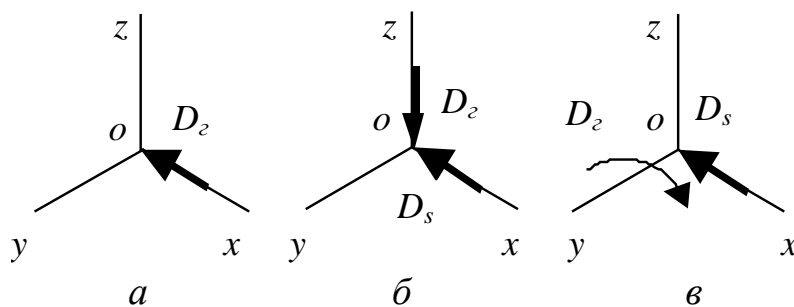


Рис. 16. Принципиальные кинематические схемы процессов резания с движениями:

a – одно прямолинейное, $б$ – два прямолинейных,

схема с одним прямолинейным движением (рис. 16, a);

схема с двумя прямолинейными движениями: главным движением D_2 и движением подачи D_s (рис. 16, $б$);

схема с двумя движениями, из которых главное движение D_2 вращательное, а движение подачи D_s поступательное (рис. 16, $в$).

4.2. Резание по принципиальной кинематической схеме с одним прямолинейным движением

При работе ручным рубанком или строгании шпона (рис. 17) главное движение D_2 и движение подачи D_s действуют поочередно. В каждый момент времени действует только одно рабочее движение.

Режущий инструмент можно представить в виде прямоугольного бруска с инструментальными углами $\alpha_u = 0$ и $\gamma_u = 0$. Передняя поверхность бруска деформирует срезаемый слой толщиной a и срезает его. Задняя поверхность скользит по поверхности резания R , деформируя ее и преодолевая силы трения.

Процесс резания инструментом с $\alpha_u = 0$ и $\gamma_u = 0$ в принципе возможен. Процессы, происходящие по передней поверхности, отражают суть процесса резания. Силы трения по задней поверхности представляют собой вредные сопротивления. Их можно значительно уменьшить, если заднюю поверхность бруска заточить под углом $\alpha_{и} > 0$. Это уже есть лезвие. **Главным признаком лезвия является наличие задней поверхности, заточенной под задним углом $\alpha_{и} > 0$. Заточка передней поверхности под передним углом $\gamma_{и} \neq 0$ такого определяющего значения не имеет.** Значения переднего угла лезвий дереворежущих инструментов варьируются в пределах $\gamma_{и} = -25 \dots +75^\circ$.

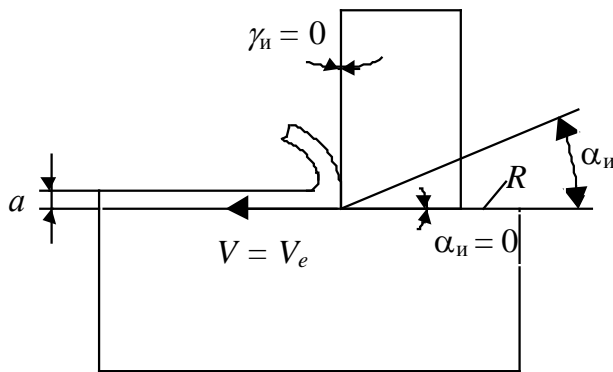


Рис. 17. Резание по принципиальной кинематической схеме с одним прямолинейным движением

4.3. Резание по принципиальной кинематической схеме с двумя прямолинейными движениями

При пилении древесины рамными и ленточными пилами главное движение D_z и движение подачи D_s действуют одновременно. Оба движения прямолинейны (рис. 18).

Вектор скорости \bar{V} перпендикулярен \bar{V}_s . Вектор скорости результирующего движения $\bar{V}_e = \bar{V} + \bar{V}_s$ лежит на прямолинейной траектории, наклоненной к направлению главного движения под углом скорости резания η .

Чтобы уменьшить трение задней поверхности лезвия по плоскости резания $P_{лн}$, его необходимо установить с задним инструментальным углом

$$\alpha_{и} = \eta + \alpha_{к}, \quad (6)$$

где η – угол скорости резания;

α_k – кинематический задний угол, определяющий относительное положение задней поверхности лезвия в процессе резания.

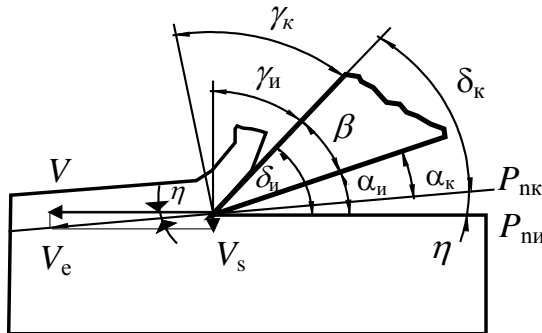


Рис. 18. Резание по принципиальной кинематической схеме с двумя прямолинейными движениями

$$\eta = \arctg (V_s/V). \quad (7)$$

4.4. Резание по принципиальной кинематической схеме с двумя движениями – прямолинейным и вращательным

Резание с прямолинейным и вращательным движениями является самым распространенным. На рис. 19 приведена схема лущения шпона. Заготовка совершает главное вращательное движение D_r и прямолинейное движение подачи D_s , в результате чего срезается стружка.

Следствием двух совместных движений D_r и D_s является результирующее движение по спирали Архимеда с результирующей скоростью V_e . Для того чтобы уменьшить силу трения задней поверхности лезвия по плоскости резания результирующего движения, заднюю поверхность лезвия следует установить под инструментальным задним углом $\alpha_n = \eta + \alpha_k$.

Кинематический задний угол всегда меньше инструментального заднего угла:

$$\alpha_k = \alpha_n - \eta. \quad (8)$$

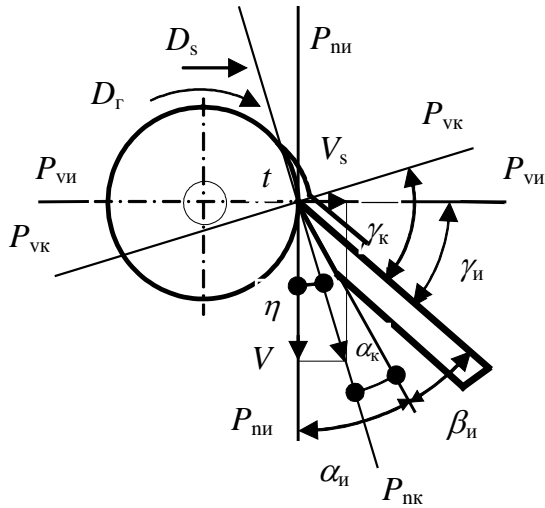


Рис. 19. Трансформация угловых параметров лезвия при лущении

Кинематический передний угол всегда больше инструментального переднего угла:

$$\gamma_k = \gamma_u + \eta. \quad (9)$$

Угол скорости резания

$$\eta = \arctg (V_s / V) = \arctg (S_o / \pi D). \quad (10)$$

5. Влияние строения и свойств древесины на процесс резания

5.1. Строение древесины

Все живое на земле состоит из клеток. Растущее дерево – организм, и потому основным его структурным элементом является клетка. Клетка – это полость, окруженная стенками. Полости клеток позволяют накапливать и передавать водные растворы питательных веществ различным частям дерева, а стенки обеспечивают механическую прочность дерева.

В стволе дерева клетки не однородны по форме и размерам. Их группы-ткани специализированы. Различают паранхиму, сосуды, сердцевинные лучи, трахеиды, либриформ, смоляные ходы. Сопrotивление резанию оказывают главным образом механические ткани – трахеиды (у хвойных пород) и либриформ (у лиственных пород древесины), составляющие основную массу древесины. Трахеиды имеют следующие средние размеры: длина 3-4 мм, ширина в тангенциальной плоскости 0,0025-0,035 мм, двойная толщина стенок соседних клеток 0,002-0,020 мм.

5.2. Плотность древесины

Плотность древесины – отношение массы древесины к ее объему. В зависимости от влажности древесины различают плотность стандартную (нормализованную) или табличную, ρ_{12} (при стандартной влажности 12%); влажного состояния ρ_w ; абсолютно сухого состояния ρ_o ; условную $\rho_{усл.}$ (отношение массы абсолютно сухой древесины к объему максимально разбухшей или свежесрубленной). Значение плотности зависит от строения древесины и содержания в ней экстрактивных веществ (смол) [9]. Значения плотности изменяются в пределах древесной породы, внутри одного ствола дерева (табл. 1).

Таблица 1

Средние значения плотности древесины

Порода	Плотность, кг/м ³			Порода	Плотность, кг/м ³		
	ρ_{12}	ρ_o	$\rho_{усл.}$		ρ_{12}	ρ_o	$\rho_{усл.}$
Лиственница	660	630	520	Дуб	690	650	550
Сосна	500	470	400	Береза	630	600	500
Ель	445	420	360	Бук	670	640	530
Кедровая сосна	435	410	350	Осина	495	470	400
Пихта	375	350	300	Ольха	520	490	420

5.3. Физические свойства древесины

Древесинное вещество, образующее стенки клеток, гигроскопично. Оно способно поглощать, сорбировать влагу из воздуха. Гигроскопическая влага удерживается в стенках клеток физико-химическими связями и не может быть выдавлена при резании.

Максимальное количество связанной воды в древесине равно 30% от массы сухого древесинного вещества.

В полостях клеток может находиться свободная влага, которая при резании легко выдавливается. Зимой свободная влага может замерзнуть, и лед, образующийся в полостях клеток, сильно влияет на энергетику и качество резания.

Удаление из древесины свободной влаги не изменяет механических свойств древесинного вещества. Удаление гигроскопической (связанной) влаги повышает плотность клеточных стенок. Так, плотность древесинного вещества при влажности $W=30\%$ равна $1,2 \text{ г/см}^3$, а для абсолютно сухого древесинного вещества всех пород равна $1,54 \text{ г/см}^3$.

5.4. Механические свойства древесины

Прочность древесины – способность древесины сопротивляться разрушению под действием механических нагрузок. Различают прочность древесины при сжатии и растяжении вдоль волокон, сжатии, местном смятии и растяжении поперек волокон в радиальном и тангенциальном направлениях, статическом изгибе, скалывании вдоль и поперек волокон в радиальной и тангенциальной плоскостях (табл. 2).

Таблица 2

Пределы прочности древесины некоторых пород, МПа

Вид нагрузки	Лиственница	Сосна	Ель	Дуб	Береза	Осина
При сжатии вдоль волокон	64,5	48,5	44,5	57,5	55,0	42,5
При растяжении:						
вдоль волокон	125,0	103,5	103,0	-	168,0	125,5
поперек волокон в направлении:						
радиальном	5,6	5,4	5,0	8,0	11,1	7,1
тангенциальном	5,2	3,5	3,2	6,5	6,5	4,6
При статическом изгибе	111,5	86,0	79,5	107,5	109,5	78,0
При скалывании вдоль волокон:						
радиальном	9,9	7,5	6,9	10,2	9,3	6,3
тангенциальном	9,4	7,3	6,8	12,2	11,2	8,6

5.5. Сжатие древесины в замкнутом пространстве

Процесс сжатия древесины в замкнутом пространстве отличается от сжатия свободной древесины [6, 10]. На рис. 20, а показана зависимость напряжения σ при свободном сжатии древесины от величины относительной деформации $\varepsilon = (L-l)/L$, где L – первоначальная длина образца и l – длина сжатого образца. В пределах относительной деформации 0,03 изменение напряжений подчиняется закону Гука. При дальнейшем сжатии образец выпучивается, разрушается.

При сжатии древесины в замкнутом пространстве, когда образец 1 помещен в обойму 2 под пуансон 3 (рис. 20, б), относительная деформация изменяется в большом диапазоне. Объем образца уменьшается до 2,5 раз, а плотность при $\varepsilon = 0,6$ приближается к плотности

плотности древесного вещества.

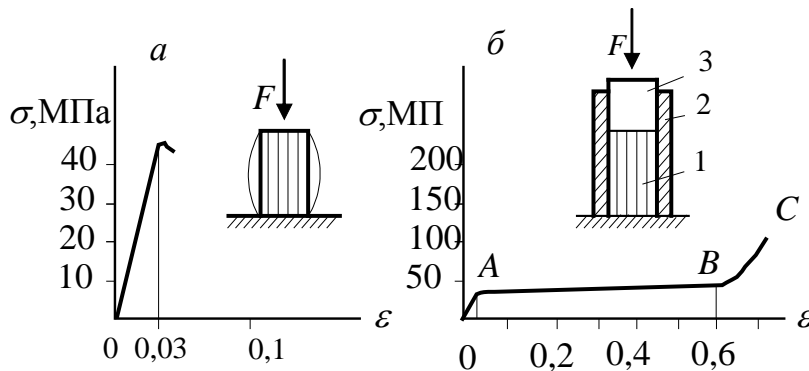


Рис. 20. Сжатие древесины:

Древесинное вещество представляет собой материал клеточных стенок древесины. Плотность древесинного вещества не зависит от породы древесины и равна 1530 кг/м^3 . Напряжение на участке пластического течения АВ почти не изменяется.

5.6. Главные направления ствола дерева

Физико-механические свойства ствола дерева различны в трех взаимно перпендикулярных направлениях: поперечном, радиальном и тангенциальном (рис. 21).

Поперечным называется разрез, проходящий перпендикулярно оси ствола и направлению волокон. Он образует торцовую плоскость.

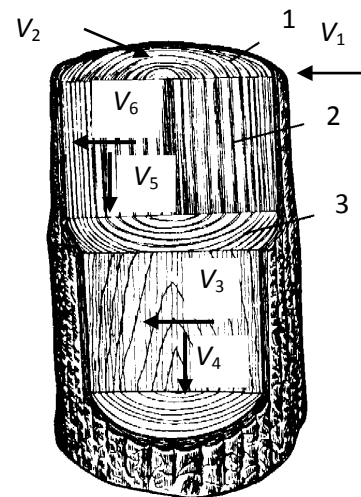


Рис. 21. Разрезы ствола:

- 1 – поперечный (торцовый);
- 2 – радиальный;
- 3 – тангенциальный

Радиальный разрез – это продольный разрез, проходящий через сердцевину по радиусу ствола. Сердцевина расположена примерно в центре ствола и на радиальном разрезе видна в виде узкой темной полосы.

Тангенциальный (тангентальный) разрез – это продольный разрез, проходящий на некотором расстоянии от сердцевины касательно к годичному слою.

Древесина в указанных разрезах значительно отличается по своему строению. Поперечный разрез образован перерезанием трахеидов (волокон хвойных пород) и волокон либриформа и сосудов (у лиственных пород) перпендикулярно к их длине. Тангенциальный разрез получен перерезанием смоляных ходов и сердцевинных лучей нормально к их длине и частичным перерезанием волокон и сосудов параллельно их оси. Радиальный разрез образован перерезанием волокон и сосудов параллельно их длине.

5.7. Виды резания древесины

5.7.1. Общие сведения

Механические свойства древесины по главным направлениям различны. Такую особенность древесины называют ортотропией. Механические свойства древесины различны и в промежуточных направлениях. Это называется анизотропией. Таким образом, **древесина – анизотропно-ортотропный материал волокнисто-слоистого, разноклеточного строения с пустотами**. Такая структура древесины значительно затрудняет ее резание.

Несмотря на анизотропность, можно найти общие свойства резания древесины. Например, поперечный разрез может быть получен при перемещении лезвия по взаимно перпендикулярным направлениям V_1 или V_2 , тангенциальный разрез - по направлениям V_3 или V_4 , а радиальный - по направлениям V_5 или V_6 (см. рис. 21). Резание древесины по указанным направлениям позволяет выделить три главных вида резания: торцовое (\perp), продольное ($//$) и поперечное ($\#$).

При **торцовом резании** (направления V_1 и V_2) вектор скорости главного движения и плоскость резания перпендикулярны направлению волокон.

При **продольном резании** (направления V_3 и V_5) вектор скорости главного движения и плоскость резания параллельны направлению волокон.

При **поперечном резании** (направления V_4 и V_6) вектор скорости главного движения перпендикулярен, а плоскость резания параллельна направлению волокон.

На практике чаще встречаются промежуточные, переходные виды резания (рис. 22, а).

5.7.2. Продольно-торцовое резание

Продольно-торцовое резание ($//-\perp$) – это переходное резание от продольного к торцовому, при котором вектор скорости главного движения и плоскость резания составляют острый угол с направлением волокон. Резание характеризуется углом перерезания волокон φ_b .

Угол перерезания волокон (угол встречи) - это угол между вектором скорости главного движения и волокнами древесины, направленными в срезаемый слой.

На рис. 22, б показано изменение угла перерезания волокон при продольно-торцовом резании. При движении резца слева направо угол $\varphi_b < 90^\circ$, а образующая по направлению волокон опережающая трещина распространяется в срезаемый слой. Такое резание называют резанием **по слою**. При движении лезвия справа налево угол $\varphi_b > 90^\circ$, а образовавшаяся опережающая трещина направлена в массив древесины. Это резание **против слоя**. В зависимости от угла перерезания волокон вид резания изменяется от продольного ($//$) до торцового (\perp).

5.7.3. Поперечно-торцовое резание

Поперечно-торцовое резание ($\#-\perp$) – это переходное резание от поперечного к торцовому, при котором плоскость резания составляет острый угол с направлением волокон, а вектор скорости движения перпендикулярен к ним (см. рис. 22, а).

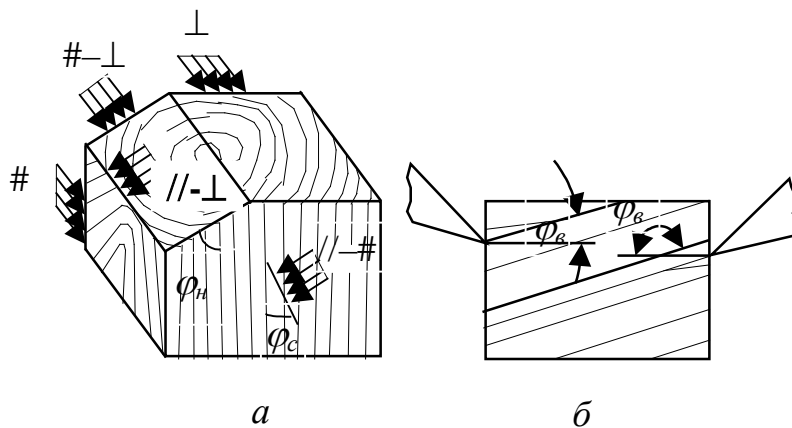


Рис. 22. Виды резания древесины:

а – переходные виды резания;

Острый угол плоскостью резания (или режущей кромкой) и волокнами φ_n называют углом наклона. При $\varphi_n = 0^\circ$ резание получается поперечное, а при $\varphi_n = 90^\circ$ резание переходит в торцовое.

5.7.4. Поперечно-продольное резание

Поперечно-продольное резание (#-//) - это переходное резание от поперечного к продольному, при котором вектор скорости главного движения составляет острый угол с волокнами, а плоскость резания параллельна им (см. рис. 22, а). **Острый угол между режущей кромкой и волокнами φ_c называют углом скоса.** При $\varphi_c = 0^\circ$ получается поперечное резание, а при $\varphi_c = 90^\circ$ резание переходит в продольное.

5.7.5. Продольно-поперечно-торцовое резание

Продольно-поперечно-торцовое резание (//-#-⊥) – это переходное резание от продольно-поперечного к торцовому. Наблюдается, например, при продольном фрезеровании

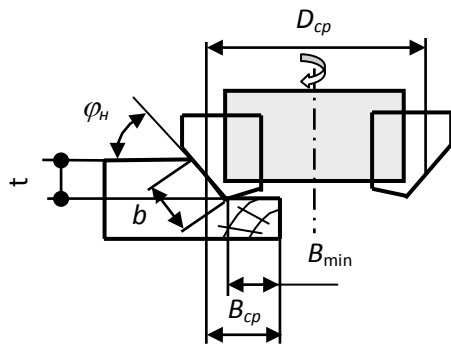


Рис. 23. Продольно-поперечно-торцовое резание

древесины торцовой фрезой с боковой наклонной режущей кромкой (рис. 23). При угле наклона боковой режущей кромки $\varphi_n = 0$ резание на дуге контакта изменяется от продольного, когда происходит врезание лезвия в древесину, до поперечного в момент выхода зуба из заготовки (продольно-поперечное резание). Если угол $\varphi_n = 90^\circ$, то резание изменяется от продольного в момент врезания до торцового в момент выхода зуба из древесины (продольно-торцовое). При $\varphi_n < 90^\circ$ происходит продольно-поперечно-торцовое.

5.7.6. Учет ориентации годовых слоев

Ориентацию годовых слоев в заготовке характеризуют углом радиальности $\varphi_{рад}$, который измеряют между режущей кромкой K и нормалью N к поверхности годового слоя в точке пересечения режущей кромки с годовым слоем (рис. 24, а). Если годовой слой лежит в плоскости резания ($\varphi_{рад} = 90^\circ$), то резание называют **тангенциальным** (рис. 24, б). Если годовой слой перпендикулярен плоскости резания ($\varphi_{рад} = 0^\circ$), то резание называют **радиальным**.

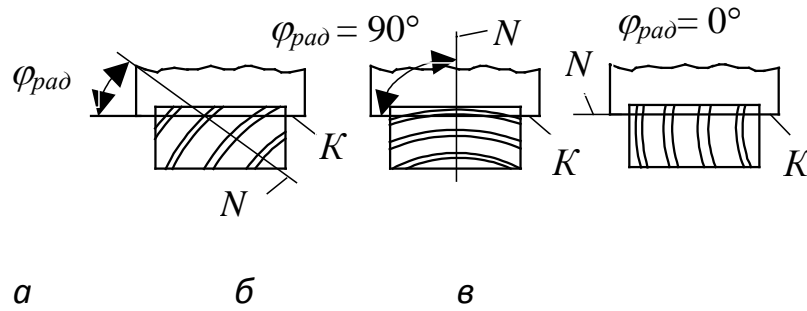


Рис. 24. Ориентация годовых слоев относительно режущей

кромки лезвия: *a* – общий случай резания; *б* – резание тангенциальное; *в* – резание радиальное

5.7.7. Виды резания древесных материалов

Для древесных материалов с ярко выраженной слоистой структурой (древесностружечные и древесноволокнистые плиты, фанера, древеснослоистые пластики и др.) различают следующие виды резания.

Резание вдоль слоев ($//_c$). При таком резании вектор скорости главного движения параллелен, а плоскость резания перпендикулярна слоям (рис. 25, *a*).

Резание поперек слоев ($\#_c$). Имеет место в случае, когда вектор скорости главного движения и плоскость резания перпендикулярны слоям.

Резание по плоскости слоев (плоское резание \square_c) наблюдается в случае, когда вектор скорости главного движения и плоскость резания совпадают с плоскостью слоя.

Переходное продольно-поперечное резание ($//_c-\#_c$). Это резание характеризуется углом

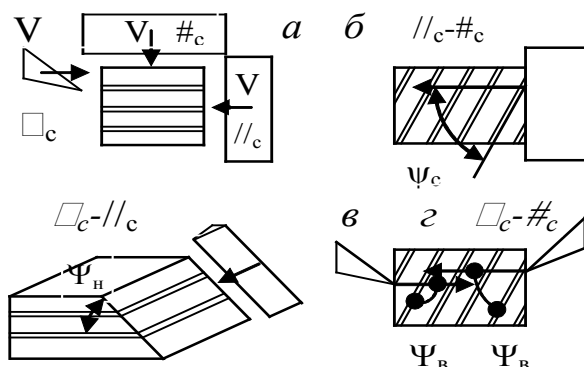


Рис. 25. Виды резания древесных материалов:

- a* – главные;
- б* – продольно-поперечное;
- в* – плоскопродольное;
- г* – плоскопоперечное

скоса слоев ψ_c . **Угол скоса ψ_c** – это угол между вектором скорости главного движения и слоем в плоскости резания ($0^\circ \leq \psi_c \leq 90^\circ$). Если $\psi_c = 0^\circ$, то имеет место резание вдоль

волокон. При $0^\circ < \psi_c \leq 45^\circ$ резание называют продольно-поперечным, а при $45^\circ < \psi_c < 90^\circ$ – поперечно-продольным. При $\psi_c = 90^\circ$ получается поперечное резание (рис. 25, б).

Переходное плоскопродольное резание ($\square_c // c$). Резание характеризуется углом наклона слоев ψ_n . **Угол наклона слоев ψ_n** – это угол между плоскостями резания и слоя в бинормальной секущей плоскости ($0^\circ \leq \psi_n \leq 90^\circ$). При $\psi_n = 0^\circ$ имеет место плоское резание, при $0^\circ < \psi_n \leq 45^\circ$ – плоскопродольное резание, при $45^\circ < \psi_n < 90^\circ$ – продольно-плоское резание и при $\psi_n = 90^\circ$ – продольное (рис. 25, в).

Переходное плоскопоперечное резание ($\square_c \# c$). Резание характеризуется углом встречи ψ_b . **Угол встречи ψ_b** – это угол между вектором скорости главного движения и плоскостью слоя в контуре заготовки ($0^\circ \leq \psi_b \leq 180^\circ$). При $\psi_b = 0^\circ$ получается плоское резание, при $0^\circ < \psi_b < 90^\circ$ резание называют плоскопоперечным “против слоев”, $90^\circ < \psi_b < 180^\circ$ – поперечно-плоским по слоям (рис. 25, г).

6. Геометрия обработанной поверхности

Шероховатость деревянной поверхности по ГОСТ 7016-82 характеризуется параметрами, их числовыми значениями и наличием или отсутствием ворсистой и мшистости. Анатомические неровности древесины при этом не учитываются.

ГОСТ устанавливает пять параметров (табл. 3). Числовые значения параметров в мкм принимаются из следующих предпочтительных рядов чисел:

$R_{m \max}$, R_m и R_z - 1600, 800, 400, 200, 100, 50, 25, 12,5, 6,3, 3,2;

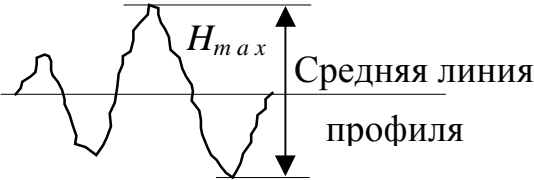
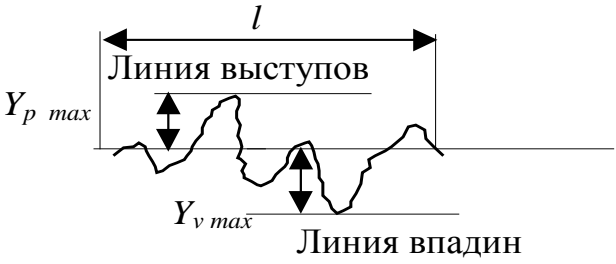
R_a - 100; 50; 25; 12,5; 6,3; 3,2; 1,6; 0,8.

Методы определения параметров шероховатости поверхности регламентированы ГОСТ 15612-85.

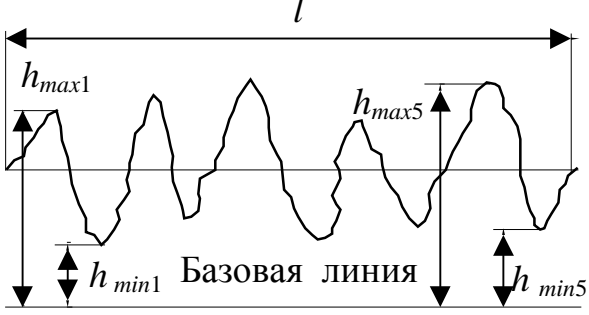
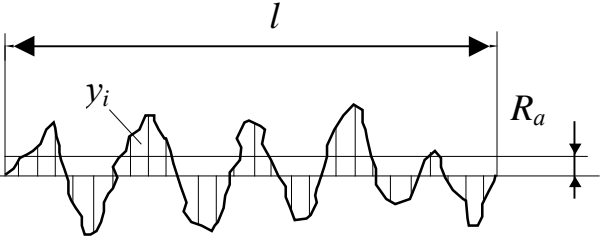
Шероховатостью поверхности называется совокупность неровностей с относительно малыми шагами, выделенных, чаще всего, на базовой длине. Только один параметр шероховатости $R_{m \max}$ находится без использования базовой длины. На практике он находится путем визуального сравнения поверхности с поверхностью натуральных образцов. **Базовая длина l** – длина базовой линии, используемая для выделения неровностей поверхности.

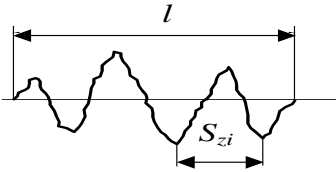
Таблица 3

Параметры шероховатости поверхности

Параметр	Определение и расчетная формула
<p>Среднее из максимальных высот неровностей на поверхности</p> <p>$R_{m \max}$</p>	<p>Среднее арифметическое высот отдельных наибольших неровностей (не менее 5) на поверхности:</p> $R_{m \max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H_{\max i} ,$ <p>где $H_{\max i}$ – расстояние от высшей до низшей точки i-й наибольшей неровности, n – количество наибольших неровностей, $n \geq 5$</p>  <p style="text-align: center;">Средняя линия профиля</p>
<p>Наибольшая высота неровностей профиля R_m</p>	<p>Наибольшая высота неровностей профиля в пределах базовой длины l:</p> $R_m = Y_{p \max} + Y_{v \max} ,$ <p>где $Y_{p \max}$ – расстояние от средней линии профиля до линии выступов; $Y_{v \max}$ – расстояние от средней линии профиля до линии впадин</p>  <p style="text-align: center;">Линия выступов</p> <p style="text-align: center;">Линия впадин</p>

Продолжение табл. 3

Параметр	Определение и расчетная формула
<p>Высота неровностей профиля по десяти точкам R_z</p>	<p>Разность средних значений пяти расстояний от выступов до базовой линии и пяти расстояний от впадин до базовой линии в пределах базовой длины l:</p> $R_z = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 h_{\max i} - \sum_{i=1}^5 h_{\min i} \right)$ 
<p>Среднее арифметическое отклонение профиля R_a</p>	<p>Среднее арифметическое абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины l:</p> $R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i / l,$ <p>где n – число выбранных точек профиля на базовой длине; y_i – отклонение профиля или расстояние между точкой профиля и базовой линией</p> 

Параметр	Определение и расчетная формула
Средний шаг неровностей профиля S_z	<p>Среднее значение шагов неровностей профиля по впадинам на базовой длине l:</p> $S_z = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{zi}$ 

7. Взаимодействие лезвия с древесиной

7.1. Составляющие силы резания

При резании древесина оказывает сопротивление перемещению лезвия, равное силе резания F .

В расчетах и исследованиях динамики резания обычно пользуются составляющими силы резания [11] – проекциями на координатные оси (рис. 26). Причем ось x проводят параллельно направлению V_e , а координатную плоскость XOY совмещают с плоскостью резания.

Проекциям силы резания присвоены следующие названия: главная составляющая силы резания (касательная) F_x , радиальная (нормальная) составляющая силы резания F_z и осевая составляющая силы резания F_y .

Главная составляющая силы резания F_x совпадает по направлению со скоростью результирующего движения резания. При вращательном главном движении она называется касательной составляющей силы резания.

Радиальная составляющая силы резания F_z направлена по радиусу главного вращательного движения резания. При поступательном главном движении резания она

направлена перпендикулярно вектору скорости результирующего движения и называется радиальной (нормальной) составляющей силы резания.

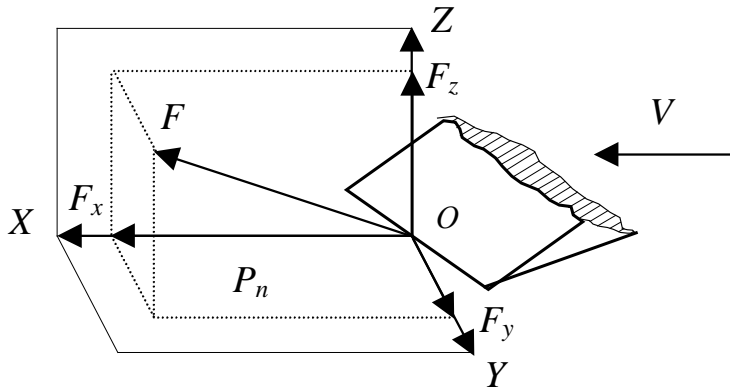


Рис. 26. Составляющие силы

Осевая составляющая силы резания F_y лежит в плоскости резания и направлена перпендикулярно к направлению скорости результирующего движения.

7.2. Удельная сила, удельная работа резания

Удельная сила резания $F_{y\partial}$ есть отношение главной составляющей силы резания к площади поперечного сечения срезаемого слоя и имеет размерность МПа (Н/мм²):

$$F_{y\partial} = \frac{F_x}{ab}, \quad (11)$$

где a, b – соответственно толщина и ширина срезаемого слоя, мм.

Удельная работа резания K есть работа главной составляющей силы резания, необходимая для срезания 1 см³ древесины, Дж/см³. Согласно определению

$$K = \frac{A}{v} = \frac{F_x l}{abl} = \frac{F_x}{ab} = F_{y\partial}, \quad (12)$$

где A – работа резания, Дж;

v – объем срезаемого слоя, см³;

l – длина срезаемого слоя, м.

Таким образом, количественно $K = F_{y\partial}$, но физический смысл их разный: K – это есть работа, а $F_{y\partial}$ – есть давление.

7.3. Единичная сила резания

Единичной силой резания F_1 (Н/мм) называют силу резания, необходимую для удаления срезаемого слоя шириной 1 мм: $F_1 = F/b$. По аналогии различают единичные координатные силы: $F_{x1} = F_x/b$; $F_{z1} = F_z/b$; $F_{y1} = F_y/b$.

Единичная сила резания указывает на то, что сила резания находится в прямо пропорциональной зависимости от ширины срезаемого слоя.

7.4. Контактные зоны лезвия

При проникновении лезвия в древесину на его контактной поверхности создаются нормальное давление и силы трения. Для анализа указанных сопротивлений контактную поверхность делят на зоны. В сечении нормальной плоскостью контактная поверхность лезвия (рис. 27) изображается в виде контура $abmncd$.

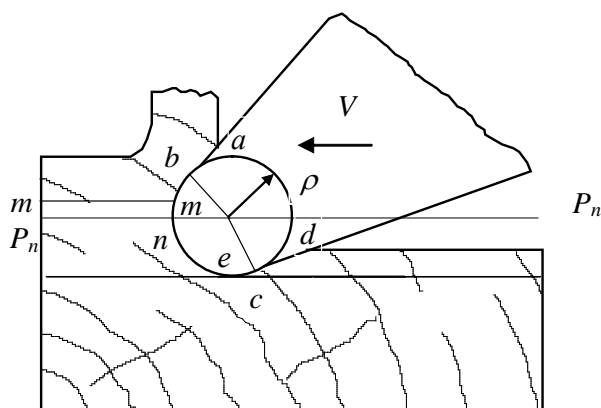


Рис. 27. Зоны контактного контура лезвия

Указанный контур можно поделить на две зоны: зону срезаемого слоя am и зону поверхности резания md , граничащие в точке m , лежащей на линии mm образования в материале новых поверхностей (поверхности резания и поверхности стружки). Стружка скользит от точки m по передней поверхности, а поверхность резания обтекает режущую кромку и заднюю поверхность от точки m к точке d . Иногда в целях упрощения линию mm совмещают с плоскостью резания P_n .

Деление контактного контура на две зоны характерно для школы А.Л. Бершадского.

Контактный контур лезвия делят также на три зоны по его геометрическим признакам: зону передней поверхности ab , зону режущей кромки bc и зону задней поверхности cd .

Деление контактного контура на три зоны характерно для школы С.А. Воскресенского.

7.5. Эпюры нормальных давлений по зонам лезвия

Ниже приведена характеристика зон лезвия и предполагаемая форма эпюр по этим зонам.

Передняя поверхность. Передняя поверхность лезвия деформирует срезаемый слой и стружку, создает в них напряжения и удаляет стружку.

Сжатие срезаемого слоя и стружки при резании происходит в полузамкнутом пространстве. В связи с этим можно допустить, что нормальное давление стружки на переднюю поверхность лезвия подчиняется зависимости напряжений от деформации при сжатии древесины в замкнутом пространстве.

Перенесем график этой зависимости на переднюю поверхность (рис. 28) и будем считать, что давление стружки на переднюю поверхность распределено равномерно.

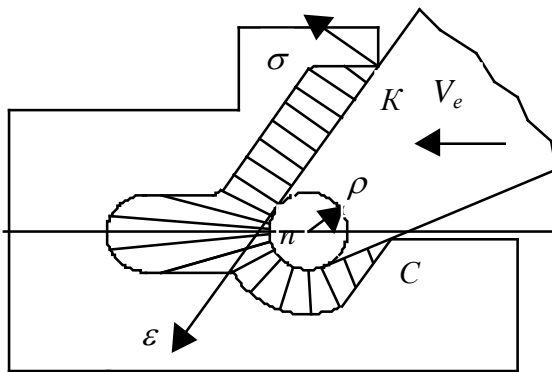


Рис. 28. Эпюра нормальных давлений по контактным площадкам лезвия

Режущая кромка. Режущая кромка лезвия создает и поддерживает в материале в плоскости резания достаточную концентрацию напряжений, при которой происходит разрушение материала. Концентрация напряжений перед режущей кромкой тем выше, чем меньше ее радиус закругления. Исследованиями доказано, что напряжения перед режущей кромкой в слое толщиной 2ρ (ρ – радиус закругления режущей кромки) достигают 400...5000 МПа [6]. Это в 20...50 раз больше, чем давление на передней поверхности. Таким образом, **режущая кромка надрезает материал в срезаемом слое, а передняя грань удаляет его.**

Задняя поверхность. Задняя поверхность лезвия испытывает нормальное давление со стороны обработанной поверхности вследствие ее упругого восстановления. Так как деформации под задней поверхностью упругие, то эпюру нормальных давлений на ней можно принять треугольной (см. рис. 28).

7.6. Силы резания в зоне передней поверхности

Заменяем эпюру нормальных давлений в зоне передней поверхности лезвия сосредоточенной силой N и векторно прибавим к ней силу трения T (рис. 29, а). Полученную силу F спроецируем на направление V_e и на нормаль к нему. Получим следующие силы: F_{xp} – главную составляющую, касательную силу резания по передней поверхности; F_{zn} – нормальную составляющую силы резания по передней поверхности.

Главная составляющая силы резания может быть найдена из эпюры касательных давлений в зоне стружки (рис. 29, б). Величина силы F_{xp} будет равна площади эпюры касательных давлений (все расчеты ведутся на ширину срезаемого слоя 1 мм). Эпюру касательных давлений на передней поверхности можно рассматривать как состоящую из двух слоев: микрослоя 6345, опирающегося на поверхность лезвия и соизмеримого по толщине с радиусом его округления, и внешней части срезаемого слоя 1236. Максимальную толщину микрослоя в срезаемом макрослое принимают равной 0,1 мм. Касательное давление в микрослое обозначим k_m , а во внешнем слое – k .

Единичную силу F_{xp} для срезаемого макрослоя можно найти как сумму площадей слоев эпюры по следующему выражению:

$$F_{xp} = 0,1k_m + k(a - 0,1), \quad (13)$$

где k_m, k – касательное давление на передней поверхности, соответственно для микрослоя и внешнего слоя, МПа;

a – толщина срезаемого слоя, мм;

0,1 – толщина микрослоя в срезаемом макрослое, мм.

Если толщина срезаемого слоя $a_m < 0,1$ мм (микрослой), то

$$F_{xpm} = k_m a_m. \quad (14)$$

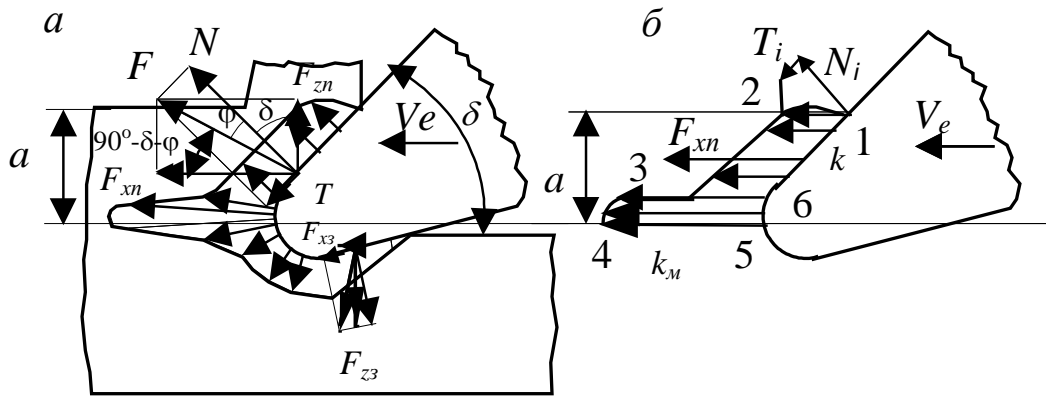


Рис. 29. Силы на лезвии:

a – общая схема сил; *б* – касательная сила на передней грани

Нормальная (радиальная) составляющая силы резания находится из следующего уравнения:

$$F_{zn} = F_{xn} \operatorname{tg}(90^\circ - \delta - \varphi), \quad (15)$$

где δ – угол резания;

φ – угол трения; коэффициент трения скольжения стружки по передней поверхности $\mu = \operatorname{tg} \varphi$.

$$F_{zn} = 0,1 k_m \operatorname{tg}(90^\circ - \delta_m - \varphi_m) + k(a - 0,1) \operatorname{tg}(90^\circ - \delta - \varphi). \quad (16)$$

Около лезвия угол резания δ_m непрерывно изменяется: $\delta \leq \delta_m \leq 90^\circ$. В зоне высокого давления коэффициент трения убывает до минимального значения $\mu = 0,18$ (угол трения $\varphi_1 \cong 10^\circ$). При $\delta_m = 90^\circ - \varphi_m$ первое слагаемое уравнения нормальной силы равно нулю, а в диапазоне $\delta_m = (90^\circ - \varphi_m) \pm \varphi_m$ нормальная сила в микрослое тоже равна нулю. Поэтому ввиду малости первым слагаемым нормальной силы можно пренебречь. Тогда при $a \geq 0,1$ мм

$$F_{zn} = k(a - 0,1) \operatorname{tg}(90^\circ - \delta - \varphi), \quad (17)$$

при $a < 0,1$ мм $F_{zn} = 0$.

7.7. Силы в зоне поверхности резания

На задней поверхности лезвия (см. рис. 29, *a*), различают касательную силу резания по задней поверхности F_{xz} и нормальную силу резания по задней поверхности F_{z3} . Так как упругопластическое деформирование поверхности резания задней поверхностью

невелико (на величину радиуса округления режущей кромки, т. е. не более 0,06 мм), можно рассматривать касательную силу по поверхности как силу трения:

$$F_{x3} = f F_{z3}, \quad (18)$$

где f - коэффициент трения скольжения по задней поверхности.

Сила F_{z3} есть усилие, необходимое для заглубления лезвия в поверхность резания на величину радиуса закругления режущей кромки. С этим усилием заготовка отталкивает лезвие от себя.

7.8. Силы резания на лезвии

На лезвие (см. рис. 29, а) действуют две системы сил: над плоскостью резания и под ней. При этом силы F_{xp} и F_{x3} действуют в одном направлении и составляют вместе касательную единичную силу резания:

$$\begin{aligned} \text{при } a \geq 0,1 \text{ мм} \quad F_{x1} &= F_{x3} + 0,1k_m + k(a - 0,1), \\ \text{при } a_m < 0,1 \text{ мм} \quad F_{x1m} &= F_{x3} + k_m a_m. \end{aligned} \quad (19)$$

Вертикальные силы F_{zp} , F_{z3} проходят нормально к направлению V_e и в сумме составляют нормальную (радиальную) единичную силу резания:

$$F_{z1} = F_{z3} - F_{zp} \quad (20)$$

$$\text{при } a \geq 0,1 \text{ мм} \quad F_{z1} = F_{x3} / f - k(a - 0,1) \operatorname{tg}(90^\circ - \delta - \varphi),$$

$$\text{при } a_m < 0,1 \text{ мм} \quad F_{z1m} = F_{x3m} / f.$$

Если $F_z > 0$, то F_z называют силой отжима, с этим усилием заготовка отталкивает лезвие от поверхности резания.

Если $F_z < 0$, то F_z называют силой затягивания, с этой силой лезвие затягивает заготовку на себя.

7.9. Зависимость главной составляющей силы резания от толщины срезаемого слоя

Зависимость единичной касательной силы резания от толщины срезаемого слоя по данным многочисленных экспериментов [6] приведена на графике (рис. 30).

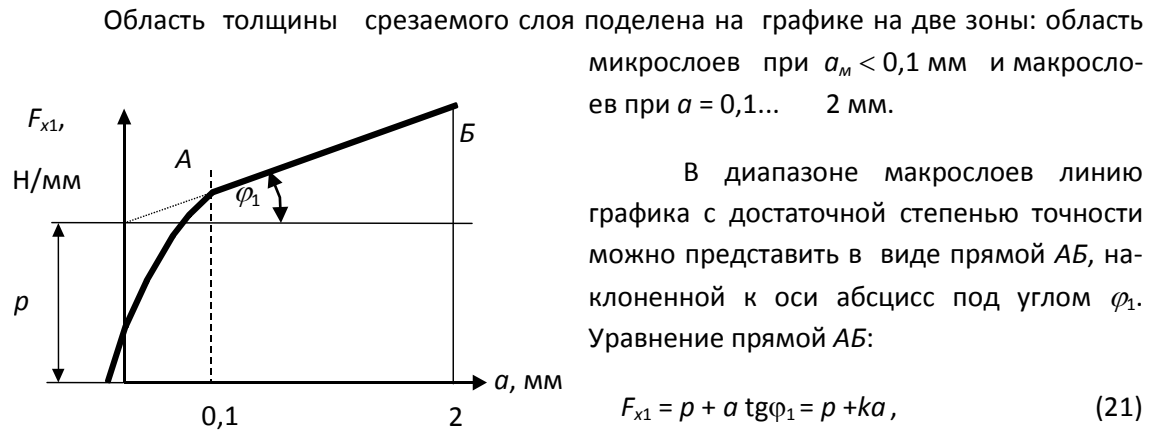


Рис. 30. Зависимость касательной силы от толщины срезаемого слоя

где p – фиктивная сила резания, Н/мм, т.е. величина ординаты, отсекаемая прямой AB от начала координат;

k – касательное давление срезаемого слоя на переднюю поверхность лезвия, МПа.

7.10. Изменение главной составляющей силы резания в диапазоне микрослоев

В диапазоне микрослоев ($a \leq 0,1$ мм) линия зависимости единичной касательной силы резания от толщины срезаемого слоя имеет параболическую форму (рис. 31). Общее уравнение параболы в осях координат F_{x1} и a [12]

$$F_{x1} = ca^2 + da + e, \quad (22)$$

где c, d, e – параметры параболы.

Взяв первую производную функции (22) по a и приравняв ее нулю, найдем абсциссу, а затем и ординату вершины параболы. Парабола проходит через точку E , и вершина ее расположена в точке A .

Координаты точки A :

$$a_A = OG = 0,1 = -\frac{d}{2c};$$

$$F_{x1A} = AG = F_{x0,1} = \frac{4ce - d^2}{4c}, \quad (23)$$

где $F_{x0,1}$ – значение касательной силы резания для острого лезвия при толщине срезаемого слоя 0,1 мм: $F_{x0,1} = p + 0,1k$.

Отсюда получим

$$d = -0,2c,$$

$$4ce - d^2 = 4c F_{x0,1}. \quad (24)$$

Точка E , лежащая на параболе, имеет координаты:

$$a_E = -\rho_0;$$

$$F_{x1E} = 0. \quad (25)$$

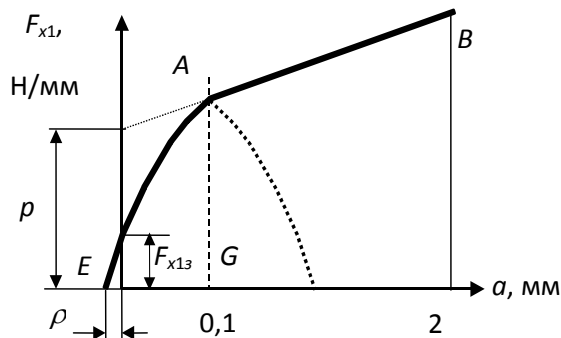


Рис. 31. Расчетная схема к определению касательной силы резания по задней грани

Подставляя эти координаты в уравнение параболы, получим

$$0 = c\rho_0^2 - d\rho_0 + e,$$

$$e = -c\rho_0^2 + d\rho_0. \quad (26)$$

Получена система уравнений для определения параметров c , d , e параболы:

$$\begin{cases} d = -0,2c; \\ 4ce - d^2 = 4c F_{x0,1}; \\ e = -c\rho_0^2 + d\rho_0. \end{cases} \quad (27)$$

После решения системы уравнений получено

$$c = -\frac{F_{x0,1}}{\lambda}; \quad d = \frac{0,2F_{x0,1}}{\lambda}; \quad e = F_{x0,1}\left(1 - \frac{0,01}{\lambda}\right), \quad (28)$$

где λ – коэффициент: $\lambda = \rho_0^2 + 0,2\rho_0 + 0,01$; где ρ_0 – начальный радиус закругления режущей кромки, мм.

Уравнение параболы

$$F_{x1} = (p + 0,1k)(1 - \frac{1}{\lambda}a^2 + \frac{0,2}{\lambda}a - \frac{0,01}{\lambda}). \quad (29)$$

7.11. Сила резания по задней поверхности лезвия

При $a = 0$ парабола пересекает ось ординат в точке, соответствующей значению силы резания по задней поверхности лезвия. Таким образом, для острого лезвия

$$F_{xz} = (p + 0,1k)(1 - \frac{0,01}{\lambda})$$

или

$$F_{xz} = (p + 0,1k)(1 - \frac{0,01}{\rho_o^2 + 0,2\rho + 0,01}). \quad (30)$$

Пренебрегая значением ρ_o^2 ввиду его малости, упрощая выражение и переходя к размерности ρ в мкм, получим формулу для расчета единичной касательной силы резания по задней поверхности острого лезвия:

$$F_{xz} = (p + 0,1k)(\frac{\rho_o}{\rho_o + 50}). \quad (31)$$

Примеры. По Е. Кивимаа при резании березы в торец и $\rho_o = 5$ мкм, $F_{x1} = 4 + 38a$, получим

$$F_{xz} = (4 + 0,1 \cdot 38)(\frac{5}{5 + 50}) = 0,71 \text{ Н / мм.}$$

Доля силы резания по задней поверхности в фиктивной силе резания

$$F_{x1z} = \frac{0,71}{p} p = \frac{0,71}{4} p = 0,18 p.$$

В исследованиях В.Г. Морозова при фрезеровании древесины единичная касательная сила резания выражается уравнением $F_{x1} = 1,5 + 13a$, силы резания по задней поверхности $F_{x1z} = 0,26 \text{ Н/мм;}$

$$F_{x13} = \frac{0,26}{p} p = \frac{0,26}{1,5} p = 0,17 p.$$

Расчетные значения по величине близки к принятым $F_{x13} = 0,2 p$. Отклонения составляют соответственно 10 и 15%.

А.Л. Бершадским

7.12. Зависимость удельной силы резания от толщины среза

Для определения удельной силы резания надо главную составляющую (касательную) силы резания поделить на поперечное сечение среза или касательную единичную силу при ширине среза 1 мм поделить на толщину среза, т.е.

$$F_{уд} = \frac{F_{x1}}{a} = k + \frac{p}{a}. \quad (32)$$

Это уравнения гиперболы. Найдя ее предельные значения при $a \rightarrow 0$ и $a \rightarrow \infty$, получим ее оси асимптот $a = 0$ и $F_{уд} = k$. График зависимости удельной силы резания от толщины срезаемого слоя показан на рис. 32. С ростом толщины среза $F_{уд}$ убывает.

7.13. Учет затупления лезвий

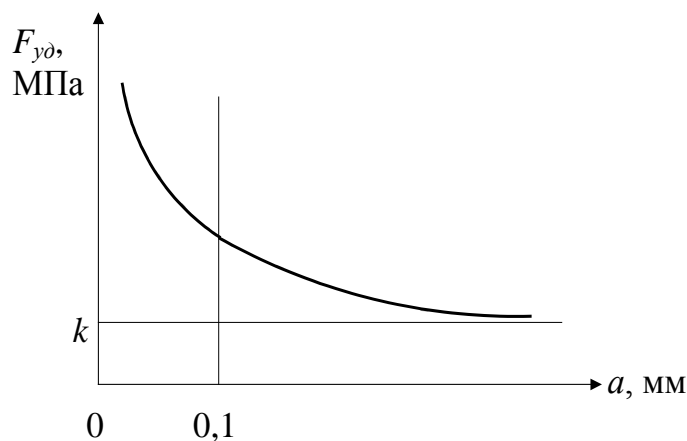


Рис. 32. Зависимость удельной силы резания от толщины среза

По мере затупления режущих кромок лезвий значения касательной силы резания увеличиваются. Увеличение силы резания учитывают коэффициентом затупления α_{pz} по задней поверхности лезвия и коэффициентом затупления α_{pn} по передней поверхности лезвия.

Было предложено рассчитывать единичную касательную силу резания для затупленного лезвия по следующей формуле:

$$F_{x11} = \alpha_{\rho z} p + \alpha_{\rho n} ka. \quad (33)$$

Коэффициент $\alpha_{\rho n}$ при резании массивной древесины незначительно отличается от единицы, поэтому принимают $\alpha_{\rho n} = 1$. На рис. 33 линией $EdAB$ представлен график зависимости касательной силы резания для острого лезвия, линией $E_T d_T A_T B_T$ – для тупого лезвия. Фиктивная сила резания для тупого лезвия находится с учетом коэффициента затупления α_ρ : $p_T = \alpha_\rho p$.

Из точки T проходит прямая линия $A_T B_T$ зависимости касательной силы резания от толщины срезаемых макрослоев. Если $\alpha_{\rho n} = 1$, то прямые линии графика AB и $A_T B_T$ проходят параллельно.

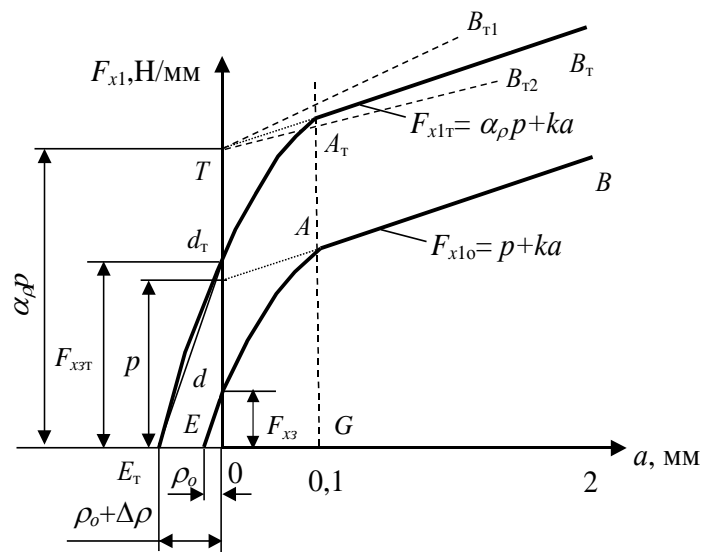


Рис. 33. Графики для расчета коэффициента затупления

Сила резания по задней поверхности лезвия:

для острого лезвия

$$F_{x3} = (p + 0,1k) \left(\frac{\rho_0}{\rho_0 + 50} \right). \quad (34)$$

для тупого лезвия

$$F_{x3T} = (\alpha_\rho p + 0,1k) \left(\frac{\rho_0 + \Delta \rho}{\rho_0 + \Delta \rho + 50} \right). \quad (35)$$

Заменим отрезки парабол Ed и $E_T d_T$ прямыми линиями и получим два подобных треугольника: $0d_T E_T$ и $0dE$. Составим отношение сторон этих треугольников

$$\frac{0d_T}{0d} = \frac{0E_T}{0E}. \quad (36)$$

Коэффициент затупления лезвия

$$\alpha_\rho = 1 + \left(1 + 0,1 \frac{k}{p}\right) \frac{\Delta\rho}{\rho_o + 50}. \quad (37)$$

Из (37) следует, чем больше значение k и меньше p , тем больше значение коэффициента затупления α_ρ .

Пример. Определим значение коэффициента затупления α_ρ при резании с $\rho_o = 5$ мкм и $\Delta\rho = 20$ мкм и касательной силой резания, описанной уравнениями

$$F_{x1} = 4\alpha_\rho + 38a,$$

$$F_{x1} = 1,5\alpha_\rho + 13a.$$

Для первого уравнения получим следующее выражение для α_ρ :

$$\alpha_\rho = 1 + \frac{\left(1 + 0,1 \frac{38}{4}\right)20}{5 + 50} = 1,71.$$

Для второго уравнения получим

$$\alpha_\rho = 1 + \frac{\left(1 + 0,1 \frac{13}{1,5}\right)20}{5 + 50} = 1,68.$$

8. Коэффициент трения

8.1. Общие сведения

Изучение процесса внешнего трения связано с именем Леонардо да Винчи (1508 г.), который ввел понятие о коэффициенте трения и определил, что его величина равна 0,25. Французский исследователь Гильом Амонтон (1699 г.) утверждал, что для всех твердых тел коэффициент трения равен 0,3.

В настоящее время разработана молекулярно-механическая теория трения [13]. Согласно этой теории твердые тела вследствие шероховатости и волнистости их поверхностей при взаимодействии контактируют не всей номинальной поверхностью, а только

пятнами, выступами. В результате различной твердости тел их контактирующие области взаимно внедряются. При движении происходит упругое оттеснение материала, пластическое оттеснение и выцарапывание, нагребание материала.

В местах контакта происходит молекулярное сцепление, сопровождающееся глубинным вырыванием материала, или молекулярное сцепление пленок, которыми тела покрыты.

В общем случае сила трения может быть найдена по следующей формуле:

$$F = f(N + Sp_0), \quad (38)$$

где f – коэффициент трения скольжения;

N – сила нормального давления на поверхность;

S – фактическая площадь контакта между телами;

p_0 – добавочное давление, вызванное молекулярным сцеплением.

8.2. Коэффициент трения передней контактной поверхности лезвия с древесиной

Изменение коэффициента трения скольжения срезаемого слоя с передней поверхностью лезвия показано на рис. 34 [10]. С увеличением плотности и твердости древесины, а также давления на контактной поверхности, значение коэффициента трения уменьшается. Известно также, что с повышением влажности и температуры древесины, шероховатости поверхности лезвия и скорости скольжения коэффициент трения скольжения увеличивается.

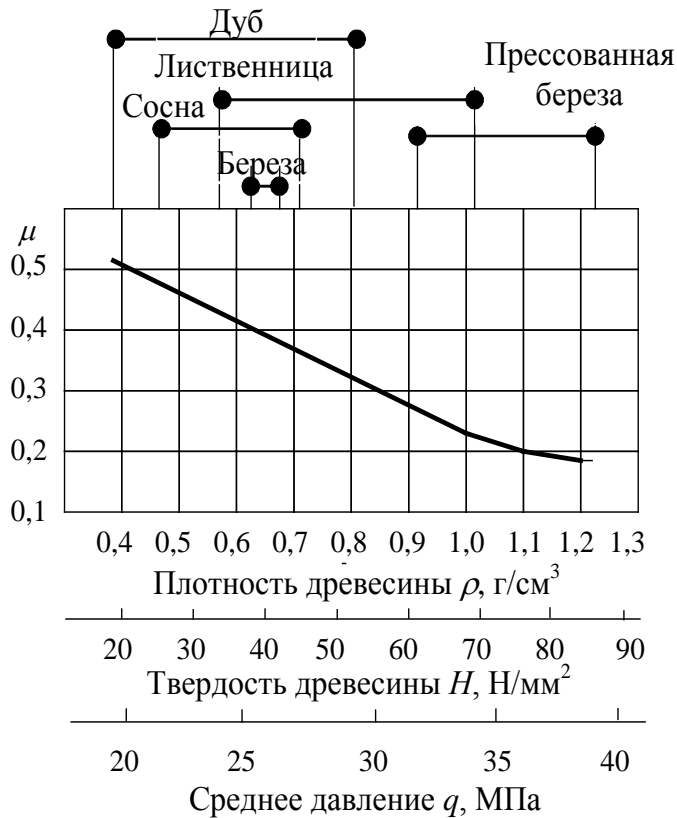


Рис. 34. Изменение коэффициента трения скольжения по передней поверхности лезвия при резании древесины с влажностью 10%

8.3. Расчет коэффициента трения

Переходный множитель. Единичную радиальную (нормальную) составляющую силы резания часто выражают через переходный множитель m : $F_{z1} = mF_{x1}$. Значение $m = m_1 + m_2$; составляющая m_1 зависит от радиуса закругления режущей кромки и толщины срезаемого слоя, значение m_2 зависит от угла резания лезвия (табл. 4) [14].

Значения коэффициента трения скольжения на передней поверхности лезвия можно определить расчетным путем. На рис. 35, а нормальные составляющие силы резания направлены в

Таблица 4

Значения переходного множителя m от касательной силы резания к нормальной [15]

$m = m_1 + m_2$	
$m_1 = f(a_{ср}, \rho)$	
$a_{ср}$	m_1 для ρ , мкм

Электронный архив УГЛТУ

мм	5	10	17	22	26	30	35
Цилиндрическое фрезерование							
0,02	0,07	0,40	0,70	0,95	1,15	1,25	1,40
0,04	0,00	0,27	0,50	0,68	0,83	0,90	1,05
0,06	-0,05	0,20	0,40	0,55	0,67	0,75	0,87
0,08	-0,09	0,13	0,31	0,46	0,55	0,64	0,75
0,10	-0,12	0,09	0,26	0,40	0,48	0,55	0,65
0,15	-0,16	0,02	0,16	0,28	0,36	0,42	0,50
0,20	-0,19	-0,02	0,11	0,21	0,27	0,32	0,38
0,30	-0,22	-0,08	0,03	0,12	0,17	0,22	0,28
0,40	-0,24	-0,11	0,00	0,06	0,11	0,16	0,22
0,50	-0,25	-0,13	-0,03	0,04	0,09	0,13	0,18
0,60	-0,26	-0,15	-0,05	0,03	0,07	0,11	0,16
0,70	-0,27	-0,16	-0,06	0,02	0,06	0,10	0,15
Пиление рамными и круглыми пилами							
$a_{ср}$, мм	m_1 для ρ , мкм						
	10	20	30	37	43	47	51
0,13	0,48	0,60	0,75	0,82	0,92	0,97	1,03
0,15	0,42	0,54	0,66	0,77	0,86	0,91	0,98
0,20	0,35	0,44	0,56	0,67	0,75	0,80	0,86
0,25	0,25	0,35	0,45	0,55	0,63	0,70	0,77
0,30	0,18	0,29	0,39	0,48	0,55	0,61	0,67
0,35	0,12	0,22	0,31	0,39	0,46	0,52	0,57
0,40	0,07	0,16	0,25	0,34	0,40	0,45	0,50
0,45	0,03	0,10	0,19	0,26	0,32	0,37	0,43
0,50	-0,01	0,06	0,15	0,21	0,27	0,32	0,36

0,60	-0,06	0,00	0,08	0,14	0,19	0,24	0,28
0,80	-0,11	-0,05	0,02	0,06	0,10	0,14	0,17
1,00	-0,13	-0,08	-0,02	0,02	0,06	0,09	0,12
1,20	-0,14	-0,10	-0,05	0,00	0,03	0,06	0,08
1,60	-0,15	-0,11	-0,07	-0,03	0,00	0,03	0,05
1,80	-0,16	-0,12	-0,08	-0,04	-0,01	0,01	0,03
$m_2 = f(\delta)$							
δ , град.	50	55	60	65	70	75	80
Цилиндрическое фрезерование							
m_2	-0,16	-0,08	0,00	0,08	0,16	0,24	0,32
Пиление рамными и круглыми пилами							
m_2	-0,15	-0,07	0,00	0,07	0,13	0,19	0,24

разные стороны. Нормальная сила резания по передней грани F_{zn} имеет отрицательный знак, а сила на задней грани F_{z3} – положительный знак. В этом случае угол трения $\varphi < \gamma$ [15].

Возможен случай, когда сила $F_{zn} = 0$ (рис. 35, б) и угол трения φ равен переднему углу γ .

Возможен также вариант, когда обе нормальные составляющие F_{zn} и F_{z3} имеют знак плюс и действуют в направлении оси Z (рис. 34, в). В этом случае угол трения $\varphi > \gamma$.

Разность углов для всех возможных случаев с учетом знака F_{zn}

$$\varphi - \gamma = \operatorname{arctg} \frac{F_{zn}}{F_{xn}}, \quad (39)$$

где γ – передний угол лезвия.

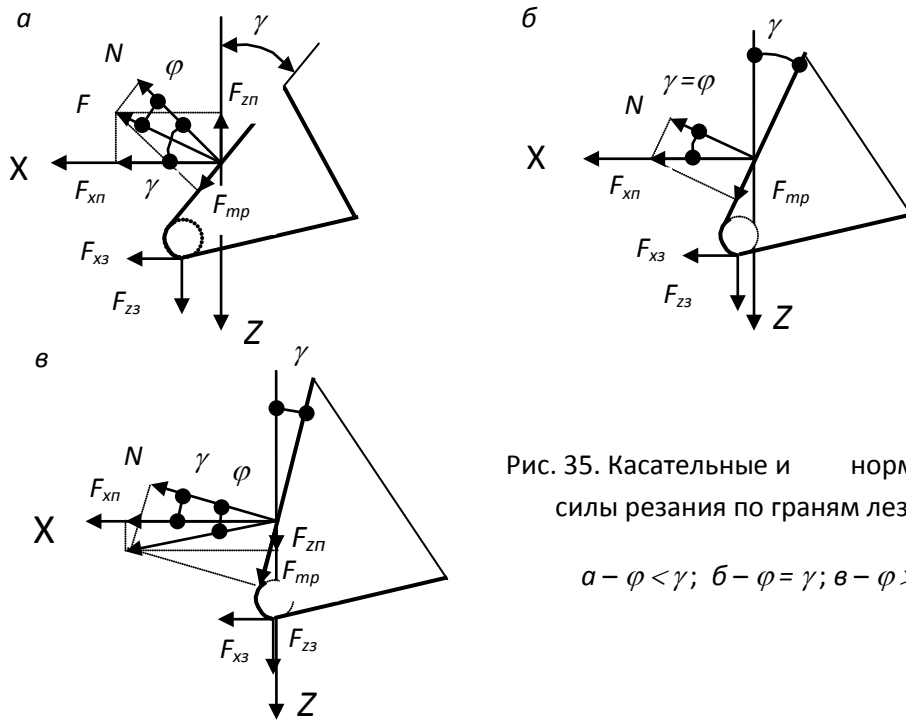


Рис. 35. Касательные и нормальные силы резания по граням лезвия:

a – $\varphi < \gamma$; *б* – $\varphi = \gamma$; *в* – $\varphi > \gamma$

Отсюда следует, что коэффициент трения срезаемого слоя по передней поверхности лезвия

$$\mu = \operatorname{tg}(\gamma + \operatorname{arctg} \frac{F_{zn1}}{F_{xn1}}), \quad (40)$$

где единичные силы резания по передней поверхности лезвия

$$F_{zn1} = F_{z1} - F_{z31} = mF_{x1} - \frac{\rho \alpha_\rho^2 F_{x0,1}}{2(\rho + 50)},$$

$$F_{xn1} = F_{x1} - F_{x31} = F_{x1} - F_{x0,1} \frac{\rho}{\rho + 50},$$

α_ρ – коэффициент затупления режущей кромки,

$$\alpha_\rho = 1 + (1 + 0,1 \frac{k}{p}) \frac{\Delta_\rho}{\rho_o + 50};$$

$F_{x0,1}$ - касательная сила резания при $a = 0,1$ мм.

Коэффициента трения по передней грани лезвия из (40)

$$\mu = \operatorname{tg}[\gamma + \operatorname{arctg} \frac{m(\rho + 50)F_{x1} - 0,5\rho\alpha_{\rho}^2 F_{x0,1}}{(\rho + 50)F_{x1} - \rho F_{x0,1}}]. \quad (41)$$

8.4. Расчетное значение коэффициента трения

Расчетные значения коэффициента трения по передней поверхности лезвия при резании древесины сосны, рассчитанные по формуле (41), представлены в табл. 5.

Таблица 5

Значения коэффициента трения по передней поверхности лезвия

Угол резания лезвия	Т о л щ и н а с р е з а е м о г о с л о я a , мм			
	0,1	0,15	0,3	0,4
	Радиус закругления режущей кромки $\rho = 10$ мкм			
50	0,53	0,461	0,386	0,371
55	0,537	0,463	0,383	0,365
60	0,546	0,486	0,382	0,362
70	0,563	0,482	0,386	0,362
80	0,567	0,486	0,386	0,360
	Радиус закругления режущей кромки $\rho = 35$ мкм			
50	0,395	0,289	0,239	0,264
55	0,394	0,288	0,24	0,267
60	0,395	0,292	0,246	0,274
70	0,403	0,306	0,264	0,292
80	0,404	0,318	0,281	0,307

Расчеты проводились для условия фрезерования древесины фрезой диаметром 100 мм при скорости главного движения 30 м/с и глубине фрезерования 2 мм. Начальный радиус закругления режущей кромки острого лезвия равен $\rho_0 = 5$ мкм.

Расчетные значения коэффициента трения близки по величине к экспериментальным (рис. 34).

8.5. Коэффициент трения лезвия по поверхности резания

Величину коэффициента трения по поверхности резания можно выразить через переходный множитель

$$m = \frac{F_z}{F_x} = \frac{F_{z3} + F_{zn}}{F_{x3} + F_{xn}}.$$

При толщине срезаемого слоя $a = 0$ силы F_{xn} и F_{zn} становятся равными нулю. Тогда, рассматривая касательную силу резания по задней поверхности лезвия F_{x3} как силу трения от нормального давления F_{z3} на поверхность резания, получим

$$m = \frac{F_{z3}}{F_{x3}} = \frac{1}{f} \quad (42)$$

или

$$f = \frac{1}{m}, \quad (43)$$

где f – коэффициент трения задней поверхности лезвия и примыкающей к ней части режущей кромки при $a = 0$.

Для расчета коэффициента трения предложена формула [16]

$$f = \frac{2}{\alpha_p^2}, \quad (44)$$

где α_p – коэффициент затупления лезвия (изменяется в диапазоне от 1 до 2,5).

9. Стружкообразование

9.1. Типы стружкообразования

Большое разнообразие условий резания можно свести к двум типам процесса стружкообразования: установившемуся и неустойчивому.

Установившийся процесс стружкообразования протекает непрерывно, не сопровождается разрушением зоны стружкообразования и характеризуется образованием сливной стружки в виде цельной ленты или спирали.

Неустойчивый процесс стружкообразования протекает периодически, сопровождается разрушением зоны стружкообразования и характеризуется образованием стружки, состоящей из отдельных элементов, связанных или не связанных между собой.

9.2. Условия организации установившегося процесса резания

Задача организации установившегося процесса резания заключается в выборе величины относительной деформации ε и введении в систему лезвие - стружка дополнительной энергии в виде работы новой силы F [10]. Значение ε может изменяться согласно графику сжатия древесины в замкнутом пространстве от 0 до 0,5 ... 0,6.

Указанная сила F должна дополнительно сжимать стружку в направлении, параллельном передней поверхности лезвия. Дополнительная сила F должна быть достаточной, чтобы полностью уплотнить древесину в стружке, чтобы ее относительная деформация ε приближалась к 0,5 ... 0,6.

Для организации установившегося процесса стружкообразования в зону резания вводят дополнительную силу F . Например, к лезвию 1 (рис. 36, а) присоединяют накладку 2, которая при резании дополнительно создает нормальную силу Q и силу трения F_1 . Проекция Q на переднюю поверхность лезвия дает значительную силу F , сжимающую стружку. Так устанавливают, например, ножи в ножевые валы и ножевые головки. Ножи крепят в корпусе вала (головки) клиньями, которые одновременно выполняют функцию накладки, стружколомателя.

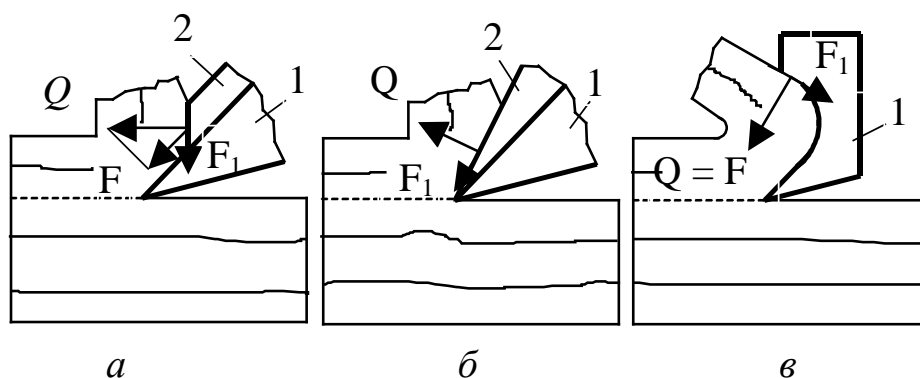


Рис. 36. Организация установившегося продольного резания древесины:

а – лезвие с накладкой; *б* – накладка на режущей кромке; *в* – лезвие цикли

По экспериментальным данным В.А. Тихонова (МГУЛ), кромку стружколомателя следует размещать от режущей кромки лезвия на расстоянии 0,5 ... 1 мм при толщине срезаемого слоя $a < 0,2$ мм и 0,5 мм при $a > 0,2$ мм. При таком резании опережающая трещина не образуется, стружка близка к сливной, качество обработки улучшается.

На рис. 36, *б* накладка 2 подвинута вплотную к режущей кромке лезвия 1. По сути, лезвие и накладка преобразованы в одно лезвие с углом резания 70° .

На рис. 36, *в* роль накладки выполняет вогнутая передняя поверхность режущего инструмента (цикли).

В лущильных станках дополнительная сила F вводится обжимной линейкой или обжимным роликом.

9.3. Условия организации неустановившегося процесса резания

Если условия установившегося резания не соблюдаются, оно превращается в периодический (неустановившийся) процесс образования элементов стружки. Сила резания непрерывно изменяется по мере образования каждого элемента стружки. Элементность стружки ведет к снижению качества образуемой поверхности.

На периодичность резания влияют вид резания (главные и промежуточные виды), порода древесины, ее влажность, размеры срезаемого слоя, острота режущей кромки, углы заточки и установки лезвия, скорость движения резания.

9.4. Модель стружкообразования

Характер стружкообразования при резании связан с анизотропностью древесины, которая приводит к тому, что при различной ориентации волокон древесины стружкообразование происходит по-разному.

Стружка, подрезанная режущей кромкой лезвия, скользит по передней грани (рис. 37, а). Нормальное давление передней грани и силы трения создают сосредоточенную силу F_n' , которая поворачивает стружку как консольно защемленную балку [11].

Между срезаемым слоем толщиной a и образовавшейся стружкой толщиной a_c расположена зона стружкообразования $nn'n_1n''$, в которой древесина перед срезанием деформируется. **Наибольшая деформация древесины происходит в плоскости стружкообразования nn_1 , расположенной под углом ε к плоскости резания.**

На середине плоскости стружкообразования приложим силы F_n' и F_n'' , равные по величине F_n . При этом образуется момент $M = F_n C$, где C – плечо пары сил F_n и F_n'' . Таким образом, вместо силы F_n на передней грани на плоскости стружкообразования получим силу $F_n' = F_n$ и момент M . Разложим силу F_n' на касательную T и нормальную N к плоскости стружкообразования. Касательная сила T вызывает в плоскости стружкообразования касательные напряжения сдвига τ (эпюра I), а нормальная сила N создает напряжения сжатия $\sigma_{сж}$ (эпюра II). Момент M изгибает стружку, растягивая внутренние слои и сжимая наружные слои древесины (эпюра III). Складывая нормальные напряжения эпюр II и III, получим эпюру IV.

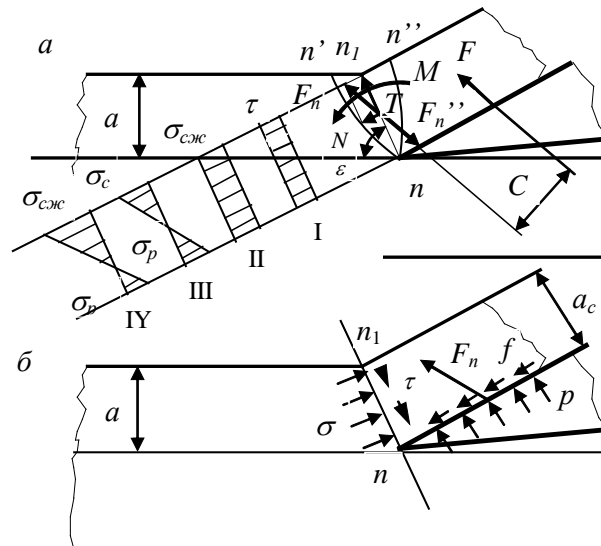


Рис. 37. Модель стружкообразования:

а – общая схема; *б* – условие равновесия стружки

Вывод. В каждый момент времени стружка, отсеченная от срезаемого слоя плоскостью стружкообразования (рис. 37, б), находится в равновесии под действием нормальных внешних давлений p и сил трения f на передней поверхности, с одной стороны, и нормальных σ и касательных τ напряжений по плоскости стружкообразования, с другой стороны. Отделение стружки происходит в результате совместного действия касательных и нормальных напряжений.

С внедрением лезвия в древесину одно из напряжений в плоскости стружкообразования τ , σ_p или $\sigma_{сж}$ в первую очередь может достичь предела упругости или прочности. При этом возможны следующие варианты:

- если $\tau \geq \tau_y$ (τ_y – предел упругости), то стружка не разрушается и срезается пластическим сдвигом в виде сплошной спирали или ленты;
- если $\tau = \tau_\theta$ (τ_θ – предел прочности), то стружка скалывается отдельными элементами;
- если $\sigma_p = \sigma_{вр}$, то около режущей кромки образуются трещины;
- если $\sigma_p = \sigma_{ур}$, то стружка образуется пластическим изгибом;
- если $\sigma_{сж} = \sigma_{всж}$, то стружка выпучивается.

9.5. Виды стружкообразования

При поперечном резании древесины возможно образование стружек сливных, скалывания и отрыва, при продольном резании различают стружки спиральные (сливные), многоугольные и выпучивания, при торцовом резании – стружки сливные и скалывания.

Образование того или иного типа стружки зависит от того, какой вид напряжений в зоне резания достигает критического значения: касательные напряжения или нормальные сжатия или растяжения. Отделение стружки происходит в результате совместного действия этих напряжений. При этом возможно создание условий, когда стружка срезается пластическим сдвигом или скалыванием элементов, пластическим изгибом или изгибом с частичным разрывом стружки или сжатием.

Отделение стружки пластическим сдвигом означает, что фактическое касательное напряжение по плоскости стружкообразования достигло величины предела упругости материала, хотя нормальное напряжение остается ниже предела упругости. При пластическом сдвиге образуется стружка сливная, а процесс резания – установившийся.

Стружкообразование путем скалывания элементов стружки имеет место в случае, когда касательные напряжения в плоскости стружкообразования достигли предела прочности материала, а нормальные напряжения растяжения меньше предела упругости. Процесс стружкообразования неустановившийся (периодический).

Стружкообразование путем изгиба древесины с частичным ее разрывом происходит в случае, когда напряжение растяжения, перпендикулярное плоскости стружкообразования, достигает предела прочности древесины, тогда как касательные напряжения в плоскости стружкообразования меньше предела упругости материала. На внутренней стороне стружки образуются трещины, не выходящие на наружную поверхность. Стружкообразование периодическое.

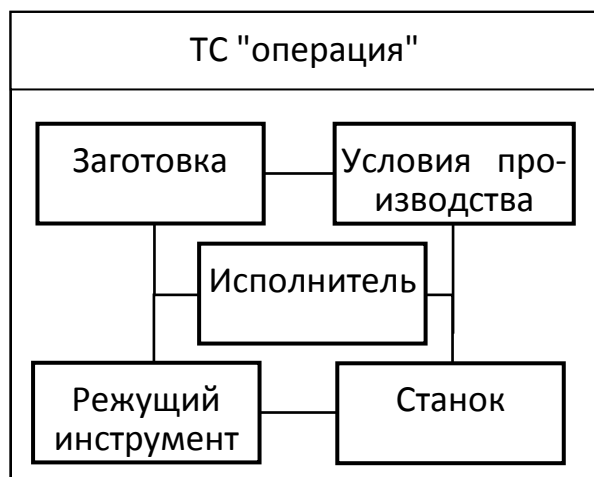
Стружкообразование путем пластического изгиба древесины происходит в случае, когда напряжение растяжения, перпендикулярное плоскости стружкообразования, превосходит предел упругости и не достигает предела прочности. Трещины в стружке не образуются, стружка срезается сливной. Стружкообразование установившееся.

При продольном срезании толстых слоев элемент стружки отделяется от массива, сжимается, выпучивается. Стружкообразование характеризуется разрушением в древесине от напряжений сжатия. Процесс резания периодический.

10. Влияние различных факторов на силы резания и качество обработки

10.1. Анализ и синтез процесса резания древесины

Резание древесины – сложный процесс, выполняемый в конкретных условиях технологической операции. При изучении такой процесс принято рассматривать как технологическую систему (ТС), состоящую из нескольких взаимосвязанных и относительно неделимых частей, образующих единое целое. Простейшая технологическая система "операция" состоит из пяти частей, называемых подсистемами (рис. 38).



Заготовку можно характеризовать следующими условно неделимыми частями: породой, влажностью, плотностью, прочностью, упругостью, пластичностью, температурой, размерами и др.

Режущий инструмент включает такие элементы, как угол заострения, количество лезвий, остроту режущих

Рис. 38. Технологическая система "операция"

кромки, физико-механические свойства материала зубьев, шероховатость поверхности лезвий, длину режущих кромок и др.

Станок включает следующие элементы: механизм главного движения с вращательным или возвратно-поступательным движением, механизм подачи, механизм базирования, количество рабочих движений и последовательность их выполнения, толщину и ширину срезаемого слоя, угол резания, задний угол, угол встречи (наклона, скоса) режущей кромки лезвия с волокнами древесины, скорость главного движения и движения подачи, силы резания и трения, мощность приводов и др.

Условия резания представляют собой совокупность условий, относящихся к заготовке, режущему инструменту, станку и окружающей среде, необходимых и достаточных для осуществления требуемого процесса резания. Если условия резания изменить, то и остальные подсистемы (заготовка, инструмент, станок) следует изменить так, чтобы они обеспечили реализацию процесса резания. Если изменить параметры заготовки, например древесина ее будет мерзлая, в которой свободная влага находится в твердой фазе, то другие части системы тоже должны быть изменены. Режущий инструмент, станок и условия резания должны обеспечить выполнение процесса резания. Таким образом, изменение любой подсистемы отразится на состоянии других подсистем.

Исполнитель в технологической системе – это человек, осуществляющий трудовую деятельность по выполнению технологической операции. Качество выполнения операции зависит от квалификации рабочего, условий труда и повышения квалификации, условий среды, в которой рабочий живет и трудится.

Анализ и синтез. Для изучения процесса резания древесины широко используют научные методы анализа и синтеза.

Анализ – это метод познания, заключающийся в расчленении подсистемы на составные части с целью их всестороннего изучения.

Синтез – это метод познания, заключающийся в соединении отдельных элементов в единое целое.

Анализ и синтез возможны только тогда, когда объект изучения рассматривается системно. При анализе выявляются наиболее существенные факторы (причины, движущие силы) подсистемы и изучается их влияние на процесс резания с определением положительного эффекта.

При синтезе подсистемы объединяются в единое целое, где разрозненные факторы взаимодействуют совместно. Совместное взаимодействие факторов, их причинно-следственные связи создают общий положительный эффект системы, превышающий сумму положительных эффектов, создаваемых отдельными факторами.

10.2. Влияние размеров среза

Ширина среза. Проведенными исследованиями доказано, что, несмотря на неоднородность строения древесины, можно считать силы резания прямо пропорциональными ширине срезаемого слоя. С учетом ширины срезаемого слоя b формулы для **касательных сил резания** будут иметь следующий вид:

– для макрослоев

$$F_x = (\alpha_\rho p + ka)b,$$

– для микрослоев

$$F_{x\mu} = [(\beta_c p + 0,1k)(1 - \frac{1}{\lambda} a^2 + \frac{0,2}{\lambda} a - \frac{0,01}{\lambda})]b,$$

где a – толщина срезаемого слоя, мм;

λ – коэффициент: $\lambda = \rho^2 + 0,2\rho + 0,01$. Здесь ρ подставляется в мм.

Зависимость нормальной (радиальной) силы резания от поперечного сечения срезаемого слоя, учитывая, что передний угол лезвия $\gamma = 90 - \delta$, можно описать формулой:

при $a \geq 0,1$ мм

$$F_z = [\frac{F_{x31}}{f} - F_{xn1} \operatorname{tg}(\gamma - \varphi)]b,$$

где f – коэффициент трения на задней грани, $f = \frac{2}{\alpha_\rho^2}$;

φ – угол трения на передней грани лезвия;

$$F_{x31} = (\alpha_\rho p + 0,1k) \frac{c}{(c + 50)};$$

$$F_{xn1} = F_{x1} - F_{x31}.$$

Тогда

$$F_z = [(\alpha_\rho p + 0,1k) \frac{0,5\rho\alpha_\rho^2}{(\rho + 50)} - k(a - 0,1)\operatorname{tg}(\gamma - \varphi)]b. \quad (45)$$

при $a_m < 0,1$ мм

$$F_{zm} = [(\alpha_p p + 0,1k) \frac{\rho b}{(\rho + 50) f}].$$

Графически эти зависимости изображены на рис. 39.

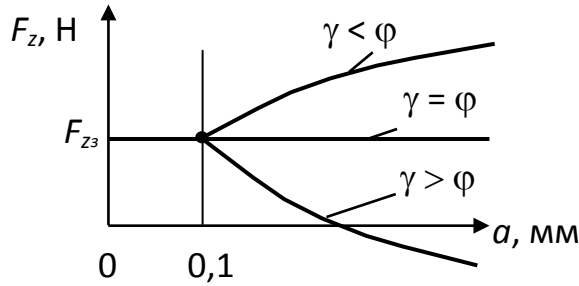


Рис. 39. Зависимость радиальной силы резания от толщины срезаемого слоя

При $\gamma = \varphi$ нормальная сила не зависит от толщины срезаемого слоя и равна нормальной силе, действующей по задней грани лезвия.

При $\gamma > \varphi$ нормальная сила в диапазоне макрослоев убывает и стремится к затягиванию.

При $\gamma < \varphi$ нормальная сила в диапазоне макрослоев увеличивается, называется силой отжима и отталкивает заготовку от задней поверхности лезвия.

толку от задней поверхности лезвия.

С увеличением толщины срезаемого слоя во всех случаях резания установившийся процесс резания переходит в неустановившийся. В зоне резания образуются трещины. Качество обработанной поверхности ухудшается.

Зависимость удельной силы резания от толщины срезаемого слоя. Для макрослоев

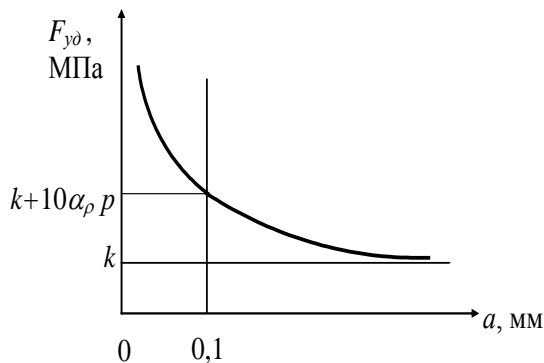
$$F_{уд} = \frac{F_{x1}}{a} = k + \frac{b_c p}{a}. \quad (46)$$

Это уравнение гиперболы. Найдя предельные значения $F_{y\partial}$ при $a \rightarrow 0$ и $a \rightarrow \infty$, получим оси асимптот $a = 0$ и $F_{y\partial} = k$. График зависимости удельной силы резания от толщины срезаемого слоя показан на рис. 40. С ростом толщины среза $F_{y\partial}$ убывает.

Для микрослоев

$$F_{уд\mu} = \frac{F_{x1\mu}}{a_\mu}.$$

График удельной силы резания для макро - и микрослоев имеет общую точку



7 Рис. 40. Зависимость удельной силы резания от толщины среза

при $a = 0,1$ мм, в которой $F_{y\partial} = k + 10\alpha_p\rho$.

10.3. Учет породы, влажности и температуры при резании древесины

10.3.1. Влияние породы древесины

Породы древесины различаются строением и плотностью. Плотность древесины – физическая величина, определяемая отношением массы натуральной древесины к ее объему.

В зависимости от влажности древесины различают следующие способы выражения плотности: стандартная (табличная), ρ_{12} (при стандартной влажности 12%); во влажном состоянии ρ_w ; в абсолютно сухом состоянии ρ_o ; условная $\rho_{усл.}$ (отношение массы абсолютно сухой древесины к объему максимально разбухшей или свежесрубленной).

Значение плотности зависит от строения древесины и содержания в ней экстрактивных веществ (смола). Для одной и той же древесной породы значения плотности изменяются в зависимости от условий роста дерева или местоположения образца в стволе дерева. Средние значения плотности древесины приведены в табл. 6.

Древесинное вещество представляет собой материал клеточных стенок древесины. Плотность древесинного вещества не зависит от породы древесины и равна 1530 кг/м^3 . Различная плотность, прочность на растяжение, сжатие и скалывание делают процесс резания многообразным.

Таблица 6

Средние значения плотности пород древесины

Порода	Плотность, кг/м ³			Порода	Плотность, кг/м ³		
	ρ_{12}	ρ_o	$\rho_{усл.}$		ρ_{12}	ρ_o	$\rho_{усл.}$
Пихта	375	350	300	Ольха	520	490	420
Кедровая сосна	435	410	350	Береза	630	600	500
Осина	495	470	400	Лиственница	660	630	520

Ель	445	420	360	Бук	670	640	530
Сосна	500	470	400	Дуб	690	650	550

С увеличением плотности удельная сила резания $F_{y\partial}$ растет. Зависимость эту для торцового (\perp), продольного ($//$) и поперечного ($\#$) видов резания можно представить прямолинейной (рис. 41). Частные отклонения от такой закономерности указывают на влияние особенностей строения каждой породы.

При расчете сил резания порода древесины учитывается коэффициентами

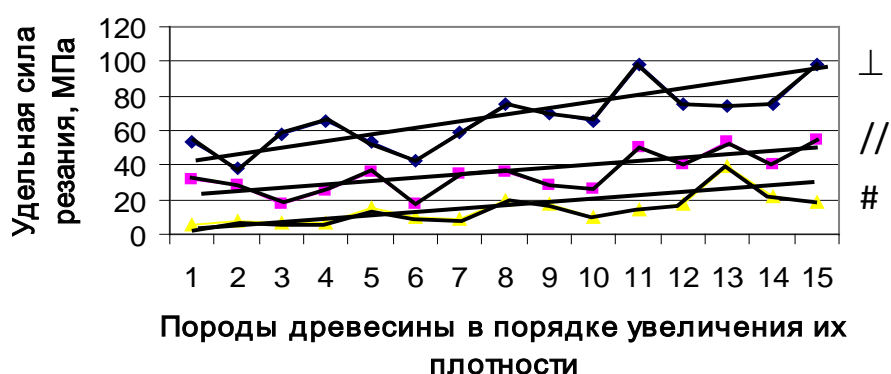


Рис. 41. Зависимость удельной силы резания от плотности древесины: 1– пихта сибирская; 2– кедр сибирский; 3– осина; 4– липа; 5– ель; 6– сосна; 7– вяз; 8– клен; 9– береза; 10– тис; 11– ясень; 12– лиственница; 13– дуб; 14 – бук; 15– граб на породу a_n , значения которых в относительных единицах приводятся ниже.

Порода	Липа	Осина	Ель	Сосна	Ольха
a_n	0,8	0,85	0,95	1,0	1,05
Порода	Лиственница	Береза	Бук	Дуб	Ясень
a_n	1,1	1,25	1,4	1,55	1,75

Касательная сила при резании любой древесины:

$$F_x = F_{xc} a_n,$$

где F_{xc} – касательная сила резания для сосны.

Касаясь качества обработанных поверхностей, отметим, что поверхности древесины более прочных пород обрабатываются более гладко.

10.3.2. Влияние влажности

В механической технологии используют древесину с влажностью 5...100%. С увеличением влажности до предела насыщения клеточных стенок ($W = 30\%$) прочность древесины при всех видах нагрузений значительно снижается. Сопротивление резанию тоже убывает.

При повышении влажности выше предела гигроскопичности прочность древесины остается неизменной, однако в древесине появляется свободная влага, которая при взаимодействии с лезвием выступает в роли смазки. При этом уменьшаются силы трения на лезвии и общее сопротивление резанию.

Учет влияния влажности на касательную силу резания осуществляют поправочными коэффициентами a_w , значения которых приведены ниже:

Влажность, %	5...8	10...15	20...30	50...60	Более 70
a_w	1,1	1	0,93	0,89	0,87

Касательная сила резания при любой влажности:

$$F_{xw} = a_w F_x,$$

где F_x – касательная сила резания при влажности $W = 10...15\%$.

При резании влажной древесины на обработанной поверхности образуется ворсистость и мшистость.

10.3.3. Влияние температуры

В зимнее время на первичную станочную обработку часто поступает мерзлая древесина. Прочность такой древесины выше, чем незамороженной, так как влага в клетках затвердевает при замораживании и сообщает древесине дополнительную прочность. Максимальная прочность мерзлой древесины наблюдается при ее влажности примерно 85%.

На рис. 42 показана зависимость единичной силы резания от температуры древесины сосны при угле резания 45° и угле заострения 35° [10].

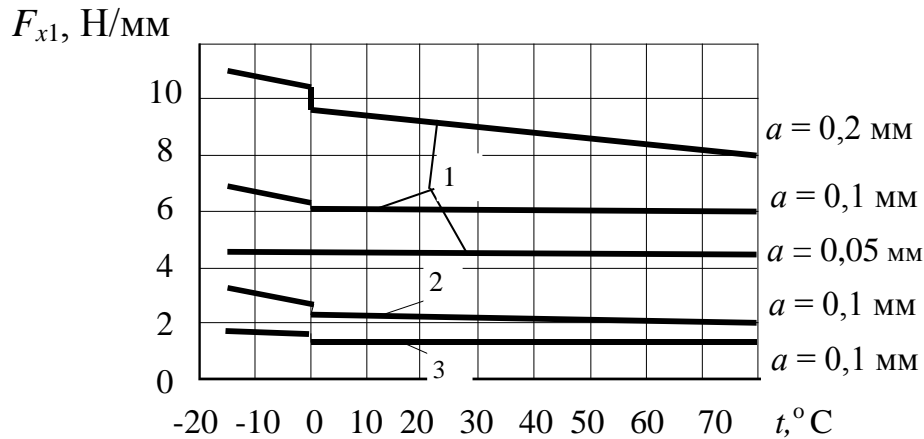


Рис. 42. Влияние температуры на касательную силу

резания влажной ($W = 80\%$) сосны:

1 – резание торцовое; 2 – продольное; 3 – поперечное

Увеличение касательной силы резания при обработке мерзлой древесины учитывают коэффициентом влажности, который имеет максимальное значение при $W > 70\%$: $a_w = 1,5$. Воздействие высоких температур на влажную древесину вызывает существенное необратимое снижение прочности. Сопротивление резанию при этом понижается.

10.4. Влияние видов резания

Для расчета единичной касательной силы для трех главных видов резания по методике А.Л. Бершадского получены следующие выражения:

$$F_{x1\perp} = (A_{\perp}\delta + B_{\perp}V' - B_{\perp})a + \alpha_{\rho}p_{\perp} = k_{\perp}a + \alpha_{\rho}p_{\perp};$$

$$F_{x1//} = (A_{//}\delta + B_{//}V' - B_{//})a + \alpha_{\rho}p_{//} = k_{//}a + \alpha_{\rho}p_{//}; \quad (47)$$

$$F_{x1\#} = (A_{\#}\delta + B_{\#}V' - B_{\#})a + \alpha_{\rho}p_{\#} = k_{\#}a + \alpha_{\rho}p_{\#},$$

где F_{x1} – касательная единичная сила резания, для ширины среза 1 мм, соответственно для торцового, продольного и поперечного вида резания, Н/мм;

δ – угол резания, град;

a – толщина срезаемого слоя, мм;

V' – условная скорость резания, м/с, причем, если $V < 50$ м/с, то $V' = (90 - V)$, иначе $V' = V$, где V – скорость главного движения. Эмпирические коэффициенты A , B , B , ρ для древесины сосны приведены в табл. 7 [6].

Таблица 7

Значения эмпирических коэффициентов A и B , МПа,
и ρ , Н/мм для древесины сосны

A_{\perp}	$A_{//}$	$A_{\#}$	B_{\perp}	$B_{//}$	$B_{\#}$ *
0,550	0,196	0,029	0,196	0,069	0,059...0,069
B_{\perp}	$B_{//}$	$B_{\#}$	ρ_{\perp}	$\rho_{//}$	$\rho_{\#}$
19,62	5,40	0,59	4,80	1,57	0,98
* Меньшее значение $B_{\#}$ при $\delta < 55^{\circ}$, большее – при $\delta > 55^{\circ}$.					

Табличные коэффициенты можно пересчитать для переходных видов резания древесины. Если принять, что с переходом резания, например, от продольного к торцовому сопротивление резанию увеличивается пропорционально росту угла перерезания волокон, то можно любой коэффициент для переходного вида резания записать в следующем виде [17]:

$$\begin{aligned}
 A_{//-\perp} &= A_{//} + (A_{\perp} - A_{//}) \sin^{1,25} \varphi_{\text{в}}, \\
 A_{\#-\perp} &= A_{\#} + (A_{\perp} - A_{\#}) \sin^{1,25} \varphi_{\text{н}}, \\
 A_{\#-//} &= A_{\#} + (A_{//} - A_{\#}) \cos^2 \varphi_{\text{с}},
 \end{aligned}
 \tag{48}$$

где $\varphi_{\text{в}}$, $\varphi_{\text{н}}$, $\varphi_{\text{с}}$ – соответственно углы встречи (перерезания волокон), наклона и скоса, град.

При $\varphi_{\text{в}} = 0^{\circ}$, $A_{//-\perp} = A_{//}$ – резание продольное; при $\varphi_{\text{в}} = 90^{\circ}$, $A_{//-\perp} = A_{\perp}$ – резание торцовое.

По формулам (47) и (48) получены выражения для фиктивной силы резания и касательного давления древесины на переднюю грань при переходных видах резания древесины сосны:

$$p_{//-\perp} = 1,57 + 3,23 \sin^{1,25} \varphi_{\delta};$$

$$p_{\#-\perp} = 0,98 + 3,82 \sin^{1,25} \varphi_{\delta}; \quad (49)$$

$$p_{\#-//} = 0,98 + 0,59 \cos^2 \varphi_c;$$

$$p_{//-\perp\#} = p_{//-\perp} - (p_{//-\perp} - p_{\#-//}) \sin^{1,25} \varphi_{\delta}.$$

$$k_{\perp} = 0,55\delta + 0,196V' - 19,62;$$

$$k_{//} = 0,196\delta + 0,069V' - 5,4;$$

$$k_{\#} = 0,029\delta + CV' - 0,59.$$

$$k_{//-\perp} = 0,196\delta + 0,069V' - 5,4 + (0,354\delta + 0,127V' - 14,22) \sin^{1,25} \varphi_{\delta};$$

$$k_{\#-\perp} = 0,029\delta + CV' - 0,59 + (0,521\delta + (0,196 - C)V' - 19,03) \sin^{1,25} \varphi_{\delta}; \quad (50)$$

$$k_{\#-//} = 0,029\delta + CV' - 0,59 + (0,167\delta + (0,069 - C)V' - 4,81) \cos^2 \varphi_c.$$

$$k_{//-\perp\#} = k_{//-\perp} - (k_{//-\perp} - k_{\#-//}) \sin^{1,25} \varphi_{\delta}.$$

Здесь δ подставляют в град., V' – в м/с. Кроме того,

если $V \leq 50$ м/с, то $V' = (90 - V)$, иначе $V' = V$;

если $\delta \leq 55^\circ$, то $C = 0,059$, иначе $C = 0,069$.

10.5. Влияние параметров режущего инструмента

10.5.1. Влияние угла резания

Угол резания определяет положение передней поверхности лезвия относительно плоскости резания. При внедрении лезвия в древесину передняя поверхность производит

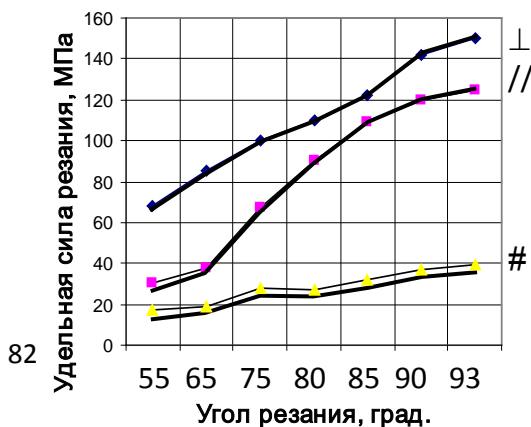


Рис. 43. Влияние угла резания на удельную силу резания по Е. Кивимаа

(береза, $W=11\%$, $a = 0,1$ мм, $\rho = 5$ мкм,

сжатие волокон, сдвиг или изгиб стружки при ее образовании.

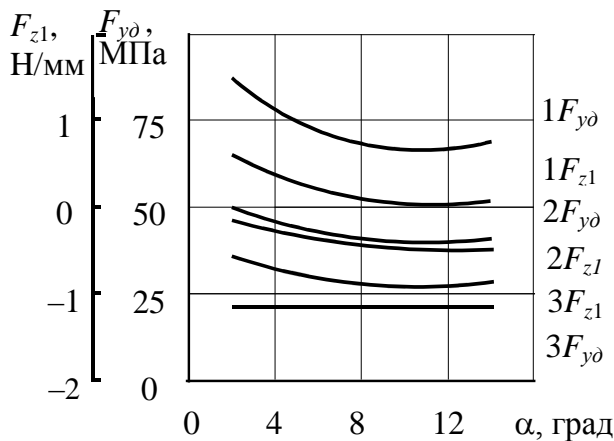
Чем больше угол резания, тем сильнее деформируется материал перед лезвием и больше сила резания (рис. 43).

Нормальная сила резания F_{z1} с ростом угла резания увеличивается в сторону отжима, а установившийся процесс резания переходит к неустановившемуся, высота неровностей на обработанной поверхности увеличивается.

10.5.2. Влияние заднего угла

При работе лезвие деформирует поверхность резания своей задней гранью.

С увеличением заднего угла при постоянном угле резания удельная сила резания убывает, так как при этом уменьшаются площадь контакта задней грани с древесиной, нормальное давление на заднюю грань и силы трения (рис. 44). Однако это



убывание не может происходить бесконечно. Минимальное значение кривые графиков имеют при $\alpha = 10^\circ$. При дальнейшем увеличении заднего угла теряется жесткость лезвия, тело его ослаблено, режущая кромка выкрашивается, быстро затупляется, возможен даже аварийный износ лезвия. В этом случае силы резания по задней грани из-за износа лезвия возрастают.

Рис. 44. Зависимость удельной силы и единичной нормальной силы от заднего угла при резании древесины бука: $W = 10\%$, a

$= 0,1 \text{ мм}$, $\delta = 50^\circ$, $V = 0,1 \text{ м/с}$, $\rho_0 = 4 \text{ мкм}$:

1 – торцовое резание; 2 – продольное;

Нормальная сила резания с увеличением заднего угла убывает и стремится к затягиванию.

Уменьшение сил трения с ростом заднего угла благоприятно сказывается на гладкости обработанных поверхностей. Вырывов, ворсистости и мшистости на поверхностях становится меньше.

10.5.3. Влияние положения лезвия при резании

С целью улучшения условий резания и достижения хорошего результата при обработке древесины широко используют прием смещения **главной секущей плоскости P_τ** относительно **нормальной секущей плоскости P_n** (рис. 45). Для этого используют прямое или косое лезвие.

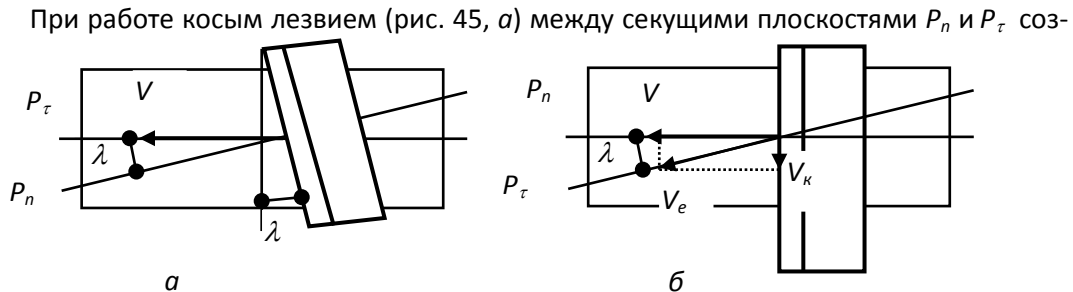


Рис. 45. Положение главной секущей плоскости при резании лезвием: а – косым; б – прямым

дают угол, равный углу наклона режущей кромки λ .

При работе прямым лезвием иногда создают касательное рабочее движения со скоростью V_k (рис. 45, б), которое при одновременном действии главного рабочего движения обеспечивает результирующее рабочее движение со скоростью V_e . В этом случае главная секущая плоскость P_τ пройдет перпендикулярно плоскости резания и параллельно направлению V_e .

10.6. Влияние скорости главного движения

Скорость деформирования древесины меняет ее механические свойства. С увеличением скорости главного движения древесина деформируется в зоне резания в большей степени упруго. Доля пластических деформаций при стружкообразовании сокращается, полная деформация уменьшается, коэффициент трения убывает. Все это должно привести к уменьшению удельной работы резания.

При этом с увеличением скорости резания растет инерционный подпор. Частицы древесины, расположенные в массиве, находятся в покое, но, оказавшись в стружке, за короткий промежуток времени изменяют свою скорость от нуля до скорости резания. Величина силы инерции стружки увеличивается от скорости резания во второй степени. Это должно вызвать увеличение удельной работы резания.

По данным Н.К. Якунина, при пилении круглыми пилами удельная работа резания имеет минимальное значение при скорости резания 40...60 м/с. При цилиндрическом фрезеровании, по данным М.М. Козела, этот минимум наблюдается при скорости резания 40...55 м/с.

Усредненно принимают, что удельная работа резания имеет минимальное значение при $V = 50$ м/с.

Качество обработанных поверхностей с увеличением скорости резания улучшается. С увеличением скорости резания увеличивается также производительность процесса.

11. Режимы резания

11.1. Условия резания

Условия резания представляют собой совокупность параметров, относящихся к заготовке, режущему инструменту, станку и окружающей среде, необходимых и достаточных для осуществления требуемого процесса резания. Если хотя бы один параметр условия резания изменить, то остальные параметры подсистем (заготовка, инструмент, станок) следует привести в соответствие так, чтобы они обеспечили реализацию процесса резания. Например, если изменить параметр температуры заготовки (древесина будет мерзлая, в которой свободная влага находится в твердой фазе), то другие части системы тоже должны быть изменены. Параметры режущего инструмента и станка должны обеспечить выполнение процесса резания. Таким образом, изменение параметров любой подсистемы отразится на состоянии других подсистем.

11.2. Типы решаемых задач

Задача называется прямой, если при ее решении по заданной скорости подачи и другим параметрам процесса резания находятся силы и мощность резания.

Задача называется обратной, если при ее решении по заданной мощности механизма главного движения и другим параметрам процесса резания находится скорость подачи.

11.3. Режим резания

Режимом резания называют условия резания, от которых зависят технико-экономические показатели.

Режимы резания называются *рациональными*, если обработка резанием ведется с такими значениями режимных параметров, которые позволяют получить высокие технико-экономические показатели. Режимные параметры взаимосвязаны, и поэтому нельзя произвольно изменять значения одних без соответствующего корректирования значений других параметров. При выборе режимов резания производят соответствующее согласование всех параметров с учетом возможности их реализации на используемом станке.

11.4. Оптимальные режимы резания

В каждом режиме резания можно выделить один или несколько главных параметров, которые могут выступать как параметры оптимизации, которым стараются придать экстремальные или предельные значения. Таким параметром может быть, например, скорость подачи, которой стремятся обеспечить максимальное значение.

Другие главные параметры - шероховатость обработанной поверхности, мощность электродвигателя механизма главного движения и др. – рассматривают как ограничивающие параметры, или ограничения критериев качества.

Критерии качества служат показателями совершенства, прогрессивности режима резания. Они позволяют выбрать наилучший вариант режима резания из альтернативных.

За критерий качества можно принять любой параметр процесса резания, по которому можно судить о достоинствах режима резания. К критериям предъявляется лишь одно требование: монотонная связь с качеством. Это значит, чем меньше (больше) критерий, тем лучше. Например, чем больше производительность, меньше энергоемкость процесса, меньше шероховатость и себестоимость, тем лучше режим резания. Для оценки режима резания принимают несколько критериев.

Каждое критериальное ограничение назначается по условию – это худшее значение критерия, на которое согласен расчетчик. Наилучшим набором параметров процесса резания считается тот набор, для которого все критерии одновременно принимают наименьшие значения в пределах их ограничений.

Оптимальным (рациональным) является тот вариант режима резания, при котором рассчитанные или выбранные значения режимных параметров удовлетворяют следующим условиям:

а) практически могут быть реализованы на деревообрабатывающих станках;

б) удовлетворяют требованиям всех критериальных ограничений;

в) наиболее полно позволяют достичь максимальных или минимальных значений оптимизируемых параметров.

11.5. Предварительный выбор основных режимных параметров

Выбор скорости главного движения. Экспериментально доказано, что минимальные затраты энергопотребления наблюдаются при определенных значениях скорости главного движения (табл. 8) [17].

Таблица 8

Рекомендуемые значения скоростей главного движения резания
и периода стойкости

	V , м/с	T , ч
Пилы:		
рамные – ГОСТ 5524-75	5 ... 8	4
круглые стальные – ГОСТ 980-80	40 ... 80	4
дисковые с пластинками твердого сплава –		
ГОСТ 9769-79	50	30
ленточные столярные – тип 1(ГОСТ6532-77) ленточные де-	25 ... 40	4
лительные – тип 2 (ГОСТ6532-77) ленточные для распиловки	35 ... 40	4
бревен и брусьев ГОСТ 10670-77		
	40	4
Ножи:		
плоские фрезерные типов 1 и 2 –		
ГОСТ 6567-75	25 ... 55	8
плоские фрезерные с пластинками твердого сплава – ГОСТ		
14956-79	40 ... 55	40
Фрезы:		
насадные стальные – ГОСТ 11290-80 и др.	20 ... 60	8
насадные с пластинками твердого сплава		

Электронный архив УГЛТУ

ГОСТ 11291-81 и др.	20 ... 60	40
концевые – ГОСТ 8994-80	7,5	4
Сверла – ГОСТ 22057-76, 22053-76 и др. . .	7,5	4
Фрезерные цепочки – ГОСТ 22459-77. .	1,5	4

работка древесины на станках**12. Классификация процессов резания на станках**

Все процессы сложного резания на станках можно поделить по функциональному назначению на три класса (рис. 46): станки для деления, удаления припуска и глубинной обработки.

Подклассы процессов резания характеризуются принципом их организации – резание с образованием стружки-отхода, стружки-продукта или бесстружечное резание. Кинематические схемы резания и применяемый режущий инструмент позволяют выделить группы (виды) резания.



Рис. 46. Классификация процессов станочного резания

13. Пиление

13.1. Общие вопросы пиления

13.1.1. Уширение пропила

При пилении боковые режущие кромки зубьев деформируют стенки пропила. После прохода зубьев стенки пропила упруго восстанавливаются, расстояние между ними сокращается, и полотно пилы может быть зажатым. От трения пила настолько сильно нагревается, что работать ею становится невозможно, она теряет устойчивость.

Чтобы предотвратить зажим пилы, делают уширение ее зубчатой кромки. **Ширина пропила всегда должна быть больше толщины полотна пилы. Если это условие не соблюдается, то стенки пропила зажимают пилу.**

Уширение пропила выполняют путем развода или плющения зубьев, или применяют пилы с боковым поднутрением, или пилы оснащают пластинками из твердых сплавов, зубья которых затачивают с боковым поднутрением. При **разводе** (рис. 47, а) кончики зубьев отгибают поочередно в разные стороны. При **плющении** (рис. 47, б) кончики

зубьев расплющивают и формируют, придавая им форму лопаточек, расположенных симметрично относительно корпуса пилы.

Круглые **строгальные пилы** (рис. 47, в), имеют боковое поднутрение под углом 15' и 25'.

Зубья пил с пластинами твердого сплава (рис. 47, г) имеют форму лопаточек с боковым поднутрением.

Ширина пропила в этом случае находится следующим образом:

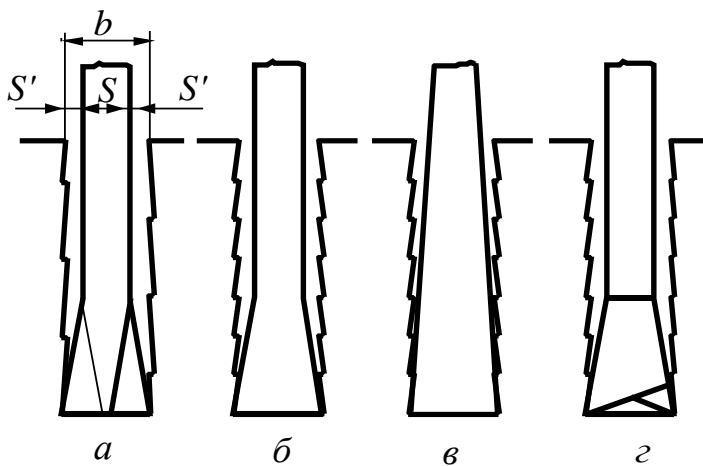


Рис. 47. Способы уширения пропила:

a – развод зубьев; $б$ – плющение зубьев;
 $в$ – использование строгальных пил;

$$b = S + 2S' , \quad (51)$$

где b – ширина пропила, мм;

S – толщина полотна пилы, мм;

S' – уширение зубьев на каждую сторону, мм.

Значения S' рекомендуется брать по справочнику в диапазоне 0,2...1,1 мм. Его величина зависит от породы древесины (плотности), влажности и условий работы.

13.1.2. Удельная сила трения

Пропил – это узкая щель, образуемая пилой. Срезаемая стружка шириною b попадает в пропил шириною b_n .

Из-за упругости древесины стенки пропила после прохода зуба частично восстанавливаются. Ширина пропила $b_n < b$. Таким образом, стружка оказывается зажатой с боков стенками пропила (рис. 48).

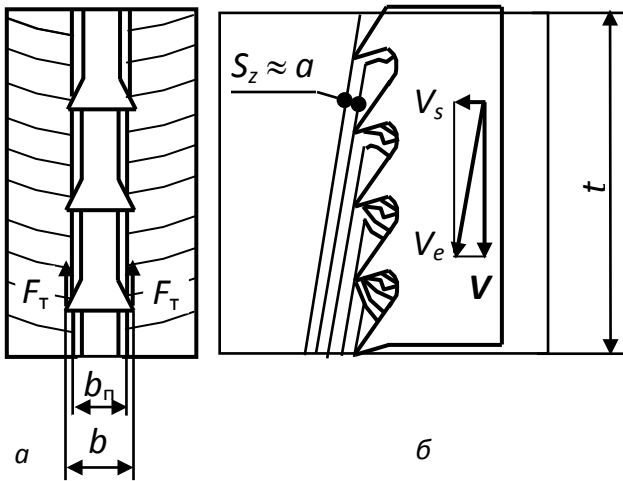


Рис. 48. Схема удаления стружек из пропила: a – упругое восстановление стенок пропила; b – заполнение междузубных впадин стружкой (средняя сила трения стружки о стенки пропила), МПа.

При дальнейшем движении зуба стружка, преодолевая силы трения F_T по стенкам пропила и передней поверхности зуба, впрессовывается в междузубную впадину, постепенно заполняя ее. Чем больше путь зуба в древесине, тем больше накапливается стружек во впадине, тем сильнее она спрессовывается и трется о стенки пропила.

Средняя сила трения за проход зуба в заготовке

$$F_{cp} = \alpha S_z t,$$

где α – касательное давление на зуб от трения стружки в пропиле (удельная сила трения стружки о стенки пропила), МПа.

Удельная сила трения стружки в пропиле равна отношению средней силы трения к поперечному сечению срезаемого слоя:

$$k_{тр} = \frac{F_{cp}}{S_z b} = \frac{\alpha S_z t}{S_z b} = \alpha \frac{t}{b}. \quad (52)$$

Значения α для пил с разведенными α_λ и плющеными α_Δ зубьями находят по (табл. 9).

Таблица 9

Касательное давление α на зуб пилы от трения стружки в пропиле

α , МПа	Пилы		
	рамные	ленточные	круглые
$\alpha\lambda$	0,25	0,25	0,70...0,74
$\alpha\Delta$	0,2	0,2	0,57...0,59

Удельная сила трения представляет собою касательное давление стружки на зуб, создаваемое силами трения в пропиле.

13.1.3. Производительность пилы по вместимости впадин

Производительность пиления характеризуется величиной подачи на зуб, определяемой по вместимости междузубной впадины. С учетом значений коэффициента уплотнения опилок σ (напряженности впадины) и коэффициента площади впадины θ (формы зуба) выражение для подачи на зуб находят так, мм

$$S_z = \theta t_3^2 / (t\sigma), \quad (53)$$

где t_3 – шаг зубьев пилы, мм;

t – высота пропила, мм.

Коэффициент площади впадины θ для различных инструментов колеблется от 0,12 до 0,6. Коэффициент напряженности впадины зуба σ для рамных пил принимают 0,8...1,5, для ленточных – 1,5...2,5 и для дисковых – 2...3.

Подставляя в (53) средние значения коэффициентов θ и σ , получим следующие формулы для расчета подачи на зуб по заполнению впадин опилками:

при пилении рамными пилами

$$S_{zo} = t_3^2 / (2t_{\max}); \quad (54)$$

при пилении ленточными пилами

$$S_{zO} = t_3^2 / [(5...6)t_{\max}]; \quad (55)$$

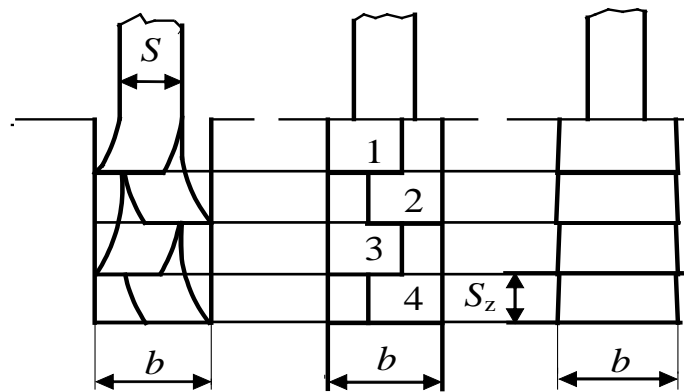
при пилении дисковыми пилами

$$S_{zO} = t_3^2 / [(4...5)t_{\max}], \quad (56)$$

где t_{\max} – максимальная высота пропила.

13.1.4. Толщина срезаемого слоя при работе плющеными и разведенными зубьями

На рис. 49 показаны три пропила одинаковой ширины b , в которых срезаются слои древесины при одинаковой подаче на зуб S_z . В первом пропиле показаны разведенные зубья пилы, а во втором пропиле – формы слоев, срезаемых этими зубьями. В третьем пропиле изображена форма слоев, срезаемых плющеными зубьями. Площади



слоев, срезаемых разведенными и плющеными зубьями, одинаковы и равны bS_z . Среднее значение подачи на зуб по длине режущей кромки находят путем деления площади среза на длину режущей кромки b_n :

$$S_z = S_z b / b_n.$$

Обычно принимают

$$a = S_z \sin \mu, \quad (57)$$

где μ – угол подачи (угол между направлениями скоростей движения подачи и главного движения).

13.1.5. Форма зуба пилы для продольного и поперечного пиления

Распиловка древесины может производиться в различных направлениях по отношению к волокнам. При этом различают продольное и поперечное пиление (рис. 50). В первом случае стенки пропила расположены параллельно (продольно) волокнам, а во втором – перпендикулярно (поперек).

Правило пиления можно сформулировать так: **при внедрении зуба в древесину сначала необходимо перерезать волокна, а затем с наименьшим сопротивлением отделить их от массива и удалить стружку из пропила.**

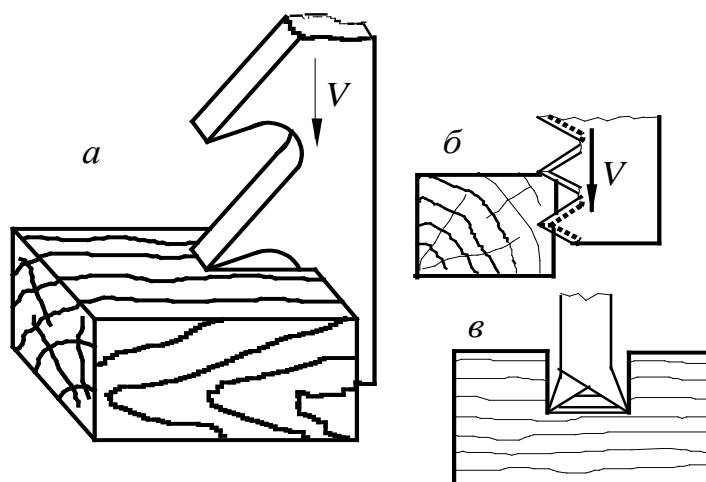


Рис. 50. Схемы

пиления:

a – продольное;

б – поперечное;

в – образование стружки при

поперечном

пилении

При продольном пилении (рис. 50, *a*) зуб своей главной режущей кромкой врезается в древесину и перерезает ее волокна. Клин зуба проникает в древесину и передняя грань стремится отжать надрезанную стружку от массива. Так как прочность древесины в плоскости волокон слабая, то надрезанная часть стружки скалывается и попадает в междузубную впадину.

Зуб пилы должен иметь угол резания при главной режущей кромке всегда меньше 90° . Боковые режущие кромки не затачивают и оставляют их с углом резания 90° .

При поперечном пилении (рис. 50, *б*) работу перерезания волокон древесины выполняют боковые режущие кромки. Для этого зубья выполнены с боковой заточкой. При внедрении зубьев в древесину на глубину 0,8 мм напряжения на дне пропила, созданные скошенными передними гранями зубьев (рис. 50, *в*), достигают предела прочности на скалывание вдоль волокон и

перерезанные волокна скалываются то влево, то вправо вдоль волокон.

При поперечном пилении древесины основную работу выполняют боковые режущие кромки зубьев, наклоненные вперед и имеющие скошенные передние грани. Для обеспечения этих условий зубья пилы затачивают так: угол резания при главной режущей кромке $\delta > 90^\circ$, а боковая режущая кромка выполняется с углом косой заточки $\varphi = 40...45^\circ$.

Возможны и другие способы организации пиления.

13.2. Пиление древесины рамными пилами

13.2.1. Общие сведения

Пиление полосовыми (рамными) пилами на лесопильных рамах предназначено для продольного деления бревен на брусья и доски и брусьев на доски с заданными размерами и шероховатостью.

Сегодня в России с использованием лесопильных рам выпускается от 50% до 75% пиломатериалов.

У лесопильных рам можно отметить ряд достоинств и недостатков. Конструктивный основной недостаток лесопильных рам заключается в способе преобразования вращательного движения электродвигателя в возвратно-поступательное движение пильной рамки с пилами. В результате такого преобразования возникают вибрации частотой 5-7 Гц, передаваемые на фундамент, повышается износ механизмов. Лесопильная рама имеет низкую и неравномерную скорость главного движения (5-7 м/с), ограниченную динамическими возможностями кривошипно-шатунного механизма, высокую энергоемкость механизма главного движения. На лесопильных рамах исключена возможность индивидуальной распиловки бревен, в результате чего ограничены возможности повышения полезного выхода пиломатериалов.

К преимуществам рамной распиловки бревен и брусьев можно отнести жесткое крепление до 12...20 рамных пил, обеспечивающее необходимую точность размеров и формы пиломатериалов, достаточно тонкий пропилен (около 3,5 мм), возможность организации поточной двухрядной распиловки. Кроме того, лесопильные рамы просты в обслуживании, надежны в эксплуатации и обеспечивают достижение высокого полезного

выхода пиломатериалов. На российских лесопильных предприятиях лесопильные рамы привычны и широко распространены, для работы на них и обслуживания подготовлен огромный контингент специалистов, налажено производство запасных частей для выполнения ремонтов. В связи с этим можно утверждать, что на российских предприятиях лесопильные рамы будут использоваться еще долго.

13.2.2. Рамные пилы

Рамная пила представляет собой полосу с приклепанными планками (тип 1) или без них (тип 2) и зубьями по одной из кромок (ГОСТ 5524 - 75). Ширина полотна пил соответственно для типов 1 и 2 $B = 180,5$ или $160,5$ мм, толщина $S = 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,5$ мм, длина $L = 1100; 1250; 1400; 1500; 1600; 1750; 1950$ мм. Шаг зубьев $t_3 = 18; 22; 26; 32$ мм, высота зубьев $h_3 = 12,5; 15; 18; 22$ мм.

Рамные пилы изготовляют из легированных инструментальных сталей: хромованадиевой 9ХФ и никелесодержащей 8Н1А. Хромованадиевая сталь обеспечивает максимальную износостойкость зубьев при хорошей их плющимости и разводимости. Это особенно важно при распиловке мерзлой древесины в зимний период. Пилы из стали 8Н1А характеризуются как самые прочные (по ударной вязкости) и предназначены для использования при оснащении их зубьев стеллитом.

Износостойкость зубьев. Зубья пил из стали 9ХФ, подготовленные разводом или плющением, должны перезатачиваться через 2,5...3,5 часа. При оснащении зубьев стеллитом ВЗКР период стойкости достигает одной смены (7...8 ч).

При изготовлении полотна пилы из легированной никелесодержащей стали марки 8Н1А и оснащении зубьев стеллитом период стойкости возрастает до 2 смен.

Рекомендуемые ЗАО "Инструмент" угловые параметры стеллитированных зубьев рамных пил приведены в табл. 10.

Таблица 10

Угловые параметры стеллитированных зубьев рамных пил

Лето				Зима			
Хвойные породы		Твердые породы		Хвойные породы		Твердые породы	
γ	α	γ	α	γ	α	γ	α
18°...19°	10°...20°	16°...17°	10°...20°	15°...16°	10°...22°	14°...15°	10°...23°

Примечание: γ – передний угол лезвия; α – задний угол лезвия.

Уширение пропила. Зубья рамных пил плющат или разводят. Величина уширения зубьев на сторону (табл. 11) зависит от породы распиливаемой древесины и ее температуры.

13.2.3. Кинематика пиления на лесопильной раме

Принцип работы лесопильной рамы показан на рис. 51. Постав пил (комплект из нескольких пил) закреплен в пильной рамке 3, которая установлена в вертикальных направляющих станины и шарнирно соединена с шатуном 2 и кривошипом коленчатого вала 1 кривошипно-шатунного механизма. Последний с помощью ременной передачи связан с приводом 5.

Таблица 11

Значения уширений зубьев S' , рекомендуемые
для рамного пиления древесины ЗАО “Инструмент”

Диаметр сырья, см	Величина уширения зубьев, мм			
	Сосна, ель, влажностью свыше 30%		Лиственница	Ясень, бук, ильм и др. твердые породы
	зима	лето		
до 30	0,65...0,8	0,75 ... 0,9	0,7 ... 0,8	0,45 ...0,60
30-50	0,7... 0,85	0,8 ... 1,0	0,8 ... 0,9	0,5 ... 0,7
свыше 50	0,75... 0,9	0,9 ...1,1	0,8 ... 1,0	

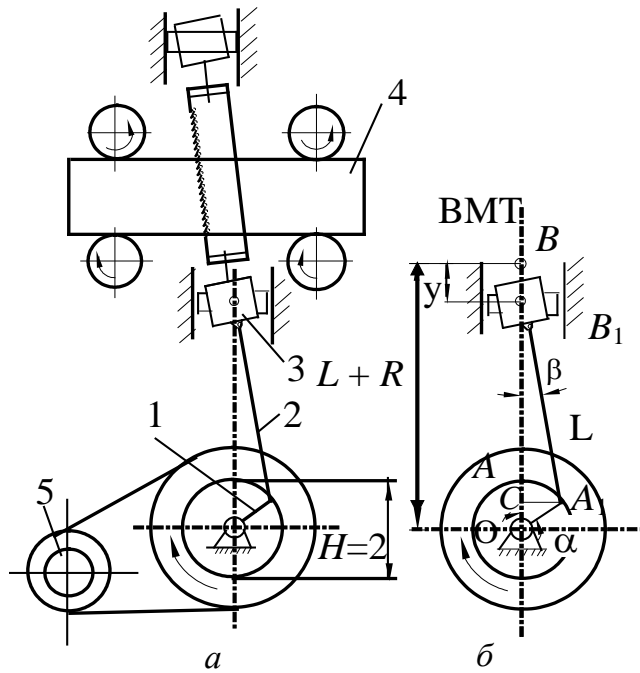


Рис. 51. Лесопильная рама:
 а – кинематическая схема;
 б – кривошипно-шатунно-ползунный механизм

При работе пильная рамка с пилами совершает возвратно-поступательное движение. Бревно 4 надвигается на пилы вальцовым механизмом подачи. В лесопильной раме при движении пил вниз (рабочий ход) происходит пиление, а при движении пил вверх (холостой ход) пильная рамка возвращается в исходное положение.

Возвратно-поступательное движение пильной рамки с пилами (рис. 51, б) прямолинейно. Путь, пройденный пильной рамкой:

$$y = L + R - (R \cos \alpha + L \cos \beta) = R(1 - \cos \alpha) + L(1 - \cos \beta) .$$

Длина шатуна в 8 раз больше длины кривошипа, и поэтому угол β мал. В связи с этим

$$y = R(1 - \cos \alpha) . \quad (58)$$

Скорость главного движения, м/с:

$$V = \frac{dy}{dt} = R \sin \alpha \frac{d\alpha}{dt} = R\omega \sin \alpha = V_o \sin \alpha , \quad (59)$$

где ω – угловая скорость вращения кривошипа, c^{-1} ;

V_o – окружная скорость вращения пальца кривошипа, м/с.

При выполнении расчетов часто пользуются средней скоростью главного движения, м/с:

$$V = Hn/30000, \quad (60)$$

где H – ход пильной рамки, мм;

n – частота вращения кривошипа, мин⁻¹.

Величина надвигания бревна в направлении подачи за двойной ход пил есть посылка S_{2x} .

Технические характеристики современных лесопильных рам приведены в табл. 12.

13.2.4. Принципиальные кинематические схемы пиления

Процесс пиления рамными пилами основан на сочетании двух движений – главного D_r и подачи D_s (рис. 52).

В лесопильных рамах с непрерывной подачей (рис. 52, а) главное движение резания D_r осуществляется с переменной скоростью, а движение подачи D_s имеет постоянную регулируемую скорость. Для обеспечения возможности надвигания бревна за время холостого хода пилы устанавливаются наклонно.

Таблица 12

Технические характеристики двухэтажных лесопильных рам

Параметры	2P50-1	2P50-2	2P63-1	2P63-2
Ход пильной рамки, мм	700	700	700	700
Наибольший диаметр распил. бревна, см	28	-	38	-
Наибольшая толщина распил. бруса, мм	-	240	-	320
Число двойных ходов, мин ⁻¹	360	360	345	345
Посылка, мм	15...75	15...75	10...75	10...75
Общая установленная мощность, кВт				

	138	133	138	133
--	-----	-----	-----	-----

Продолжение табл. 12

Параметры	2P80-1	2P80-2	2P100-1	2P100-2
Ход пильной рамки, мм	700	700	700	700
Наибольший диаметр распил. бревна, см	52	-	70	-
Наибольшая толщина распил. бруса, мм	-	400	-	600
Число двойных ходов, мин ¹	320	320	250	250
Посылка, мм	10...70	10...70	4...40	4...40
Общая установленная мощность, кВт	138	138	168	168

Окончание табл. 12

Параметры	2P75-3	PK63	PT40	РПМ
Ход пильной рамки, мм	700	400	250	410
Наибольший диаметр распил. бревна, см	52	38	13	55
Просвет пильной рамки, мм	750	630	400	650
Число двойных ходов, мин ¹	320	285	480	210
Посылка, мм	10...80	4...40	2...6	1,6...24
Общая установленная мощность, кВт	179	52,4	41,6	30,5

При одностолбчатой подаче за холостой ход пил (рис. 52, б) продвижение бревна на пилы происходит за время их холостого хода. В период действия главного движения ре-

зания движение подачи отсутствует, бревно неподвижно. Для пиления в таких условиях пилы крепят в наклонном положении.

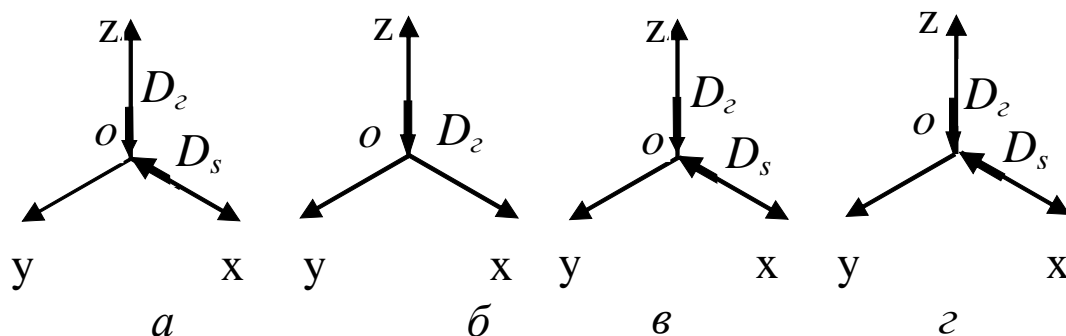


Рис. 52. Принципиальные кинематические схемы

рамного пиления:

a – с непрерывной подачей; *б* – с подачей за холостой ход;

в – с подачей за рабочий ход; *г* – с двухтолчковой подачей

При одностолчковой подаче за рабочий ход пил (рис. 52, *в*) движения главное и подачи осуществляются одновременно. Уклон пил в этих условиях не требуется.

Двухтолчковая подача осуществляется толчками за рабочий и холостой ход пил (рис. 52, *г*). Главное движение резания и движение подачи за рабочий ход осуществляются одновременно.

Для обеспечения возможности подачи в период холостого хода пилы устанавливают наклонно.

13.2.5. Свес пил

Если рамная пила установлена наклонно к направлению главного движения, то проекцию линии вершин зубьев на величине хода пилы H на направление подачи называют свесом пилы e , а угол отклонения ее от вертикали – углом свеса, или углом уклона ψ . Тогда величина уклона

$$e = H \operatorname{tg} \psi .$$

Величина надвигания бревна в направлении подачи за двойной ход пил называется посылкой S_{2x} .

Всю посылку за двойной ход пил можно представить так:

$$S_{2x} = S_{px} + S_{xx}.$$

Свес пил необходим для предотвращения скобления задними гранями зубьев дна пропила в период холостого хода (рис. 53). Минимальное значение уклона равно

$$e_{\min} = S_{xx}.$$

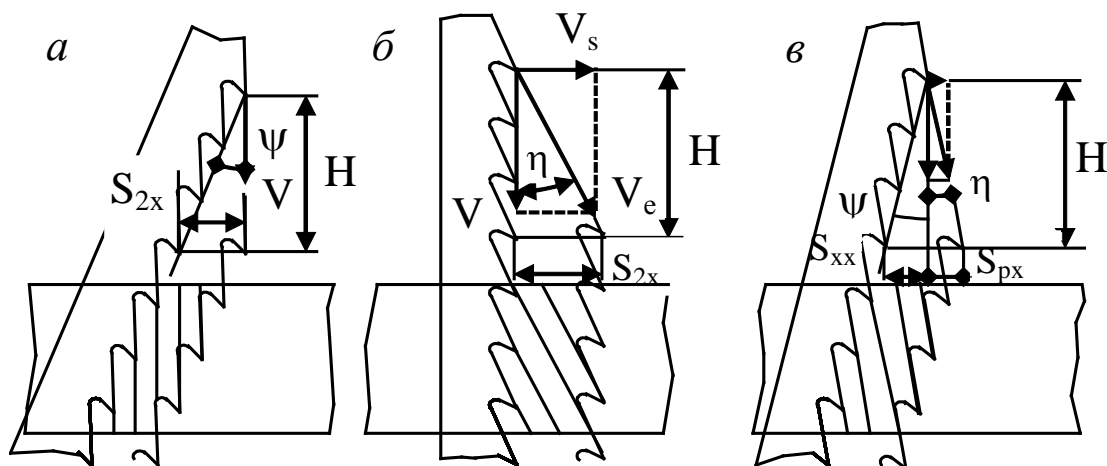
Величину свеса пил назначают так.

Для непрерывной подачи $e = S_{2x}/2 + (2 \dots 3)$ мм.

Для толчковой подачи за холостой ход $e = S_{2x}$.

При толчковой подаче за рабочий ход $e = 1 \dots 3$ мм.

При двухтолчковой подаче $e_{2T} = S_{xx} + (2 \dots 3)$ мм.



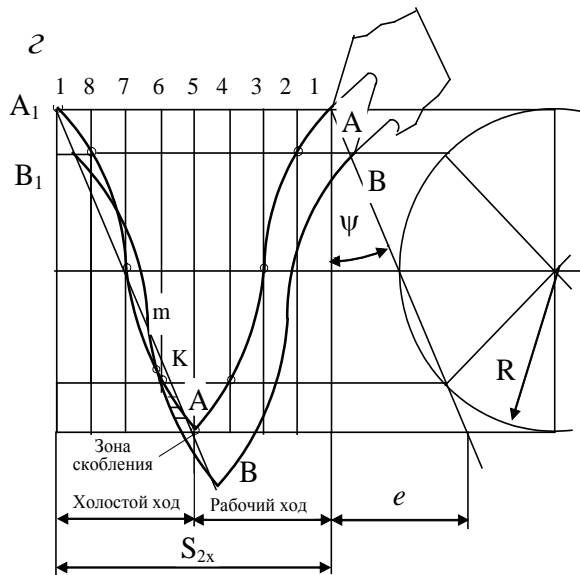


Рис. 53. Траектории зубьев пил:

a – при толчковой подаче за холостой ход;

b – то же за рабочий ход;

v – при двухтолчковой подаче;

z – при непрерывной подаче

13.2.6. Настройка свеса пил

Рамные пилы устанавливают в пильную рамку лесопильной рамы с помощью нижних и верхних захватов (рис. 54). При правильном положении пилы в захватах обеспечивается высокая точность пиления и исключается “блуждание” пил. Положение пилы в захватах зависит от размера захвата *K*, размера пилы *A* и величины свеса пилы *e*.

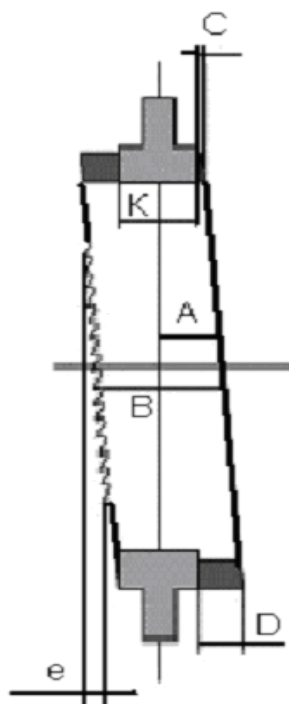


Рис. 54. Положение рамной пилы в захватах

Размер *A* принимается по табл. 13 в зависимости от ширины пилы *B*, где *B* – ширина полотна пилы без зубьев. Размер *A* измеряется на середине длины пилы.

При установке пилы в захваты контролируются размеры *C* и *D*, величина которых определяется по следующим формулам:

$$C = A - \frac{K}{2} - \frac{e}{2}, \quad D = A - \frac{K}{2} + \frac{e}{2}.$$

Из табл. 13 видно, что значение размера $A > B/2$, поэтому линия натяжения пилы захватами приближена к режущей кромке пилы. Режущая кромка натягивается сильнее, чем задняя кромка пилы, и поэтому пила обеспечивает при работе прямолинейный рез.

Таблица 13

Параметры установки пил в захватах

<i>B</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>A</i>
160	105	130	82	100	55	70	36
155	100	125	79	95	51	65	34
150	97	120	74	90	48	60	31
145	92	115	69	85	44	55	28
140	89	110	64	80	41	50	26
135	86	105	60	75	38	45	23

13.2.7. Установка рамных пил

Прокладки. Рамные пилы в поставе отделяют друг от друга межпильными прокладками. Толщина прокладок, мм

$$T = a + 2S' + C, \quad (61)$$

где a – номинальная толщина выпиливаемой доски, мм;

S' – уширение зубьев на сторону, мм;

C – припуск на усушку доски, мм.

Значения припусков на усушку для пиломатериалов с конечной влажностью 15%, выпиливаемых из сосновых и еловых бревен с влажностью выше 30 %, приведены ниже.

Толщина пиломатериалов, мм.....	30	40	50	60	70	80	90	100
Припуск на усушку С, мм	1,4	1,7	2,0	2,4	2,7	3,0	3,3	3,6

Прокладки могут быть деревянными, пластмассовыми, металлическими. Предельные отклонения размеров прокладок по толщине $\pm 0,1$ мм. Верхние прокладки имеют форму параллелепипеда. У нижних прокладок верхняя поверхность выполнена двускатной по длине, что облегчает осыпание опилок с них. Длина прокладок 130 мм, высота – 50 мм.

Установка пил. Рамные пилы устанавливают в пильную рамку (рис. 55), которая включает нижнюю 7 и верхнюю 1 поперечины, стойки 3 и 4 со струбцинами 5. В пространстве между стойками и поперечинами размещают нижние и верхние захваты. Верхние захваты снабжены натяжными устройствами (винтовыми, клиновыми, эксцентриковыми) 2.

Пилы 6 устанавливают при поднятой в крайнее верхнее положение пильной рамке и затянутом тормозе коленчатого вала лесопильной рамы.

Сначала в пильную рамку ставят верхние и нижние захваты. Количество пар захватов должно соответствовать числу пил постава. Нижние струбцины устанавливают ниже верха подающих нижних вальцов на 50...60 мм. Верхние струбцины фиксируют над нижними на расстоянии l , мм:

$$l = d_k + H + (130...170), \quad (62)$$

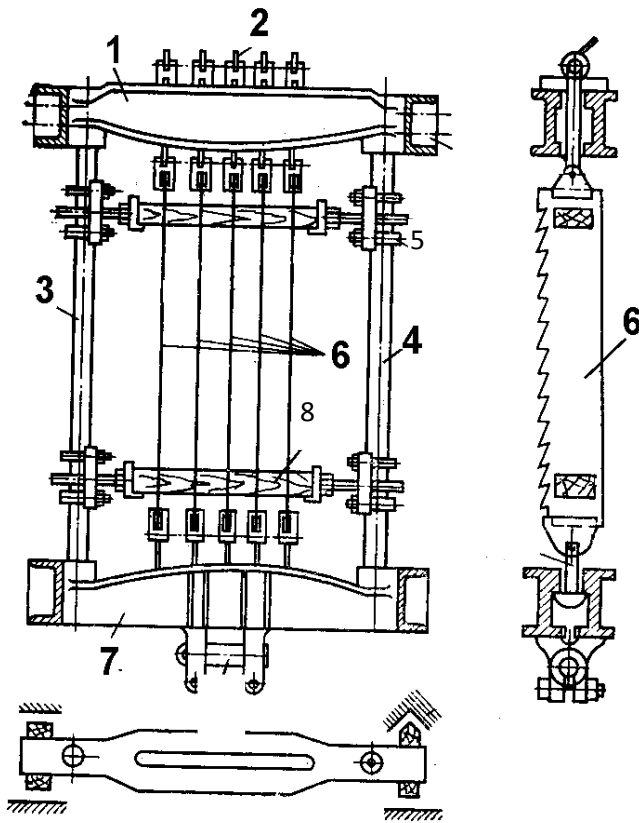


Рис. 55. Крепление пил

в пильной рамке

где d_k – диаметр
распиливаемых
бревен в комле, мм;

H – ход пильной
рамки, мм.

Пилы встав-
ляют в захваты. За-
тем, начиная с ле-
вой стороны поста-
ва, устанавливают
прокладки 8 и слег-
ка обжимают их
правыми струбци-
нами. При этом кон-
тролируют центр
постава относи-
тельно пильной
рамки. Допускае-
мое отклонение

центра постава – не более ± 2 мм.

Для предотвращения образования “засор” пилы в постава устанавливают желобком. Более узкие пилы помещают в середину постава. После центровки пилы слегка натягивают натяжными устройствами захватов и контролируют необходимый уклон. Уклон проверяют уклономером. Затем делают выверку положения пил, обжимают их правыми струбцинами, окончательно натягивают пилы и контролируют их жесткость.

Выверка положения пил. Плоскости пил должны быть параллельны направлению движения бревна и линии движения

пильной рамки. Выверку положения пил осуществляют угольником и линейкой (рис. 56). Линейка 1 выполнена в виде полосы с продольной прорезью, в которую вставлен болт с гайкой барашком 4.

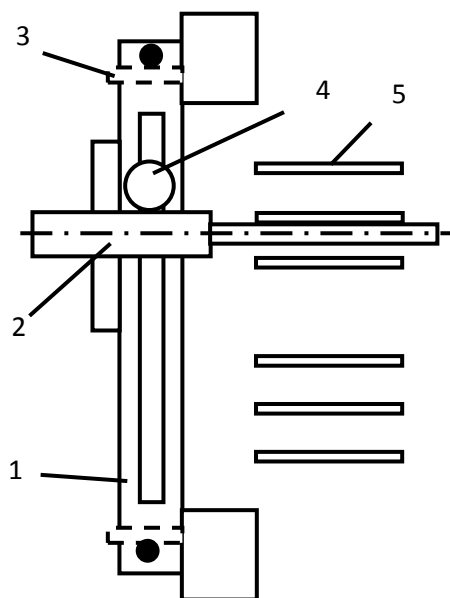


Рис. 56. Схема выверки пил линейкой и угольником

Одна боковая кромка линейки шлифована. Линейка устанавливается на стержнях 3 платиков станины станка. К линейке прикладывают угольник 2.

Выверку начинают при верхнем положении пильной рамки. Стержень угольника должен плотно касаться по всей ширине пилы 5. Если этого не происходит, то с помощью струбцины пилу разворачивают до полного касания стержня угольника. Допускаемое отклонение должно быть не более 0,2...0,3 мм. Величину отклонения измеряют щупом.

После выверки низа постава пил стержень угольника прикладывают к средней пиле, и это положение фиксируют упорным передвигным болтом 4. Затем пильную рамку опускают в крайнее положение. Угольник снова кладут на линейку и прижимают к упору.

Если между пилами и угольником будет зазор, то это свидетельствует об отклонении пил от вертикального положения. Отклонение устраняют с помощью струбцины.

Допускаемое отклонение от вертикали должно быть не более 1...2 мм. Отклонения измеряют щупом.

Натяжение пил. Натягивают пилы постепенно за несколько приемов. Сначала натягивают крайние пилы, затем вторые от краев, постепенно приближаясь к центральным пилам. В такой последовательности пилы подтягивают за 2...3 приема. После окончательного натяжения напряжения в пилах должны быть в пределах $\sigma = 80... 120$ МПа.

Усилие натяжения одной пилы шириной 180 мм и толщиной 2 мм равно около $F_n = 100 \cdot 180 \cdot 2 = 36000$ Н.

При снятии пилы ослабляют тоже последовательно за несколько приемов. Сначала слегка ослабляют центральные пилы, затем уже крайние. Если каждую пилу ослабить за один прием, то из-за упругих деформаций в пильной рамке последняя пила может порваться.

Жесткость рамных пил. Жесткость показывает, какую боковую силу необходимо приложить к режущей кромке пилы на середине ее свободной длины, чтобы отклонить эту кромку на 1 мм.

При распиловке сырья с высотой пропила до 500 мм жесткость пил должна равняться 60...70 Н/мм, при большей высоте пропила – 70...80 Н/мм. Для измерения жесткости применяют прибор конструкции ЦНИИМОД.

13.2.8. Расчет рациональной посылки

При рамном пилении древесины в качестве регулируемого параметра можно рассматривать величину подачи на зуб S_z , мм, в качестве главного параметра (целевой функции) - посылку S_{2x} , мм. Они связаны между собой следующим уравнением:

$$S_{2x} = S_z H / t_3, \quad (63)$$

где H - величина хода пильной рамки, мм;

t_3 - шаг зубьев рамных пил, мм.

Ограничения могут быть функциональными и областными. Функциональным ограничением является точное задание входного параметра, оно выражается в виде равенства. Областное ограничение выражается в виде неравенства. При расчете посылок используют следующие ограничения:

$$S_{z1} = f(R_m); S_{z2} = f(\theta, \sigma); S_{z3} = f(P_{ycm}); S_{z4} = f(t^{\circ}C); S_{z5} = f(F_{кр});$$

$$S_{2x \min} \leq S_{2xm} \leq S_{2x \max}$$

где R_m - значение шероховатости распиленной поверхности; θ - коэффициент формы зуба, характеризующий отношение площади впадин к площади квадрата со сторонами, равными шагу зубьев пилы t_3 ; σ - коэффициент напряженности впадин; P_{ycm} - установленная мощность электродвигателя механизма резания, кВт; $t^{\circ}C$ - температура древесины, соответствующая ее состояниям: для талой древесины $t^{\circ}C = 0^{\circ}C$, для мерзлой древесины $t^{\circ}C = -5...-19^{\circ}C$ и $t^{\circ}C = -30^{\circ}C$; $F_{кр}$ - критическая сила потери устойчивости пилы, H ; S_{2x} - расчетная техническая посылка, мм; $S_{2x \max}$, $S_{2x \min}$ - конструктивные посылки соответственно максимальная и минимальная (берется из технической характеристики лесопильной рамы).

13.2.9. Порядок расчета рациональной посылки

Задача по определению рациональной технической посылки решается с учетом действующих руководящих технических материалов РТМ [19].

1. По табл. 3 уточняют параметры, характеризующие заданную лесопильную раму.

2. Выбирают линейные размеры рамных пил (толщину, ширину, шаг зубьев) по ГОСТ 5524-75. Рекомендуемые параметры рамных пил приведены в табл. 14 и 15.

3. Выбирают величину сбег C_6 бревен по их диаметру:

Диаметр бревен в

вершинном торце, см	До 26	28...36	38...44	46...54	56 и более
Сбег C_6 , см/м	1,0	1,2	1,4	1,7	2,0

4. По нижеприведенным формулам для заданного постава пил определяют максимальную высоту пропила t_{\max} , мм, сумму высот пропилов $\sum t$, мм, среднюю высоту пропила $t_{\text{ср}}$, мм, и свободную длину пил l_c , мм, между прокладками:

при распиловке бревен

$$t_{\max} = 10\sqrt{(d + 0,5L_6C_6)^2 - m^2}, \quad (64)$$

Таблица 14

Рекомендуемые шаги зубьев рамных пил

Способ распиловки	Диаметр бревен или высота брусьев, см	Шаг зубьев, мм
Распиловка бревен вразвал или с выпиливанием двух брусьев	До 22	26
	24...34	32
	36 и более	40
Распиловка бревен с брусовкой	До 30	26
	32...42	32
	44 и более	40
Развал брусьев	До 15	22

	16...22	26
	23...37	32
	38 и более	40

Таблица 15

Размеры сечения полотен, сила натяжения и свободная

длина пил в зависимости от высоты пропила

Высота пропила, см	Диаметр бревен, см	Минимальные размеры полотен, мм		Сила натяжения, F_n , кН	Свободная длина пил l_c , мм, при ходе пил H , мм		
		S	B		400	600	700
16...20	12...18	2; 2,2	80...90	40...50	700	900	1000
21...28	20...24	2; 2,2	80...100	40...50	800	1000	1100
29...36	26...30	2,2;2,5	80...110	50...60	950	1150	1250
37...44	32...38	2,2;2,5	100...130	50...60	1000	1250	1350
45...50	40...44	2,2;2,5	120...150	60...70	-	1350	1450
51...56	46...50	2,5	130...140	65...75	-	1500	1600
57...66	52...58	2,5;3,2	120...150	70...80	-	1550	1650
67 и более	60 и более	3,2	140...160	70...90	-	1550	1650

Примечание. Для мерзлой древесины принимаются большие значения.

при распиловке вразвал

$$\sum t = 8,923 (d + 0,8)(i - 0,6), \quad (65)$$

при распиловке с брусковой

$$\sum t = [7,828 + 0,645 \frac{t_{\bar{\sigma}}}{d} - 3,907 (\frac{t_{\bar{\sigma}}}{d})^2] (d + 0,1i + 0,4)i, \quad (66)$$

$$t_{cp} = \sum \frac{t}{i}; \quad (67)$$

$$I_c = H + 10(d + L_{\bar{\sigma}} C_{\bar{\sigma}}) + 200; \quad (68)$$

при развале брусьев

$$t_{max} = t_{\bar{\sigma}}; \quad (69)$$

$$\sum t = [7,506(d + 5,5)(\frac{t_{\bar{\sigma}}}{d} + 0,15) - 25](i - 1) + 0,0714d^2 - \quad (70)$$

$$- 0,857d + 48,286;$$

$$t_{cp} = \sum \frac{t}{i}; \quad I_c = H + 10t_{\bar{\sigma}} + 150, \quad (71)$$

где d - диаметр бревна в вершинном торце, см; $C_{\bar{\sigma}}$ - сбег бревен, см/м; m - расстояние между двумя средними пилами в поставе, обычно при четном числе пил (при нечетном числе пил, когда в поставе имеется центральная пила $m = 0$), см; i - число пил в поставе; $t_{\bar{\sigma}}$ - толщина бруса, см, H - ход пильной рамки, мм, 10 - число для перевода размерности сантиметров в миллиметры.

5. Уточняют величину шага зубьев. При пилении опилки размещаются в междузубных впадинах. Чрезмерное переполнение впадин опилками приводит к образованию криволинейного пропила. В случае, когда $t_{max} \geq (H - 50)$ мм, когда часть зубьев не выходит из пропила, рекомендуется применять пилы толщиной 3,2 мм с разведенными зубьями и уширением их на сторону по 1 мм. Кроме того, желательно выполнять косую заточку зубьев с разворотом шлифовального круга на 10° .

При расчете посылок большую высоту пропила по отношению к величине хода пильной рамки учитывают коэффициентом коррекции K_3 :

$$K_3 = \frac{1}{1,78 - 0,85t_{max} / H}.$$

Если расчетное K_3 меньше единицы, то его значение увеличивают до $K_3 = 1$, если $K_3 \geq 1$, то в расчетах используют его фактическое значение.

6. По табл. 16 определяют значения фиктивной силы резания p и касательного давления опилок на переднюю грань зуба k .

Таблица 16

Зависимость фиктивной силы резания p и касательного
давления стружки k от породы древесины и ее температуры

Порода древесины	$p, \text{ Н/мм}^2$	$k, \text{ МПа}$
Сосна, ель, пихта	$p = 7,2 + 0,11 t^\circ$	$k = 35,0 - 0,58 t^\circ$
Кедр, осина, ольха, липа	$p = 5,0 + 0,06 t^\circ$	$k = 24,0 - 0,4 t^\circ$
Лиственница, береза	$p = 8,5 + 0,115 t^\circ$	$k = 43,0 - 0,7 t^\circ$
Твердолиственные	$p = 12,0 + 0,16 t^\circ$	$k = 52,0 - 0,88 t^\circ$
Примечание. Для талой древесины $t^\circ = 0^\circ\text{C}$, для мерзлой - $t^\circ = -5 \dots -19^\circ\text{C}$ и $t^\circ = -30^\circ\text{C}$.		

Температура талой древесины принимается $t^\circ = 0^\circ\text{C}$, для мерзлой - $t^\circ = -5 \dots -19^\circ\text{C}$ (среднее значение -15°C) и $t^\circ = -20 \dots -40^\circ\text{C}$ (среднее значение -30°C).

Если предприятие имеет бассейн или установку для гидротермической обработки, то температура бревен может быть повышена в среднем на 15°C . В результате этого происходит перемещение второго уровня температуры древесины относительно воздуха ($-20 \dots -40^\circ\text{C}$) в первый ($-5 \dots -19^\circ\text{C}$), а первого - на уровень температуры, соответствующий состоянию талой древесины.

Например, температура воздуха равна 28°C . После гидротермической обработки бревен в бассейне температура древесины повысится до 13°C (принимаем среднее значение $t^\circ = -15^\circ\text{C}$). При температуре воздуха $18 \dots 20^\circ\text{C}$ температура древесины будет $-3 \dots -5^\circ\text{C}$ (принимаем $t^\circ = 0^\circ\text{C}$).

7. Удельное сопротивление трения опилок в пропиле, МПа:

$$\alpha = m_y m_m (0,2 + 0,00012 t_{cp}), \quad (72)$$

где m_y - поправочный коэффициент на способ уширения зубьев; для плющенных зубьев $m_y = 1,0$; для разведенных $m_y = 1,25$; m_m - поправочный коэффициент, учитывающий состояние древесины:

$$m_m = 1 + 0,009t^0 + 0,00025t^{02}.$$

8. Ширина пропила b , мм :

$$b = S + 2S',$$

где S - толщина полотна пилы, мм; S' – уширение зубьев на сторону, мм.

9. Способность пилы сопротивляться действию сил резания характеризуется жесткостью и устойчивостью. Устойчивость пилы определяется по величине критической радиальной силы резания, при которой пила теряет плоскую форму.

Критическая нормальная сила $F_{кр}$, Н:

$$F_{кр} = \pi^2 F_H \left[\frac{B}{12} + \frac{GS^3}{3F_H} \right] / I_c, \quad (73)$$

где F_H - сила натяжения пилы, Н (см. табл. 15); B и S - соответственно ширина и толщина пил, мм; G - модуль упругости при кручении, для стали $G = 8 \cdot 10^4$ МПа.

10. Посылка S_{2x1} , мм, с ограничением по шероховатости поверхности пиломатериалов находится по формуле

$$S_{2x1} = S_{z1} H m_n m_c / t_3, \quad (74)$$

где S_{z1} - подача на зуб, ограниченная шероховатостью пиломатериалов, мм (табл. 17); H - ход пильной рамки, мм; m_n - коэффициент, учитывающий породу и условия произрастания древесины; m_c - коэффициент, учитывающий сорт распиливаемых материалов: для 1-го и 2-го сортов $m_c = 1,1$; для 3-го сорта $m_c = 0,8$; t_3 - шаг зубьев пилы, мм.

Таблица 17

Подача на зуб по шероховатости поверхности пиломатериалов

Шероховатость,	Максимальная подача на зуб S_{z1} , мм, при шаге зубьев пил, мм
----------------	---

<i>Rm</i> , мкм	22		26, 32, 40	
	Δ	λ	Δ	λ
700 ... 1100	1,7	1,2	1,8	1,25
До 1600	1,9	1,3	2,0	1,4

Примечание. Δ – зубья плющенные; λ – зубья разведенные.

Коэффициент на породу принимаем для следующих групп:

сосна, ель, пихта	$m_n = 1,0;$
кедр, осина, ольха, липа	$m_n = 0,8;$
лиственница, береза	$m_n = 1,2;$
твердолиственные	$m_n = 1,25.$

11. Максимальная посылка S_{2x2} , мм, ограниченная заполнением междузубных впадин опилками:

$$S_{2x2} = \frac{\theta H t_3}{\sigma(t_{\max} - t_3) K_3}, \quad (75)$$

где θ - коэффициент формы зуба: для талой древесины $\theta = 0,42$; для мерзлой $\theta = 0,4$; σ - коэффициент напряженности междузубных впадин пил, $\sigma = 0,83$.

12. Величина затупления зубьев к моменту отказа по параметру прочности пилы, мкм

$$\Delta_{\rho} = \gamma_{\Delta} L = \gamma_{\Delta} t_{cp} n T K_u K_{px} / 1000,$$

где γ_{Δ} – величина затупления режущих кромок зубьев на 1 м пути, мкм/м (табл. 18);

L – путь зуба пилы в древесине, м;

t_{cp} – средняя высота пропила, мм;

n – частота ходов пильной рамки, мин⁻¹;

T – продолжительность работы пилы между переточками, мин;

K_u, K_{px} – коэффициенты использования ($K_u=0,8...0,9$) и отношения продолжительности рабочего хода пил к продолжительности двойного хода пил ($K_{px}= 0,5$).

Продолжительность работы рамных пил Т и величина затупления режущих кромок зубьев пил на 1 м пути γ_{Δ} , мкм/м,
для хвойных пород древесины

Материал		Т, мин	γ_{Δ} , мкм/м
полотна пилы	зубьев		
9ХФ	9ХФ	150...210	0,002
9ХФ	Стеллит ВЗКР	420...480	0,000333
8Н1А	Стеллит ВЗКР	840...960	0,000333

13. Коэффициент затупления режущих кромок зубьев пилы

$$\alpha_{\rho} = 1 + \left(1 + 0,1 \frac{k}{p}\right) \frac{\Delta \rho}{\rho_o + 50},$$

где k – касательное давление срезаемого слоя на переднюю поверхность зуба, МПа;

p – фиктивная сила резания, Н/мм;

ρ_o – радиус закругления острого зуба, $\rho_o = 10$ мкм.

14. Максимальная посылка S_{2x3} , мм, ограниченная мощностью электродвигателя механизма резания

$$S_{2x3} = \frac{6 \cdot 10^7 P_{ycm} \eta \alpha_{\rho} p H b_{л}}{n \sum t \quad t_3 \quad kb + \alpha t_{cp}}, \quad (76)$$

где P_{ycm} – мощность электродвигателя механизма резания, кВт; η – КПД привода механизма главного движения: для лесопильных рам с $H = 600$ мм $\eta = 0,8$; при $H = 700$ мм $\eta = 0,75$; при $H = 400$ мм $\eta = 0,7$; n – частота вращения вала механизма главного движения, мин⁻¹; α_{ρ} – коэффициент затупления зубьев пил; b и $b_{л}$ – ширина пропила и длина режущей кромки зуба, мм: для плющенных зубьев $b_{л} = b$, для разведенных зубьев $b_{л} = S$; α – удельное сопротивление трения опилок в пропиле, МПа.

15. Максимальная посылка S_{2x4} , мм, ограниченная прочностью полотен и зубьев рамных пил,

$$S_{2x4} = S_{z4} H / t_3, \quad (77)$$

где S_{z4} - подача на зуб, мм, значения которой для разных пород древесины приведены ниже.

	Подача на зуб S_{z4} , мм
Хвойные (кроме лиственницы), мягколиственные . . .	
.	$S_{z4} = (2,4 + 0,023 t^{\circ}) m_y$
Береза	$S_{z4} = (2,2 + 0,020 t^{\circ}) m_y$
Лиственница, твердолиственные . . .	$S_{z4} = (2,0 + 0,014 t^{\circ}) m_y$

Примечание. Для плющенных зубьев $m_y = 1$; для разведенных - $m_y = 0,7$.

16. Максимальная посылка S_{2x5} , мм, с ограничением по устойчивости рамных пил:

$$S_{2x5} = \frac{\left(\frac{0,8F_{кр}t_3}{\alpha_{\rho}m_nbt_{max}} + 0,75t^{\circ} - 40 \right) H}{(30 - 1,4t^{\circ})t_3}, \quad (78)$$

где α_{ρ} - коэффициент затупления; m_n - коэффициент на породу.

17. За оптимальное значение расчетной посылки S_{2x} принимается минимальное значение из пяти найденных посылок.

15. Расчетная техническая посылка S_{2xt} находится путем сравнения S_{2x} с конструктивной посылкой, предусмотренной в механизме подачи.

В двухэтажных рамах посылка регулируется бесступенчато, поэтому любая расчетная посылка может быть реализована: $S_{2xt} = S_{2x}$.

В одноэтажных рамах посылка регулируется ступенчато. В этом случае следует расчетную посылку увеличить на 10...15 % ($1,15S_{2x}$), а затем выбрать конструктивную посылку по указателю на коробке скоростей, которая не должна превышать величину $1,15S_{2x}$.

13.2.10. Пример решения обратной задачи по рамному пиленю

Дано. На лесопильной раме 2Р50-1 с ходом пильной рамки $H = 700$ мм распиливаются в развал талые сосновые бревна диаметром $d = 20; 22; 24$ см и влажностью $W = 30\%$. Мощность электродвигателя главного движения $P_y = 130$ кВт. Длина бревен $L_b = 6,5$ м. Частота вращения коленчатого вала $n = 360$ мин⁻¹, число пил в поставе $i = 5; 6$. Для пиломатериалов отборного, 1-го, 2-го, и 3-го сортов шероховатость распиленной поверхности $R_{m \max} = 1250$ мкм. Для поставки с четным числом пил центральная доска имеет толщину 50 мм. Рамные пилы выполнены из стали 9ХФ, зубья пилы оснащены стеллитом ВЗКР.

Определить значения рациональных посылок и построить график посылок.

Решение. 1. Выбираем размеры рамной пилы: для распиловки бревен диаметром до 22 см $t_3 = 26$ мм, при $d = 24$ см $t_3 = 32$ мм. Для всех пил $S = 2$ мм, $B_{\min} = 80$ мм, Сила натяжения пилы $F_H = 40000$ Н, свободная длина пил $L_c = 1100$ мм.

2. Выбираем величину сбега C_b бревен по их диаметру: $C_b = 1$ см/м.

3. Находим:

– максимальную высоту пропила t_{\max} , мм

$$t_{\max} = 10\sqrt{(d + 0,5L_b C_b)^2 - m^2} = 10\sqrt{(20 + 0,5 \cdot 6,5 \cdot 1)^2 - 0^2} = 232,5 \text{ мм};$$

– сумму высот пропилов $\sum t$, мм

$$\sum t = 8,923 (d + 0,8)(i - 0,6) = 8,923 (20 + 0,8)(5 - 0,6) = 816,6 \text{ мм};$$

– среднюю высоту пропила t_{cp} , мм

$$t_{cp} = \frac{\sum t}{i} = \frac{816,6}{5} = 163,3 \text{ мм};$$

– свободную длину пил между прокладками l_c , мм:

$$l_c = H + 10(d + L_{\bar{b}}C_{\bar{b}}) + 200 = 700 + 10(20 + 6,5 \cdot 1) + 200 = 1165 \text{ мм.}$$

Результаты расчетов сведены в табл. 19.

Таблица 19

Результаты расчетов

Параметры	Обо- значе- ние	Раз- мер- ность	Кол. пил в поста- ве, шт.	Диаметры бревен, см		
				20	22	24
Сбег бревен	$C_{\bar{b}}$	см/м	-	1	1	1
Максимальная высота пропила	t_{\max}	мм	5	232,5	252,5	272,5
			6	227,0	247,8	267,8
Сумма высот пропила	$\sum t$	мм	5	816,6	895,1	973,7
			6	1002,2	1098,6	1195,0
Средняя высота пропила	t_{cp}	мм	5	163,3	179,0	194,0
			6	167,0	183,1	199,1
Свободная длина пил между прокладками	l_c	мм	-	1165	1185	1205
Коэффициент коррекции	K_3	-	5	1	1	1
			6	1	1	1
Удельное сопротивление трения опилок в пропиле	α	МПа	5	0,22	0,22	0,22
			6	0,22	0,22	0,22
Ширина пропила	b	мм	-	3,6	3,6	3,6
Нормальная критическая сила	$F_{кр}$	Н	-	4062,3	3993,8	3927,5

Посылка по шероховатости	S_{2x1}	мм	-	53,3	53,3	43,3
Посылка по производительности	S_{2x2}	мм	5	44,6	40,7	47,1
			6	45,7	41,6	48,1
Величина затупления зубьев	Δ_p	мкм	5	3,7	4,1	4,4
			6	3,8	4,2	4,5
Коэффициент затупления	α_p	-	5	1,09	1,1	1,1
			6	1,09	1,1	1,1
Посылка по мощности привода	S_{2x3}	мм	5	118,2	105,2	95,3
			6	95,0	84,4	76,4
Посылка по прочности пил	S_{2x4}	мм	-	64,6	64,6	52,5
Посылка по устойчивости пил	S_{2x5}	мм	5	47,2	38,7	38,8
			6	49,2	40,2	40,0
Рациональное значение посылки	S_{2xp}	мм	5	44,6	38,7	38,8
			6	45,7	40,2	40,0

4. Определяем коэффициент коррекции K_3 :

$$K_3 = \frac{1}{1,78 - 0,85t_{\max} / H} = \frac{1}{1,78 - 0,85 \cdot 232,5 / 700} = 0,66.$$

Так как $K_3 < 1$, то принимаем $K_3 = 1$.

5. По табл. 16 определяем значения фиктивной силы резания p и касательного давления опилок на переднюю грань зуба k . Для талой древесины $t^\circ = 0^\circ \text{C}$

$$p = 7,2 + 0,11 t^\circ = 7,2 + 0,11 \cdot 0 = 7,2 \text{ Н/мм};$$

$$k = 35,0 - 0,58 t^\circ = 35 \text{ МПа}.$$

6. Находим удельное сопротивление трения опилок в пропиле, МПа. Учитывая, что для плющенных зубьев $m_y = 1,0$ и для талой древесины $m_m = 1$, получим

$$\alpha = m_y m_m (0,2 + 0,00012 t_{cp}) = 1 \cdot 1 (0,2 + 0,00012 \cdot 163,3) = 0,22 \text{ МПа.}$$

7. Определим значение ширины пропила b при уширении зубьев на сторону $S' = 0,8$ мм (табл. 11):

$$b = S + 2S' = 2 + 2 \cdot 0,8 = 3,6 \text{ мм.}$$

8. Рассчитаем значение нормальной критической силы

$$F_{кр} = \pi^2 F_H \left[\frac{B}{12} + \frac{GS^3}{3F_H} \right] / I_c = 3,14^2 \cdot 40000 \left[\frac{80}{12} + \frac{8 \cdot 10^4 \cdot 2^3}{3 \cdot 40000} \right] / 1165 = 4062,3 \text{ Н.}$$

9. Находим посылку S_{2x1} с ограничением по шероховатости поверхности пиломатериалов. При $S_{z1} = 1,8$ мм (табл. 17), коэффициенте на породу древесины $m_n = 1$, коэффициенте сортности для пиломатериалов 1-го и 2-го сорта $m_c = 1,1$ и шаге зубьев пилы $t_3 = 32$ мм получим

$$S_{2x1} = S_{z1} H m_n m_c / t_3 = 1,8 \cdot 700 \cdot 1 \cdot 1,1 / 26 = 53,3 \text{ мм.}$$

10. Находим посылку S_{2x2} с ограничением по производительности. При коэффициенте формы зуба $\theta = 0,42$ и коэффициенте напряженности междузубных впадин зубьев $\sigma = 0,83$ получим

$$S_{2x2} = \frac{\theta H t_3}{\sigma (t_{\max} - t_3) K_3} = \frac{0,42 \cdot 700 \cdot 26}{0,83 (232,5 - 26) \cdot 1} = 44,6 \text{ мм.}$$

11. Определим величину затупления зубьев к моменту отказа. Для выбранных пил с зубьями, оснащенными стеллитом, при $\gamma_\Delta = 0,000333$ мкм/м (табл. 20), $T = 420$ мин, $K_u = 0,9$, $K_{px} = 0,5$ получим

$$\Delta_{\rho} = \gamma_{\Delta t_{cp}} nTK_u K_n / 1000 = 0,000333 \cdot 163,3 \cdot 360 \cdot 420 \cdot 0,9 \cdot 0,5 / 1000 = 3,7 \text{ мкм.}$$

12. Коэффициент затупления режущих кромок зубьев пилы

$$\alpha_{\rho} = 1 + (1 + 0,1 \frac{k}{p}) \frac{\Delta_{\rho}}{\rho_o + 50} = 1 + (1 + 0,1 \frac{35}{7,2}) \frac{3,7}{10 + 50} = 1,09.$$

13. Максимальная посылка S_{2x3} , ограниченная мощностью электродвигателя механизма главного движения

$$S_{2x3} = \frac{6 \cdot 10^7 P_{ycm} \eta}{n \sum t} \frac{\alpha_{\rho} p H b_l}{t_3} = \frac{6 \cdot 10^7 \cdot 130 \cdot 0,75}{360 \cdot 816,6} \frac{1,09 \cdot 7,2 \cdot 700 \cdot 3,6}{26} = 118,2 \text{ мм}$$

14. Найдем максимальную посылку S_{2x4} , ограниченную прочностью полотен и зубьев рамных пил. Для талой древесины сосны $S_{z4} = (2,4 + 0,023 t^{\circ}) m_y = 2,4 \text{ мм}$, тогда

$$S_{2x4} = S_{z4} H / t_3 = 2,4 \cdot 700 / 26 = 64,6 \text{ мм.}$$

15. Максимальная посылка S_{2x5} , ограниченная устойчивостью рамных пил:

$$S_{2x5} = \frac{(\frac{0,8 F_{кр} t_3}{\alpha_{\rho} m_n b t_{max}} + 0,75 t^{\circ} - 40) H}{(30 - 1,4 t^{\circ}) t_3} = \frac{(\frac{0,8 \cdot 4062,3 \cdot 26}{1,09 \cdot 1 \cdot 3,6 \cdot 232,5} - 40) 700}{30 \cdot 26} = 47,2 \text{ мм.}$$

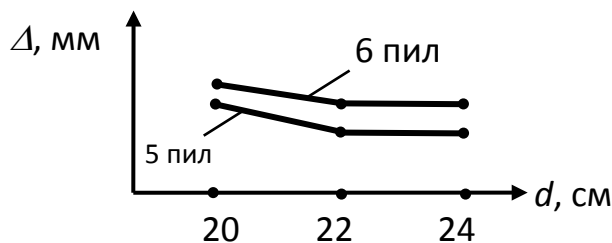


Рис. 57. График посылок

16. Выбираем рациональные посылки S_{2xp} для принятых в задаче условий (рис. 57). За рациональное значение посылки принимается минимальное из расчетных $S_{z1}, S_{z2}, S_{z3}, S_{z4}, S_{z5}$ (см.

табл. 19).

13.2.11. Силы и мощность резания

Расчет касательной сил резания начинают с определения удельной силы резания $F_{y\partial}$. При толщине срезаемого слоя $a \geq 0,1$ мм значение $F_{y\partial}$ находят по формуле

$$F_{y\partial} = \left(\frac{\alpha \rho p}{a} + k + \frac{\alpha t}{b} \right) a_n a_w.$$

При этом считают, что толщина срезаемого слоя при равном пилении $a = S_z$. Средняя касательная сила резания за рабочий и холостой ходы пильной рамки, Н:

$$F_x = \frac{F_{y\partial} b \sum t S_{2x}}{2H} = \frac{F_{y\partial} b \sum t S_z}{2t_3}. \quad (79)$$

Фактическая касательная сила резания за рабочий ход $F_{x\phi} = 2F_x$.

Среднее усилие, приходящееся на один зуб пилы, Н:

$$F_{x \text{ зуб}} = F_x t_3 / H.$$

Нормальную (горизонтальную) составляющую силы резания принимают

$F_z = (0,2 \dots 0,3) F_x$ при острых зубьях;

$F_z = (0,4 \dots 0,5) F_x$ при тупых зубьях.

Мощность резания (на пилах), кВт:

$$P = \frac{F_{y\partial} b \sum t S_{2x} n}{60 \cdot 10^6}. \quad (80)$$

13.2.12. Обеспечение заданной точности распиловки

Большие по величине силы резания и инерции вызывают разладку станка и приводят к появлению технического брака. На пиломатериалах образуются кривизна, кривоватость, волнистость, зарезание, разнотолщинность, шероховатая поверхность. Для предотвращения технического брака необходимо выполнять следующие требования.

1. Режущие кромки зубьев должны быть строго перпендикулярны полотну пилы.
2. Деревянные прокладки должны иметь длину 130 ± 5 мм, высоту $(40 \dots 50) \pm 2$ мм и допуск по толщине $\pm 0,2$ мм.

3. Две крайние пилы при любом поставе должны быть особенно устойчивыми. Их ширина должна быть не менее 120 мм, а толщина - до 4 мм. Середина поставы пил в раме должна совпадать с центром пильной рамки (допустимое отклонение ± 3 мм). Крайние пилы поставы должны несколько выступать вперед.

4. Отклонение от параллельности плоскостей пил рельсам не должно превышать 0,2...0,3 мм по ширине пилы, а отклонение от параллельности по высоте пилы допускается 0,2 мм на величине хода пильной рамки.

5. Плоскости пил должны быть установлены перпендикулярно оси посылочного вальца, допустимое отклонение составляет 0,8 мм на длине 1000 мм.

6. Непараллельность вальцов не должна превышать 0,5 мм. Непараллельность плоскости направляющих пильной рамки и осей подающих вальцов не должна быть больше 0,3 мм. Оси нижних подающих вальцов должны быть установлены горизонтально с допуском 0,3 мм на 1000 мм длины.

Пильная рамка должна перемещаться перпендикулярно оси нижнего переднего подающего вальца, допуск на неперпендикулярность 0,7 мм на длине 1000 мм. Неперпендикулярность вальцов к рельсам допускается 0,2 мм. Неперпендикулярность ножей направляющего аппарата к оси нижних подающих вальцов - 0,8 мм на ширине ножа.

Предельные отклонения пиломатериалов по толщине и ширине, полученных при пилении на вертикальных лесопильных рамах, мм:

до 32 мм $\pm 1,0$

от 32 до 100 мм $\pm 2,0$

более 100 мм $\pm 3,0$

Равномерность ширины и толщины обрезных досок проверяют штангенциркулем.

Точность вертикальных лесопильных рам регламентирована нормами точности по ГОСТ 10295-90.

13.3. Пиление ленточными пилами

13.3.1. Общие сведения

Пиление осуществляется на ленточнопильных станках замкнутой пильной лентой, надетой на шкивы. Ленточнопильные станки бывают вертикальные столярные с диаметром шкивов 400...800 мм, делительные с диаметром шкивов 1000...1400 мм, бревнопильные с диаметром шкивов 1100 ... 3000 мм и горизонтальные.

При пилении древесины ленточными пилами скорость главного движения ленточнопильного станка достигает 40 м/с, высота пропила может быть сколь угодно большой, а ширина пропила – самая узкая (2...3 мм). Для ленточнопильных станков практически нет проблемы вибрации, не требуется массивный фундамент, а энергопотребление минимально.

В отечественном и мировом лесопилении в последние годы просматривается совершенно четкая тенденция – все больший переход лесопильных производств на пиление ленточными пилами.

13.3.2. Геометрия срезаемого слоя

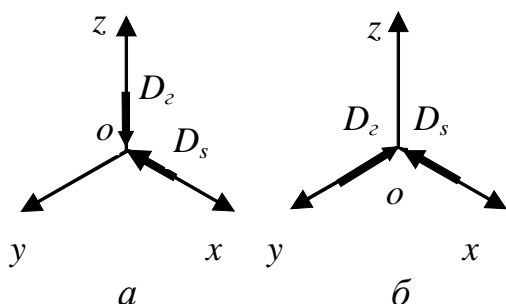


Рис. 58. Принципиальные кинематические схемы пиления на станках:
 а – вертикальном;
 б – горизонтальном

Пиление ленточной пилой основано на принципиальной кинематической схеме, предусматривающей одновременное действие в процессе резания движений главного D_2 и подачи D_s (рис. 58, а, б). Благодаря замкнутости пильной ленты резание происходит непрерывно без холостых ходов.

Пильная лента 3 надета на шкивы 1 и 2. Заготовка 4 скользит по столу станка (рис. 59, а). Векторы скоростей главного движения \bar{V} и движения подачи \bar{V}_s по модулю и направлению постоянны. Поэтому траектории зубьев в древесине прямолинейны и параллельны вектору

результатирующего движения резания V_e . Угол скорости резания η равен примерно $1...2^\circ$, так как $\operatorname{tg} \eta = V_s/V \approx 0,01...0,03$. Угол подачи $\mu = 90^\circ$ (рис. 59, б).

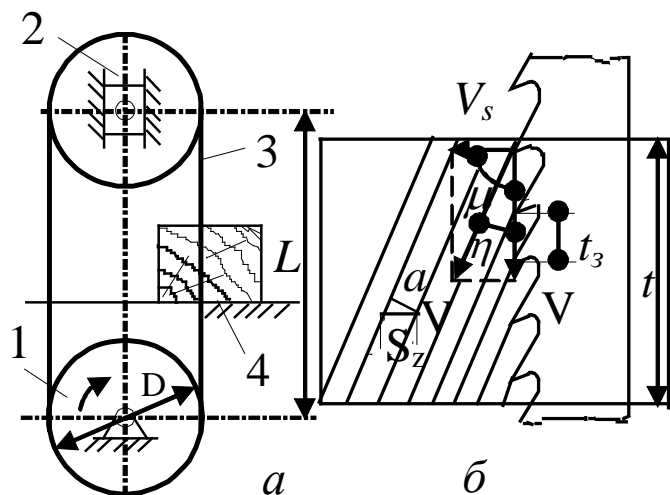


Рис. 59. Пиление

ленточной

пилой:

a – схема ленточнопильного станка;

б – геометрия срезаемого слоя

Наикратчайшее расстояние между траекториями резания равно толщине срезаемого слоя *a*. Из прямоугольного треугольника, образованного отрезками траектории, *a* и S_z следует

$$a = S_z \sin(\mu - \eta).$$

Угол $\mu - \eta = 90^\circ - 2^\circ = 88^\circ$. В связи с этим и с учетом способа уширения зубьев (развод, плющение) толщину срезаемого слоя *a* принимают равной:

$$a = S_z b / b_n,$$

где S_z – подача на один зуб, мм (табл. 20);

b – ширина пропила, мм; $b = S + 2S'$;

b_n – длина режущей кромки лезвия, мм;

S – толщина полотна пилы, мм;

S' – величина уширения зубьев на сторону, мм (табл. 21)

Для разведенных зубьев длина режущей кромки равна толщине полотна пилы, а для плющенных – ширине пропила.

Таблица 20

Значения шероховатости Rm_{max} (по ГОСТ 7016-82), мкм,

при распиловке древесины ленточными пилами

Подача на зуб S_z , мм	Древесина		Подача на зуб S_z , мм	Древесина	
	хвойная мерзлая и твердых лиственных пород	хвойная мокрая, свежесрубленная		хвойная мерзлая и твердых лиственных пород	хвойная мокрая, свежесрубленная
0,10	100/–	–	0,80	630/410	500/380
0,15	150/100	100/–	1,0	800/500	670/440
0,20	200/150	150/100	1,2	1000/620	800/500
0,30	250/200	210/100	1,5	1300/800	1000/600
0,40	320/220	270/200	1,8	1450/1000	1200/700
0,60	520/320	340/320	2,0	1600/1200	1400/800

Примечание. В числителе – для разведенных зубьев, в знаменателе – для плющенных.

Таблица 21

Величина уширения зубьев ленточных пил на сторону S' , мм,

при распиловке древесины

Ленточные пилы	Высота пропила, мм	Хвойные породы
По ГОСТ 6532-77	До 250	(0,45...0,55)/(0,40...0,45)
(тип 2 и 3)	250...500	(0,50...0,60)/(0,40...0,50)
	Свыше 500	(0,55...0,70)/(0,45...0,60)

По ГОСТ 10670-77	До 250	$(0,55...0,70)/(0,45...0,65)$
	250...500	$(0,65...0,75)/(0,45...0,65)$
	Свыше 500	$(0,75...0,95)/(0,65...0,80)$

Окончание табл. 21

Ленточные пилы	Твердые лиственные породы	Лиственница
По ГОСТ 6532-77	$(0,40...0,45)/(0,30...0,40)$	0,45...0,55
(тип 2 и 3)	$(0,40...0,50)/(0,35...0,45)$	0,55...0,75
	$(0,45...0,60)/(0,40...0,55)$	0,70...0,90
По ГОСТ 10670-77	$(0,55...0,65)/(0,50...0,60)$	0,50...0,60
	$(0,60...0,70)/(0,55...0,65)$	0,60...0,80
	$(0,65...0,80)/(0,60...0,70)$	0,80...1,00

Примечания: 1. В числителе данные для свежесрубленной древесины влажностью свыше 30%, в знаменателе – для сухой и мерзлой.

2. Величина уширения зубьев для распиловки лиственницы дана для случая охлаждения пилы водовоздушной смесью. При отсутствии охлаждения уширение увеличивается на 0,1...0,15 мм. 3. Допуск уширения зубьев на одну сторону для пилы $\pm 0,05$ мм.

13.3.3. Ленточные пилы

Пилы ленточные столярные (ГОСТ 6532-77, тип 1) предназначены для прямолинейной и криволинейной продольной и поперечной распиловки пиломатериалов на ленточных столярных станках (рис. 60, а, б, табл. 22). Пилы поставляются заказчику в рулонах. Длина пильной ленты в рулоне 4000 или 6000 мм. Ширина пильной ленты $B = 10...60$ мм, толщина – $S = 0,6; 0,7; 0,8; 0,9$ мм, шаг зубьев – $t = 6...12$ мм, высота зубьев –

$h = 2,0 \dots 6,5$ мм и радиус закругления впадины $r = 1,5; 2,5$ мм. Угол заострения зубьев $\beta = 50^\circ$ и передний угол $\gamma = 5^\circ$.

Пилы ленточные делительные (ГОСТ 6532-77, тип 2) предназначены для прямолинейной продольной распиловки пиломатериалов по толщине на ленточных делительных станках.

Пилы (рис. 60, в) выпускаются с профилем зубьев I ($t_3 = 50$ мм) и II ($t_3 = 30$ мм). Длина пильной ленты в рулоне 7000, 8500 и 9000 мм. Ширина пильной ленты $B = 85 \dots 175$ мм, толщина – $S = 1,0; 1,2; 1,4$ мм, высота зубьев – $h = 10 \dots 13$ мм и радиус закругления впадины $r = 3$ и 4 мм. Угол заострения зубьев $\beta = 45$ и 50° и передний угол $\gamma = 20$ и 30° .

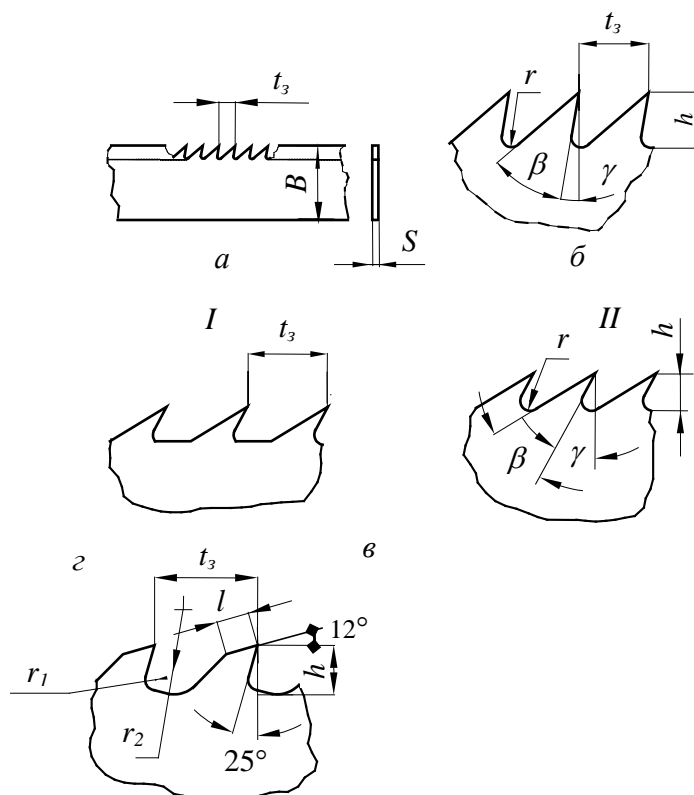


Рис. 60. Пилы ленточ-

Пилы ленточные для распиловки бревен и брусьев (ГОСТ 10670-77) применяются на ленточнопильных станках. Конструкция и основные размеры приведены на рис. 17, г. Длина пильной ленты в рулоне 10800 или 11700 мм. Ширина пильной ленты равна 230 мм, толщина – 1,4; 1,6 мм, шаг зубьев – 50 и 60 мм, высота зубьев – 16,7; 20,0 мм, радиусы закругления впадины $r = 20,8; 25,0$ мм, $r_1 = 5,8; 7,0$ мм.

Материал пил – холоднокатаная лента из хромованадиевой стали марки 9ХФ по ГОСТ 5950-73. Столярные пилы могут быть сделаны из стали марки У10А по ГОСТ 1435-74.

Твердость пил: столярных и делительных - HRC_s 40...44; для распиловки бревен и брусьев - HRC_s 42...47.

Пример заказа: пила ленточная 3405-0003 ГОСТ 10670-77.

Таблица 22

Размеры ленточных пил, мм (ГОСТ 6532-77)

Обозначение пил	Длина (в рулоне)*	B	S	t_s	h	r	γ	β
							град.	
Пилы столярные								
3405-0021	4000	10	0,6	6	2,0-3,0	1,5	5	50
-0022		15						
-0023		20	0,7	8	4,2-4,4			
-0024	6000	30	0,8	10	4,8-5,0	2,5	5	50
-0025		40						
-0026		50	0,9	12	6,3-6,5			
3405-0027		60						
Пилы делительные								
3405-0028	7000	85	1,0	30	10	3	20	50
-0029		100						
-0031	8500	125	1,2	50	13	4	30	45
-0032			1,0					
-0033			1,2					
-0034		150	1,4	30	10	3	20	50
-0035				30	10	3	20	50
-0036	150	1,4						

-0037			1,2	50	13	4	30	45
-0038			1,4					
-0039	9000	175	1,2	30	10	3	20	50
-0041			1,4					
-0042			1,2	50	13	4	30	45
3405-0043			1,4					
* Допускается по заказу потребителя изготовление ленточных пил длиной, кратной длинам, указанным в таблице.								

Пилы для ленточных горизонтальных станков. Часто используют для пиления шведские ленточные пилы:

$B = 32...50$ мм; $S = 1,0; 1,1$ мм; $t_3 = 22...25$ мм и

$B = 80...130$ мм; $S = 1,0; 1,2$ мм; $t_3 = 30...40$ мм.

Выбор размеров пил. Длина пильной ленты для станка, мм:

$$L_n = \pi D + 2L, \quad (81)$$

где D - диаметр пильных шкивов станка, мм;

L - расстояние между шкивами станка, мм.

Пила из хромованадиевой стали 9ХФ имеет предел прочности $\sigma_b = 700...800$ МПа. При коэффициенте запаса прочности $K = 2$ сумма напряжений в пиле, возникающих от растяжения и изгиба, должна быть не более $\sigma = 350...400$ МПа. Напряжения от растяжения пилы составляют $\sigma_p = 150...200$ МПа. Напряжения от изгиба $\sigma_u = 200$ МПа. Из известного соотношения

$$\frac{S}{D} = \frac{\sigma_u}{E} = \frac{200}{200000} = 0,001 \text{ получим } S = 0,001D.$$

Для получения криволинейного пропила ширину столярных пил выбирают по выражению, мм:

$$B = 2,8\sqrt{RS'}, \quad (82)$$

где R - наименьший радиус кривизны пропила, мм;

S' - уширение зубьев пилы на сторону, мм.

13.3.4. Скорости рабочих движений

Скорость главного движения при пилении равна окружной скорости приводного шкива:

$$V = \frac{\pi D n}{60 \cdot 1000},$$

где V – скорость главного движения, м/с;

D – диаметр приводного шкива, мм;

n – частота вращения приводного шкива, мин⁻¹.

Скорость подачи V_s , м/мин, находят по формуле

$$V_s = \frac{S_z Z n}{1000},$$

где S_z – подача на один зуб, мм;

Z – количество зубьев, которые можно разместить по окружности шкива; при шаге зубьев пилы t_3 количество зубьев $Z = \pi D / t_3$.

Скорость подачи, м/мин, связана со скоростью главного движения выражением

$$V_s = 60V \frac{S_z}{t_3}. \quad (83)$$

В современных ленточнопильных станках скорость главного движения $V = 30 \dots 50$ м/с, скорость подачи $V_s = 1 \dots 120$ м/мин. Значение подачи на зуб принимают для столярных ленточных пил $S_z = 0,05 \dots 0,1$ мм; для делительных пил $S_z = 0,2 \dots 0,7$ мм; для распиловки бревен $S_z = 0,8 \dots 1,5$ мм.

13.3.5. Силы и мощность резания при продольном пилении

При продольном пилении фиктивная сила резания для сосны принимается, Н/мм

$$p_{//\perp} = 3,924 + 3,23 \sin^{1,25} \varphi_в.$$

При $\varphi_в = 90^\circ$ $p = 7,154$ Н/мм.

Касательное давление стружки на переднюю поверхность зуба k , МПа, для сосны находят следующим образом:

$$k = 0,55\delta + 0,196V' - 19,62 ,$$

где при $V < 50$ м/с $V' = 90 - V$, иначе $V' = V$.

Коэффициент затупления

$$\alpha_{\rho} = 1 + \left(1 + 0,1\frac{k}{p}\right) \frac{\Delta_{\rho}}{\rho_0 + 50} ,$$

где Δ_{ρ} – величина затупления режущих кромок лезвий, мкм, за период работы пилы до отказа:

$$\Delta_{\rho} = \gamma_{\Delta} \frac{tnTk_n k_u}{1000(1 + 2L / \pi D)} ,$$

где γ_{Δ} – величина затупления режущей кромки зуба на 1 м пути в древесине, для зубьев пилы из инструментальной стали 9ХФ $\gamma_{\Delta} = 0,001$ мкм/м (при пилении твердых лиственных пород и мерзлой древесины $\gamma_{\Delta} = (0,00130...0,00135)$ мкм/м); в случае применения пил, оснащенных стеллитом ВЗКР, $\gamma_{\Delta} = 0,000167$ мкм/м;

t – высота пропила, мм;

n – частота вращения пильного шкива, мин⁻¹;

T – календарное время работы пилы до отказа, мин;

k_u – коэффициент использования станка во времени, $k_u = 0,9...0,95$;

k_n – коэффициент производительности станка (использования станочного времени), $k_n = 0,8...0,9$;

L – расстояние между шкивами станка, мм;

D – диаметр пильного шкива, мм.

Касательная сила резания одним зубом при $S_z > 0,1$ мм, Н:

$$F_{x \text{ зуб}} = F_{y\partial} a b_{\text{л}} = F_{y\partial} b_{\text{л}} S_z b / b_{\text{л}} = F_{y\partial} S_z b ;$$

$$F_{x \text{ зуб}} = a_n a_w \left[\frac{\alpha_{\rho} p b_{\text{л}}}{S_z b} + (k + \alpha t / b) \right] S_z b ;$$

$$F_{x \text{ зуб}} = a_{II} a_w [\alpha_{\rho} p b_{II} + (k + \alpha t / b) S_z b], \quad (84)$$

где a_{II} , a_w – коэффициенты на породу древесины и влажность соответственно;

b , b_{II} – ширина пропила и длина режущей кромки зуба пилы соответственно, мм;

α – касательное давление на зуб пилы от трения стружки в пропиле; для плющевых зубьев $\alpha = 0,20$ МПа, для разведенных – $\alpha = 0,25$ МПа.

При решении обратной задачи силу резания одним зубом можно найти так, Н:

$$F_{x \text{ зуб}} = 1000 P \eta t_3 / (Vt),$$

где P – мощность электродвигателя механизма главного движения, кВт;

η – КПД привода механизма главного движения;

t_3 – шаг зубьев пилы, мм.

Окружная касательная сила резания, Н

$$F_x = F_{x \text{ зуб}} \frac{t}{t_3}.$$

Мощность резания на пиле, кВт

$$P = \frac{F_x V}{1000}.$$

Нормальная сила резания. При толщине срезаемого слоя $a \geq 0,1$ мм нормальная единичная сила резания, Н/мм

$$F_{z1} = F_{x13} / f - (k + \alpha t / b)(a - 0,1) \operatorname{tg}(90^\circ - \delta - \varphi),$$

где F_{x13} – единичная касательная сила резания, действующая по задней поверхности зуба, Н/мм;

f – коэффициент трения скольжения по задней поверхности зуба, по А.Л. Бершадскому $f = \frac{2}{\alpha_{\rho}^2}$;

δ – угол резания, град.;

φ – угол трения; $\varphi \approx 20^\circ$.

Единая касательная сила резания, действующая по задней поверхности зуба, находится по формуле, Н/мм [12]

$$F_{x13} = [\alpha_{\rho} p + 0,1(k + \frac{\alpha t}{b})] (\frac{\rho_0 + \Delta_{\rho}}{\rho_0 + \Delta_{\rho} + 50}),$$

где ρ_0 – начальный радиус закругления режущей кромки зуба, $\rho_0 = 10$ мкм;

Δ_{ρ} – величина затупления зуба в период работы пилы до отказа, мкм.

Средняя нормальная сила резания при срезании макрослоев на высоте пропила, Н

$$F_z = a_n a_w F_{z1} b \frac{t}{t_3}.$$

где b , b_n – ширина пропила и длина лезвия зуба соответственно, мм;

t , t_3 – высота пропила и шаг зубьев соответственно, мм;

a_n , a_w – поправочные коэффициенты на породу и влажность древесины соответственно.

При $S_z < 0,1$ мм

$$F_z = [0,5\alpha_{\rho}^2 (\alpha_{\rho} p + 0,1k) \frac{\rho}{\rho + 50}] b \frac{t}{t_3}.$$

Величиной радиальной силы резания можно приближенно задаться:

$$F_z = \pm m F_x = \pm (0,2...0,6) F_x. \quad (85)$$

Для острых зубьев (меньшее значение m) и при больших подачах на зуб радиальная сила получается затягивающей (знак–), при небольших подачах на зуб и затупленных режущих кромках радиальная сила становится отжимающей (знак +).

13.3.6. Пример расчета режимов пиления

Дано. На ленточнопильном станке с механической подачей распиливаются сосновые заготовки влажностью $W > 30\%$ и толщиной 32; 40; 50; 60 мм. Диаметр шкивов $D = 800$ мм, расстояние между их центрами $L = 1250$ мм, частота вращения шкивов $n = 1000$ мин⁻¹. Время работы пилы до отказа $T = 120$ мин, касательное давление стружки от

трения в пропиле $\alpha_\lambda = 0,25$ МПа. Установленная мощность механизма главного движения $P = 4$ кВт, КПД привода $\eta = 0,92$. Шероховатость поверхности пиломатериалов не более $R_{m\ max} = 400$ мкм по ГОСТ 7016-82.

Определить скорости подач, построить график скоростей подач.

Решение. 1. Выбираем критерии оценки режима резания и их ограничения:

– шероховатость распиленных поверхностей
 $R_{m\ max} \leq 400$ мкм;

– подача на зуб по производительности пиления

$$S_{z2} \leq t_3^2 / (6t);$$

– мощность двигателя главного движения не более 4 кВт;

– допускаемая касательная сила резания одним зубом

$$F_{хдзуб} \leq 0,9F_{кр}t_3 / t,$$

где $F_{кр}$ – критическая сила растяжения пилы, Н;

– допустимая нормальная сила резания

$$F_{здзуб} \leq 0,9F_{зкк}t_3 / t;$$

– точность размеров должна соответствовать допуску по 17-му качеству.

2. Выбираем пилу ленточную столярную 3405-0025 по ГОСТ 6532-77: ширина пилы $B = 40$ мм; толщина полотна $S = 0,8$ мм; шаг зубьев $t_3 = 10$ мм; передний угол лезвия $\gamma = 5^\circ$, $\beta = 50^\circ$, уширение зубьев на сторону $S' = 0,5$ мм (табл. 22).

Ширина пропила с разведенными зубьями

$$b = S + 2S' = 0,8 + 2 \cdot 0,5 = 1,8 \text{ мм.}$$

3. Подача на зуб пилы по требованию к шероховатости пропила. По табл. 22 выбираем: при $S_z = 0,60$ мм $R_{m \max} = 340$ мкм и $S_z = 0,80$ мм $R_{m \max} = 500$ мкм. Интерполируя для $R_{m \max} = 400$ мкм, получим

$$S_{z1} = 0,60 + (0,8 - 0,6)(400 - 340) / (500 - 340) = 0,68 \text{ мм.}$$

4. Подача на зуб по производительности пиления

$$S_{z2} = t_3^2 / (6t) = 10^2 / (6 \cdot 32) = 0,52 \text{ мм.}$$

5. Скорость главного движения

$$V = \frac{\pi D n}{60 \cdot 1000} = \frac{3,14 \cdot 800 \cdot 1000}{60000} = 41,87 \text{ м/с.}$$

Результаты расчетов сведены в табл. 23.

6. Касательная сила резания одним зубом

$$F_{xзуб} = 1000 P \eta t_3 / (Vt) = 1000 \cdot 4 \cdot 0,8 \cdot 10 / (41,87 \cdot 32) = 23,9 \text{ Н.}$$

7. Фиктивная сила резания для древесины сосны

$$p = 7,154 \text{ Н/мм.}$$

8. Касательное давление стружки на переднюю грань зуба

$$k = 0,55 \delta + 0,196 V_1 - 19,6 =$$

$$= 0,549 \cdot 85 + 0,196 (90 - 41,87) - 19,6 = 36,58 \text{ МПа.}$$

9. Величина затупления режущих кромок зубьев, мкм

$$\Delta \rho = \gamma \Delta \frac{tnTk_n k_u}{1000(1 + 2L/\pi D)} = \frac{0,001 \cdot 32 \cdot 1000 \cdot 120 \cdot 0,9 \cdot 0,9}{1000(1 + 2 \cdot 1250 / (3,14 \cdot 800))} = 1,56 \text{ мкм}$$

10. Коэффициент затупления

$$\alpha_{\rho} = 1 + [1 + 0,1(k + \alpha t / b) / p] \frac{\Delta \rho}{\rho_0 + 50} =$$

$$= 1 + [1 + 0,1(36,58 + 0,25 \cdot 32 / 1,8) / 7,154] \frac{1,56}{10 + 50} = 1,04.$$

11. Подача на зуб по мощности привода при длине режущей кромки зуба $b_n = S = 0,8$ мм, коэффициентах на породу и влажность соответственно $a_n = 1$, $a_w = 0,89$.

Таблица 23

Результаты расчетов режимов пиления

Расчитываемый параметр	Обозначение	Размерность	Высота пропила t , мм			
			32	40	50	60
Ширина пропила	b	мм	1,8	1,8	1,8	1,8
Подача на зуб:						
по шероховатости	S_{z1}	мм	0,68	0,68	0,68	0,68
по производительности	S_{z2}	мм	0,52	0,42	0,33	0,28
Скорость резания	V	м/с	41,87	41,87	41,87	41,87
Сила резания одним зубом	$F_{хзуб}$	Н	23,9	19,1	15,3	12,7
Фиктивная сила резания	p	Н/мм	7,154	7,154	7,154	7,154
Касательное давление	k	МПа	36,58	36,58	36,58	36,58
Величина затупления лезвий	$\Delta \rho$	мкм	1,56	1,95	2,38	2,92

Коэффициент затупления	α_p	–	1,04	1,04	1,04	1,04
Коэффициент	λ	–	0,0124	0,0125	0,0126	0,0127
Коэффициент	d	–	11,44	11,56	11,69	11,83
Коэффициент	m_1	–	1,3	1,03	0,81	0,67
Подача на зуб по мощности привода	S_{z3}	мм	0,28	0,2	0,051	0,035
Допускаемая касательная сила на одном зубе	$F_{хдзуб}$	Н	101,5	81,2	65,0	54,2
Подача на зуб по устойчивости пилы от $F_{хдзуб}$	S_{z4}	мм	1,87	1,53	1,26	1,08
Допускаемая нормальная сила на одном зубе	$F_{здзуб}$	Н	10,3	8,3	6,6	5,5
Подача на зуб по устойчивости пилы от $F_{здзуб}$	S_{z5}	мм	1,31	1,02	0,78	0,62
Подача на зуб по точности пиления	S_{z6}	мм	0,87	0,83	0,78	0,74
Подача на зуб расчетная (минимальная из $S_{z1} \dots S_{z6}$)	S_{zp}	мм	0,28	0,2	0,05	0,04
Скорость подачи	V_s	м/ми н	70,3	50,2	12,6	10,0

Коэффициенты

$$\lambda = \rho^2 + 0,2\rho + 0,01; \rho = \rho_0 + \Delta_\rho; \rho - \text{в мм.}$$

$$\lambda = (0,010 + 0,00156)^2 + 0,2(0,010 + 0,00156) + 0,01 = 0,012446;$$

$$d = \alpha_\rho p + 0,1(k + \alpha t / b) = 1,04 \cdot 7,06 + 0,1(36,58 + 0,25 \cdot 32 / 1,8) = 11,44;$$

$$m_1 = \frac{F_x \text{ зуб}}{a_n a_w b_L d} = \frac{23,9}{1 \cdot 0,89 \cdot 1,8 \cdot 11,44} = 1,3.$$

Если $m_1 > 1$, то подача на зуб S_{z3} определяется по формуле для макрослоев ($S_{z3} \geq 0,1$ мм); при $m_1 \leq 1$ – для микрослоев ($S_{z3} \leq 0,1$ мм). Для макрослоев (при $t = 50$ и 60 мм) подача на зуб

$$S_{z3} = \frac{\frac{F_x \text{ зуб}}{a_n a_w} - \alpha_\rho p b_L}{kb + \alpha t} = \frac{\frac{23,9}{1 \cdot 0,89} - 1,04 \cdot 7,154 \cdot 0,8}{36,58 \cdot 1,8 + 0,25 \cdot 32} = 0,28 \text{ мм.}$$

При срезании микрослоев подача на зуб S_{z3M} находится по формуле (для $t = 50$ и 60 мм)

$$S_{z3M} = 0,1 - \sqrt{\lambda(1 - m_1)} = 0,1 - \sqrt{0,0126(1 - 0,81)} = 0,051 \text{ мм.}$$

12. При критической касательной силе резания пила начинает вибрировать и теряет устойчивость. Поэтому расчетная сила резания должна быть меньше критической.

Критическая касательная сила резания, по данным А.Е. Феоктистова (ЦНИИМОД), при ширине пилы $B_1 = 40$ мм, толщине полотна пилы $S = 0,8$ мм, допускаемом напряжении в пиле 30 МПа и расстоянии между шкивами $L = 1250$ мм вычисляется по формуле

$$F_{кр} = 10^6 s^3 (0,82 + 0,002 B_1)(0,95 + 0,001 \sigma) / L = \\ = 10^6 \cdot 0,8^3 (0,82 + 0,002 \cdot 40)(0,95 + 0,001 \cdot 30) / 1250 = 361 \text{ Н.}$$

13. Допускаемая касательная сила резания одним зубом

$$F_{x\partialзуб} = 0,9F_{кр}t_3 / t = 0,9 \cdot 361 \cdot 10 / 32 = 101,5 \text{ Н.}$$

14. Подача на зуб по устойчивости пилы от допускаемой касательной силы резания

$$S_{z4} = \frac{\left(\frac{F_{x\partialзуб}}{a_{II}a_w b_L} - \alpha_{\rho p}\right)b_L}{(kb + \alpha t)} = \frac{\left(\frac{101,5}{1 \cdot 0,89 \cdot 0,8} - 1,04 \cdot 7,154\right)0,8}{(36,58 \cdot 1,8 + 0,25 \cdot 32)} = 1,87 \text{ мм.}$$

15. При критическом значении радиальной силы резания величина прогиба полотна пилы в плоскости наибольшей жесткости достигает значения выпуклости задней кромки m , полученного при вальцевании пилы. По данным Э.В. Трухина, нормальная критическая сила резания при $m = 0,2 \dots 0,35$ мм, модуле продольной упругости для стали 9ХФ $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа, моменте инерции $I = SB_1^3 / 12$ и напряжении натяжения полотна столярной пилы $\sigma = 30 \dots 50$ МПа

$$F_{зкр} = 9,72m(39,5EI + \sigma SB_1 L^2) / L^3 =$$

$$= 9,72 \cdot 0,2(39,5 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 0,8 \cdot 40^3 / 12 + 30 \cdot 0,8 \cdot 40 \cdot 1250^2) / 1250^3 = 36,7 \text{ Н.}$$

16. Допустимая нормальная сила резания для одного зуба

$$F_{здзуб} = 0,9F_{зкр}t_3 / t = 0,9 \cdot 36,7 \cdot 10 / 32 = 10,3 \text{ Н.}$$

17. Подача на зуб по критической нормальной силе

$$S_{z5} = 0,1 + \frac{0,5\alpha_{\rho}^2[\alpha_{\rho p} + 0,1(k + \frac{\alpha t}{b})] \frac{\rho}{\rho + 50} - F_{здзуб} / b_L a_{II} a_w}{(k + \alpha t / b) \text{tg}(\gamma - \varphi)} = 0,1 +$$

$$+ \frac{0,5 \cdot 1,04^2 [1,04 \cdot 7,154 + 0,1 \cdot (36,58 + \frac{0,25 \cdot 32}{1,8})] \frac{1,56 + 10}{1,56 + 10 + 50} - 10,3 / (0,8 \cdot 1 \cdot 0,89)}{(36,58 + 0,25 \cdot 32 / 1,8) \text{tg}(5^\circ - 20^\circ)} =$$

$$= 1,31 \text{ мм.}$$

18. Подача на зуб по точности пиления. При толщине отпиливаемых заготовок до 32 мм поле допуска $\omega = 2$ мм

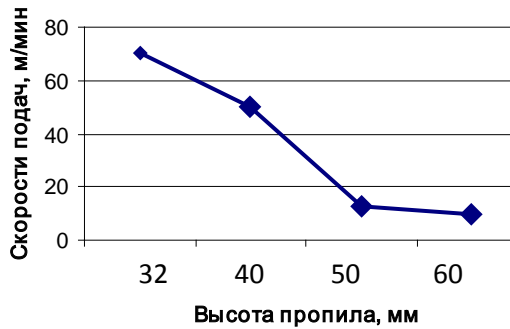


Рис. 61. График скоростей подачи

$$S_{z6} = \frac{\omega a_M}{6 + 0,018(t - 200)} = \frac{2,0 \cdot 1,3}{6 + 0,018(32 - 200)} = 0,87 \text{ мм.}$$

19. За расчетное значение подачи на зуб для каждого значения высоты пропила по табл. 23 выбираем наименьшее из шести найденных значений S_z : 0,28; 0,20; 0,05; 0,04 мм.

Скорость подачи и график (рис. 61)

$$V_s = S_{zp} n \pi D / (1000 t_3) = 0,28 \cdot 1000 \cdot 3,14 \cdot 800 / (1000 \cdot 10) = 70,3 \text{ м/мин.}$$

13.4. Продольное пиление круглыми пилами

13.4.1. Общие сведения

При продольном пилении плоскость пильного диска расположена параллельно волокнам древесины. Пильный вал станка может быть расположен под или над столом станка.

Пиление осуществляется при скорости главного движения 40...70 м/с и скорости подачи до 150 м/мин. Количество образующихся опилок достигает 12...16% от объема распиливаемого сырья.

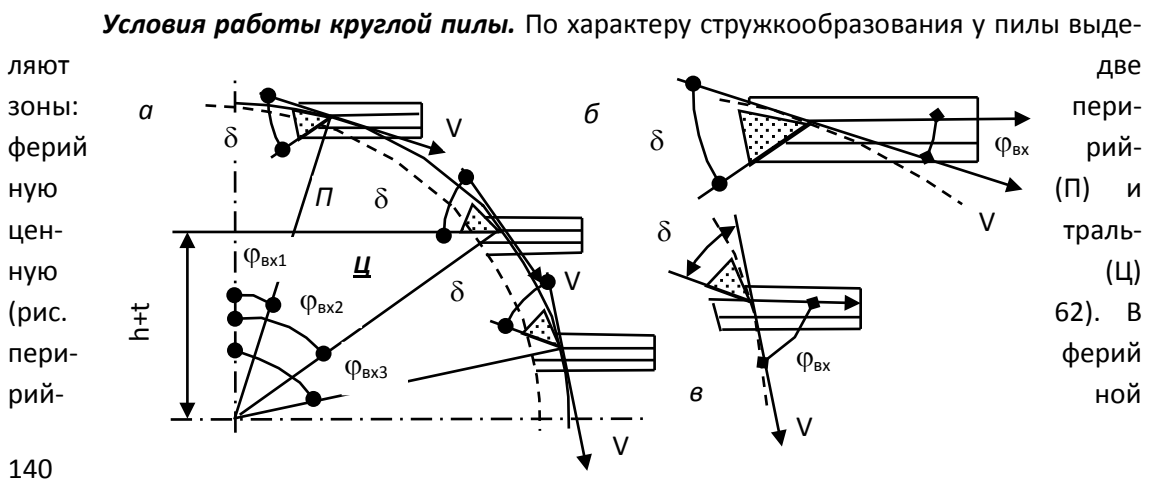


Рис. 62. Условия стружкообразования по зонам пилы:

а – зоны пилы; *б* – условия резания в периферийной зоне; *в* – условия резания в центральной зоне

зоне угол встречи главной режущей кромки с волокнами древесины меньше угла резания лезвия, $\varphi_в < \delta$. В центральной зоне $\varphi_в > \delta$. На границе между зонами $\varphi_в = \delta$.

В периферийной зоне (рис. 62, б) волокна древесины сначала изгибаются передней поверхностью зуба, а затем перерезаются главной режущей кромкой. При пилении центральной зоной пилы волокна сначала перерезаются, а затем отжимаются передней гранью в междузубную впадину. При пилении центральной зоной угол входа

$$\varphi_в > \delta; \quad \varphi_{вх} > \delta; \quad \cos \delta > \cos \varphi_{вх}.$$

Для граничного случая

$$\cos \varphi_{вх} = \frac{h + t}{R},$$

где h – расстояние от центра пилы до стола, мм;

t – высота пропила, мм;

R – радиус пилы, мм.

Условие пиления центральной зоной пилы можно записать так:

для станков с нижним расположением пильного вала

$$D > \frac{2(h + t)}{\cos \delta}, \tag{86}$$

для станков с верхним расположением пильного вала

$$D > \frac{2h}{\cos \delta}. \tag{87}$$

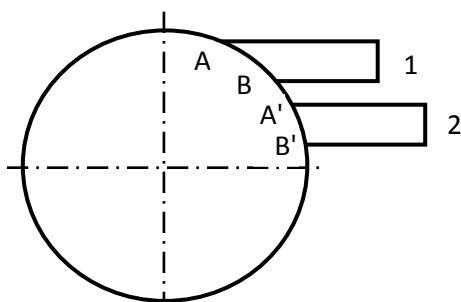


Рис. 63. Расположение пилы относительно заготовки

КОСТЬ” ИЛИ “ТОЧНОСТЬ”.

Период стойкости пилы. Периодом стойкости пилы называют время непрерывной работы новой или восстановленной пилы до наступления отказа по параметрам “стой-

Известно, что износ лезвий пилы зависит от длины пути контакта зубьев в заготовке. Заготовку можно расположить относительно центра пилы в положение 1 или 2 (рис. 63). Длина дуги контакта AB длиннее дуги $A'B'$. Если длину дуги контакта обозначить символом l , то за время T между переточками величина затупления режущей кромки зуба будет равна, мкм:

$$\Delta\rho = \gamma_{\Delta} \ln TK_n K_u / 1000, \quad (88)$$

где γ_{Δ} – величина затупления лезвия на 1 м пути, мкм/м;

n – частота вращения пилы, мин⁻¹;

K_n, K_u – соответственно коэффициент производительности и использования станка.

Отсюда следует, что для увеличения периода стойкости пилы заготовку следует размещать ближе к ее центру.

13.4.2. Пилы круглые плоские для продольной распиловки древесины

Конструкция и основные размеры пил (ГОСТ 980-80) приведены на рис. 64 и табл. 24. По профилю зубьев пилы выпускаются в исполнениях 1 и 2.

Таблица 24

Размеры круглых плоских пил для продольной распиловки

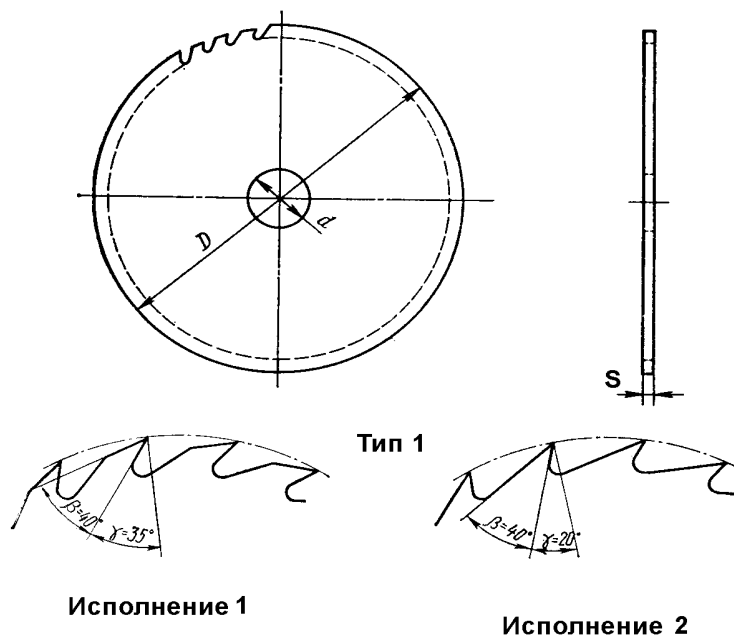
древесины исполнения 1 по ГОСТ 980-80

D, мм	d, мм	S, мм	Число зубьев z	D, мм	d, мм	S, мм	Число зубьев z
250	32	1,4...1,8	48; 60	630	50	2,5...3,0	48; 60
315	50	2,0...2,2	48; 60	710	50	2,8...3,2	48; 60
360	50	2,0...2,5	48; 60	800	50	3,2...3,6	48; 60
400	50	2,0...2,5	48; 60	900	50	3,2...4,0	48; 72
450	50	2,5...2,8	48; 60	1000	50	3,6...4,0	48; 72
500	50	2,2...2,8	48; 60	1250	50	4,5...5,0	48; 72
560	80	2,5...2,8	48; 60	1500	50	5,0...5,5	72

Пилы исполнения 1 имеют ломанолинейную заднюю поверхность зубьев, а пилы исполнения 2 - прямолинейную заднюю поверхность. Пилы исполнения 1 применяются в круглопильных станках. Их диаметр изменяется в диапазоне $D = 250...1500$ мм; диаметр

посадочного отверстия – $d = 32$; 50 и 80 мм; толщина дисков – $S = 1,4...5,5$ мм; число зубьев $Z = 48$; 60 и 72.

Пилы исполнения 2 применяют в основном в деревообрабатывающих бытовых станках, фиксируемом ручном инструменте, а также на фрезерках. Их диаметр равен 125 мм; посадочного отверстия – $d = 32$ мм; толщина дисков – $S = 1,2$ и $1,4$ мм; число зубьев $Z = 36$; 48 и 60.



электри-
ванном
инстру-
также на
ных стан-
диаметр
 $D = 125$;
мм; диа-
садочного
–
толщина
 $= 1,2$; $1,4$
число
 $= 36$; 48 и

Рис. 64. Пилы с плоским диском для

продольного пиления

Материал пил - сталь марки 9ХФ по ГОСТ 5950-73. Твердость HRC_3 , 41...46. Пилы поставляются выправленными и прокованными для скоростей главного движения 40 ... 60 м/с

Угловые параметры зубьев назначают следующим образом:

пилы исполнения 1:

распиловка хвойных пород – $\gamma = 35^\circ$, $\alpha = 15^\circ$, $\delta = 55^\circ$;

распиловка твердых лиственных пород – $\gamma = 25^\circ$, $\alpha = 15^\circ$, $\delta = 65^\circ$;

пилы исполнения 2:

распиловка хвойных пород – $\gamma = 20^\circ$, $\alpha = 30^\circ$, $\delta = 70^\circ$;

распиловка твердых лиственных пород – $\gamma = 10^\circ$, $\alpha = 30^\circ$, $\delta = 80^\circ$.

При пилении мерзлой древесины хвойных пород передний угол стальных пил следует уменьшить на $10...15^\circ$ (исполнение 1) и на $5...10^\circ$ (исполнение 2).

Для исключения зажима диска пилы в пропилах зубья разводятся или плющат. Величина уширения зубьев на сторону [20] приведена в табл. 25. Ширина пропила определяется по формуле

$$b = S + 2S',$$

где S – толщина диска, мм; S' – уширение зубьев на сторону, мм.

Таблица 25

Уширение зубьев круглых пил на сторону S'

Диаметр пил, мм	S' , мм, при продольном и поперечном пилении древесины		
	хвойных пород влажностью W		твердых лиственных пород
	$W \leq 30\%$ или древесина мерзлая	$W > 30\%$	
125...315	0,40(0,20)	0,45 (0,30)	0,30 (0,20)
360...500	0,60 (0,30)	0,70 (0,40)	0,50 (0,30)
560...630	0,70 (0,40)	0,80 (0,50)	0,60 (0,40)
710...900	0,80 (0,50)	0,90 (0,60)	0,70 (0,50)
1000...1250	1,00 (0,70)	1,10 (0,80)	0,90 (0,60)
1500	1,20 (0,80)	1,30 (0,90)	1,10 (0,70)

Примечания: 1. Значения без скобок соответствуют продольной, в скобках – поперечной распиловке.
 2. При продольной распиловке бревен и брусьев без охлаждения пил допускается увеличить уширение на 0,1...0,15 мм.
 3. Пилы диаметром 1250...1500 мм шпалорезных станков, слешерных установок, раскряжевочных линий допускается подготавливать с уширением зубьев 1,5...2,0 мм.

Период стойкости зубьев пил при продольном пилении хвойных пород древесины составляет 4 ч, а при пилении твердых лиственных пород – 2,5 ч.

Установка круглых пил. При установке пилы на шпиндель станка должны соблюдаться следующие условия.

Плоскость диска должна быть перпендикулярна оси вала. Торцовое биение коренного фланца не должно превышать 0,03 мм на радиусе 50 мм.

Допустимое отклонение от соосности пилы и вала не более 0,1...0,2 мм.

Допустимое торцовое и радиальное биение зубьев плоских пил, установленных на вал станка, должно находиться в следующих границах:

Для пил диаметром, мм	125...200	250...360	400...500	560...800	1500
Торцовое биение, мм	0,25	0,40	0,50	0,65	0,90
Радиальное биение, мм	0,20	0,30	0,40	0,60	1,00

Допустимая частота вращения пилы [21] зависит от температурного перепада ΔT между температурами горячей периферийной зоны и менее нагретой центральной части диска (табл. 26). Значение температурного перепада можно найти по формуле [22], °C

$$\Delta T = \frac{KP}{1,88 \cdot 10^{-6} D^{0,96} V^{0,426} b^{0,471}}$$

где K – коэффициент, $K = 0,005...0,12$; P – мощность на одной пиле, кВт; D – диаметр пилы, мм; V – скорость главного движения, м/с; b – ширина пропила, мм.

13.4.3. Выбор диаметра пилы

Пила 1, многолезвийный режущий инструмент (рис. 65, а), крепится на пильном валу станка зажимными фланцами 2 и выполняет главное движение. Заготовка 3, сбалансированная по плоскости стола 4, обычно надвигается на пилу.

В соответствии с ГОСТ 380-80 и РТМ по определению режимов пиления древесины круглыми пилами [19] минимальный диаметр пилы определяют по формуле

$$D_{\text{мин}} = 2(t + r_{\phi} + a_1 + a_2), \quad (89)$$

где t – высота пропила, мм;

r_{ϕ} – радиус зажимных фланцев, мм;

a_1 – зазор между зажимным фланцем и заготовкой, мм;

a_2 – выступ пилы из пропила, мм.

Таблица 26

Максимально допустимые частоты вращения
круглых пил с плоским диском

Диаметр пилы, мм	Толщина пилы, мм	Максимально допустимая частота вращения, мин ⁻¹ , при перепаде температуры ΔT , °C							A, °C/кВт
		0	5	10	15	20	30	50	
160	(2,0)	14000	–	–	–	–	–	12000	–
200	(2,0)	12000	–	–	–	–	–	10000	–
250	1,2	8050	7850	7650	7400	7200	6700	5600	9,5
	1,4	9400	9250	9050	8850	8650	8250	7400	8,8
	1,6	10750	10600	10450	10250	10100	9750	9050	8,2
	(1,8)	10000	–	–	–	–	–	8000	–
315	(2,4)	12000	–	–	–	–	–	10000	–
	1,6	5950	5700	5500	5300	5050	4550	3350	6,7
	1,8	6650	6500	6300	6100	5900	5500	4550	6,3
	2,0	7400	7250	7100	6900	6750	6350	5550	6,0
320	2,2	8150	8000	7850	7700	7550	7200	6500	5,7
	(2,0)	6300	–	–	–	–	–	4200	–

Электронный архив УГЛТУ

360	(2,2)	7000	–	–	–	–	–	5100	–
	(2,4)	7600	–	–	–	–	–	5950	–
	(2,8)	8850	–	–	–	–	–	7550	–
	1,8	4900	4720	4500	4300	4100	3600	2300	5,6
	2,0	5450	5300	5100	4900	4700	4300	3300	5,3
	2,2	6000	5850	5700	5500	5350	5000	4150	5,1
	2,5	6800	6700	6600	6400	6250	5950	5250	4,7
	(2,2)	5400	–	–	–	–	–	3450	–
400	(2,4)	5850	–	–	–	–	–	4150	–
	(2,6)	6400	–	–	–	–	–	4850	–
	(3,2)	7850	–	–	–	–	–	6700	–
	1,8	4100	3950	3750	3550	3300	2850	1400	5,1
	2,0	4550	4400	4250	4050	3850	3450	2400	4,8
	2,2	5050	4900	4750	4550	4400	4050	3200	4,6
	2,5	5700	5600	5450	5300	5150	4850	4200	4,3
	(2,4)	4750	–	–	–	–	–	2900	–
450	(2,6)	5150	–	–	–	–	–	3550	–
	(2,8)	5500	–	–	–	–	–	4100	–
	(3,2)	6400	–	–	–	–	–	5100	–
	2,0	3500	3300	3150	2950	2700	2250	1450	4,3
	2,2	3850	3700	3500	3350	3150	2750	1650	4,1
	2,5	4350	4250	4100	3950	3800	3450	2650	3,9
	2,8	4900	4750	4650	4500	4350	4100	3450	3,7
	(3,0)	4600	–	–	–	–	–	3250	–

Окончание табл. 26

Электронный архив УГЛТУ

Диаметр пилы, мм	Толщина пилы, мм	Максимально допустимая частота вращения, мин ⁻¹ , при перепаде температуры ΔТ, °С							А, °С/кВт
		0	5	10	15	20	30	50	
		500	2,2	3050	2900	2700	2250	2350	
	2,5	3450	3300	3200	3000	2850	2500	1600	3,5
	2,8	3850	3750	3600	3500	3350	3050	2400	3,3
560	2,2	2500	2350	2200	2000	1850	1400	–	3,4
	2,5	2850	2700	2550	2400	2250	1950	950	3,2
	2,8	3,150	3050	2950	2800	2700	2400	1700	3,0
630	2,2	1950	1750	1600	1400	1150	–	–	3,1
	2,5	2200	2050	1900	1700	1550	1100	–	2,9
	2,8	2450	2350	2200	2050	1900	1550	1300	2,7
	3,0	2650	2500	2400	2250	2150	1850	1000	2,6
710	2,2	1450	1250	1050	800	–	–	–	2,7
	2,5	1650	1500	1300	1100	850	–	–	2,6
	2,8	1800	1700	1550	1400	1200	700	–	2,4
	3,0	1950	1850	1700	1550	1400	1000	–	2,3
	3,2	2100	1950	1850	1700	1550	1200	–	2,3
800	2,8	1250	1100	900	700	300	–	–	2,2
	3,0	1350	1200	1050	850	550	–	–	2,1
	3,2	1450	1300	1150	1000	750	–	–	2,0
	3,6	1650	1500	1400	1250	1050	600	–	1,9
900	3,2	1200	1100	950	750	550	–	–	1,8
	3,6	1350	1250	1150	1000	800	300	–	1,7
	4,0	1500	1400	1300	1200	1050	700	–	1,6

Электронный архив УГЛТУ

1000	3,6	1050	900	800	600	350	–	–	1,6
	4,0	1150	1050	950	700	400	–	–	1,5
	4,5	1300	1200	1100	1000	850	500	–	1,4
1250	4,0	750	600	450	250	–	–	–	1,2
	4,5	800	700	600	450	200	–	–	1,2
	5,0	900	800	700	600	450	–	–	1,1
1500	4,5	600	500	350	–	–	–	–	1,0
	5,0	650	550	450	300	–	–	–	0,9
	5,5	700	650	550	400	250	–	–	0,9

Примечание. В скобках указана толщина пил с пластинками твердого сплава.

Минимальный диаметр пилы увеличивают на 100 мм ($D < 710$ мм) или 200 мм ($D > 710$ мм) для переточек и округляют в большую сторону до стандартного значения.

Рекомендуемое ГОСТ 980–80 соотношение между диаметром пил и диаметром зажимных фланцев приведено ниже.

Диаметр пилы, мм: 160...360 400...500 560...800 900...1000 1250 1500

Диаметр фланцев, мм: 100 125 160 200 240 300

Для работы центральной зоной диаметр пилы выбирают по (86), (87).

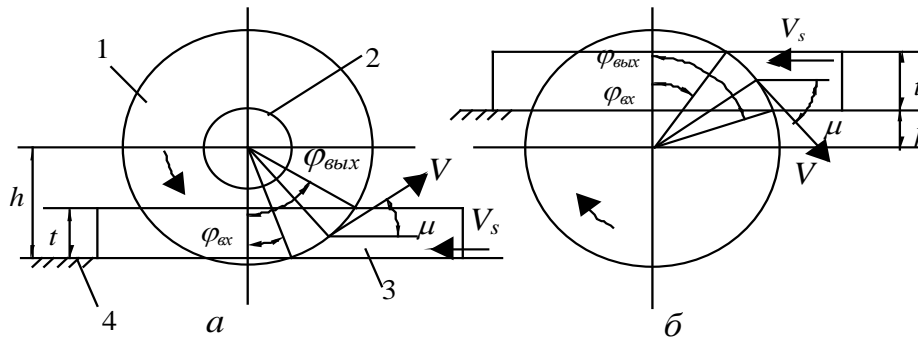


Рис. 65. Продольное пиление дисковой пилой:

a – с верхним расположением пилы; *б* – с нижним

Зависимость производительности пиления от диаметра пилы. С увеличением диаметра пилы в процессе пиления наблюдается действие двух противоположно влияющих факторов: с одной стороны – уменьшение длин дуг контакта, уменьшение износа и затупления, а с другой – увеличение энергозатрат с ростом угла перерезания волокон древесины и переходу резания к торцовому. Конечный результат совместного действия этих факторов неочевиден.

Исследование задачи можно выполнить методом процесса пиления на модели.

Проведем математическое моделирование для условия пиления: станок с верхним расположением пильного вала, мощность электродвигателя главного движения $P = 5,5$ кВт, КПД – 0,9, диаметры пил 255 - 295 - 335 - 375 - 415 - 455 - 495 мм, число зубьев 48, толщина дисков 2,8 мм, ширина пропила 4 мм, зубья разведены, диаметр зажимных фланцев 125 мм, частота вращения пил 2850 мин^{-1} , порода заготовок сосна, влажность 15% высота пропила 32, 40, 50 мм. Расчет режимов пиления выполнялся по методу А.Л. Бершадского. Результаты расчетов представлены на рис. 66

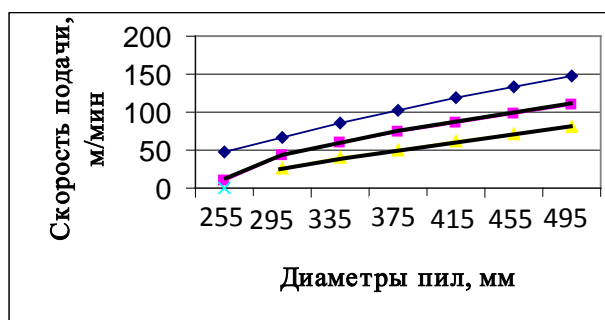


Рис. 66. Зависимость скорости подачи станка от диаметра пил

Надежность при работе центральной зоной пилы. Наблюдения за работой круглопильных станков в производственных условиях позволили установить следующее:

- при работе центральной зоной часто отрываются пластины твердого сплава, если пила оснащена ими;
- при работе центральной зоной пила часто теряет устойчивость.

13.4.4. Кинематика пиления

Кинематические схемы пиления. Процесс пиления древесины круглыми пилами основан на сочетании двух одновременно действующих равномерных движений – главного вращательного и движения подачи прямолинейного поступательного (рис. 67). Пила, установленная на горизонтальном валу, может взаимодействовать с заготовкой нижней или верхней частью диска. Кроме того, пилу можно вращать в направлении движения часовой стрелки или против часовой стрелки.

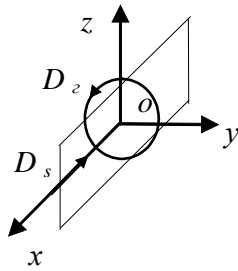


Рис. 67. Схема пиления круглыми пилами

Указанные варианты обусловили создание круглопильных станков, работающих по одной из следующих кинематических схем:

– с нижним расположением пилы и встречной подачей (см. рис. 65, б);

– с нижним расположением пилы и попутной подачей;

– с верхним расположением пилы и встречной подачей (см. рис. 65, а);

– с верхним расположением пилы и попутной подачей.

Траектории резания и подачи. Параметрические уравнения движения вершины зуба А (рис. 68) по окружности радиуса R при угловой частоте ω во времени T можно записать в виде:

$$\begin{cases} x_1 = R \sin \varphi_A = R \sin \omega T, \\ y_1 = R \cos \varphi_A = R \cos \omega. \end{cases}$$

Параметрические уравнения движения подачи:

$$x_2 = V_s T, \quad y_2 = 0.$$

Параметрические уравнения результирующего движения:

$$\begin{cases} x = x_1 + x_2 = R \sin \omega T + V_s T; \\ y = y_1 + y_2 = R \cos \omega T. \end{cases} \quad (90)$$

Это уравнение циклоиды. Математическое описание траектории резания:

$$x = \sqrt{R^2 + y^2} + \frac{S_z z}{2\pi} \arccos(y/R). \quad (91)$$

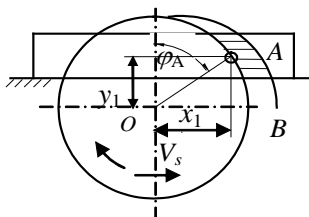


Рис. 68. Схема для расчета траектории резания

Скорости движений. Скорость главного движения V , м/с:

$$V = \pi D n / 60000,$$

где D – диаметр пилы, мм;

n – частота вращения пильного вала, мин⁻¹.

Скорость подачи V_s , м/мин:

$$V_s = S_z z n / 1000,$$

где z – количество зубьев пилы;

S_z – подача на зуб, мм.

Скорость результирующего движения V_e , м/с:

$$V_e = \sqrt{V^2 + V_s^2 + 2V V_s \cos \mu},$$

где μ – угол подачи, град.

Геометрия срезаемого слоя. Границы контакта пилы с заготовкой можно выразить углом входа $\varphi_{вх}$ зубьев в заготовку и углом выхода $\varphi_{вых}$ (см. рис. 64, а, б). Расчетные формулы для определения этих углов приведены в табл. 27.

Угол контакта зуба пилы с заготовкой $\varphi_k = \varphi_{вых} - \varphi_{вх}$.

Средний угол на дуге контакта $\varphi_{ср}$, равный углу подачи μ :

$$\varphi_{ср} = \mu = (\varphi_{вх} + \varphi_{вых}) / 2.$$

Длина срезаемого слоя l вычисляется как длина дуги контакта. Выражая φ_k в радианах или в градусах, получим соответственно

$$l = R \varphi_k \quad \text{или} \quad l = \pi D \varphi_k / 360^\circ.$$

Таблица 27

Значения углов $\varphi_{вх}$ и $\varphi_{вых}$ при встречной и попутной подачах

Положение пилы	Подача встречная		Подача попутная	
	$\varphi_{вх}$	$\varphi_{вых}$	$\varphi_{вх}$	$\varphi_{вых}$

Верхнее	$\arccos \frac{h}{R}$	$\arccos \frac{h-t}{R}$	$\arccos \frac{h-t}{R}$	$\arccos \frac{h}{R}$
Нижнее	$\arccos \frac{h+t}{R}$	$\arccos \frac{h}{R}$	$\arccos \frac{h}{R}$	$\arccos \frac{h+t}{R}$

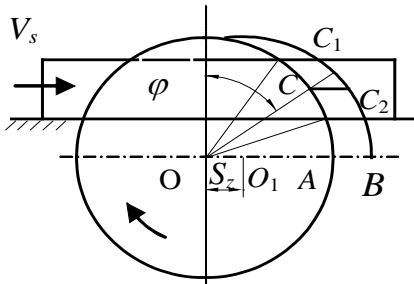


Рис. 69. Размеры срезаемого слоя

Толщина срезаемого слоя. Приняв фигуру CC_1C_2 за прямоугольный треугольник (рис. 69), получим, что толщина среза $a = CC_1 = S_z \sin \varphi$, где φ – угол положения зуба на дуге контакта.

Среднее значение толщины среза a_c , мм, на дуге контакта для плюсовых и разведенных зубьев:

$$a_c = S_z \sin \mu \frac{b}{b_{\text{л}}}$$

Шероховатость. Шероховатость (табл. 28) зависит от величины подачи на зуб и углов перерезания волокон древесины.

Таблица 28

Шероховатость поверхности пропила при различной подаче на зуб при продольном пилении древесины круглыми пилами [23, 24]

Высота неровностей, мкм	Максимальная подача на зуб, мм, при углах выхода зубьев из пропила, град					
	20	30	40	50	60	70
1200	1,8/1,2	1,8/1,2	1,8/1,2	1,8/1,2	1,5/1,2	1,5/1,2
800	1,5/1,0	1,5/1,0	1,5/1,0	1,5/1,0	1,2/0,8	1,2/0,8

500	1,2/0,8	1,2/0,8	1,2/0,8	1,2/0,8	0,75/0,5	0,75/0,5
320	0,45/0,3	0,45/0,3	0,45/0,3	0,45/0,3	0,15/0,1	0,15/0,1
					0	0
200	0,15/0,1	0,15/0,1	0,15/0,1	0,15/0,1	0,15/0,1	0,15/0,1
	0	0	0	0	0	0
100	0,15/0,1	0,15/0,1	0,15/0,1	0,15/0,1	–	–
	0	0	0	0		

Примечание: в числителе – для площеных зубьев; в знаменателе – для разведенных

13.4.5. Динамика продольного пиления

Удельную силу резания при продольном пилении при $a_c \geq 0,1$ мм определяют по формуле

$$F_{уд} = a_n a_w a_b \left[\frac{\alpha_\rho p}{a_c} + k + \frac{\alpha t}{b} \right],$$

где a_n – коэффициент учета породы древесины;

a_w – коэффициент учета влажности;

a_b – коэффициент вида пиления (встречное $a_b = 1$, попутное $a_b = 1,1$);

α_ρ – коэффициент затупления,

$$\alpha_\rho = 1 + \left(1 + 0,1 \frac{k}{p}\right) \frac{\Delta_\rho}{\rho_o + 50}.$$

Фиктивная сила резания при пилении сосны p , Н/мм:

$$p_{//\perp} = 3,924 + 3,23 \sin^{1,25} \varphi_\delta.$$

Касательное давление стружки на переднюю поверхность зуба для продольно-торцового резания древесины сосны, МПа:

$$k_{//\perp} = 0,196\delta + 0,069V' - 5,4 + (0,354\delta + 0,127V' - 14,22) \sin^{1,25} \varphi_\delta,$$

где $\varphi_в$ – угол встречи режущей кромки с волокнами, при продольном пилении принимают $\varphi_в = \varphi_{ср} = \mu$;

δ – угол резания зуба, град;

V' – условная скорость резания, м/с, причем если $V < 50$ м/с, то $V' = (90 - V)$, иначе $V' = V$, где V – скорость главного движения.

Касательная сила резания при пилении одним зубом $F_{x\text{зуб}}$, Н:

для макрослоев ($a \geq 0,1$ мм)

$$F_{x\text{зуб}} = a_n a_w a_в [\alpha_\rho p + (k + \frac{\alpha t}{b}) a_c] b_{л}, \quad (92)$$

для микрослоев ($a \leq 0,1$ мм)

$$F_{x\text{зуб м}} = a_n a_w a_в [\alpha_\rho p + 0,1(k + \frac{\alpha t}{b})] (1 - \frac{1}{\lambda} a_c^2 + \frac{0,2}{\lambda} a_c - \frac{0,01}{\lambda}) b_{л}, \quad (93)$$

где λ – коэффициент: $\lambda = \rho^2 + 0,2\rho + 0,01$; здесь радиус закругления режущих кромок лезвий подставляется в мм; $\rho = \rho_0 + \Delta\rho$.

В пропиле находится несколько зубьев, поэтому средняя касательная сила резания за оборот пилы (окружная сила резания) будет

$$F_x = F_{x\text{зуб}} \frac{I}{t_з}$$

Мощность пиления P , кВт:

$$P = \frac{F_x V}{1000}$$

При решении обратных задач из формул (92), (93) находят значение средней толщины срезаемого слоя a_c . Обозначим в (93)

$$m_1 = \frac{F_{x\text{зуб}}}{a_n a_w a_в b_{л} d},$$

где $d = [\alpha_\rho p + 0,1(k + \frac{\alpha t}{b})]$.

Если $m_1 \geq 1$, то расчет следует вести по формулам для макрослоев, при $m_1 \leq 1$ расчет следует вести по формулам для микрослоев.

При срезании макрослоев ($a_c \geq 0,1$ мм)

$$a_c = \frac{\left(\frac{F_{хзуб}}{a_{II} a_W a_B b_{Л}} - \alpha_{\rho} \rho\right) b}{(kb + \alpha t)}. \quad (94)$$

Из выражения (93) получим

$$m_1 = 1 - \frac{1}{\lambda} a_c^2 + \frac{0,2}{\lambda} a_c - \frac{0,01}{\lambda}.$$

Приведем это выражение к полному квадратному уравнению, после решения которого получим:

$$a_{сМ} = 0,1 - \sqrt{\lambda(1 - m)}, \quad (95)$$

где $\lambda = \rho^2 + 0,2\rho + 0,01$; $\rho = \rho_o + \Delta_{\rho}$; ρ – в мм. При $m_1 = 1$ $a_{сМ} = 0,1$ мм.

Радиальная составляющая силы резания F_z , Н:

при $a_c \geq 0,1$ мм

$$F_z = \left[0,5\alpha_{\rho}^2 \left(\alpha_{\rho} \rho + 0,1\left(k + \frac{\alpha t}{b}\right)\right) \frac{\rho}{\rho + 50} - (a_c - 0,1)\left(k + \frac{\alpha t}{b}\right) \operatorname{tg}(90^{\circ} - \delta - \varphi)\right] a_{II} a_W a_B b_{Л} \frac{l}{t_3},$$

при $a_c < 0,1$ мм

$$F_z = a_{II} a_W a_B b_{Л} \frac{l}{t_3} 0,5\alpha_{\rho}^2 \left[\alpha_{\rho} \rho + 0,1\left(k + \frac{\alpha t}{b}\right)\right] \frac{\rho}{\rho + 50}.$$

13.4.6. Пример решения обратной задачи

Дано. На круглопильном станке с нижним расположением пильного вала и механической подачей продольно распиливаются березовые доски толщиной $t = 25; 32; 40; 50$ мм. Влажность досок $W = 20\%$.

Мощность электродвигателя механизма главного движения $P = 4$ кВт, КПД привода $\eta = 0,94$, частота вращения пильного вала $n = 2500$ мин⁻¹. Шероховатость распиленных поверхностей $R_m = 320$ мкм. Угол резания зуба пилы $\delta = 55^{\circ}$. Расстояние от центра пилы до заготовки $h = 90$ мм.

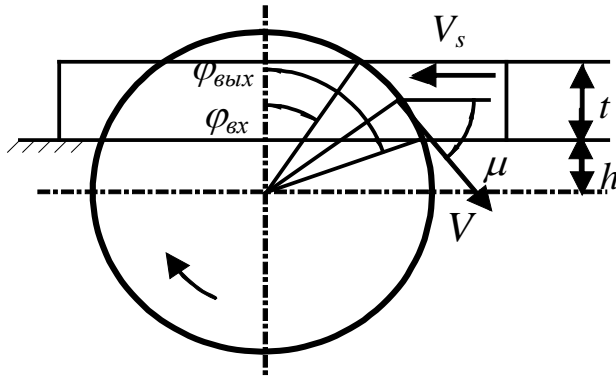


Рис. 70. Продольное пиление на станке с нижним расположением дисковой пилы

Требуется определить скорости подачи и построить график скоростей подачи.

Решение. Для наглядности решаемой задачи строится расчетная схема (рис. 70). Расчет выполняется в следующем порядке.

1. Минимальный диаметр пилы, необходимой для пиления доски центральной зоной

$$D > \frac{2(h+t)}{\cos \delta} =$$

$$\frac{2(90+60)}{\cos 55^\circ} = 401 \text{ мм.}$$

Для работы выбираем пилу 3240-0226 по ГОСТ 980-80. С учетом переточки принимаем диаметр пилы $D = 500$ мм. Толщина диска $S = 2,5$ мм, число зубьев $z = 48$ шт., передний угол лезвия $\gamma = 35^\circ$, зубья разведены, величина уширения зубьев $S' = 0,5$ мм (табл. 27). Принимаем период стойкости $T = 4$ ч или $T = 240$ мин.

Окружной шаг зубьев

$$t_3 = \pi D / z = 3,14 \cdot 500 / 48 = 32,7 \text{ мм.}$$

2. Углы контакта (результаты расчетов сведены в табл. 29), рад.:

$$\varphi_{\text{ВХ}} = \arccos \frac{h+t}{R} = \arccos \frac{90+25}{250} = 1,09;$$

$$\varphi_{\text{ВЫХ}} = \arccos \frac{h}{R} = \arccos \frac{90}{250} = 1,2 \text{ рад.} = 68,9^\circ;$$

$$\varphi_k = \varphi_{\text{ВЫХ}} - \varphi_{\text{ВХ}} = 1,2 - 1,09 = 0,1097 \text{ рад.};$$

$$\varphi_{\text{ср}} = \mu = (\varphi_{\text{ВХ}} + \varphi_{\text{ВЫХ}}) / 2 = (1,09 + 1,2) / 2 = 1,1477 \text{ рад.}$$

Длина дуги контакта пилы с доской

$$l = \varphi_k D / 2 = 0,1097 \cdot 500 / 2 = 27,4 \text{ мм.}$$

Таблица 29

для макрослоев	a_c	мм	0,53	0,29	0,12	-
Подача на зуб: по мощности	S_{z3}	мм	0,41	0,23	0,11	0,023
по динамической устойчивости	S_{z4}	мм	0,9	0,59	0,37	0,19
Подача на зуб рабочая	S_p	мм	0,15	0,15	0,10	0,02
Скорость подачи	V_s	м/мин	18	18	11,4	2,8

3. Ширина пропила

$$b = S + 2S' = 2,5 + 2 \cdot 0,5 = 3,5 \text{ мм},$$

длина режущей кромки $b_n = 2,5$ мм.

4. Максимально допустимая подача на зуб S_{z1} , мм, ограниченная требованием к шероховатости распиленных поверхностей, находится по табл. 28. При $\varphi_{\text{вых}} = 68,9^\circ$ и $R_m = 320$ мкм $S_{z1} = 0,15$ мм.

5. Максимально допустимая подача на зуб S_{z2} , мм, ограниченная вместимостью впадин зубьев:

$$S_{z2} = \theta t_3^2 / (\sigma t) = t_3^2 / (4 \dots 5),$$

где θ – коэффициент формы зуба;

σ – коэффициент напряженности впадины зуба ($\sigma=1$ для разведенных и $\sigma=0,8$ для плющенных зубьев).

$$S_{z2} = 32,7^2 / (5 \cdot 25) = 8,6 \text{ мм}.$$

6. Максимально допустимая подача на зуб S_{z3} , ограниченная мощностью привода.

6.1. Скорость главного движения

$$V = \pi D n / 60000 = 3,14 \cdot 500 \cdot 2500 / 60000 = 65,4 \text{ м/с}.$$

6.2. Фиктивная сила резания древесины сосны

$$p = 3,924 + 3,23 \sin^{1,25} \varphi_\theta = 3,924 + 3,23 \sin^{1,25} 1,15 = 6,8 \text{ Н/мм}.$$

6.3. Касательное давление стружки на переднюю поверхность зуба

$$k_{//-\perp} = 0,196\delta + 0,069V' - 5,4 + (0,354\delta + 0,127V' - 14,22) \sin^{1,25} \varphi_\theta =$$

$$= 0,196 \cdot 55 + 0,069 \cdot 65,4 - 5,4 + (0,354 \cdot 55 + 0,127 \cdot 65,4 - 14,22) \sin^{1,25} 1,15 =$$

$$= 21,98 \text{ МПа.}$$

6.4. Величина затупления режущей кромки зуба

$$\Delta \rho = \gamma_{\Delta} \ln TK_r K_u / 1000 = 0,0013 \cdot 27,4 \cdot 2500 \cdot 240 \cdot 0,9 \cdot 0,9 / 1000 = 17,3 \text{ мкм.}$$

6.5. Коэффициент затупления при $\rho_0 = 10 \text{ мкм}$

$$\alpha_{\rho} = 1 + (1 + 0,1 \frac{k}{p}) \frac{\Delta \rho}{\rho_0 + 50} = 1 + (1 + 0,1 \frac{20,72}{6,25}) \frac{17,3}{10 + 50} = 1,38.$$

6.6. Касательная сила резания одним зубом

$$F_{x \text{ зуб}} = \frac{1000 P \eta t_3}{V l i} = \frac{1000 \cdot 4 \cdot 0,94 \cdot 32,7}{65,4 \cdot 27,4} = 68,5 \text{ Н.}$$

6.7. Коэффициенты

$$d = [\alpha_{\rho} p + 0,1(k + \frac{\alpha t}{b})] = [1,38 \cdot 6,80 + 0,1(21,98 + \frac{0,7 \cdot 25}{3,5})] = 12,1;$$

$$m_1 = \frac{F_{x \text{ зуб}}}{a_n a_w a_b b_L d} = \frac{68,5}{1,25 \cdot 0,93 \cdot 1 \cdot 2,5 \cdot 12,1} = 1,95;$$

для $t = 50 \text{ мм}$ $m = 0,76$.

Если $m_1 > 1$, то толщина срезаемого слоя a_c определяется по формуле для макрослоев; при $m_1 \leq 1 - a_{cm}$ – для микрослоев ($a_{cm} \leq 0,1 \text{ мм}$).

6.8. Средняя толщина срезаемого слоя для макрослоя

$$a_c = \frac{(\frac{F_{x \text{ зуб}}}{a_n a_w a_b b_L} - \alpha_{\rho} p) b}{(k b + \alpha t)} = \frac{(\frac{68,5}{1,25 \cdot 0,93 \cdot 1 \cdot 2,5} - 1,38 \cdot 6,25) 3,5}{(20,72 \cdot 3,5 + 0,7 \cdot 25)} =$$

$$= 0,58 \text{ мм.}$$

Для $t = 50 \text{ мм}$ $a_c < 0,1 \text{ мм}$. Выполним расчет по формулам: $\lambda = \rho^2 + 0,2\rho + 0,01$;

$\rho = \rho_0 + \Delta \rho$; ρ – в мм.

$$\lambda = (0,010 + 0,035,7)^2 + 0,2(0,010 + 0,035,7) + 0,01 = 0,021;$$

$$a_{сМ} = 0,1 - \sqrt{\lambda(1 - m)} = 0,1 - \sqrt{0,021(1 - 0,76)} = 0,028 \text{ мм};$$

6.9. Подача на зуб S_{z3} , ограниченная мощностью привода мм:

$$S_{z3} = \frac{a_c l b_{л}}{tb} = \frac{0,53 \cdot 27,4 \cdot 2,5}{25 \cdot 3,5} = 0,41 \text{ мм}.$$

7. Максимальная подача на зуб по динамической устойчивости пилы [20]. При продольном пилении периферийная зона пилы нагревается сильнее центральной. При достижении разности температур на линии окружности впадин и в зоне зажимных фланцев некоторого критического значения ΔT пила начинает терять динамическую устойчивость.

Способ охлаждения пил на станках учитывают коэффициентом m , который принимают равным:

при пилении без охлаждения $m = 0,85/A,$

при охлаждении водовоздушной смесью $m = 0,85 Q_{жс}^{0,17} / B,$

при охлаждении пилы водой $m = 0,85 Q_{жс}^{0,24} / B.$

Значения коэффициентов А, Б, В рассчитывают по следующим формулам:

$$A = 12,3 \cdot 10^6 \frac{K_m}{D^{1,3} n^{0,4} S^{0,5}},$$

$$B = 5,85 \cdot 10^4 K_m D^{-0,8} n^{-0,15} S^{-0,5} Q_{жс}^{-0,17},$$

$$B = 1,85 \cdot 10^4 K_m D^{-0,65} n^{-0,075} S^{-0,5} Q_{жс}^{-0,24},$$

где $Q_{жс}$ – расход жидкости на один диск, кг/ч ; K_m – коэффициент, учитывающий долю мощности резания, расходуемую на нагрев диска пилы. Для пил $D \leq 500$ мм без охлаждения $K_m = 0,03$, при охлаждении водовоздушной смесью или водой $K_m = 0,01$. Для пил большего диаметра данных по K_m нет.

7.1. При работе без охлаждения значение коэффициента А:

$$A = 12,3 \cdot 10^6 \frac{K_{\Gamma}}{D^{1,3} n^{0,4} S^{0,5}} = 12,3 \cdot 10^6 \frac{0,03}{500^{1,3} 2500^{0,4} 2,5^{0,5}} = 3,2.$$

7.2. Значение коэффициента m :

$$m = 0,85/A = 0,85/1654,1 = 0,2687.$$

7.3. Значение температурного перепада можно найти по формуле [22], °C

$$\Delta T = \frac{KP\eta}{1,88 \cdot 10^{-6} D^{0,96} V^{0,426} b^{0,471}} = \frac{0,05 \cdot 4 \cdot 0,94}{1,88 \cdot 10^{-6} 500^{0,96} 65,4^{0,426} 3,5^{0,471}} = 23,9 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

7.3. Подача на зуб по динамической устойчивости

$$S_{z4} = \frac{\frac{6 \cdot 10^7 m \Delta T}{a_{II} a_w a_B t z n} - \frac{\alpha_p p b_l}{\sin \varphi_{cp}}}{kb + \alpha t} = \frac{\frac{6 \cdot 10^7 \cdot 0,2687 \cdot 23,9}{1,25 \cdot 0,93 \cdot 1 \cdot 25 \cdot 48 \cdot 2500} - \frac{1,38 \cdot 6,8 \cdot 2,5}{\sin 65,8^\circ}}{21,98 \cdot 3,5 + 0,7 \cdot 25} = 2,18 \text{ мм}.$$

8. Скорости подач

Из четырех значений подач на зуб для каждой высоты пропила выбирается минимальное расчетное значение S_{zp} :

Высота пропила t , мм	25	32	40	50
S_{zp} , мм	0,15	0,15	0,10	0,02

$$V_s = S_{zp} z n / 1000 = 0,15 \cdot 48 \cdot 2500 / 1000 = 18 \text{ м/мин}.$$

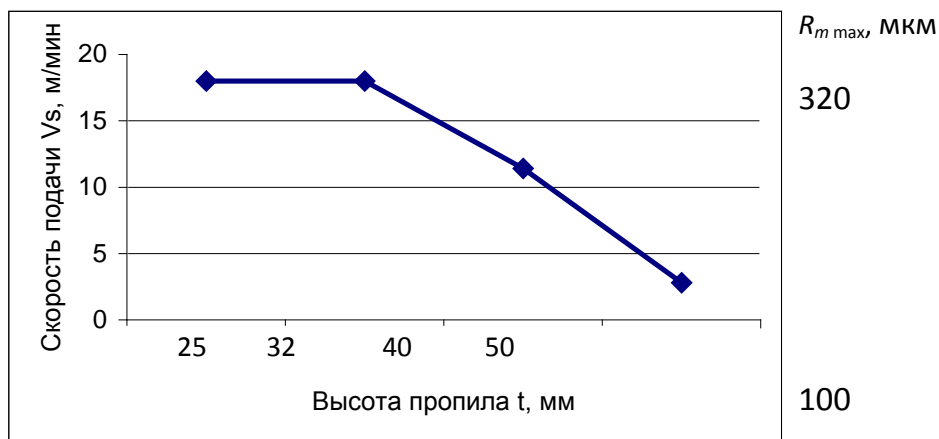


Рис. 71. График скоростей подач при пилении

КУБЕЦКИМ ВИДОМ

График скоростей подач приведен на рис. 71.

13.4.7. Зависимость скорости подачи от числа зубьев пилы

Исследование проводилось на описанной выше модели при следующих условиях: высота пропила $t = 25; 40; 60; 100$ мм, мощность механизма главного движения $P = 15$ кВт, КПД привода – 0,94, частота вращения пильного вала $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$, в станке с нижним положением пильного вала расстояние от центра пилы до стола $h = 90$ мм, порода древесины – береза, влажность $W = 20\%$, угол резания зубьев $\delta = 55^\circ$, удельная сила трения пилы в пропиле $\alpha = 0,7$ МПа, диаметр пилы $D = 500$ мм, период стойкости пилы $T = 240$ мин, число зубьев пилы $Z = 36; 48; 60; 72$.

Результаты расчетов приведены в табл. 30.

С увеличением числа зубьев пилы скорость подачи убывает, а количество режущих зубьев на дуге контакта увеличивается. Таким образом, если при выборе режима пиления главным критерием является увеличение производительности станка, то следует выбирать пилы с меньшим числом зубьев. Если же главным критерием является увеличение точности или улучшение шероховатости распиленных поверхностей, то в этом случае необходимо учесть следующее.

Таблица 30

Влияние числа зубьев пилы Z на скорость подачи V_s

и число режущих зубьев z в пропиле

Параметры пиления	Высота пропила (толщина заготовки) t , мм			
	25	40	60	100
$Z=36$ шт; V_s , м/мин	333,7	177,8	95,0	32,6
z	0,6	1,0	1,6	2,8
$Z=48$ шт; V_s , м/мин	327,2	171,1	88,0	24,7
z	0,8	1,4	2,1	3,8
$Z=60$ шт; V_s , м/мин	320,7	164,4	81,0	16,9
z	1,0	1,7	2,6	4,7
$Z=72$ шт; V_s , м/мин	314,2	157,8	74,0	5,4
z	1,3	2,0	3,2	5,7

При пилении древесины круглая пила, особенно с разведенными зубьями, испытывает поперечные колебания, которые гасятся при взаимодействии зубьев со стенками пропила. Для этого желательно, чтобы в пропиле находилось режущих зубьев $z = (2...3)$.

13.4.8. Продольное пиление древесины пилой с косой заточкой зубьев

Одной из задач процесса пиления является снижение энергопотребления. Для решения такой задачи зубья пилы выполняют с косой заточкой: поочередно с правой и левой.

На рис. 72, а показан профиль зубьев пилы в пропиле, на рис. 72, б – сечения срезаемых слоев зубьями при одинаковой подаче на зуб S_z . Ширина пропила равна b . Площади поперечных сечений срезаемых слоев зубьями 3, 4, 5 и т.д. одинаковы. Найдем площадь S поперечного сечения срезаемого слоя для зуба 4. Проведем ось симметрии пропила, получим $\Delta dcm = \Delta mgh$. Сложное по форме сечение срезаемого слоя заменим параллелограммом $dhfe$. Площадь его $S = 2S_z b / 2$.

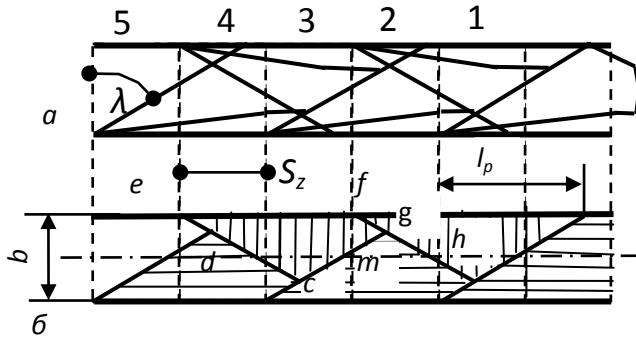


Рис. 72. Поперечные сечения срезаемых слоев: *a* – зубчатая кромка пилы;

б – сечения срезаемых слоев

кромки на направление подачи $l_p = btg\lambda > S_z$.

Если $l_p \leq S_z$, то

$$a_{cp} = S_z \lambda \sin \mu. \quad (97)$$

На рис. 73 приведена схема пиления круглой пилой со скошенными зубьями.

Если угол наклона режущей кромки $\lambda = 0^\circ$, то режущая кромка расположена перпендикулярно стенкам пропила (показана точкой). Угол встречи φ_e при пилении изменяется от нуля в точке *A* до 90° в точке *C* ($90^\circ \geq \varphi_e \geq 0$). Процесс резания изменяется от продольного // до торцового \perp . В произвольной точке *B* дуги контакта имеет место продольно-торцовое резание. Если угол наклона режущей кромки $\lambda=90^\circ$, то режущая кромка расположена параллельно стенкам пропила (показана прямой линией). Угол скоса φ_c при пилении изменяется от нуля в точке *A* до 90° в точке *C* ($90^\circ \geq \varphi_c \geq 0$).

Процесс резания изменяется от продольного // до поперечного #. В произвольной точке *B* дуги контакта имеет место продольно-поперечное резание, а угол скоса равен углу встречи, $\varphi_c = \varphi_e$.

Каждый зуб пилы формирует половину ширины пропила, средняя ширина слоя $b_c = 0,5b$. Тогда средняя толщина срезаемого слоя на дуге контакта при пилении круглой пилой

$$a_{cp} = \frac{S}{b_c} \sin \mu = 2S_z \sin \mu, \quad (96)$$

где μ – угол подачи.

Эта формула получена для случая, когда проекция режущей

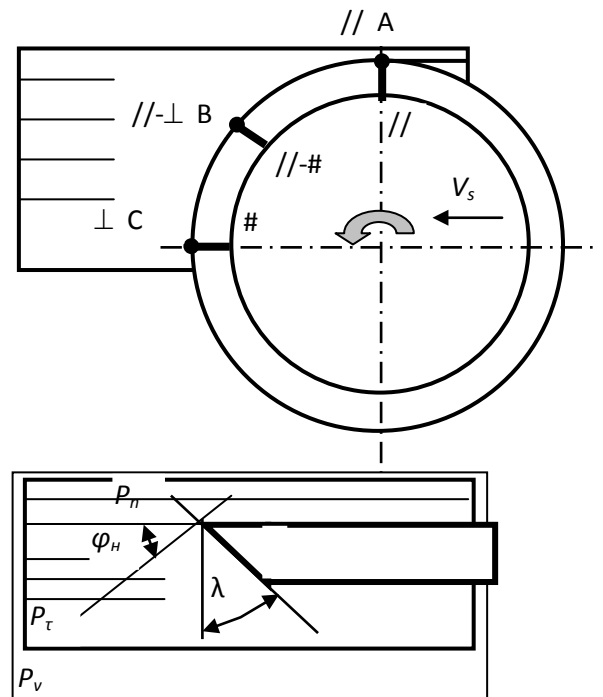


Рис.73. Схема продольного пиления круглой пилой

Если угол наклона режущей кромки $90^\circ > \lambda > 0$, то в произвольной точке B дуги контакта резание переходит от продольно-торцового к продольно-поперечному и получается продольно-торцово-поперечное резание, которое характеризуется углом наклона φ_H . Угол наклона измеряется в основной плоскости P_V между направлением волокон, направленных в массив, и главной секущей плоскостью P_T . Из рис. 73 следует, $\varphi_H = \lambda$.

Найдем значения фиктивной силы резания и касательного давления срезаемого слоя на переднюю поверхность зуба пилы. Для продольно-торцово-поперечного резания можно записать:

– фиктивная сила резания при пилении

$$p_{//-\perp\#} = p_{//-\perp} - (p_{//-\perp} - p_{//\#}) \sin^{1,25} \varphi_H; \quad (98)$$

– касательное давление срезаемого слоя на переднюю поверхность зуба

$$k_{//-\perp\#} = k_{//-\perp} - (k_{//-\perp} - k_{//\#}) \sin^{1,25} \varphi_H,$$

где $p_{//-\perp} = 3,924 + 3,23 \sin^{1,25} \varphi_B;$

$$p_{\#-//} = 2,0 + 0,59 \cos^2 \varphi_C;$$

$$k_{//-\perp} = 0,196\delta + 0,069V' - 5,4 + (0,354\delta + 0,127V' - 14,22) \sin^{1,25} \varphi_B$$

$$k_{\#-//} = 0,029\delta + CV' - 0,59 + (0,167\delta + (0,069 - C)V' - 4,81) \cos^2 \varphi_C$$

Пример. На однопильном круглопильном станке распиливаются сосновые брусья толщиной $t = 100$ мм на доски. Высота стола над центром пилы $h = 105$ мм, диаметр пилы $D = 650$ мм, число зубьев $z = 36$, толщина диска пилы $S = 4,4$ мм, уширение зубьев на сторону $S' = 1,2$ мм, ширина пропила $b = 6,8$ мм, зубья оснащены пластинами твердого сплава ВК15, угол резания $\delta = 70^\circ$, скорость подачи $V_s = 10$ м/мин, частота вращения пильного вала $n = 1500$ мин⁻¹. Зубья пилы имеют косую заточку с углом наклона режущей кромки $\lambda = 10^\circ$.

Определить мощность механизма главного движения в сравнении с пилением пилой с зубьями прямой заточки.

Решение. 1 Проекция режущей кромки на направление подачи зуба с косо́й заточкой

$$l_p = b \operatorname{tg} \lambda = 6,8 \cdot \operatorname{tg} 10^\circ = 1,2 \text{ мм.}$$

2. Окружной шаг зубьев

$$t_3 = \pi D / z = 3,14 \cdot 650 / 36 = 56,7 \text{ мм.}$$

3. Углы (результаты расчетов сведены в табл. 31):

$$\text{– входа } \varphi_{\text{ВХ}} = \arccos \frac{h+t}{R} = \arccos \frac{2(105+100)}{650} = 0,888 \text{ рад;}$$

$$\text{– выхода } \varphi_{\text{ВЫХ}} = \arccos \frac{h}{R} = \arccos \frac{2 \cdot 105}{650} = 1,24 \text{ рад;}$$

$$\text{– контакта } \varphi_K = \varphi_{\text{ВЫХ}} - \varphi_{\text{ВХ}} = 1,24 - 0,888 = 0,354 \text{ рад;}$$

$$\text{– среднее значение } \varphi_{\text{СР}} = \varphi_{\text{В}} = \mu = (\varphi_{\text{ВХ}} + \varphi_{\text{ВЫХ}}) / 2 = (0,888 + 1,24) / 2 = 1,065 \text{ рад} = 61^\circ.$$

4. Длина дуги контакта пилы с брусом

$$l = \varphi_K D / 2 = 0,354 \cdot 650 / 2 = 114,9 \text{ мм.}$$

5. Скорость главного движения

$$V = \pi D n / 60000 = 3,14 \cdot 650 \cdot 1500 / 60000 = 51,1 \text{ м/с.}$$

6. Фиктивная сила резания древесины сосны, Н/мм:

$$\text{– } p_{//\perp} = 3,924 + 3,23 \sin^{1,25} \varphi_{\text{В}} = 3,924 + 3,23 \sin^{1,25} 61^\circ = 6,66;$$

$$\text{– } p_{\#//} = 2,0 + 0,59 \cos^2 \varphi_{\text{С}} = 2,0 + 0,59 \cos^2 61^\circ = 2,14;$$

$$\text{– } p_{//\perp\#} = p_{//\perp} - (p_{//\perp} - p_{//\#}) \sin^{1,25} \varphi_{\text{Н}} =$$

$$= 6,66 - (6,66 - 2,14) \sin^{1,25} 10^\circ = 6,15.$$

7. Касательное давление стружки на переднюю поверхность зуба, МПа:

$$k_{//-\perp} = 0,196\delta + 0,069V' - 5,4 + (0,354\delta + 0,127V' - 14,22) \sin^{1,25} \varphi_\theta =$$

$$= 0,196 \cdot 70 + 0,069 \cdot 51,1 - 5,4 + (0,354 \cdot 70 + 0,127 \cdot 51,1 - 14,22) \sin^{1,25} 61^\circ =$$

$$= 26,26;$$

$$k_{\#-//} = 0,029\delta + CV' - 0,59 + (0,167\delta + (0,069 - C)V' - 4,81) \cos^2 \varphi_c =$$

$$= 0,029 \cdot 70 + 0,069 \cdot 51,1 - 0,59 + (0,167 \cdot 70 + (0,069 - 0,069) \cdot 51,1 - 4,81) \cos^2 61^\circ =$$

$$= 6,58;$$

$$-k_{//-\perp\#} = k_{//-\perp\#} = k_{//-\perp} - (k_{//-\perp} - k_{//-\#}) \sin^{1,25} 10^\circ =$$

$$= 26,26 - (26,26 - 6,58) \cdot \sin^{1,25} 10^\circ = 24,06 \text{ МПа.}$$

Таблица 31

Результаты расчетов

Параметры	Обозначение	Размерность	Пила с косыми зубьями	Пила с прямой заточкой
Окружной шаг зубьев	t_z	мм	≈56,7	56,7
Углы:				
входа	$\varphi_{вх}$	рад	0,888	0,888
выхода	$\varphi_{вых}$	рад	1,242	1,242
контакта	φ_k	рад	0,354	0,354
среднее	φ_θ	град	61	61
Длина дуги контакта пилы с бруском	l	мм	114,9	114,9

Скорость главного движения	V	м/с	51,1	51,1
Фиктивная сила резания древесины сосны:				
$\rho_{//-\perp}$	$\rho_{//-\perp}$	Н/мм	6,66	6,66
$\rho_{//-\#}$	$\rho_{//-\#}$	Н/мм	2,14	-
$\rho_{//-\perp-\#}$	$\rho_{//-\perp-\#}$	Н/мм	6,15	-
Касательное давление стружки на переднюю поверхность зуба				
$k_{//-\perp}$	$k_{//-\perp}$	МПа	26,26	26,26
$k_{//-\#}$	$k_{//-\#}$	МПа	6,58	-
$k_{//-\perp-\#}$	$k_{//-\perp-\#}$	МПа	24,06	-
Величина затупления	$\Delta\rho$	мкм	6,7	6,7
Коэффициент затупления	α_ρ		1,15	1,16
Значение подачи на зуб	S_z	мм	0,19	0,19
Толщина срезаемого слоя	a	мм	0,32	0,16
Удельная сила резания	$F_{y\delta}$	МПа	48,39	73,1
Мощность механизма главного движения	P	кВт	5,48	8,28

8. Величина затупления режущей кромки зуба

$$\Delta\rho = \gamma_{\Delta} \ln TK_n K_u / 1000 = 0,0001 \cdot 114,9 \cdot 1500 \cdot 480 \cdot 0,9 \cdot 0,9 / 1000 = 6,7 \text{ мкм.}$$

9. Коэффициент затупления при $\rho_o = 10$ мкм

$$\alpha_\rho = 1 + \left(1 + 0,1 \frac{k}{p}\right) \frac{\Delta\rho}{\rho_o + 50} = 1 + \left(1 + 0,1 \frac{24,06}{6,52}\right) \frac{6,7}{10 + 50} = 1,15.$$

10. Значение подачи на зуб

$$S_z = 1000V_s / zn = 1000 \cdot 10 / (36 \cdot 1500) = 0,19 \text{ мм.}$$

11. Толщина срезаемого слоя зубом пилы для случая, когда $l_p = 1,2 >$

$$S_z = 0,19 \text{ мм:}$$

$$a_{cp} = 2S_z \sin \mu = 2 \cdot 0,19 \cdot \sin 61^\circ = 0,32 \text{ мм.}$$

12. Удельная сила резания

$$F_{y\partial} = a_n a_w a_b \left(k + \frac{\alpha_{\rho P}}{a} + \frac{\alpha_{\Delta t}}{b} \right) = 1 \cdot 0,89 \cdot 1 \left(24,06 + \frac{1,15 \cdot 5,48}{0,32} + \frac{0,57 \cdot 100}{6,8} \right) = 48,39 \text{ МПа.}$$

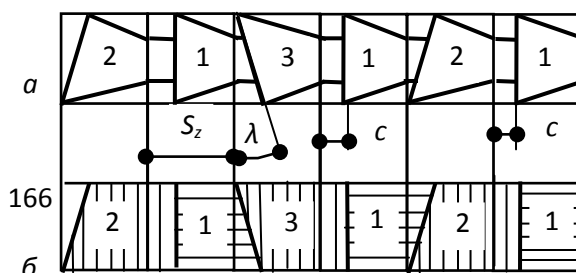
13. Мощность механизма главного движения

$$P_k = \frac{F_{y\partial} b t V_s}{60 \cdot 1000} = \frac{48,39 \cdot 6,8 \cdot 100 \cdot 10}{60 \cdot 1000} = 5,48 \text{ кВт.}$$

При использовании пилы с прямыми зубьями мощность равна $P_n = 8,28$ кВт, при косо́й заточке зубьев $P_k = 5,48$ кВт. С увеличением угла наклона режущих кромок мощность на пиление можно уменьшить. Так при $\lambda = 20^\circ$ $P_k = 4,94$ кВт, при $\lambda = 30^\circ$ $P_k = 4,37$ кВт.

13.4.9. Продольное пиление древесины пилой с укороченными зубьями

При пилении древесины пилой с косо́й заточкой на зубьях возникают поперечные составляющие силы резания, которые раскачивают пилу в поперечном направлении, вызывают вибрацию пилы. Для гашения поперечных колебаний пилы зубья пилы выполняют по схеме: зуб с косо́й правой заточкой, зуб укороченный прямой, зуб с косо́й левой заточкой, зуб укороченный прямой и т.д.



На рис. 74, а показаны профили зубьев пилы, на рис. 74, б – сечения срезаемых слоев зубьями при одинаковой подаче на зуб. При этом режущие

Рис. 74. Поперечные сечения срезаемых слоев: а – зубчатая кромка пилы; б – сечения срезаемых слоев

кромки зубьев в пределах подачи на зуб S_z проходят от левой до правой стенок пропила. Ширина пропила равна b . Найдем площадь S поперечных сечений срезаемых слоев для зубьев:

– зуб 1 прямой, укороченный на величину c :

$$S_1 = S_z b - cb + 0,5b^2 \operatorname{tg} \lambda ; \quad (99)$$

– зуб 2 с косой левой заточкой:

$$S_2 = S_z b + cb - 0,5b^2 \operatorname{tg} \lambda ; \quad (100)$$

При $c = 0,5b \operatorname{tg} \lambda$ $S_1 = S_2 = S_z b$. Это оптимальный случай, при котором

$$\operatorname{tg} \lambda = \frac{2c}{b}, \quad (101)$$

где λ – угол наклона режущей кромки зуба с косой заточкой.

Значение c можно принимать из ряда (рис. 75):

$$c = 0,5S_z; \quad c = S_z; \quad c = 1,5S_z; \quad c = 2S_z. \quad (102)$$

При укорочении прямых зубьев $c = 0,5S_z$ и $c = S_z$ рабочая часть режущих кромок всех зубьев проходит от левой до правой стенок пропила. Площади срезаемых слоев всеми зубьями одинаковы и равны $S_z b$.

При укорочении прямых зубьев $c > S_z$ рабочие части режущих кромок зубьев не формируют одновременно обе стенки пропила. Площади срезаемых слоев прямыми зубьями стали меньше соответствующих площадей, срезаемых зубьями с косой заточкой. Проекция рабочей части режущих кромок зубьев на направление ширины пропила b_1 меньше b .

Среднее значение фактической подачи на зуб определим как отношение площади среза к ширине пропила b_1 . При $c = 0,5S_z$ и $c = S_z$ для всех зубьев

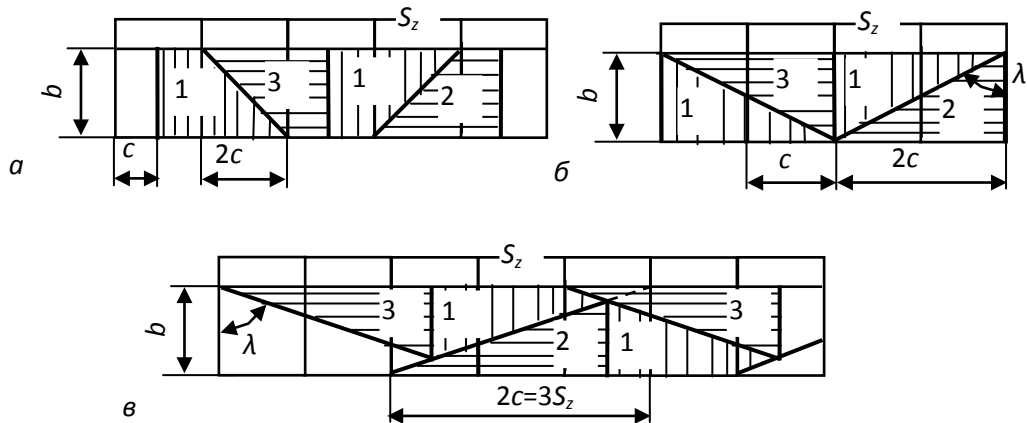


Рис.75. Поперечные сечения срезаемых слоев при пилении пилой с укороченными прямыми зубьями:

$$a - c = 0,5S_z; \quad б - c = S_z; \quad в - c = 1,5S_z$$

$$S_{zcp} = S_z b / b = S_z.$$

Для других условий параметры срезаемого слоя находятся по данным табл. 32.

Таблица 32

Параметры срезаемых слоев

Параметры	$c = 1,5 S_z$		$c = 2,0 S_z$	
	Зуб прямой	Зуб косой	Зуб прямой	Зуб косой
Площадь, мм ²	$2,875 S_z^2 ctg \lambda$	$3,125 S_z^2 ctg \lambda$	$3,5 S_z^2 ctg \lambda$	$4,5 S_z^2 ctg \lambda$
Проекция рабочей части режущей кромки на направление b_1 , мм	$2,5 S_z ctg \lambda$	$2,5 S_z ctg \lambda$	$3 S_z ctg \lambda$	$3 S_z ctg \lambda$
Среднее S_{zcp}	$S_{zp} = 1,15 S_z$	$S_{zk} = 1,25 S_z$	$S_{zp} = 1,17 S_z$	$S_{zk} = 1,5 S_z$

СЛОЯ, мм				
----------	--	--	--	--

Пример. На однопильном круглопильном станке распиливаются сосновые брусья толщиной $t = 100$ мм на доски. Диаметр пилы $D = 650$ мм, число зубьев $z = 36$, толщина диска пилы $S = 4,4$ мм, уширение зубьев на сторону $S' = 1,2$ мм, ширина пропила $b = 6,8$ мм, зубья оснащены пластинами твердого сплава BK15, угол резания $\delta = 70^\circ$, скорость подачи $V_s = 30$ м/мин, частота вращения пильного вала $n = 1500$ мин⁻¹, высота стола над центром пилы $h = 105$ мм. Зубья пилы расположены по схеме: зуб с косой правой заточкой, зуб укороченный прямой, зуб с косой левой заточкой, зуб укороченный прямой и т.д.

Определить мощность механизма главного движения в сравнении с пилением обычной пилой с зубьями прямой заточки.

Решение. 1. Определим значение подачи на зуб

$$S_z = 1000V_s / zn = 1000 \cdot 30 / (36 \cdot 1500) = 0,56 \text{ мм.}$$

Принимаем укорочение прямого зуба

$$c = 1,5 S_z = 1,5 \cdot 0,56 = 0,83 \text{ мм.}$$

2. Находим угол наклона режущей кромки зуба с косой заточкой

$$\lambda = \arctg\left(\frac{2c}{b}\right) = \arctg\left(\frac{2 \cdot 0,83}{6,8}\right) = 13,8^\circ.$$

3. Углы (результаты расчетов сведены в табл. 33):

$$\text{– входа } \varphi_{\text{ВХ}} = \arccos \frac{h+t}{R} = \arccos \frac{2(105+100)}{650} = 0,888 \text{ рад;}$$

$$\text{– выхода } \varphi_{\text{ВЫХ}} = \arccos \frac{h}{R} = \arccos \frac{2 \cdot 105}{650} = 1,24 \text{ рад;}$$

– контакта $\varphi_K = \varphi_{\text{вых}} - \varphi_{\text{вх}} = 1,24 - 0,888 = 0,354$ рад;

– среднее значение $\varphi_{\text{ср}} = \varphi_{\text{в}} = (\varphi_{\text{вх}} + \varphi_{\text{вых}}) / 2 = (0,888 + 1,24) / 2 = 1,065$ рад = 61° .

4. Длина дуги контакта пилы с брусом

$$l = \varphi_K D / 2 = 0,354 \cdot 650 / 2 = 114,9 \text{ мм.}$$

5. Скорость главного движения

$$V = \pi D n / 60000 = 3,14 \cdot 650 \cdot 1500 / 60000 = 51,1 \text{ м/с.}$$

6. Фиктивная сила резания древесины сосны:

$$- p_{//\perp} = 3,924 + 3,23 \sin^{1,25} \varphi_{\text{в}} = 3,924 + 3,23 \sin^{1,25} 61 = 6,66 \text{ Н/мм;}$$

$$- p_{//\#} = 2 + 0,59 \cos^2 \varphi_{\text{с}} = 2 + 0,59 \cos^2 61 = 2,14 \text{ Н/мм;}$$

$$- p_{//\perp\#} = p_{//\perp} - (p_{//\perp} - p_{//\#}) \frac{\varphi_{\text{н}}}{90} = 3,76 - (3,76 - 1,17) \cdot 13,8 / 90 = 5,91 \text{ Н/мм;}$$

$$- \text{среднее в блоке } p_{\text{ср}} = (p_{//\perp\#} + p_{//\perp}) / 2 = (5,94 + 6,66) / 2 = 6,28 \text{ Н/мм.}$$

7. Касательное давление стружки на переднюю поверхность зуба, МПа:

$$\begin{aligned} k_{//\perp} &= 0,196\delta + 0,069V' - 5,4 + (0,354\delta + 0,127V' - 14,22) \sin^{1,25} \varphi_{\text{в}} = \\ &= 0,196 \cdot 70 + 0,069 \cdot 51,1 - 5,4 + (0,354 \cdot 70 + 0,127 \cdot 51,1 - 14,22) \sin^{1,25} 61^\circ = \\ &= 26,26; \end{aligned}$$

$$- k_{//\#} = 6,58;$$

$$\begin{aligned} - k_{//\perp\#} &= k_{//\perp\#} = k_{//\perp} - (k_{//\perp} - k_{//\#}) \sin^{1,25} \lambda = \\ &= 26,26 - (26,26 - 6,58) \cdot \sin^{1,25} 13,8^\circ = 22,99 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

$$- \text{среднее в блоке } k_{\text{ср}} = (26,26 + 22,99) / 2 = 24,63 \text{ МПа.}$$

8. Величина затупления режущей кромки зуба

$$\Delta\rho = \gamma_{\Delta} \ln TK_{\eta} K_u / 1000 = 0,0001 \cdot 114,9 \cdot 1500 \cdot 480 \cdot 0,9 \cdot 0,9 / 1000 = 6,7 \text{ мкм.}$$

9. Коэффициент затупления при $\rho_o = 10$ мкм

$$\alpha_{\rho} = 1 + (1 + 0,1 \frac{k}{p}) \frac{\Delta\rho}{\rho_o + 50} = 1 + (1 + 0,1 \frac{22,04}{3,57}) \frac{6,7}{10 + 50} = 1,18.$$

10. Средняя подача на зуб (по табл. 33):

– зуб прямой $S_{zn} = 1,15S_z = 1,15 \cdot 0,56 = 0,64$ мм;

– зуб косой $S_{zk} = 1,25S_z = 1,25 \cdot 0,56 = 0,69$ мм;

– среднее для пилы

$$S_{zcp} = (S_{zk} + S_{zn}) / 2 = (0,69 + 0,64) / 2 = 0,665 \text{ мм;}$$

11. Толщина срезаемого слоя зубом пилы

$$a = S_{zcc} \sin \varphi_{\theta} = 0,665 \sin 61^{\circ} = 0,58 \text{ мм.}$$

12. Удельная сила резания

$$F_{y\partial} = a_n a_w a_g (k + \frac{\alpha_{\rho} p}{a} + \frac{\alpha_{\Delta} t}{b}) = 1 \cdot 0,89 \cdot 1 (24,63 + \frac{1,18 \cdot 6,28}{0,58} + \frac{0,57 \cdot 100}{6,8}) = 40,45 \text{ МПа.}$$

13. Мощность механизма главного движения при работе пилой с комбинированными зубьями

$$P_{\kappa} = \frac{F_{y\partial} b t V_s}{60 \cdot 1000} = \frac{40,45 \cdot 6,8 \cdot 100 \cdot 30}{60 \cdot 1000} = 13,75 \text{ кВт.}$$

Таблица 33

Результаты расчетов

Параметры	Обозначение	Размерность	Пила комбинированная	Пила с прямыми зубьями
Углы:				
входа	$\varphi_{вх}$	рад	0,888	0,888
выхода	$\varphi_{вых}$	рад	1,242	1,242
контакта	φ_k	рад	0,354	0,354
среднее	$\varphi_{ср}$	град	61	61
Скорость главного движения	V	м/с	51,1	51,1
Фиктивная сила резания древесины сосны:				
$\rho_{//-\perp}$	$\rho_{//-\perp}$	Н/мм	6,66	6,66
$\rho_{//-\#}$	$\rho_{//-\#}$	Н/мм	2,14	-
$\rho_{//-\perp-\#}$	$\rho_{//-\perp-\#}$	Н/мм	5,91	-
$\rho_{ср}$	$\rho_{ср}$	Н/мм	6,28	-
Касательное давление стружки на переднюю поверхность зуба				
$k_{//-\perp}$	$k_{//-\perp}$	МПа	26,26	26,26
$k_{//-\#}$	$k_{//-\#}$	МПа	6,58	-
$k_{//-\perp-\#}$	$k_{//-\perp-\#}$	МПа	22,99	-
$k_{ср}$	$k_{ср}$	МПа	24,63	-
Величина затупления	$\Delta\rho$	мкм	6,7	6,7
Коэффициент затупления	α_ρ		1,16	1,16
Среднее значение подачи на зуб:				
для прямых зубьев	$S_{зп}$	мм	0,64	0,56

для косых зубьев	S_{zk}	мм	0,69	-
среднее для пилы	S_{zcp}	мм	0,67	-
Толщина срезаемого слоя	a	мм	0,58	0,49
Удельная сила резания	$F_{y\delta}$	МПа	40,45	44,92
Мощность механизма главного движения	P	кВт	13,75	15,27

При использовании пилы с прямыми зубьями мощность равна $P_n = 15,27$ кВт. Таким образом, формирование у круглых пил зубьев с косой заточкой и прямых укороченных позволяет снизить мощность на пиление на 10%, при этом укороченные зубья демпфируют поперечные колебания пилы.

13.5. Поперечное пиление круглыми пилами

13.5.1. Общие сведения

Поперечное пиление используется для прямолинейного поперечного раскроя пиломатериалов на заготовки в столярно-строительном, мебельном и других деревообрабатывающих производствах. Пиление может быть встречное или попутное с расположением центра пилы под или над заготовкой. Круглопильные станки могут быть однопильные или многопильные, одновальные или многовальные, когда пилы закреплены на одном или нескольких пильных валах.

Минимальный диаметр пилы D_{min} , мм, находят по формулам:

– для станков с прямолинейным движением подачи

$$D_{min} = 2(t + r_{\phi} + a_1 + a_2);$$

– для балансирно-педальных станков

$$D_{min} = 2(\sqrt{(B - C)^2 + (r_{\phi} + a_1 + t)^2} + a_2);$$

– для маятниковых станков

$$D_{\min} = 2(\sqrt{(B - C)^2 + (r_{\phi} + a_1 + t)^2} - L_M + a_2),$$

где t – высота пропила, мм; r_{ϕ} – радиус зажимных фланцев, мм; a_1 – зазор между зажимным фланцем и заготовкой, мм; a_2 – выступ пилы из пропила, мм; B – ширина распиливаемого материала, мм; C – расстояние от опорной линейки до вертикали, проходящей через центр пилы (при крайнем верхнем положении пилы для балансирно-педальных станков или при вертикальном положении маятника для маятниковых станков), мм; L_M – длина маятника, мм.

Скорость главного движения рекомендуется назначать 40...75 м/с, если при этом частота вращения пильного вала не превышает максимально допустимой величины.

13.5.2. Конструкции и параметры пил

Для поперечного пиления используются круглые пилы типа 2 (рис. 76, табл. 34) исполнений 1 (для станков с нижним расположением пильного вала) и 2 (для станков с верхним расположением пильного вала).

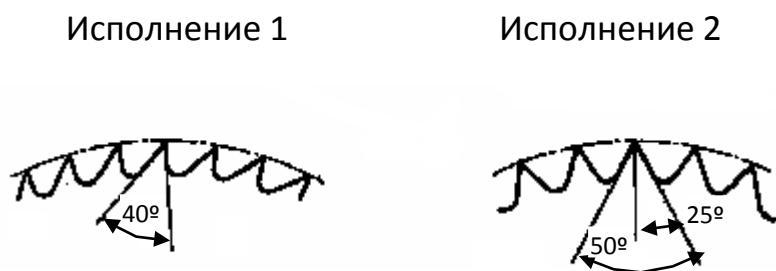


Рис. 76. Профили зубьев пил для поперечного пиления древесины

Таблица 34

Параметры круглых плоских пил для поперечного пиления (ГОСТ 980-80)

Обозначение пил	D , мм	d , мм	S , мм	Число зубьев, z	Обозначение пил	D , мм	d , мм	S , мм	Число зубьев, z
Пилы исполнения 1									

3421-0151	360	50	2,0	72	3421-0200	800	50	3,2	72	
-0152			2,2		-0201			3,6		
-0153			2,5		-0203			3,2	120	
-0160			2,0		-0201			3,6	72	
-0161	400	50	2,2	120	-3173	900	50	4,0	72	
-0162			2,5		-0207			3,6		120
-0167			2,2		-0210			4,0		72
-0168			2,5		-3175			4,5		1000
-0170	450	-0212	5,0	120						
-0171	500	50	2,8	72	-0213	50	50	4,5	72	
-0176			2,5		-0214			72		

Окончание табл. 34

Обозначение пил	D, мм	d, мм	S, мм	Число зубьев, z	Обозначение пил	D, мм	d, мм	S, мм	Число зубьев, z	
-0177	600	50	2,8	72	-0215	1250	50	5,0	72	
-0182			2,5		-0217			4,5		120
-0183			2,8		-0218			5,0		72
-0188			630		50			120		
-0189	3,0	-0221		5,5						
-0190	2,5	-0223		5,0		120				
-0191	630	50	2,8	72	3421-0224	1500	50	5,5	72	

-0194				72					
-0195	710		3,0						
3421-0198			2,8	120					
Пилы исполнения 2									
3421-0288	125		1,2		3421-0322	400		2,5	72
-0290				60	-0325			2,2	96
-0291	160		1,4		-0330			2,5	72
-0292			1,6		-0331	450		2,8	
-0295			1,4	72	-0333			2,2	96
-0296	200	32	1,6		-0334			2,5	
-0297			1,4	96	-0339				72
-0298			1,6		-0340	500	50	2,8	
-0300	250				-0345			2,5	120
-0301			1,8		-0348				72
-0306	315		2,0		-0349	560		2,8	
-0307			2,2	72	-0353			2,2	120
-0312	360	50			-0354			2,5	
-0313			2,5		-0357	630		2,8	72
3421-0321	400		2,2		3421-0358			3,0	

Передние и задние поверхности зубьев затачивают с углами косо́й заточки: 45° – при распиловке пиломатериалов хвойных пород; 55° – при распиловке пиломатериалов твердых пород; 65° – при распиловке бревен.

Материал пил – сталь марки 9ХФ по ГОСТ 5950-73. Твердость пил *HRC*₃, 41...46.

Значения инструментальных углов резания принимаются в зависимости от породы распиливаемой древесины (табл. 35).

Таблица 35

Значения инструментальных углов резания зубьев круглых пил

для поперечного пиления

Порода древесины	Исполне- ние	Угловые параметры, град			
		α	β	γ	Угол наклона пе- редней и задней граней
Хвойная	1	50	40	0	45
	2	65	50	-25	45
Твердая лиственнная	1	40	50	0	55
	2	55	60	-25	55

Примечание. При распиловке мерзлой древесины хвойных пород угол наклона передней и задней граней должен быть равен 65°.

13.5.3. Расчет сил и мощности резания

Удельную силу резания $F_{y\partial}$, МПа, определяют по формуле

$$F_{y\partial} = k + \frac{\alpha \rho P}{S_z}$$

Значения ρ и k , МПа, в зависимости от породы древесины приведены ниже [6]:

– сосна – $\rho = 1$ Н/мм; береза – $\rho = 1,2$ Н/мм; дуб – $\rho = 1,5$ Н/мм;

– сосна $k = 60,76 - 13,72b + (0,41 - 0,0059\gamma)\beta_1$;

– береза $k = 78,4 - 17,64b + (0,568 - 0,0078\gamma)\beta_1$;

– дуб $k = 98,1 - 21,58b + (0,687 - 0,0098\gamma)\beta_1$,

где b – ширина пропила, мм;

γ – передний угол, град;

β_1 – угол заточки боковой кромки.

Средние силы резания, Н, при поперечном пилении древесины:

– касательная $F_x = F_{y0}btV_s/(60V)$;

– радиальная $F_z = (0,2 \dots 2,7)F_x$.

Меньшее значение F_z соответствует пилению острыми зубьями, большее – затупленными зубьями.

Мощность пиления, кВт: $p = F_xV/1000$.

13.5.4. Пиление пилой с комбинированными зубьями

При пилении древесины стандартными пилами зубья своими боковыми режущими кромками при вершинах сначала перерезают волокна древесины в плоскостях стенок пропила, углубляясь примерно на 0,8 мм, а затем передние грани зубьев сдвигают перерезанные волокна вбок в направлении их длины, формируя дно пропила. Пиление сопровождается значительным измельчением опилок, что приводит к увеличению мощности процесса пиления.

А.Л. Бершадским предложена для поперечного пиления пила с комбинированными зубьями [25], содержащая несколько блоков зубьев, каждый из которых включает два подрезающих зуба с косой боковой заточкой и один стружкообразующий прямой укороченный зуб (рис. 77). Подрезающие зубья 1 и 2 перерезают волокна, а плющенный стружкообразующий зуб 3 срезает слой древесины толщиной $3S_z$, где S_z – величина подачи на зуб, мм. Прямой зуб 3 выполнен короче зубьев 1 и 2 на величину $2S_z$. В связи с этим траектория зуба 3 в древесине совпадает с траекторией зуба 1.

Для расчета силы резания при работе такой пилой необходимо знать сопротивление перерезания волокон подрезающими зубьями и сопротивление удаления срезаемого слоя зубьями 3. В работе [20] приведены значения единичной касательной силы резания при поперечном пилении обычной пилой с шириной пропила $b = 1,5$ мм. Можно допустить, что при работе обычной



Рис. 77. Сечения срезаемых слоев зубьями комбинированной пилы в пропиле

пилой в таком узком пропиле все сопротивление резания относится только на перерезание волокон, а силы бокового сдвига перерезанных волокон равны нулю.

Значения единичной касательной силы резания F_{x1} для древесины сосны влажностью $W=15\%$ острыми зубьями с шириной пропила 1,5 мм в зависимости от толщины срезаемого слоя

a приведены ниже:

F_{x1} , Н/мм	1,25	2,14	2,94	3,76	4,5	6,45	8,30	12,3	16,2
a , мм	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,075	0,1	0,15	0,20

Табличные данные представим в виде, Н:

$$F_{x1} = 0,6 + 78a.$$

Тогда для блока из трех зубьев комбинированной пилы можно найти касательную силу резания по формуле, Н:

$$F_{xk} = a_n a_w [F_{x1} + (\alpha_p p_{\#} + k_{\#} a) b], \quad (103)$$

где a_n , a_w , α_p – поправочные коэффициенты соответственно на породу древесины, влажность и затупление режущих кромок зубьев;

$k_{\#}$, $p_{\#}$ – касательное давление на переднюю поверхность прямого зуба и фиктивная сила при поперечном виде резания соответственно, МПа и Н/мм.

Пример. На суппортном торцовочном станке модели ЦПА40–М распиливаются сосновые брусья влажностью $W = 20\%$ и сечением 100×150 мм. Диаметр пилы $D = 450$ мм, толщина диска $S = 2,8$ мм, уширение зубьев на сторону $S' = 0,7$ мм, число зубьев пилы $Z = 72$, частота вращения пилы $n = 2900$ мин⁻¹, угол резания подрезающих зубьев $\delta = 90^\circ$, прямого зуба $\delta = 80^\circ$, углы боковой косой заточки подрезающих зубьев $\beta_1 = 45^\circ$. Расстояние от центра пилы до стола $h = 200$ мм, высота пропила $t = 100$ мм. Скорость подачи $V_s = 15$ м/мин, зубья острые, пила расположена над столом станка.

Определить мощность на пиление комбинированной пилой в сравнении с пилением обычной торцовой пилой.

Решение. Расчетная схема пиления показана на рис. 78.

1. Находим ширину пропила

$$b = S + 2S' = 2,8 + 2 \cdot 0,7 = 4,2 \text{ мм.}$$

2. Находим значение подачи на зуб

$$S_z = \frac{1000V_s}{Zn} = \frac{1000 \cdot 15}{72 \cdot 2900} = 0,07 \text{ мм.}$$

3. Величина укорочения прямых зубьев комбинированной пилы

$$C = 2S_z = 2 \cdot 0,07 = 0,14 \text{ мм.}$$

4. Углы контакта пилы с заготовкой:

– входа

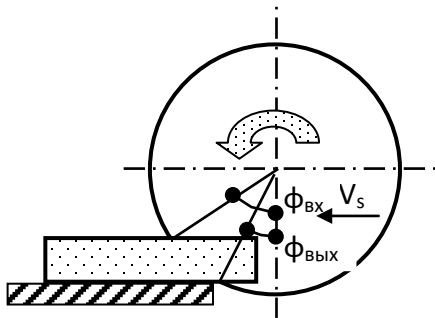


Рис. 78. Расчетная схема

$$\varphi_{ex} = \arccos 2\left(\frac{h-t}{D}\right) = \arccos 2\left(\frac{200-100}{450}\right) = 63,6^\circ;$$

– выхода

$$\varphi_{вых} = \arccos 2\left(\frac{h}{D}\right) = \arccos 2\left(\frac{200}{450}\right) = 27,3^\circ;$$

– контакта

$$\varphi_k = \varphi_{ex} - \varphi_{вых} = 63,6 - 27,3 = 36,3^\circ;$$

– среднее $\varphi_c = (\varphi_{ex} + \varphi_{вых})/2 = (63,6 + 27,3)/2 = 45,4^\circ$.

5. Длина дуги контакта

$$l = \frac{\pi D}{360} \varphi_k = \frac{3,14 \cdot 450}{360} \cdot 36,3 = 142,7 \text{ мм.}$$

6. Определяем скорость главного движения

$$V = \frac{\pi D n}{60000} = \frac{3,14 \cdot 450 \cdot 2900}{60000} = 68,3 \text{ м/с.}$$

7. Толщина слоя (перерезаемого, срезаемого):

– для обычной пилы

$$a = S_z \sin \varphi_{cp} = 0,07 \sin 45,4^\circ = 0,05 \text{ мм;}$$

– для зуба №3 комбинированной пилы

$$a = 3S_z \sin \varphi_{cp} = 3 \cdot 0,07 \sin 45,4^\circ = 0,154 \text{ мм.}$$

8. Касательная сила резания на зубьях №1 и №2

$$F_{x1} = 0,6 + 78a = 0,6 + 78 \cdot 0,154 = 12,58 \text{ Н.}$$

9. Касательное давление срезаемого слоя на переднюю поверхность зуба:

– для обычной пилы

$$k = 60,76 - 13,72b + (0,412 - 0,0059\gamma)\beta_1 = \\ = 60,76 - 13,72 \cdot 4,2 + (0,412 - 0,0059 \cdot 0) \cdot 45 = 21,68 \text{ МПа};$$

– для зуба №3 комбинированной пилы

$$k_{\#} = 0,029\delta + (0,059 \dots 0,069)V_1 - 0,059 = 0,029 \cdot 90 + 0,069 \cdot 68,3 - 0,059 = 7,3 \text{ МПа}.$$

10. Величина затупления режущей кромки для острых зубьев $\alpha_p = 1$.

11. Окружная касательная сила резания:

– обычной пилы

$$F_{xo} = a_n a_w (\alpha_p p + ka) b l_k / t_3 = 1 \cdot 0,93 (1 \cdot 1 + 21,68 \cdot 0,05) \cdot 4,2 \cdot 142,7 / 19,6 = 59,2 \text{ Н};$$

– для комбинированной пилы

$$F_{xок} = a_n a_w [F_{x1} + (\alpha_p p_{\#} + k_{\#} a) b] l_k / t_{3к} = \\ = 1 \cdot 0,93 [12,58 + (1 \cdot 0,98 + 7,3 \cdot 0,154) \cdot 4,2] \cdot 142,7 / 58,9 = 48,3 \text{ Н}.$$

12. Мощность на пиление:

– обычной пилы

$$P = \frac{F_{xo} V}{1000} = \frac{59,2 \cdot 68,3}{1000} = 4,0 \text{ кВт};$$

– для комбинированной пилы

$$P_k = \frac{F_{xок} V}{1000} = \frac{48,3 \cdot 68,3}{1000} = 3,3 \text{ кВт}.$$

Таким образом, использование для поперечного пиления древесины комбинированных пил позволит снизить энергопотребление процесса пиления.

13.5.5. Пиление пилой с наклонными режущими кромками зубьев

Для поперечного пиления древесины используются пилы, у которых главные режущие кромки зубьев поочередно наклонены влево и вправо под углом $10...15^\circ$. Так выполнены круглые пилы для поперечного пиления строгальные, твердосплавные. Ниже изложена методика расчета режимов пиления такими пилами.

На рис. 79 показана схема расположения срезаемых слоев в пропиле шириною b . Угол наклона режущей кромки зуба находится из выражения

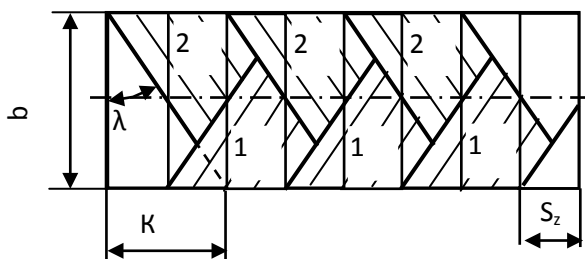
$$\lambda = \arctg \frac{K}{b}.$$

Из схемы следует, что при $K \geq S_z$ площади S срезов, образованных всеми зубьями, одинаковы и равны $S = S_z b$, где S_z – величина подачи на зуб, мм. При средней ширине пропила для зубьев 1 и 2 $b_{cp} = b/2$ средняя подача на зуб для каждого зуба равна

$$S_{zcp} = \frac{S}{b_{cp}} = \frac{2S_z b}{b} = 2S_z.$$

Толщина срезаемого слоя, измеряемая в направлении подачи

$$a = 2S_z \sin \mu,$$



где μ – угол подачи.

При поперечном пилении ширина срезанной стружки меньше ширины пропила, поэтому трение ее в

Рис. 79. Сечения срезаемых

слоев в пропиле

пропиле не учитывается. Наклонные режущие кромки зубьев выполняют при пилении поперечно-торцовое резание с углом наклона $\varphi_n = \lambda$. Для древесины сосны значения фиктивной силы резания $p_{\#-\perp}$ и касательного давления на переднюю поверхность зуба $k_{\#-\perp}$ можно определить по следующим формулам:

$$p_{\#-\perp} = 0,98 + 3,82 \sin^{1,25} \varphi_n;$$

$$k_{\#-\perp} = 0,029\delta + CV' - 0,59 + (0,521\delta + (0,196 - C)V' - 19,03) \sin^{1,25} \varphi_n,$$

где φ_n – угол наклона, равный углу наклона λ , град;

δ – угол резания, град;

B – коэффициент, при $\delta < 55^\circ$ $B = 0,059$; при $\delta > 55^\circ$ $B = 0,069$;

V' – условная скорость резания, м/с, причем, если скорость главного движения $V < 50$ м/с, то $V' = (90 - V)$, иначе $V' = V$.

Пример. На суппортном торцовочном станке модели ЦПА40–М распиливаются поперек сосновые брусья влажностью $W = 20\%$ и сечением 100×150 мм. Диаметр пилы $D = 400$ мм, толщина диска $S = 2,8$ мм, уширение зубьев на сторону $S' = 0,7$ мм, число зубьев пилы $Z = 72$, частота вращения пилы $n = 2900$ мин⁻¹, угол резания зубьев $\delta = 70^\circ$, углы наклона режущих кромок зубьев $\lambda = 10^\circ$. Зубья пилы оснащены пластинами твердого сплава BK15. Расстояние от центра пилы до стола $h = 180$ мм, высота пропила $t = 100$ мм. Скорость подачи $V_s = 15$ м/с, зубья острые, пила расположена над столом станка.

Определить мощность на пиление в сравнении с пилением обычной торцовой пилой с боковой косой заточкой зубьев $\beta = 45^\circ$.

Решение. 1. Находим ширину пропила

$$b = S + 2S' = 2,8 + 2 \cdot 0,7 = 4,2 \text{ мм.}$$

2. Находим значение подачи на зуб

$$S_z = \frac{1000V_s}{Zn} = \frac{1000 \cdot 15}{72 \cdot 2900} = 0,07 \text{ мм.}$$

3. Углы контакта пилы с заготовкой (рис. 78):

– входа

$$\varphi_{вх} = \arccos 2\left(\frac{h-t}{D}\right) = \arccos 2\left(\frac{180-100}{400}\right) = 66,4^\circ;$$

– выхода $\varphi_{вых} = \arccos 2\left(\frac{h}{D}\right) = \arccos 2\left(\frac{180}{400}\right) = 25,84^\circ;$

– контакта $\varphi_K = \varphi_{вх} - \varphi_{вых} = 66,4 - 25,84 = 40,57^\circ;$

– среднее $\varphi_C = (\varphi_{вх} + \varphi_{вых})/2 = (66,4 + 25,84)/2 = 46,1^\circ.$

4. Шаг зубьев

$$t_3 = \frac{\pi D}{Z} = \frac{\pi \cdot 400}{72} = 17,5 \text{ мм.}$$

5. Длина дуги контакта

$$l = \frac{\pi D}{360} \varphi_K = \frac{3,14 \cdot 400}{360} \cdot 40,57 = 141,7 \text{ мм.}$$

6. Определяем скорость главного движения

$$V = \frac{\pi D n}{60000} = \frac{3,14 \cdot 400 \cdot 2900}{60000} = 60,7 \text{ м/с.}$$

7. Находим параметр K :

$$K = b \operatorname{tg} \lambda = 4,2 \operatorname{tg} 10^\circ = 0,74 \text{ мм; } K > S_z = 0,07 \text{ мм.}$$

Тогда толщина срезаемого слоя при работе:

– предлагаемой пилой

$$a = 2S_z \sin \varphi_{cp} = 2 \cdot 0,07 \sin 46,1^\circ = 0,104 \text{ мм;}$$

– обычной пилой

$$a = S_z \sin \varphi_{cp} = 0,07 \sin 46,1^\circ = 0,052 \text{ мм.}$$

8. Значение фиктивной силы резания при пилении:

– предлагаемой пилой (угол $\varphi_H = \lambda$)

$$p_{\#-\perp} = 0,98 + 3,82 \sin^{1,25} \varphi_H = 0,98 + 3,82 \sin^{1,25} 10^\circ = 1,41;$$

– обычной пилой $p = 1 \text{ Н/мм.}$

9. Касательное давление срезаемого слоя на переднюю поверхность зуба:

– предлагаемой пилой (поперечно-торцовое резание, угол $\varphi_H = \lambda$)

$$k_{\perp} = 0,55\delta + 0,196V' - 19,62 = 0,55 \cdot 70 + 0,196 \cdot 60,7 - 19,62 = 30,78 \text{ МПа};$$

$$k_{\#} = 0,029\delta + 0,069V' - 0,59 = 0,029 \cdot 70 + 0,069 \cdot 60,7 - 0,59 = 5,63 \text{ МПа};$$

$$k_{\#-\perp} = k_{\#} + (k_{\perp} - k_{\#}) \sin \varphi_H^{1,25} = 5,63 + (30,78 - 5,63) \sin 10^{\circ 1,25} = 8,45 \text{ МПа};$$

– для обычной пилы

$$k = 60,76 - 13,72b + (0,412 - 0,0059\gamma)\beta_1 =$$

$$= 60,76 - 13,72 \cdot 4,2 + (0,412 - 0,0059 \cdot 0) \cdot 45 = 21,68 \text{ МПа};$$

10. Величина затупления режущей кромки для острых зубьев $\alpha_p = 1$.

11. Окружная касательная сила резания:

– предлагаемой пилы

$$F_{xo} = a_n a_w (\alpha_p p + k_{\#-\perp} a) b l_k / t_3 = 1 \cdot 0,93 (1 \cdot 1 + 8,45 \cdot 0,104) \cdot 4,2 \cdot 141,7 / 17,5 =$$

$$= 100,14 \text{ Н};$$

– обычной пилы

$$F_{xo} = a_n a_w (\alpha_p p + ka) b l_k / t_3 = 1 \cdot 0,93 (1 \cdot 1 + 21,68 \cdot 0,051) \cdot 4,2 \cdot 142,7 / 19,6 =$$

$$= 102,88 \text{ Н};$$

12. Мощность на пиление:

– для предлагаемой пилы

$$P_k = \frac{F_{xo} V}{1000} = \frac{100,14 \cdot 60,7}{1000} = 6,08 \text{ кВт};$$

– обычной пилы

$$P = \frac{F_{xo} V}{1000} = \frac{102,88 \cdot 60,7}{1000} = 6,25 \text{ кВт}.$$

При угле наклона режущих кромок $\lambda = 5^\circ$ мощность для предлагаемой пилы $P_k = 4,96$ кВт. Таким образом, угол наклона режущих кромок зубьев пил для поперечного пиления должен быть не более 10° .

14. Пиление древесностружечных плит

14.1. Режущий инструмент

Для пиления древесностружечных плит (ДСтП) применяют дисковые пилы по ГОСТ 9769-79 с зубьями, оснащенными твердосплавными пластинами ВК6 или ВК15. Пилы изготавливаются двух типов: тип 1 – с косою боковой заточкой по передним и задним граням зубьев и тип 2 – без боковой заточки зубьев.

Пилы типа 1 выпускаются диаметром $D = 250 \dots 400$ мм с посадочным отверстием $d = 50$ мм, толщиной диска $S = (2,4 \text{ и } 2,8)$ мм, шириной зубчатого венца $b = (3,4 \text{ и } 4,1)$ мм, числом зубьев $z = (24; 36; 56; 72)$ шт. Угловые параметры: $\gamma = 10^\circ$, $\alpha = 15^\circ$; углы косою боковой заточки: по передней грани $\varphi_1 = 15^\circ$, по задней грани $\varphi_2 = 0 \dots 15^\circ$.

Пилы предназначены для чистовой форматной распиловки ДСтП, облицованных строганым шпоном, бумажно-слоистым пластиком и другими синтетическими материала-

лами.

Пилы типа 2 имеют наружный диаметр $D = 250...400$ мм и посадочное отверстие $d = (32 \text{ и } 50)$ мм. Диски делаются толщиной $S = (2,4 \text{ и } 2,8)$ мм, с шириной зубчатого венца $b = (3,4; 3,5; 4,0; 4,1)$ мм и числом зубьев $z = (24; 36; 56)$ шт.

Угловые параметры: $\gamma = 20^\circ$, $\alpha = 15^\circ$. Пилы предназначены для черновой распиловки ДСтП как необлицованных, так и облицованных.

14.2. Рекомендуемые режимы пиления

Скорость главного движения $V = 40...70$ м/с. Подача на зуб S_z при плотности плит γ_0 и содержании связующего P :

$$S_z = 0,03...0,05 \text{ мм при } \gamma_0 \leq 700 \text{ кг/м}^3 \text{ и } P \leq 8 \%;$$

$$S_z = 0,05...0,10 \text{ мм при } \gamma_0 \leq 900 \text{ кг/м}^3 \text{ и } 8 \% < P \leq 12 \%;$$

$$S_z = 0,15...0,25 \text{ мм при } \gamma_0 > 900 \text{ кг/м}^3 \text{ и } P > 12 \%.$$

Величина уширения зубьев на сторону $0,6...0,7$ мм. Зубья должны выступать над материалом на $5...15$ мм (меньшее значение для плит с небольшой плотностью и малым содержанием связующего).

14.3. Расчет сил и мощности резания

Расчет сил и мощности выполняют по объемной формуле. Для этого сначала находят углы входа, выхода, средний угол на дуге контакта. Средняя толщина срезаемого слоя

$$a_c = S_z \sin \mu,$$

где μ – угол подачи.

Табличное значение удельной работы резания [26] K_m , Дж/см³:

$$K_m = \frac{0,834C}{a_c} + 40,22, \quad (104)$$

где C – коэффициент, учитывающий группу плит: для плит, изготовленных из резаной стружки (группа I) $C = 1$; для плит из стружки-дробленки (группа II) $C = 0,883$; для плит из стружки - отходов от деревообрабатывающих станков (группа III) $C = 0,825$.

Электронный архив УГЛТУ

Расчетная удельная работа резания, K , Дж/см³:

$$K = K_m a_\gamma a_p a_v a_\rho.$$

Отношение радиальной силы резания к касательной

$$m = F_z / F_x, \text{ где}$$

$$m = m_m m_\gamma m_p m_v m_\rho.$$

В этих формулах m_m – табличное значение коэффициента, зависящее от подачи на зуб:

S_z , мм	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22
m_m	1,15	0,82	0,63	0,5	0,42	0,35	0,3	0,26	0,22	0,19	0,17

a_γ , m_γ – коэффициенты, учитывающие плотность плит γ_0 :

γ_0 , кг/м ³	500	600	700	800	900
a_γ	0,64	0,82	1	1,18	1,36
m_γ	1	1	1	1	1

a_p , m_p – коэффициенты, учитывающие содержание связующего P , %:

P , %	4	5	6	7	8	9	10	11	12
a_p	0,84	0,88	0,92	0,96	1	1,04	1,08	1,12	1,16
m_p	0,86	0,90	0,94	0,96	1	1,04	1,07	1,09	1,13

a_v , m_v – коэффициенты, учитывающие влияние скорости главного движения:

V , м/с	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90	100	110	120
a_v	1,39	1,29	1,19	1,11	1,05	1	1	1,03	1,08	1,17	1,30	1,44	1,58	1,75	1,90	2,06
m_v	1,20	1,17	1,13	1,10	1,07	1,04	1	0,96	0,92	0,89	0,84	0,76	0,69	0,62	0,56	0,49

a_ρ , m_ρ – коэффициенты, учитывающие износ по задним граням зубьев u , мм,

(табл. 35):

y , мм	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
a_p	1,0	1,0	1,03	1,10	1,25	1,38	1,60	1,80	2,06	2,30	2,55
m_p	0,436	0,60	0,815	1,0	1,22	1,38	1,48	1,60	1,76	1,86	2,10

Фактический путь зуба в заготовке L , м:

$$L = I_K n T K_n K_u / 1000,$$

где n – частота вращения пилы, мин^{-1} ; T – календарное время работы станка, мин; K_n , K_u – коэффициенты соответственно производительности и использования станка.

Таблица 35

Износ зубьев с твердым сплавом BK15 по задним граням

Путь зуба в плите L , м	Износ y , мм, при содержании в плитах связующего, %							
	4	6	7	8	9	10	11	12
44000	0,06	0,09	0,11	0,13	0,17	0,22	0,27	0,33
64000	0,08	0,11	0,14	0,17	0,21	0,27	0,33	0,42
140000	0,16	0,22	0,27	0,32	0,40	0,53	0,65	0,80

Примечание. Допустимый износ 0,75 мм.

Мощность пиления P , кВт:

$$P = \frac{F_x V}{1000} = \frac{K b t V_s}{60000},$$

где F_x – окружная касательная сила резания, Н; V – скорость главного движения, м/с; b – ширина пропила, мм; t – высота пропила, мм; V_s – скорость подачи, м/мин.

15. Пиление древесноволокнистых плит

15.1. Общие сведения

Древесноволокнистые плиты (ДВП) изготавливают из древесной массы, раздробленной и растертой до волокнистого состояния, смешанной с небольшим количеством связующего. Плиты бывают сверхтвердые ($\gamma_0 \geq 950 \text{ кг/м}^3$), твердые ($\gamma_0 \geq 850 \text{ кг/м}^3$), полутвердые ($\gamma_0 \geq 400 \text{ кг/м}^3$), изоляционно-отделочные ($\gamma_0 = 250 \dots 350 \text{ кг/м}^3$) и изоляционные ($\gamma_0 < 250 \text{ кг/м}^3$). ДВП имеют более однородную структуру, чем древесина и ДСтП. Процесс пиления ДВП изучен слабо.

А.Г. Туфановым рекомендуется следующий режим пиления ДВП круглыми пилами [27]: скорость главного движения $V = 40 \dots 60 \text{ м/с}$, подача на зуб пилы $S_z = 0,08 \dots 0,11 \text{ мм}$, подача материала встречная, материал следует класть на станок так, чтобы зубья пилы выходили на сторону плит с отпечатком сетки, величина выступа зубьев над ДВП $10 \dots 15 \text{ мм}$. Угловые параметры зубьев пил, оснащенных твердым сплавом ВК15: передний угол 10° , задний – 15° , угол боковой косой заточки (заострения) по передней грани 50° и по задней – 0° .

15.2. Расчет сил резания

При делении ДВП плотностью $\gamma_0 = 1028 \text{ кг/м}^3$ пилой $D = 375 \text{ мм}$ ($\alpha = 13^\circ$, $\delta_n = 50^\circ$, угол косой заточки (заострения) $\varphi_n = 45^\circ$, $n = 3000 \text{ мин}^{-1}$, $z = 72$, $b = 3,4 \text{ мм}$, $t = 13,6 \text{ мм}$ (пачка в четыре листа), угол подачи на середине дуги контакта $\mu = 30^\circ$), касательную силу резания на одном зубе для данного режима $F_{x \text{ зуб}_n}$, Н, можно определить по формуле:

$$F_{x \text{ зуб}_n} = (0,53 + 53,4a_c)b. \quad (105)$$

Для другого режима резания касательную силу на одном зубе $F_{x \text{ зуб}_i}$, Н, можно найти так:

$$F_{x \text{ зуб}_i} = F_{x \text{ зуб}_n} a_\delta a_\varphi a_p$$

где a_δ , a_φ , a_p – поправочные коэффициенты соответственно на угол резания, угол косой заточки и затупление режущей кромки;

$$a_\delta = (0,14\delta + 0,2)/7,2; \quad a_\varphi = (0,13\varphi + 5,25)/11,1; \quad a_p = 1 + 0,0007 L.$$

$$\text{Радиальная сила резания, } F_{z \text{ зуб}_i} = m F_{x \text{ зуб}_i}$$

где $m = 0,09 - 0,3 a_c$.

Окружная касательная сила резания F_x , Н:

$$F_x = F_{x \text{ зуб}} \cdot t_3 / l_k$$

где l_k – длина дуги контакта, мм; t_3 – шаг зубьев пилы, мм.

Пример. Дано: $\alpha = 13^\circ$, $\delta = 60^\circ$, $D = 400$ мм, $\varphi = 50^\circ$,
 $n = 3000$ мин⁻¹; $z = 72$, $b = 3,4$ мм; $V_s = 16$ м/мин, $t = 16$ мм, $T = 60$ мин,
 высота стола над центром пилы $h = 160$ мм.

Определить мощность и силы резания.

Решение. 1. Углы:

– входа $\varphi_{\text{вх}} = \arccos\left(\frac{h+t}{R}\right) = \arccos\left(\frac{160+16}{200}\right) = 28^\circ 20'$;

– угол выхода $\varphi_{\text{вых}} = \arccos\left(\frac{h}{R}\right) = \arccos\left(\frac{160}{200}\right) = 36^\circ 50'$;

– угол контакта $\varphi_k = \varphi_{\text{вых}} - \varphi_{\text{вх}} = 36^\circ 50' - 28^\circ 20' = 8^\circ 30'$;

– угол подачи на середине дуги контакта

$$\mu = (\varphi_{\text{вх}} + \varphi_{\text{вых}}) / 2 = (28^\circ 20' + 36^\circ 50') / 2 = 32^\circ 35'$$

Длина дуги контакта

$$l_k = \pi D \varphi_k / 360^\circ = 3,14 \cdot 400 \cdot 8,5^\circ / 360^\circ = 29,65 \text{ мм.}$$

2. Подача на зуб

$$S_z = 1000 V_s / (zn) = 1000 \cdot 16 / (72 \cdot 3000) = 0,074 \text{ мм.}$$

3. Толщина срезаемого слоя

$$a_c = S_z t / l_k = 0,074 \cdot 16 / 29,65 = 0,04 \text{ мм.}$$

4. Путь зуба пилы в заготовке

$$L = l_k n T / 1000 = 29,65 \cdot 3000 \cdot 60 / 1000 = 5337 \text{ м.}$$

$$5. a_\delta = (0,14\delta + 0,2) / 7,2 = (0,14 \cdot 60 + 0,2) / 7,2 = 1,19;$$

$$a_\varphi = (0,13\varphi + 5,25) / 11,1 = (0,13 \cdot 50 + 5,25) / 11,1 = 1,06;$$

$$a_\rho = 1 + 0,0007 L = 1 + 0,0007 \cdot 5337 = 4,73;$$

$$F_{x_{зубн.}} = (0,53 + 53,4a_c)b = (0,53 + 53,4 \cdot 0,04)3,4 = 9,06 \text{ Н;}$$

$$F_{x_{зуб.}} = F_{x_{зубн.}} a_\delta a_\varphi a_\rho = 9,06 \cdot 1,19 \cdot 1,06 \cdot 4,73 = 54,1 \text{ Н.}$$

6. Окружные силы резания:

шаг зубьев

$$t_3 = \pi D / z = 3,14 \cdot 400 / 72 = 17,4 \text{ мм;}$$

$$F_x = F_{x_{зуб.}} t_3 / l_k = 54,1 \cdot 17,4 / 29,65 = 31,7;$$

$$F_z = m F_x = (0,09 - 0,3a_c)F_x = (0,09 - 0,3 \cdot 0,04)31,7 = 2,5 \text{ Н.}$$

7. Скорость главного движения

$$V = \pi D n / 60000 = 3,14 \cdot 400 \cdot 3000 / 60000 = 62,8 \text{ м/с.}$$

8. Мощность резания

$$P = F_x V / 1000 = 31,7 \cdot 62,8 / 1000 = 1,99 \text{ кВт.}$$

16. Деление древесины с образованием стружки-продукта

16.1. Лушение

16.1.1. Общие сведения

Лушение – это поперечное срезание непрерывной стружки равномерной толщины с вращающегося чурака при радиальной подаче ножа.

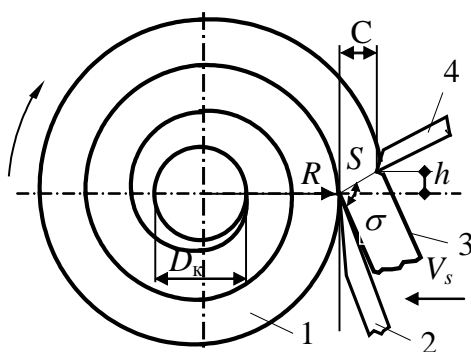


Рис. 80. Схема лущения древесины

Стружка (шпон) должна быть прочной и иметь гладкие поверхности без трещин. Для этого резание осуществляют ножом с углом резания $\delta = 19...27^\circ$ и задним углом $\alpha = 0,5...4^\circ$, древесину предварительно гидротермически обрабатывают (пропаривают или проваривают) и срезание стружки сопровождают обжимом.

На лущильном станке круглый чурак 1 (рис. 80) закрепляют в центрах и вращают, а нож 2 надвигают на край в радиальном направлении. Нож срезает непрерывную стружку 3 по ширине, равную длине края. Чурак ножом как бы разворачивается, как рулон бумаги. Стружка

проходит в просвет S между режущей кромкой ножа и обжимной линейки 4.

16.1.2. Обжимная линейка

Кромка обжимной линейки создает в древесине чурака напряжения, равнодействующая которых проходит через режущую кромку ножа.

Для лущения шпона толщиной до 1,8 мм используют прижимную линейку с закругленной кромкой $\rho = 0,2...0,3$ мм, $\beta_n = 48...63^\circ$ (рис. 79, а). Для получения более толстого шпона линейку затачивают с фаской шириной 2...4 мм ($\beta'_n = 48...63^\circ$, $\beta''_n = 95...102^\circ$) и при установке углы $\delta' = 15...20^\circ$, $\delta'' = 0...(-5)^\circ$ (рис. 81, б). Положение линейки относительно ножа характеризуют углами $\varepsilon = 42^\circ$, $\sigma = 80...85^\circ$ и степенью обжима $\Delta = 5...35\%$.

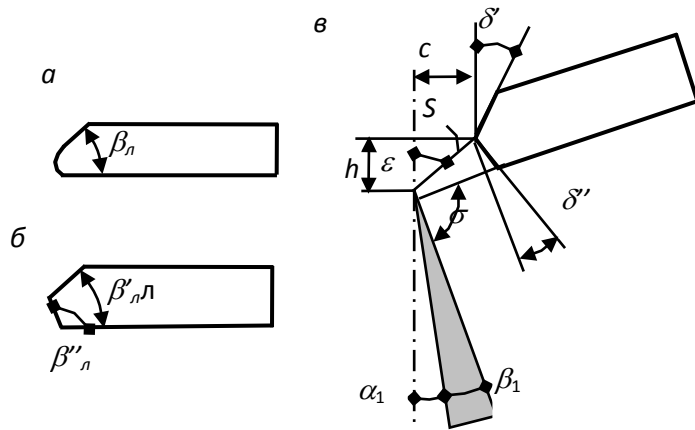


Рис. 81. Прижимная линейка:

a – для тонкого шпона; *б* – для толстого шпона; *в* – установка линейки

Рекомендуемые степени обжима и температура чурака:

Толщина шпона, <i>a</i> , мм	≤ 0,8	≤ 1,5	≤ 2,5	> 2,5
Степень обжима, Δ, %	10...20	16...20	21...25	26...30
Температура, <i>t</i> , °C	20...25	25...35	25...35	35...45

Высота установки линейки над режущей кромкой ножа, мм:

<i>a</i> = 0,5 мм	<i>h</i> = 0,1...0,13 мм;	<i>a</i> = 1,5 мм	<i>h</i> = 0,3...0,35 мм;
<i>a</i> = 1,0 мм	<i>h</i> = 0,2...0,25 мм;	<i>a</i> = 2,0 мм	<i>h</i> = 0,4...0,50, мм.

Степень обжима, %:

$$\Delta = 100 (a - S) / a.$$

Значение Δ изменяется от 10 до 30% в зависимости от толщины среза. При заданной степени обжима

$$S = a(1 - \Delta/100).$$

Высота установки нажимной линейки, мм:

$$h = S \sin(\sigma - 90 + \delta) / \sin \sigma,$$

16.1.3. Кинематика лущения

Траектория относительного движения лезвия ножа в древесине представляет собой спираль Архимеда, полярное уравнение которой имеет вид:

$$R = k\varphi = S_2\varphi / 2\pi, \quad (106)$$

где *R* – полярный радиус, или расстояние от лезвия ножа до оси вращения чурка, мм; *k* – смещение лезвия ножа при повороте чурка на один радиан; *S₂* – шаг спирали, равный подаче на зуб, мм; φ – полярный угол, рад.

Скорость подачи ножа, м/мин:

$$V_s = S_2 Z n / 1000.$$

Средняя скорость главного движения, м/с:

$$V_{cp} = \pi n(D_o + D_k) / (2 \cdot 1000),$$

где D_o – начальный диаметр чурака, мм;

D_k – диаметр недолущенного остатка, карандаша, мм.

При лущении кинематический задний угол всегда меньше инструментального заднего угла:

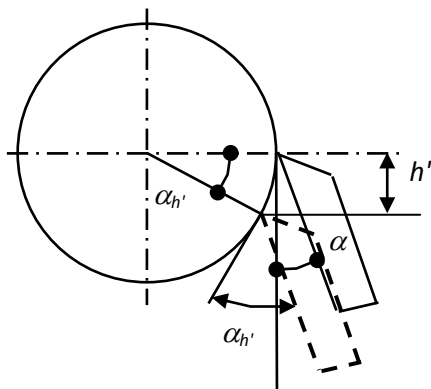


Рис. 82. Положение ножа при лущении древесины

угла:

$$\alpha_k = \alpha_u - \eta.$$

Угол скорости резания

$$\eta = \arctg \frac{V_s}{60V} = \arctg \frac{S_o}{pD} = \arctg \frac{a}{pD}.$$

Если режущую кромку ножа установить ниже радиальной плоскости подачи (рис. 82) на величину h' , то кинематический задний угол будет равен

$$\alpha_k = \alpha_u - \eta + \alpha_{h'}$$

или

$$\alpha_k = \alpha_u - \eta + \arcsin \frac{2h'}{D}.$$

Установка лезвия ножа ниже радиальной плоскости подачи не только компенсирует уменьшение кинематического заднего угла, но и приводит к недопустимому его увеличению. Поэтому нож обычно устанавливают для чураков диаметром до 300 мм на уровне $h' = 0 \dots 1$ мм, а для чураков диаметром более 300 мм – на уровне $h' = 0 \dots 2$ мм.

Шероховатость поверхности шпона и разнотолщинность. Шероховатость поверхности шпона зависит от многих факторов, в том числе и от температуры древесины чурака и степени обжима. При температуре древесины до 40°C $R_{m \max} = 200 \dots 315$ мкм, при температуре более 40°C $R_{m \max} = 100 \dots 200$ мкм. При степени обжима $\Delta = 5 \dots 15\%$ $R_{m \max} = 200 \dots 315$ мкм, при $\Delta = 20 \dots 30\%$ $R_{m \max} = 100 \dots 200$ мкм. Требуемая шероховатость установлена до 200 мкм для лиственных пород и до 320 мкм для хвойных. Требуемая разнотолщинность шпона установлена $\pm 0,05$ мм для шпона толщиной до 0,95 мм и $\pm 0,1$ мм для шпона толщиной более 0,95 мм.

16.1.4. Динамика лущения

По результатам исследований В.Н. Фелищука и В.И. Любченко [6], удельную силу резания при лущении древесины березы можно определить по следующей формуле, МПа:

$$F_{y\partial} = (1,47 - 0,0147t) + (0,157 - 0,00118t)\Delta + \frac{\alpha_p(2,35 - 0,0196t)}{a}, \quad (107)$$

где a – толщина срезаемого шпона, мм;

t – температура древесины чурака, °С;

Δ – степень обжима, %.

При длине чурака L , мм, касательная сила резания, Н

$$F_x = F_{y\partial}aL.$$

Мощность механизма главного движения, кВт

$$P = \frac{F_x V_{cp}}{1000\eta},$$

где η – КПД механизма главного движения; $\eta = 0,6...0,75$.

Для древесины березы при $t = 20^\circ\text{C}$ нормальная составляющая силы резания, Н

$$F_z = \alpha_t \alpha_n L \left[\frac{1,23}{a^{0,42}} - 1,96 + 1,81(a\Delta)^{0,5} \right], \quad (108)$$

где α_t , α_n – поправочные коэффициенты на температуру и породу древесины соответственно. Значения коэффициентов приведены ниже.

$t, ^\circ\text{C}$	10	20	30	40	50	60
α_t	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6
Порода:	дуб		бук		береза	кедр
α_n	1,7		1,3		1,0	0,8

Расчет по табличной удельной силе резания. Касательная сила резания, действующая на чурак со стороны блока нож-прижимная линейка, Н:

$$F_x = F_{y\partial m} a b a_n a_w a_m, \quad (109)$$

где $F_{y\partial t}$ – табличное значение удельной силы резания (табл. 36); a_n, a_w, a_t – поправочные коэффициенты на породу, влажность, температуру древесины.

Нормальная сила резания, Н: $F_z = mF_x = (1,1 \dots 1,2)F_x$.

Мощность резания, кВт: $P = F_x V_{cp} / 1000$.

Таблица 36

Табличная удельная сила $F_{y\partial t}$ в блоке нож-прижимная линейка для лущения и строгания (береза проваренная, $t = 20^\circ C$, нож острый, линейка с оптимальной геометрией и установкой)

Толщина срезаемого слоя a , мм	$F_{y\partial t}$, МПа, при степени обжима, %					
	5	10	15	20	25	30
0,6	5,0	7,0	8,0	9,0	10,1	12,0
0,8	4,75	6,75	7,75	8,37	9,6	10,88
1,0	4,6	6,5	7,3	8,0	9,0	10,2
1,15	4,52	6,34	7,13	7,83	8,9	9,91
1,5	4,2	6,0	6,81	7,47	8,4	9,4

Расчет по объемной формуле. Мощность на резание

$$P = K v_1 / 1000 = K b a V_{cp} / 1000, \quad (110)$$

где K – удельная работа резания, Дж/см³, количественно равная удельной силе резания, Н/мм²; v_1 – объем древесины, срезаемой ножом за одну секунду, см³/с; b – ширина шпона, равная длине чурака, мм; a – толщина шпона, мм; V_{cp} – средняя скорость резания, м/с.

Удельная работа резания при лущении и строгании [28]:

при работе без обжима (оцилиндровка чурака)

$$K = C V_{cp}^{-0,23} a^{-0,31} t^{-0,17}; \quad (111)$$

при работе с обжимом

$$K = CV_{cp}^{-0,23} a^{-0,31} t^{-0,17} \Delta^{0,4+0,05a+1,1/\Delta}, \quad (112)$$

где $C = 0,863$ для кедра, $1,16$ – для березы, $1,57$ – для бука, $2,14$ – для дуба. Значения параметров: скорость резания $V_{cp} = 0,25 \dots 1,0$ м/с; толщина шпона $a = 0,25 \dots 3,0$ мм; температура чурака $t = 5 \dots 70^\circ\text{C}$; обжим шпона $\Delta = 1,0 \dots 25\%$, нож острый.

Значения K при получении толстого шпона приведены ниже

Толщина шпона, мм	4,0	6,0	8,0
Удельная работа резания, Дж/см ³	0,74	0,67	0,63

Пример. Луцением срезают шпон толщиной $a = 1,5$ мм, шириной 1500 мм, $V_{cp} = 1$ м/с, обжим $\Delta = 15\%$, температура чурака $t = 50^\circ\text{C}$, порода – дуб. Определить мощность и силы резания.

Решение. Для дуба $C = 2,14$. По формуле (112)

$$K = 2,14 \cdot 1,0^{-0,23} \cdot 1,5^{-0,31} \cdot 50^{-0,17} \cdot 15^{0,4+0,05 \cdot 1,5+1,1/15} = 4,27 \text{ Дж/см}^3.$$

$$P = 4,27 \cdot 1500 \cdot 1,5 \cdot 1,0 / 1000 = 9,6 \text{ кВт.}$$

$$F_{x\text{cp}} = 1000P/V_{cp} = 1000 \cdot 9,6 / 1 = 9600 \text{ Н.}$$

$$F_{z\text{cp}} = 1,1 F_{x\text{cp}} = 1,1 \cdot 9600 = 10560 \text{ Н.}$$

16.2. Стругание

16.2.1. Общие сведения

Стругание – процесс с поступательным движением резания, при котором плоскость резания, поверхности резания и обработанная поверхность совпадают.

Стругание применяют для получения стружки-продукта или для формирования гладких обработанных поверхностей.

Стружка-продукт толщиной $0,6 \dots 0,8$ мм (облицовочный шпон) и $5 \dots 15$ мм (дощечки) срезается при поперечном стругании. При продольном стругании на древесношерстных станках получают стружку упаковочную или для производства цементно-

фибrolитовых плит, а также кровельную щепу. Углы резания ножей $\delta = 17...19^\circ$, а задние $\alpha = 1...2^\circ$.

Станки для поперечного строгания могут быть горизонтальными и вертикальными. В горизонтальных станках (рис. 83, а) древесный кряж 1 во время резания неподвижен, а нож 2 с обжимной линейкой 3, закрепленные на ножевом суппорте, осуществляют движение резания в горизонтальной плоскости. Во время обратного холостого хода ножа стол с древесиной выполняют движение подачи [14].

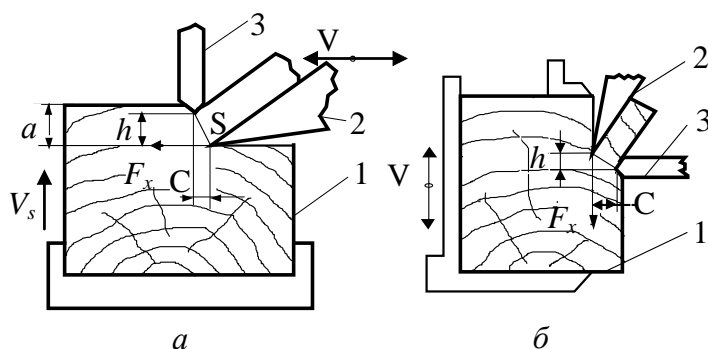


Рис. 83. Стругание древесины на станках:

а – горизонтальных; б – вертикальных

шают движение подачи.

На вертикальных станках (рис. 83, б) движение резания выполняет древесный кряж 1, закрепленный на плите, перемещающейся в вертикальной плоскости, а нож 2 с обжимной линейкой 3 неподвижны. Нож с обжимной линейкой смонтированы на ножевом суппорте и во время холостого хода древесного кряжа совер-

В горизонтальных станках нож устанавливают с наклоном в горизонтальной плоскости к направлению главного движения под углом $10...12^\circ$. В вертикальных станках режущая кромка ножа параллельна волокнам древесины, но древесина надвигается на нож с протягиванием вдоль него.

Для предотвращения образования опережающих трещин и уменьшения глубины трещин растяжения на внутренней поверхности шпона древесину предварительно гидротермически обрабатывают (влажность не ниже 30% и температура внутри кряжа до $20...60^\circ\text{C}$), а резание сопровождают обжимом срезаемого слоя. Степень обжима Δ , % :

$$\Delta = (a - S)100 / a .$$

Отсюда расстояние между кромками ножа и линейки

$$S = a (1 - \Delta/100).$$

Величина обжима Δ зависит от толщины срезаемого слоя и колеблется от 5 до 20 %.

Координаты:

$$h = S \cos\delta, \quad C = S \sin\delta = a(1 - \Delta/100) \sin\delta .$$

Средняя скорость главного движения, м/с:

$$V = 2Hn/60000,$$

где H - длина хода суппорта, мм; n - частота двойных ходов суппорта, мин⁻¹.

Касательная сила резания, Н:

$$F_x = F_{y_{дт}} a_b a_n a_w a_t a_\lambda, \quad (113)$$

где $F_{y_{дт}}$ - табличная удельная сила резания, МПа (табл. 37); a_n, a_w, a_t, a_λ – поправочные коэффициенты на породу, влажность, температуру древесины, угол скоса лезвия.

Поправочный коэффициент a_n на породу древесины

Порода	Липа	Осина	Ель	Сосна	Ольха
a_n	0,8	0,85	0,95	1,0	1,05
Порода	Лиственница	Береза	Бук	Дуб	Ясень
a_n	1,1	1,25	1,4	1,55	1,75

Поправочный коэффициент a_w на влажность

Влажность, %	5...8	10...15	20...30	50...60	Более 70
a_w	1,1	1	0,93	0,89	0,87

Поправочный коэффициент a_λ на угол наклона кромки

Угол наклона кромки λ , град:	0	10	20
a_λ :	1,0	1,2	1,35

Нормальная сила резания, Н: $F_z = mF_x = (1,1 \dots 1,2)F_x$.

Мощность резания, кВт: $P = F_x V / 1000$.

Разнотолщинность допускается до $\pm 0,04$ мм для шпона толщиной 0,6 и 0,8 мм и до $\pm 0,08$ мм для толщины 1 мм. Шероховатость $R_{m \max}$ не более 100 мкм.

16.2.2. Строгание дощечек на гильотинном станке

Режимы резания. При строгании дощечек влажность древесины должна быть не менее 30 %. Верхний предел влажности не ограничивается [28]. Резание – поперечное, поперечно-продольное.

Температура древесины в центре заготовки в момент резания должна быть 80...100°C. Нагревать древесину лучше пропариванием.

Скорость главного движения назначается в пределах 0... 10 м/с; уменьшение скорости резания не снижает качество дощечек.

Угловые параметры ножей: задний угол – 0,5°, угол заострения – 16°.

Величина горизонтального зазора h между режущей кромкой ножа и кромкой обжимной линейки устанавливается в зависимости от толщины дощечки:

Толщина дощечки a , мм	6	8	10	12	14	16
Зазор h , мм	0,8	1,1	1,4	1,7	2,0	2,2

Степень обжима древесины при работе на гильотинном станке назначается 10...15%.

Расчет мощности станка. При срезании дощечки на гильотинном станке за один цикл преодолевается следующая работа, Дж:

$$A_{ц} = 1,1 A_{xx} + A_{т} + A_{р}, \quad (114)$$

где A_{xx} – работа сопротивлений холостого хода; $A_{т}$ – работа трения; $A_{р}$ – работа резания и обжима.

$$A_{xx} = 60000P_{xx}/n,$$

где P_{xx} – мощность холостого хода станка, кВт; n – число ходов в мин (200...250 мин⁻¹).

$$A_{м} = F_{м}f(2H - Vt_{р}),$$

где $F_{м}$ – сила прижима заготовки толкателем к ножевому суппорту (для дощечек длиной 700 мм принимается: при высоте реза $t = 100$ мм $F_{т} = 200$ Н; при $t = 150$ мм $F_{т} = 400$ Н; $t = 175$ мм $F_{т} = 1000$ Н; $t = 185$ мм $F_{т} = 3000$ Н);

f – коэффициент трения скольжения ($\approx 0,35$);

H – вертикальный ход ножа, ($H = 0,20...0,25$ м);

V – скорость движения ножевого суппорта по вертикали, м/с; $V = Hn/30$;

t_p – время размыкания ножевого суппорта ($t_p = 0,02...0,03$ с при $t = 100$ мм и $t_p = 0,1$ с при $t = 150$ мм).

$$A_p = Lt(0,618\Delta a/100 + 0,32 + F_{x1})/1000,$$

где L – длина дощечки, мм; t – высота реза (ширина дощечки) , мм; Δ – степень обжима, %; a – толщина дощечки, мм; F_{x1} – единичная сила резания (табл. 37).

Мощность привода станка, кВт:

$$P = A_{\Sigma} n / 60000.$$

Таблица 37

Единичная касательная сила резания древесины F_{x1}

на гильотинном станке при температуре 90...100°C

Толщина дощечки, мм	F_{x1} , Н/мм, для пород древесины		
	сосна	осина	береза
6	2,75	2,97	3,71
8	3,24	3,52	4,51
10	3,73	4,07	5,32

16.2.3. Получение стружки на продольно-строгальных станках

При продольном строгании ножом 1 и подрезателями 2 срезаются узкие длинные стружки толщиной 0,1...0,5 мм (рис. 84).

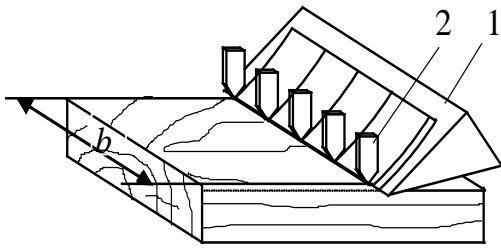


Рис. 84. Схема строгания стружки

Нож с подрезателями закреплен на суппорте, который совершает возвратно-поступательное движение от кривошипно-шатунного механизма. Станки бывают одностороннего и двустороннего действия. Средняя скорость резания, м/с: $V = Hn/30000$, где H – ход суппорта, мм; n – число ходов суппорта, мин⁻¹.

Касательная сила резания при срезании лент стружек, Н:

$$F_x = (\alpha_p p + ka) b a_w a_n + (i + 1) k_{II} a, \quad (115)$$

где α_p – коэффициент, учитывающий затупление режущей кромки ножа; p – фиктивная сила резания, Н/мм, (для древесины сосны $p = 1,57$ Н/мм); k – касательное давление стружки на переднюю грань, МПа (для древесины сосны $k = 0,196\delta + 0,069(90 - V) - 5,4$, где δ – угол резания ножа, град; V – скорость резания, м/с); a – толщина стружки, мм; b – ширина заготовки, мм; a_w, a_n – поправочные коэффициенты на влажность и породу древесины; i – количество лент стружки; k_{II} – удельная сила на подрезателе, Н/мм (для ели $k_{II} = 11,8$ Н/мм; для сосны $k_{II} = 13,7$ Н/мм; для березы $k_{II} = 17,7$ Н/мм; для дуба $k_{II} = 23,5$ Н/мм).

Средняя касательная сила резания за цикл для станков одностороннего действия $F_{xc} = 0,5F_x$; для станков двустороннего действия $F_{xc} = F_x$; мощность на резание, кВт: $P = F_{xc} V / 1000$.

Пример. Определить мощность при $\delta = 50^\circ$, $b = 165$ мм, количестве лент стружек 33; $a = 0,5$ мм, $n = 220$ мин⁻¹, ход суппорта $H = 580$ мм, $V = Hn/30000 = 4,25$ м/с. Порода сосна; $W = 30\%$, $\alpha_p = 1,3$; $a_w = 0,93$.

Решение. Касательное давление стружки:

$$k = 0,196 \cdot 50 + 0,069(90 - 4,25) - 5,4 = 10,32 \text{ МПа.}$$

Касательная сила резания по уравнению

$$F_x = (1,3 \cdot 1,57 + 10,32 \cdot 0,5) 165 \cdot 0,93 \cdot 1 + (33 + 1) 13,7 \cdot 0,5 = 1338 \text{ Н.}$$

Мощность резания для станка одностороннего действия

$$P = 1338 \cdot 4,25 / (2 \cdot 1000) = 2,84 \text{ кВт.}$$

16.3. Измельчение древесины на щепу и стружку

16.3.1. Рубка щепы

Древесину измельчают на щепу методом продольно-торцевого резания. Оптимальная длина щепы, измеряемая по волокнам, в случае сульфитной варки для лиственных пород равна 10...15 мм и для хвойных пород 15...20 мм. Толщина щепы предпочтительна 3...5 мм и ширина 2...20 мм. Щепу получают на рубительных машинах [29].

Толщина срезаемого слоя (рис. 85) на дисковой рубительной машине a , мм:

$$a = l_{щ} \cos \alpha_1 \cos \alpha_2, \quad (116)$$

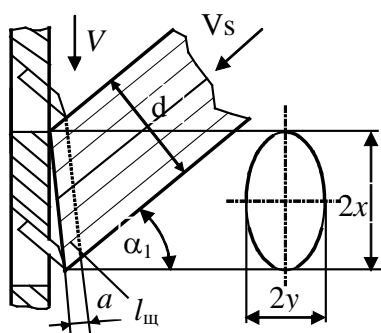


Рис. 85. Схема рубки щепы

где $l_{щ}$ – длина щепы, мм; α_1 – угол наклона питательного патрона к горизонту, $\alpha_1 = 45...52^\circ$; α_2 – угол бокового разворота питательного патрона от продольной оси вала машины, $\alpha_2 = 10...45^\circ$ (если $\alpha_1 = 0^\circ$, то $\alpha_2 = 39...45^\circ$).

Толщина щепы, мм:

$$a_{щ} = a_n l_{щ},$$

где a_n – коэффициент, учитывающий свойства породы древесины, для ели $a_n = 0,1$, для сосны – 0,13 [30].

Средняя ширина срезаемого слоя b_{cp} , мм:

$$b_{cp} = \pi d_{cp} / 4.$$

Производительность рубительной машины, m^3/cm :

$$Q = 60 \cdot 10^{-9} T K_n K_u F l_{щ} n z, \quad (117)$$

где T – календарное время работы машины в смену, ч; F – площадь поперечного сечения измельчаемого материала, mm^2 , для некруглых лесоматериалов $F = K_3 B H$, B и H – размеры питающего патрона, мм; K_3 – коэффициент заполнения сечения этого патрона, $K_3 = 0,06...0,25$; для круглых лесоматериалов $F = i \pi d_{cp}^2 / 4$, i – количество одновременно подаваемых чураков; d_{cp} – средний диаметр чураков, мм; n – частота вращения диска, $мин^{-1}$; z – число ножей на диске.

Скорость подачи измельчаемого материала, м/мин:

$$V_s = 10^6 Q / (TFK_{\Pi} K_u).$$

Средняя скорость резания, м/с: $V = \pi D_{cp} n / 60000$. Отношение скоростей

$$\frac{V_s}{60V} = \frac{S_z z}{\pi D} = \frac{az}{\pi D}.$$

Единичная касательная сила резания одним зубом при угле перерезания волокон $\varphi_b = 45^\circ$, угле резания $\delta = 29...45^\circ$ и заднем угле $\alpha = 5^\circ$, по экспериментальным данным Завойских Г.И., Н/мм:

для ели $F_{x1 \text{ зуб}} = 6,867 + 0,245\delta + (0,098\delta - 1,96)a,$

для сосны $F_{x1 \text{ зуб}} = 4,9 + 0,324\delta + (0,137\delta - 2,94)a.$

Средняя касательная сила резания одним зубом, Н: $F_{x \text{ зуб}} = F_{x1 \text{ зуб}} b_{cp}$. Длина контакта l , мм, зуба с заготовкой равна вертикальной оси эллипса $2x$: $l = d_{cp} / (\cos\alpha_1 \cos\alpha_2)$. Средний шаг зубьев t_3 , мм: $t_3 = \pi D_{cp} / z$, где D_{cp} – средний диаметр окружности резания диска, мм; z – число ножей на диске, $z = (10; 12; 16)$.

Средняя окружная сила резания, Н: $F_x = F_{x \text{ зуб}} l / t$.

Мощность резания, кВт: $P = F_x V / 1000$. На станках без подающего механизма мощность резания определяется по формуле $P = (F_x + F_{xm}) V / 1000$, где F_{xm} – сила трения древесины по задней поверхности ножа, $F_{xm} \approx 0,3 F_x f$, где f – коэффициент трения ($\approx 0,35$).

Среднюю окружную силу резания можно определить по формуле, Н:

$$F_x = F_{y\delta} b_{cp} t V_s / (60V),$$

где $F_{y\delta}$ – удельная сила резания, МПа, $F_{y\delta} = 2...5$ МПа; t – высота срезаемого слоя, мм, $t = d_{cp} / (\cos\alpha_1 \cos\alpha_2)$.

С учетом использования кинетической энергии вращающихся частей станка мощность его двигателя может быть уменьшена:

$$P_1 = P - \delta K_{\delta} (m_{\text{д}} V^2 / 4) V_s / (60000 L_{\text{М}}),$$

где V – скорость резания, м/с; V_s – скорость подачи, м/мин; K_δ – коэффициент, учитывающий влияние других вращающихся деталей, $K_\delta = 1,1 \dots 1,2$; m_d – масса диска машины, кг, $m_d = 4600 D_D^2 h$; D_D и h – диаметр и толщина диска, м; L_m – длина измельчаемого материала, м; δ – коэффициент снижения частоты вращения электродвигателя, $\delta = 0,2$.

При выбросе щепы лопастями диска

$$P_2 = P_1 + (m_{щ} V^2 / 2) V_s / (60000 L_M),$$

где $m_{щ}$ – масса измельчаемой порции материала, кг.

Пример. На дисковой рубительной машине измельчается круглое еловое сырье. $D_D = 1200$ мм, $n = 573$ мин⁻¹, загрузочный патрон наклонный: $\alpha_1 = 45^\circ$, $\alpha_2 = 45^\circ$, выпуск ножей $h = 15$ мм, длина сырья 1 м, средний его диаметр $d_{cp} = 16$ см, $d_{max} = 25$ см, сменная производительность станка при 7-часовой смене 160 м³ [30].

Решение. Длина щепы

$$l_{щ} = h / (\cos \alpha_1 \cos \alpha_2) = 15 / (\cos 45 \cos 45) = 30 \text{ мм.}$$

Толщина щепы $a_{щ} = a_n / l_{щ} = 0,1 \cdot 30 = 3$ мм.

Площадь поперечного сечения измельчаемого сырья при $i = 1$:

$$F = i \pi d_{cp}^2 / 4 = 1 \cdot 3,14 \cdot 160^2 / 4 = 20000 \text{ мм}^2.$$

Скорость подачи

$$V_s = 10^6 Q / (TFK_{II} K_u) = 10^6 \cdot 160 / (60 \cdot 7 \cdot 20000 \cdot 0,6 \cdot 0,8) = 19,8 \text{ м/мин.}$$

Диаметр окружности резания при $l_n = 350$ мм:

$$D_{cp} = D - l_n = 1200 - 350 = 850 \text{ мм.}$$

Скорость резания

$$V = \pi D_{cp} n / 60000 = 3,14 \cdot 850 \cdot 573 / 60000 = 25,5 \text{ м/с.}$$

Число ножей на диске по формуле:

$$z = \pi D_{cp} V_s / 60V = 3,14 \cdot 850 \cdot 19,8 / 60 \cdot 25,5 = 4,6.$$

Принимается 5 ножей.

Средняя окружная сила резания при $F_{y\partial} = 2 \text{ Н/мм}^2$ и $d_{max} = 25 \text{ см}$:

$$F_x = F_{уд} F_{max} V_s / (60V) = 2 \cdot 3,14 \cdot 250^2 / 4 \cdot (19,8 / 60 \cdot 25,5) = 2580 \text{ Н.}$$

Мощность электродвигателя при $\eta = 0,92$:

$$P = F_x V / (1000\eta) = 2580 \cdot 25,5 / (1000 \cdot 0,92) = 71,7 \text{ кВт.}$$

Масса ножевого диска

$$m_d = 4600 D_d^2 h = 4600 \cdot 1,2^2 \cdot 0,1 = 665 \text{ кг.}$$

Мощность электродвигателя с учетом кинетической энергии диска

$$P_1 = P - \delta K_d (m_d V^2 / 4) V_s / (60000 L_M) = \\ = 71,7 - 0,2 \cdot 1,1 (665 \cdot 25,5^2 / 4) \cdot 19,8 / (60000 \cdot 1) = 56 \text{ кВт.}$$

16.3.2. Получение стружки из дровяного сырья

В производстве древесностружечных плит круглое дровяное сырье измельчают на стружку методом поперечного резания. Длина стружки, измеряемая по волокнам, равна 5...40 мм, ширина – 1...10 мм и толщина – 0,15...3,0 мм. Стружку получают на стружечных станках (рис. 86).

Для фрезерного станка угол наклона режущей кромки $\lambda = \arctg(S_z/l)$, а толщина срезаемого слоя $a = S_z \cos \lambda = l \sin \lambda$. Для $l = 25 \text{ мм}$ и $S_z = 0,2...2 \text{ мм}$, $\lambda = 0,5...5^\circ$, т.е. резание можно считать поперечным, $a \approx S_z$. Кинематические углы резания по длине ножа: $\delta = 45...55^\circ$, $\alpha = 6...16^\circ$, $\beta = 39^\circ$.

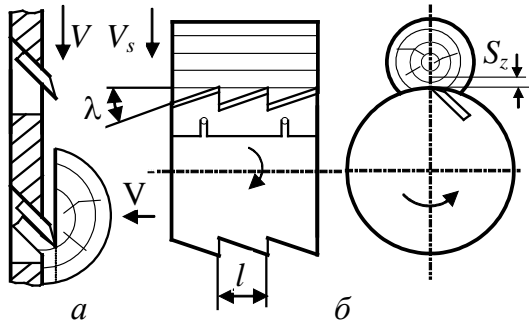


Рис. 86. Схема срезания стружек на станках:

Для условий срезания стружки при $\gamma = 40^\circ$, $\lambda = 0 \dots 10^\circ$, угле скоса $\varphi_c = 0 \dots 10^\circ$, подаче на зуб $S_z = 0,18 \dots 0,5$ мм, скорости главного движения $V = 0,75 \dots 33,5$ м/с, пути ножа в заготовке $L = 0 \dots 30$ пог. км для древесины сосны с плотностью 520 кг/м^3 и влажностью 15%, по данным Стовпюка Ф.С., средняя единичная касательная сила резания, Н/мм:

$$F_{x1} = 332,6 S_z^{0,41} (50 - L)^{-0,8} (20 - \varphi_c)^{-0,55} V^{-0,1}, \quad (118)$$

средняя единичная радиальная сила резания, Н/мм:

$$F_{z1} = 27566 (1 - S_z)^{2,5} (50 - L)^{-2} (20 - \varphi_c)^{-0,847} - 0,49, \quad (119)$$

средняя единичная осевая сила резания, нормальная к подаче, Н/мм:

$$F_{y1} = 31,4 S_z^{0,326} (50 - L)^{-0,855} (20 - \varphi_c)^{-0,49}; \quad (120)$$

для березы плотностью $0,63 \text{ кг/м}^3$ и тех же условий

$$F_{x1} = 247,2 S_z^{0,5} (50 - L)^{-0,63} (20 - \varphi_c)^{-0,55} V^{-0,053},$$

$$F_{z1} = 233,5 (1 - S_z)^{2,8} (50 - L)^{-0,85} (20 - \varphi_c)^{-0,46} - 1,47,$$

$$F_{y1} = 9,2 S_z^{0,4} (50 - L)^{-0,565} (20 - \varphi_c)^{-0,32}.$$

16.3.3. Получение стружки из щепы

Стружку из щепы получают на центробежных станках роторного или турбинного типа. Щепа подается к станку через дозирующее устройство, самотеком поступает к крыльчатке, которая отбрасывает частицы к внутренней поверхности ножевого барабана. Лопасты крыльчатки поджимают частицы щепы к режущим кромкам ножей, которые срезают стружку. Размеры частиц щепы, мм: длина ≤ 90 ; ширина ≤ 50 ; толщина ≤ 30 . Толщина срезаемых стружек $0,3 \dots 0,8$ мм.

Толщина срезаемых слоев a , мм, связана с выставкой ножей x , мм, над поверхностью ротора следующим выражением:

$$a = 0,676x + 0,054. \quad (121)$$

Мощность механизма резания рассчитывается приближенно по формуле, кВт:

$$P = [(k + \alpha_{\rho} p / a)abl + Q_f ft_3]nz / (6 \cdot 10^7), \quad (122)$$

где b – суммарная ширина среза, мм: $b = 0,6l_n$;

l_n – длина ножа, мм;

Q_f – сила давления древесных частиц на стенки ротора, Н: для станков с крыльчаткой $Q_f = m\omega_{кр}^2 r_{кр}$; где m – масса древесных частиц в роторе, кг; $\omega_{кр} = \pi n / 30$, c^{-1} ; $r_{кр}$ – радиус лопастей крыльчатки, м;

f – коэффициент трения древесных частиц о стенки ротора, $f = 0,35$;

t_3 – окружной шаг зубьев, мм;

l – длина контакта зуба с древесной частицей, мм;

n – частота вращения ротора, $мин^{-1}$;

z – количество ножей ротора.

17. Бесстружечное резание

17.1. Разрезание ножницами

Разрезание – это процесс деления листовых материалов (ДВП, фанеры, шпона) ножницами, режущие кромки которых при смыкании проходят через общую плоскость резания (рис. 87). Режущие кромки ножниц настраивают с зазором $s = 0,1...0,3$ мм. Угловые параметры ножей: $\alpha = 2^\circ$, $\beta_1 = 30^\circ$ (подвижный нож), для неподвижного ножа $\beta_2 = 75^\circ$ (или 90°).

Разрезание ножницами с параллельными режущими кромками. Касательную силу резания рассчитывают по единичной силе F_{x1} , Н/мм, приходящейся на единицу длины реза l , мм: $F_x = F_{x1}l$. При разрезании древесноволокнистых плит плотностью $\gamma = 0,607...0,956$ г/см³ (угол резания верхнего ножа $\delta_1 = 15...60^\circ$), по данным Шостак В.В.:

$$F_{x1 \max} = [(17,07\gamma - 3,86)tg \delta_1 + 16,33\gamma - 8,4]l + (5,62\gamma - 1,96)tg \delta_1 - 30,9\gamma + 13,23,$$

$$F_{x1cp} = [(6,67\gamma - 0,01)tg\delta_1 + 1,76\gamma - 0,088]t - (3,6\gamma + 9,39)tg\delta_1 - 0,96\gamma + 1,996.$$

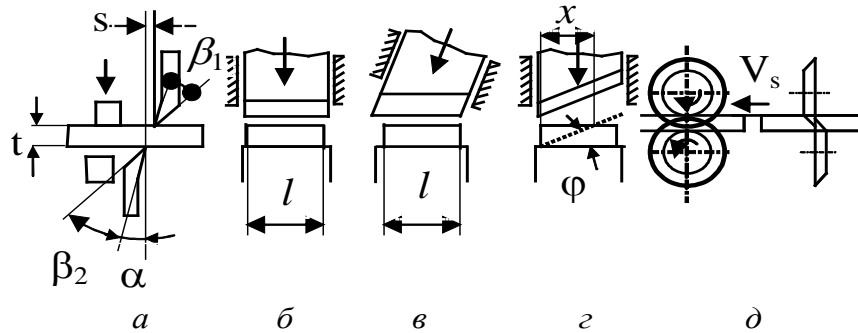


Рис. 87. Схемы разрезания:

a – общая схема; *б, в* – плоскими ножницами с параллельными режущими кромками; *г* – то же с наклонной режущей кромкой; *д* – дисковыми ножницами

Разрезание ножницами с наклонными режущими кромками. Верхний нож наклоняют под углом $\varphi = 3...5^\circ$. Касательную силу резания F_x определяют по удельной силе резания $F_{y\partial}$, МПа, толщине и длине реза по формуле

$$F_x = F_{y\partial}tx = F_{y\partial}t^2 / tg\varphi. \quad (123)$$

Удельная сила резания $F_{y\partial}$ для ножниц с наклонными режущими кромками ($\varphi = 5^\circ$):

$$\text{ДВП при } \gamma = 0,85\text{г/см}^3 \text{ и } t = 5,60 \text{ мм } F_{y\partial} = 6,1 \text{ Н/мм}^2.$$

$$\text{То же при } t = 3,35 \text{ мм } F_{y\partial} = 4,3 \text{ Н/мм}^2.$$

$$\text{Шпон березовый, резание продольное, } t = 1,15 \text{ мм } F_{y\partial} = 2,43 \text{ Н/мм}^2.$$

$$\text{То же, резание торцовое, } t = 1,15 \text{ мм } F_{y\partial} = 10,7 \text{ Н/мм}^2.$$

Касательную силу резания для ножниц с наклонными ножами можно определить также по единичной касательной силе F_{x1} , Н/мм, приходящейся на единицу длины реза x :

$$F_x = F_{x1}x = F_{x1}t / tg\varphi.$$

Для ДВП с $\gamma = 0,607...0,956 \text{ г/см}^3$ при $\delta = 15...60^\circ$

$$F_{x1} = [(7,26\gamma + 1,65)\text{tg}\delta_1 + 18,44\gamma - 10,69]t - 2,55\text{tg}\delta_1 - 49,25\gamma + 29,9.$$

Разделение дисковыми ножами. В однодисковых ножницах используют верхний диск $D = 300$ мм толщиной 5 мм, $\beta = 30^\circ$. Нижний нож плоский, неподвижный, $\beta = 90^\circ$. Ножи перекрывают друг друга на 5 мм. Дисковый нож неприводной. Плиты разрезают пакетом по 3...4 шт.

У двудисковых ножниц ножи выполняют диаметром 150 мм, толщиной 15...20 мм. Оба диска приводные, $V = 55$ м/с, $V_s = 50...60$ м/мин. Ножи с $\beta = 30^\circ$ применяют для форматной обрезки плит, а ножи с $\beta = 90^\circ$ – для раскроя плит. Шероховатость обработанной поверхности соответствует 30...200 мкм.

17.2. Штампование

Штампование (просечка, пробивка, вырубка) – процесс резания при взаимодействии лезвий замкнутого контура. Заготовка 1 (рис. 88) взаимодействует с пуансоном 2 и матрицей 3.

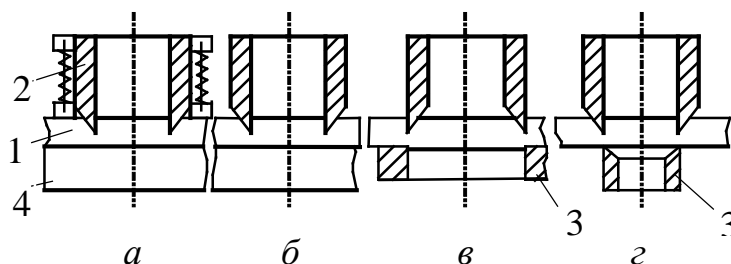


Рис. 88. Схемы штампования:

a – просечка с прижимом; *б* – то же без прижима; *в* – пробивка;
г – вырубка

При просечке вместо матрицы используют деревянную, резиновую или свинцовую подкладку 4. Угловые параметры: для пуансона $\beta_1 = 25...30^\circ$, для матрицы $\beta_2 = 60...75^\circ$. Зазор между пуансоном и матрицей $s \leq 0,03t$.

Штампование древесноволокнистых плит. Наибольшее усилие пробивки и выруб-ки, Н: $F_x = F_{x1}S$, где S – периметр лезвия пуансона, мм. При зазоре между пуансоном и матрицей $s = 0,35$ мм, $\alpha = 0^\circ$, $\beta_2 = 90^\circ$, при угле резания пуансона $\delta = 10...60^\circ$, плотности плит $\gamma = 0,607...0,956 \text{ г/см}^3$, по данным Шостак В.В., единичная сила F_{x1} , Н/мм:

$$F_{x1\max} = (3,9\gamma - 8,83)tg\delta + 16,48\gamma - 4,12t + 63,77\gamma tg\delta - 8,83tg\delta - 1,96, \quad (124)$$

$$F_{x1cp} = (3,14\gamma + 1,28)tg\delta + 13,05\gamma - 6,38t + 11,87\gamma tg\delta - 4,32tg\delta + 7,95\gamma + 9,9.$$

Штампование фанеры и шпона. Усилие резания F_x , Н, определяется по удельной силе резания $F_{y\delta}$, Н/мм², толщине материала t , мм, и периметру режущей кромки пуансона S , мм: $F_x = F_{y\delta}tS$.

При штамповании фанеры с углами заточки матрицы 30° и пуансона 75°, а также шпона с углами заточки матрицы 90° и пуансона 75° значения удельной силы резания $F_{y\delta}$, Н/мм², (по Ф. Гетцелю) приведены ниже:

Породы древесины:	бук	дуб	береза	сосна
$F_{y\delta}$ для фанеры	8,44...9,42	6,67...6,87	5,89...6,57	5,10...5,49
$F_{y\delta}$ для шпона	12,56...16,09	13,15...17,07	–	10,10...12,36

18. Фрезерование

18.1. Цилиндрическое фрезерование древесины

18.1.1. Общие сведения

Фрезерование – **процесс лезвийной обработки материала с вращательным главным движением резания при постоянном радиусе его траектории и движением подачи (ГОСТ 25761-83). При этом припуск заготовки снимается путем последовательного срезания отдельных серповидных стружек.**

При цилиндрическом фрезеровании ось вращения режущего инструмента параллельна обработанной поверхности, а режущие кромки описывают в пространстве цилиндрические поверхности. Фрезерование может быть встречным, попутным, открытым, полукрытым и закрытым. Большинство станков работают по принципу цилиндрического встречного фрезерования.

18.1.2. Режущий инструмент

При цилиндрическом фрезеровании в качестве режущего инструмента применяют фрезы или ножевые валы. Фрезы бывают цельные, сборные и составные.

Ножевые валы бывают с прямыми или винтовыми ножами и ступенчатые. Величина номинальных диаметров новых фрез соответствует нормализованному ряду 80, 100, 125, 140, 160, 180 мм. Диаметр посадочных отверстий принимается из ряда 22, 27, 32 и 40 мм. Угловые параметры приведены в табл. 38.

Предельно допустимая частота вращения фрез n , мин⁻¹, зависит от их диаметра:

Диаметры фрез, мм . .	До 100	125	140	160	180
цельных	12000	10000	9000	8000	6200
сборных	12000	9000	8000	6200	5000

Период стойкости, ч, дереворежущих фрез зависит от материала лезвий и породы древесины:

Порода древесины:	хвойная;	твердолиственная
Х6ВФ, 8Х6НФТ	2,0...2,7	1,0...1,5
8Х6ВМФ	3,0...4,0	1,8...2,7
Р6М5 . . .	3,4...4,6	2,0...3,0

Таблица 38

Угловые параметры фрез, град

Виды фрезерования	Передний γ для фрез		Задний α
	стальных	твердосплавных	
Продольное	(20...25)/(10...15)	(20...30)/(10...25)	15/10
Поперечное	(35...40)/(30...35)	30/30	10/10
Торцовое	(30...35)/(25...30)	30/25	20/15
Фрезерование кромок	20...25	15...20	15...20
ДСтП и ДВП			

Примечание. В числителе - для хвойных пород, в знаменателе – для твердолиственных.

18.1.3. Регулировка ножей и установка фрез

Все лезвия фрез должны одинаково участвовать в резании. Для этого режущие кромки всех ножей должны быть установлены параллельно оси вращения и должны описывать в пространстве окружности с одинаковыми радиусами. Непараллельность режущих кромок относительно оси вращения допускается не более 0,5 мм/м. Допустимая разность в радиусах резания ножей не более 0,02 мм, а непараллельность лезвий базовой поверхности стола не более 0,1 мм на длине 1000 мм.

Величина выступа C режущей кромки ножа относительно клина зависит от средней величины срезаемого слоя a_c : при $a_c < 0,2$ мм $C = 1,5...2,0$ мм; при $a_c \geq 0,2$ мм $C = 0,5$ мм.

Предельные отклонения передних углов зубьев фрез не более $\pm 1^\circ$. Фрезы должны прифуговываться с допустимой фаской по задней поверхности зубьев не более 0,3 мм. Радиальное биение режущих кромок фрез в зависимости от требуемой шероховатости должно быть не более 0,02...0,06 мм.

Фрезы и ножевые валы должны быть сбалансированы. Допустимый дисбаланс для фрез массой до 10 кг установлен 5 г·см; при массе более 10 кг – 1 г·см на каждые 2 кг массы инструмента.

Разность в массе ножей, входящих в комплект фрезерного инструмента, не должна превышать 0,2 г при массе ножей до 150 г, 0,3 г – при массе от 150 до 300 г; 0,1% массы ножа при его массе свыше 300 г. Разность в массе комплектов деталей, предназначенных для крепления и регулирования каждого из ножей, не должна превышать 0,3

г при массе комплекта до 100 г, 0,5 г при массе 100...500 г и 0,1% массы комплекта при его массе свыше 500 г.

18.1.4. Шероховатость фрезерованной поверхности

Характеристика неровностей. На поверхности, обработанной методом цилиндрического фрезерования, различают неровности с нерегулируемым и регулируемым шагом.

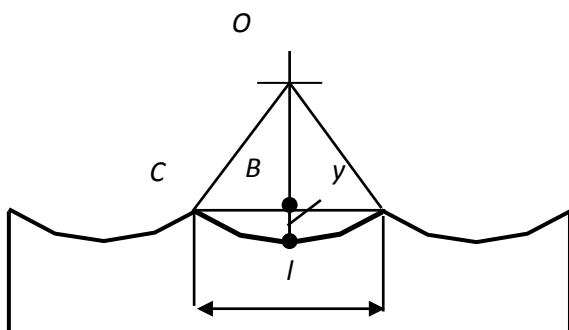
Неровности с нерегулируемым шагом образуются при разрушении древесины или при вибрации. К ним относятся ворсистость и мшистость, вырывы, заколы (углубления по границе годичного слоя).

К неровностям с регулируемым шагом относятся неровности упругого восстановления и кинематическая волнистость. Кинематическую волнистость можно рассчитать.

Определение шероховатости по длине кинематической волны. При цилиндрическом фрезеровании гребешки волн образуются при пересечении траекторий двух смежных зубьев фрезы радиусом R (рис. 89). Из треугольника OBC следует

$$R^2 = \frac{l^2}{4} + (R - y)^2;$$

$$\frac{l^2}{4} = y(2R - y).$$



Отсюда

$$y \approx \frac{l^2}{8R}, \quad (125)$$

где y – глубина волны, мм;

l – длина волны, мм;

R – радиус режущей кромки лезвия

цилиндрической фрезы, мм.

Расчетные значения длин волн сведены в табл. 39.

Определение шероховатости по радиусам лезвий фрезы. Пусть для продольного цилиндрического фрезерования используется четырехзубая цилиндрическая фреза, режущие кромки зубьев которой расположены на окружностях различных радиусов. При этом $R_1 > R_2 > R_4 > R_3$. Расчетная схема формирования поверхности при подаче за один

оборот фрезы S_0 показана на рис. 90. Погрешности расположения режущих кромок лезвий: $\Delta_{1-2} = R_1 - R_2$, $\Delta_{2-3} = R_2 - R_3$, $\Delta_{3-4} = R_3 - R_4$, $\Delta_{4-1} = R_4 - R_1$. Примем траектории зубьев в древесине в форме окружностей.

Таблица 39

Предельно допустимая длина волн на обработанной поверхности при продольном цилиндрическом фрезеровании

Высота неровностей R_{max} , мкм	Длины волн l_w , мм, при диаметре окружности резания D , мм							
	60	80	100	120	140	160	180	200
12,5	2,0	2,4	2,7	2,9	3,2	3,4	3,6	3,8
25	2,8	3,3	3,7	4,0	4,3	4,7	4,9	5,2
50	4,0	4,7	5,2	5,6	6,2	6,6	7,0	7,4
100	5,2	6,0	6,7	7,3	7,9	8,5	9,0	9,5
200	7,2	8,5	9,5	10,3	11,0	12,0	12,6	13,6

Для определения высоты гребня достаточно написать уравнения смежных окружностей и найти точку их пересечения.

Уравнения окружностей для зубьев 1 и 2 с радиусами вращения R_1 и R_2 :

$$\left\{ \begin{array}{l} (x - 0)^2 + (y - R)^2 = R_1^2, \end{array} \right. \quad (126)$$

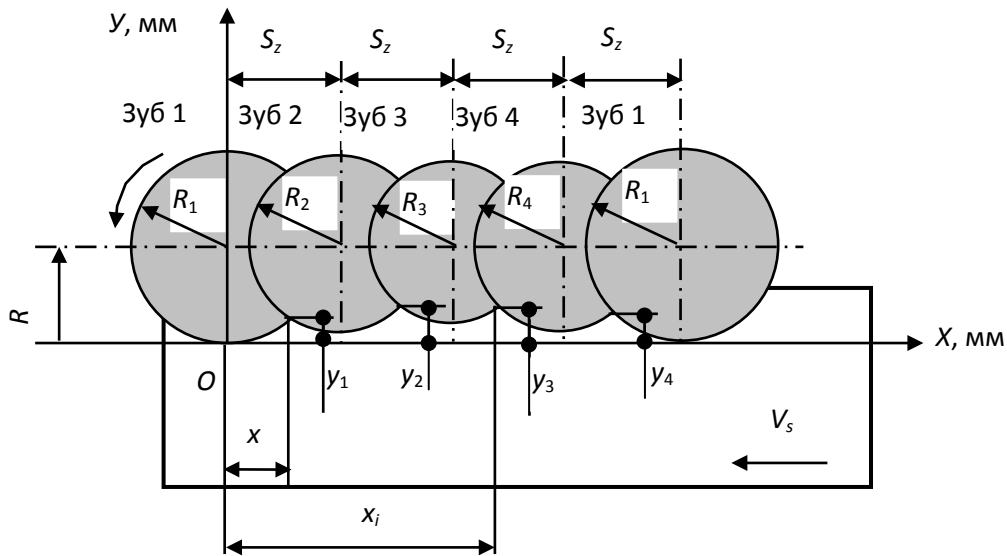


Рис. 90. Формирование кинематических волн

на обработанной поверхности
 $(x - S_z)^2 + (y - R)^2 = R_2^2$.

Решая систему уравнений, получим

$$x = \frac{(R_1 - R_2)(R_1 + R_2) + S_z^2}{2S_z}, \quad (127)$$

Высота гребня

$$y = R - \sqrt{R_1^2 - \left[\frac{S_z}{2} + \frac{(R_1 - R_2)(R_1 + R_2)}{2S_z} \right]^2}. \quad (128)$$

Пример. Пусть для фрезы диаметром 140 мм радиусы лезвий равны $R = R_1 = 70,06$ мм, $R_2 = 70,00$ мм, $R_3 = 69,96$ мм, $R_4 = 70,02$ мм.

Требуется определить координаты гребней волн и шероховатость фрезерованной поверхности.

Исходные данные и расчеты рекомендуется представить в виде табл. 40.

Форма расчета координат гребней волн

Радиусы пар зубьев	$R_1...R_2$	$R_2...R_3$	$R_3...R_4$	$R_4...R_1$
Подача на зуб, мм	2	2	2	2
Максимальный радиус фрезы, мм	70,06	70,06	70,06	70,06
Радиусы лезвий в паре:				
R_{1i} , мм	70,06	70,0	69,96	70,02
R_{2i} , мм	70,0	69,96	70,02	70,06
Погрешность в паре лезвий, $\Delta i = R_{1i} - R_{2i}$, мм	0,06	0,04	-0,06	-0,04
Порядковый номер пары, i	1	2	3	4
Высота гребней по (131), y_i , мм	0,069	0,101	0,109	0,041
Абсцисса гребней по (130), x_i , мм	3,1	4,4	2,9	5,6

Шероховатость поверхности $R_{m \max} = 101$ мкм.

При $R = R_{\max} = R_1$ подача на зуб, мм

$$S_z = 2\sqrt{y(2R - y)}.$$

Кроме того, из (128) следует

$$S_z = \sqrt{y(2R - y)} + \sqrt{y(2R - y) - \Delta(2R - \Delta)}. \quad (129)$$

Отсюда можно сделать два вывода. **Во-первых**, неточность радиусов Δ фрезы не должна превышать высоту гребней кинематических волн y . **Во-вторых**, значение подачи на зуб складывается из двух слагаемых. Первое из них равно половине максимального значения S_z при $\Delta=0$, а второе меньше первого с поправкой на погрешность длин радиусов Δ .

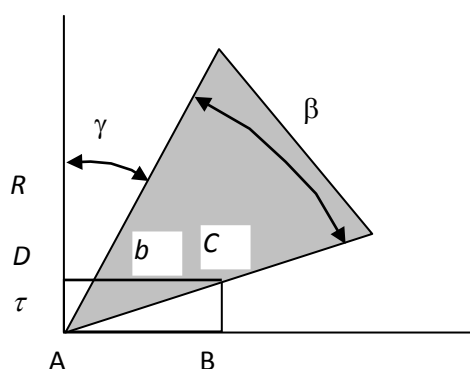
В табл. 41 приведены значения подачи на зуб, полученные по формуле (129).

Максимальное значение S_z получено при $\Delta=0$, минимальное – при $\Delta=y$.

Таблица 41

Предельные значения подачи на зуб
при цилиндрическом фрезеровании древесины

Высота неровно- стей $R_{m \max}$ МКМ	Значения подачи на зуб S_z , мм, при диаметре окружности резания D , мм							
	60	80	100	120	140	160	180	200
6,3	0,6/1,2	0,7/1,4	0,8/1,6	0,9/1,7	0,9/1,9	1,0/2,0	1,1/2,1	1,1/2,2
12,5	0,9/1,7	1,1/2,0	1,2/2,2	1,3/2,4	1,4/2,6	1,5/2,8	1,6/3,0	1,7/3,2
25	1,3/2,4	1,5/2,8	1,7/3,2	1,8/3,5	2,0/3,7	2,1/4,0	2,3/4,2	2,4/4,5
50	1,7/3,5	2,1/4,0	2,3/4,5	2,6/4,9	2,8/5,3	3,0/5,7	3,1/6,0	3,3/6,3
100	2,4/4,9	2,8/5,7	3,2/6,3	3,5/6,9	3,9/7,5	4,1/8,0	4,4/8,5	4,6/8,9
200	3,7/6,9	4,3/8,0	4,8/8,9	5,2/9,8	5,7/10,6	6,1/11,3	6,4/12,0	6,8/12,6
400	5,1/9,8	5,9/11,3	6,6/12,6	7,3/13,8	7,8/14,9	7,4/16,0	8,9/17,0	9,4/17,9
800	6,9/13,8	8,2/15,9	9,2/17,8	10,1/19,5	10,9/21,1	11,7/22,6	12,4/23,9	13,1/25,2



Прифуговка лезвий. Прифуговка лезвий позволяет уменьшить неточность расположения режущих кромок. При прифуговке радиус фрезы укорачивается на величину τ , и на задней поверхности лезвия образуется фаска (рис. 91). Ширина фаски должна быть не более $b = 0,15-0,20$ мм.

Рис. 91. Схема к расчету величины стачивания лезвия

в процессе прифуговки

Отсюда

$$\text{Отрезок } DC = b + \tau \operatorname{tg} \gamma.$$

$$\text{Отрезок } AB = \tau \operatorname{ctg} \alpha = \tau \operatorname{tg}(\beta + \gamma).$$

$$\tau = \frac{b}{\operatorname{tg}(\beta + \gamma) - \operatorname{tg}\gamma}. \quad (130)$$

При $b = 0,15$ мм допустимая величина стачивания лезвия при прифуговке будет равна ($\gamma = 35^\circ$, $\beta = 40^\circ$)

$$\tau = \frac{0,15}{\operatorname{tg}(40 + 35) - \operatorname{tg}35} = 0,0495 \text{ мм.}$$

Прифуговку стального инструмента выполняют электрокорундовым оселком зернистостью М28 и твердостью С1 с продольной подачей 2 м/мин и поперечной подачей 0,005 мм.

Условия для получения качественной фрезерованной поверхности. Чтобы получить высоту гребней волн на фрезерованной поверхности, соответствующую заданной шероховатости, необходимо выполнить следующие условия:

– лезвия фрезы должны быть прифугованы так, чтобы погрешность их радиусов не превышала значение заданной шероховатости;

– фреза должна быть снабжена гидравлическим устройством для крепления ее на шпинделе станка. В этом случае удается более точно совместить геометрические оси фрезы и шпинделя. Если при механическом креплении фрезы максимальный зазор вала диаметром 30...50 мм в посадочном отверстии (при посадке Н7/н6) достигает 41 мкм, то при гидравлическом креплении – 5 мкм.

Допустимая погрешность радиусов лезвий, мм

$$\Delta = R - \sqrt{R^2 + S_z^2 - 2S_z \sqrt{2Ry - y^2}}. \quad (131)$$

Значения Δ , рассчитанные по формуле (131), приведены в табл. 41.

Таблица 41

Максимальные значения отклонений радиусов зубьев цилиндрических фрез

$$\Delta = R_1 - R_i, \text{ для получения заданной шероховатости поверхности}$$

$y=R_{\text{max}}$ мм	Диаметры фрез, мм							
	60	80	100	120	140	160	180	200
	$S_z = 2,5 \text{ мм}$							
0,0125	0	0	0	0	0,003	0,005	0,007	0,008
0,025	0	0,01	0,017	0,02	0,022	0,023	0,024	0,025
0,050	0,04	0,047	0,049	0,05	0,05	0,049	0,049	0,048
0,1	0,1	0,099	0,096	0,092	0,086	0,086	0,083	0,081
0,2	0,185	0,172	0,161	0,152	0,144	0,138	0,132	0,127
0,4	0,304	0,275	0,254	0,237	0,223	0,211	0,201	0,192
	$S_z = 3,0 \text{ мм}$							
0,0125	0	0	0	0	0	0	0	0,002
0,025	0	0	0,005	0,012	0,016	0,019	0,021	0,022
0,050	0,023	0,037	0,044	0,047	0,049	0,05	0,05	0,05
0,1	0,095	0,1	0,1	0,098	0,096	0,094	0,091	0,089
0,2	0,196	0,188	0,178	0,17	0,163	0,156	0,15	0,145
0,4	0,34	0,312	0,290	0,271	0,256	0,244	0,233	0,233

18.1.5. Кинематика фрезерования

Траектория движения зуба фрезы. В системе координат XOY при повороте фрезы на угол $\varphi = \pi$ центр фрезы сместится в направлении подачи на величину πr , т.е. на $r\varphi$. Тогда координата X режущей кромки фрезы при встречном фрезеровании будет равна

$$X = r\varphi + R\sin\varphi,$$

где при частоте вращения фрезы n радиус окружности, которая катится со скоростью подачи V_s ,

$$r = \frac{1000V_s}{2\pi n} = 159,24V_s / n.$$

При попутном фрезеровании

$$X = -r\varphi + R\sin\varphi.$$

Режущая кромка зуба фрезы движется по траектории циклоиды с уравнениями

$$X = R\sin\varphi \pm r\varphi,$$

$$Y = R(1 - \cos\varphi). \quad (132)$$

Скорости рабочих движений. Скорость главного движения при цилиндрическом фрезеровании равна 30...80 м/с, а скорость подачи – 6...50 м/мин. Последняя в 20...150 раз меньше скорости главного движения. Поэтому результирующую скорость резания принимают равной скорости главного движения и находят по формуле, м/с:

$$V = \frac{\pi D n}{60000}, \quad (133)$$

где D – диаметр окружности резания фрезы, мм;

n – частота вращения фрезы, мин^{-1} ; $n = 4000 \dots 24000 \text{ мин}^{-1}$.

Скорость подачи при фрезеровании, м/мин:

$$V_s = \frac{S_o n}{1000} = \frac{S_z z n}{1000}, \quad (134)$$

где S_o – величина подачи на один оборот фрезы, мм;

S_z – подача на один зуб фрезы, мм;

z – число зубьев фрезы.

18.1.6. Геометрия срезаемого слоя

При цилиндрическом фрезеровании лезвие фрезы удаляет с заготовки серповидный срезаемый слой ABB_1A_1 (рис. 92). Расстояние OO_1 равно величине подачи на один зуб S_z .

Из схемы цилиндрического фрезерования имеем:

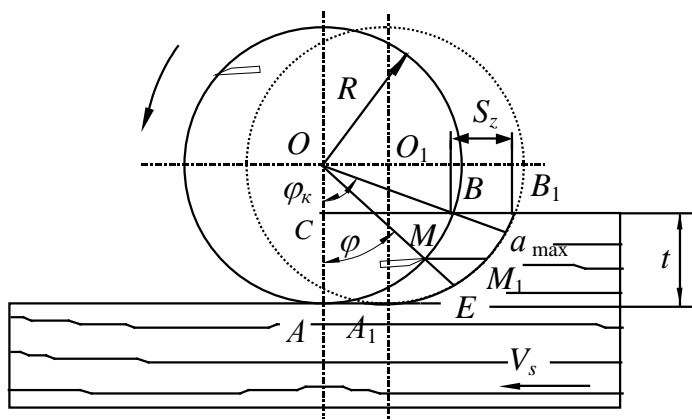
$$\cos \varphi_K = \frac{OC}{OB} = \frac{R-t}{R} = 1 - \frac{2t}{D}, \quad (135)$$

$$\sin \varphi_K = \sqrt{1 - \left(1 - \frac{2t}{D}\right)^2} = 2\sqrt{\frac{t}{D} - \frac{t^2}{D^2}},$$

где φ_K – угол контакта лезвия с древесиной;

t – глубина фрезерования, мм.

Разложив $\cos \varphi_K$ в ряд и ограничившись двумя членами разложения ряда, получим с учетом (135):



$$\cos \varphi_K = 1 - \frac{\varphi_K^2}{2} = 1 - \frac{2t}{D}.$$

Отсюда имеем

$$\varphi_{K(\text{рад})} \approx 2\sqrt{\frac{t}{D}};$$

$$\varphi_{K(\text{град})} \approx 115\sqrt{\frac{t}{D}}. \quad (136)$$

Рис. 92. Геометрия срезаемого слоя

При $\varphi_K \leq 30^\circ$ эти

формулы дают достаточно точ-

ный для практики результат.

$$\sin \frac{\varphi_K}{2} = \sqrt{\frac{1 - \cos \varphi_K}{2}} = \sqrt{\frac{t}{D}}; \quad (137)$$

$$\cos \frac{\varphi_K}{2} = \sqrt{\frac{1 + \cos \varphi_K}{2}} = \sqrt{1 - \frac{t}{D}}.$$

Толщина срезаемого слоя

$$a = S_z \sin \varphi. \quad (138)$$

Толщина срезаемого слоя изменяется от нуля при врезании лезвия до максимального значения при выходе его из древесины:

$$a_{\max} = S_z \sin \varphi_K = 2S_z \sqrt{\frac{t}{D} - \frac{t^2}{D^2}} \approx 2S_z \sqrt{\frac{t}{D}}. \quad (139)$$

В расчетах используется среднее значение толщины среза

$$a_c = S_z \sin \frac{\varphi_K}{2} = S_z \sqrt{\frac{t}{D}}. \quad (140)$$

Длина дуги контакта с учетом (136):

$$l_K = \frac{\pi D \varphi_K}{360}; \quad l_K = \frac{D}{2} \varphi_K = \frac{D}{2} 2 \sqrt{\frac{t}{D}} = \sqrt{tD}. \quad (141)$$

18.1.7. Силы резания. Мощность на фрезерование

Удельную силу резания при открытом продольном цилиндрическом фрезеровании определяют в зависимости от средней толщины срезаемого слоя для диапазона макрослоев и микрослоев по следующим формулам:

для макрослоев ($a_c \geq 0,1$ мм)

$$F_{уд} = a_n a_w \left[\frac{\alpha_\rho P}{a_c} + k \right], \quad (142)$$

для микрослоев ($a_c < 0,1$ мм)

$$F_{уд} = a_n a_w \frac{F_{x1}}{a_c}, \quad (143)$$

где a_n – коэффициент, учитывающий породу древесины;

a_w – коэффициент, учитывающий влажность;

F_{x1} – единичная касательная составляющая силы резания, Н;

α_ρ – коэффициент затупления [5]:

$$\alpha_\rho = 1 + (1 + 0,1 \frac{k}{p}) \frac{\Delta_\rho}{\rho_o + 50}, \quad (144)$$

где k – касательное давление стружки на переднюю поверхность лезвия при фрезеровании древесины сосны, МПа;

p – фиктивная сила резания при фрезеровании сосны, Н/мм;

$\Delta\rho$ – величина затупления режущей кромки, мкм;

ρ_0 – радиус закругления режущей кромки острого лезвия; $\rho_0=4\text{...}6$ мкм.

Фиктивная сила резания при продольном фрезеровании древесины сосны p , Н/мм:

$$p_{//\perp} = 1,57 + 3,23 \sin^{1,25} \varphi_{\delta}, \quad (145)$$

где φ_{δ} – угол встречи; $\varphi_{\delta} = \varphi_k/2$.

Касательное давление стружки на переднюю поверхность зуба для продольно-торцового резания древесины сосны, МПа:

$$k_{//\perp} = 0,196\delta + 0,069V' - 5,4 + (0,354\delta + 0,127V' - 14,22) \sin^{1,25} \varphi_{\delta}, \quad (146)$$

где δ – угол резания зуба, град;

V' – условная скорость резания, м/с, причем если $V < 50$ м/с, то $V' = (90 - V)$, иначе $V' = V$, где V – скорость главного движения.

Средняя касательная сила резания на дуге контакта при фрезеровании одним зубом $F_{x \text{ зуб}}$, Н:

$$F_{x \text{ зуб}} = F_{y\delta} a_c b, \quad (147)$$

где b – ширина срезаемого слоя, мм;

для макрослоев ($a \geq 0,1$ мм)

$$F_{x \text{ зуб}} = a_n a_w [\alpha_{\rho} p + k a_c] b, \quad (148)$$

для микрослоев ($a \leq 0,1$ мм)

$$F_{x \text{ зуб } m} = a_n a_w [\alpha_{\rho} p + 0,1k] \left(-\frac{1}{\lambda} a_c^2 + \frac{0,2}{\lambda} a_c + 1 - \frac{0,01}{\lambda} \right) b, \quad (149)$$

где λ – коэффициент: $\lambda = \rho^2 + 0,2\rho + 0,01$; здесь радиус закругления режущих кромок лезвий подставляется в мм; $\rho = \rho_0 + \Delta\rho$.

Средняя касательная сила резания за оборот фрезы

$$F_x = F_{x \text{ зуб}} \frac{l}{t_3}, \quad (150)$$

где l – длина дуги контакта, мм;

t_3 – шаг зубьев фрезы, мм; $t_3 = \frac{\pi D}{z}$, где D – диаметр окружности резания фрезы, мм; z – количество зубьев фрезы.

Мощность фрезерования P , кВт:

$$P = \frac{F_x V}{1000}.$$

18.1.8. Объемная формула мощности

При фрезеровании на дуге контакта действует мгновенная сила резания (рис. 93)

$$F_{x \text{ мг}} = F_{уд} ab = F_{уд} b S_z \sin \varphi. \quad (151)$$

Средняя сила резания на дуге контакта $F_{x \text{ зуб}}$ есть сила, постоянно действующая на дуге контакта.

$$F_{x \text{ зуб}} = F_{уд} a_{cp} b = F_{уд} b S_z \sqrt{\frac{t}{D}}.$$

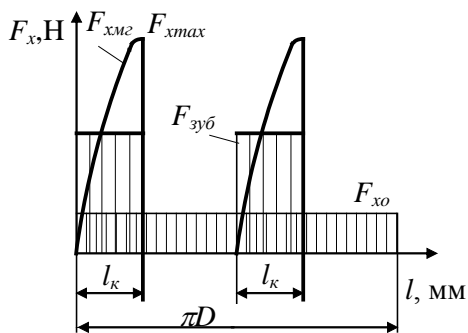


Рис. 93. Касательные силы резания при фрезеровании

Окружная сила резания F_{xo} находится из равенства работ:

$$F_{x \text{ зуб}} l_k z = F_{xo} \pi D.$$

Помножив обе части равенства на $60000n$, получим

$$F_{xo} = \frac{F_{уд} b t V_s}{60V}. \quad (152)$$

Мощность фрезерования, кВт,

$$P = \frac{F_{x0}V}{1000} = \frac{F_{y\delta}btV_s}{6000}.$$

18.1.9. Решение обратной задачи

При решении обратных задач из формул (148), (149) находят значение средней толщины срезаемого слоя. В уравнении (149) обозначим:

$$F_{x0,1} = \alpha_{\rho}p + 0,1k;$$

$$m_1 = \left(-\frac{1}{\lambda}a_c^2 + \frac{0,2}{\lambda}a_c + 1 - \frac{0,01}{\lambda}\right).$$

$$\text{Тогда } m_1 = \frac{F_{x \text{ зyb}}}{a_n a_w b F_{x0,1}}. \quad (153)$$

Если $m_1 = 1$, то $a_c = 0,1$ мм. Если $m_1 > 1$, то толщина срезаемого слоя a_c находится в диапазоне макрослоя и определяется по формуле для макрослоев; при $m_1 < 1$, толщина срезаемого слоя a_{cm} находится по формуле для микрослоев.

При $a_c \geq 0,1$ мм

$$a_c = \frac{\frac{F_{xzyb}}{a_n a_w b} - \alpha_{\rho} p}{k}. \quad (154)$$

При $a_c \leq 0,1$ мм

$$a_{cm} = 0,1 - \sqrt{\lambda(1 - m_1)}. \quad (155)$$

Радиальная составляющая силы резания F_z , Н:

при $a_c \geq 0,1$ мм

$$F_z = [0,5\alpha_{\rho}^2(\alpha_{\rho}p + 0,1k) \frac{\rho}{\rho + 50} - k(a_c - 0,1)\text{tg}(90^{\circ} - \delta - \varphi)] a_n a_w b \frac{l}{t_3}, \quad (156)$$

при $a_c < 0,1$ мм

$$F_z = a_n a_w b \frac{l}{t_3} 0,5\alpha_{\rho}^2 [\alpha_{\rho}p + 0,1k] \frac{\rho}{\rho + 50}, \quad (157)$$

где ρ – в мкм.

18.1.10. Пример решения обратной задачи

Дано. Проектируется новый рейсмусовый станок для обработки заготовок из древесины сосны шириною $b = 100$ мм и влажностью $W = 10\%$. Диаметр окружности резания ножевого вала $D = 128$ мм, частота вращения вала $n = 5000$ мин⁻¹, число ножей $z = 4$, угол резания ножей $\delta = 65^\circ$. Период стойкости ножей $T = 240$ мин, шероховатость обработанной поверхности $R_m = 100$ мкм, глубина фрезерования $t = (2; 4; 5; 6)$ мм. Ширина стола $b_c = 630$ мм.

Конструктивная скорость подачи $V_{ск} \leq 36$ м/мин.

С учетом аналогов принята мощность электродвигателя механизма главного движения $P = 7$ кВт, КПД передачи $\eta = 0,94$.

Определить скорости подач и построить график скоростей подач.

Решение. 1. Скорость главного движения

$$V = \pi D n / 60000 = 3,14 \cdot 128 \cdot 5000 / 60000 = 33,51 \text{ м/с.}$$

2. Угол контакта режущей кромки с заготовкой для $t = (2; 4; 5; 6)$ мм:

$$\varphi_k = 115 \sqrt{t/D} = 115 \sqrt{2/128} = 14,375^\circ.$$

Результаты расчетов представлены в табл. 42 и на рис. 94.

3. Длина дуги контакта $l_k = \sqrt{tD} = \sqrt{2 \cdot 128} = 16,0$ мм.

4. Подача на зуб с ограничением по шероховатости. По табл. 41 для $R_{m \max} = 0,1$ мм и точности радиусов лезвий $\Delta \leq 0,1$ мм $S_z = 3,5$ мм.

Таблица 42

Результаты расчетов

Параметры	Обозначение	Размерность	Глубина фрезерования t , мм			
			2	4	5	6
Скорость резания	V	м/с	33,51	33,51	33,51	33,51
Угол контакта	φ_k	град	14,38	20,33	22,73	24,90
Длина дуги контакта	l_k	мм	16,0	22,6	25,3	27,7

Подача на зуб по шероховатости	S_{z1}	мм	3,5	3,5	3,5	3,5
Прирост затупления	$\Delta\rho$	мкм	12,03	17,01	19,02	20,83
Фиктивная сила резания	ρ	Н/мм	1,80	1,92	1,97	2,0
Окончание табл. 42						
Касательное давление	k	МПа	12,4	13,2	13,4	13,6
Коэффициент затупления	α_ρ	–	1,37	1,52	1,58	1,64
Окружная сила резания	F_{x0}	Н	196,4	196,4	196,4	196,4
Средняя сила резания на дуге контакта	$F_{хзуб}$	Н	1233,8	872,4	780,3	712,3
Средняя толщина среза при						
$b = 100$ мм	a_c	мм	0,78	0,44	0,35	0,28
$b = 200$ мм	a_c	мм	0,29	0,11	0,06	0,04
$b = 300$ мм	a_c	мм	0,13	0,03	0,02	0,01
Подача на зуб по мощности при						
$b = 100$ мм	S_{z2}	мм	6,25	2,49	1,77	1,31
$b = 200$ мм	S_{z2}	мм	2,34	0,62	0,29	0,18
$b = 300$ мм	S_{z2}	мм	1,03	0,18	0,10	0,06
Расчетная подача на зуб при						
$b = 100$ мм	S_{zp}	мм	1,80	1,80	1,77	1,31
$b = 200$ мм	S_{zp}	мм	1,80	0,62	0,29	0,18

$b = 300$ мм	S_{zp}	мм	1,03	0,18	0,10	0,06
Скорость подачи при						
$b = 100$ мм	V_s	м/ми Н	36,0	36,0	35,4	26,2
$b = 200$ мм	V_s	м/ми Н	36,0	12,4	5,8	3,6
$b = 300$ мм	V_s	м/ми Н	20,6	3,6	2,0	1,1

5. Прирост затупления лезвий за время работы

$$\Delta\rho = \gamma_{\Delta} I_{\kappa} n T K_{\eta} K_{\mu} / 1000 = 0,0008 \cdot 16,0 \cdot 5000 \cdot 240 \cdot 0,9 \cdot 0,9 / 1000 = 12,02 \text{ мкм.}$$

6. Фиктивная сила резания

$$p_{//\perp} = 1,57 + 3,23 \sin^{1,25} \varphi_{\theta} = 1,57 + 3,23 \sin^{1,25} 7,2^{\circ} = 1,8 \text{ Н/мм.}$$

7. Касательное давление стружки на переднюю грань

$$\begin{aligned} k_{//\perp} &= 0,196\delta + 0,069V' - 5,4 + (0,354\delta + 0,127V' - 14,22) \sin^{1,25} \varphi_{\theta} = \\ &= 0,196 \cdot 65 + 0,069(90 - 33,51) - 5,4 + (0,354 \cdot 65 + 0,127(90 - 33,51) - \\ &- 14,22) \sin^{1,25} 7,2^{\circ} = 12,43 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

8. Коэффициент затупления

$$\alpha_{\rho} = 1 + \left(1 + 0,1 \frac{k}{p}\right) \frac{\Delta\rho}{\rho_o + 50} = 1 + \left(1 + 0,1 \frac{12,43}{1,8}\right) \frac{12,03}{5 + 50} = 1,37.$$

9. Окружная касательная сила резания

$$F_{\text{хо}} = 1000P\eta/V = 1000 \cdot 7 \cdot 0,94 / 33,51 = 196,4 \text{ Н.}$$

10. Средняя сила резания на дуге контакта

$$F_{\text{хзуб}} = F_{\text{хо}} \pi D / (l_{\kappa} z) = 196,4 \cdot 3,14 \cdot 128 / (16 \cdot 4) = 1233,8 \text{ Н.}$$

11. Средняя толщина срезаемого слоя при подаче по одной заготовке ($b = 100$ мм).

Коэффициенты

$$\lambda = \rho^2 + 0,2\rho + 0,01; \rho = \rho_0 + \Delta\rho; \rho - \text{в мм.}$$

$$\lambda = (0,005 + 0,0123)^2 + 0,2(0,005 + 0,0123) + 0,01 = 0,01369;$$

$$F_{x0,1} = \alpha_{\rho} p + 0,1k = 1,37 \cdot 1,8 + 0,1 \cdot 12,43 = 3,75 \text{ Н/мм};$$

$$m_1 = \frac{F_{x \text{ зуб}}}{a_n a_w b F_{x0,1}} = \frac{1233,8}{1 \cdot 100 \cdot 3,75} = 3,3.$$

Так как $m_1 > 1$, то толщина срезаемого слоя a_c определяется по формуле для макрослоев

$$a_c = \frac{\frac{F_{x \text{ зуб}}}{a_n a_w b} - \alpha_{\rho} p}{k} = \frac{\frac{1233,8}{1 \cdot 1 \cdot 100} - 1,37 \cdot 1,8}{12,43} = 0,78 \text{ мм.}$$

При срезании микрослоев толщина срезаемого слоя находится по формуле (для $b = 200$ мм и $t = 6$ мм)

$$a_{cm} = 0,1 - \sqrt{\lambda(1 - m_1)} = 0,1 - \sqrt{0,0158(1 - 0,77)} = 0,04 \text{ мм.}$$

12. Подача на зуб, ограниченная мощностью привода:

$$S_{z2} = a_c / \sqrt{t/D} = 0,78 / \sqrt{2/128} = 6,25 \text{ мм.}$$

За расчетную подачу на зуб принимается наименьшее значение из подач с ограничениями по шероховатости и мощности привода.

13. Скорость подачи

$$V_s = S_{zp} z n / 1000 = 6,25 \cdot 4 \cdot 5000 / 1000 = 36,5 \text{ м/мин.}$$

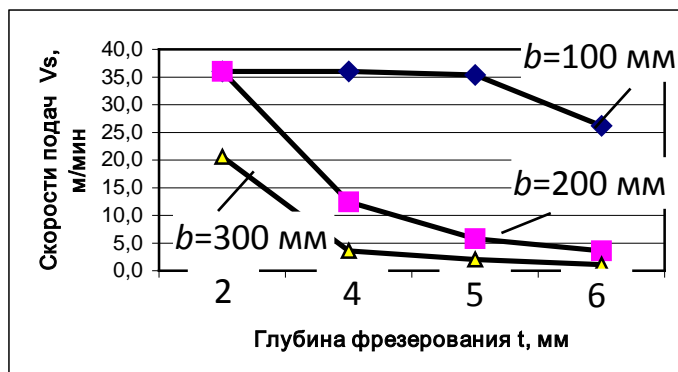


Рис. 94. График скоростей подачи

18.1.11. О выборе величины диаметра фрезы

При решении обратной задачи с переменным диаметром фрезы установлено следующее.

1. С увеличением диаметра фрезы интенсивно нарастают процессы износа и затупления лезвий. Для фрезы диаметром 140 мм по сравнению с фрезой диаметром 50 мм коэффициент затупления увеличивается на 21%.
2. С увеличением диаметра фрезы уменьшается угол перерезания волокон древесины, и это приводит к уменьшению:
 - фиктивной силы резания на 18 %;
 - касательного давления на 16 %.

3. Совместное действие указанных факторов вызывает увеличение энергозатрат при увеличении диаметра фрезы.

4. При цилиндрическом продольном фрезеровании древесины предпочтительно работать фрезой небольшого диаметра.

18.2. Пазовое фрезерование

18.2.1. Общие сведения

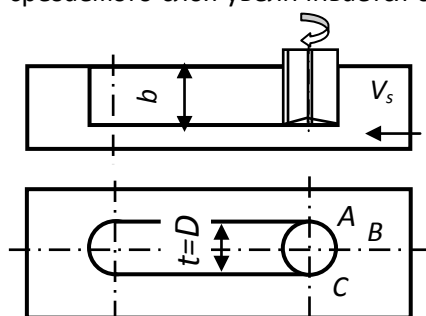
Пазовое фрезерование представляет собой процесс обработки в заготовке вращающейся концевой фрезой сквозных или несквозных фасонных пазов, гнезд под шипы. Это цилиндрическое фрезерование, при котором глубина фрезерования $t = 2R$, где R – радиус окружности резания фрезы.

Концевая фреза имеет торцовые и боковые режущие кромки. Торцовые режущие кромки выполнены с поднутрением (наклоном) к центру под углом $2...3^\circ$ и задним углом $20...25^\circ$. Боковые режущие кромки имеют задний угол $10...15^\circ$ и передний – $30...35^\circ$.

Концевые фрезы выпускают диаметром от 4 до 25 мм. Частота их вращения на станках назначается от 3000 до 24000 мин^{-1} .

18.2.2. Формирование паза в два этапа

При формировании паза с дном (рис. 95) в два этапа сначала производится заглабление фрезой с подачей вдоль ее оси, а затем включается боковая подача. Ширина паза равна диаметру фрезы D . Ширина фрезерования b равна глубине паза. Толщина срезаемого слоя увеличивается от нуля в точке А до максимального значения в точке В и



затем уменьшается до нуля в точке С. Глубина паза t принимается за ширину фрезерования, которая обычно не превышает $1,5 D$. Если необходимо получить более глубокий паз, то операцию формирования паза выполняют за несколько проходов.

Скорость главного движения находят по формуле, м/с

$$V = \frac{\pi D n}{60000},$$

Рис. 95. Схема пазового фрезерования

где D – диаметр фрезы, мм;

n – частота вращения фрезы, мин^{-1} .

Значение боковой подачи на зуб, мм, находят по формуле

$$S_z = \frac{1000V_s}{Zn},$$

где V_s – скорость подачи, м/мин;

Z – число зубьев фрезы.

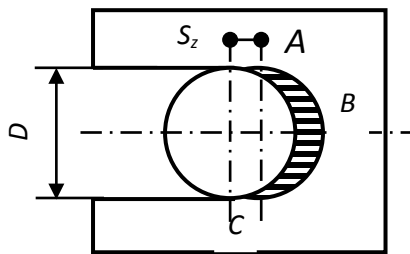
Площадь срезаемого слоя (рис. 96) $f = 2S_zR$ или $f = a_c\pi R$,

где S_z – подача на один зуб фрезы, мм;

R – радиус фрезы, мм;

a_c – среднее значение толщины срезаемого слоя, мм.

Отсюда средняя толщина срезаемого слоя



$$a_c = \frac{2S_z}{\pi} = 0,64S_z. \quad (158)$$

Толщину срезаемого слоя принято определять по формуле

$$a_c = S_z \sin(\varphi_k / 2),$$

Рис. 96. Схема к расчету размеров срезаемого слоя

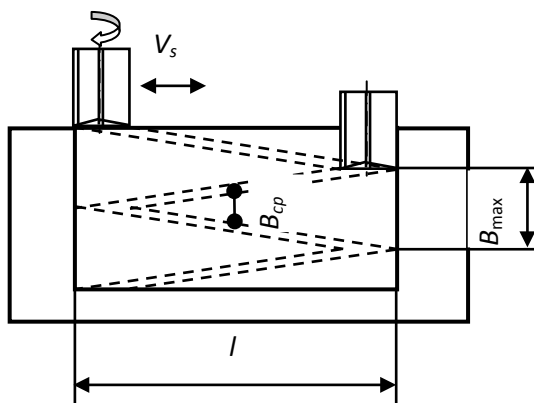
где φ_k – угол контакта фрезы с заготовкой; угол встречи $\varphi_b = \varphi_k/2$; при расположении паза параллельно волокнам древесины $\varphi_b = \arcsin 0,64 = 39,5^\circ$; при расположении паза перпендикулярно волокнам $\varphi_b = 90^\circ - 39,5^\circ = 50,5^\circ$.

18.2.3. Непрерывное формирование паза

На современных станках формирование паза осуществляется непрерывным способом, когда осевая и боковая подачи происходят одновременно (рис. 97).

Скорость осевой подачи на станке постоянна.

Скорость боковой подачи переменна и может быть определена по формуле



$$V_{sб} = \frac{\pi n_1 (l - D)}{1000} \sin \alpha,$$

где n_1 – число двойных ходов фрезы в минуту, мин^{-1} ;

Рис. 97. Схема непрерывного пазового фрезерования

l – длина паза, мм;

D – диаметр фрезы, мм;

α – текущий угол поворота кривошипа, град.

При $\alpha = 0^\circ$ и $\alpha = 180^\circ$ $V_{s\delta} = 0$, при $\alpha = 90^\circ$ и $\alpha = 270^\circ$ скорость подачи достигает максимального значения:

$$V_{s\delta \max} = \frac{\pi n_1 (l - D)}{1000}.$$

В расчетах используют среднее значение скорости боковой подачи, м/мин:

$$V_{s\delta \text{ ср}} = \frac{2n_1 (l - D)}{1000}.$$

Этой скорости соответствует среднее значение подачи на зуб, мм:

$$S_{z \text{ ср}} = \frac{2n_1 (l - D)}{Zn},$$

где Z – число зубьев фрезы;

n – частота вращения фрезы, мин⁻¹.

Ширина фрезерования тоже переменна. Максимальное значение ширины фрезерования, мм, определяют по формуле

$$B_{\max} = \frac{1000V_{s1}}{n_1},$$

где V_{s1} – скорость осевой подачи, м/мин;

n_1 – частота двойных ходов фрезы, мин⁻¹.

Среднее значение ширины фрезерования

$$B_{\text{ср}} = \frac{500V_{s1}}{n_1}.$$

18.2.4. Динамика пазового фрезерования

Расчет значений фиктивной силы резания p и касательного давления на переднюю поверхность зуба k выполняют при $\varphi_8 = 39,5^\circ$ для продольного и $\varphi_8 = 50,5^\circ$ для поперечного фрезерования.

Предварительно рассчитав средние значения толщины и ширины срезаемого слоя, остальной расчет можно выполнить по методике цилиндрического фрезерования.

Расчетное окружное усилие резания с учетом работы торцовых зубьев можно определить по формуле

$$F_{xop} = 1,05F_{xo} .$$

Мощность, расходуемая на резание, кВт

$$P = \frac{F_{xop}V}{1000} .$$

Мощность можно определить также по эмпирической формуле Е.Г. Ивановского, кВт:

$$P = \frac{AS_o^{0,78} D^{1,2} t^{1,7}}{97550\gamma^{0,06}} ,$$

где A – коэффициент, равный 0,0083 для сосны при $Z=1$; 0,015 при $Z=2$; 0,017 при $Z=3$;

S_o – подача за один поворот фрезы, мм;

D – диаметр фрезы, мм;

t – глубина фрезерования, мм;

γ – передний угол боковой режущей кромки зуба, град.

Пример. Дано. На сверлильно-пазовальном станке с непрерывным формированием паза в сосновых заготовках обрабатываются гнезда под шипы шириной 8Н13 мм и длиной 40 мм. Начальный радиус закругления боковых режущих кромок $\rho_o=5$ мкм, углы резания $\alpha = 15^\circ$, $\beta = 40^\circ$, число зубьев фрезы $Z = 2$, поле рассеяния размеров на станке $\omega = 180$ мкм, относительная остаточная деформация $\varepsilon_o = 0,2$. Скорость осевой подачи $V_{s1}=0,1$ м/мин, частота вращения фрезы $n = 3000$ мин⁻¹, число двойных ходов фрезы $n_1=90$ мин⁻¹.

Определить момент наступления отказа технологической системы по параметру “Точность” и мощность на фрезерование к этому моменту.

Решение. Гнездо обрабатывается концевой фрезой диаметром $D=8$ мм. При затуплении боковых режущих кромок диаметр фрезы убывает.

1. По ГОСТ 6449.1-82 находим поле допуска на линейный размер 8 мм IT13 = 220 мкм.

2. Находим величину запаса поля допуска

$$\delta_3 = IT13 - \omega = 220 - 180 = 40 \text{ мкм.}$$

3. Принимаем величину подъема обработанной поверхности для одной режущей кромки лезвия $d = \delta_3 / 2 = 40 / 2 = 20 \text{ мкм.}$

4. Определим значение выражения (выводы см. ниже)

$$e = \frac{\sin(\alpha + \beta / 2)}{\sin(\beta / 2)} = \frac{\sin(15 + 40 / 2)}{\sin(40 / 2)} = 1,677.$$

5. Находим предельно допустимый радиус закругления режущей кромки

$$\rho_{\max} = \frac{d}{e - \varepsilon_o} + \rho_o = \frac{20}{1,677 - 0,2} + 5 = 18,54 \text{ мкм.}$$

В этот момент наступает отказ технологической системы. При дальнейшей работе получается брак, ширина гнезда становится меньше 8 мм.

6. Находим скорость главного движения

$$V = \frac{\pi D n}{60000} = \frac{3,14 \cdot 8 \cdot 3000}{60000} = 1,26 \text{ м/с.}$$

7. Средняя скорость боковой подачи

$$V_{s\bar{o} \text{ cp}} = \frac{2n_1(l - D)}{1000} = \frac{2 \cdot 90(40 - 8)}{1000} = 5,76 \text{ м/мин.}$$

8. Среднее значение боковой подачи на зуб

$$S_{z \text{ cp}} = \frac{2n_1(l - D)}{Zn} = \frac{2 \cdot 90(40 - 8)}{2 \cdot 3000} = 0,96 \text{ мм.}$$

9. Среднее значение толщины срезаемого слоя

$$a_c = 0,64 S_{z \text{ cp}} = 0,64 \cdot 0,96 = 0,6 \text{ мм.}$$

10. Среднее значение ширины фрезерования

$$B_{cp} = \frac{500V_{s1}}{n_1} = \frac{500 \cdot 0,1}{90} = 0,56 \text{ мм.}$$

11. Для продольно-торцового резания с углом встречи $\varphi_6 = 39,5^\circ$ найдем:

– фиктивную силу резания

$$p_{//-\perp} = 1,57 + 3,23 \sin^{1,25} \varphi_6 = 1,57 + 3,23 \sin^{1,25} 39,5^\circ = 3,4 \text{ Н/мм};$$

– значение касательного давления срезаемого слоя на переднюю грань зуба

$$\begin{aligned} k_{//-\perp} &= 0,196\delta + 0,069V' - 5,4 + (0,354\delta + 0,127V' - 14,22) \sin^{1,25} \varphi_6 = \\ &= 0,196 \cdot 55 + 0,069(90 - 1,26) - 5,4 + \\ &+ (0,354 \cdot 55 + 0,127(90 - 1,26) - 14,22) \sin^{1,25} 39,5^\circ = 20,9 \text{ МПа} . \end{aligned}$$

12. Находим значение коэффициента затупления

$$\alpha_\rho = 1 + (1 + 0,1 \frac{k}{p}) \frac{\Delta\rho}{\rho_o + 50} = 1 + (1 + 0,1 \frac{20,9}{3,4}) \frac{(18,54 - 5)}{5 + 50} = 1,4.$$

13. Рассчитываем значение касательной силы резания на дуге контакта при резании одной режущей кромкой

$$F_{x \text{ зуб}} = a_n a_w (\alpha_\rho p + ka) b = 1 \cdot 1 (1,4 \cdot 3,4 + 20,9 \cdot 0,6) \cdot 0,56 = 9,7 \text{ Н}.$$

14. Окружная расчетная сила резания на фрезе с учетом работы торцовых режущих кромок

$$F_{xo \text{ } p} = 1,05 F_{x \text{ зуб}} \frac{z\varphi_k}{360} = 1,05 \cdot 9,7 \frac{2 \cdot 180}{360} = 10,2 \text{ Н}.$$

15. Мощность, расходуемая на резание

$$P = \frac{F_{xop} V}{1000} = \frac{10,2 \cdot 1,26}{1000} = 0,0128 \text{ кВт}.$$

Для контроля мощность по эмпирической формуле

$$P = \frac{AS_o^{0,78} D^{1,2} t^{1,7}}{97550 \gamma^{0,06}} = \frac{0,015 \cdot (0,96 \cdot 2)^{0,78} \cdot 8^{1,2} 8^{1,7}}{97550 \cdot 35^{0,06}} = 0,0001 \text{ кВт}.$$

18.3. Коническое фрезерование

При коническом фрезеровании ось вращения режущего инструмента DD составляет острый угол с обработанной поверхностью, а режущие кромки лезвий описывают в пространстве конические поверхности и срезают припуск постоянной толщины (рис. 98). Фрезерование применяется для получения плоских поверхностей с шероховатостью $R_z = 16...30$ мкм в деталях прямоугольного сечения. При коническом фрезеровании на обработанной поверхности практически нет кинематических неровностей.

В сечении А - А на середине образующей L конуса коническая поверхность дает гиперболу с большим радиусом кривизны ρ_{cp} , мм:

$$\rho_{cp} = L_{\kappa} \operatorname{tg} \alpha$$

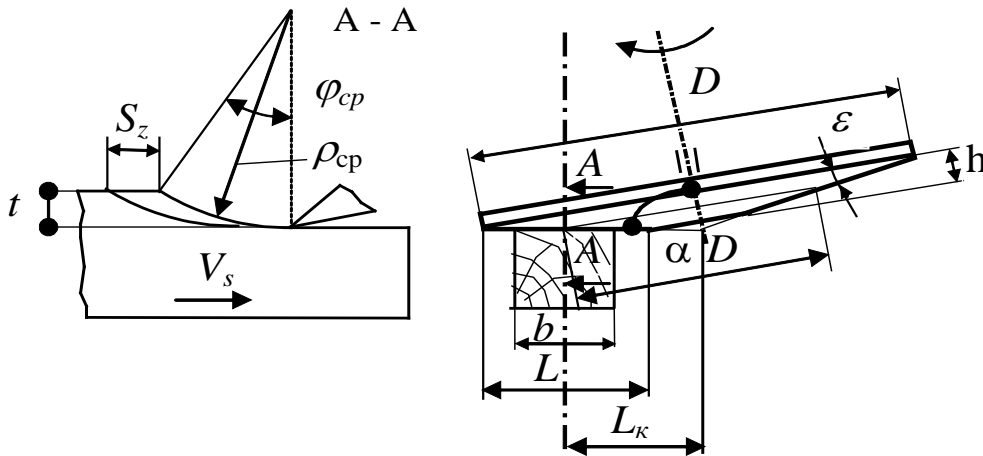


Рис. 98. Схема конического фрезерования

или

$$\rho_{cp} = 0,5 \left(\frac{D}{\sin \varepsilon} - \frac{L}{\operatorname{tg} \varepsilon} \right). \quad (159)$$

Угол ε принимают $10...12^\circ$ ($\alpha = 78...80^\circ$). При $\varepsilon \rightarrow 0$ $\rho_{cp} \rightarrow \infty$. Угол контакта φ_{cp} , град:

$$\varphi_{cp} = \arccos \left(1 - \frac{t}{\rho_{cp}} \right). \quad (160)$$

Длина дуги контакта l_{cp} , мм

$$l_{cp} = \rho_{cp} \varphi_{cp}. \quad (161)$$

Средняя толщина срезаемого слоя a_{cp} , мм

$$a_{cp} = S_z t / l_{cp}. \quad (162)$$

Практически l_{cp} в десятки – сотни раз больше глубины фрезерования t . Это позволяет применять большие подачи на зуб при срезании тонких стружек, обеспечивая высокое качество обработки. Высота кинематических неровностей

$$H_{\max} = 125 S_z^2 / \rho_{cp}. \quad (163)$$

Скорость главного движения

$$V = \pi D_{cp} n / 60000,$$

где D_{cp} – средний диаметр фрезы, мм.

Пример. Дано: $\varepsilon = 10^\circ$, $\alpha_k = 80^\circ$, $\delta = 60^\circ$; $D = 225$ мм, $h = 15$ мм, $z = 2$, $L = 86$ мм, $b = 50$ мм, $t = 2$ мм; $V_s = 24$ м/мин, $n = 3000$ мин⁻¹, порода – сосна, зубья острые.

Определить силы и мощность резания.

Решение.

Радиус кривизны

$$\rho_{cp} = 0,5 \left(\frac{D}{\sin \varepsilon} - \frac{L}{\operatorname{tg} \varepsilon} \right) = 0,5 \left(\frac{225}{\sin 10^\circ} - \frac{86}{\operatorname{tg} 10^\circ} \right) = 804 \text{ мм.}$$

Угол контакта

$$\varphi_{cp} = \arccos(1 - t / \rho_{cp}) = \arccos(1 - 2 / 804) = 4^\circ.$$

Длина дуги контакта

$$l_{cp} = \rho_{cp} \varphi_{cp} = \rho_{cp} \pi \varphi_{cp} / 180^\circ = 804 \cdot 3,14 \cdot 4 / 180 = 56,1 \text{ мм.}$$

Средний диаметр окружности резания

$$D_k = D - L \cos \varepsilon = 225 - 86 \cdot \cos 10^\circ = 150 \text{ мм.}$$

Средняя скорость главного движения

$$V = \pi D_{cp} n / 60000 = 3,14 \cdot 150 \cdot 3000 / 60000 = 23,6 \text{ м/с.}$$

Стружка образуется при продольно-торцово-поперечном резании. Для простоты расчетов примем резание продольно-торцовым. Тогда при угле встречи с волокнами $\varphi_{\text{в}} = \varphi_{\text{ср}} / 2 = 2^{\circ}$:

$$\begin{aligned} k_{//-\perp} &= 0,196\delta + 0,069V'-5,4 + (0,354\delta + 0,127V'-14,22) \sin^{1,25} \varphi_{\text{в}} = \\ &= 0,196 \cdot 60 + 0,069(90 - 23,6) - 5,4 + (0,354 \cdot 60 + 0,127(90 - 23,6) - 14,22) \sin^{1,25} 2^{\circ} = \\ &= 11,2 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

Фиктивная сила резания

$$p_{//-\perp} = 1,57 + 3,23 \sin^{1,25} \varphi_{\text{в}} = 1,57 + 3,23 \sin^{1,25} 2^{\circ} = 1,62 \text{ Н / мм.}$$

Подача на зуб

$$S_z = 1000V_s / (zn) = 1000 \cdot 24 / (2 \cdot 3000) = 4 \text{ мм.}$$

Средняя толщина срезаемого слоя

$$a_{\text{ср}} = S_z t / l_{\text{ср}} = 4 \cdot 2 / 56,1 = 0,14 \text{ мм.}$$

Суммарная удельная сила резания

$$F_{y\delta} = k + \alpha_{\rho} p / a_{\text{ср}} = 11,2 + 1 \cdot 1,62 / 0,14 = 22,8 \text{ МПа .}$$

Мощность

$$P = F_{y\delta} b t V_s / 60000 = 22,8 \cdot 50 \cdot 2 \cdot 24 / 60000 = 0,92 \text{ кВт.}$$

Окружная сила резания

$$F_{x \text{ окр}} = 1000P / V = 1000 \cdot 0,92 / 23,6 = 39 \text{ Н.}$$

Средняя сила резания на дуге контакта

$$F_{x \text{ ср}} = F_{y\delta} a_{\text{ср}} b = 22,8 \cdot 0,14 \cdot 50 = 161 \text{ Н.}$$

Высота кинематических неровностей

$$H_{\text{max}} = 125 S_z^2 / \rho_{\text{ср}} = 125 \cdot 4^2 / (8 \cdot 804) = 2,5 \text{ мкм.}$$

18.4. Фрезерование торцовыми фрезами

18.4.1. Общие сведения

Методом торцового фрезерования обрабатывается большое количество профилей деталей дверей, дверных коробок, филенок, мебельных рамок, деталей окон, раскладок, штапиков, наличников, плинтусов и др. При торцовом фрезеровании ось вращения фрезы составляет угол $\approx 90^\circ$ к обработанной поверхности. Срезаемый слой удаляется боковыми и торцовыми режущими кромками (рис. 99). Основную работу резания выполняют боковые режущие кромки, а торцовые – только подчищают обработанную поверхность.

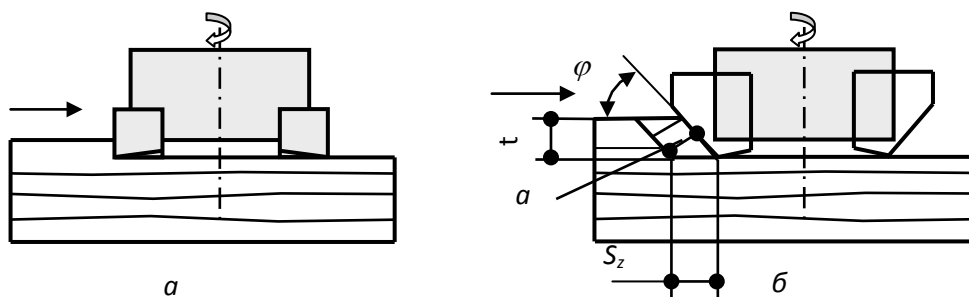


Рис. 99. Торцовое фрезерование:

a – торцово-цилиндрическое; *б* – торцово-коническое

Скорость главного движения резания

$$V = \frac{\pi D n}{60000},$$

где D – диаметр окружности резания фрезы, мм;

n – частота вращения фрезы, мин^{-1} .

Скорость подачи при фрезеровании, м/мин

$$V_s = \frac{S_z z n}{1000},$$

где S_z – подача на один зуб фрезы, мм;

z – число зубьев фрезы.

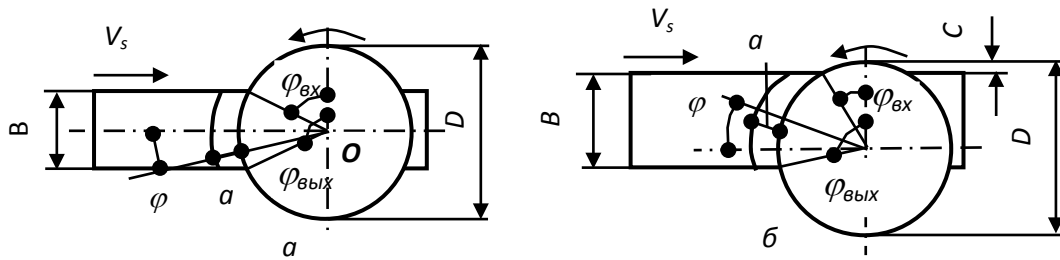


Рис. 100. Схемы фрезерования:

a – симметричного; *б* – несимметричного

Различают фрезерование симметричное и несимметричное (рис. 100). Наиболее выгодные условия врезания зубьев фрезы в древесину наблюдаются при несимметричном фрезеровании, когда смещение фрезы относительно кромки заготовки со стороны врезания зубьев $C = (0,03...0,05)D$.

18.4.2. Размеры срезаемого слоя

Глубина фрезерования t , мм – толщина слоя материала, снимаемого с поверхности заготовки фрезой за один проход. Она равна расстоянию между обрабатываемой и обработанной поверхностями (см. рис. 99, б).

Ширина фрезерования B , мм – ширина поверхности, обрабатываемой за один проход.

Угол контакта $\varphi_K = \varphi_{вых} - \varphi_{вх}$,

где $\varphi_{вых}, \varphi_{вх}$ – соответственно угол выхода и входа.

Для симметричного фрезерования (см. рис. 100, *a*)

$$\varphi_K = 2 \arcsin \frac{B}{D}. \quad (164)$$

Для несимметричного фрезерования (см. рис. 100, *б*)

$$\varphi_K = \frac{\pi}{4} - 2 \arccos \frac{D - 2C}{D} + \arcsin \left(\frac{2B + 2C - D}{D} \right). \quad (165)$$

Длина дуги контакта

$$l_K = \frac{D}{2} \varphi_K.$$

Толщина срезаемого слоя a_c , мм,

$$a_c = \frac{S_z B}{l_k} \quad \text{или} \quad a_c = S_z \sin \mu.$$

Угол встречи с волокнами

$$\varphi_\theta = \arcsin \frac{B}{l_k}.$$

18.4.3. Динамика фрезерования

При продольном фрезеровании древесины торцовой фрезой боковая наклонная режущая кромка выполняет резание продольно-торцово-поперечное (рис. 101). При угле наклона боковой режущей кромки к оси вращения фрезы $\varphi_n = 0^\circ$ резание изменяется от продольного в момент врезания и приближается к торцовому в момент выхода зуба из заготовки. Если угол $\varphi_n = 90^\circ$, то резание на дуге контакта изменяется от продольного к поперечному.

Значения фиктивной силы резания p , Н/мм, и касательного давления срезаемого слоя на переднюю поверхность лезвия k , МПа, находят по уравнениям (50).

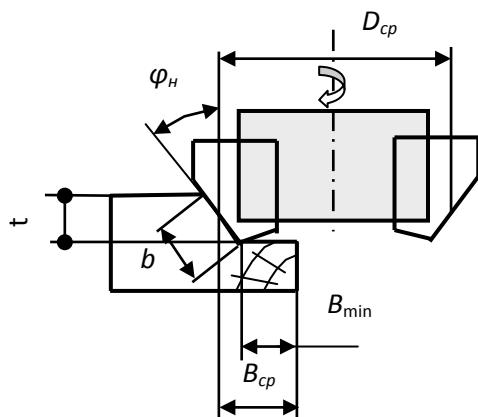


Рис. 101. Параметры торцово-конического фрезерования

При ширине фрезерования B_{cp} среднее значение угла скоса $\varphi_c = \varphi_\theta$ имеет место на середине дуги контакта и равно

$$\varphi_c = \frac{\varphi_n}{2} = \arcsin \sqrt{\frac{B_{cp}}{D_{cp}}},$$

где D_{cp} – средний диаметр окружности резания фрезы, мм.

$$D_{cp} = D_{\min} + t \operatorname{tg} \varphi_n,$$

где t – глубина фрезерования, мм.

Средняя скорость главного движения, м/с

$$V = \frac{\pi D_{cp} n}{60000},$$

где n – частота вращения фрезы, мин^{-1} .

Пример. Дано. На фрезерном станке из сосновых заготовок влажностью 12% обрабатываются детали сложного профиля (см. рис. 98). Ширина фрезерования $B_{\text{min}} = 30$ мм, глубина фрезерования $t = 8; 12; 15; 20$ мм, минимальный диаметр окружности резания наклонной режущей кромки $D_{\text{min}} = 120$ мм, угол наклона боковой режущей кромки $\varphi_H = 45^\circ$, частота вращения вала $n = 5000 \text{ мин}^{-1}$, число ножей $z = 4$, угол резания ножей $\delta = 70^\circ$. Ножи выполнены из твердого сплава марки ВК15. Период стойкости ножей $T = 1200$ мин.

Мощность электродвигателя механизма главного движения станка $P = 3$ кВт, КПД передачи $\eta = 0,94$.

Определить скорости подач и построить график скоростей подач.

Решение.

1. Средний диаметр окружности резания фрезы (результаты расчета сведены в табл. 43)

$$D_{\text{cp}} = D_{\text{min}} + t \cdot \text{tg} \varphi_H = 120 + 8 \cdot \text{tg} 45 = 128 \text{ мм.}$$

2. Скорость главного движения

$$V = \pi D_{\text{cp}} n / 60000 = 3,14 \cdot 128 \cdot 5000 / 60000 = 33,51 \text{ м/с.}$$

3. Среднее значение ширины фрезерования

$$B_{\text{cp}} = B_{\text{min}} + 0,5t \cdot \text{tg} \varphi_H = 30 + 0,5 \cdot 8 \cdot \text{tg} 45 = 34 \text{ мм.}$$

4. Значение угла скоса

$$\varphi_c = \arcsin \sqrt{\frac{B_{\text{cp}}}{D_{\text{cp}}}} = \arcsin \sqrt{\frac{34}{128}} = 31,0^\circ.$$

Таблица 43

Результаты расчетов

Параметры	Обозначение	Размерность	Глубина фрезерования t , мм			
			8	12	15	20
Средний диаметр фрезы	D_{cp}	мм	128	132	135	140
Скорость резания	V	м/с	33,51	34,56	35,34	36,65
Средняя ширина фрезерования	B_{cp}	мм	34	36	37,5	40
Угол скоса	φ_c	град	31	31,5	31,8	32,3
Угол контакта	φ_k	град	62	63	63,6	64,6
Длина дуги контакта	l_k	мм	69,3	72,5	74,9	79,0
Прирост затупления	Δ_p	мкм	21,6	22,6	23,6	24,6
Фиктивная сила резания	p	Н/мм	1,96	1,97	1,97	1,98
Касательное давление	k	МПа	13,76	13,68	13,62	13,51
Коэффициент затупления	α_p	-	1,67	1,70	1,72	1,75
Окружная сила резания	F_{xo}	Н	84,2	81,6	79,8	76,9
Средняя сила резания на дуге контакта	$F_{x зуб}$	Н	122,1	116,6	112,9	107,2
Средняя ширина среза	b	мм	9,4	14,1	17,6	23,5
Коэффициент m_1	m_1	-	2,79	1,76	1,35	0,95
Толщина срезаемого слоя	a	мм	0,71	0,36	0,22	-
	a	мм	-	-	-	0,07
Подача на зуб	S_z	мм	1,94	0,98	0,59	0,185
Скорость подачи	V_s	м/мин	38,7	19,5	11,9	3,7

5. Угол контакта боковой режущей кромки с заготовкой

$$\varphi_k = 2\varphi_c = 2 \cdot 31,0 = 62,0^\circ.$$

6. Длина дуги контакта

$$l_k = \frac{\pi D_{cp} \varphi_k}{360} = \frac{3,14 \cdot 128 \cdot 62,0}{360} = 69,3 \text{ мм.}$$

7. Прирост затупления лезвий за время работы при коэффициентах использования станка и производительности $K_u = 0,92$; $K_n = 0,94$

$$\Delta\rho = \gamma_{\Delta k} l_k n T K_n K_u / 1000 = 0,00006 \cdot 69,3 \cdot 5000 \cdot 1200 \cdot 0,92 \cdot 0,94 / 1000 = 21,6 \text{ мкм.}$$

8. Фиктивная сила резания

$$p_{//-\perp} = 1,57 + 3,23 \sin^{1,25} \varphi_g = 1,57 + 3,23 \sin^{1,25} 31^\circ = 2,98 \text{ Н/мм;}$$

$$p_{\#-//} = 0,98 + 0,59 \cos^2 \varphi_c = 0,98 + 0,59 \cos^2 31^\circ = 1,41 \text{ Н/мм;}$$

$$p_{//-\perp\#} = p_{//-\perp} - (p_{//-\perp} - p_{\#-//}) \sin^{1,25} \varphi_H = 2,98 - (2,98 - 1,41) \sin^{1,25} 45^\circ = 1,96 \text{ Н/мм.}$$

9. Касательное давление стружки на переднюю грань

$$k_{//-\perp} = 0,196\delta + 0,069V' - 5,4 + (0,354\delta + 0,127V' - 14,22) \sin^{1,25} \varphi_g =$$

$$= 0,196 \cdot 70 + 0,069(90 - 33,51) - 5,4 +$$

$$+ (0,354 \cdot 70 + 0,127(90 - 33,51) - 14,22) \sin^{1,25} 31^\circ = 19,96 \text{ МПа .}$$

$$k_{\#-//} = 0,029\delta + CV' - 0,59 + (0,167\delta + (0,069 - C)V' - 4,81) \cos^2 \varphi_c =$$

$$= 0,029 \cdot 70 + 0,069(90 - 33,51) - 0,59 + (0,167 \cdot 70 + (0,069 - 0,069)(90 - 33,51) - 4,81) \cos^2 31^\circ = 10,39 \text{ МПа .}$$

$$k_{//-\perp\#} = k_{//-\perp} - (k_{//-\perp} - k_{\#-//}) \sin^{1,25} \varphi_H = 19,96 - (19,96 - 10,39) \sin^{1,25} 45^\circ =$$

= 13,76 МПа.

10. Коэффициент затупления

$$\alpha_{\rho} = 1 + (1 + 0,1 \frac{k}{p}) \frac{\Delta_{\rho}}{\rho_o + 50} = 1 + (1 + 0,1 \frac{13,76}{1,99}) \frac{21,6}{5 + 50} = 1,67.$$

11. Окружная касательная сила резания

$$F_{x_o} = 1000P\eta/V = 1000 \cdot 3 \cdot 0,94 / 33,51 = 84,2 \text{ Н.}$$

12. Средняя сила резания на дуге контакта

$$F_{x_{зуб}} = F_{x_o} \pi D_{cp} / (l_{кz}) = 84,2 \cdot 3,14 \cdot 128 / (69,3 \cdot 4) = 122,1 \text{ Н.}$$

13. Ширина срезаемого слоя

$$b = \frac{t}{\sin \varphi_H} = \frac{8}{\sin 45} = 9,4 \text{ мм.}$$

14. Средняя толщина срезаемого слоя

Коэффициенты

$$\lambda = \rho^2 + 0,2\rho + 0,01; \rho = \rho_o + \Delta_{\rho}; \rho - \text{ в миллиметрах;}$$

$$\lambda = (0,005 + 0,0216)^2 + 0,2(0,005 + 0,0216) + 0,01 = 0,0160219;$$

$$F_{x_{0,1}} = \alpha_{\rho} p + 0,1k = 1,64 \cdot 1,96 + 0,1 \cdot 13,76 = 4,65 \text{ Н/мм;}$$

$$m_1 = \frac{F_{x_{зуб}}}{a_n a_w b F_{x_{0,1}}} = \frac{122,1}{1 \cdot 1 \cdot 9,4 \cdot 4,65} = 2,79.$$

Так как $m_1 > 1$, то толщина срезаемого слоя a_c определяется по формуле для макрослоев

$$a_c = \frac{F_{x_{зуб}} - \alpha_{\rho} p}{a_n a_w b k} = \frac{122,1 - 1,67 \cdot 1,96}{1 \cdot 1 \cdot 9,4 \cdot 13,76} = 0,71 \text{ мм.}$$

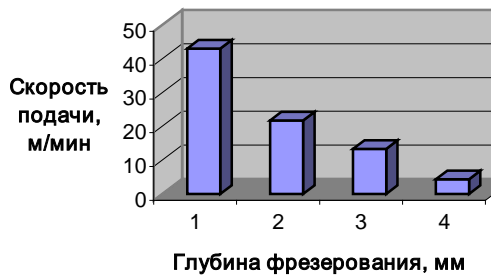
В случае, когда глубина фрезерования $t = 20$ мм, коэффициент $m_1 = 0,98 < 1$, толщина срезаемого слоя находится по формуле

$$a_{cm} = 0,1 - \sqrt{\lambda(1 - m_1)} = 0,1 - \sqrt{0,0160219(1 - 0,95)} = 0,07 \text{ мм.}$$

15. Максимально допустимая подача на зуб

$$S_z = \frac{a_c}{\sin 45 \sin 26,8} = \frac{0,71}{\sin 45 \sin 26,8} = 1,94 \text{ мм.}$$

16. Скорость подачи



ис. 102 Диаграмма скоростей подач при V_s , м/мин:

1– 8; 2– 12; 3– 15; 4– 20

$$V_s = S_z z n / 1000 = 2,15 \cdot 4 \cdot 5000 / 1000 = 38,7 \text{ м/мин.}$$

Диаграмма скоростей подач показана на рис. 102.

18.5. Обработка клиновых зубчатых шипов

Клиновые зубчатые шипы широко применяются для клеевого соединения деревянных деталей по длине. Размеры зубчатых шипов регламентированы ГОСТ 19414-79 "Древесина клееная. Зубчатые клеевые соединения. Размеры и технические требования" (табл. 44).

Таблица 44

Параметры зубчатых соединений по ГОСТ 19414-79

Группа соединения	Длина шипа, мм	Шаг соединения, мм	Затупление шипа, мм	Уклон шипа	Рекомендуемая область применения

I	50	12	1,5	1:11	Для склеивания по всему сечению напряженных элементов несущих конструкций
	32	8	1,0	1:10,5	
II	20	6	1,0	1:10	Для склеивания отдельных слоев многослойных элементов, а также элементов несущих конструкций по всему сечению
	10	3,5	0,5	1:8	
	5	1,75	0,2	1:7,5	

Фрезы. Шипы получают методом фрезерования цельными, составными, веерными фрезами. Фрезы (отечественные и импортные) выпускаются диаметром $D = 125; 150; 160; 170; 180; 200; 250; 260$ мм, диаметром посадочного отверстия $d = 40$ и 50 мм.

Шипы нарезаются на торцах заготовок. Шероховатость поверхности шипов должна соответствовать $R_z 60...200$ мкм, точность по 12-му...14-му качеству, посадка при сопряжении соединения h или k .

Параметры фрезерования шипов. Для выполнения расчетов удобнее процесс нарезания шипов разбить на отдельные элементы, когда фреза обрабатывает только одну наклонную поверхность проушины. Фрезерование торцово-коническое со следующими параметрами.

Глубина фрезерования t , мм – толщина слоя материала, снимаемого с поверхности заготовки фрезой за один проход. Она равна расстоянию между обрабатываемой и обработанной поверхностями (рис. 103)

$$t = l \operatorname{tg} \varphi_n + \frac{t_{зш}}{2}, \quad (166)$$

где l – длина шипа, мм;

$t_{зш}$ – затупление шипа, мм.

Угол наклона φ_n находится по параметру уклона шипа (табл. 44). Если уклон шипа равен 1:10, то $\operatorname{tg} \varphi_n = 0,1$; $\varphi_n = \operatorname{arctg} 0,1$.

Толщина срезаемого слоя на дуге контакта переменна по величине и зависит от углов поворота фрезы φ и наклона φ_n боковой режущей кромки, мм

$$a = S_z \sin \varphi \sin \varphi_n$$

Среднее значение толщины среза, мм

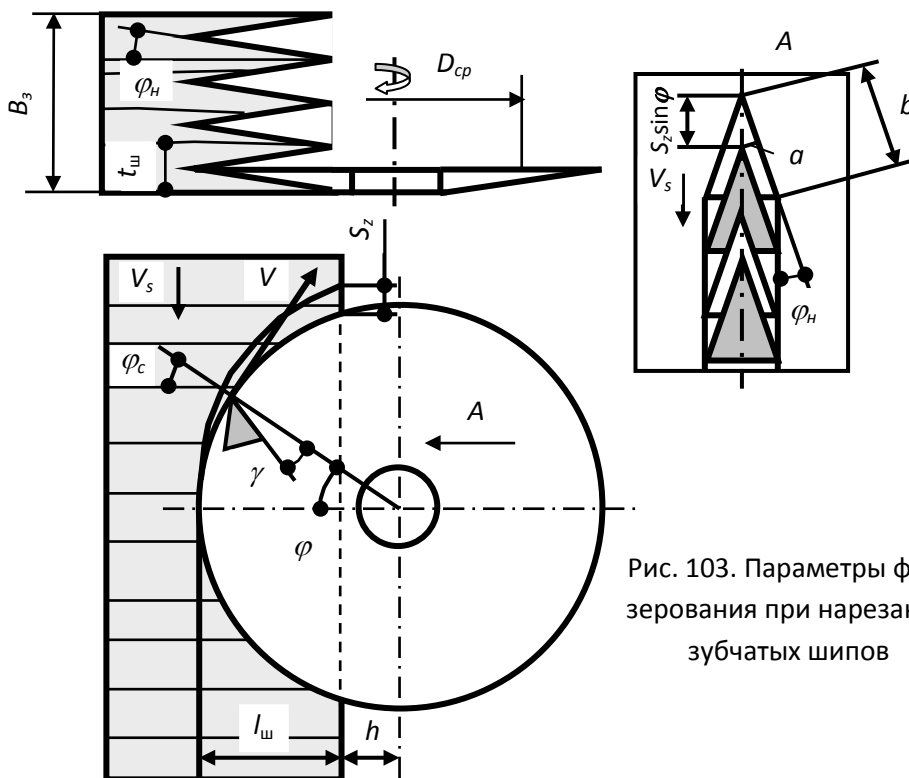


Рис. 103. Параметры фрезерования при нарезании зубчатых шипов

$$a_{cp} = S_z \sqrt{\frac{B}{D_{cp}}} \sin \varphi_n \quad (167)$$

где S_z – подача на зуб, мм;

B – ширина фрезерования, равная длине шипа, мм.

Средний диаметр окружности резания, мм

$$D_{cp} = D - l,$$

где l – длина шипа, мм.

Средняя ширина срезаемого слоя b , мм,

$$b = 0,7 \frac{0,5D - h}{\cos \gamma \cos \varphi_H}, \quad (168)$$

Средняя скорость главного движения при фрезеровании, м/с

$$V = \frac{\pi D_{cp} n}{60000},$$

где n – частота вращения фрезы, мин^{-1} .

При нарезании шипов выполняется поперечно-продольно-торцовое резание; угол скоса с волокнами древесины $\varphi_c = \mu$. Фиктивная сила и касательное давление на переднюю поверхность зуба определяются по схеме

$$k_{\#//\perp} = k_{\#//} - (k_{\#//} - k_{\#\perp}) \sin^{1,25} \varphi_H.$$

Пример. Проектируется новый шипорезный станок для нарезания зубчатых шипов на торцах заготовок немерной длины из древесины сосны. Ширина заготовок $B_3 = 60; 80; 100$ мм, влажность $W = 10\%$. Предполагается использовать фрезу 3202-4405 по ГОСТ 19414-79 наружным диаметром $D = 125$ мм, числом зубьев $z = 2$, передним углом при вершине зуба $\gamma = 20^\circ$, углом резания боковых лезвий $\delta = 90^\circ$, длиной $L = 120$ мм. Размеры шипов: длина $l_w = 10$ мм, шаг $t_w = 3,5$ мм, затупление шипа $t_{zw} = 0,5$ мм, уклон – 1:8. Частота вращения шпинделя $n = 4000 \text{ мин}^{-1}$, период стойкости фрезы $T = 150$ мин.

С учетом аналогов принята мощность электродвигателя механизма главного движения $P = 5$ кВт, КПД передачи $\eta = 0,94$.

Определить скорости подач и построить график скоростей подач.

Решение. 1. Средний диаметр окружности резания

$$D_{cp} = D - l_w = 125 - 10 = 115 \text{ мм.}$$

2. Скорость главного движения

$$V = \pi D_{cp} n / 60000 = 3,14 \cdot 115 \cdot 4000 / 60000 = 24,1 \text{ м/с.}$$

3. Средний угол контакта режущей кромки с заготовкой при ширине фрезерования $B=l_w$

$$\varphi_k = 115 \sqrt{l_w / D_{cp}} = 115 \sqrt{10 / 115} = 33,9^\circ.$$

Результаты расчетов сведены в табл. 45.

4. Угол скоса $\varphi_c = \varphi_k / 2 = 33,9 / 2 = 16,96^\circ$.

5. Длина дуги контакта $l_k = \frac{\pi D_{cp} \varphi_k}{360} = \frac{3,14 \cdot 115 \cdot 33,9}{360} = 34 \text{ мм.}$

6. Прирост затупления лезвий за время работы для зубьев из быстрорежущей инструментальной стали

$$\Delta_p = \gamma_{\Delta} l_k n T K_{\pi} K_u / 1000 = 0,0008 \cdot 34 \cdot 4000 \cdot 150 \cdot 0,94 \cdot 0,92 / 1000 = 14,1 \text{ мкм.}$$

7. Угол наклона φ_H , угол между режущей кромкой и волокнами древесины $\varphi_H = \arctg(1/8) = 7,1^\circ$.

8. Фиктивная сила для поперечно-продольно-торцового резания

$$p_{\#-//} = 0,98 + 0,59 \cos^2 \varphi_c = 0,98 + 0,59 \cos^2 16,96^\circ = 1,52 \text{ Н/мм;}$$

$$p_{\#-\perp} = 0,98 + 3,82 \sin^{1,25} \varphi_H = 0,98 + 3,82 \sin^{1,25} 7,1^\circ = 1,26 \text{ Н/мм;}$$

$$p_{\#-//-\perp} = p_{\#-//} - (p_{\#-//} - p_{\#-\perp}) \sin^{1,25} \varphi_H = 1,52 - (1,52 - 1,26) \sin^{1,25} 7,1^\circ = 1,5 \text{ Н/мм.}$$

9. Касательное давление стружки на переднюю грань

$$\begin{aligned} k_{\#-//} &= 0,029\delta + CV' - 0,59 + (0,167\delta + (0,069 - C)V' - 4,81) \cos^2 \varphi_c = \\ &= 0,029 \cdot 90 + 0,069(90 - 24,09) - 0,59 + (0,167 \cdot 90 + \\ &+ (0,069 - 0,069)(90 - 24,09) - 4,81) \cos^2 16,96^\circ = 15,92 \text{ МПа .} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_{\#-\perp} &= 0,029\delta + CV' - 0,59 + (0,521\delta + (0,196 - C)V' - 19,03) \sin^{1,25} \varphi_H = \\ &= 0,029 \cdot 70 + 0,069(90 - 24,09) - 0,59 + (0,167 \cdot 70 + (0,069 - \\ &- 0,069)(90 - 24,09) - 4,81) \cos^2 16,96^\circ = 9,24 \text{ МПа .} \end{aligned}$$

$$k_{\#//\perp} = k_{\#//} - (k_{\#//} - k_{\#\perp}) \sin^{1,25} \varphi_H = 15,92 - (15,92 - 9,24) \sin^{1,25} 7,1^\circ =$$

$$= 15,43 \text{ МПа.}$$

10. Коэффициент затупления

$$\alpha_\rho = 1 + (1 + 0,1 \frac{k}{p}) \frac{\Delta_\rho}{\rho_o + 50} = 1 + (1 + 0,1 \frac{15,43}{1,5}) \frac{14,1}{5 + 50} = 1,52.$$

11. Количество рабочих режущих кромок зубьев фрезы

$$i = 2B_z / t_w = 2 \cdot 60 / 3,5 = 34,29 \text{ шт.}$$

12. Окружная касательная сила резания обработки одной наклонной поверхности проушины:

$$F_{xo} = 1000P\eta / iV = 1000 \cdot 5 \cdot 0,94 / 24,09 \cdot 30,11 = 5,7 \text{ Н.}$$

13. Средняя сила резания на дуге контакта

$$F_{хзуб} = F_{xo} \pi D / (l_{кз}) = 5,7 \cdot 3,14 \cdot 115 / (34 \cdot 2) = 30,2 \text{ Н.}$$

Таблица 45

Результаты расчетов

Параметры	Обозначение	Размерность	Ширина заготовок B_z , мм		
			60	80	100
Скорость главного движения	V	м/с	24,09	24,09	24,09
Угол контакта	φ_k	град	33,9	33,9	33,9
Угол скоса	φ_c	град	16,96	16,96	16,96

Длина дуги контакта	l_k	мм	34	34	34
Прирост затупления	$\Delta\rho$	мкм	14,1	14,1	14,1
Угол наклона бокового лезвия	φ_H	град	7,1	7,1	7,1
Фиктивная сила резания	ρ	Н/мм	1,5	1,5	1,5
Касательное давление	k	МПа	15,43	15,43	15,43
Коэффициент затупления	α_ρ	–	1,52	1,52	1,52
Количество плоскостей проушин	i	шт	34,29	45,71	57,14
Окружная сила резания	F_{xo}	Н	5,7	4,3	3,4
Средняя сила резания на дуге контакта	$F_{xзуб}$	Н	30,2	22,7	18,1
Средняя ширина срезаемого слоя	b	мм	7,5	7,5	7,5
Толщина срезаемого слоя	a	мм	0,11	0,045	0,028
Подача на зуб по мощности	S_z	мм	3,12	1,25	0,76
Скорость подачи при	V_s	м/мин	25,0	10,0	6,1

14. Расстояние от центра фрезы до заготовки

$$h = (D - 2l)/2 = (125 - 2 \cdot 10)/2 = 52,5 \text{ мм.}$$

15. Средняя ширина срезаемого слоя

$$b = 0,7 \frac{0,5D - h}{\cos \gamma \cos \varphi_H} = 0,7 \frac{0,5 \cdot 125 - 52,5}{\cos 20^\circ \cos 7,1^\circ} = 7,5 \text{ мм}$$

16. Средняя толщина срезаемого слоя, ограниченная мощностью привода.

Коэффициенты [8]

$$\lambda = \rho^2 + 0,2\rho + 0,01; \rho - \text{в мм};$$

$$\rho = \rho_o + \Delta_\rho = 0,005 + 0,0235 = 0,01912 \text{ мм.}$$

$$\lambda = 0,01912^2 + 0,2 \cdot 0,01912 + 0,01 = 0,01419;$$

$$F_{x0,1} = \alpha_\rho p + 0,1k = 1,52 \cdot 1,5 + 0,1 \cdot 15,43 = 3,83 \text{ Н/мм};$$

$$m_1 = \frac{F_{x \text{ зуб}}}{a_n a_w b F_{x0,1}} = \frac{30,2}{1 \cdot 1 \cdot 7,5 \cdot 3,83} = 1,05.$$

При $m_1 > 1$

$$a_c = \frac{\frac{F_{x \text{ зуб}}}{a_n a_w b} - \alpha_\rho p}{k} = \frac{\frac{30,2}{1 \cdot 1 \cdot 7,5} - 1,52 \cdot 1,5}{15,43} = 0,11 \text{ мм};$$

при $m_1 \leq 1$ толщина срезаемого слоя a_c определяется по формуле для микрослоев

$$a_c = 0,1 - \sqrt{\lambda(1 - m_1)} = 0,1 - \sqrt{0,01419(1 - 0,79)} = 0,045 \text{ мм.}$$

17. Подача на зуб, ограниченная мощностью привода

$$S_z = a_{cp} / \sin \varphi_c \sin \varphi_H = 0,11 / \sin 16,96^\circ \sin 7,1^\circ = 3,12 \text{ мм.}$$

18. Скорость подачи

$$V_s = \frac{S_z Z n}{1000} = \frac{3,12 \cdot 2 \cdot 4000}{1000} = 25 \text{ м/мин.}$$

График скоростей подач приведен на рис. 104.

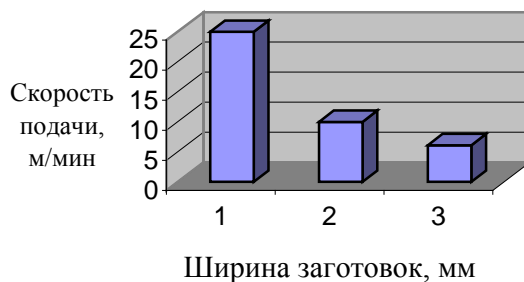


Рис. 104. Диаграмма скоростей подач:

1 – $V_3 = 60 \text{ мм};$

2 – $V_3 = 80 \text{ мм};$

18.6. Обработка радиусных поверхностей

Радиусные поверхности являются элементами деревянных деталей мебели, столярно-строительных изделий (рис. 105). Обрабатываются они радиусными фрезами диаметром 100...125 мм и радиусом закругления 3...20 мм (ГОСТ 21893-76).

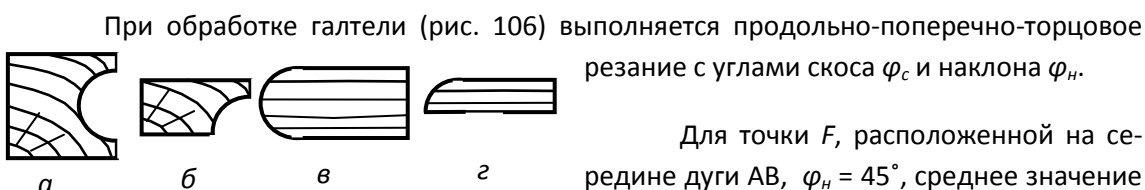


Рис. 105. Радиусные поверхности:

a – галтель; *б* – полугалтель;

Для точки *F*, расположенной на середине дуги АВ, $\varphi_n = 45^\circ$, среднее значение глубины фрезерования

$$t_{cp} = r \sin 45^\circ = 0,71r.$$

Среднее значение диаметра окружности резания

Среднее значение диаметра окружности

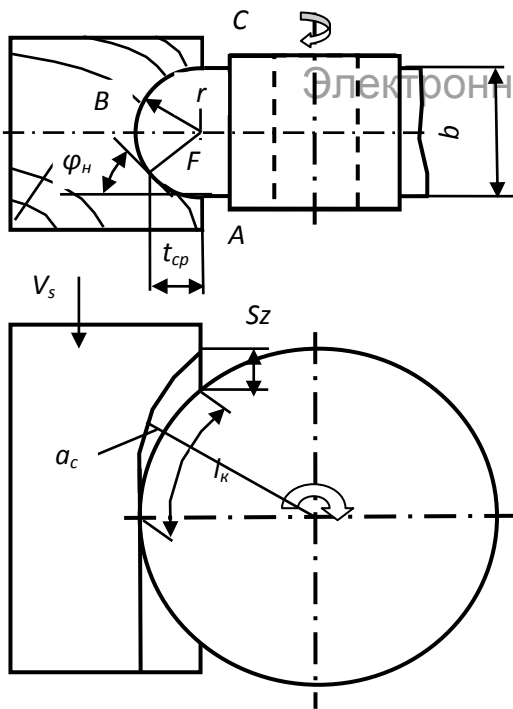
$$D_{cp} = D - 0,58r.$$

Угол контакта режущей кромки в точке *F* с заготовкой

$$\varphi_{k(град)} \approx 115 \sqrt{t_{cp} / D_{cp}} \text{ или } \varphi_{k(рад)} \approx 2 \sqrt{t_{cp} / D_{cp}}.$$

Среднее значение угла скоса можно найти из выражения

$$\varphi_c = \varphi_k / 2.$$



Средняя толщина срезаемого слоя

$$a_c = S_z \sin \varphi_H \sin \varphi_c,$$

где S_z – подача на зуб, мм.

Средняя скорость главного движения резания, м/с

$$V_{cp} = \frac{\pi D_{cp} n}{60000}.$$

Удельная работа резания K , Дж/см³:

$$K = a_n a_w \left(k + \frac{\alpha_\rho P}{a_c} \right),$$

Рис. 106. Схема к расчету режима фрезерования галтели

где a_n , a_w , α_ρ – поправочные коэффициенты соответственно на породу, влажность древесины, затупление лезвия;

$$\alpha_\rho = 1 + \left(1 + 0,1 \frac{k}{p} \right) \frac{\Delta \rho}{\rho_o + 50}.$$

Мощность механизма главного движения можно определить по объемной формуле, кВт:

$$P = \frac{KV_{c.o.}}{1000},$$

где $V_{c.o.}$ – секундный объем срезаемого слоя, см³/с;

$$V_{c.o.} = \frac{\pi r^2 V_s'}{2},$$

где r – радиус закругления профиля галтели, см;

V_s' – скорость подачи с размерностью см/с; $V_s' = \frac{5}{3} V_s$, где V_s – скорость подачи,

м/мин.

Значение окружной касательной силы резания находится через мощность, Н:

$$F_x = \frac{1000P}{V_{cp}}$$

Пример. На продольно-фрезерном станке обрабатываются галтели (см. рис. 106). Порода заготовок – сосна, влажность $W = 10\%$. Используется фреза 3240-0029 по ГОСТ 21893-76 с наружным диаметром $D = 125$ мм, числом зубьев $z = 4$, шириной $b = 20,6$ мм, радиусом галтели $r = 10$ мм, углом резания лезвий $\delta = 90^\circ$. Частота вращения шпинделя $n = 4000$ мин⁻¹, период стойкости фрезы $T = 200$ мин, скорость подачи $V_s = 20$ м/мин.

Определить мощность механизма главного движения станка.

Решение. 1. Находим среднюю толщину срезаемого слоя

$$t_{cp} = 0,71r = 0,7 \cdot 10 = 7 \text{ мм.}$$

2. Находим средний диаметр окружности резания

$$D_{cp} = D - 0,58r = 125 - 0,58 \cdot 10 = 119,2 \text{ мм.}$$

3. Определим среднюю скорость главного движения

$$V_{cp} = \frac{\pi D_{cp} n}{60000} = \frac{3,14 \cdot 119,2 \cdot 4000}{60000} = 25 \text{ м/с.}$$

4. Угол контакта режущей кромки с древесиной

$$\varphi_{к(рад)} \approx 2\sqrt{t_{cp} / D_{cp}} \approx 2\sqrt{7 / 119,2} = 0,49 \text{ рад.}$$

5. Угол скола режущей кромки с волокнами древесины

$$\varphi_c = \varphi_k / 2 = 0,5 / 2 = 0,245 \text{ рад.}$$

6. Значение подачи на один зуб фрезы

$$S_z = \frac{1000V_s}{Zn} = \frac{1000 \cdot 20}{4 \cdot 4000} = 1,25 \text{ мм.}$$

7. Средняя толщина срезаемого слоя при

$$\varphi_H = 45^\circ = 0,785 \text{ рад.}$$

$$a_c = S_z \sin \varphi_H \sin \varphi_c = 1,25 \sin 0,785 \sin 0,244 = 0,21 \text{ мм.}$$

8. Длина дуги контакта, мм:

$$l_k = \sqrt{t_{cp} D_{cp}} = \sqrt{7 \cdot 119,2} = 29,1 \text{ мм.}$$

9. Величина прироста радиуса закругления режущей кромки за период стойкости

$$\Delta \rho = \gamma_{\Delta} l_k n T K_n K_u / 1000 = 0,0008 \cdot 29,1 \cdot 4000 \cdot 200 \cdot 0,94 \cdot 0,92 / 1000 = 16,1 \text{ мкм}$$

10. Находим значения фиктивной силы резания

$$p_{//-\perp} = 1,57 + 3,23 \sin^{1,25} \varphi_{\delta} = 1,57 + 3,23 \sin^{1,25} 0,245 = 2,12 \text{ Н/мм;}$$

$$p_{\#-//} = 0,98 + 0,59 \cos^2 \varphi_c = 0,98 + 0,59 \cos^2 0,245 = 1,54 \text{ Н/мм;}$$

$$p_{//-\perp-\#} = p_{//-\perp} - (p_{//-\perp} - p_{\#-//}) \sin^{1,25} \varphi_H = 2,12 - (2,12 - 1,54) \sin^{1,25} 45^\circ = 1,74 \text{ Н/мм.}$$

11. Находим значения касательного давления срезаемого слоя

$$\begin{aligned} k_{//-\perp} &= 0,196\delta + 0,069V' - 5,4 + (0,354\delta + 0,127V' - 14,22) \sin^{1,25} \varphi_{\delta} = \\ &= 0,196 \cdot 70 + 0,069(90 - 25) - 5,4 + \\ &+ (0,354 \cdot 70 + 0,127(90 - 25) - 14,22) \sin^{1,25} 0,245 = 16 \text{ МПа .} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_{\#-//} &= 0,029\delta + CV' - 0,59 + (0,167\delta + (0,069 - C)V' - 4,81) \cos^2 \varphi_c = \\ &= 0,029 \cdot 70 + 0,069(90 - 25) - 0,59 + (0,167 \cdot 70 + (0,069 - 0,069)(90 - 25) - \\ &- 4,81) \cos^2 0,245 = 10,4 \text{ МПа .} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_{//-\perp-\#} &= k_{//-\perp} - (k_{//-\perp} - k_{\#-//}) \sin^{1,25} \varphi_H = 16 - (16 - 10,4) \sin^{1,25} 45^\circ = \\ &= 12,37 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

12. Находится значение коэффициента затупления

$$\alpha_{\rho} = 1 + (1 + 0,1 \frac{k}{p}) \frac{\Delta \rho}{\rho_o + 50} = 1 + (1 + 0,1 \frac{12,37}{1,74}) \frac{16,1}{5 + 50} = 1,5.$$

13. Удельная работа резания K , Дж/см³:

$$K = a_n a_w (k + \frac{\alpha_{\rho} P}{a_c}) = 1 \cdot 1 (12,37 + \frac{1,5 \cdot 1,74}{0,21}) = 24,6 \text{ Дж/см}^3.$$

14. Секундный объем срезаемой древесины

$$V_{c.o} = \frac{5\pi(0,1r)^2 V_s}{6} = \frac{5\pi(0,1 \cdot 10)^2 V_s}{6} = 52,36 \text{ см}^3/\text{с}.$$

15. Мощность механизма главного движения

$$P = \frac{KV_{c.o}}{1000} = \frac{24,6 \cdot 52,36}{1000} = 1,3 \text{ кВт}.$$

18.7. Полузакрытое и закрытое фрезерование

Методом полузакрытого или закрытого фрезерования обрабатываются детали с четвертью, пазом, гребнем, прямыми шипами. При полузакрытом фрезеровании (обработке четверти) припуск срезается главной 1 и боковой 2 режущими кромками зуба фрезы (рис. 107). При закрытом фрезеровании (выборке паза) в работе участвуют три режущих кромки зуба: главная и две боковых.

Общую окружную силу резания, по предложению А.П. Шаповала и А.И. Санковица [6], можно рассчитать по формулам:

для полузакрытого резания

$$F_{x \text{ нз}} = F_x + F_{x \text{ б}} + F_{x \text{ тр}};$$

для закрытого резания

$$F_{x \text{ з}} = F_x + 2(F_{x \text{ б}} + F_{x \text{ тр}}),$$

где F_x – окружная касательная сила резания открытого резания, Н;

$F_{x \text{ б}}$ – окружная касательная сила резания по боковой режущей кромке, Н;

$F_{x \text{ тр}}$ – окружная касательная сила трения боковой режущей кромки, возникающая в результате упругого восстановления древесины, Н.

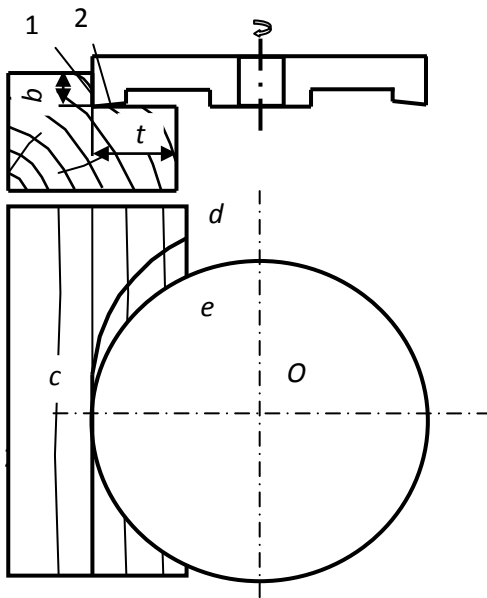


Рис. 107. Схема выборки

Значением $F_{x\delta}$ в расчетах пренебрегают в виду его малости. Значение F_{xmp} составляет 5...8% от F_x . По данным А.И. Санковича,

$$F_{xmp} = 0,147\mu - 0,54,$$

где μ – угол подачи.

Угловые параметры зубьев назначаются так:

- при главной режущей кромке угол резания $55^\circ \dots 70^\circ$, задний угол $10^\circ \dots 15^\circ$;
- при боковой режущей кромке угол резания 90° , задний угол $5^\circ \dots 10^\circ$, угол поднутрения $2^\circ \dots 5^\circ$.

Ниже излагается методика определения мощности резания по представлению автора.

При работе главная режущая кромка удаляет серповидный срезаемый слой сечением в основании cde и высотой b и выполняет продольно-торцовое резание с углом встречи $\varphi_b = \varphi_k/2$.

Боковая режущая кромка выполняет продольно-поперечное резание с углом скоса $\varphi_c = \varphi_k/2$. Для боковой режущей кромки значение a_{cp} выступает в роли средней ширины срезаемого слоя. За толщину срезаемого слоя предлагается принять значение слоя, подвергаемого упруго-пластическому деформированию боковой режущей кромкой. В первом приближении можно принять $a_b = a_{cp}$.

Тогда можно принять условие, что общая касательная сила резания

$$F_x = F_{x2} + F_{x\delta},$$

где F_{x2} – сила резания по главной режущей кромке, Н;

$F_{x\delta}$ – сила резания по боковой режущей кромке, Н.

Пример. На фрезерном станке обрабатываются сосновые заготовки с выборкой четверти. Ширина фрезерования $b = 20$ мм, глубина фрезерования $t = 40$ мм (см. рис. 104). Диаметр фрезы $D = 160$ мм, число зубьев $z = 4$, частота вращения $n = 4000$ мин⁻¹, материал фрезы – легированная сталь Х6ВФ, период стойкости $T = 150$ мин. Угол резания главной режущей кромки $\delta = 55^\circ$, боковой режущей кромки $\delta = 90^\circ$. Скорость подачи $V_s = 18$ м/мин. Начальный радиус закругления режущих кромок $\rho_0 = 5$ мкм.

Определить мощность электродвигателя механизма главного движения.

Решение. Обозначим пункты решения, относящиеся к главной режущей кромке, символами ГРК, к боковой режущей кромке – БРК, а общие пункты – без указания символов.

1. Находим скорость главного движения

$$V = \frac{\pi D n}{60000} = \frac{3,14 \cdot 160 \cdot 4000}{60000} = 33,5 \text{ м/с.}$$

2. Определим величину подачи на один зуб:

$$S_z = \frac{1000 V_s}{z n} = \frac{1000 \cdot 18}{4 \cdot 4000} = 1,125 \text{ мм.}$$

3. Угол контакта зуба фрезы с заготовкой

$$\varphi_k \approx 115 \sqrt{\frac{t}{D}} = 115 \sqrt{\frac{40}{160}} = 57,5 \text{ град.}$$

Угол встречи главной режущей кромки с волокнами древесины равен углу скоса боковой режущей кромки:

$$\varphi_b = \varphi_c = \varphi_k / 2 = 57,5 / 2 = 28,75.$$

4. Средняя толщина срезаемого слоя ГРК

$$a_{cp} = S_z \sqrt{\frac{t}{D}} = 1,125 \sqrt{\frac{40}{160}} = 0,56 \text{ мм.}$$

5. Длина дуги контакта зуба фрезы с заготовкой

$$l_k = \sqrt{tD} = \sqrt{40 \cdot 160} = 80 \text{ мм.}$$

6. Прирост радиуса закругления лезвий за время работы

$$\Delta\rho = \gamma_{\Delta} l_k n T K_{\pi} K_u / 1000,$$

$$\Delta\rho = 0,0008 \cdot 80 \cdot 4000 \cdot 150 \cdot 0,92 \cdot 0,94 / 1000 = 33,2 \text{ мкм.}$$

7. Определим значение фиктивной силы резания:

$$\text{ГРК} - p_{//-\perp} = 1,57 + 3,23 \sin^{1,25} \varphi_b = 1,57 + 3,23 \sin^{1,25} 28,8^\circ = 2,86 \text{ Н/мм;}$$

$$\text{БРК} - p_{\#-//} = 0,98 + 0,59 \cos^2 \varphi_c = 0,98 + 0,59 \cos^2 28,8^\circ = 1,43 \text{ Н/мм;}$$

8. Находим значения касательного давления срезаемого слоя на переднюю поверхность лезвия:

ГРК –

$$\begin{aligned} k_{//-\perp} &= 0,196\delta + 0,069V' - 5,4 + (0,354\delta + 0,127V' - 14,22) \sin^{1,25} \varphi_b = \\ &= 0,196 \cdot 55 + 0,069(90 - 33,5) - 5,4 + \\ &+ (0,354 \cdot 55 + 0,127(90 - 33,5) - 14,22) \sin^{1,25} 28,8^\circ = 14,25 \text{ МПа .} \end{aligned}$$

БРК –

$$k_{\#-//} = 0,029\delta + CV' - 0,59 + (0,167\delta + (0,069 - C)V' - 4,81)\cos^2 \varphi_c =$$

$$= 0,029 \cdot 55 + 0,069(90 - 33,5) - 0,59 + (0,167 \cdot 55 + (0,069 - 0,069)(90 - 33,5) -$$

$$- 4,81)\cos^2 28,8^\circ = 13,77 \text{ МПа} .$$

9. Находим коэффициент затупления по формуле

$$\text{ГРК} - \alpha_\rho = 1 + (1 + 0,1 \frac{k}{p}) \frac{\Delta_\rho}{\rho_o + 50} = 1 + (1 + 0,1 \frac{14,25}{2,86}) \frac{33,2}{5 + 50} = 1,9;$$

$$\text{БРК} - \alpha_\rho = 1 + (1 + 0,1 \frac{13,77}{1,43}) \frac{33,2}{5 + 50} = 2,3.$$

10. Рассчитываем значение касательной силы резания на дуге контакта при резании одной режущей кромкой

$$F_{x \text{ зуб}} = a_n a_w (\alpha_\rho p + ka) b ,$$

$$\text{ГРК} - F_{x \text{ зуб}1} = 1 \cdot 1(1,9 \cdot 2,86 + 14,25 \cdot 0,56) 20 = 269,4 \text{ Н};$$

$$\text{БРК} - F_{x \text{ зуб}2} = 1 \cdot 1(2,3 \cdot 1,43 + 13,77 \cdot 0,56) 0,56 = 6,2 \text{ Н}.$$

11. Полная касательная сила резания на дуге контакта при работе одним зубом

$$F_{x \text{ зуб}} = F_{x \text{ зуб}1} + F_{x \text{ зуб}2} = 269,4 + 6,2 = 275,6 \text{ Н}.$$

Сила резания по БКР составляет 2,3% от общей силы резания.

12. Находим окружную касательную силу резания

$$F_x = F_{x \text{ зуб}} \frac{z l_K}{\pi D} = 275,6 \frac{4 \cdot 80}{3,14 \cdot 160} = 175,5 \text{ Н}.$$

13. Рассчитаем значение мощности электродвигателя механизма главного движения при КПД привода $\eta = 0,94$.

18.8.2. Положение поля допуска

Обработать деталь точно по номинальному размеру практически невозможно. Поэтому каждый номинальный размер ограничивают двумя предельными отклонениями: нижним и верхним. Зону (поле), ограниченную верхним и нижним отклонением, называют полем допуска. Величина поля допуска определяется качеством (степенью точности допусков размера). Допуск IT качества q равен $ITq = \text{ВПО} - \text{НПО}$.

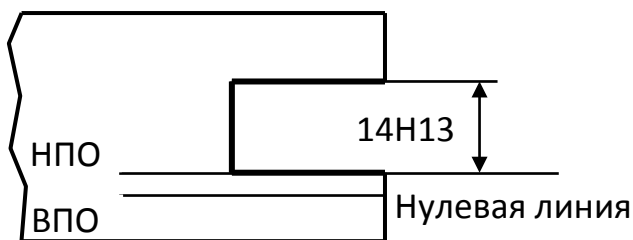
Проушина (рис. 109) обрабатывается одновременно двумя боковыми режущими кромками. По мере износа лезвий и затупления режущих кромок ширина проушины будет уменьшаться симметрично в обоих направлениях, но не должна выйти за пределы поля допуска. Уменьшение размера проушины в одном направлении не должно превышать $ITq/2$. В этом случае станок настраивается по верхнему предельному отклонению.

18.8.3. Выбор точности станка

Показатель рассеяния. Для работы станка без брака необходимо, чтобы допуск на размер был больше начального рассеяния погрешностей: $T > \omega_1^\Sigma$. Необходимо, чтобы ω_1^Σ равнялось хотя бы $0,9T$. Суммарное поле рассеяния размера в начале обработки партии деталей, мм

$$\omega_1^\Sigma = \sqrt{\omega_n + \omega_m + \omega_u + \omega_{пер}}$$

где ω_n – начальное поле рассеяния размеров; после определения среднего квадратического отклонения выборки S находят $\omega_n = 6S$;



ω_m – погрешность рассеяния в выборке;

ω_u – погрешность измерения размеров; $\omega_u = 0,2\omega_n$ (ГОСТ 25338-91);

$\omega_{пер}$ – погрешность перемещений при настройке.

Рис. 109. Поле допуска для проушины

Пример. Определить момент возникновения параметрического отказа при обработке проушин с номинальным размером 12; 14; 16 мм и основным отклонением H13, если начальный радиус закругления режущей кромки $\rho_0 = 5$ мкм, задний угол лезвия $\alpha = 15^\circ$, угол заостре-

ния $\beta = 40^\circ$, начальное поле рассеяния размеров на станке $\omega_1^\Sigma = 180$ мкм, относительная остаточная деформация $\varepsilon_o = 0,2$.

Решение.

1. По ГОСТ 6449.1-82 находим поле допуска IT13 = 270
мкм.

2. Находим величину запаса поля допуска

$$\delta_3 = IT13 - \omega_1^\Sigma = 270 - 180 = 90 \text{ мкм.}$$

3. Принимаем величину подъема обработанной поверхности для одной режущей кромки лезвия $d = \delta_3 / 2 = 90/2 = 45$ мкм.

4. Определяем значение выражения

$$e = \frac{\sin(\alpha + \beta/2)}{\sin(\beta/2)} = \frac{\sin(15 + 40/2)}{\sin(40/2)} = 1,68.$$

5. Находим предельно допустимый радиус закругления режущей кромки, при достижении которого наступает отказ технологической системы по параметру “точность”:

$$\rho_{\max} = \frac{d}{e - \varepsilon_o} + \rho_o = \frac{45}{1,677 - 0,2} + 5 = 35,5 \text{ мкм.}$$

При изменении угла заострения β :

Угол β , град	40	45	50	55
Радиус закругления ρ_{\max} , мкм	35,5	37,36	39,1	40,6

Для проушин с номинальным размером по ширине 6; 8; 10 мм поле допуска равно 220 мкм; при прочих равных условиях значение ρ_{\max} изменяется так:

Угол β , град	40	45	50	55
-------------------------------	----	----	----	----

Радиус закругления ρ_{\max} , мкм

18,54

19,38

20,1

20,8

18.9. Обработка древесины винтовыми фрезами

Равномерность фрезерования. При фрезеровании прямозубыми фрезами силы резания действуют на заготовку импульсно, неравномерно и вызывают вибрацию. Все это ускоряет износ рабочих органов станка, снижает стойкость режущего инструмента, увеличивает шероховатость обработанной поверхности, понижает точность обработанных деталей, а также увеличивает производственный шум и утомляемость рабочих.

Фрезерование фрезами с винтовыми зубьями более равномерно. Фреза диаметром D и длиной L (рис. 110, а) имеет винтовые режущие кромки с осевым шагом $t_{oc} = L$. Ширина заготовки $B = L$.

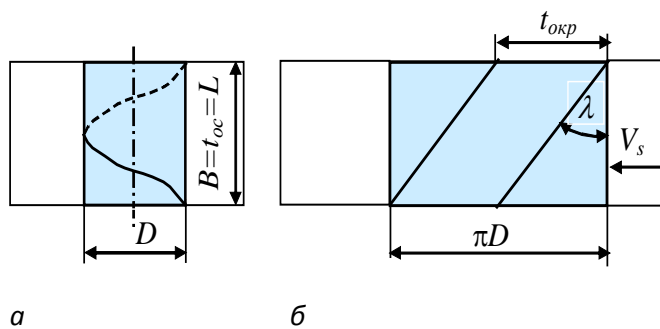


Рис. 110. Резание фрезой с винтовой режущей кромкой: а – фрезерование;

Если осевой шаг винта t_{oc} равен ширине заготовки B , то участок контакта лезвия фрезы с заготовкой перемещается от одной боковой кромки заготовки к другой. Лезвие фрезы постоянно находится в контакте с заготовкой. Процесс резания происходит непрерывно, плавно, без вибраций и характеризуется коэффициентом равномерного фрезерования

$$k = \frac{B}{t_{oc}} = \frac{ZB \operatorname{tg} \lambda}{\pi D}. \quad (170)$$

Фреза с винтовыми зубьями может быть цельной, сборной составной.

Площадь поперечного сечения срезаемого слоя. При фрезеровании древесины винтовые зубья ширина и толщина срезаемого слоя переменны. Максимальная ширина среза

$$b_{\max} = \frac{D}{2 \sin \lambda} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} d\varphi = \frac{D}{2 \sin \lambda} (\varphi_2 - \varphi_1), \quad (171)$$

где φ_1 и φ_2 – углы входа и выхода зуба из древесины, рад.

Толщина срезаемого слоя $a = S_2 \sin \varphi$.

Эпюры мгновенных значений площади срезаемого слоя на дуге контакта фрезы с заготовкой показаны на рис. 111, б.

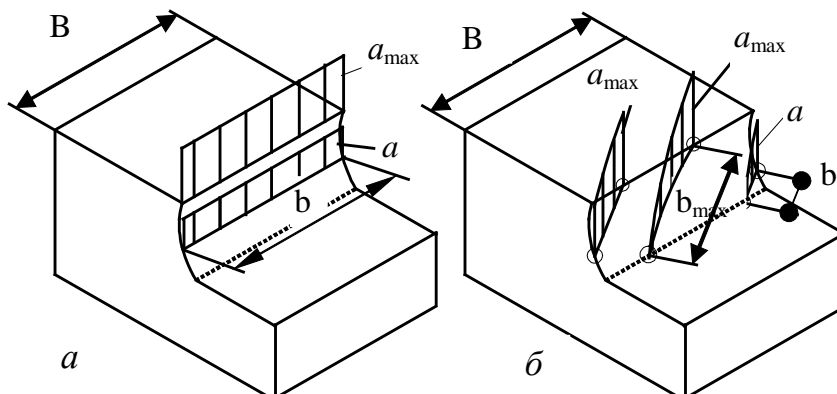


Рис. 111. Размеры срезаемого слоя:
 a – для прямозубой фрезы; b – для винтовой фрезы

Расчет сил и мощности резания. Приближенный метод расчета заключается в следующем. Для заданных условий обработки рассчитывают мощность P , кВт, фрезерования прямозубой фрезой ($\lambda = 0$) по методике, изложенной ранее. Мощность фрезерования винтовыми зубьями, кВт:

$$P_\lambda = a_\lambda P, \quad (172)$$

где a_λ – поправочный коэффициент, значения которого приведены ниже [6]:

Угол наклона режущей кромки λ , град	0	10	20	30
--	---	----	----	----

Коэффициент a_λ при фрезеровании:

вдоль волокон	1	0,7	0,55	0,4
поперек волокон	1	1,07	1,25	1,5

Касательная сила резания, Н:

$$F_x = 1000 P_\lambda / V.$$

Радиальная сила резания, Н:

$$F_z = (1 - \cos \varphi) F_x / \sin \varphi.$$

Осевая сила, Н:

$$F_y = F_x \operatorname{tg} \varphi,$$

где $\varphi = \varphi_k / 2$, угол, определяемый для одной точки режущей кромки.

18.10. Цепное фрезерование

Общие сведения. Цепное фрезерование предназначено для обработки в заготовках гнезд и пазов прямоугольной формы под шипы или фурнитуру. Фрезерование (долбление гнезда) выполняется фрезерной цепочкой 2 (рис. 112), которая надета с одной стороны на приводную четырехзубую звездочку 1, а с другой – на направляющую линейку 3 с роликом 4. Звездочка 1 насажена на валу электродвигателя, а направляющая линейка обеспечивает направление и натяжение фрезерной цепи и закреплена на ползуне.

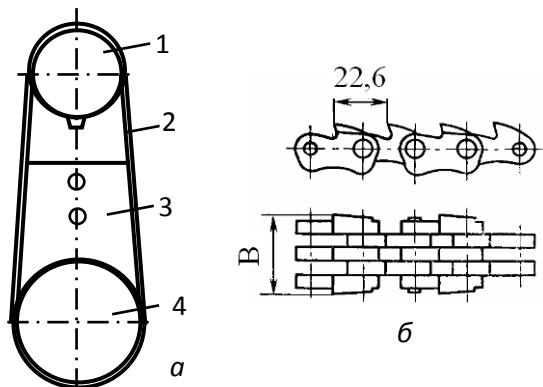


Рис. 112. Цепное фрезерование:

а – схема фрезерования;

б – фрезерная цепочка

диаметру окружности резания зубьев, $L = d$. При тангентальной подаче можно получить более длинный паз.

Цепочки изготавливают по ГОСТ 22459-77 двух типов: трехрядные и пятирядные.

Кинематические соотношения.

Различают фрезерование радиальное со скоростью подачи V_s и тангентальное со скоростью боковой подачи $V_{sб}$ (рис. 113). При работе только с радиальной подачей формируются гнезда, длина которых равна

Фрезерование с радиальной подачей.

Главное движение цепного фрезерования осуществляется со скоростью, м/с

$$V = \frac{\pi d_3 n}{60000},$$

где d_3 – диаметр начальной окружности звездочки, мм;

n – частота вращения электродвигателя, мин⁻¹.

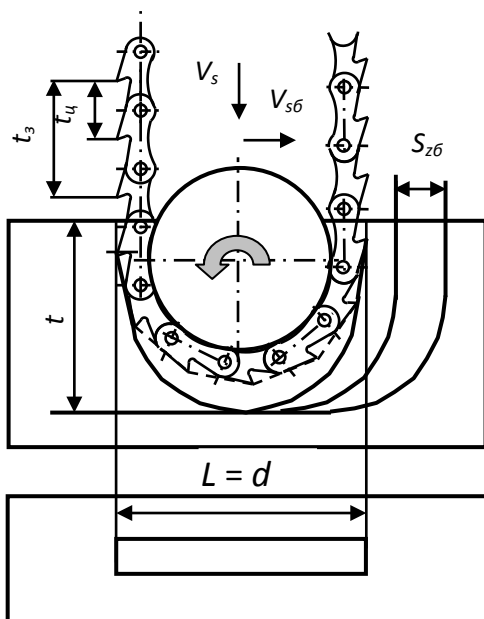


Рис. 113. Схема цепного фрезерования (долбления) гнезда

Учитывая, что шаг звездочки $t_3 = 2 t_u$, можно записать

$$\pi d_3 = Z_3 t_3 = 2Z_3 t_u,$$

где Z_3 – число зубьев звездочки; $Z_3 = 4$.

Отсюда получим уравнение для скорости главного движения, м/с

$$V = \frac{2Z_3 t_u n}{60000}.$$

Скорость радиальной подачи, м/мин

$$V_s = \frac{S_z Z_3 n}{1000},$$

где S_z – подача на зуб в радиальном направлении, мм.

Найдем отношение скоростей V/V_s и из него подачу на зуб в радиальном направлении

$$S_z = \frac{2t_u V_s}{60V}. \quad (173)$$

Толщина срезаемого слоя при фрезеровании

$$a_c = \frac{2S_z}{\pi} \approx 0,64S_z. \quad (174)$$

Отсюда $\arcsin(a_c / S_z) = \arcsin 0,64 \approx 40^\circ$

Угол перерезания волокон $\varphi_b = 90^\circ - 40^\circ = 50^\circ$.

Фрезерование с боковой подачей. Подача на зуб, мм

$$S_{z\bar{o}} = \frac{2t_u V_{s\bar{o}}}{60V}. \quad (175)$$

Длина срезаемого слоя, мм

$$l_{\bar{o}} = \frac{\pi d}{4} + \left(t - \frac{d}{2}\right) = 0,285d + t.$$

Средняя толщина срезаемого слоя, мм

$$a_{сб} = \frac{S_{\delta}}{l_{\delta}} = \frac{S_{z\delta}t}{0,285d + t}.$$

Угол перерезания волокон $\varphi_b = \varphi = \arcsin a_{сб}$.

Замечания к расчету режима резания. Для цепного долбления древесины характерны следующие режимы: скорость главного движения $V = 4...10$ м/с, скорость подачи – радиальной $V_s = 0...3,6$ м/мин, боковой $V_{сб} = (0,5...0,7) V_s$ (меньшая скорость берется при обработке глубоких гнезд в твердой породе древесины); частота вращения звездочки $n = 3000$ мин⁻¹, число зубьев звездочки $Z_3 = 4$, шаг зубьев звеньев цепи $t = 22,6$ мм, угол резания $\delta = 70^\circ$, задний угол $\alpha = 15^\circ$, угол заострения $\beta = 55^\circ$; ширина цепи по ГОСТ 22459-77 берется из ряда: цепочки трехрядные – $b = 8; 10; 12; 16$ мм, цепочки пятирядные – $b = 20$ мм; количество пластин по ширине цепи равно трем и пяти для пятирядных цепей; диаметр фрезерной головки принимается 40 и 60 мм.

Фрезерная цепь при долблении работает в закрытом гнезде. Удельное сопротивление трения стружки может быть найдено по формуле

$$K_{mp} = \frac{\alpha_{\Delta}t}{b},$$

где α_{Δ} – коэффициент интенсивности трения, $\alpha_{\Delta} = 0,6$ МПа.

Пример. На цепно-долбежном станке производится обработка гнезд в брусках со следующим режимом резания. Диаметр окружности резания цепной головки $d = 40$ мм, частота вращения ведущей звездочки $n = 2850$ мин⁻¹, число зубьев звездочки $Z_3 = 4$, шаг зубьев цепи $t_{\psi} = 22,6$ мм, ширина цепи (ширина гнезда) $b = 12$ мм, угол резания зубьев $\delta = 70^\circ$, цепь трехрядная с числом пластин в ряду $i = 3$. Расстояние между осями звездочки и ролика $H = 300$ мм, продолжительность работы станка $T = 180$ мин. Порода древесины – береза, глубина гнезда $t = 80$ мм, скорость подачи: радиальной – $V_s = 1,08$ м/мин, боковой $V_{сб} = 0,5$ м/мин.

Определить силы и мощность резания при радиальной и боковой подаче.

Решение. 1. Находим скорость главного движения

$$V = \frac{2Z_3t_{\psi}n}{60000} = \frac{2 \cdot 4 \cdot 22,6 \cdot 2850}{60000} = 8,6 \text{ м/с.}$$

2. Определяем величину подачи на один зуб при радиальной подаче

$$S_z = \frac{2t_u V_s}{60V} = \frac{2 \cdot 22,6 \cdot 1,08}{60 \cdot 8,6} = 0,095 \text{ мм.}$$

3. Найдем среднее значение толщины срезаемого слоя при радиальной подаче

$$a_c = 0,64S_z = 0,64 \cdot 0,095 = 0,06 \text{ мм.}$$

4. Находим значение фиктивной силы резания для древесины сосны, учитывая, что угол перерезания волокон $\varphi_g = 50^\circ$

$$p_{//\perp} = 1,57 + 3,23 \sin^{1,25} \varphi_g = 1,57 + 3,23 \sin^{1,25} 50^\circ = 3,88 \text{ Н/мм.}$$

5. Находим значения касательного давления срезаемого слоя на переднюю поверхность лезвия:

$$\begin{aligned} k_{//\perp} &= 0,196\delta + 0,069V' - 5,4 + (0,354\delta + 0,127V' - 14,22) \sin^{1,25} \varphi_g = \\ &= 0,196 \cdot 70 + 0,069(90 - 8,6) - 5,4 + \\ &+ (0,354 \cdot 70 + 0,127(90 - 8,6) - 14,22) \sin^{1,25} 50^\circ = 28,91 \text{ МПа .} \end{aligned}$$

6. Найдем величину прироста радиуса закругления режущих кромок $\Delta\rho$ через 180 мин работы станка при коэффициентах использования станка и производительности $K_u = K_n = 0,9$.

Предварительно определим длину дуги контакта

$$l_k = \pi d / 2 = 3,14 \cdot 40 / 2 = 62,8 \text{ мм.}$$

Величина затупления на 1 м пути для березы на 30% больше, чем для сосны:

$$\gamma_\Delta = 0,008 \cdot 1,3 = 0,00104 \text{ мкм/м.}$$

$$\Delta\rho = \gamma_{\Delta} l_k n T K_n K_u / [1000(1 + 2H/\pi d)] =$$

$$= 0,00104 \cdot 62,8 \cdot 2850 \cdot 180 \cdot 0,9 \cdot 0,9 / [1000(1 + 2 \cdot 300/3,14/40)] = 4,69 \text{ мкм.}$$

7. Коэффициент затупления

$$\alpha_{\rho} = 1 + (1 + 0,1 \frac{k}{p}) \frac{\Delta\rho}{\rho_o + 50} = 1 + (1 + 0,1 \frac{28,91}{3,88}) \frac{4,69}{10 + 50} = 1,14.$$

8. Удельное сопротивление трения стружки о стенки гнезда

$$K_{mp} = \frac{\alpha_{\Delta} t}{b} = \frac{0,6 \cdot 80}{12} = 4 \text{ МПа.}$$

9. Рассчитаем значение касательной силы резания одним зубом. Поскольку $a_c < 0,1$ мм, расчет для микрослоев выполняем так.

Находим коэффициент $\lambda = \rho^2 + 0,2\rho + 0,01$, где $\rho = \rho_o + \Delta\rho =$

$$= (10 + 4,69)/1000 = 0,0147 \text{ мм.}$$

$$\lambda = (0,0147)^2 + 0,2 \cdot 0,0147 + 0,01 = 0,013.$$

Сила резания одним зубом при ширине лезвия

$$b_n = b/i = 12/3 = 4 \text{ мм.}$$

$$F_{x \text{ зуб}} = [(\alpha_{\rho} p + 0,1(k + K_{mp}))(-\frac{1}{\lambda} a_c^2 + \frac{0,2}{\lambda} a_c + 1 - \frac{0,01}{\lambda})] b_n a_n a_w =$$

$$= [(1,14 \cdot 3,88 + 0,1(28,91 + 4))(-\frac{1}{0,013} 0,06^2 + \frac{0,2}{0,013} 0,06 + 1 - \frac{0,01}{0,013})] 4 \cdot 1,25 \cdot 1 =$$

$$= 33,82 \text{ Н.}$$

10. Находим значение окружной касательной силы резания, учитывая, что на двойном шаге фрезерной цепи расположено $Z = 5$ зубьев

$$F_{xo} = F_{x \text{ зуб}} \frac{\pi d}{4t_{ц}} Z = 33,82 \frac{3,14 \cdot 40}{4 \cdot 22,6} 5 = 234,97 \text{ Н.}$$

11. Мощность на резание в радиальном направлении

$$P = \frac{F_{xo} V}{1000} = \frac{234,97 \cdot 8,6}{1000} = 2,0 \text{ кВт.}$$

Фрезерование с боковой подачей

12. Подача на зуб

$$S_{z\bar{o}} = \frac{2t_y V_{s\bar{o}}}{60V} = \frac{2 \cdot 22,6 \cdot 0,5}{60 \cdot 8,6} = 0,044 \text{ мм.}$$

13. Средняя толщина срезаемого слоя

$$a_{c\bar{o}} = \frac{S_{z\bar{o}} t}{0,285d + t} = \frac{0,044 \cdot 80}{0,285 \cdot 40 + 80} = 0,04 \text{ мм.}$$

14. Угол перерезания волокон

$$\varphi_{\bar{o}} = \arcsin a_{c\bar{o}}/S_{z\bar{o}} = \arcsin(0,04/0,044) = 65,4^\circ.$$

15. Находим значение фиктивной силы резания для древесины сосны

$$p_{//-\perp} = 1,57 + 3,23 \sin^{1,25} \varphi_{\bar{o}} = 1,57 + 3,23 \sin^{1,25} 65,4^\circ = 4,44 \text{ Н/мм.}$$

16. Определим касательное давление срезаемого слоя на переднюю поверхность зуба для древесины сосны

$$\begin{aligned} k_{//-\perp} &= 0,196\delta + 0,069V' - 5,4 + (0,354\delta + 0,127V' - 14,22) \sin^{1,25} \varphi_{\bar{o}} = \\ &= 0,196 \cdot 70 + 0,069(90 - 8,6) - 5,4 + \\ &+ (0,354 \cdot 70 + 0,127(90 - 8,6) - 14,22) \sin^{1,25} 65,4^\circ = 32,49 \text{ МПа} . \end{aligned}$$

17. Сила резания одним зубом при ширине лезвия $b_{\bar{n}} = 4 \text{ мм.}$

$$F_{x \text{ зуб}} = [(\alpha_p p + 0,1(k + K_{mp}))(-\frac{1}{\lambda} a_{c\bar{o}}^2 + \frac{0,2}{\lambda} a_{c\bar{o}} + 1 - \frac{0,01}{\lambda})] b_{\bar{n}} a_n a_w =$$

$$= [(1,14 \cdot 4,44 + 0,1(32,49 + 4)) \left(-\frac{1}{0,013} 0,04^2 + \frac{0,2}{0,013} 0,04 + 1 - \frac{0,01}{0,013} \right)] 4 \cdot 1,25 \cdot 1 =$$

$$= 31,48 \text{ Н.}$$

18. Находим значение окружной касательной силы резания, учитывая, что на двойном шаге фрезерной цепи расположено $Z = 5$ зубьев

$$F_{xo} = F_{x \text{ зуб}} \frac{\pi d}{4 t_{ц}} Z = 31,48 \frac{3,14 \cdot 40}{4 \cdot 22,6} 5 = 218,7 \text{ Н.}$$

19. Мощность на резание в радиальном направлении

$$P = \frac{F_{xo} V}{1000} = \frac{218,7 \cdot 8,6}{1000} = 1,9 \text{ кВт.}$$

18.11. Фрезерование деталей по копиру

Фрезерование изделий методом копирования применяется для обработки цилиндрических, конических и профильных деталей (например, рукояток топоров), когда обрабатываемая заготовка базируется во вращающихся центрах, а вращающаяся фреза перемещается относительно заготовки по копиру (рис. 114). Копирование используется также для обработки плоских профильных поверхностей. Копиром могут быть направляющие 1 для каретки или объемный копир 2, взаимодействующий со щупом 3, позиционирующим фрезу 4 относительно заготовки.

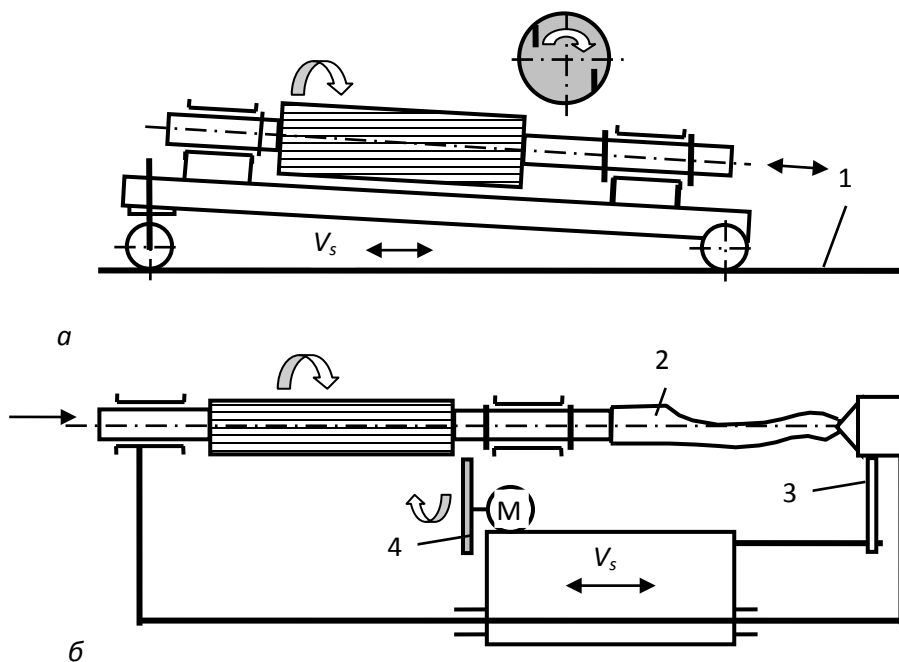


Рис. 114. Способы копирования деталей:

а – конических; *б* – сложного профиля

Кинематика объемного копирования. При копировании в результате совместных движений ножевого вала и заготовки на последней образуется винтовая поверхность резания с шагом, равным величине подачи на зуб ножевого вала S_z

$$S_z = \sqrt{4DR_{m \max}}.$$

Скорость подачи заготовки относительно ножевого вала, м/мин

$$V_s = S_z n_1 / 1000,$$

где n_1 – частота вращения заготовки, мин⁻¹.

За период между началом срезания двух смежных слоев заготовка повернется на угол φ . Тогда за время одного оборота заготовки ножевой вал, имея z зубьев, сделает $2\pi/\varphi z$ оборотов вокруг своей оси, а при частоте вращения n_1 заготовки частота вращения ножевого вала n_2 вокруг своей оси, мин⁻¹

$$n_2 = \frac{2\pi n_1}{\varphi z}. \quad (176)$$

Отсюда частота вращения заготовки в станке, мин⁻¹

$$n_1 = \frac{n_2 \varphi z}{2\pi}. \quad (177)$$

Значение φ следует находить из требований к шероховатости поверхности и получать из выражения

$$\varphi = 2 \arccos \frac{r}{R_{m \max} + r}, \quad (178)$$

где r – радиус сечения круга обрабатываемой детали, мм;

$R_{m \max}$ – допускаемая величина неровностей (шероховатость) обработанной поверхности, мм.

Мощность фрезерования при копировании можно найти из выражения

$$P = \frac{K(O_1 - O_2)V_s}{1000L}, \quad (179)$$

где O_1 – объем бруска, из которого получается деталь, см³;

O_2 – объем детали, см³;

V_s – скорость продольной подачи, м/с;

L – длина обрабатываемой части заготовки, м;

K – удельная работа резания (30...60 для хвойных пород древесины и 45...90 для твердых лиственных пород древесины), Дж/см³.

Пример. Из березовых брусков сечением 50×50 мм и длиной 250 мм методом копирования фрезеруются конические детали $d_{\max} = 45$ мм, $d_{\min} = 25$ мм. Шероховатость детали $R_{m \max} = 100$ мкм. Частота вращения ножевого вала $n_2 = 3000$ мин⁻¹, число ножей $z = 2$.

Определить частоту вращения заготовки и мощность привода ножевого вала.

Решение. 1. Определим средний радиус конической детали

$$r = (d_{\max} + d_{\min}) / 4 = (45 + 25) / 4 = 17,5 \text{ мм.}$$

2. Средняя глубина фрезерования

$$\begin{aligned} t_c &= [(\sqrt{a^2 + b^2} - 2r) / 2 + (a - 2r) / 2] / 2 = \\ &= [(\sqrt{50^2 + 50^2} - 2 \cdot 17,5) / 2 + (50 - 2 \cdot 17,5) / 2] / 2 = 12,68 \text{ мм.} \end{aligned}$$

3. Угол поворота заготовки φ

$$\varphi = 2 \arccos \frac{r}{R_{m \max} + r} = 2 \arccos \frac{17,5}{0,1 + 17,5} = 0,213 \text{ рад.}$$

4. Максимальная частота вращения заготовки в станке, мин⁻¹

$$n_1 = \frac{n_2 \varphi z}{2\pi} = \frac{3000 \cdot 0,213 \cdot 2}{2 \cdot 3,14} = 203,7 \text{ мин}^{-1}.$$

5. Максимальное значение подачи за оборот заготовки

$$S_z = \sqrt{4DR_{m \max}} = \sqrt{4 \cdot 125 \cdot 0,1} = 7,1 \text{ мм.}$$

6. Скорость подачи заготовки относительно ножевого вала

$$V_s = S_z n_1 / 1000 = 7,1 \cdot 203,7 / 60000 = 0,024 \text{ м/с} = 1,44 \text{ м/мин.}$$

7. Значение подачи на зуб фрезы

$$S_z = 1000V_s / z n_2 = 1000 \cdot 1,44 / (2 \cdot 3000) = 0,24 \text{ мм.}$$

8. Скорость главного движения

$$V = \pi D n_2 / 60000 = 3,14 \cdot 125 \cdot 3000 / 60000 = 19,63 \text{ м/с.}$$

9. Объем заготовки

$$O_3 = 50 \cdot 50 \cdot 250 / 1000 = 625 \text{ см}^3.$$

10. Объем детали

$$O_d = \pi r^2 l = 3,14 \cdot 17,5^2 \cdot 250 / 1000 = 240,5 \text{ см}^3.$$

11. Значение угла встречи

$$\varphi_e = \sqrt{t_c / D} = \sqrt{12,68 / 125} = 0,318 \text{ рад.}; \quad \varphi_k = 2\varphi_e = 0,64.$$

12. Толщина срезаемого слоя

$$a_c = S_z \sin \varphi_e = 0,24 \cdot \sin 0,318 = 0,075 \text{ мм.}$$

13. Длина дуги контакта

$$l_k = \sqrt{t_{cp} D} = \sqrt{12,68 \cdot 125} = 39,8 \text{ мм.}$$

14. Величина затупления лезвия

$$\Delta\rho = \gamma_{\Delta} / k n_2 T K_{\pi} K_u / 1000 = 0,0008 \cdot 39,8 \cdot 3000 \cdot 240 \cdot 0,9 \cdot 0,9 / 1000 = 19,8 \text{ мкм.}$$

15. Фиктивная сила резания для древесины сосны

$$p_{//-\perp} = 1,57 + 3,23 \sin^{1,25} \varphi_g = 1,57 + 3,23 \sin^{1,25} 0,318 = 2,33 \text{ Н/мм.}$$

16. Касательное давление срезаемого слоя на переднюю поверхность лезвия

$$\begin{aligned} k_{//-\perp} &= 0,196\delta + 0,069V' - 5,4 + (0,354\delta + 0,127V' - 14,22) \sin^{1,25} \varphi_g = \\ &= 0,196 \cdot 70 + 0,069(90 - 19,63) - 5,4 + \\ &+ (0,354 \cdot 70 + 0,127(90 - 19,63) - 14,22) \sin^{1,25} 0,318 = 17,74 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

17. Коэффициент затупления зуба пилы при $\rho_o = 5 \text{ мкм}$

$$\alpha_{\rho} = 1 + (1 + 0,1 \frac{k}{p}) \frac{\Delta\rho}{\rho_o + 50} = 1 + (1 + 0,1 \frac{17,74}{2,33}) \frac{19,8}{5 + 50} = 1,64.$$

18. Удельную силу резания можно найти так:

– для срезания макрослоев ($a \geq 0,1 \text{ мм}$)

$$F_{y\delta} = a_n a_w (k + \alpha_{\rho} p / a);$$

– для срезания микрослоев ($a < 0,1 \text{ мм}$)

$$\begin{aligned} F_{y\delta} &= a_n a_w (8p + k + 0,2\alpha_{\rho} p / a) = a_n a_w (8 \cdot 2,33 + 17,74 + 0,2 \cdot 1,64 \cdot 2,33 / 0,075) = \\ &= 58,1 \text{ МПа; } (K = 58,1 \text{ Дж/см}^3). \end{aligned}$$

7. Мощность резания

$$P = \frac{K(O_1 - O_2)V_s}{1000L} = \frac{58,1 \cdot (625 - 240,5) \cdot 1,44}{60 \cdot 250} = 2,1 \text{ кВт.}$$

18.12. Получение брусьев на фрезерно-пильном станке

Для получения брусьев из тонкомерных бревен часто используют фрезерно-пильные станки, на которых боковая плась бруса формируется пилой, а отпад (горбыль) измельчается фрезами в технологическую щепу. Пила и фрезы закреплены на одном шпинделе.

Размеры щепы для производства древесностружечных плит: длина по волокнам древесины 5...40 мм; толщин 5...30 мм.

Для бруса квадратного поперечного сечения с основанием $b_{\bar{b}}$, см, высота пропила t (рис. 115) равна [19], мм

$$t = 10\sqrt{(d + 0,5L_{\bar{b}}C_{\bar{b}})^2 - b_{\bar{b}}^2},$$

где d – диаметр бревна в вершинной части, см;

$L_{\bar{b}}$ – длина бревна, м;

$C_{\bar{b}}$ – сбеги бревна; для тонкомерных бревен диаметром до 26 см $C_{\bar{b}} = 1,0$ см/м.

Заменим сегмент ABC равновеликим по площади прямоугольником. Для этого найдем площадь сегмента S_c , мм²:

$$S_c = 0,5R^2(2\alpha - \sin 2\alpha), \quad (180)$$

где R – радиус поперечного сечения бревна на середине его длины, мм;

$$R = 5(d + 0,5L_{\bar{b}}C_{\bar{b}}).$$

Угол α (рис. 115,б) равен, рад.:

$$\alpha = \arcsin \frac{t}{2R} = \arcsin \frac{t}{10(d + 0,5L_{\bar{b}}C_{\bar{b}})}.$$

Ширина сегмента PC , равная ширине фрезерования b_{ϕ} , равна мм:

$$b_{\phi} = 5(d + 0,5L_{\bar{b}}C_{\bar{b}} - b_{\bar{b}}).$$

Высоту фрезерования найдем через площадь сегмента $S_c = b_{\phi}t_{\phi}$:

$$t_{\phi} = \frac{S_c}{b_{\phi}}.$$

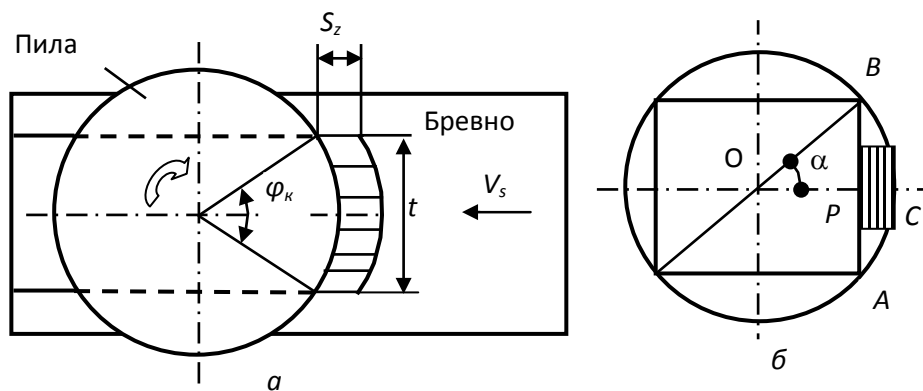


Рис. 115. Формирование бруса:

a – формирование пласти;

Угол контакта при пилении, рад.

$$\varphi_K = 2 \arcsin \frac{t}{D},$$

где t – высота пропила, толщина бруса, мм;

D – диаметр пилы, мм.

Длина дуги контакта, мм

$$l = 0,5D\varphi_K.$$

Боковая площадь срезаемого слоя

$$S = a_{cp}l = S_z t,$$

где a_{cp} – средняя толщина срезаемого слоя, мм;

S_z – подача на один зуб, мм.

Отсюда находим среднее значение толщины срезаемого слоя

$$a_{cp} = \frac{S_z t}{D \arcsin(t/D)}. \quad (181)$$

Обычно $a_{cp} = S_z \sin \mu$. При продольном пилении древесины угол подачи μ равен углу встречи зуба пилы с волокнами древесины $\varphi_в$. Тогда угол встречи

$$\varphi_в = \arcsin\left(\frac{t}{D \arcsin(t/D)}\right). \quad (182)$$

Пример. На фрезерно-пильном станке из сосновых бревен длиной $L = 6,5$ м, диаметром $d = 18$ см и влажностью $W = 50\%$ выпиливаются брусья сечением $12,5 \times 12,5$ см. Пила: $D = 250$ мм, число зубьев $Z = 36$ шт., толщина $S = 3$ мм, уширение зубьев на сторону $S' = 0,7$ мм. Фреза коническая: $D_\phi = 200$ мм, угол наклона режущей кромки $\varphi_n = 60^\circ$, количество зубьев $z = 1$ (четыре зуба расположены ступенчато), длина режущей кромки $b_\phi = 15$ мм, частота вращения $n = 2900$ мин⁻¹, длина получаемой щепы $l_{щ} > 10$ мм. Пила и фреза оснащены пластинами твердого сплава ВК15, период стойкости $T = 480$ мин.

Определить шероховатость пласти бруса, мощность механизма главного движения и скорость подачи.

Решение. 1. Процесс пиления.

1.1. Находим окружной шаг зубьев пилы

$$t_3 = \pi D / Z = 3,14 \cdot 250 / 36 = 21,8 \text{ мм.}$$

1.2. Высота пропила при формировании пласти бруса

$$t = 10 \sqrt{(d + 0,5 L_\phi C_\phi)^2 - b_\phi^2} = 10 \sqrt{(18 + 0,5 \cdot 6,5 \cdot 1)^2 - 12,5^2} = 171,8 \text{ мм.}$$

1.3. Угол контакта пилы с бревном

$$\varphi_{\kappa} = 2 \arcsin \frac{t}{D} = 2 \arcsin \frac{171,8}{250} = 1,516 \text{ рад.}$$

1.4. Угол встречи зубьев пилы с волокнами древесины

$$\varphi_{\theta} = \arcsin\left(\frac{t}{D \arcsin(t/D)}\right) = \arcsin\left(\frac{171,8}{250 \arcsin(171,8/250)}\right) = 65^{\circ}.$$

1.5. Длина дуги контакта пилы с заготовкой

$$l_{\kappa} = 0,5D\varphi_{\kappa} = 0,5 \cdot 250 \cdot 1,516 = 189,5 \text{ мм.}$$

1.6. Ширина пропила $b = S + 2S' = 3 + 2 \cdot 0,7 = 4,4 \text{ мм.}$

1.7. Скорость главного движения

$$V = \pi D n / 60000 = 3,14 \cdot 250 \cdot 2900 / 60000 = 38,0 \text{ м/с.}$$

1.8. Фиктивная сила резания для древесины сосны

$$p_{//-\perp} = 3,924 + 3,23 \sin^{1,25} \varphi_{\theta} = 3,924 + 3,23 \sin^{1,25} 65^{\circ} = 6,85 \text{ Н/мм.}$$

1.9. Удельное сопротивление резанию при пилении

$$\begin{aligned} k_{//-\perp} &= 0,196\delta + 0,069V' - 5,4 + (0,354\delta + 0,127V' - 14,22) \sin^{1,25} \varphi_{\theta} = \\ &= 0,196 \cdot 65 + 0,069(90 - 38) - 5,4 + \\ &+ (0,354 \cdot 65 + 0,127(90 - 38) - 14,22) \sin^{1,25} 65^{\circ} = 24,56 \text{ МПа .} \end{aligned}$$

1.10. Величина затупления режущей кромки зуба

$$\Delta\rho = \gamma_{\Delta} l_{\kappa} n T K_{\eta} K_{\omega} / 1000 = 0,0001 \cdot 189,5 \cdot 2900 \cdot 480 \cdot 0,9 \cdot 0,9 / 1000 = 21,4 \text{ мкм.}$$

1.11. Коэффициент затупления зуба пилы при $\rho_o = 10 \text{ мкм}$

$$\alpha_{\rho} = 1 + \left(1 + 0,1 \frac{k}{p}\right) \frac{\Delta\rho}{\rho_o + 50} = 1 + \left(1 + 0,1 \frac{19,47}{6,85}\right) \frac{21,4}{10 + 50} = 1,46.$$

1.12. При подаче на зуб фрезы $S_{z\phi} = l_{\omega} = 15 \text{ мм}$ найдем скорость подачи бревна $V_s = S_{z\phi} z n / 1000 = 15 \cdot 1 \cdot 2900 / 1000 = 43,5 \text{ м/мин.}$

1.13. Подача на зуб пилы

$$S_z = 1000V_s / (Zn) = 1000 \cdot 43,5 / (36 \cdot 2900) = 0,42 \text{ мм.}$$

По значению подачи на зуб и $\varphi_6 = 65^\circ$ по табл. 30 находится шероховатость поверхности $R_{t\max} = 320 \text{ мкм.}$

1.14. Толщина срезаемого слоя

$$a_{cp} = S_z \sin \varphi_6 = 0,42 \cdot \sin 65^\circ = 0,32 \text{ мм.}$$

1.15. Удельная сила резания при продольном пилении

$$F_{уд} = a_n a_w a_B \left[\frac{\alpha_\rho P}{a_c} + k + \frac{\alpha t}{b} \right] = 1 \cdot 0,89 \cdot 1 \left[\frac{1,46 \cdot 6,85}{0,32} + 24,56 + \frac{0,7 \cdot 171,8}{4,4} \right] =$$

$$= 77,81 \text{ МПа.}$$

1.16. Мощность пиления

$$P = F_{уд} b t V_s / 60000 = 72,55 \cdot 4,4 \cdot 171,8 \cdot 43,5 / 60000 = 42,64 \text{ кВт.}$$

2. Измельчение отпада в щепу.

2.1. Радиус поперечного сечения на середине длины бревна

$$R = 5(d + 0,5L_6 C_6) = 5(18 + 0,5 \cdot 6,5 \cdot 1) = 106,2 \text{ мм.}$$

2.2. Угол α :

$$\alpha = \arcsin \frac{t}{2R} = \arcsin \frac{171,8}{2 \cdot 106,2} = 0,94 \text{ рад.}$$

2.3. Площадь сегмента

$$S_c = 0,5R^2(2\alpha - \sin 2\alpha) = 0,5 \cdot 106,2^2(2 \cdot 0,94 - \sin 2 \cdot 0,94) = 5263,2 \text{ мм}^2.$$

2.4. Ширина сегмента, равная средней ширине фрезерования

$$b_\phi = 5(d + 0,5L_6 C_6 - b_6) = 5(18 + 0,5 \cdot 6,5 \cdot 1 - 12,5) = 43,7 \text{ мм.}$$

2.5. Средняя высота срезаемого слоя

$$t_{\phi} = \frac{S_c}{b_{\phi}} = \frac{5263,2}{43,7} = 120,3 \text{ мм.}$$

2.6. Скорость главного движения при фрезеровании

$$V = \pi D n / 60000 = 3,14 \cdot 200 \cdot 2900 / 60000 = 30,4 \text{ м/с.}$$

2.7. Угол встречи зубьев фрезы с волокнами древесины

$$\varphi_{\phi} = \arcsin\left(\frac{t_{\phi}}{D_{\phi} \arcsin(t_{\phi} / D_{\phi})}\right) = \arcsin\left(\frac{120,3}{200 \arcsin(120,3 / 200)}\right) = 68,75^{\circ}.$$

2.8. Угол контакта зуба фрезы с древесиной

$$\varphi_{\kappa} = 2 \arcsin \frac{t_{\phi}}{D_{\phi}} = 2 \arcsin \frac{120,3}{200} = 1,29 \text{ рад.}$$

2.9. Длина дуги контакта фрезы с заготовкой

$$l = 0,5 D_{\phi} \varphi_{\kappa} = 0,5 \cdot 200 \cdot 1,29 = 129,1 \text{ мм.}$$

2.10. Режущая кромка конической фрезы выполняет продольно-поперечно-торцовое резание с углами $\varphi_H = 60^{\circ}$ (угол между режущей кромкой и осью вращения), $\varphi_{\phi} = 68,75^{\circ}$. При $\varphi_H = 0^{\circ}$ резание на дуге контакта продольно-торцовое, при $\varphi_H = 90^{\circ}$ – резание продольно-поперечное.

2.11. Найдем значение фиктивной силы резания.

$$p_{//-\perp} = 1,57 + 3,23 \sin^{1,25} \varphi_{\phi} = 1,57 + 3,23 \sin^{1,25} 68,75^{\circ} = 4,53 \text{ Н/мм;}$$

$$p_{\#-//} = 0,98 + 0,59 \cos^2 \varphi_{\phi} = 0,98 + 0,59 \cos^2 68,75^{\circ} = 1,06 \text{ Н/мм;}$$

$$p_{//-\perp-\#} = p_{//-\perp} - (p_{//-\perp} - p_{\#-//}) \sin^{1,25} \varphi_H = 4,53 - (4,53 - 1,06) \sin^{1,25} 60^{\circ} = 1,63 \text{ Н/мм.}$$

2.12. Касательное давление стружки на переднюю грань

$$k_{//\perp} = 0,196\delta + 0,069V' - 5,4 + (0,354\delta + 0,127V' - 14,22)\sin^{1,25} \varphi_e =$$

$$= 0,196 \cdot 70 + 0,069(90 - 30,4) - 5,4 +$$

$$+ (0,354 \cdot 70 + 0,127(90 - 30,4) - 14,22)\sin^{1,25} 68,75^\circ = 29,03 \text{ МПа} .$$

$$k_{\#//} = 0,029\delta + CV' - 0,59 + (0,167\delta + (0,069 - C)V' - 4,81)\cos^2 \varphi_c =$$

$$= 0,029 \cdot 70 + 0,069(90 - 30,4) - 0,59 + (0,167 \cdot 70 + (0,069 - 0,069)(90 - 30,4) -$$

$$- 4,81)\cos^2 68,75^\circ = 6,46 \text{ МПа} .$$

$$k_{//\perp\#} = k_{//\perp} - (k_{//\perp} - k_{\#//})\sin^{1,25} \varphi_H = 29,03 - (29,03 - 6,46)\sin^{1,25} 60^\circ =$$

$$= 10,17 \text{ МПа} .$$

2.13. Величина затупления режущей кромки зуба

$$\Delta\rho = \gamma_{\Delta} \ln TK_n K_u / 1000 = 0,0001 \cdot 129,1 \cdot 2900 \cdot 480 \cdot 0,9 \cdot 0,9 / 1000 = 14,6 \text{ мкм} .$$

2.14. Коэффициент затупления зуба пилы при $\rho_o = 6 \text{ мкм}$

$$\alpha_{\rho} = 1 + (1 + 0,1 \frac{k}{p}) \frac{\Delta_{\rho}}{\rho_o + 50} = 1 + (1 + 0,1 \frac{10,17}{1,63}) \frac{14,6}{6 + 50} = 1,42 .$$

2.15. Толщина срезаемого слоя при фрезеровании

$$a_c = S_z \sin \varphi_e = 15 \cdot \sin 68,75^\circ = 13,98 \text{ мм} .$$

2.16. Удельная сила резания при фрезеровании

$$F_{уд} = a_n a_w \left[\frac{\alpha_{\rho} P}{a_c} + k \right] = 1 \cdot 0,89 \left[\frac{1,42 \cdot 1,63}{13,98} + 10,17 \right] = 9,61 \text{ МПа} .$$

2.17. Мощность фрезерования при длине режущей кромки зуба

$$b_{зф} = 15 \text{ мм}$$

$$P = F_{уд} b_{зф} t_{ф} V_s / 60000 = 9,61 \cdot 15 \cdot 120,3 \cdot 43,5 / 60000 = 12,58 \text{ кВт} .$$

3. Общая мощность на пыльно-фрезерном шпинделе

$$P_o = P + P_{ф} = 42,64 + 12,58 = 55,22 \text{ кВт} .$$

18.13. Фрезерование древесностружечных плит

Режимы фрезерования кромки плит. Обработку древесностружечных плит (ДСтП) ведут фрезами, оснащенными твердым сплавом марок ВК15, ВК10М, ВК8В и др. При небольших объемах обработки возможно применение инструмента из сталей ХВГ, Р4, 9Х5ВФ. Угловые параметры лезвий: $\alpha = 20...25^\circ$; угол резания: при фрезеровании плит плотностью меньше 600 кг/м^3 – $60...65^\circ$; для плит плотностью более 600 кг/м^3 – $75...85^\circ$. Подача на зуб: при обработке плит плотностью меньше 700 кг/м^3 и количеством связующего 8% – 0,2...0,3 мм; для плит плотностью $700...900 \text{ кг/м}^3$ и количеством связующего 8...12% – 0,5...0,7 мм; для плит плотностью больше 900 кг/м^3 и количеством связующего больше 12% – 0,7...1,0 мм.

Расчет мощности и сил резания. Удельная работа резания K , Дж/см³, находится по табличной K_m и поправочным коэффициентам [26]:

$$K = K_m a_\tau a_\gamma a_\rho a_\delta a_p . \quad (183)$$

В этой формуле K_m – табличное значение удельной работы резания, Дж/см³, принимаемое в зависимости от подачи на зуб S_z , мм:

S_z , мм	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55
K_τ , Дж/см ³	441,5	333,5	281,5	245,3	220,7	201,1	179,5	166,8
S_z , мм	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,90	1,0	–
K_τ , Дж/см ³	157,0	147,2	134,4	127,5	122,6	109,9	103,0	–

a_τ – коэффициент, учитывающий влияние типа частиц, из которых изготовлены плиты (группа I – из резаной стружки;

группа II – из стружки-дробленки; группа III – из стружки-отходов от деревообрабатывающих станков):

Группа плит .	I	II	III
a_T	1,0	0,89	0,83

a_γ – коэффициент, учитывающий влияние плотности плит:

Плотность плит, кг/м ³	500	600	700	800	900
a_γ	0,5	0,72	1,0	1,34	1,84

a_p – коэффициент, учитывающий влияние количества связующего в плитах P, %:

P, %	4	5	6	7	8	9	10	11	12
a_p	0,84	0,87	0,91	0,95	1,0	1,05	1,13	1,2	1,27

a_δ – коэффициент, учитывающий влияние угла резания δ , град:

Угол резания δ , град	55	65	76	85
a_δ	0,84	0,92	1,0	1,08

a_p – коэффициент, учитывающий влияние износа лезвий по задним граням η' :

Износ η' , мм	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4
a_p	0,8	1,0	1,2	1,36	1,48	1,57	1,66	1,77	2,42

Величины износа лезвий η' по задним граням из стали ХВГ в зависимости от пути резания и заднего угла приведены в табл. 46.

Износ лезвий зависит от их материала и учитывается коэффициентом на материал a_m :

Материал лезвий	ХВГ	P4	9Х5ВФ	ВК15
a_m	1	1,7	2,0	9

Для пользования табл. 46 фактический путь резания L_{ϕ} преобразуют в путь резания для лезвий из стали ХВГ: $L = L_{\phi} / a_m$.

Мощность резания, кВт: $P = KbtV_s / 60000$.

Таблица 46

Износ лезвий из стали ХВГ по задним граням

Задний угол α , град	Износ лезвий η' , мм, на пути резания L, м						
	200	400	600	800	1000	1200	1400
15	0,090	0,150	0,195	0,230	0,260	0,280	0,295
25	0,040	0,070	0,100	0,125	0,150	0,175	0,195
Задний угол α , град	Износ лезвий η' , мм, на пути резания L, м						
	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800
15	0,310	0,330	0,345	0,360	0,375	0,390	0,400
25	0,215	0,240	0,260	0,280	0,300	–	–

Касательная окружная сила резания, Н: $F_x = 1000P / V$.

19. Точение

19.1. Общие сведения

Точение – это процесс резания древесины, при котором из заготовки получается тело вращения заданной формы, размеров и гладкости.

Точение выполняют следующими основными способами [31, 32].

Радиальное точение. Осуществляется резцом, вершина или лезвие которого расположены по отношению к обрабатываемой детали в радиальной плоскости с подачей в той же плоскости, направленной вдоль или поперек оси вращения.

Радиальное точение с продольной подачей применяют как при черновой, так и при чистовой обточке деталей цилиндрической, конической форм.

Черновое точение (рис. 116, а), производимое полукруглыми резцами с радиусом кривизны режущей кромки 10...30 мм, называют обдиркой и применяют для снятия больших припусков на обработку. Задний угол резца 10° , угол резания 45° , подача на резец $S_2 = 1,6...2,0$ мм и толщина срезаемого слоя $t = 2...5$ мм.

Для чистового точения (рис. 116, б) используют плоские резцы с главным углом в плане $\varphi = 40...45^\circ$ и вспомогательным углом в плане $\varphi_1 = 2...5^\circ$. Углы резания при главной режущей кромке рекомендуются следующие: $\alpha = 10...12^\circ$, $\beta = 25...40^\circ$, $\delta = 35...50^\circ$.

Радиальное точение с поперечной подачей применяют при работе отрезными, прорезными резцами и др.

Использование продольной и поперечной подач позволяет получать детали любой сложной формы.

Тангентальное точение. Выполняется резцом, лезвие которого расположено по отношению к обрабатываемой детали в тангентальной плоскости с подачей в той же плоскости, направленной вдоль или поперек оси вращения.

Тангентальное точение с продольной подачей (рис. 117, а) используют при обработке цилиндрических и конических деталей значительной длины. Резцы при точении устанавливают так, чтобы угол скоса ε между лезвием и волокнами древесины был не менее $25...30^\circ$.

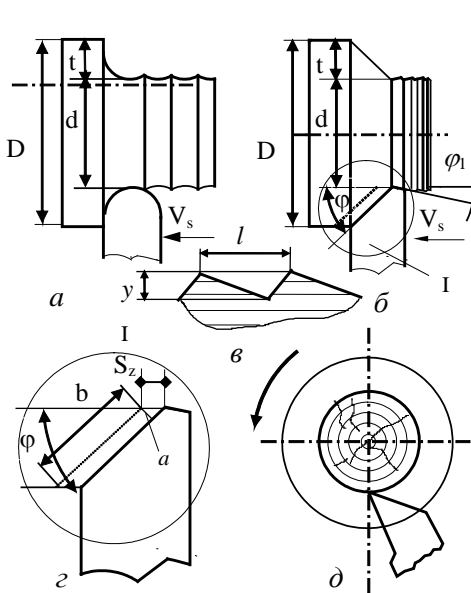


Рис. 116. Радиальное точение:
а – черновое; б, д – чистовое;
в – шероховатость поверхности;
г – поперечные размеры среза

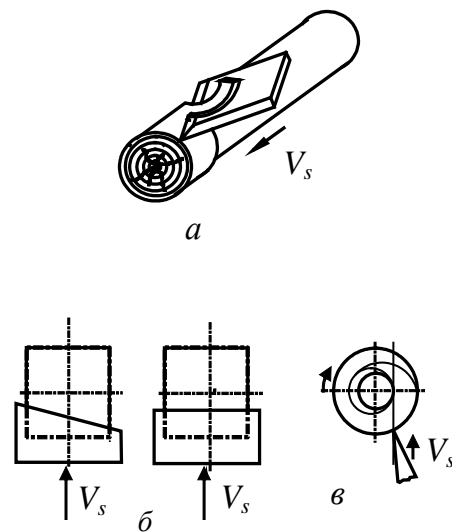


Рис. 117. Тангентальное точение:
а – с продольной подачей;
б, в – с поперечной подачей

Тангентальное точение с поперечной подачей обычно применяют на токарных станках-автоматах.

Если длина обрабатываемой детали не превышает 350...400 мм, и деталь имеет фасонную форму, резец устанавливают с углом скоса $\varepsilon = 15...20^\circ$ при $t \leq 2$ мм и $\varepsilon = 5...10^\circ$ при $t > 2$ мм (рис. 117, б). Такое расположение лезвия обеспечивает плавное врезание резца в заготовку и нагружает одновременно несколько волокон. Это предотвращает образование вырывов. При длине обрабатываемой детали 50...70 мм лезвие резца устанавливают параллельно оси вращения детали (рис. 117, в), угол скоса $\varepsilon = 0$.

19.2. Кинематика точения

При заданной скорости подачи V_s , м/мин, и частоте вращения заготовки n , мин⁻¹, подача на резец S_z , мм:

$$S_z = 1000V_s / (nz) = S_o/z,$$

где S_o – подача за один оборот заготовки, мм;

z – число одновременно работающих резцов.

Для резцов с радиусом кривизны режущей кромки $r = 10...20$ мм толщина срезаемого слоя a , мм:

$$a = S_z \sqrt{\frac{t}{2r}}. \quad (184)$$

При радиальном точении плоскими резцами (см. рис. 112, з)

$$a = S_z \sin \varphi, \quad (185)$$

где φ – главный угол в плане.

Ширина среза

$$b = t / \sin \varphi. \quad (186)$$

Средняя скорость главного движения, м/с,

$$V = \pi(d + d_1) n / 120000, \quad (187)$$

где d – диаметр заготовки, мм;

d_1 – диаметр детали, мм;

n – частота вращения детали, мин⁻¹.

19.3. Динамика точения

При черновом точении сосны $p = 3,143$ Н/мм, $k = 4,7$ Н/мм².

При точении сосны плоскими резцами (торцово-поперечное резание) значение p , Н/мм:

$$p_{\#-\perp} = 0,98 + 3,82 \sin^{1,25} \varphi_n,$$

где φ_n – угол наклона режущей кромки резца к волокнам древесины, $\varphi_n = \varphi$.

Касательное давление срезаемого слоя на переднюю грань k , МПа:

$$k_{\#-\perp} = 0,029\delta + CV' - 0,59 + (0,521\delta + (0,196 - C)V' - 19,03) \sin^{1,25} \varphi_n,$$

где δ подставляют в град., V' – в м/с; при этом

если $V \leq 50$ м/с, то $V' = (90 - V)$, иначе $V' = V$;

если $\delta \leq 55^\circ$, то $C = 0,059$, иначе $C = 0,069$.

Касательная сила резания при работе одним резцом, Н:

$$F_x = (\alpha_p p + ka) b a_n a_w.$$

Мощность резания, кВт:

$$P = F_x V / 1000.$$

Заготовки для точения часто имеют форму брусков. Для них трудно считать размеры срезаемого слоя, но легко определить объем. Поэтому, пользуясь понятием удельной работы резания K (Дж/см³), получим следующую формулу для мощности резания, кВт:

$$P = K(V_1 - V_2)V_s / (60000L),$$

где V_1 и V_2 – объемы соответственно заготовки и детали, см³;

V_s – скорость подачи, м/мин;

L – длина заготовки, м.

Касательная сила резания, Н, по: $F_x = 1000P / V$.

Удельная работа резания, Дж/см³: $K = a_n a_w (k + \alpha_p p / a)$.

Прирост радиуса закругления лезвия за период между переточками T , мин, для резцов из сталей ХВГ и Х12Ф1:

$$\Delta\rho = 60 (0,0008 \dots 0,001) V_{cp} T K_n K_m.$$

Радиальная сила F_z и осевая F_y находятся по формулам:

$$F_z = m_1 F_x; F_y = m_2 F_x. \text{ Для средних режимов точения } m_1 = 0,4 \dots 0,5 \text{ и } m_2 = 0,3 \dots 0,4.$$

Расчет по табличной удельной работе резания. Мощность на резание при продольном (осевом) точении, кВт:

$$P = KtV_s V / (10^6 n), \quad P = KtS_z z V / 1000, \quad P = KabV / 1000. \quad \text{Удельная работа резания}$$

$$K = K_m a_n a_w a_v a_\phi a_o a_a a_t a_\delta a_p,$$

где K_m – табличное значение удельной работы резания, Дж/см³ (табл. 47);

a_n – коэффициент, учитывающий породу древесины;

a_w – коэффициент, учитывающий влажность древесины;

a_v – коэффициент, учитывающий скорость резания;

a_ϕ – коэффициент, учитывающий угол резца в плане;

a_o – коэффициент, учитывающий подачу на один оборот;

a_a – коэффициент, учитывающий толщину среза;

a_t – коэффициент, учитывающий глубину точения;

a_δ – коэффициент, учитывающий угол резания лезвия;

a_p – коэффициент, учитывающий затупление лезвия.

Таблица 47

Удельная работа резания K , Дж/см³, при продольном точении

(береза, $W = 10\%$, $\alpha = 12^\circ$, $\delta = 45^\circ$, лезвие острое, $V = 10$ м/с)

Подача на один оборот S_o , мм	Значение K при угле резца в плане, град					
	15	30	45	60	75	90
0,2	33	37	43	46	48	50

0,4	19	24	29	32	34	36
0,6	16	20	24	27	30	32
0,8	13	17	21	24	27	29

Шероховатость. Для резцов с острой вершиной высота неровностей y , мм, может быть найдена по следующей формуле:

$$y = S_o \frac{\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \varphi_1}{\operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \varphi_1};$$

для резцов с закругленной вершиной (рис. 116)

$$y = S_o^2 / (8r) = I^2 / (8r).$$

20. Шлифование

20.1. Общие сведения

Шлифование – это процесс зачистки обрабатываемой поверхности абразивным режущим инструментом.

Различают шлифование ленточное плоское (лента – шлифовальная шкурка), ленточное барабанное, ленточное цилиндрическое, дисковое, шлифование кругами.

Чаще всего шлифование древесины выполняют шлифовальными шкурками. Шкурка включает абразивные зерна 1 из электрокорунда, карбида кремния и других материалов, удерживаемых на бумажной или тканевой основе 3 клеевой связкой 2 (рис. 118).

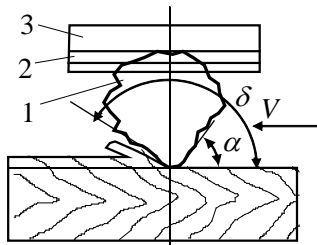


Рис. 118. Схема резания абразивным зерном

Абразивные зерна отличают по номерам зернистости. Номер зернистости характеризует крупность зерна и соответствует размеру стороны ячейки сита в сотых долях миллиметра, на котором задерживаются зерна основной фракции. Например, зернистость № 40 означает, что эти зерна будут задерживаться на сите с размером стороны ячейки 0,40 мм и будут проходить через сито с размером сторон ячеек 0,50 мм.

По ГОСТ 3647–80 абразивные материалы поделены

на группы с номерами зернистости:

- шлифзерна 200, 160, 125, 100, 80, 63, 50, 40, 32, 25, 20, 16;
- шлифпорошки 12, 10, 8, 6, 5, 4, 3;
- микропорошки М 63, М 50, М 40, М 28, М 20, М 14;
- тонкие микропорошки М 10, М 7, М 5.

Шкурки тоже различают по номерам зернистости. Номер шкурки соответствует номеру зернистости абразивных зерен.

При шлифовании получают поверхность с глубиной неровностей 200...4 мкм. Глубину неровностей R_m , мкм, можно определить по следующей эмпирической формуле:

$$R_m = (110 \pm 20) \frac{d_i}{\gamma}, \quad (188)$$

где d_i – размер зерна основной фракции зернистости, мм; ($d_i = 0,01N$, где N – номер зернистости);

γ – плотность древесины, г/см³; (знак плюс для шкурки острой, знак минус для тупой шкурки).

20.2. Рабочие движения

В общем случае для шлифования необходимо три рабочих движения. Главное движение вращательное или прямолинейное поступательное выполняется абразивным режущим инструментом со скоростью, м/с:

$$V = \omega R / 1000 = \pi D n / 60000,$$

где ω – угловая скорость вращения ведущего барабана (цилиндра, диска, круга), с⁻¹;

R – наружный радиус ведущего барабана (цилиндра, диска, круга), мм; $D = 2R$;

n – частота вращения ведущего барабана (цилиндра, диска, круга), мин⁻¹.

Второе рабочее движение дополнительное (осциллирующее). Оно выполняется шлифовальным инструментом со скоростью, м/с:

$$V_o = H n_o / 30000,$$

где H – размах колебаний инструмента, мм;

n_o – частота колебаний инструмента, мин⁻¹.

Движение подачи может выполняться заготовкой или шлифовальным инструментом со скоростью V_s , м/мин.

20.3. Производительность шлифования

Удельная производительность 1 см² абразивной поверхности, $A_{ш}$, выражается объемом, см³, срезанной древесины с 1 см² поверхности за один проход шкурки на пути 1 см, см³/(см²·см).

Удельная (минутная) производительность инструмента, $A_{и}$, выражается объемом, см³, срезанного материала с площади 1 см² за 1 мин, см³/(см²·мин):

$$A_u = 6000 A_{ш} V, \quad (189)$$

где V – скорость главного движения при шлифовании, м/с;

Производительность процесса, A_n , выражается объемом, см³, срезанного материала со всей площади контакта за 1 мин, см³/мин:

$$A_n = A_{ш} V_c F = A_u F = 6000 A_{ш} V_c b l_k, \quad (190)$$

где F – площадь контакта шкурки с древесиной, см²;

b и l_k – ширина и длина контакта, см.

Удельная производительность шкурки может быть найдена по следующей эмпирической формуле:

$$A_{ш} = 1,12 \cdot 10^{-3} \frac{q}{\gamma} \sqrt{d_i} a_m a_n a_p, \quad (191)$$

где q – удельное давление, МПа (табл. 48);

γ – плотность древесины, г/см³;

d_i – размер абразивного зерна основной фракции зернистости, мм;

a_m – коэффициент на абразивный материал (электрокорунд – 1; кремень – 1,3; стекло – 0,4);

a_n – коэффициент на способ нанесения абразивов на основу шкурки (гравитационный – 1; электростатический – 1,25);

a_p – коэффициент на остроту зерен (острые – 1,4 ; средней остроты – 1; тупые – 0,7).

Таблица 48

Удельное давление при шлифовании

Вид станка	q , МПа, при номерах зернистости шкурки	
	80...50	25...10
Для лент с неподвижным столом	0,0015 ... 0,004	0,001 ... 0,0025
Для утюжков	0,005... 0,020	0,002 ... 0,005
Для дисковых станков	0,005...0,057	–
Для вальцовых станков	0,050...0,200	0,020... 0,050

20.4. Время работы шкурки до затупления

Считают, что шкурка не пригодна для дальнейшей работы, когда в результате затупления ее удельная производительность уменьшается вдвое. Снижение производительности пропорционально пути резания L , см, пройденному 1 см^2 шкурки в контакте с древесиной. Работоспособность шкурки R_w , $\text{см}^3/\text{см}^2$, при длине контакта 1 см:

$$R_w = L(A_w + 0,5 A_w) / 2 = 0,75 A_w L . \quad (192)$$

При рабочей длине всего инструмента l_n и длине контакта l_k работоспособность всего инструмента R_u , $\text{см}^3/\text{см}^2$, шириной 1 см составит:

$$R_u = R_w l_w / l_k = 0,75 A_w L l_w / l_k , \quad (193)$$

где l_n – рабочая длина клеенной ленты, см.

Путь резания L находится при условии, что $l_{и} = l_{к} = 1$ см. На шлифовальных станках $l_{и} > l_{к}$, и в этом случае путь резания L_1 , см, будет тем больше, чем больше $l_{и}$ и меньше $l_{к}$, и составит

$$L_1 = L l_{и} / l_{к} = 6000 VT.$$

Тогда из (193)

$$R_u = 4500A_{ш}VT. \quad (194)$$

Время рабочей стойкости абразивного инструмента T , мин, находится с учетом коэффициентов использования рабочего и машинного времени K_n и K_m :

$$T = \frac{Ll_{и}}{6000Vl_{к}K_nK_m}, \quad (195)$$

где V – скорость главного движения, м/с.

Путь резания L , см, до затупления шкурки можно найти по формуле

$$L = 8 \cdot 10^5 \left(\frac{0,001}{q}\right)^{1,15} \left(\frac{d_i}{0,14}\right)^{1,4} (0,1V)^{0,31} a_{II}a_B, \quad (196)$$

где q – удельное давление шкурки, МПа;

d_i – размер зерен, мм;

a_n – коэффициент на породу древесины (твердые лиственные – 1, хвойные – 0,35);

a_b – коэффициент на вид шкурки (с бумажной основой – 1, с тканевой основой – 3).

Силы и мощность резания. Касательную силу резания при шлифовании рассматривают как силу абразивного трения шкурки по древесине. Коэффициент абразивного трения изменяется в пределах 0,2...0,6 и зависит главным образом от породы древесины и затупления абразивов в соответствии со следующей формулой:

$$f_{ш} = (0,42 + 0,19\sqrt{d_i})a_{II}a_p, \quad (197)$$

где a_n – коэффициент на породу (береза – 1, сосна – 0,95, дуб – 0,85);

a_p – коэффициент затупления (острая шкурка – 1,3; средней остроты – 1; тупая – 0,8).

Ленточный шлифовальный станок (рис. 119), включает приводной 1 и натяжной 4 шкивы, клеенную шлифовальную ленту 2 и прижимной утюжок 3. В результате врезания

абразивов на древесину действует касательная сила резания F_x , а на шлифовальную ленту – силы сопротивления $F_{хмп}$ и $F_{мп}$. Суммарная сила сопротивления

$$F_x = q F(f_w + f), \quad (198)$$

где q – удельное давление утюжка на древесину, МПа ;

F – площадь контакта шкурки с утюжком, мм²;

f_w – коэффициент абразивного трения;

f – коэффициент трения скольжения утюжка по ленте, $f = 0,3...0,4$.

Скорость главного движения, м/с

$$V = \pi D n / 60000,$$

где D – диаметр приводного шкива, мм;

n – частота вращения приводного шкива, мин⁻¹.

Мощность шлифования, кВт:

$$P = F_x V / 1000.$$

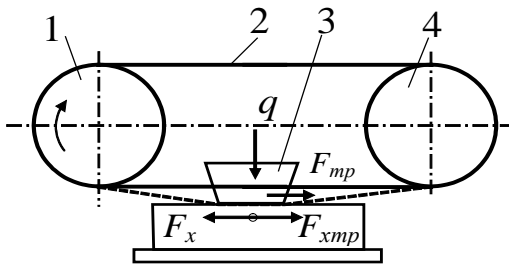


Рис. 119. Схема шлифования древесины

Толщина срезаемого слоя. Скорость подачи.

Припуск на обработку при шлифовании удаляется обычно за 2...3 прохода. При этом зернистость шкурки уменьшают от прохода к проходу (табл. 49, 50).

Таблица 49

Рекомендуемые номера зернистости шлифовальных шкурок для получения поверхностей заданной шероховатости

R_m , мкм	Номер зернистости	R_m , мкм	Номер зернистости
60...100	80, 50	16...30	16, 100, 10
30...60	40, 32, 25, 20	≤ 16	8, 6, 5

Допустимый припуск на шлифование $\Pi = R_{m(i-1)} - R_{m(i)}$. Общая площадь удаляемого материала равна 2/3 высоты припуска. Отсюда приведенная толщина срезаемого слоя за один проход t , см, равна:

$$t = 2[R_{m(i-1)} - R_{m(i)}] / 30000, \quad (199)$$

где $R_{m(i-1)}$ – высота неровностей поверхности до обработки, мкм;

$R_{m(i)}$ – то же после обработки, мкм.

Таблица 50

Зернистость шкурок для различных операций шлифования [20]

Объект обработки шлифованием	Шлифование		
	первое	второе	третье
Древесностружечные плиты:			
для облицовывания строганым шпоном	40	25	-
для облицовывания бумагой или отделкой печатью	40	16	-
Столярные плиты	40	16	-
Фанера	25	16	-
Щиты, облицованные шпоном	16	12	8
Рамочные конструкции столярно-строительных изделий	80	25	20
Лакокрасочные покрытия:			
нитролаковые	5	4	-
полиэфирные	4	3	-

Толщина срезаемого слоя за минуту при отсутствии подачи древесины:

$$t = A_n / l_k b.$$

При движении подачи со скоростью V_s , м/мин,

$$t = 60A_w l_k V / V_s.$$

Скорость подачи V_s , м/мин, можно определить по следующей формуле:

$$V_s = 60A_w l_k / t. \quad (200)$$

Пример 1. Дано: шлифуется деталь из древесины березы на ленточном шлифовальном станке с утюжком, $q = 0,0044$ МПа, $V = 10$ м/с, площадь контакта утюжка $F = 15000$ мм², номер зернистости шкурки № = 16, абразив – электрокорунд гравитационной насыпки, шкурка средней остроты.

Определить мощность и силу резания.

Решение. 1. Коэффициент абразивного трения:

$$f_{ш} = (0,42 + 0,19\sqrt{d_i}) a_{II} a_{\rho} = (0,42 + 0,19 \cdot 0,16^{0,5}) 1 \cdot 1 = 0,496.$$

2. Сила сопротивления движению шкурки при коэффициенте трения скольжения $f = 0,4$:

$$F_x = q F(f_w + f) = 0,0044 \cdot 15000 (0,496 + 0,4) = 59,1 \text{ Н.}$$

3. Мощность на шлифование

$$P = 59,1 \cdot 10 / 1000 = 0,59 \text{ кВт.}$$

Пример 2. На шлифовальном станке с неподвижным столом обрабатываются березовые детали с одной стороны с начальной шероховатостью $R_m = 100$ мкм, требуемая шероховатость $R_m = 16$ мкм, длина контакта детали со шкуркой $l_k = 125$ мм, $b = 100$ мм, длина шлифовальной ленты $l_{ш} = 400$ см, $V = 20$ м/с, продолжительность смены $T_{см} = 420$ мин, коэффициенты производительности и использования станка $K_n = 0,85$, $K_{и} = 0,8$, абразив – электрокорунд, насыпка гравитационная, шкурка средней остроты, зернистость № = 16, $q = 0,002$ МПа.

Определить производительность станка, время работы до износа шкурки, силу резания и мощность.

Решение. 1. Удельная производительность шкурки:

$$A_{ш} = 1,12 \cdot 10^{-3} \cdot 0,002 \cdot 0,16^{0,5} \cdot 1 \cdot 1/0,6 = 1,49 \text{ см}^3 / (\text{см}^2 \cdot \text{см}).$$

2. Удельная производительность инструмента:

$$A_u = 6000 A_u V = 6000 \cdot 1,49 \cdot 10^{-6} \cdot 20 = 0,1788 \text{ см}^3/(\text{см}^2 \cdot \text{мин}).$$

3. Припуск на обработку:

$$П = (R_{m(i-1)} - R_{m(i)}) / 1000 = (100 - 16) / 1000 = 0,0084 \text{ см.}$$

4. Время шлифования одной детали:

$$T_w = П / A_u = 0,0084 / 0,1788 = 0,047 \text{ мин.}$$

5. Количество обработанных деталей за смену:

$$Q = T_{cm} K_p K_u / T_w = 420 \cdot 0,85 \cdot 0,8 / 0,047 = 6076 \text{ шт.}$$

6. Путь резания до затупления шкурки:

$$L = 8 \cdot 10^5 (0,001/0,002)^{1,15} (0,16/0,14)^{1,4} (0,1 \cdot 20)^{0,31} \cdot 1 \cdot 1 = 538853 \text{ см.}$$

7. Время работы шлифовального инструмента до износа:

$$T = 538853 \cdot 400 / (6000 \cdot 20 \cdot 12,5 \cdot 0,85 \cdot 0,8) = 211,3 \text{ мин} = 3,52 \text{ ч.}$$

8. Коэффициент абразивного трения:

$$f_w = (0,42 + 0,19 \cdot 0,16^{0,5}) \cdot 1 \cdot 1 = 0,496.$$

9. Касательная сила резания:

$$F_x = q b l_k f_w = 0,002 \cdot 100 \cdot 125 \cdot 0,496 = 12,4 \text{ Н.}$$

10. Мощность резания

$$P = F_x V / 1000 = 12,4 \cdot 20 / 1000 = 0,248 \text{ кВт.}$$

21. Окорка древесины

21.1. Общие сведения

Окорка – это процесс очистки бревен и кряжей от коры. Применяют следующие механические способы снятия коры.

Окорка путем трения бревен друг о друга. При многократном трении бревен друг о друга происходит сдирание или сбивание коры.

Снятие коры цепями. Цепи крепят на вращающихся головках. При продольной подаче поворачивающегося бревна относительно головок цепи ударяют по коре и сбивают ее.

Строгание коры. Кора снимается с бревна двухступенчатой головкой с ножами, расположенными в шахматном порядке, полностью охватывающими поперечное сечение лесоматериала. Каждый нож 1 (рис. 120) головки 3 прижимается к окориваемой поверхности и имеет впереди себя копир 2. Для перемещения лесоматериала используется цепной транспортер с упорами.

Удаление коры фрезерованием. При продольной подаче вращающегося бревна кору срезают дисковыми коническими, цилиндрическими фрезами.

Окорка тупыми короснимателями. Коросниматели шарнирно крепятся на вращающейся кольцевой головке, через которую продольно проходит окориваемый лесоматериал. Коросниматели тупыми кромками прижимаются к коре и отдирают ее от древесины.

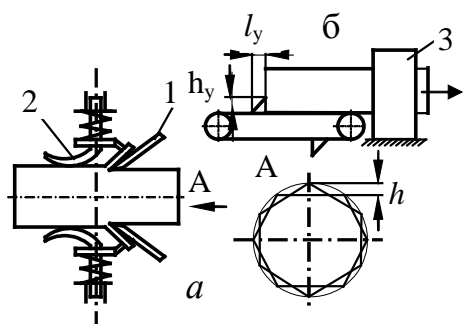


Рис. 120. Окорочная многоножевая установка:
а – схема строгания коры;
б – схема общего вида

Кора. Толщина слоя коры, по данным П. Кох [33], равна 12,7...76,2 мм для хвойных пород и 6,4...31,8 мм для лиственных пород. Толщину коры t_k , мм, вместе с лубом для сосны и ели можно определить по формуле

$$t_k = C + C_1(d_b - 100),$$

где d_b – диаметр бревна, мм; для сосны $C = 2,8$ мм и $C_1 = 0,018$; для ели $C = 3,0$ мм и $C_1 = 0,024$.

21.2. Расчет режимов окорки многоножевой головкой го-

При качественной окорке лесоматериалов удаляют не только кору, но и часть заболони. При этом толщина срезаемого слоя заболони, мм, находится по формуле (см. рис. 120) [30]:

$$a = 25 \cdot 10^{-4} v d_{\max}, \quad (201)$$

где v – объем древесины заболони, снимаемой ножами при окорке, % (для многоножевых головок $v = 7...15\%$); d_{\max} – наибольший диаметр окариваемого бревна без коры, мм.

Выступ ножей, мм:

$$h = t_k + a.$$

Длина режущей кромки ножа, мм:

$$l_H = 2\sqrt{(d_{\max} + 2t_k)h}.$$

Угол охвата бревна при частичном срезании древесины одним ножом $2\alpha_o$, где α_o находят из уравнения

$$\cos\alpha_o = 1 - 2a/d_{\max}.$$

Необходимое число ножей для полного охвата бревна:

$$z \geq 3,14 / \alpha_o \quad \text{или} \quad z \geq 180^\circ / \alpha_o^\circ.$$

Ножи устанавливают в одной или двух последовательно расположенных головках, причем ножи последующей головки поворачивают относительно ножей предыдущей головки на угол $2\alpha_o$.

Удельное сопротивление резанию, МПа:

$$F_{ydc} = F_{ydc} a_n a_p a_b,$$

где F_{ydc} – удельное сопротивление резанию при строгании свежесрубленной сосны острыми ножами; $F_{ydc} = 10...12$ МПа; a_n , a_p , a_b – соответственно коэффициенты, учитывающие влияние породы, затупления ножей и состояния древесины: для сосны, ели $a_n = 1,0$; для березы $a_n = 1,2$; для острых ножей $a_p = 1,0$; затупленных – $a_p = 1,2...1,4$; для свежесрубленной древесины $a_b = 1,0$; для мерзлой – $a_b = 1,5$.

Ширина срезаемого слоя древесины заболони одним ножом, мм:

$$b = d_{\max} \sin\alpha_o.$$

Усилие резания от всех ножей, Н:

$$F_x = 0,667 F_{ydc} b a z.$$

Усилие на упоре, Н:

$$F_{xy} = F_x (1 + \mu h_y / l_y),$$

где μ – коэффициент трения скольжения цепи и упора по опоре; h_y , l_y – высота и длина упора, мм.

Тяговое усилие транспортера с упорами, Н:

$$T = 2m_{ц}gL_o\mu + m_{б}g\mu_{б} + F_{ху}, \quad (202)$$

где $m_{ц}$ – масса 1 м цепи с упорами, кг; $m_{ц} = m_{ц0} + m_{у}/i$; $m_{ц0}$ – масса 1 м цепи, кг;
 $m_{у}$ – масса упора, кг; i – расстояние между упорами, м; L_o – расстояние между звездочками, м; $m_{б}$ – масса окариваемого бревна, кг; $\mu_{б}$ – коэффициент трения бревна по опоре.

Мощность привода станка, кВт:

$$P = TV_s/(60000\eta),$$

где V_s – скорость подачи, м/мин; η – КПД привода.

21.3. Расчет режима окорки станка с дисковой фрезой

При окорке на роторно-фрезерном станке главное движение D_z выполняет дисковая фреза. Движение подачи поступательное прямолинейное D_{s1} и вращательное D_{s2} (рис. 121).

Скорость главного движения, м/с: $V = \pi Dn/60000$.

Скорость подачи, м/мин: $V_{s1} = S_z z n Z/1000$.

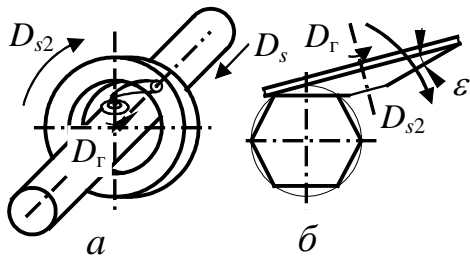


Рис. 121. Окорка дисковой фрезой:

a – схема механизма резания;
 $б$ – схема срезания стружки

Скорость вспомогательного движения подачи, м/мин:

$$V_{s2} = \pi D_{бp} n_p / 1000.$$

В этих формулах D , $D_{бp}$ – диаметры средней окружности резания фрезы и бревна, мм; n , n_p – соответственно частота вращения фрезы и ротора, мин^{-1} ($n = 1200 \dots 3000 \text{ мин}^{-1}$, $n_p = 60 \text{ мин}^{-1}$); z – число ножей фрезы, $z = 4 \dots 6$; Z – количество фрез, $Z = 4$. Обычно $V_{s1} = 9 \dots 40 \text{ м/мин}$.

Толщина срезаемого слоя древесины принимается $t_{\delta} = 0,1 \dots 0,2 \text{ мм}$ при грубой окорке и $t_{\delta} = 0,6 \dots 0,9 \text{ мм}$ при чистой окорке. При расчете

$$t_{\delta} = 375 \cdot 10^{-6} v d_{cp}, \quad (203)$$

где d_{cp} – средний диаметр бревна без коры, мм; v – относительный объем древесины, превращаемой в стружку (принимают при грубой окорке 3...6 % и при чистой окорке 8...15 %) . Общая глубина припуска на обработку, мм: $t = t_k + t_\delta$. Ширина срезаемого слоя с корой, мм:

$$b = \sqrt{t_\delta(d - t_\delta)} + \sqrt{t(d_1 - t)}, \quad (204)$$

где $d = d_1 - 2t_k$; d_1 – диаметр бревна с корой, мм.

Для конической фрезы приведенный (средний) диаметр фрезерования $D = (D_{max} - b/tg\varepsilon)$. $\varepsilon = 10...12^\circ$.

Угол контакта $\varphi_{конт} = \arccos(1 - 2t/D)$. Средняя толщина срезаемого слоя, мм: $a_c = S_z \sin(\varphi_{конт} / 2)$.

Удельная работа резания, Дж/см³:

$$K = [K_k t_k + K_\delta (t - t_k)] t, \quad (205)$$

где K_k , K_δ – удельная работа резания коры (табл. 51) и древесины, Дж/см³;

t – общая глубина припуска, мм;

t_k – толщина слоя коры, мм.

Таблица 51

Зависимость удельной работы фрезерования коры K_k , Дж/см³,
от толщины срезаемого слоя a_c , мм

Порода	K_k при окорке		Порода	K_k при окорке	
	летом	зимой		летом	зимой
Сосна	$0,25 + 1,80/a_c$	$0,3 + 2,8/a_c$	Береза	$0,90 + 1,73/a_c$	$1,2 + 2,8/a_c$
Ель	$1,40 + 1,75/a_c$	$3,0 + 2,6/a_c$	Осина	$1,80 + 1,76/a_c$	$1,8 + 2,7/a_c$

Можно приближенно принять $K_\delta \approx 3K_k$ при летней окорке и $K_\delta \approx 2K_k$ при зимней окорке.

Мощность резания, кВт: $P = Kv_1/10000$. При этом секундный объем срезаемого материала одной фрезой:

$$v_1 = \pi(d' + d'')tV_{s1} / (2Z60),$$

где $d'' = d' - 2t$.

Касательная окружная сила резания, Н: $F_x = 1000P/V$.

21.4. Расчет режимов окорки станка с тупыми короснимателями

Станки с кольцевым вращательным ротором и тупыми короснимателями предназначены для грубой окорки и удаления только коры и луба. В станке главное движение (вращательное) выполняет ротор с тупыми короснимателями (рис. 122). Движение подачи поступательное прямолинейное выполняется окариваемым бревном.

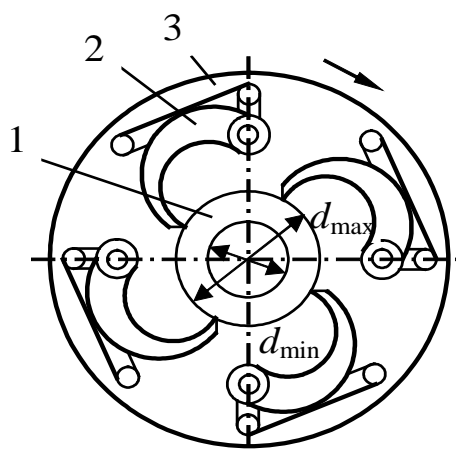
Коросниматели 2 (от трех до восьми) шарнирно крепятся на роторе 3 и под действием центробежных сил и пружин прижимаются к окариваемому бревну 1.

Длина рабочей кромки короснимателя $B = 20...50$ мм. Вследствие перекрытия ширина срезаемого слоя $b = B(1 - \varphi_n)$, где φ_n – коэффициент перекрытия; $\varphi_n = 0,2...0,4$.

Скорость движения подачи принимается $10...70$ м/мин и рассчитывается по формуле $V_s = bzn/1000$, где z – количество короснимателей в головке; n – частота вращения головки, мин^{-1} ($n = 150...350 \text{ мин}^{-1}$). Угловая скорость ротора, с^{-1} : $\omega = \pi n/30$. Скорость главного движения, м/с: $V = 0,5\omega d/1000$, где d – диаметр бревна в диапазоне от d_{\min} до d_{\max} , мм. Скорость результирующего движения, м/с: $V_e = \sqrt{V^2 + (V_s/60)^2}$.

Касательная сила окаривания, Н:

$$F_x = zB[(1 - \varphi_n)F_{x1} + F_{\partial 1} f] + F_K z, \quad (206)$$



где z – количество короснимателей в головке; F_{x1} – единичная касательная сила поперечного скобления коры (табл. 52), Н/мм; $F_{\partial 1}$ – единичное давление короснимателя на поверхность бревна, Н/мм; $F_{\partial 1} = 25 \dots 35$ Н/мм; F_k – усилие, необходимое для перерезания волокон коры, Н (см. табл. 52); f – коэффициент трения короснимателя о поверхность бревна, $f = 0,2 \dots 0,25$.

Мощность резания, кВт:

$$P = F_x V_e / 1000.$$

Таблица 52

Значения F_x и F_k для окориваемой древесины

Рис.122. Схема головки с тупыми короснимателями

Состояние древесины	Ель		Сосна	
	F_{x1} , Н/мм	F_k , Н	F_{x1} , Н/мм	F_k , Н
Полусухая	4,7	50	4,2	60
Свежесрубленная	2,8	30	2,5	20
Сплавная	2,0	62	3,3	10
Мерзлая	13,2	226	10,9	140

22. Сверление

22.1. Общие сведения

Сверление как процесс технологической обработки используется для образования в деревянных деталях цилиндрических сквозных и несквозных отверстий для соединения деталей посредством болтов, шурупов, шкантов.

Различают сверление древесины продольное и поперечное. При поперечном сверлении ось сверла перпендикулярна волокнам древесины. Для поперечного сверления используют сверла центровые с боковыми подрезателями по ГОСТ 22053-76 (рис. 123,а). Угол между режущими кромками и осью вращения $\varphi = 90^\circ$. Лезвия выполняют продольно–поперечное резание.

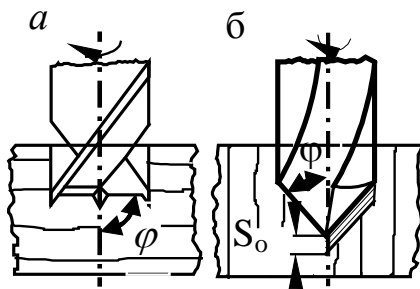


Рис. 123. Сверление древесины:

- а – поперечное;
- б – продольное

При продольном сверлении ось сверла параллельна волокнам древесины. Для продольного сверления применяют сверла с конической заточкой по ГОСТ 22057-76 с главными режущими кромками, расположенными под острым углом ($\varphi = 30^\circ$) к оси сверла (рис. 123, б). Лезвия выполняют торцово–поперечное резание.

Шероховатость поверхности, полученной сверлением, характеризуется высотой неровностей $Rz = 60...320$ мкм при $S_o = 0,7...2,2$ мм в случае сверления мягкой древесины и $S_o = 0,1...0,5$ мм при сверлении твердой древесины.

22.2. Кинематика процесса сверления

Скорость главного движения на лезвиях сверла изменяется от нуля на оси вращения до максимального значения на периферии. В расчетах принимают среднее значение скорости главного движения, определяемое на середине длины лезвия сверла, м/с: $V_{cp} = \pi Dn/120000$. Подача на один оборот, мм: $S_o = 1000V_s/n$. Подача на зуб, мм: $S_z = 1000V_s/(z n)$. Толщина срезаемого слоя, мм: $a = S_z \sin \varphi$. Поперечное сечение срезаемого слоя, мм²: $f = DS_o/(2z)$. Средняя длина срезаемого слоя, мм: $l_{cp} = \pi D/2$. Объем срезаемого слоя, см³: $v = \pi D^2 S_o/(4000z)$.

22.3. Динамика процесса сверления древесины

Расчет по методу А.Л. Бершадского. Удельная работа резания K , Дж/см³, количественно равна удельной силе резания $F_{y\partial}$, МПа, и для поперечного сверления находится по формуле

$$K = k + \alpha_p p / S_z.$$

Значения k и p приведены в табл. 53.

Мощности резания, кВт:

$$P = \frac{K v_1}{1000} = \frac{K \pi D^2 V_s}{4 \cdot 60 \cdot 1000}, \quad (207)$$

где v_1 – секундный объем срезаемой древесины, см³/с.

Окружная сила резания, Н: $F_x = 1000P/V_{cp}$. Осевое усилие на сверле, Н: $F_y = (0,25 + 0,07D)F_x$.

Таблица 53

Удельная сила резания при сверлении
центровыми сверлами $F_{yд}$, МПа

D, мм	Сосна	Береза	Дуб
5	15,3 + 61,2/ S_z	265 + 104/ S_z	368 + 147/ S_z
10	41,2 + 16,5/ S_z	69,7 + 28/ S_z	98 + 39,2/ S_z
15	19,6 + 7,8/ S_z	33,3 + 13,5/ S_z	47 + 16,9/ S_z
20	13,7 + 5,5/ S_z	22,9 + 9,3/ S_z	33,4 + 12,8/ S_z
25	9,8 + 3,9/ S_z	16,7 + 6,7/ S_z	23,5 + 9,4/ S_z

Примечание. Для винтовых сверл $F_{yд\ винт.} = 1,5 F_{yд}$.

Расчет по табличной удельной работе резания. Удельную работу сверления находят по формуле, Дж/см³ [24]

$$K = K_t a_p a_r a_v a_w a_\phi, \quad (208)$$

где K_t – табличное значение удельной работы резания (табл. 54); $a_p, a_r, a_v, a_w, a_\phi$ – соответственно поправочные коэффициенты на породу, остроту лезвий, скорость резания, влажность, угол в плане.

Таблица 54

Значения удельной работы резания K_t , Дж/см³, при сверлении хвойной древесины (сверла острые; глубина сверления $t \leq 5D$)

Толщина срезаемого слоя a , мм	Поперечное сверление отверстий диаметром D , мм					Продольное сверление отверстий диаметром D , мм				
	5	10	15	20	25	5	10	15	20	25
0,1	1540	430	196	113	88	3250	870	460	300	185
0,5	380	110	52	33	24	1250	310	160	100	65
1,0	235	70	34	23	16	1000	240	125	75	50
2,0	162	50	25	18	12	875	200	107	62	42

Расчет по степенным формулам. При расчете крутящего момента $M_{кр}$, Н·м, осевого усилия F_y , Н, и удельной работы резания можно использовать следующие расчетные формулы:

для сосны при $t \leq 3D$

$$M_{кр} = 396D^{1,28}t^{0,29}S_o^{0,55}; F_y = 6,87D^{1,05}S_o^{0,3}; K = 3,168D^{-0,72}t^{0,29}S_o^{-0,45};$$

для дуба при $t \leq 3D$

$$M_{кр} = 574D^{1,28}t^{0,29}S_o^{0,55}; F_y = 9,26D^{1,05}S_o^{0,3};$$

для сосны при $t > 3D$

$$M_{кр} = 396D^{1,28}t^{0,6}S_o^{0,55}; F_y = 6,87D^{1,05}t^{0,6}S_o^{0,3};$$

для дуба при $t > 3D$

$$M_{кр} = 574D^{1,28}t^{0,76}S_o^{0,55}; F_y = 9,26D^{1,05}t^{0,6}S_o^{0,3};$$

где D – диаметр сверла, мм; t – глубина сверления, мм; S_o – подача на один оборот сверла, мм.

22.4. Сверление древесностружечных плит

Рекомендуемые режимы сверления. Угловые параметры лезвий [26]: задний угол $\alpha = 18...25^\circ$, угол резания $\delta = 45...60^\circ$. Если $\delta > 60^\circ$, то $\alpha = 30...40^\circ$. Тип сверла – с подрезателями и направляющим центром.

Частота вращения $2500...3500 \text{ мин}^{-1}$.

Подача на зуб при обработке плит с содержанием связующего 8 %: если плотность плит $\gamma < 0,7 \text{ г/см}^3$, то $S_z = 0,15...0,5 \text{ мм}$; если $\gamma > 0,7 \text{ г/см}^3$, то $S_z = 0,25...0,75 \text{ мм}$. При сверлении отверстий под шканты в плитах с $\gamma = 0,65...0,75 \text{ г/см}^3$ $S_z = 0,7...0,8 \text{ мм}$.

Удельная работа резания. Удельная работа резания K , Дж/см^3 , при расчетах по табличному методу:

$$K = K_T a_\gamma a_p a_t a_n a_r, \quad (209)$$

где K_T – табличное значение удельной работы резания (табл. 55);

a_γ – коэффициент, учитывающий плотность плит:

Плотность плит, г/см^3	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
a_γ	0,72	0,86	1,0	1,14	1,29	1,43

Таблица 55

Табличное значение удельной работы резания при сверлении древесностружечных плит K , Дж/см^3 (сверление в плась,

$\gamma = 0,7 \text{ г/см}^3$, содержание связующего 8 %;

$t < 2D$; $\delta = 60^\circ$, $\alpha = 20^\circ$, $n = 3150 \text{ мин}^{-1}$)

Подача на зуб S_z , мм	Диаметр сверла, мм					
	5	7,5	10	15	20	25
0,1	261,7	121,5	90,2	71,5	62,7	55,4
0,2	156,8	93,1	62,9	50,0	44,1	34,4
0,3	114,7	75,0	53,0	40,2	33,4	27,8
0,4	98,0	63,7	49,0	36,8	29,4	24,4
0,5	87,8	58,4	45,4	35,3	27,6	22,4

Электронный архив УГЛТУ

0,6	78,4	52,0	43,9	33,4	26,0	21,2
0,7	74,0	48,6	42,5	32,4	24,5	20,8
0,8	70,6	47,9	41,4	31,8	23,6	20,5
0,9	68,2	46,4	40,6	31,3	23,0	20,3
1,0	65,0	45,3	39,9	31,1	22,6	19,8

a_p – коэффициент, учитывающий содержание связующего:

Содержание связующего, %	4	5	6	7	8	9	10	11	12
a_p	0,84	0,89	0,92	0,96	1,0	1,03	1,07	1,10	1,14

a_t – коэффициент, учитывающий глубину сверления:

Глубина сверления, мм	2	3	4	5	6
a_t при $\gamma \leq 0,7$ г/см ³	1,0	1,2	1,35	1,44	1,85
a_t при $\gamma > 0,7$ г/см ³	1,0	1,32	1,61	1,86	2,1

a_n – коэффициент, учитывающий направление сверления: при сверлении в плась $a_n = 1,0$; при сверлении в кромку $a_n = 1,2$;

a_p – коэффициент, учитывающий затупление лезвий (табл. 56).

Осевая сила резания $F_y = mF_x$, где m – коэффициент, зависящий от диаметра сверла:

Диаметр сверла, мм	5...8	9...12	13...16	17...25
m	0,5...0,9	0,7...1,2	1,0...1,5	1,3...2,0

Примечание. Большее значение m для толщин срезаемых слоев $a = 0,1...0,25$ мм, меньшее – для $a = 0,25...0,75$ мм.

Таблица 56

Коэффициент затупления a_p

Содержание связующего, %	Путь лезвия в заготовке, м				
	400	600	800	1000	1200
	Сверление в пласт				
4	1,31/1,11	1,32/1,12	1,34/1,12	–	–
8	1,32/1,12	1,35/1,13	1,38/1,14	–	–
12	1,41/1,15	1,49/1,18	1,56/1,21	–	–
	Сверление в кромку				
4	1,15/1,06	1,17/1,06	1,19/1,07	1,21/1,08	1,24/1,09
8	1,17/1,06	1,19/1,07	1,22/1,08	1,25/1,09	1,29/1,10
12	1,23/1,08	1,31/1,11	1,41/1,15	1,51/1,19	1,62/1,23
Примечание. В числителе - для сталей ХС, 9ХС; в знаменателе - для сталей Р9, Р18.					

23. Долбление

23.1. Долбление гнездовой фрезой

Долблением получают гнезда под дверные петли шириной от 1,6...4 мм. Гнездовая фреза – мерный инструмент в виде пластины с зубьями на торцевой и боковой кромках (рис. 124). Рабочее движение инструмента происходит по замкнутой эллиптической кривой со скоростью, м/с: $V = Hn/30000$, где H – ход фрезы, мм; n – частота вращения кривошипа, мин⁻¹. Обычно $V = 0,5...1,2$ м/с, $n = 1000...3000$ мин⁻¹.

Нижние зубья срезают продольные стружки, а боковые удаляют стружку из гнезда. Подача на один оборот, мм: $S_o = 1000V_s/n$. Средняя толщина среза $a_c = S_o$. Длина среза $l \approx t_3$. Дно и боковая стенка гнезда волнистые с длиной волны $l_b \approx t_3$. При ширине фрезерного инструмента L_u и горизонтальном радиусе движения зубьев r фактическая длина гнезда, мм: $L = L_u + 2r$.

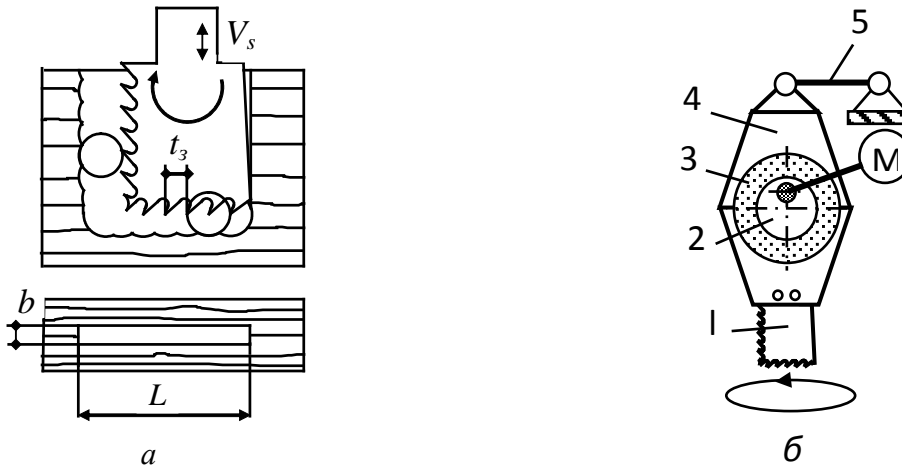


Рис. 124. Долбление гнездовой фрезой:

а – схема долбления; *б* – долбежная головка

Долбежная агрегатная головка. В корпусе 4 головки (рис. 124, б) закреплен шариковый подшипник 3, во внутреннем кольце которого установлен диск 2, эксцентрично посаженный на вал электродвигателя. Кроме того, корпус шарнирно соединен тягой 5 с неподвижной стойкой, и на нем закреплен режущий инструмент в виде долбняка (гнездовой фрезы) 1. При вращении вала электродвигателя долбняк выполняет плоское движение по траектории эллипса.

Мощность резания, кВт:

$$P = KbLV_s/60000,$$

где K – удельная работа для продольного резания, Дж/см³, для сосны $K = 0,196\delta + 0,069(90-V) - 5,4$; V_s – скорость подачи, м/мин.

23.2. Выборка гнезд долотами и стамеской

Долбление (рис. 125) происходит двумя долотами 1 и 3, перерезающими волокна древесины и двухсторонней качающейся стамеской 2, продольно срезающей стружки внутри гнезда. Срезанные стружки удаляются из гнезда долотами. Средняя скорость главного движения, м/с, долот

$$V_\partial = H_\partial n_\partial / 30000;$$

стамески

$$V_c = H_c n_c / 30000,$$

где H_d, H_c – размах качания долот и стамески, мм; n_d, n_c – частота двойных ходов долот и стамески.

Средняя толщина срезаемого слоя стамеской, мм:

$$a = 1000V_s/n_c.$$

Секундный объем срезаемой древесины (производительность), $\text{см}^3/\text{с}$:

$$v = S_n b L n_c / 60000,$$

где $S_n = 2a$; S_n, b и L в мм.

Удельная работа резания K при $a = 0,1 \dots 0,15$ мм равна $60 \dots 10$ Дж/см³ для сосны и $130 \dots 30$ Дж/см³ для дуба. Для тонких стружек берут большее значение K . Мощность резания, кВт:

$$P = Kv/1000.$$

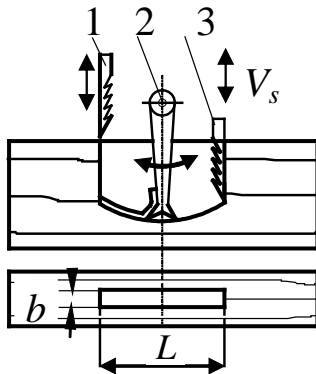


Рис. 125. Долбление долотами со стамеской

24. Новые способы резания

Дальнейшее совершенствование процессов резания древесины и древесных материалов идет по пути поиска использования новых физических законов, эффектов и явлений, применения в станках новых физических принципов действия.

Перспективным направлением считают бесстружечное резание, которое может быть осуществлено различными носителями энергии.

Ножевое резание. Ножевое резание [34] выполняется ножами со скоростью главного движения $7 \dots 8$ м/с. Его применяют в установках для валки деревьев, раскряжевки хлыстов, обрезки сучков, а также в гильотинных ножницах, строгальных станках и др.

Ножевое резание характеризуется меньшими затратами энергии по сравнению с другими видами резания. Так, при срезании ножом сучков диаметром $40 \dots 80$ мм удельная работа резания равняется для ели $11 \dots 17$ Дж/см³, для березы – $16 \dots 25$ Дж/см³. При срезании таких сучков цепными пилами с Г-образными зубьями удельная работа резания составляет для ели $32 \dots 40$ Дж/см³, для березы – $35 \dots 48$ Дж/см³; при работе с фрезерной установкой эти значения равны для ели $70 \dots 80$ Дж/см³ и для березы $80 \dots 90$ Дж/см³.

Вибрационное резание. Вибрационным называют резание, скорость главного движения которого складывается из двух движений: поступательного с постоянной скоростью V_1 и возвратно-поступательного (колебательного) с переменной скоростью V_2 , изменяющейся, например, по закону $V_2 = a \sin(\omega t)$. При этом амплитуда колебательного

движения лезвия r мала (0,5...20 мм), а угловая скорость $\omega = \pi n/30$, s^{-1} , достаточно велика ($n = 1000... 3000$ мин $^{-1}$).

Из сказанного следует, что скорость главного движения V , м/с: $V = V_1 + \omega r \sin(\omega t)$.

При вибрационном резании в древесине возникают упругие колебания. Можно подобрать такую амплитуду и частоту вибраций лезвия, при которой возникнет резонанс между вибрациями лезвия и колебаниями в древесине. В этом случае древесина будет разрушаться при меньших напряжениях. Поэтому вибрационное резание отличается меньшей энергоемкостью.

Бесстружечное пиление древесины. Пиление осуществляется пилами, зубья которых имеют двустороннюю боковую заточку по передним и задним граням. При многократном прохождении вершин зубьев пилы по одному следу в древесине образуется пропил.

Ширина пропила находится в тесной зависимости от режима пиления. С увеличением скорости главного движения зубья пилы проходят по следу большее количество раз, величина остаточной деформации увеличивается, что приводит к росту ширины пропила. С увеличением скорости подачи доля остаточных деформаций в зоне резания уменьшается, и ширина пропила убывает.

Шероховатость обработанной поверхности достигает значения $R_{m \max} = 50...100$ мкм по ГОСТ 7016-82.

Древесина стенок пропила уплотняется. Часть древесины выносятся из пропила в виде пыли. При этом пыль и стенки пропила обугливаются, так как при резании выделяется много тепла. Цвет стенок пропила изменяется от цвета древесины до темно-коричневого и зависит от режимных параметров пиления.

Мощность безопилочного пиления в 2...3 раза меньше, чем при опилочной распиловке круглыми пилами.

Термодинамические способы резания древесины. В термодинамических способах резания древесины применяют те носители энергии, в которых она в наибольшей степени может быть использована для деления древесины с минимальными потерями.

Деление древесины струей воды осуществляется за счет использования кинетической энергии движущихся частиц воды. По данным ЦНИИМЭ, минимальная скорость струи воды должна быть равна 195 м/с. Рабочие скорости струи достигают значений 1000...3000 м/с.

Глубина проникновения струи в древесину зависит от ее диаметра. Так, при диаметре струи 0,25 мм и давлении 210,9 МПа можно разрезать заготовку толщиной 25,4 мм, а при диаметре струи 1,01 мм – 406 мм.

Для резания мягких пород древесины и получения обработанных поверхностей хорошего качества давление воды уменьшают, а диаметр струи увеличивают. Интенсивность резания увеличивается, если в воду добавить абразив (песок).

Жидкоструйный способ резания уже находит применение при окорке лесоматериалов. По данным ЦНИИМЭ, струя воды с давлением до 20 МПа может найти применение для дробления древесины с одновременным транспортированием щепы.

Резание древесины струей раскаленного газа исследовалось в ЦНИИМЭ при истечении газового потока со скоростью 1000 м/с и температурой 700°C. Газовый поток получался при горении топлива нефтяного происхождения с расходом воздуха в 2...5 раза

больше, чем требовалось для полного сгорания. Исследования показали, что производительность деления древесины низкая.

Резание древесины раскаленной нитью или пластиной изучалось при температуре проволоки (пластины) 800...850°C. Производительность резания составила 0,8...1,6 см²/с. Обработанная поверхность обугливается.

Ультразвуковое резание древесины. Ультразвуковое резание представляет собой процесс, который осуществляется в результате бомбардировки абразивом обрабатываемой заготовки и кавитации суспензии абразива. Под действием инструмента, вибрирующего с частотой до 30000 Гц, скорость абразивных зерен увеличивается, и их давление на древесину достигает 1700 МПа. Энергия абразивных зерен затрачивается на разрезание и удаление микрочастиц древесины.

Резание древесины лазерным лучом. Лазерный луч оказывает на древесину световое давление и, нагревая, превращает все ее составляющие в нагретые газы.

Лазеры мощностью 20...50 Вт позволяют делить деревянную заготовку толщиной 10 мм со скоростью подачи 30...50 мм/с. Ширина прорези при этом равна 0,2...0,4 мм.

Деление древесины лазерным лучом считается перспективным, но требует серьезных исследований.

Библиографический список

- 1. Глебов, И.Т.** Резание древесины [Текст]/И.Т. Глебов; Екатеринбург: УГЛТУ, 2001. 151 с.
- 2. Глебов, И.Т.** Фрезерование древесины [Текст]/И.Т. Глебов; Екатеринбург: УГЛТУ, 2003. 169 с.
- 3. ГОСТ 25751-83.** Инструменты режущие. Термины и определения общих понятий [Текст]. Введ. 01.07.84. М.: Изд-во стандартов, 1983. 24 с.
- 4. ГОСТ 25761-83.** Виды обработки резанием. Термины и определения общих понятий [Текст]. Введ. 01.07.84. М.: Изд-во стандартов, 1983. 6 с.
- 5. ГОСТ 25762-83.** Обработка резанием. Термины, определения и обозначение общих понятий [Текст]. Введ. 01.07.84. М.: Изд-во стандартов, 1983. 41 с.
- 6. Бершадский, А.Л.** Резание древесины [Текст]/ А.Л. Бершадский, Н.И. Цветкова; Минск: Вышейш. шк., 1975. 303 с.
- 7. Ивановский, Е.Г.** Новые исследования резания древесины [Текст]/ Е.Г. Ивановский, П.В. Василевская, Э.М. Лаутнер; М.: Лесн. пром-сть, 1972. 128 с.
- 8. Грановский, Г.И.** Резание металлов [Текст]/ Г.И. Грановский, В.Г. Грановский; М.: Высш. шк., 1985. 304 с.
- 9. Глебов, И.Т.** Технология деревообработки. Термины и определения [Текст]: Учебное пособие/ И.Т. Глебов, В.Е. Рысев; Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2005. 220 с.
- 10. Ивановский, Е.Г.** Резание древесины [Текст]/ Е.Г. Ивановский; М.: Лесн. пром-сть, 1974. 200 с.
- 11. Любченко, В.И.** Резание древесины и древесных материалов [Текст]/ В.И. Любченко; М.: Лесн. пром-сть, 1986. 296 с.
- 12. Глебов, И.Т.** Резание древесины: Избранные лекции [Текст]/ И.Т. Глебов; Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2005. 98 с.
- 13. Крагельский, И.В.** Коэффициент трения [Текст]/ И.В. Крагельский, И.Э. Виноградов; М., 1962. 220 с.
- 14. Суханов, В.Г.** Резание древесины и дереворежущий инструмент [Текст]/ В.Г. Суханов, В.В. Кишенков; М.: МГУЛ, 2002. 168 с.

15. **Соловьев, А.А.** Лабораторный практикум по резанию древесины. Элементарное резание [Текст]/А.А. Соловьев; М.: МЛТИ, 1982. 99 с.
16. **Бершадский, А.Л.** Расчет режимов резания древесины [Текст]/ А.Л. Бершадский; М.: Лесн. пром-сть, 1967. 175 с.
17. **Бершадский А.Л.** Справочник по расчету режимов резания древесины [Текст]/ А.Л. Бершадский; М.: Гослесбумиздат, 1962. 124 с.
18. **Грубе, А.Э.** Основы теории и расчета деревообрабатывающих станков, машин и автоматических линий [Текст]/ А.Э. Грубе, В.И. Санев; М.: Лесн. пром-сть, 1973. 384 с.
19. Руководящие технические материалы по определению режимов пиления на лесопильных рамах [Текст]: Архангельск: ЦНИИМОД, 1987. 82 с.
20. **Амалицкий, В.В.** Оборудование отрасли [Текст]/ В.В. Амалицкий, В.В. Амалицкий; М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2005. 584 с.
21. **Стахийев, Ю.М.** Руководящие технические материалы по определению режимов пиления древесины круглыми пилами [Текст]/ Ю.М., Стахийев В.Д. Дунаев, М.Л. Короткова, В.К. Пашков; Архангельск: ЦНИИМОД, 1988. 74 с.
22. **Зотов, Г.А.** Подготовка и эксплуатация дереворежущего инструмента [Текст]/ Г.А. Зотов, Ф.А. Швырев; М.: Лесн. пром-сть, 1986. 301 с.
23. **Пашков, В.К.** Определение температурных перепадов плоских круглых пил [Текст]/ В.К. Пашков, С.В. Щепочкин // Актуальные проблемы лесного комплекса: Сборник научных трудов по итогам международной научно-технической конференции. Выпуск 14: БГИТА, 2006. С.147-152.
24. **Амалицкий, В.В.** Оборудование и инструмент деревообрабатывающих предприятий [Текст]/ В.В. Амалицкий, В.И. Санев./ М.: Экология, 1992. 480 с.
25. **Бершадский, А.Л.** Резание древесины [Текст]/ А.Л. Бершадский. М.-Л.: Гослесбумиздат, 1956. 328 с.
26. **Цуканов, Ю.А.** Обработка резанием древесностружечных плит [Текст]/ Ю.А. Цуканов, В.В. Амалицкий; М.: Лесн. пром-сть, 1966. 95 с.
27. **Туфанов, А.Г.** Угловые параметры зубьев круглых пил для распиловки твердых древесноволокнистых плит [Текст]/ А.Г. Туфанов; Научные труды за 1963 г. – Архангельск: ЦНИИМОД, 1964. 136 с.
28. **Товстолес, М.Д.** Резание древесины на дощечкорезных станках [Текст]/ М.Д. Товстолес; М.; Л.: Гослесбумиздат, 1958. 120 с.

- 29. Вальщиков, Н.М.** Рубительные машины [Текст]/ Н.М. Вальщиков, Э.П. Лицман; М.: Лесн. пром-сть, 1980. 96 с.
- 30. Гороховский, К.Ф.** Основы технологических расчетов оборудования лесосечных и лесоскладских работ [Текст]/ К.Ф. Гороховский, Н.В. Лившиц; М.: Лесн. пром-сть, 1987. 256 с.
- 31. Глебов, И.Т.** Пособие токарю по дереву [Текст]/ **И.Т. Глебов**; М.: Лесн. пром-сть, 1981. 112 с.
- 32. Пижурин, А.А.** Основы процесса точения древесины [Текст]/ А.А. Пижурин; М.: Лесн. пром-сть, 1963. 117с.
- 33. Кох, П.** Процессы механической обработки древесины [Текст]/ П. Кох; М.: Лесн. пром-сть, 1969. 328 с.
- 34. Печенкин, В.Е.** Новые способы резания древесины [Текст]/ В.Е.Печенкин, П.М.Мазуркин; Горький: ГГУ, 1979. 90 с.

Оглавление

Предисловие	3
Введение	4
Часть I. Резание древесины одиночным лезвием	8
1. Введение в теорию резания древесины	8
1.1. Предмет науки о резании	8
1.2. Методы науки о резании древесины	8
1.3. Задачи теории резания	9
1.4. Резание древесины как часть технологической системы	10
1.4.1. Понятие технологической системы	10
1.4.2. Структура технологической системы	11
1.4.3. Свойства технологической системы	11
1.4.4. Подсистема технологической системы	13
2. Элементы резания. Основные понятия и определения	14
2.1. Заготовка	14
2.2. Резание	14
2.3. Глубина резания	16
2.4. Движения при резании	16
2.5. Углы скоростей	18
3. Характеристика лезвия	19
3.1. Координатные плоскости. Системы координат	19
3.2. Элементы лезвия	21

	3.3. Секущие плоскости	22
	3.4. Взаимосвязь углов резания, измеряемых в различных секущих плоскостях	24
	3.5. Положение режущей кромки	25
	3.6. Микрогеометрия режущей кромки	25
	3.7. Износ и затупление лезвия	26
	3.8. Критерий затупления	27
	3.9. Отказ по параметрам “стойкость” и “точность”	28
	3.10. Период стойкости инструмента	28
	3.11. Условия резания древесины реальным лезвием	29
	3.12. Элементы срезаемого слоя	30
	3.13. Явления, сопровождающие процесс резания	31
4.	Кинематика процесса резания	32
	4.1. Общие сведения	32
	4.2. Резание по принципиальной кинематической схеме с одним прямолинейным движением	34
	4.3. Резание по принципиальной кинематической схеме с двумя прямолинейными движениями ...	35
	4.4. Резание по принципиальной кинематической схеме с двумя движениями – прямолинейным и вращательным	36
5.	Влияние строения и свойств древесины на процесс резания	

		37
5.1.	Строение древесины	37
5.2.	Плотность древесины	37
5.3.	Физические свойства древесины	38
5.4.	Механические свойства древесины	38
5.5.	Сжатие древесины в замкнутом пространстве	39
5.6.	Главные направления ствола дерева	40
5.7.	Виды резания древесины	41
5.7.1.	Общие сведения	41
5.7.2.	Продольно-торцовое резание	42
5.7.3.	Поперечно-торцовое резание	43
5.7.4.	Поперечно-продольное резание	43
5.7.5.	Продольно-поперечно-торцовое резание	43
5.7.6.	Учет ориентации годовых слоев	44
5.7.7.	Виды резания древесных материалов	45
6.	Геометрия обработанной поверхности	46
7.	Взаимодействие лезвия с древесиной	49
7.1.	Составляющие силы резания	49
7.2.	Удельная сила, удельная работа резания	50
7.3.	Единичная сила резания	51
7.4.	Контактные зоны лезвия	51
7.5.	Эпюры нормальных давлений по зонам лезвия	52
7.6.	Силы резания в зоне передней поверхности	53

	7.7. Силы в зоне поверхности резания	55
	7.8. Силы резания на лезвии	55
	7.9. Зависимость главной составляющей силы резания от толщины срезаемого слоя	56
	7.10. Изменение главной составляющей силы резания в диапазоне микрослоев	56
	7.11. Сила резания по задней поверхности лезвия	58
	7.12. Зависимость удельной силы резания от толщины среза	59
	7.13. Учет затупления лезвий	60
8.	Коэффициент трения	62
	8.1. Общие сведения	62
	8.2. Коэффициент трения передней контактной поверхности лезвия с древесиной	62
	8.3. Расчет коэффициента трения	63
	8.4. Расчетное значение коэффициента трения	66
	8.5. Коэффициент трения лезвия по поверхности резания	67
9.	Стружкообразование	68
	9.1. Типы стружкообразования	68
	9.2. Условия организации установившегося процесса резания	68
	9.3. Условия организации неустойчивого процесса резания	70

	9.4. Модель стружкообразования	70
	9.5. Виды стружкообразования	72
10.	Влияние различных факторов на силы резания и качество обработки	73
	10.1. Анализ и синтез процесса резания древесины	73
	10.2. Влияние размеров среза	75
	10.3. Учет при резании породы, влажности и температуры древесины	78
	10.3.1. Влияние породы древесины	78
	10.3.2. Влияние влажности	80
	10.3.3. Влияние температуры	80
	10.4. Влияние видов резания	81
	10.5. Влияние параметров режущего инструмента	83
	10.5.1. Влияние угла резания	83
	10.5.2. Влияние заднего угла	84
	10.5.3. Влияние положения лезвия при резании	85
	10.6. Влияние скорости главного движения	85
11.	Режимы резания	86
	11.1. Условия резания	86
	11.2. Типы решаемых задач	87
	11.3. Режим резания	87
	11.4. Оптимальные режимы резания	87

11.5. Предварительный выбор основных режимных параметров	89
Часть II. Обработка древесины на станках	90
12. Классификация процессов резания на станках	90
13. Пиление	91
13.1. Общие вопросы пиления	91
13.1.1. Уширение пропила	91
13.1.2. Удельная сила трения	92
13.1.3. Производительность пилы по вместимости впадин	93
13.1.4. Толщина срезаемого слоя при работе плющеными и разведенными зубьями	94
13.1.5. Форма зуба пилы для продольного и поперечного пиления	95
13.2. Пиление древесины рамными пилами	96
13.2.1. Общие сведения	96
13.2.2. Рамные пилы	97
13.2.3. Кинематика пиления на лесопильной раме	98
13.2.4. Принципиальные кинематические схемы пиления	100
13.2.5. Свес пил	102
13.2.6. Настройка свеса пил	104
13.2.7. Установка рамных пил	105
13.2.8. Расчет рациональной посылки	108

13.2.9. Порядок расчета рациональной посылки	109
13.2.10. Пример решения обратной задачи по рамному пилению	117
13.2.11. Силы и мощность резания	120
13.2.12. Обеспечение заданной точности распиловки	121
13.3. Пиление ленточными пилами	123
13.3.1. Общие сведения	123
13.3.2. Геометрия срезаемого слоя	123
13.3.3. Ленточные пилы	126
13.3.4. Скорости рабочих движений	129
13.3.5. Силы и мощность резания при продольном пи- лении	130
13.3.6. Пример расчета режимов пиления	133
13.4. Продольное пиление круглыми пилами	138
13.4.1. Общие сведения	138
13.4.2. Пилы круглые плоские для продольной распи- ловки древесины	140
13.4.3. Выбор диаметра пилы	143
13.4.4. Кинематика пиления	147
13.4.5. Динамика продольного пиления	150
13.4.6. Пример решения обратной задачи ...	152
13.4.7. Зависимость скорости подачи от числа зубьев пилы	158

	13.4.8. Продольное пиление древесины пилой с косой заточкой зубьев	159
	13.4.9. Продольное пиление древесины пилой с укороченными зубьями	164
	13.5. Поперечное пиление круглыми пилами	170
	13.5.1. Общие сведения	170
	13.5.2. Конструкции и параметры пил	171
	13.5.3. Расчет сил и мощности резания	173
	13.5.4. Пиление пилой с комбинированными зубьями	174
	13.5.5. Пиление пилой с наклонными режущими кромками зубьев	177
14.	Пиление древесностружечных плит	181
	14.1. Режущий инструмент	181
	14.2. Рекомендуемые режимы пиления	182
	14.3. Расчет сил и мощности резания	182
15.	Пиление древесноволокнистых плит	184
	15.1. Общие сведения	184
	Расчет сил резания	185
16.	Деление древесины с образованием стружки-продукта	187
	16.1. Лушение	187
	16.1.1. Общие сведения	187
	16.1.2. Обжимная линейка	187
	16.1.3. Кинематика лушения	188

16.1.4. Динамика лущения	190
16.2. Строгание	192
16.2.1. Общие сведения	192
16.2.2. Строгание дощечек на гильотинном станке	195
16.2.3. Получение стружки на продольно-строгальных станках	197
16.3. Измельчение древесины на щепу и стружку	198
16.3.1. Рубка щепы	198
16.3.2. Получение стружки из дровяного сырья	201
16.3.3. Получение стружки из щепы	202
17. Бесстружечное резание	203
17.1. Разрезание ножницами	203
17.2. Штампование	205
18. Фрезерование	206
18.1. Цилиндрическое фрезерование древесины	206
18.1.1. Общие сведения	206
18.1.2. Режущий инструмент	207
18.1.3. Регулировка ножей и установка фрез	208
18.1.4. Шероховатость фрезерованной поверхности	208
18.1.5. Кинематика фрезерования	214
18.1.6. Геометрия срезаемого слоя	215

18.1.7. Силы резания. Мощность на фрезерование	217
18.1.8. Объемная формула мощности	218
18.1.9. Решение обратной задачи	219
18.1.10. Пример решения обратной задачи	220
18.1.11. О выборе величины диаметра фрезы	223
18.2. Пазовое фрезерование	224
18.2.1. Общие сведения	224
18.2.2. Формирование паза в два этапа	224
18.2.3. Непрерывное формирование паза	225
18.2.4. Динамика пазового фрезерования	227
18.3. Коническое фрезерование	230
18.4. Фрезерование торцовыми фрезами	232
18.4.1. Общие сведения	232
18.4.2. Размеры срезаемого слоя	234
18.4.3. Динамика фрезерования	234
18.5. Обработка клиновых зубчатых шипов	238
18.6. Обработка радиусных поверхностей	245
18.7. Полузакрытое и закрытое фрезерование ...	248
18.8. Точность обработки поверхностей	252
18.8.1. Изменение параметров фрезерования в процессе обработки заготовок	252
18.8.2. Положение поля допуска	253

	18.8.3. Выбор точности станка	253
	18.9. Обработка древесины винтовыми фрезами	255
	18.10. Цепное фрезерование	257
	18.11. Фрезерование деталей по копиру	262
	18.12. Получение брусьев на фрезернопильном станке	266
	18.13. Фрезерование древесностружечных плит	272
19.	Точение	274
	19.1. Общие сведения	274
	19.2. Кинематика точения	276
	19.3. Динамика точения	277
20.	Шлифование	279
	20.1. Общие сведения	279
	20.2. Рабочие движения	280
	20.3. Производительность шлифования	281
	20.4. Время работы шкурки до затупления	282
21.	Окорка древесины	287
	21.1. Общие сведения	287
	21.2. Расчет режимов окорки многоножевой головкой	288
	21.3. Расчет режима окорки станка с дисковой фрезой	289
	21.4. Расчет режимов окорки станка с тупыми коросни- мателями	291
22.	Сверление	292

22.1. Общие сведения	292
22.2. Кинематика процесса сверления	293
22.3. Динамика процесса сверления древесины	294
22.4. Сверление древесностружечных плит	295
23. Долбление	297
23.1. Долбление гнездовой фрезой	297
23.2. Выборка гнезд долотами и стамеской	299
24. Новые способы резания	299
Библиографический список	303

Учебное издание

Иван Тихонович Глебов

Оборудование отрасли
Справочник по резанию древесины

Редактор Р.В. Сайгина

Подписано в печать 10.04.09

Формат 60 × 84 1/16

Бумага тип. №1

Печать офсетная

Уч.– изд. л. 7,57

Усл. печ. л. 18,13

Тираж 100 экз.

С№ Заказ

Уральский государственный лесотехнический университет
620032, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37.

Размножено с готового оригинал-макета

Типография "Уральский центр академического обслуживания"

620219, г. Екатеринбург, ул. Первомайская, 91.