Энгельсский технологический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

Кафедра «Оборудование и технологии обработки материалов»

РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Учебно-методическое пособие к практическим занятиям по курсу «Режущий инструмент» для студентов направления

15.03.05 – «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

очной и заочной форм обучения

Энгельс 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ ----------5
1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ ----------5
1.1. Указания по содержанию расчетно-пояснительной записки---------- 6
1.2. Указания по графической части проекта ---------- 7
1.3. Указания по технологической части проекта---------- 8
2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОТЯЖЕК ----------9
2.1. Основные конструктивные элементы внутренних протяжек----------10
2.1.1. Схемы резания при протягивании ----------12
2.2. Методика и пример расчета круглой протяжки----------13
2.3. Методика и пример проектирования комбинированной протяжки для обработки прямобочных шлицев----------45
2.4. Методика расчета протяжек для обработки отверстий с плоскими гранями -------60
3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗУБОРЕЗНОГО ИНСТРУМЕНТА---------- 70
3.1. Зуборезные долбяки ----------70
3.1.1. Общие сведения о долбяках----------70
3.1.2. Определение исходного расстояния----------76
3.1.3. Выбор конструктивных параметров долбяков ----------89
3.1.4. Пример расчета зуборезного долбяка ----------93
3.2. Зуборезные шеверы----------96
3.2.1. Общие сведения о шеверах----------96
3.2.2. Формулы определения дополнительных технологических данных колеса, необходимых для расчета шевера ---------- 106
3.2.3. Расчет дискового шевера ---------- 107
3.2.4. Пример расчета зуборезного шевера ---------- 113
3.3. Червячные зуборезные фрезы ---------- 119
3.3.1. Общие сведения о червячных фрезах ---------- 119
3.3.2. Методика проектирования червячной зуборезной фрезы---------- 121
3.3.3. Пример расчета червячной фрезы для цилиндрических колес ---------- 126
3.3.4. Расчет параметров режима резания при зубофрезеровании---------- 128
4. ЧЕРВЯЧНЫЕ ШЛИЦЕВЫЕ ФРЕЗЫ, ИХ ПРИМЕНЕНИЕ И ТИПЫ----------131
4.1. Общие сведения о червячных шлицевых фрезах ---------- 131
4.2. Методика проектирования червячных шлицевых фрез ---------- 132
4.3. Пример расчета червячной шлицевой фрезы---------- 140
5. ФАСОННЫЕ ФРЕЗЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ТУРБИННОЙ ЛОПАТКИ----------144
5.1. Методика расчета фасонной фрезы для обработки турбинной лопатки --------- 144
5.2. Пример расчета фрезы для внутренней поверхности косой турбинной лопатки 150
Список литературы---------- 153
ПРИЛОЖЕНИЯ---------- 155
Типовое содержание проекта ---------- 157
Варианты заданий для проектирования круглых протяжек ---------- 159
Варианты заданий для проектирования протяжки для прямобочных шлицев -------- 160
Варианты задания для проектирования квадратных протяжек ---------- 162
Варианты заданий для проектирования долбяка и шевера ---------- 164

Варианты заданий для проектирования зуборезной фрезы---------- 166
Варианты заданий на проектирование червячных шлицевых фрез---------- 167

ВВЕДЕНИЕ

Задачей настоящего учебного пособия является углубление и закрепление теоретических знаний студентов, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» специальностей «Технология машиностроения»,

Пособие содержит сведения по методам проектирования протяжек, фасонных резцов, зуборезных инструментов, а также сверл для подготовки отверстий под протягивание.

Металлорежущие инструменты имеют большое разнообразие типов и конструктивных особенностей, которые определяются условиями формообразования детали. Эти особенности при проектировании специальных инструментов имеют принципиальное значение, которые должны быть учтены на стадии проектирования.

1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ

Курсовой проект по дисциплине «Режущий инструмент» для студентов 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» является самостоятельной работой конструкторско-технологического характера. Цель курсового проекта — за-крепление и углубление знаний в области проектирования и изготовления ре-жущих инструментов. Задание на курсовой проект выдается каждому студенту отдельно на специальном бланке, образец которого приведен в данном учебном пособии.

Курсовой проект состоит из расчетно-пояснительной записки и графической части (четыре листа формата А1).

В своей работе студент должен стремиться использовать современные конструкции режущих инструментов, новые инструментальные материалы и новые методы производства режущих инструментов. Желательно, чтобы студент проявил самостоятельность и творческую инициативу при конструировании металлорежущих инструментов и разработке операций технологического процесса. Рекомендуется также посещать консультации преподавателя.

За качество работы и выполнение в срок отвечает студент. Руководитель работы устанавливает объем, рекомендует литературу, консультирует по неясным вопросам и рецензирует готовый проект. Если при первой проверке курсовой проект не зачтен, то на вторичную проверку представляется как исправленная работа, так и первый ее вариант с рецензией.

1.1. Указания по содержанию расчетно-пояснительной записки

Пояснительная записка выполняется на стандартных листах писчей бумаги форматом 210х297 мм, сшитых в тетрадь с плотной обложкой.

Объем пояснительной записки составляет 50 - 60 страниц машинописного текста.

Титульный лист оформляется по образцу. В начале расчетно-пояснительной записки приводится оглавление, которое составляется на основе разработанного плана курсового проекта.

Одним из основных условий успешной работы над курсовым проектом является правильно построенный план. Составление плана предшествует выполнению расчетов и написанию записки. План составляется в процессе изучения материалов, на основании которых выполняется курсовой проект. В процессе выполнения курсового проекта план может претерпевать некоторые изменения, а потому оглавление отрабатывается окончательно после того, как сделана расчетно-пояснительная записка.

При построении плана весь материал записки разбивается на части, разделы и т. д., снабженные заголовками. Заголовки формулируются кратко и предельно ясно. Они должны отражать содержание соответствующих частей текста и находиться в логической соподчиненности с общим планом пояснительной записки.

В общем случае порядок нисходящей значимости отдельных ступеней текста должен быть такой: раздел, глава, параграф, подпараграф.

В конкретном случае некоторые из этих ступеней выпадают.

Порядковые номера разделов указываются словами, например: раздел первый, раздел второй и т. д. Главы нумеруются римскими цифрами, например: глава I, глава II и т. д.

Параграфы следует нумеровать арабскими цифрами: 1, 2, 3 и т. д., при этом знак § употреблять не следует. Соответствующий порядковый номер параграфа надо писать в строку с его названием и отделять от него точкой. Подпараграфы не нумеруются, в тексте они подчеркиваются. Заголовки подпараграфов надо писать в одну строку с текстом и отделять от него точкой.

Пояснительная записка начинается с введения, в котором указываются задачи инструментального производства данного периода времени. Здесь же надо дать обоснование целесообразности применения заданного специального инструмента.

Прежде чем производить расчеты режущих инструментов, нужно хорошо ознакомиться с деталью и обрабатываемой поверхностью по данному чертежу или эскизу. В параграфе «Исходные данные обрабатываемой детали» необходимо сделать эскиз обрабатываемой поверхности с размерами, необходимыми для расчета режущих инструментов. Здесь же следует привести конкретные данные об основных механических свойствах обрабатываемого материала, а именно: твердость *НВ* для хрупких материалов, чугунов и цветных металлов и $\sigma_в$ для пластичных (сталей).

Приступая к расчету конкретного режущего инструмента, нужно выбрать станок, на котором будет производиться обработка данной поверхности выбранным для этого случая инструментом. Следует привести основную характеристику станка, например: наибольший диаметр заготовки, устанавливаемой на данном токарном станке, наибольший диаметр сверла для сверлильного станка, наибольший модуль нарезаемого колеса и т. д. Нужно дать эскиз установки инструмента относительно заготовки и показать стрелками все движения, необходимые для обработки данной поверхности.

Проектирование режущих инструментов включает решение следующих основных вопросов.

1. Определяется область назначения инструмента с учетом количественных значений параметров режима резания;
2. Обосновывается выбор материала для режущей и крепежной частей инструмента;
3. Из условий прочности, жесткости и объема стружки определяются его основные конструктивные параметры инструмента;
4. Определяется образующая профиля исходной инструментальной поверхности;
5. Определяется метод переточки инструмента и возникающие при этом погрешности, а также возможности его регулирования на размер;
6. Назначаются допуски на размеры инструмента и указываются технические условия на его изготовление;
7. Определяются кинематические и динамические параметры процесса получения поверхности детали.
8. Составляется алгоритм и разрабатывается соответствующее программное и информационное обеспечение.

Расчеты и обоснования, приведенные в пояснительной записке, должны быть конкретными, относящимися непосредственно к разрабатываемой конструкции инструмента или операции изготовления. Их следует подтверждать ссылками на соответствующие литературные источники с указанием страниц, номеров таблиц и др. Общие, неконкретные описания в записке недопустимы.

Расчеты режущих инструментов должны сопровождаться эскизами, выполненными карандашом или с помощью средств компьютерной графики, четко и по возможности в масштабе. При ссылке на рисунок необходимо указать его номер.

В конце записки необходимо дать перечень использованной литературы, указать дату выполнения работы и подписать работу.

В перечне литературы указывается фамилия и инициалы автора, наименование книги, издательство, год и город издания, количество страниц.

1.2. Указания по графической части проекта

Чертежи режущих инструментов следует выполнять на стандартных форматах чертежной бумаги в полном соответствии с требованиями Единой системы конструкторской документации. Формат бумаги надо выбирать, возможно, минимальным.

На чертежах должны быть все данные, необходимые для изготовления режущего инструмента: виды, сечения, разрезы, размеры, геометрические параметры режущей части, параметры шероховатости, основные технические требования на изготовление инструмента.

Поскольку в курсовом проекте разрабатывается специальный режущий инструмент, то на чертеже необходимо указывать технические требования на изготовление его, а не ограничиваться ссылкой на соответствующие ГОСТы. Общий вид режущего инструмента желательно вычерчивать в масштабе 1:1. Отклонения от этого правила допускаются только в тех случаях, когда режущий инструмент очень малых или очень больших размеров. Большинство сечений на чертежах вычерчиваются в увеличенном масштабе 5:1 или 10:1 и крупнее, особенно там, где указываются профили фасонных режущих инструментов, формы стружечных канавок, резьба и др.

Каждый лист должен иметь в правом нижнем углу штамп.

Спецификация для режущих инструментов сборных конструкций выполняется на том же листе.

1.3. Указания по технологической части проекта

В технологической части проекта студент приводит описание обработки поверхности, заданной преподавателем. Например: фрезерование канавок фрезы или затылование зубьев червячной фрезы.

В этой части проекта следует начертить обрабатываемый режущий инструмент и инструмент второго порядка в положении окончательной обработки для данной обрабатываемой поверхности. Обработанную поверхность показать красным, а инструмент второго порядка — синим цветом. Указать выдерживаемые при данной обработке размеры, допуски и параметры шероховатости поверхности. Указать наименование и модель станка, наименование приспособления, в котором закрепляется обрабатываемый режущий инструмент на станке. Например: центра, оправка, патрон, тиски и т. п.

Необходимо привести наименование инструмента второго порядка. Например: двуугловая фреза, дисковая резьбовая фреза, токарно-затыловочный резец и т. п. Если это шлифовальный круг, то должна быть указана полная характеристика: материал зерна, номер зернистости, твердость или концентрация, структура, связка.

Здесь же следует указать инструмент или прибор для контроля размеров и формы обработанной поверхности. Например: угломер, шаблон, микроскоп и т. п.

2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОТЯЖЕК

Протягивание — один из наиболее эффективных методов механической обработки, позволяющий получать изделия высокой точности (до 6-го квалитета) и шероховатость обработанной поверхности до 0,32 мкм. При применении твердосплавных выглаживателей $Ra\,0.08$. Протягивание в основном применяют в крупносерийном и массовом производстве, однако этот метод успешно используют и в мелкосерийном и даже единичном производстве, когда протягивание является единственно возможным или наиболее экономичным способом обработки.

В качестве режущего инструмента при протягивании используются различные типы протяжек. Протяжка—многолезвийный инструмент с рядом последовательно выступающих одно над другим лезвиями в направлении, перпендикулярном к направлению скорости главного движения, предназначенный для обработки при поступательном или вращательном главном движении резания и отсутствии движения подачи. Протяжки имеют значительные преимущества перед инструментами других видов. Они являются самыми высокопроизводительными инструментами, примерно в сто и более раз производительнее зенкеров и разверток. При протягивании совмещаются операции черновой, получистовой и чистовой обработки. Это повышает производительность, сокращает номенклатуру применяемых режущих и мерительных инструментов, уменьшает число станков и технологической оснастки.

Экономическая целесообразность применения протяжек оправдывается при обеспечении оптимальных элементов конструкций и режимов резания, качественном изготовлении протяжек и правильной эксплуатации.

Протягивание применяют для обработки внутренних (замкнутых) и наружных (открытых) поверхностей. Соответственно различают внутренние и наружные протяжки. Разновидностью протяжек являются прошивки, конструкция которых принципиально не отличается от конструкции протяжек, однако в процессе резания прошивки подвергаются в основном сжимающим усилиям, в то время как протяжки работают на растяжение. Области применения протягивания весьма разнообразны. Внутреннее протягивание применяют для обработки отверстий различной формы, в том числе круглых, квадратных, многогранных, шлицевых со шлицами различного профиля, а также шпоночных и других пазов. Наружными протяжками в основном обрабатывают плоские и фасонные поверхности, пазы, уступы, рифления и др.

Протягивание поверхностей вращения может производиться призматическими или спиральными протяжками. В процессе обработки осуществляется быстрое вращение детали и относительно медленное движение протяжки. Спиральная протяжка представляет собой диск, на который как бы навернута призматическая протяжка. Режущие кромки зубьев такой протяжки располагаются на разных расстояниях от оси. Разность радиусов соседних зубьев определяет подачу на зуб.

2.1. Основные конструктивные элементы внутренних протяжек

Несмотря на разнообразие внутренних протяжек, различные их разновидности содержат в основном те же конструктивные элементы, что и протяжки для обработки круглых отверстий (рис. 2.1).

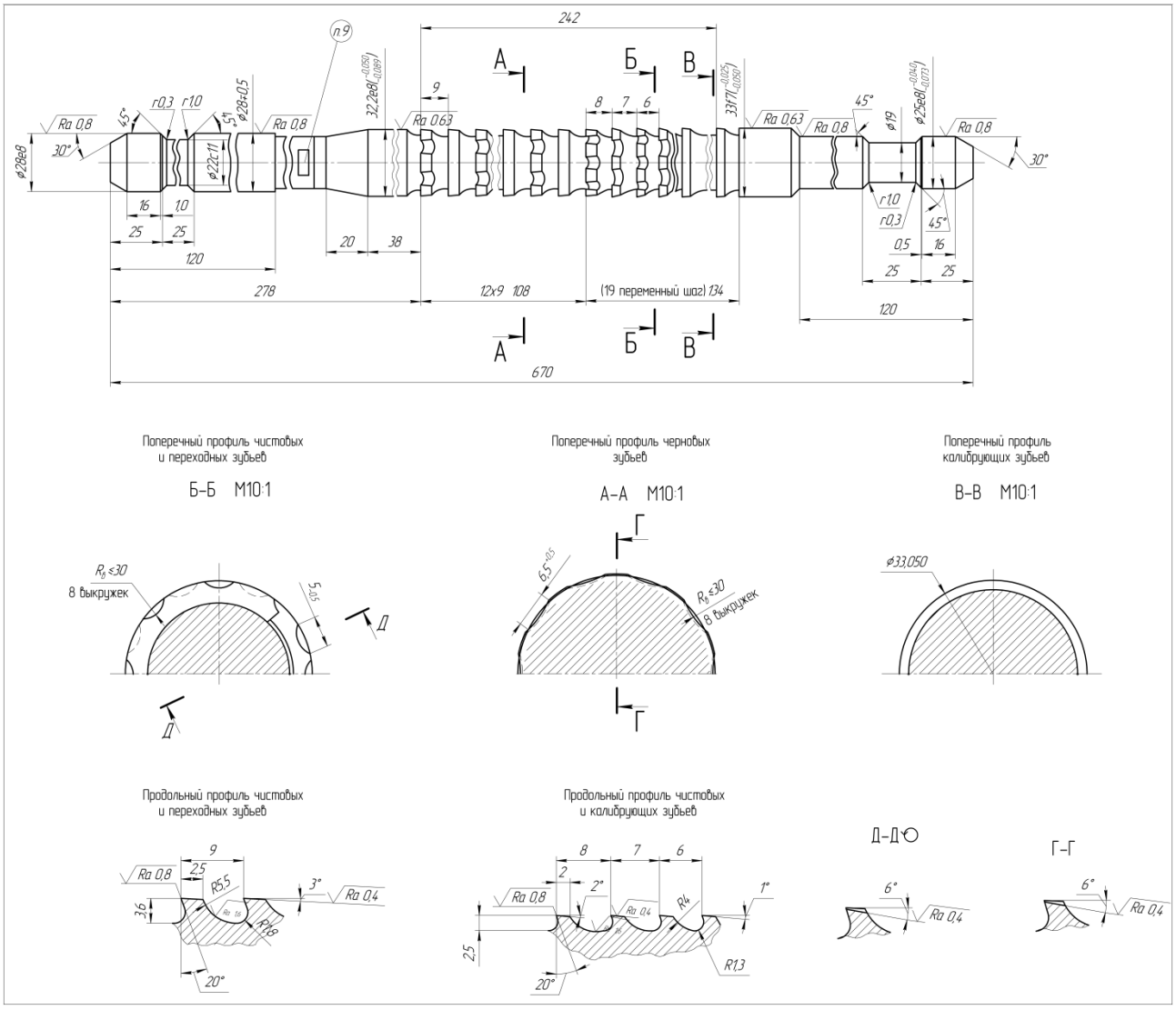


Рис. 2.1. Круглая протяжка переменного резания

Хвостовик служит для закрепления протяжки в патроне станка. Конструкция хвостовика зависит от типа протяжки и конструкции патрона. Для крепления протяжки в патроне каретки обратного хода на станках, работающих по полуавтоматическому или автоматическому циклу, хвостовик может выполняться и со стороны калибрующей части (задний хвостовик). Форма и размеры заднего хвостовика принимаются такими же, как и переднего. Для ориентации протяжки относительно обрабатываемой заготовки задний хвостовик может выполняться с соответствующими ориентирующими элементами.

Хвостовики могут изготовляться как единое целое с протяжкой (цельные протяжки), сварными или крепиться к протяжке при помощи резьбовых соединений или механических устройств. Преимуществом съемных хвостовиков является экономия быстрорежущей стали и меньшая трудоемкость изготовления про-

тяжек. Материал сварных хвостовиков и с механическим креплением — сталь 40Х либо другая конструкционная или инструментальная сталь по ГОСТ 4543-71 или ГОСТ 5950-73. После термообработки твердость переднего хвостовика из быстрорежущей стали HRC 42—56.

Шейка и переходный конус являются связующими звеньями между хвостовиком и передней направляющей частью. На шейку обычно наносят маркировку протяжки, здесь же располагается сварной шов в случае сварных протяжек. Диаметр шейки принимается на 0,5— 1,0 мм меньше диаметра хвостовика, а ее длина зависит от конструкции станка, в частности от толщины опорного стола, а также от размеров приспособления для крепления обрабатываемой заготовки. В ряде случаев, например для шпоночных протяжек, шейка, специально не выделяется, а выполняется заодно с хвостовиком.

Передняя направляющая часть служит для ориентации протяжки относительно оси обрабатываемой заготовки в начальный момент резания. Форму поперечного сечения и размеры передней направляющей выбирают в соответствии с формой и размерами обрабатываемой поверхности. Диаметр передней цилиндрической направляющей выполняется по посадке *H7/f7*, а длина находится в пределах 0,7-1,0 длины протягивания.

Задняя направляющая часть обеспечивает направление и центрирование детали в момент окончания обработки, а также предотвращает перекос протяжки и повреждение обработанной поверхности. В тех случаях, когда протяжка имеет значительную массу, для поддержания протяжки во время рабочего и холостого хода задняя направляющая изготовляется с опорной цапфой, которая располагается в специальном люнете. Задняя направляющая выполняется с отклонениями по посадке *H7/f7*, ее длина принимается 0,5—1,0 длины протягиваемого отверстия.

Рабочая часть протяжки состоит из режущих и калибрующих зубьев. Режущая часть протяжки осуществляет срезание основного припуска с обрабатываемой поверхности заготовки. Режущая часть включает черновые, получистовые и чистовые зубья. Назначение калибрующих зубьев — окончательное формирование обработанной поверхности заготовки. Калибрующие зубья используются также в качестве резерва режущих зубьев и увеличения, таким образом, срока работы протяжки.

Параметры шероховатости рекомендуются следующие: задних и передних поверхностей всех зубьев — Ra<1,6 мкм, поверхностей спинок зубьев, радиусов стружечных и стружкоразделительных канавок и выкружек — Rz< 6,3 мкм, поверхностей передней и задней направляющих — Ra<0,63 мкм, поверхностей хвостовика —Ra <1,25 мкм.

На шейке хвостовика каждой протяжки должна быть нанесена следующая маркировка: обозначение протяжки (номер и код детали, для которой предназначен инструмент); диаметр и обозначение поля допуска отверстия; порядковый номер протяжки в комплекте; пределы длины протягиваемых заготовок; марка стали протягиваемых заготовок; номинальные значения переднего угла; марка стали рабочей части протяжки; товарный знак (символ) предприятия-изготовителя.

2.1.1. Схемы резания при протягивании

Схема резания при протягивании характеризует последовательность удаления срезаемого слоя отдельными зубьями протяжки. Схему резания выбирают в зависимости от формы, размеров и состояния обрабатываемой поверхности. От рационального выбора схемы резания зависят конструкция протяжки, ее длина и работоспособность, качество обработанной поверхности, производительность и экономичность процесса. При проектировании протяжек применяют профильную (одинарную), генераторную и прогрессивную (групповую) схемы резания (рис. 2.2).

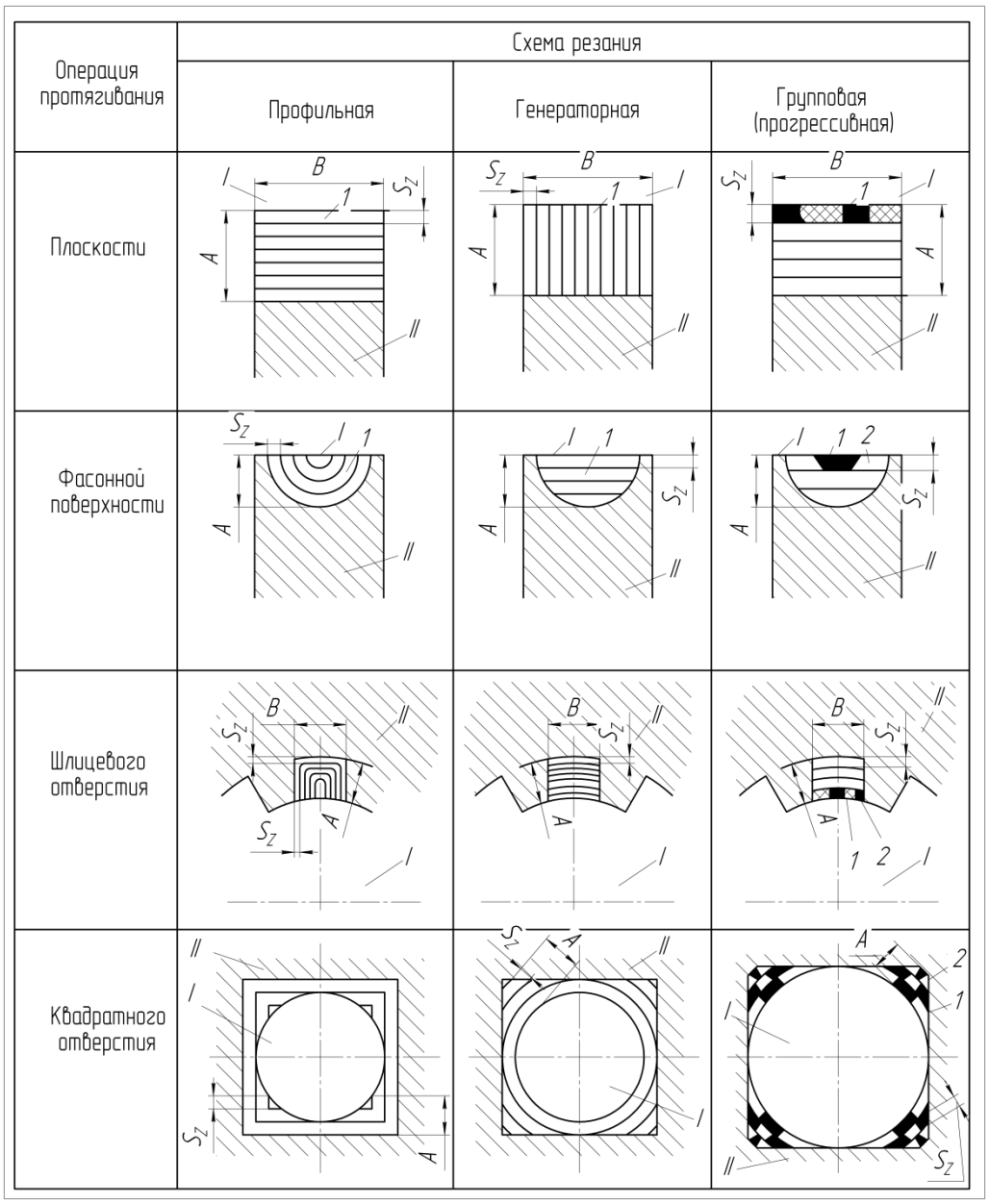


Рис. 2.2 Схемы резания при протягивании

Протяжки, работающие по профильной схеме резания, имеют в поперечном сечении профиль зубьев, подобный профилю обрабатываемой поверхности. При этом за счет превышения высоты предыдущего зуба по отношению к высоте доследующего срезаются относительно тонкие и широкие слои металла по всему периметру обработанной поверхности.

Изготовление точного профиля на всех зубьях протяжки и особенно на рабочих, имеющих различные размеры, а также заточка протяжки связаны со значительными трудностями, поэтому профильная схема резания применяется в основном для протяжек, предназначенных для обработки поверхностей простых форм, например цилиндрических.

Особенностью генераторной схемы резания является то, что срезание припуска производится режущими зубьями, имеющими переменный профиль, постепенно переходящий от прямолинейной или круглой формы к заданному профилю. Окончательное формирование поверхности изделия производится зубьями, имеющими в поперечном сечении профиль, совпадающий с заданным. Существенным преимуществом генераторных протяжек является их технологичность; недостатком — трудность получения задних углов на вспомогательных поверхностях режущих лезвий и более низкая по сравнению с профильной схемой геометрическая точность профиля.

Прогрессивная (групповая) схема резания характеризуется тем, что удаляемый слой металла разделяется на части между отдельными зубьями, образующими секцию (группу), состоящую из 2—5 зубьев одинакового диаметра или высоты.

В зависимости от вида принятых разделительных устройств (шлицы, лыски, выкружки, фаски и др.) различают ряд вариантов прогрессивной схемы резания: шахматный, многогранный, переменного резания и др.

Наряду с указанными схемами получило распространение также комбинированное протягивание, когда обработка производится по двум или трем схемам резания. Комбинированное протягивание применяется как при работе одной протяжкой, так и при использовании комплектных протяжек. Например, при протягивании прямобочных треугольных и эвольвентных шлицев могут использоваться протяжки, у которых часть зубьев работает по генераторной схеме, а часть — по профильной. При протягивании соединения лопатки газовой турбины с диском первая секция первой протяжки и вторая протяжка работают по профильной схеме, а вторая секция первой протяжки—по генераторной.

2.2. Методика и пример расчета круглой протяжки

Исходные данные. Протягиваемая заготовка: материал; твердость по Бринеллю; состояние (после нормализации отжига, закалки); подготовка поверхности под протягивание (прокат, литье, штамповка или после механической обработки); диаметр отверстия до обработки и после обработки с полем допуска; параметр шероховатости поверхности; наибольшая длина протягивания (или при наличии нескольких участков – длина каждого участка).

2. Станок: тип; модель; тяговая сила; диапазон скоростей; длина хода штока; тип патрона; размеры опорной плиты; состояние станка.

3. Характер производства (массовое, серийное, единичное)

4. Возможности инструментального производства.

Пример исходных данных.

1. Протягиваемая заготовка: материал – сталь 35ХН;

твердость при протягивании $HB\ 241$,

заготовка – после отпуска;

отверстие под протягивание обработано сверлом;

диаметр отверстия до протягивания - $d_0 = 39.2H12^{+0.19}$ мм;

диаметр отверстия после протягивания - $D = 40H7^{+0.050}$ мм;

параметр шероховатости поверхности $Ra3.2$;

длина протягивания - $l = 55$ мм.

Характер стенок: ТН

2. Станок: горизонтально-протяжной, модель 7А520;

тяговая сила станка $Q = 196200$ Н;

максимальная длина хода штока $L_{max} = 1600$ мм;

диапазон рабочих скоростей $1.5 - 11.0$ м/мин;

состояние станка – удовлетворительное;

протяжка закрепляется в автоматическом сменном патроне.

Тип патрона А

3. Характер производства – крупносерийный.

4. Длина протяжки, допустимая возможностями инструментального цеха и заточного отделения, не более 1500 мм.

Порядок и пример расчета

1. Устанавливается группа обрабатываемости с помощью таблицы 2.1 по марке и твердости материала заготовки. Если в таблице нет заданной марки материала, то группу обрабатываемости назначают для наиболее близкой по химическому составу и твердости марки материала, имеющейся в таблице.

Таблица 2.1

Группы обрабатываемости материала

Сталь		*HB при группе обрабатываемости*				
Группа	*Марка*	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*
Углеродистая конструкционная качественная сталь по ГОСТ 1050-74	10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 50, 60, 70, 80	До 229	-	-	-	-
Легированная конструкционная сталь по ГОСТ 4543 - 71						
Хромистая	15Х, 15ХА, 20Х, 30Х	До 255	255 – 302	-	-	-
	35Х, 30ХРА, 38ХА, 40Х, 45Х, 50Х	До 299	229 – 269	269 – 302	302 – 340	340 – 364
Марганцовистая	15Г, 20Г, 25Г, 30Г, 33Г	До 241	241 – 269	269 – 302	-	-

	40Г, 45Г, 35Г2, 45Г2, 50Г2	До 229	229 – 255	255 – 285	285 – 321	321 – 364
	60Г, 65Г, 70Г		До 241	241 – 269	269 – 321	321 – 340
Хромоникелевая и хромоникелевая с бором	12ХН2, 12ХН3А, 12Х2Н4А, 20ХН, 20ХНР, 20ХН3А, 20Х2Н4А, 30ХН3А, 40ХН, 45ХН, 50ХН	До 241	241 – 269	269 – 302	302 - 321	321 - 340
Чугун						
Группа	*Марка*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*
Чугун серый по ГОСТ 1412 – 79	СЧ10, СЧ15, СЧ18, СЧ20, СЧ21, СЧ24, СЧ30, СЧ35, СЧ40	До 197	197 – 285	-	-	-
Чугун ковкий (ферритный)	КЧ 30-6, КЧ 33-8, КЧ 35-10, КЧ 37-12	До 163	-	-	-	-

Пример.

1. Устанавливается группа обрабатываемости – сталь 35ХН с твердостью НВ 241 – 269 относится ко второй группе.

2. Квалитета отверстия *H7* достичь труднее, чем параметр шероховатости *Ra3.2*, поэтому принимается первая группа качества по шероховатости.

Таблица 2.2.

Группа качества протягиваемых поверхностей

Цилиндрические отверстия, наружные поверхности и пазы простых профилей		
Группа качества	*Технические требования к поверхностям*	
	Параметр шероховатости	*Квалитет*
1	$Ra \le 0.8$ и менее	Все, начиная с пятого
2	$Ra \le 2.5$	7, 8
3	$Rz \le 20$	9, 10
4	$Rz \le 40$ и грубее	11 и более

Шлицевые и сложнофасонные отверстия, пазы и наружные поверхности сложных профилей						
Группа качества	*Параметр шероховатости*		*Квалитет или степень точности*			
	Центрирующих поверхностей шлицевых отверстий	Боковых поверхностей шлицевых поверхностей	Центрирующих поверхностей шлицевых отверстий	Боковых поверхностей шлицев		
				Прямобочных	эвольвентных	треугольных
1	$Ra \le 0.8$	$Ra \le 2.5$	Не лимитируется			
2	$Ra \le 2.5$	$Rz \le 20$	7	9	9Н	7
3	$Rz \le 20$	$Rz \le 40$	8	10	11Н	9

3. Материал режущей части принимаем в соответствии с рекомендацией таблицы 2.3. в зависимости от группы обрабатываемости и типа производства

Таблица 2.3

Материал режущей части

Группа обрабатываемости	*Производство*

	Массовое, крупносерийное, среднесерийное	Мелкосерийное, единичное
1 – 3, 6, 8 - 10	Р6АМ5, Р12Ф3	ХВГ
4, 5, 7 и труднообрабатываемые стали и сплавы	Р18, Р12Ф5М, Р9К10, Р6М5К5, Р6ФК8М5	Р18, Р6АМ5, Р12Ф3

Материал режущей части протяжки – быстрорежущая сталь Р6АМ5

4. Протяжки из быстрорежущей стали диаметром до 15 мм и протяжки из ХВГ всех размеров изготовляют цельными; диаметром более 40 мм – сварными или сборными (хвостовик вместе с передней шейкой, переходным конусом и частью передней направляющей соединяются с рабочей частью при помощи резьбы). Сваривают хвостовик со стержнем протяжки по шейке на расстоянии 15 – 25 мм от начала переходного конуса.

Материал хвостовика – сталь 45Х или сталь 40Х. Тип хвостовика выбирают в зависимости от имеющегося на станке патрона. Для стандартных хвостовиков размеры принимают по ГОСТ 28442-90. Размеры стандартных хвостовиков приведены в таблице 2.4.

Чтобы хвостовик свободно проходил через отверстие в заготовке и в тоже время был достаточно прочным, диаметр выбирают по таблице 2.4. ближайшим меньшим диаметру отверстия до протягивания. Сила, допустимая прочностью хвостовика, рассчитывается по формуле:

$$P_{хв} = [\sigma]_p F_{оп}, \qquad (2.1)$$

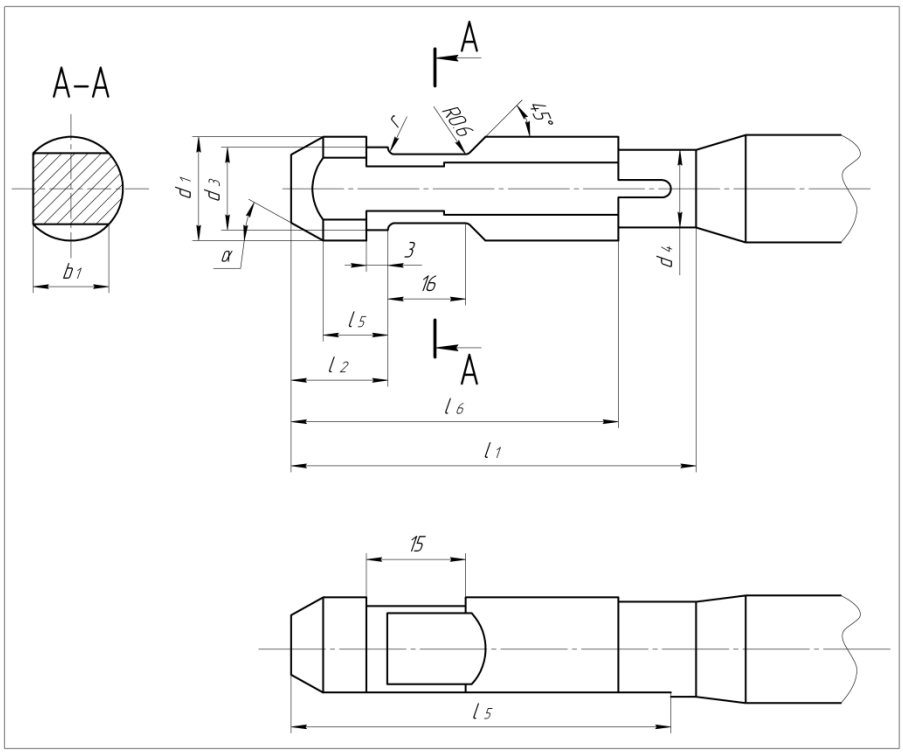
где $[\sigma]_д$ - допустимое напряжение при растяжении (для хвостовиков из быстрорежущей стали $[\sigma]_д$ = 400 МПа; для хвостовиков из стали ХВГ и стали 40Х $[\sigma]_д$ = 300 МПа);

$F_{о.х}$ – площадь опасного сечения хвостовика.

Таблица 2.4

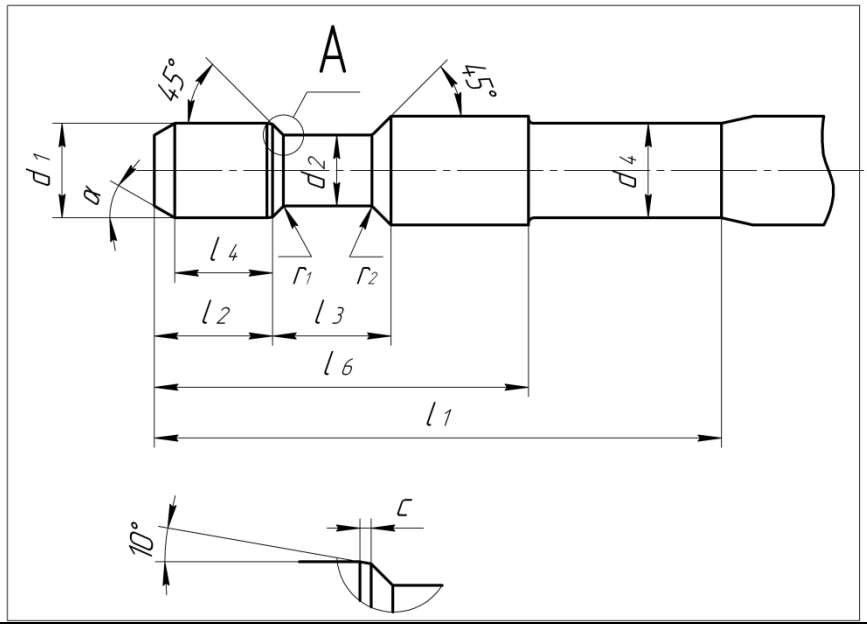
Хвостовики круглые (ГОСТ 28442-90)

Тип 1



Тип 1											
d_1[1]	d_3	d_4[2]	a[3]	b_1[4]	l_2	l_4	l_5	l_6	α,°	r	*Площадь сечения* $A-A$, *мм*^{2}
4.0	3.8	4.0	2.0	3.7							6.6
5.0	4.8	5.0	3.0	4.6							13.2
5.5	5.3	5.5	3.3	5.1	16	-	90	80	-	0.2	15.8
6.0	5.8	6.0	4.0	5.6							20.9
7.0	6.8	7.0	4.2	6.5							23.8
8.0	7.8	8.0	5.0	7.5							35.4
10.0	9.8	10.0	6.0	9.5					10		61.5
12.0	11.7	12.0	8.0	11.5							85.2
14.0	13.7	14.0	8.0	13.5	20	12	110	100			96.1
16.0	15.7	16.0	10.0	15.5					20	0.3	145.0
18.0	17.7	18.0	12.0	17.5							193.0

Тип 2

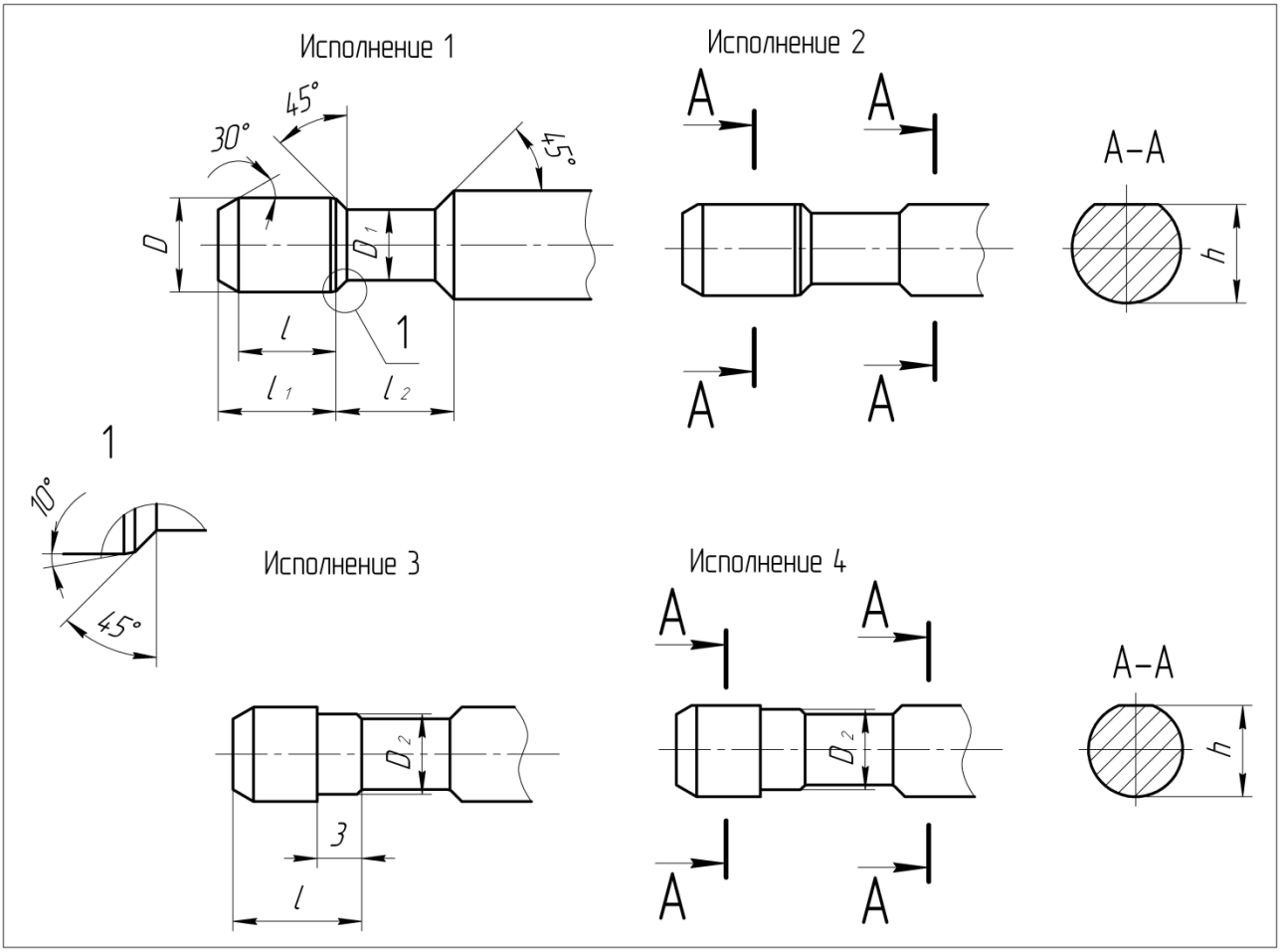


Тип 2											
d_1[5]	d_2[6]	d_4[7]	l_2	l_3	l_4	l_6	r_1	r_2	c	α,°	*Площадь сечения по размеру* d_2, *мм*^{2}
12	8.0	12					0.2		0.5	10	50.3
14	9.5	14					0.3		0.5	20	70.9
16	11.0	16	20	20	12	100	0.3	0.6	0.5	20	95.0
18	13.0	18					0.3		0.5	20	132.7
20	15.0	20					0.3		0.5	30	176.7
22	17.0	22					0.3		0.5	30	227.0
25	19.0	25	25	25	16	120	0.3	1.0	0.5	30	233.5
28	22.0	28					0.3		1.0	30	380.1
32	25.0	32				140	0.4	1.6	1.0	30	490.9
36	28.0	36				140	0.4	1.6	1.5	30	615.7

[1] Предельное отклонение по $e8$
[2] Предельное отклонение 0.5 – 1.0 мм
[3] Предельное отклонение по $c11$
[4] Предельное отклонение по $d9$
[5] Предельное отклонение по $e8$
[6] Предельное отклонение $c11$
[7] Предельное отклонение 0.5 – 1.0 мм

40	32.0	40	32	32	20	160	0.5	2.5	1.5	30	804.2
45	34.0	45				160	0.5	2.5	1.5	30	907.9
50	38.0	50				160	0.5	2.5	1.5	30	1134.1
56	42.0	56	40	40	25	190	0.6	4.0	1.5	30	1385.4
63	48.0	63	40	40	25	190	0.6	4.0	1.5	30	1809.6
70	53.0	70	40	40	25	190	0.6	4.0	1.5	30	2206.4
80	60.0	80	50	50	32	220	0.8	6.0	2.0	30	2827.4
90	70.0	90	50	50	32	220	0.8	6.0	2.0	30	3848.4
100	75.0	100	50	50	32	220	0.8	6.0	2.0	30	4417.9

Тип 3



D	D_1	l	l_1	l_2	h	F,мм^2	D	D_1	l	l_1	l_2	h	F, мм^2
12	8				10,5	50,3	45	34					907,9
14	9,5				12,5	70,9	50	38	20	32	32	39,0	1134,1
		12	17	20								43,5	
16	11				14,0	95,0	55	42					1385,4
18	13				16,0	132,7	56	42				48,5	1385,4
20	15				17,0	176,7	60	45				48,5	1590,4
22	17				19,0	227,0	63	48	25	40	40	55,0	1809,6
25	19				21,5	283,5	70	53				55,0	2206,2
		16	21	25								61,0	
28	22				24,0	380,1	80	60					2827,4
												69,5	
32	25				27,5	490,9	90 100	70					3848,4
36	28				31,0	615,7		75	32	50	50	78,5	4417,9
40	32	20	32	32	34,5	804,2						87,0	

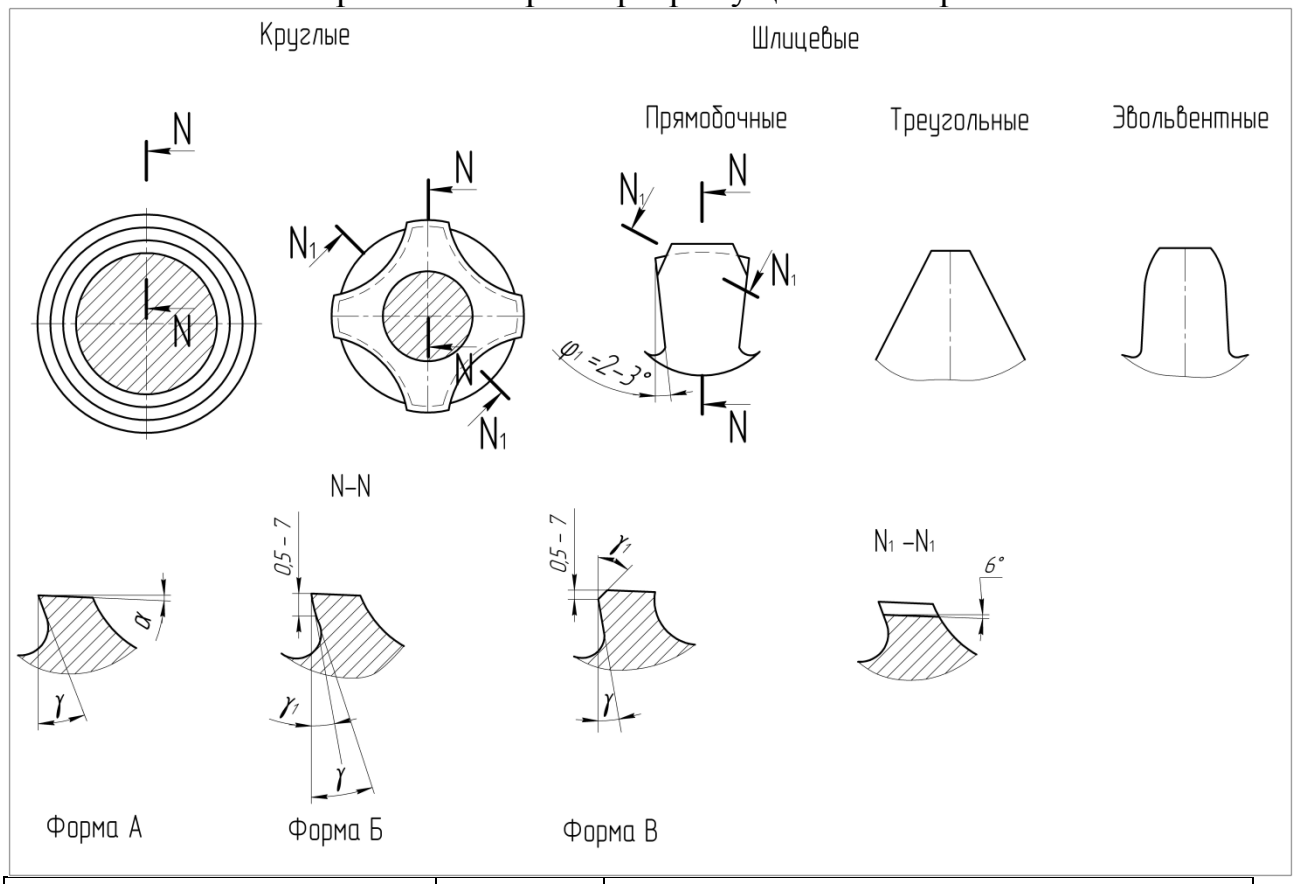
Конструкцию протяжки принимаем с приваренным хвостовиком, материал хвостовика – сталь 40Х. Размеры по ГОСТ 28442-90 (или по таблице 2.4). Диаметр переднего хвостовика $D_{хв} = 36$ мм, $F_{оп} = 1134.1 мм^2$. Сила, допустимая хвостовиком $P_{хв} = 1134.1 \cdot 300 = 340230$ Н

Если выбранному диаметру хвостовика соответствует сила протягивания, допустимая по условию его прочности и значительно большая, чем тяговое усилие, то диаметр хвостовика можно уменьшить. В этом случае хвостовику принятого диаметра должна соответствовать сила, допустимая прочностью его опасного сечения, несколько большая, чем тяговая сила станка.

Передний γ и задний α углы выбирают по таблице 2.5. Передний угол выбирают в зависимости от группы обрабатываемости и вида зубьев.

Таблица 2.5

Геометрические параметры режущей части протяжек



Условия протягивания	Группа заточки зубьев	Зубья			
		черновые и переходные; γ,°	чистовые и калибрующие		
			форма	γ, °	γ_1°
Сталь I группы обрабатываемости и материалы X группы обрабатываемости	I	20	А	20	—
Сталь II и III групп обрабатываемости	II	15		18	

Стали IV и V групп обрабатываемости	III	10	Б	10	
Чугун ковкий VI и VII групп обрабатываемости	IV	10		10	0—5
Чугун серый VI и VII групп обрабатываемости, бронза, латунь VIII и IX групп обрабатываемости	V	10	В	10	—5—0

Примечания: 1. Для протяжек диаметром до 20 мм допускается передний угол γ= 10°. 2. Задний угол для черновых и переходных зубьев α=3°, чистовых—α=2°, калибрующих— α=1°.

Передний угол черновых и переходных зубьев $\gamma = 15°$, а чистовых и калибрующих зубьев $\gamma_1 = 18°$. Задний угол черновых и переходных зубьев $\alpha_0 = 3°$, чистовых $\alpha_ч = 2°$, калибрующих $\alpha_k = 1°$.

6. Скорость резания выбирают по таблице 2.6 в зависимости от типа производства, группы качества и группы обрабатываемости и проверяют по характеристике станка. Если на станке не предусмотрена требуемая скорость, то принимают для расчета имеющуюся скорость.

Таблица 2.6

Скорость резания протяжками из стали Р6АМ5

Протяжки	*Тип производства*	*Группа качества*	*Скорость резания для обрабатываемого материала (м/мин)*									
			Сталь					*Чугун*				
			Группа обрабатываемости									
			1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*
Круглые	Массовое, крупносерийное, среднесерийное	1 2 3 4	8 9 13 15	8 9 12 13	6 8 9 12	5 6 8 -	3 4 4 -	9 12 15 15	6 6 9 13	9 12 15 15	9 12 15 15	4 6 9 12
	Мелкосерийное и единичное	1 – 4	8	6	6	3	3	9	6	9	9	4
Шлицевые	Массовое, крупносерийное, среднесерийное	1 2 3	5 7 9	5 6 8	4 5 7	3 4 5	2 2 3	5 7 9	4 5 6	5 7 9	5 7 9	3 4 5
	Мелкосерийное и единичное	1 – 3	5	4	4	2	2	5	4	5	5	3

Примечание. Поправочный коэффициент на скорость резания в зависимости от марки инструментальной стали

Марка инструментального материала	Р18	Р12Ф5М	Р6АМ5	Р12Ф3	Р9К10	Р6М5К5	Р6Ф2К8М	ХВГ
Коэффициент	1.6	1.6	1	1	1.8	1.8	2.0	0.7

Скорость резания $V = 9$ м/мин. Эта скорость станком обеспечивается.

7. При определении подачи черновых зубьев по средней наработке между отказами S_{zc} сначала устанавливают наработку чистовой части по таблицам 2.7 – 2.13 для принятой в таблице 2.6 скорости резания при максимальной подаче чистовых зубьев 0.02 мм. Подачу черновых зубьев выбирают из условия равной стойкости черновой и чистовой частей протяжки. Наработка черновых зубьев должна быть равна наработке чистовых зубьев или несколько больше ее.

Выбранные подачи черновых зубьев из условия равной стойкости при протягивании отверстий первой и второй групп качества в заготовках из вязких металлов, а также хрупких металлов во избежании вырывов, рванин и сколов на протянутой поверхности следует ограничивать в соответствии с таблицей 2.14

Таблица 2.7.

Средняя наработка протяжек из сталей Р9, Р18, Р6АМ5 между отказами.
Стали первой группы обрабатываемости. Работа с охлаждением

V, м/мин	Наработка чистовой части (м)	Наработка черновой части (м) при подаче черновых зубьев S_{zc} мм/зуб на сторону														
		0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.25	0.30	0.35	0.4
1.5	167	462	427	402	383	354	333	317	304	286	265	246	212	188	169	155
2	143	381	352	332	316	292	275	262	251	236	218	203	175	155	140	128
3	115	290	268	253	241	223	210	200	191	180	166	155	133	118	106	97
4	99	239	221	208	198	184	173	165	158	148	137	128	110	97	88	80
5	87	206	191	180	171	162	149	142	136	128	118	110	95	84	76	69
6	79	182	169	159	151	140	132	125	120	113	105	97	84	74	67	61
7	73	164	152	143	136	126	119	113	108	102	94	88	76	67	60	55
8	66	150	139	131	125	115	109	103	99	93	86	80	69	61	55	50
9	64	139	129	121	115	107	100	96	92	86	80	74	64	57	51	47
10	60	129	120	113	107	99	94	89	85	80	74	69	60	53	48	43
11	57	121	112	106	101	93	88	84	807	5	70	65	56	49	45	41
12	54	115	106	100	95	88	83	79	75	71	66	61	53	47	42	39
13	52	109	101	95	90	83	78	75	71	67	62	58	50	44	40	37
14	50	103	96	90	86	79	75	71	68	64	59	55	47	42	38	35
15	48	99	91	86	82	76	72	68	65	61	57	53	45	40	36	33

Таблица 2.8

Средняя наработка протяжек из сталей Р9, Р18, Р6АМ5 между отказами.
Стали второй группы обрабатываемости. Работа с охлаждением

V, м/мин	Наработка чистовой части (м)	Наработка черновой части (м) при подаче черновых зубьев S_{zc} мм/зуб на сторону														
		0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.25	0.30	0.35	0.4
1.5	138	310	287	270	257	238	224	214	205	195	180	168	145	128	116	106
2	118	256	237	223	212	196	285	176	169	161	149	139	119	105	97	87
3	95	195	180	170	162	150	141	134	129	122	113	106	91	80	73	66
4	81	161	149	140	133	124	116	111	106	101	93	87	75	66	60	55
5	72	138	128	121	115	106	100	95	91	87	80	75	65	57	52	47
6	65	123	115	107	102	94	89	84	81	77	71	66	57	51	46	42
7	60	111	104	96	92	85	80	76	73	70	64	60	52	46	41	38
8	56	101	94	88	84	78	73	70	67	64	59	55	47	42	38	34
9	52	93	87	81	77	72	68	64	62	59	54	51	44	39	35	32
10	49	87	81	76	72	67	63	60	58	55	50	47	41	36	32	30
11	47	82	76	71	68	63	59	56	54	51	47	44	38	34	30	28
12	45	77	71	67	64	59	56	53	51	48	45	42	36	32	28	26
13	43	73	67	64	61	56	53	50	48	46	43	40	34	30	27	25
14	41	69	64	61	58	53	50	48	46	44	41	38	32	28	26	24
15	39	66	61	58	55	51	48	46	41	42	39	36	31	27	25	23

Таблица 2.9

Средняя наработка протяжек из сталей Р9, Р18, Р6АМ5 между отказами.
Стали третьей группы обрабатываемости. Работа с охлаждением

V, м/мин	Наработка чистовой части (м)	Наработка черновой части (м) при подаче черновых зубьев S_{zc} мм/зуб на сторону										
		0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20
1.5	113	226	209	197	187	173	163	155	149	138	127	119
2	97	186	172	162	154	143	135	128	123	114	105	98
3	78	142	131	124	118	109	103	98	94	87	80	75
4	67	117	108	102	97	90	85	81	77	71	66	62
5	59	101	93	88	84	77	73	69	67	62	57	53
6	54	89	83	78	74	68	65	61	59	54	50	47

7	49	80	74	70	67	62	58	55	53	49	45	42
8	46	74	68	64	61	56	53	51	49	45	41	39
9	43	68	63	59	56	52	49	47	45	42	38	36
10	41	63	59	55	52	49	46	44	42	39	36	33
11	39	59	55	52	49	46	43	41	39	36	34	31
12	37	56	52	49	46	43	41	39	35	34	32	29

Таблица 2.10

Средняя наработка протяжек из сталей Р9, Р18, Р6АМ5 между отказами.
Стали четвертой группы обрабатываемости. Работа с охлаждением

V, м/мин	Наработка чистовой части (м)	Наработка черновой части (м) при подаче черновых зубьев S_{zc} мм/зуб на сторону							
		0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.15
0.7	152	268	242	223	209	189	174	163	151
1	120	202	183	169	158	143	132	123	114
1.5	91	147	133	123	115	104	96	90	83
2	75	117	106	98	92	83	76	72	66
2.5	66	99	89	82	77	69	64	60	56
3	57	85	77	71	67	60	56	52	48
3.5	52	76	68	63	59	53	49	46	42
4	47	68	61	57	53	48	44	42	38
4.5	44	62	56	52	49	44	40	38	35
5	41	57	52	48	45	40	37	35	32
5.5	38	53	48	44	41	37	34	32	30
6	36	50	44	41	38	35	32	30	28

Таблица 2.11

Средняя наработка протяжек из сталей Р9, Р18, Р6АМ5 между отказами.
Стали пятой группы обрабатываемости. Работа с охлаждением

V, м/мин	Наработка чистовой части, м	Наработка черновой части (м) при подаче черновых зубьев S_{zc} мм/зуб на сторону									
		0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12	0.15
0.7	74	100	91	84	78	74	71	68	65	61	62
1	59	76	68	63	59	56	53	51	49	46	39
1.5	45	55	50	46	43	41	39	37	36	34	29
2	37	44	40	37	34	32	31	30	29	27	23
2.5	32	37	33	31	29	27	26	25	24	23	19
3	28	32	29	27	25	24	23	22	21	20	17
3.5	25	28	26	24	22	21	20	19	18	17	15
4	23	26	23	21	20	19	18	17	17	15	13
4.5	22	23	21	19	18	17	16	16	16	14	12
5	20	21	19	18	17	16	15	14	14	13	11
5.5	19	20	18	17	16	15	14	13	13	12	10
6	18	18	17	15	14	14	13	12	12	11	9
7	16	16	15	14	13	12	12	11	11	10	8
8	15	15	13	12	12	11	10	10	10	9	8

Таблица 2.12

Средняя наработка протяжек из сталей Р9, Р18, Р6АМ5 между отказами.
Чугуны шестой группы обрабатываемости.

V, м/мин	Наработка чистовой части, м	Наработка черновой части (м) при подаче черновых зубьев S_{zc} мм/зуб на сторону														
		0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.25	0.30	0.35	0.4
2	101	339	317	301	289	270	257	247	238	228	216	205	185	170	158	148
3	132	265	248	235	226	211	201	192	186	178	168	160	144	132	123	116
4	115	222	208	198	189	177	168	161	156	149	141	135	121	111	104	97

5	103	194	181	172	165	155	147	141	136	130	123	117	106	97	90	85
6	94	174	162	154	148	138	131	126	122	117	110	105	95	87	81	76
7	87	158	148	140	135	126	120	115	111	106	100	96	86	79	73	69
8	82	146	136	129	124	116	110	106	102	98	93	88	79	73	68	64
9	77	136	127	120	115	108	103	98	95	91	86	82	74	68	63	59
10	73	127	119	113	108	101	97	92	89	85	81	77	69	64	59	56
11	70	120	112	106	102	95	91	87	84	80	76	73	65	60	56	52
12	67	114	106	101	97	91	86	83	80	76	72	69	62	57	53	50
13	64	108	101	96	92	86	82	79	76	73	69	66	59	54	50	47
14	62	103	97	92	88	83	78	75	73	70	60	63	56	52	48	45
15	60	99	93	86	85	79	75	72	70	67	63	60	54	50	46	43

Таблица 2.13

Средняя наработка протяжек из сталей Р9, Р18, Р6АМ5 между отказами. Чугун седьмой группы обрабатываемости.

V, м/мин	Наработка чистовой части, м	Наработка черновой части (м) при подаче черновых зубьев S_{zc} мм/зуб на сторону														
		0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.25	0.30	0.35	0.4
2	99	195	183	174	166	156	148	142	137	134	126	120	108	99	82	87
3	81	158	143	136	130	122	116	111	107	104	99	94	84	77	72	68
4	71	128	120	114	109	102	97	92	90	87	83	79	71	65	60	57
5	63	112	105	99	95	89	85	81	78	76	72	69	62	57	53	50
6	58	100	93	89	85	80	76	73	70	68	65	61	55	51	47	44
7	54	91	85	81	78	73	69	66	64	62	59	56	50	46	43	40
8	50	84	78	75	71	67	64	61	59	57	54	52	46	43	40	37
9	47	78	73	69	66	62	59	57	55	53	50	48	43	40	37	35
10	45	73	68	65	62	58	55	53	51	50	47	45	40	37	35	32
11	43	69	64	61	59	55	52	50	48	47	44	42	38	35	33	31
12	41	65	61	58	56	52	49	47	46	45	42	40	36	33	31	29
13	39	62	58	55	53	50	47	45	44	43	40	38	34	31	29	27
14	38	59	56	53	51	48	45	43	42	41	38	36	33	30	28	26
15	37	57	54	51	49	46	43	41	40	39	37	35	32	29	27	25

Таблица 2.14

Рекомендуемые подачи черновых зубьев

V, м/мин	Группа обрабатываемости													
	1		2		3		6		7,8		9	10		
	Группа качества протягиваемой поверхности													
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
До 3	0.18	0.23	0.14	0.18	0.12	0.15	0.16	0.2	0.14	0.18	0.12	0.16	0.15	0.2
3 – 6	0.14	0.19	0.12	0.15	0.1	0.12	0.13	0.17	0.11	0.15	0.1	0.13	0.12	0.17
6 - 10	0.12	0.15	0.10	0.12	0.08	0.10	0.10	0.14	0.09	0.12	0.08	0.10	0.10	0.14
10 –15	0.10	0.12	0.08	0.10	0.06	0.06	0.08	0.12	0.07	0.10	0.06	0.08	0.08	0.12

Для скорости $v = 9$ м/мин и подачи чистовых зубьев $S_{zч} = 0.02$ мм устанавливаем наработку чистовой части $T = 56$ м. По той же скорости резания и стойкости черновых зубьев $T = 59$ м. находим подъем черновых зубьев $S_{z0} = 0.18$ мм на зуб на сторону. Для второй группы обрабатываемости и первой группы качества при скорости резания $v = 9$ м/мин по таблице 2.14 ограничиваем подъем черновых зубьев до $S_{z0} = 0.12$ мм. Поправочные коэффициенты на наработку принимаем по таблице 2.15: $K_{Tb} = 0.7$, $K_{TP} = 1$; $K_{Tз} = 1$; $K_{Td} = 1$;

$K_{To} = 1$; $K_{Tm} = 1$. Смазочно-охлаждающая жидкость - масло индустриальное И-12А.

Таблица 2.15

Поправочные коэффициенты на наработку протяжек для различных условий работы

В зависимости от вида и группы качества протягиваемых поверхностей

Перетачивание протяжек по поверхности	Протягиваемые поверхности	K_{Tb} при группе качества протягиваемой поверхности			
		1	2	3	4
Передней	Отверстия цилиндрические, многогранные; пазы и наружные поверхности сложного профиля	0.7	1.0	1.5	2.0
	Отверстия шлицевые и фасонные	0.5	0.8	1.2	-
Задней	Пазы простого профиля	0.5	0.6	1.0	1.4
	Наружные простого профиля	0.5	1.0	1.6	2.3

В зависимости от схемы резания

Схема резания	Переменного резания и трапецеидальная	Одинарная (протяжка с узкими канавками)	Шахматно-лицевая
K_{TP}	1.0	0.5	0.7

В зависимости от вида заготовки и подготовки поверхности под протягивание

Заготовка	$K_{Tз}$ при поверхности		
	обработанной	необработанной	
		Травленой	Нетравленой
Прокат, штамповка, поковка	1.0	1.0	0.8
Отливка стальная	0.9	0.7	
Отливка чугунная	1.0	0.7	
Отливка из цветных металлов	1.0		

В зависимости от материала протяжки

Материал протяжки	Р12Ф5М	Р6АМ5, Р12Ф3	Р9К10	Р6М5К5, Р6Ф2К8М5	ХВГ
K_{Tm}	1.1	1.0	1.3	1.5	0.5

В зависимости от доводки зубьев протяжки

Зубья	Доведенные	Недовведенные
K_{Td}	1.0	0.75

В зависимости от смазочно-охлаждающей жидкости

Обрабатываемый материал		K_{To} для смазочно-охлаждающей жидкости							
		А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З
Стали	Конструкционные, углеродистые	1.0	1.3	0.8	0.8	0.8	1.0	-	1.0
	Конструкционные, легированные	1.0	1.3	0.8	0.8	-	1.0	0.9	1.0

Чугуны	Серые, ковкие	-	-	-	-	-	1.0	0.9	1.0
	Антифрикционные	-	-	-	-	-	-	-	1.0
Бронзы, латуни		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	-	-	1.2
Алюминиевые сплавы		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	-	-	-

Примечание. Условные обозначения: А – 3-10%-ная эмульсия их эмульсола «Укринол-1»; Б – 5%-ная эмульсия из эмульсола СДМУ-2; В – 5%-ная эмульсия из эмульсола Э-2 (ЭТ-2, ЭГТ); Г – 10%-ная эмульсия из эмульсола Э2; Д – 5-7%-ная эмульсия из эмульсола Т; Е – масло ОСМ-3; Ж – масло индустриальное И-12А, ГИ-20А, З – сульфофрезол.

8. Глубину стружечной канавки h, необходимой для размещения стружки при подъеме черновых зубьев, определяют по формулам

для сливной стружки

$$h = 1.1283\sqrt{Kl_s S_{zc}}$$

для стружки надлома

$$h = 0.8917\sqrt{Kl_s S_{zc}},$$

где l_S - суммарная длина протягиваемых участков, $l_s = 55$ мм;

K - коэффициент помещаемости.

Рекомендуются следующие значения K для сталей всех групп и алюминия: 10 группа обрабатываемости K=3 (допускается K=2,5); 6, 7, 8 и 9 группы обрабатываемости K=2,5 (допускается K=2)

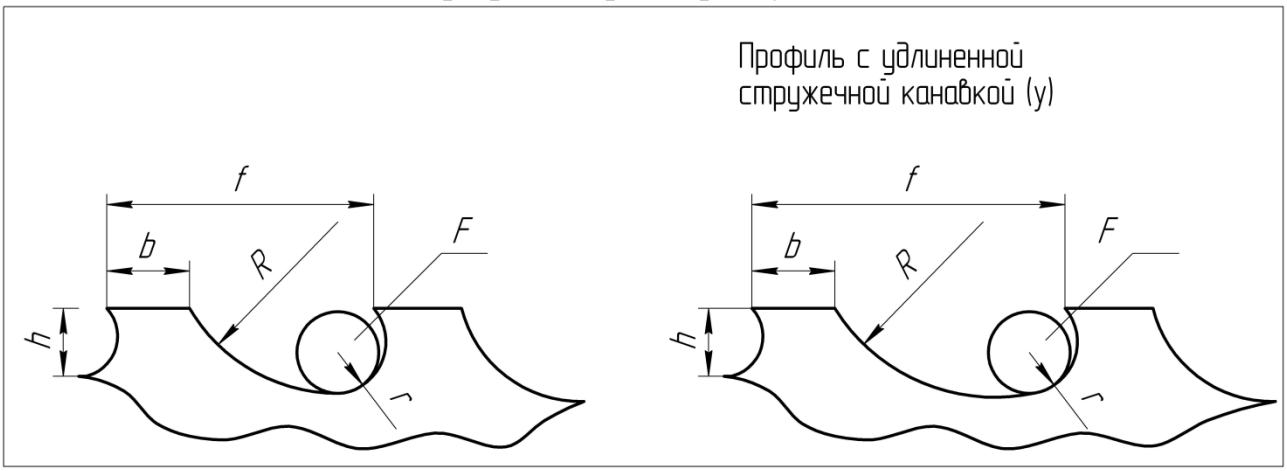
S_{zc} - подъем черновых зубьев, $S_{zc} = 0.12$ мм.

$$h = 1.1283\sqrt{3 \cdot 55 \cdot 0.12} = 5.0206 \text{ мм.}$$

По расчетному значению h выбирают из таблицы 2.16 ближайшее большее значение глубины стружечной канавки. Остальные размеры (b, R, r) принимают из той же таблицы.

Таблица 2.16

Профиль и размеры зубьев



Номер профиля	Размеры, мм					Активная площадь $F_а$, мм^2
	t	h	r	b	R	
1	2	3	4	5	6	7
1 2	4,0	1,6 1,8	0,8 0,9	1,5 1,2	2,5 2,8	1,77 2,54

1 2 3	4,5	1,6 1,8 2,0	0,8 0,9 1,0	2,0 1,7 1,5	2,5 2,8 3,0	1,77 2,54 3,14
1У 2 3	5,0	1,6 1,8 2,0	0,8 0,9 1,0	2,2 2,0	2,5 2,8 3,0	1,77 2,54 3,14
1У 2 3	5,5	1,6 1,8 2,0	0,8 0,9 1,0	2,5 2,7 2,5	2,5 2,8 3,0	1,77 2,54 3,14
2У 3 4	6,0	1,8 2,0 2,5	0,9 1,0 1,3	2,7 3,0 2,0	2,8 3,0 4,0	2,54 3,14 4,90
3У 4 5	7,0	2,0 2,5 3,0	1,0 1,3 1,5	3,5 3,0 2,3	3,0 4,0 5,0	3,14 4,90 7,10
4 5 6	8,0	2,5 3,0 3,6	1,3 1,5 1,8	4,0 3,3 2,5	4,0 5,0 5,5	4,90 7,10 9,60
1	2	3	4	5	6	7
4У 5 6	9,0	2,5 3,0 3,6	1,3 1,5 1,8	4,0 4,3 3,5	4,0 5,0 5,5	4,9 7,1 6,6
5У 6 7	10	3,0 3,6 4,0	1,5 1,8 2,0	4,3 4,5 3,5	5,0 5,5 6,0	7,1 9,6 12,6
6У 7	11	3,6 4,0	1,8 2,0	4,5	5,5 6,0	9,6 12,6
6У 7 8	11	3,6 4,0 4,5	1,8 2,0 2,3	4,5 4,0	5,5 6,0 7,0	9,6 12,6 15,9
7 8 9	12	4,0 4,5 5,0	2,0 2,3 2,5	5,5 5,0 4,0	6,0 7,0 8,0	12,6 15,9 19,6
7У 8 9	13	4,0 4,5 5,0	2,0 2,3 2,5	5,5 6,0 5,0	6,0 7,0 8,0	12,6 15,9 19,6
8У 9 10	14	4,5 5,0 6,0	2,3 2,5 3,0	6,0 4,5	7,0 8,0 10,0	15,9 19,6 28,3
8У 9 10	15	4,5 5,0 6,0	2,3 2,5 3,0	6,0 7,0 5,5	7,0 8,0 10,0	15,9 19,6 28,3
9У 10 11	16	5,0 6,0 7,0	2,5 3,0 3,5	7,0 6,5 5,0	8,0 10,0 11,0	19,6 28,3 38,5
9У 10 11	17	5,0 6,0 7,0	2,5 3,0 3,5	7,0 7,5 6,0	8,0 10,0 11,0	19,6 28,3 38,5
10 11 12	18	6,0 7,0 8,0	3,0 3,5 4,0	8,5 7,0 6,0	10,0 11,0 12,0	28,3 38,5 50,3

10У 11 12	19	6 7 8	3,0 3,5 4,0	8,5 8,0 7,0	10,0 11,0 12,0	28,3 38,5 50,3
11 12 13	20	7 8 9	3,5 4,0 4,5	9,0 8,0 6,0	11,0 12,0 14,0	38,5 50,3 63,6
НУ 12 13	21	7 8 9	3,5 4,0 4,5	9,0 9,0 7,0	11,0 12,0 14,0	38,5 50,3 63,6
НУ 12У 13	22	7 8 9	3,5 4,0 4,5	9,0 9,0 8,0	11,0 12,0 14,0	38,5 50,3 63,6
12У 13 14	24	8 9 10	4,0 4,5 5,0	9,0 10,0 8,5	12,0 14,0 16,0	50,3 63,6 78,5
12У 13У 14	25	8 9 10	4,0 4,5 5,0	10,0 10,0 9,5	12,0 14,0 16,0	50,3 63,6 78,5
12У 13У 14	26	8 9 10	4,0 4,5 5,0	10,5 10,0 10,5	12,0 14,0 16,0	50,3 63,6 78,5
1	2	3	4	5	6	7
13У 14У 15	28	9 10 12	4,5 5,0 6,0	10,5 10,5 9,5	14,0 16,0 20,0	63,6 78,5 113,1
13У 14У 15	30	9 10 12	4,5 5,0 6,0	1 9 11,5	14,0 16,0 20,0	63,6 78,5 113,1
13У 14У 15У	32	9 10 12	4,5 5,0 6,0	12,0	14,0 16,0 20,0	63,6 78,5 113,1

Для обеспечения достаточной жесткости протяжек, имеющих диаметр сечения по дну стружечной канавки меньше 40 мм, необходимо, чтобы глубина стружечной канавки

$$h_Ж = (0.2 \div 0.23) D_0. \qquad (2.2)$$

Меньшее значение коэффициента в формуле выбирают при $D_0 \le 20$ мм. Если $h_Ж$ больше выбранного табличного h, то необходимо, чтобы $S_{z0} = S_{zc}$. Если $h_Ж < h$, то для размещения стружки подача должна быть уменьшена

для сливной стружки

$$S_{z0} = 0.785 \frac{h_{Жm}^2}{Kl_s} \qquad (2.3)$$

для стружки надлома

$$S_{z0} = 1.267 \frac{h_{Жm}^2}{Kl_s}$$

где $h_{Жm}$ принимают ближайшей меньшей к $h_Ж$ по таблице 2.16

Глубину стружечной канавки h, необходимой для размещения стружки при подъеме $S_{z0} = 0.12$ мм, определяем, приняв коэффициент помещаемости

$K = 3$. Величина $h = 5.0206$ мм. По таблице 2.16 ближайшая большая глубина 6 мм.

Для обеспечения достаточной жесткости протяжек, имеющих диаметр сечения по дну стружечной канавки меньше 40 мм, необходимо, чтобы глубина стружечной канавки

$h_Ж = (0.2 \div 0.23) D_0 = 0.23 \cdot 39.2 = 9.016$ мм;

Принимаем $h_Ж = 10$ мм.

Если $h_Ж$ больше выбранного табличного h, то $S_{z0} = S_{zc} = 0.12$ мм.

9. Шаг черновых зубьев выбирают из таблицы 2.16 в зависимости от принятой глубины стружечной канавки. Шаг и профиль переходных зубьев – такие же, как у черновых. Число одновременно работающих зубьев находят по формулам

$$z_p = \frac{L}{t} + 1. \qquad (2.4)$$

Если отверстие имеет расточку длиной L_1 (рис. 2.3, *б*), то количество одновременно работающих зубьев находится по зависимости

$$z_p = \left(\frac{L}{t} + 1\right) - \frac{L_1}{t}$$

Шаг черновых зубьев принимаем из таблицы 2.16. Т.к. глубине $h = 6$ мм соответствует несколько значений шага, то принимаем меньший $t_0 = 14$ мм – профиль №10. Остальные элементы стружечной канавки:

$b_0 = 4.5$ мм, $R = 10$ мм, $r = 3.0$ мм;

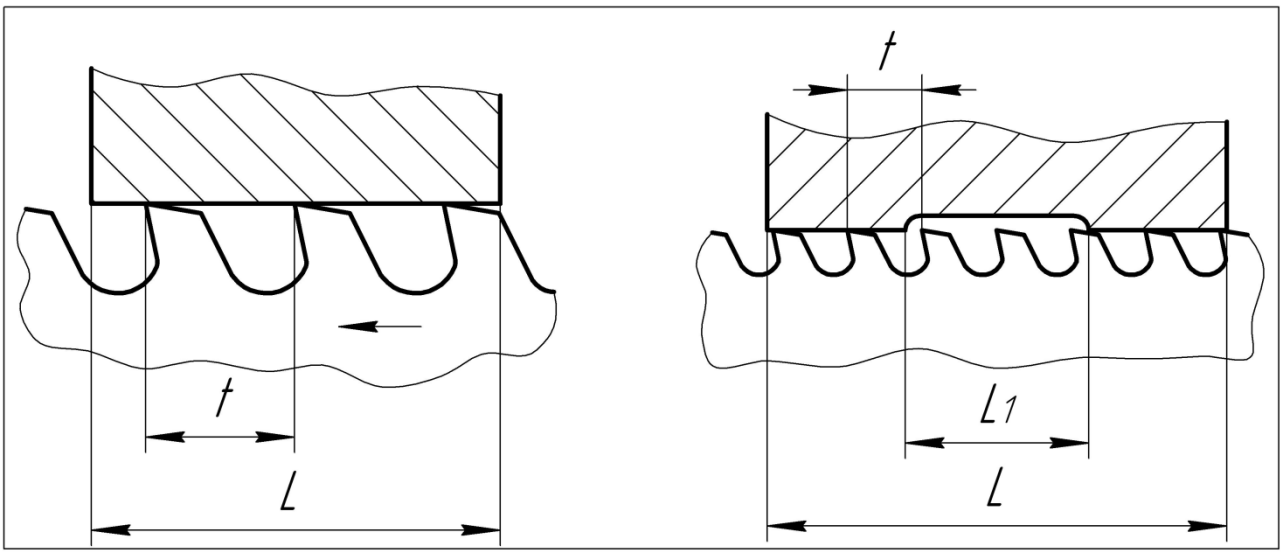
Активная площадь сечения $F_a = 28.3$ мм^2.

Число одновременно работающих зубьев находят по формулам

$$z_p = \frac{L}{t} + 1,$$

где L – длина детали, $L = 55$ мм.

$$z_p = \frac{55}{14} + 1 = 5.$$



а) *б)*

Рис. 2.3. К определению количества одновременно работающих зубьев

10. Сила резания ограничивается тяговой силой станка $P_{ст}$ или прочностью протяжки в опасных сечениях по хвостовику $P_{хв}$ и по впадине перед первым зубом $P_{оп}$. Наименьшую из этих сил следует принимать в качестве максимально допустимой силы резания

$$P_{ст} = (0.8 \div 0.9)Q,$$

где Q - тяговая сила станка

Величина $P_{хв}$ была рассчитана по формуле (2.1), а $P_{оп}$ рассчитывается по формуле

$$P_{оп} = F_{оп}[\sigma]_p, \qquad (2.5)$$

где $F_{оп}$ - площадь опасного сечения перед первым зубом

$$F_{оп} = 0.785(D_0 - 2h)^2,$$

D_0 – диаметр первого зуба протяжки.

Для протяжек на быстрорежущей стали диаметром до 15 мм обычно принимают $[\sigma]_p = 400 \div 500$ МПа; диаметром более 15 мм - $[\sigma]_p = 350 \div 400$ МПа; для протяжек из ХВГ $[\sigma]_p = 250$ МПа.

$$P_{\max} = \min(P_{хв}, P_{ст}, P_{оп})$$

Максимально допустимую силу резания берем минимальной из трех $P_{ст}$, $P_{хв}$, $P_{оп}$; $P_{ст} = 0.8 \cdot 20000 \cdot 9.81 = 156960$ Н; $P_{хв} = 340230$ Н

$$F_{оп} = 0.785(63.6 - 2.7)^2 = 1931\ мм^2$$

$$P_{оп} = 1931 \cdot 400 = 772400 \text{ Н}$$

$$P_{\max} = 156960 \text{ Н}$$

Для протяжек из быстрорежущей стали диаметром более 15 мм - $[\sigma]_p = 350 \div 400$ МПа;

$$P_{оп} = 580.7744 \cdot 400 = 232309.76 \text{ Н}; \ P_{\max} = 156960 \text{ Н}.$$

11. Число зубьев в группе z_c может меняться от 2 до 5; его определяют по формуле

$$z_c = \frac{\pi D q_0 z_p K_{PM} K_{P0} K_{Pk} K_{Pp}}{P_{\max}}, \qquad (2.6)$$

где q_0 принимают по таблице 2.17 в зависимости от S_{zc} и γ; поправочные коэффициенты $K_{PM}, K_{P0}, K_{Pk}, K_{Pp}$ - по таблице 2.18.

Таблица 2.17

Осевая сила резания q_0(Н), приходящаяся на 1 мм длины режущей кромки при протягивании конструкционных углеродистых и легированных сталей в нормализованном, отожженном и горячекатаном состоянии

Подача на зуб S_z, мм	Передний угол γ, °					Подача на зуб S_z, мм	Передний угол γ, °				
	5	10	15	20	25		5	10	15	20	25

0,01	78	48	37	30	26	0,19	492	419	385	362	342
0,015	91	60	47	39	34	0,20	513	433	404	380	364
0,02	100	70	56	48	43	0,21	533	462	423	398	381
0,025	113	80	66	57	51	0,22	558	483	443	416	398
0,03	124	91	76	67	60	0,23	578	504	462	434	416
0,035	136	101	85	75	69	0,24	602	525	481	453	433
0,04	148	112	95	84	77	0,25	626	541	501	471	451
0,045	160	122	105	93	86	0,26	645	562	520	494	468
0,05	171	132	114	103	95	0,27	669	583	539	512	491
0,06	195	153	134	121	112	0,28	693	604	559	531	508
0,07	218	174	153	139	130	0,29	711	624	579	549	526
0,08	241	195	172	157	146	0,30	735	645	597	567	544
0,09	264	216	191	176	165	0,31	752	666	617	586	561
0,10	289	236	212	194	181	0,32	776	687	628	604	579
0,11	311	258	230	212	200	0,33	800	708	655	623	596
0,12	334	277	249	232	217	0,34	823	722	675	641	614
0,13	358	298	269	250	237	0,35	840	743	694	659	631
0,14	380	320	288	268	253	0,36	863	763	713	678	649
0,15	403	338	312	286	271	0,37	887	784	733	696	667
0,16	425	360	327	304	291	0,38	910	805	752	714	684
0,17	446	381	346	325	308	0,39	933	825	771	733	702
0,18	468	402	365	343	325	0,40	957	846	791	751	719

Таблица 2.18

Поправочный коэффициент на осевую силу резания для различных условий работы

В зависимости от состояния и твердости обрабатываемого материала

Обрабатываемые материалы		Твердость НВ	Коэффициент $K_{рм}$
Стали I — V групп обрабатываемости	После закалки и отпуска	< 285 285—336 336—375	1,3 1,3 1,4
	В отожженном, нормализованном и горячекатаном состоянии	130—321	1,0
Инструментальные, легированные и быстрорежущие стали		204—229	1,4
Чугуны серые, ковкие, антифрикционные VI и VII групп обрабатываемости		< 229 ≥ 229	0,5 0,7
Бронзы, латуни VIII и IX групп обрабатываемости		≤110	0,4
Алюминиевые сплавы X группы обрабатываемости		≤110	0,4

В зависимости от вида СОЖ

Материал протягиваемой заготовки	СОЖ	$K_{ро}$

Сталь	В, К А, Е, Ж, З, В, Г, Д	0,8 1,0 1,1
Чугун	Без охлаждения Е, Ж, З	1,0 0,8

В зависимости от способа разделения стружки

Способ разделения стружки	Коэффициент K_{pp}
Выкружками	1,0
Узкими канавками	1,2
Без разделения	1,3

Поправочный коэффициент K_{P0} задают в зависимости от вида СОЖ, которую конструктор назначает по таблице 2.15.

Если подсчитанное значение z_c меньше 2, то дальнейшие расчеты ведут для $z_c = 2$. Если z_c - дробное число, большее двух, то его округляют до ближайшего большего числа.

Если z_c больше пяти, то при $z_c = 5$ определяют q_0:

$$q_0 = \frac{z_c P_{\max}}{\pi D z_p K_{PM} K_{P0} K_{Pk} K_{Pp}}.$$

Из таблицы 2.17 берут новое значение подачи по ближайшему значению

q_0, меньшему, чем расчетное.

Число зубьев в группе определяем по формуле (2.6), где $q_0 = 249$ МПа для $S_{z0} = 0.12$ мм и $\gamma = 15°$; $z_p = 4; K_{PM} = 1.3; K_{PO} = 1.0; K_{Pk} = 1.0; K_{Pp} = 1.0,$

$$z_c = \frac{3.14 \cdot 40 \cdot 249 \cdot 5 \cdot 1.3 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}{156960} = 1.3;$$

Принимаем $z_c = 2$

12. Силу протягивания определяют по формуле

$$P = \frac{\pi D q_0 z_p K_{PM} K_{P0} K_{Pk} K_{Pp}}{z_c}$$

Расчетная сила протягивания $P = \frac{3.14 \cdot 40 \cdot 249 \cdot 5 \cdot 1.3 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}{2} = 101641.8$ Н.

13. Полный припуск на диаметр распределяют между черновыми, переходными и чистовыми зубьями

Полный припуск

$$A = D_{\max} - D_{0\min} \qquad (2.7)$$

Припуск на черновые зубья

$$A_0 = A - \left(A_П + A_Ч\right), \qquad (2.8)$$

где припуск на переходные зубья $A_П$ берется из таблицы 2.19, на чистовые зубья - $A_Ч$ - из таблицы 2.20.

Таблица 2.19

Подъемы на переходных группах, припуск на диаметр на переходную часть и число переходных зубьев

Круглые протяжки

Подъем на черновых зубьях на сторону S_{z0}, мм	Число зубьев в группе на черновой части	Подъем $S_{zП}$ на сторону (мм) на переходную группу				При-пуск на диаметр $A_П$,мм	Число пере-ход-ных зубьев
		Перву ю	Вто-рую	Тре-тью	Четвер-тую		
До 0.03	2-3 4-5	-	-	-	-	-	-
0.04–0.06	2-3 4-5	0.02 -	- -	- -	- -	0.04 -	2 -
0.07-0.10	2-3 4-5	0.04 0.02	0.03 -	- -	- -	0.14 0.04	4 2
0.11-0.15	2-3 4-5	0,05 0,03	0.03 -	- -	- -	0.16 0.06	4 2
0.16-0.20	2-3 4-5	0.08 0.05	0.06 0.03	0.03 -	- -	0.16 0.16	4 4
0.21-0.25	2-3 4-5	0.11 0.07	0.09 0.05	0.06 0.03	0.03 -	0.58 0.30	8 6
0.25-0.30	2-3 4-5	0.14 0.09	0.09 0.06	0.06 0.03	0.03 -	0.64 0.36	8 6
0.30-0.40	2-3 4-5	0.17 0.11	0.12 0.06	0.06 0.03	0.03 -	0.76 0.40	8 6

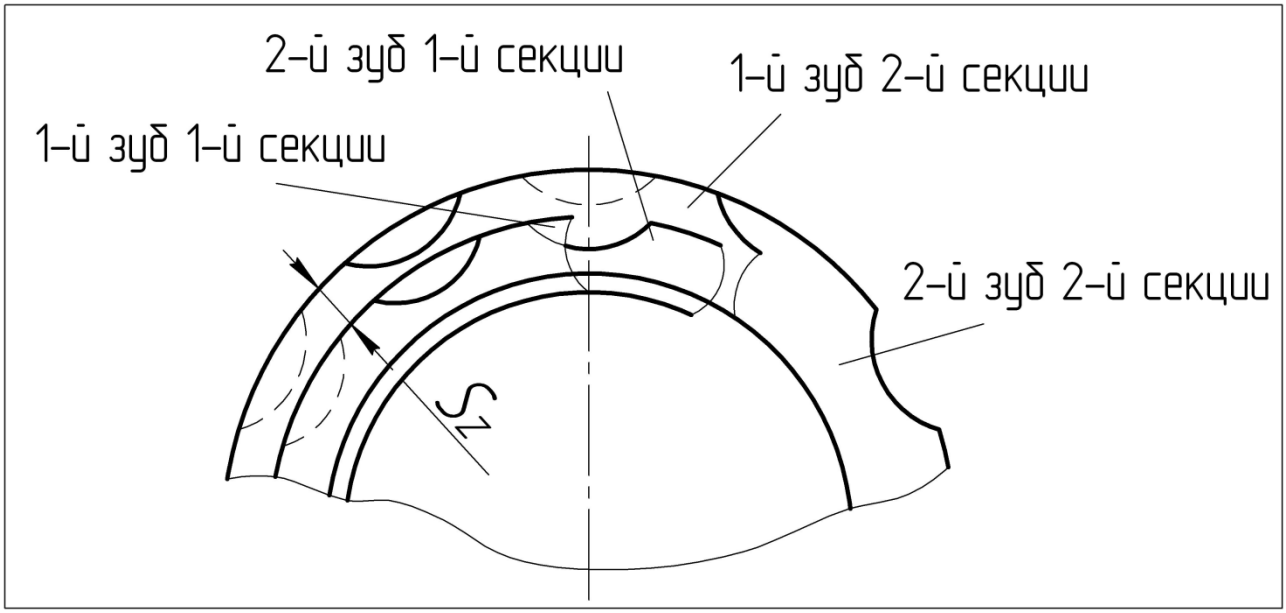
Шлицевые протяжки

Подъем на черновых зубьях на сторону, мм	Подъем на сторону на переходные зубья, мм		Припуск на диаметр $A_{ш.п}$, мм	Число пере-ходных зубьев шлицевых $z_{ш.п}$	Число пере-ходных зубьев круглых $z_{к.п}$
	$S_{п1}$	$S_{п2}$			
0,045 0,08 0,14 0,14	- 0,03 0,06 0,08	- - 0,03 0,04	- 0,06 0,18 0,24	- 2 4 4	- 1 2 2

Таблица 2.20

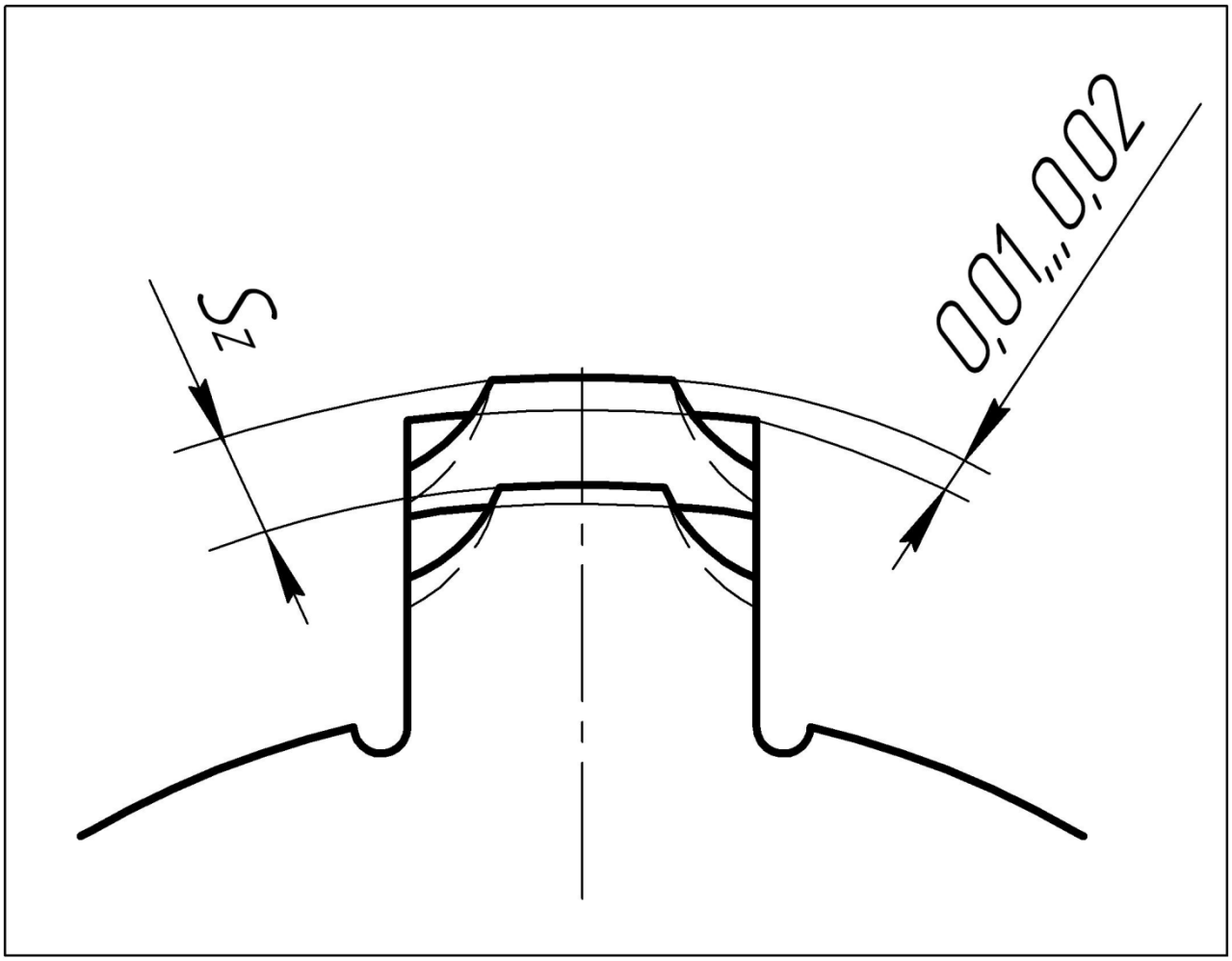
Подъемы чистовых зубьев, припуск, число чистовых и калибрующих зубьев

Круглые и плоские протяжки



Группа качества	Число секций из двух зубьев при подаче S_{z4}, мм			Общее число чистовых зубьев $z_{к.ч}$	Припуск на чистовую часть на диаметр $A_{к.ч}$, мм	Число калибрующих зубьев $z_{к.к}$
	0,02	0,01	0,005			
1	2	2	2	12	0,14	7
2	1	2	2	10	0,10	6
3	1	2	—	6	0,08	5
4	1	1	—	4	0,06	4

Шлицевые протяжки



Зубья	Группа качества	Число зубьев или число групп из двух зубьев при подъеме S_{z4}, мм		Общее число зубьев или число групп из двух $z_{ш.ч}$	Припуск на диаметр $A_{ш.ч}$, мм	Число калибрующих зубьев $z_{ш.к}$
		0,02	0,01			
Шлицевые	1	2	3	5	0,14	5
	2	1	2	3	0,08	4
	3	2	—	2	0,08	3
Круглые	1, 2	2	2	4	0,12	4
	3	2	1	3	0,10	3

Полный припуск определяем по формуле (2.6): $A = 40.05 - 39.2 = 0.85$ мм. Припуск на черновые зубья находим по формуле (2.7), где $A_{П} = 0.16$ мм, $A_{Ч} = 0.10$ мм, $A_0 = 0.85 - (0.16 + 0.10) = 0.59$ мм.

14. Вычислить число черновых зубьев

$$i_0 = \frac{A_0}{2S_{z0}}, \qquad (2.9)$$

Если i_0 получается дробным, его округляют до ближайшего меньшего целого числа. При этом остаточную часть припуска определяют по формуле

$$A_{ост} = A_0 - 2S_{z0}i_0$$

В зависимости от значения остаточный припуск может быть отнесен к черновой, переходной или чистовой частям.

Если половина остаточного припуска превышает подъем зубьев на сторону первой переходной группы, то для его срезания его назначают одну дополнительную группу черновых зубьев.

Если половина остаточного припуска меньше подъема на сторону первой переходной группы, но не менее 0.02 – 0.03 мм, то остаточный припуск добавляется к припуску на переходную часть. Если же половина остаточного припуска меньше 0.02 – 0.03 мм, то остаточный припуск суммируется с припуском на чистовые зубья, число которых соответственно увеличивают. Микрометрическая часть остаточного припуска суммируется с припуском на последние чистовые зубья.

Число групп черновых зубьев

$$i_0 = \frac{A_0}{2S_{z0}} = \frac{0.59}{2 \cdot 0.12} = 2.46,$$

Принимаем $i = 2$.

Остаточная часть припуска

$$A_{ост} = A_0 - 2S_{z0}i_0 = 0.85 - 2 \cdot 0.12 \cdot 2 = 0.37 \text{ мм.}$$

Так как $A_{ост} > S_{zn1}$, то $A_{ост}$ оставляем в черновой части и увеличиваем число групп на единицу; $i_0 = 3$.

15. Число черновых зубьев

$$z_0 = i_0 z_{c0},$$

где i_0 - принятое окончательное число групп черновых зубьев после распределения остаточного припуска.

Число переходных, чистовых и калибрующих зубьев выбирают из таблиц 2.19, 2.20 и корректируют в зависимости от распределения остаточного припуска. Общее число всех зубьев протяжки

$\sum z = z_0 + z_П + z_Ч + z_k$.

$z_0 = 3 \cdot 3 = 9$, число переходных зубьев $z_П = 4$, чистовых зубьев $z_Ч = 10$ и число калибрующих зубьев $z_k = 6$.

Общее число всех зубьев протяжки $\sum z = 9 + 4 + 10 + 6 = 29$.

16. Длина режущей части протяжки

$$L_p = t_0(z_0 + z_П) + \sum t_Ч + \sum t_k,$$

где $\sum t_Ч$ и $\sum t_k$ — суммы переменных шагов соответственно чистовых и калибрующих зубьев.

Шаги чистовых и калибрующих зубьев – переменные, состоящие из трех значений. Меньший шаг t_1 принимают из таблицы 2.21.

Первый шаг на чистовой части (между первым и вторым чистовыми зубьями) имеет большее значение - t_3. Профиль стружечной канавки для всех трех шагов одинаковый (т.е. одинаковы h, b, r, R), выбирают из таблицы 2.16. по меньшему шагу t_1 и средней глубине профиля.

В тех случаях, когда получается нежелательно малая ширина зуба, снижающая полный период стойкости, ее следует увеличить путем изменения профиля стружечной канавки в пределах выбранного шага t_1. При этом необходимо проверять помещаемость стружки в канавке при подаче $S_{zЧ} = 0.02$ мм.

$t = 14$ мм, $t_1 = 10$ мм, $t_2 = t_1 + 1 = 10 + 1 = 11$ мм, $t_3 = t_1 + 2 = 10 + 2 = 12$ мм.

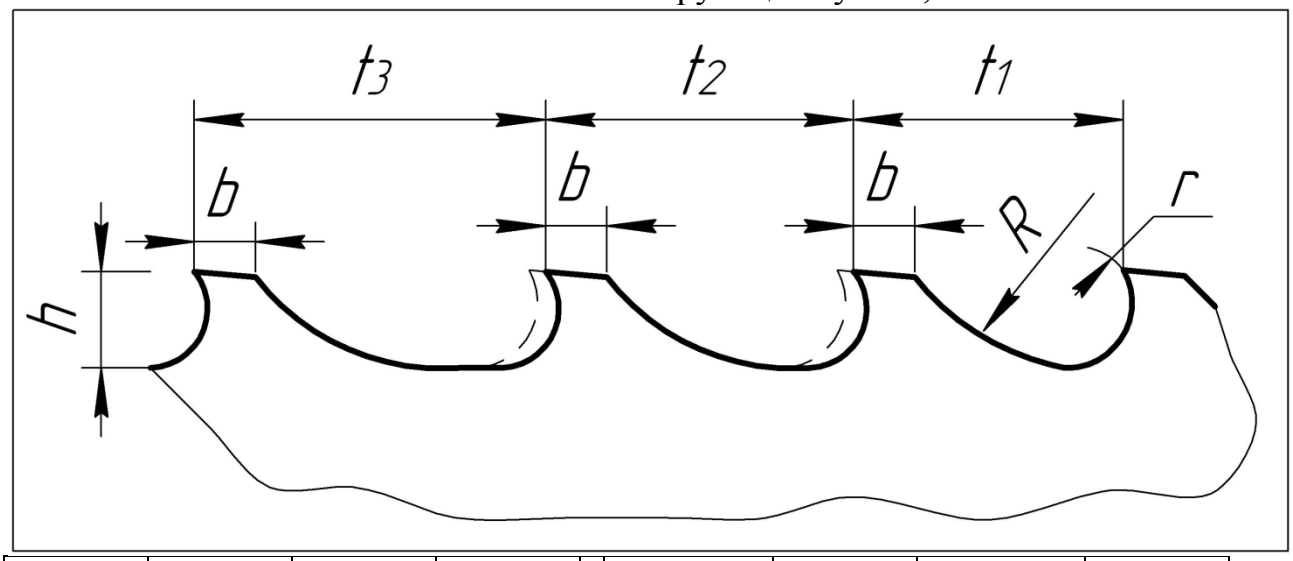
Размеры профиля h, b, r, R - одинаковые для всех трех шагов.

Для $t_1 = 10$: $h = 4$ мм, $r = 2$ мм, $b = 3.5$ мм, $R = 6$ мм.

$L_P = 24 \cdot (9 + 4) + (12 + 11 + 10) \cdot 3 + (12 + 11 + 10) \cdot 2 + 12 = 357$ мм.

Таблица 2.21

Шаги чистовых и калибрующих зубьев, мм



t	t_3	t_2	t_1		t	t_3	t_2	t_1

4,0 4,5 5,0 5,5 6,0 6,5 7,0 8,0 9,0 10,0 11,0 12,0 13,0 14,0	$t_1 + 1$	$t_1 + 0,5$	4,0 4,0 4,0 4,0 4,5 5,0 5,5 6,0 6,0 7,0 7,0 8,0 9,0 10,0		15 16 17 18 19 20 21 22 24 25 26 28 30 32	$t_1 + 2$	$t_1 + 1$	11 11 12 13 14 14 15 16 17 18 19 20 20 22
	$t_1 + 2$	$t_1 + 1$				$t_1 + 4$	$t_1 + 2$	

Примечание. Размеры профиля чистовых и калибрующих зубьев *h, b, r* устанавливают для всех трех шагов одинаковыми в зависимости от шага черновых зубьев t.

17. Диаметр калибрующих зубьев D_k и диаметр последнего чистового зуба можно принимать равными максимальному предельному размеру отверстия $D_k = D_{\max}$.

Диаметр калибрующих зубьев $D_K = D_{\max} = 40.05$ мм.

18. Для назначения числа выкружек и их ширины на черновых зубьях весь периметр стружки, срезаемый одной группой, разделяют на равные части между зубьями группы (рис. 3.1). На каждый зуб приходится часть периметра:

$$l_z = \frac{\pi D}{z_c}.$$

Стружка, срезаемая каждым зубом, равномерно распределяются между его несколькими режущими секторами, расположенными на равном расстоянии друг от друга и разделенными между собой выкружками.

Число режущих секторов, а значит, и выкружек определяют по формуле

$$N = \frac{l_z}{Б}, \qquad (2.10)$$

где *Б* – ширина режущего сектора, рекомендуется $Б = (1.0 \div 1.3)\sqrt{D}$ для протяжек с диаметров менее 100 мм и $Б = (1.0 \div 1.2)$мм для протяжек с диаметром больше 100 мм.

Подставив в формулу (2.10) значения l_z и *Б* получим

Для протяжек диаметром меньше 100 мм

$$N = \frac{(2.4 \div 3.1)\sqrt{D}}{z_c} = \frac{3 \cdot \sqrt{40.05}}{2} = 9.49;$$

для протяжек диаметром более 100 мм

$$N = \frac{(0.25 \div 0.3)D}{z_c}.$$

Значение N округляют до ближайших больших четных чисел.

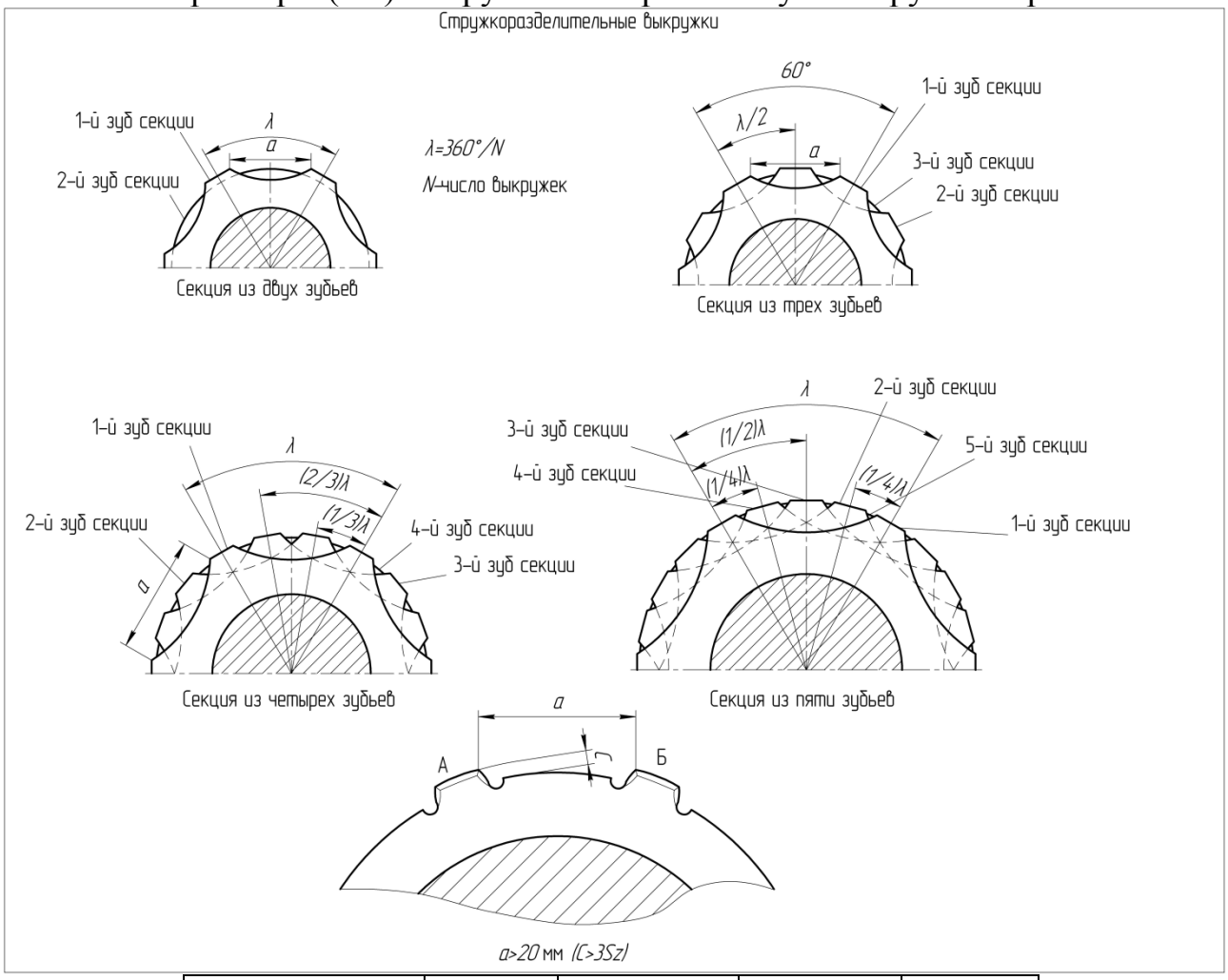
Ширину выкружки определяют по формуле

$$a_0 = \frac{\pi D\left(z_c - 1\right)}{N z_c} = \frac{3.14 \cdot 40.05 \cdot \left(2-1\right)}{10 \cdot 2} = 6.29;$$

Число выкружек и ширину черновых зубьев можно определить по таблице 2.22

Таблица 2.22

Число и размеры (мм) выкружек на черновых зубьях круглых протяжек.



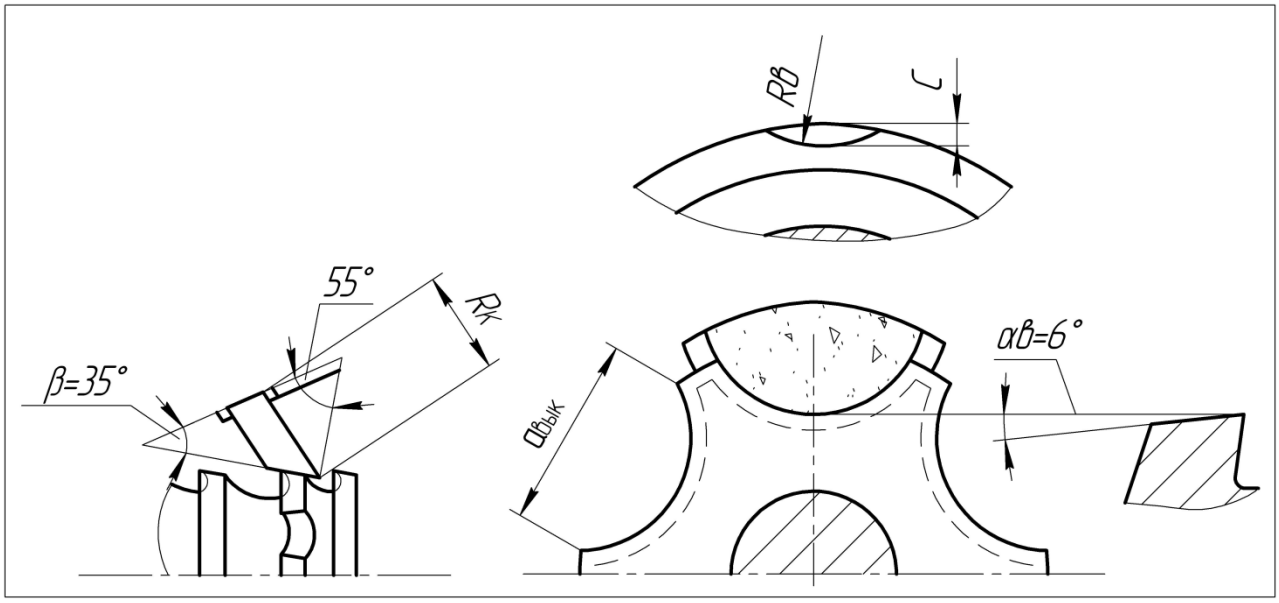
Диаметр зубьев	$z_c = 2$		$z_c = 3$		$z_c = 4$		$z_c = 5$	
	N	a_k	N	a_k	N	a_k	N	a_k
6-7	4	2.5	-	-	-	-	-	-

7-8		3.0						
8-9		3.5						
9-10		4.0						
10-11		4.5						
11-12		5.0						
12-13		5.5						
14-15		6.0						
15-16	6	4.0	4	8.0	-	-	-	-
16-17		4.5		8.5				
17-18		5.0		9.0				
18-19		5.0		9.5				
19-20		5.0		10.0				
20-22		5.5		11.0				
22-24		6.0		12.0				
24-25		6.5		13.0				
25-26	8	5.0	6	9.0	4	15.0	-	-
26-28		5.5		9.5		16.0		
28-30		6.0		10.0		17.0		
30-32		6.0		11.0		18.0		
32-34		6.5		11.5		19.0		
34-36		7.0		12.0		20.0		
36-38		7.5		13.0		21.0		
38-40		7.5		13.0		22.0		
40-42	10	6.5	6	14.0	4	24.0	-	-
42-45		7.0		15.0		26.0		
45-48		7.5		16.0		28.0	4	30.0
48-50		7.5		17.0		28.0		30.0
50-52		8.0		18.0	6	20.0		32.0
52-55		8.5		19.0		21.0		34.0
55-60	12	7.5	8	15.0		22.0		36.0
60-63		8.0		16.0		24.0		38.0
63-65		8.5		17.0		25.0		40.0
65-70		9.0		18.0		26.0		42.0
70-72		9.5		19.0		28.0		45.0
75-80	14	9.0		20.0		30.0		48.0
80-85		9.5		21.0		32.0	6	34.0
85-90		10.0		22.0		34.0		36.0
90-95		10.5		24.0		36.0		38.0
95-100		11.0		25.0		36.0		40.0
100-105	16	10.0	10	21.0	8	30.0		42.0
105-110		11.0		22.0		32.0		45.0
110-120		11.5		24.0		34.0		48.0
120-125		12.0		26.0		36.0		52.0
125-130		12.0		28.0		38.0		55.0
130-140		13.0		28.0		40.0		55.0

Радиус выкружек R_B назначают в зависимости от ширины выкружки и диаметра протяжки; значения R_B приведены в таблице 2.23. Там же даны наибольшие допустимые радиусы шлифовального круга. Для обеспечения свободного прохождения стружки в нижней части профиля выкружки необходимо, чтобы $C > 3S_{z0}$.

Таблица 2.23

Максимальный радиус выкружки $R_в$ и радиус шлифовального круга $R_к$ в зависимости от диаметра протяжки и ширины выкружки



Ширина выкружки a_T, мм	Диаметр протяжки, мм													
	До 10		10-18		18-30		30-50		50-80		80-120		120-180	
	R_k	R_B	R_k	R_B	R_k	R_B	R_k	R_B	R_k	R_B	R_k	R_B	R_k	R_B
До 3	22.5	27	22.5	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3-4	22.5	27	22.5	27	25	30	-	-	-	-	-	-	-	-
4-6	22.5	27	22.5	27	25	30	25	30	-	-	-	-	-	-
6-8	-	-	22.5	27	25	30	25	30	25	30	-	-	-	-
8-10	-	-	-	-	25	30	25	30	25	30	30	36	-	-
10-12	-	-	-	-	-	-	30	36	30	36	30	36	-	-
12-15	-	-	-	-	-	-	30	36	30	42	35	42	40	48
15-20	-	-	-	-	-	-	30	36	30	42	40	48	45	54

Принимаем $a_0 = 7$ мм.

Радиус выкружки $R_B = 30$ мм.

Радиус шлифовального круга $R_K = 25$ мм.

Число выкружек и их ширина на черновых зубьях $N = 10,\ a_0 = 7$ мм.

19. Число выкружек для переходных и чистовых зубьев рассчитывают с округлением до ближайшего целого числа по формуле

$N = 1.45\sqrt{D} = 1.45 \cdot \sqrt{40.05} = 9.18;$ Принимаем $N = 10.$

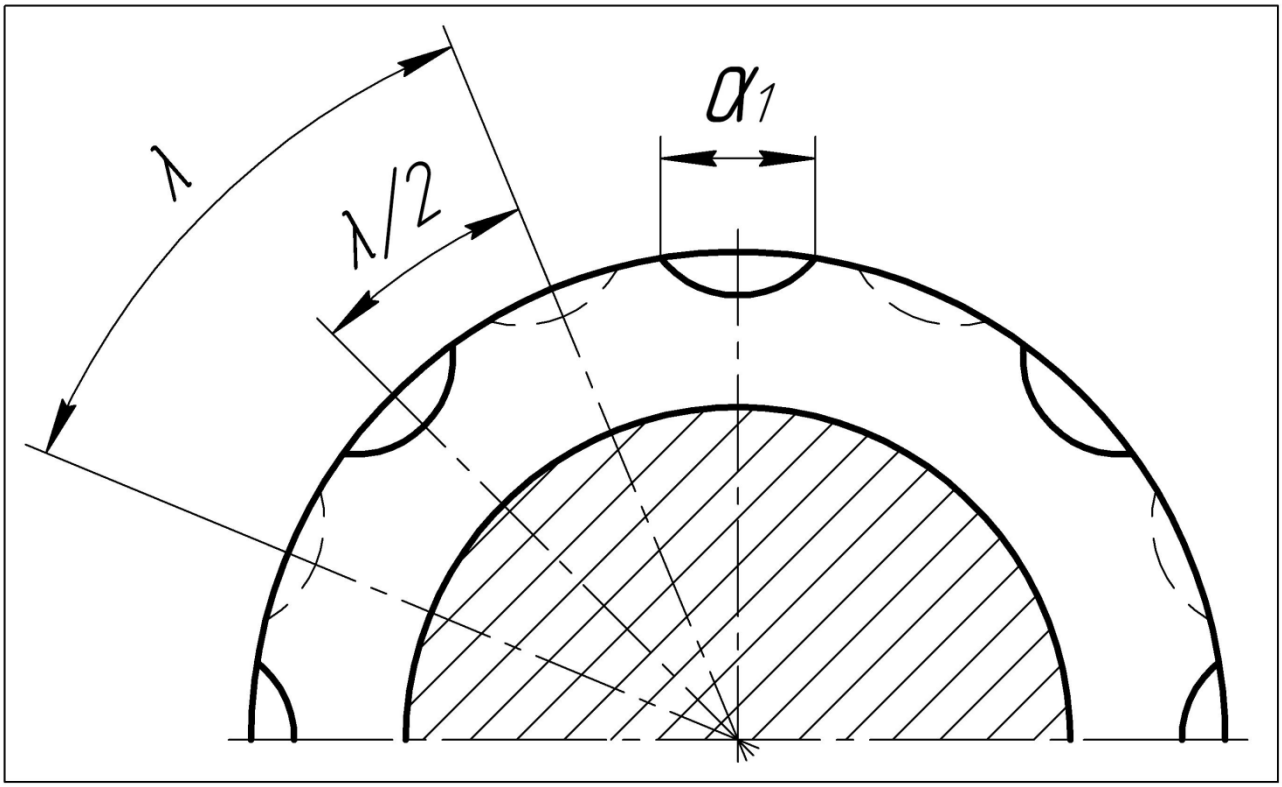
Ширину выкружек (мм) на переходных и чистовых зубьях для обеспечения перекрытия выкружек режущими секторами последующих зубьев принимают на 2 – 3 мм меньше, чем на черновых

$a_П = a_0 - (2 \div 3) = 7 - 2 = 5$ мм.

Число выкружек и ширину можно принимать по таблице 2.24.

Таблица 2.24

Число и размеры (мм) выкружек на чистовых зубьях круглых протяжек



Диаметры зубьев протяжки	$z_c = 2$		Диаметры зубьев протяжки	$z_c = 2$		Диаметры зубьев протяжки	$z_c = 2$	
	N	a_1		N	a_1		N	a_1
6-7	4	1.8	24-25	6	5.0	60-63	12	6.0
7-8	4	2.0	25-26	8	3.5	63-65	12	6.5
8-9	4	2.2	26-28	8	4.0	65-70	12	7.0
9-10	4	2.5	28-30	8	4.5	70-75	12	7.5
10-11	4	3.0	30-32	8	4.5	75-80	14	7.0
11-12	4	3.5	32-34	8	5.0	80-85	14	7.5
12-13	4	4.0	34-36	8	5.0	85-90	14	8.0
13-14	4	4.0	36-38	8	5.5	90-95	14	8.5
14-15	6	4.5	38-40	10	5.5	95-100	16	9.0
15-16	6	3.0	40-42	10	4.5	100-105	16	7.0
16-17	6	3.5	42-45	10	5.0	105-110	16	8.0
17-18	6	3.5	45-48	10	5.5	110-120	16	8.5
18-19	6	3.5	48-50	10	5.5	120-125	16	9.0
19-20	6	3.5	50-52	10	6.0	125-130	16	9.0
20-22	6	4.0	52-55	12	6.5	130-140	16	10.0
22-24	6	4.5	55-60	12	6.5			

Число выкружек на переходных и чистовых зубьях $N_ч = 10, a_П = a_ч = 5$ мм

20. Диаметр передней направляющей принимают равным наименьшему диаметру отверстия до протягивания с полем допуска $e8$. В тех случаях, когда у отверстия под протягивание есть большие отклонения от цилиндрической формы или когда отверстия предварительно не обработано после штамповки и отливки, переднюю направляющую выполняют с тремя широкими лысками, расположенными под углом 120° друг к другу, с таким расчетом, чтобы ширина оставшихся цилиндрических поверхностей была равна 8 – 12 мм.

Длину передней направляющей выбирают в зависимости от отношения длины протягивания к диаметру протяжки:

При $\frac{l}{D} > 1.5$, $l_{пн} = 0.75l$, при $\frac{l}{D} < 1.5$, $l_{пн} = l$.

Диаметр и длина направляющей части $D_{пн} = 39.2e8$, $l_{пн} = l = 75$ мм, так как $\frac{l}{D} = \frac{55}{40} = 1.4 < 1.5$.

21. Длина переходного конуса выбирается из таблицы 2.25

Таблица 2.25

Длина переходного конуса

Диаметр протяжки, мм	До 30	30 – 70	Свыше 70
Длина направляющего конуса, $l_{ПК}$, мм	15	20	25 – 30

$l_{ПК} = 20$ мм.

22. Расстояние от переднего торца протяжки до первого зуба определяют по формуле (рис. 2.4).

$L_1 = l_1 + l_2 + l_3 + l + 25$

Размер l_1 принимают в зависимости от диаметра D хвостовика:

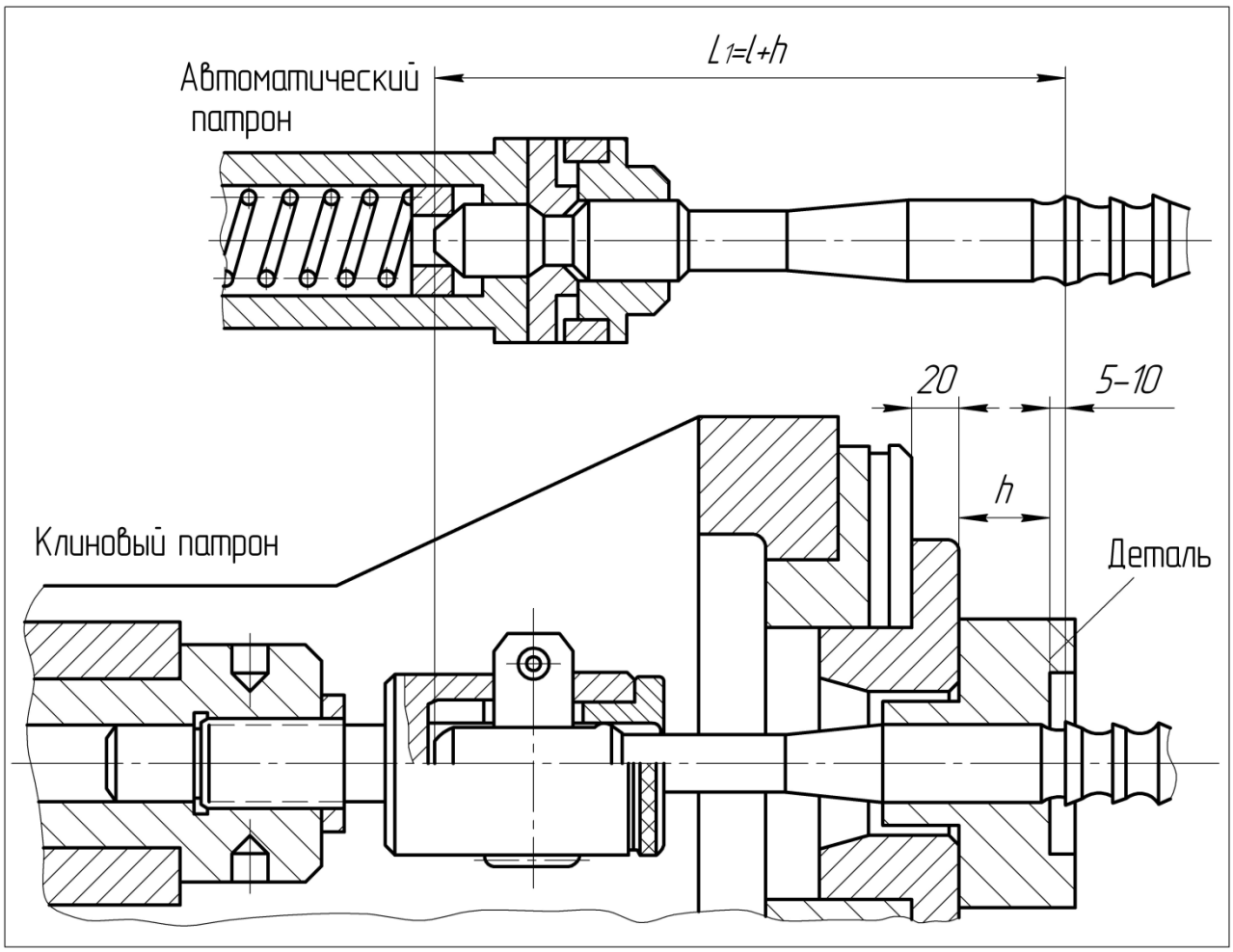
$D_{хв}$, мм	12—20	22—28	32—50	55—70
l_1, мм	115	150	160	205

Для протяжных станков 7Б64, 7Б65, 7Б66, 7Б66-1, 7623, 7633, 7723 $l_2 = 15$ мм, $l_3 = 50$ мм, а для станков 7Б55, 7Б56, 7Б57, 7733 $l_2 = 25$ мм, $l_3 = 40$ мм.

Таблица 2.25а.

Некоторые сведения об эксплуатационных возможностях протяжных станков

Модель станка	Тип патрона	Минимальный размер от торца хвостовика протяжки до первого режущего зуба, мм	Тяговое усилие, Н	Наибольший ход каретки или ползуна, мм
751	Клиновой	$140 + h'$	100000	1350
7510	Клиновой	$190 + h'$	100000	1400
7А510	Быстросменный, автоматический	$190 + h'$	100000	1250
7520	Клиновой	$200 + h'$	200000	1600
7А520	Быстросменный автоматический	$200 + h'$	200000	1600
7530Сз (спец)	Быстросменный автоматический	570 (включая длину детали h')	200000	1600
7530м (спец)	Автоматический и клиновой	580	300000	1800
7540	Автоматический и клиновой	$400 + h'$ $350 + h'$	400000	2000
МП6	Быстросменный автоматический	$370 + h'$	550000	1800



Примечания. 1. Размер L_1 дан с учетом зазора (5-10 мм) между торцом обрабатываемой детали и первым режущим зубом.
2. Приведенные данные рассчитаны по размерам планшайб патронов, прилагаемых заводом-изготовителем к станкам.
3. *h'*— расстояние от опорного торца до торца обрабатываемой детали со стороны входа протяжки к мм.

Рис. 2.4. Схема расчета длины от переднего торца протяжки до первого зуба

Расстояние от переднего торца протяжки до первого зуба определяют по формуле

$$L_1 = 200 + h',$$

где *h'* – расстояние от опоры торца до торца обрабатываемой детали со стороны входа протяжки (длина детали).

$$L_1 = 200 + 55 = 255 \text{ мм}.$$

23. Диаметр задней направляющей $D_{зн}$ принимают равным наименьшему предельному размеру протянутого отверстия с полем допуска по $f7$, а в некоторых случаях по $f9$.

Рекомендуемая длина задней направляющей приведена в таблице 2.26.

Таблица 2.26

Размеры задней направляющей.

Диаметр D, мм	До 13	13-23	23-30	30-35	35-45	45-55	55-60	60-70	70-90	90-100	Свыше 100
Длина $l_{ЗН}$, мм	20	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80
Фаска, c, мм	0.5	1	1.6	1.6	1.6	2	2	2	2.5	2.5	3

Тяжелые или длинные протяжки, а также все протяжки, работающие в автоматическом цикле, изготовляют с задним хвостовиком, которые могут быть такими же, как передние, или меньших размеров, так как они служат только для поддержки протяжки.

Рекомендации по длине задних хвостовиков приведены в таблице 2.27.

Таблица 2.27

Длина задних хвостовиков

Диаметр заднего хвостовика $D_{з.хв}$, мм	Длина заднего хвостовика $l_{з.хв}$, мм
12-22	100
25-50	125
63-70	140

Диаметр и длина задней направляющей $D_{ЗН} = 40f7$ мм, $l_{ЗН} = 35$ мм. Длина $l_{з.хв} = 125$ мм. Фаска c = 1.6 мм. Диаметр заднего хвостовика принимается меньшим, чем диаметр калибрующих зубьев $D_{з.хв} = 40f7$ мм.

24. Общая длина протяжки равна сумме длин передней части L_1, режущей части L_P, задней направляющей $l_{ЗН}$ и заднего хвостовика $l_{з.хв}$.

$L = L_1 + L_P + l_{ЗН} + l_{з.хв}$.

Общая длина $L = 255 + 357 + 35 + 125 = 772$ мм. Принимаем $L = 770$ мм.

Диаметры зубьев показаны в таблице 2.28. Чертеж протяжки показан на рисунке 2.5.

Таблица 2.28

Диаметры зубьев протяжки

Вид зубьев	черновые									переходные				чистовые										калибрующие					
Задний угол	3°									3°				2°										1°					
Допуск	-0,59									-0,01				-0,01										-0,005					
Диаметр зубьев D	39,2	39,28	39,36	39,44	39,51	39,58	39,65	39,72	39,79	39,79	39,85	39,90	39,95	39,95	39,97	39,98	39,99	40	40,01	40,02	40,03	40,04	40,05	40,05	40,05	40,05	40,05	40,05	40,05
№ зуба	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29

В технических требованиях к чертежу протяжки указывается материал режущей части (с указанием ГОСТа), материал хвостовика, твердость режущей части, направляющих и хвостовика.

25. Расчет основного времени

$$T_0 = \frac{L_{p.x}}{1000\upsilon q} K_1 i,$$

где q — число одновременно обрабатываемых заготовок;

K_1 — коэффициент, учитывающий обратный ускоренный ход;

i — число рабочих ходов.

Длина рабочего хода протяжки

$$L_{р.\,х} = l_п + l + l_{доп}.$$

Длина рабочей части протяжки $l_п = L - l_1$. По условию $L = 770$ мм, $l_1 = 255$ мм, l = 35 мм. Тогда $l_n = 770 - 255 = 515$ мм.

Перебег $l_{доп}$ = 30 ... 50 мм; принимаем $l_{доп}$ = 50 мм.

Таким образом, $L_{р.\,х}$ = 515 + 35 + 50 = 600 мм.

Коэффициент $K_1 = 1 + \frac{\upsilon}{\upsilon_{o.x}}$,

где $\upsilon_{о.\,х}$ – скорость обратного хода (у станка 7А520 $\upsilon_{о.\,х}$ = 20 м/мин);

υ – скорость резания (см. п.6)

$$K_1 = 1 + \frac{9}{20} = 1,45.$$

По условию обрабатывается одна заготовка, т. е. q = 1;

число проходов i = l,

$$T_0 = \frac{600}{1000 \cdot 9 \cdot 1} \cdot 1,45 \cdot 1 = 0,097 \text{ мин.}$$

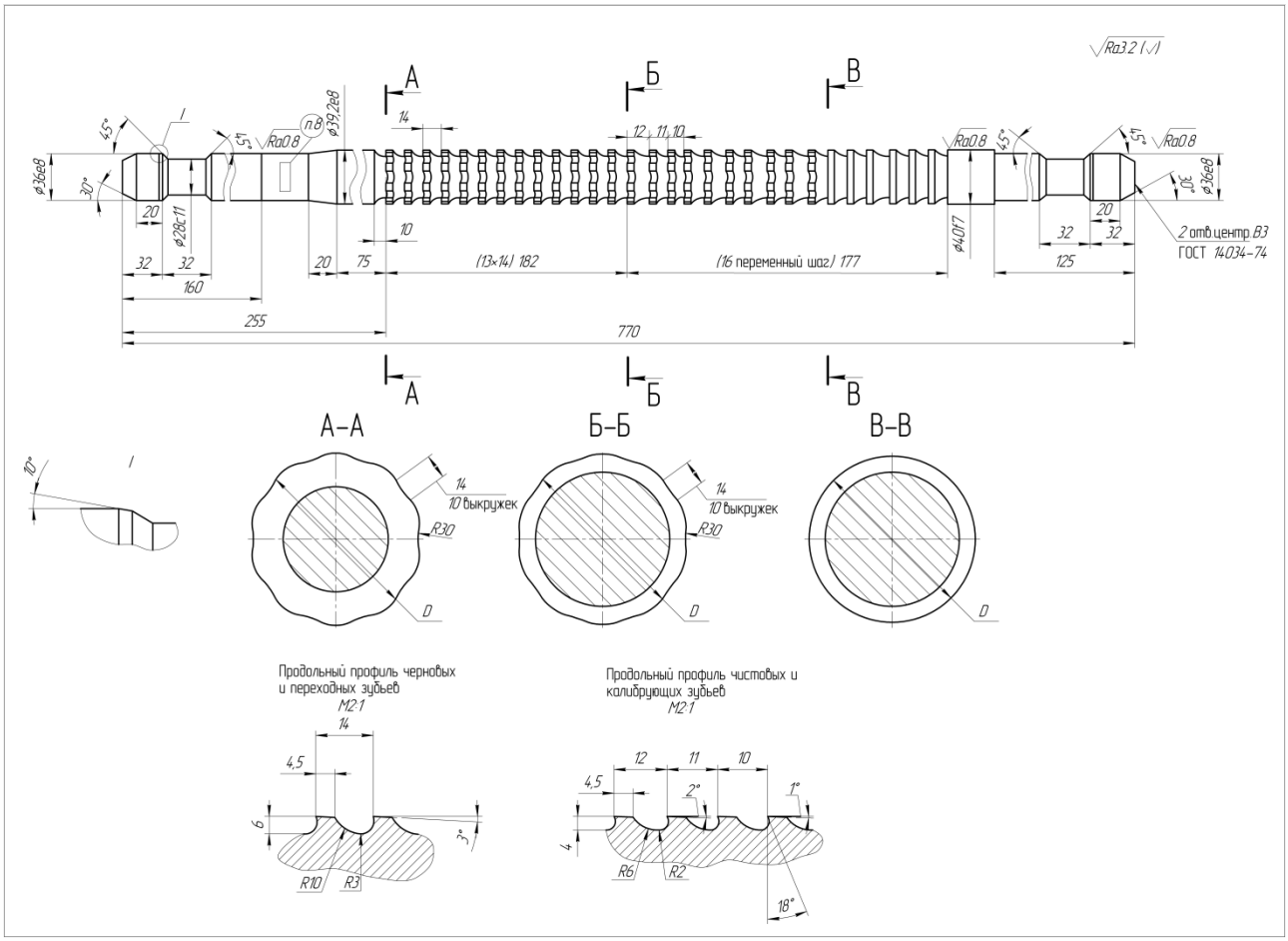


Рис. 2.5. Образец чертежа протяжки переменного резания

2.3. Методика и пример проектирования комбинированной протяжки для обработки прямобочных шлицев

Исходные данные.

1. Протягиваемая заготовка: материал, твердость по Бринеллю HB, состояние (после нормализации, отжига, закалки), вид, подготовка поверхности под протягивание, диаметр отверстия до протягивания, внутренний диаметр шлицев, наружный диаметр шлицев и квалитет наружной поверхности шлицев, ширина шлицев с допусками, число шлицев, размер и угол фаски шлицевых пазов (если чертеж детали не задан, то конструктор назначает его сам), параметр шероховатости поверхностей, наибольшая длина протягивания.
2. Станок: тип, модель, тяговая сила, диапазон скоростей, длина хода штока, тип патрона, размеры опорной плиты, состояние
3. Характер производства
4. Возможности инструментального производства.

Пример исходных данных.

1. Протягиваемая заготовка: материал – сталь 40Х; твердость на операции протягивания $HB \le 229$; состояние – после отжига, отверстие под протягивание получено зенкерованием, диаметр до протягивания $d_0 = 35.1H11\left(^{+0.16}\right)$, внутренний диаметр шлицев $d = 36H7\left(^{+0.025}\right)$; наружный диаметр шлицев $D = 42H12\left(^{+0.25}\right)$, ширина шлицевых впадин $b = 7D9\left(^{+0.076}\right)$; число шлицев $z = 8$; размер фаски $0.5 \times 45°$, параметр шероховатости поверхностей $Ra \le 2.5$ мкм по d, $R_z \le 20$ мкм по b, $Rz \le 20$ по D, длина протягивания $l = 80$ мм.
2. Станок: горизонтально-протяжной 7Б56, тяговая сила $Q = 196000$ Н; максимальная длина хода штока $L_{\max} = 1600$ мм, диапазон рабочих скоростей $1.5 - 11.5$ м/мин, состояние удовлетворительное.
3. Производство – крупносерийное.
4. Длина протяжки, допустимая возможностями инструментального производства 1500 мм.

Расчет шлицевой протяжки независимо от схемы расположения зубьев аналогичен расчету протяжек для обработки цилиндрических отверстий с первого по 10 пункты, дальше начинаются отличия.

Порядок расчета. Расчет начинаем с установления схемы расположения зубьев на протяжке, группы обрабатываемости и группы качества. Принимаем предварительно схему расположения зубьев ФКШ (фасочные – круглые - шлицевые). Окончательно схема расположения зубьев будет установлена после

>расчета длины круглой части. Если $l_ж > 15l$ то фасочные зубья следует распо-ложить между переходными и чистовыми круглыми зубьям.

1. Группу обрабатываемости устанавливаем по таблице 2.1. Сталь 40Х с $HB \le 229$ относится к первой группе обрабатываемости (сталь вязкая).

2. Группу качества устанавливаем для каждой поверхности шлицевого отверстия отдельно по таблице 2.2. Так как центрирование производится по внутреннему диаметру с $d = 36H7$ и параметром шероховатости поверхности выступов $Ra \le 2.5$, то группа качества поверхности выступов – вторая, боковых сторон и поверхностей впадин – третья.

3. За материал рабочей части протяжки (переходный корпус, передняя направляющая, режущая часть, задняя направляющая и задний хвостовик) принимаем быстрорежущую сталь Р6АМ5 по таблице 2.3.

4. Конструкцию протяжки принимаем с приваренным хвостовиком, материал хвостовика – сталь 40Х. Конструкцию хвостовика и размеры принимаем по ГОСТ 4044-70 (или по таблице 2.4.). Диаметр переднего хвостовика $D_{хв} = 32$ мм, диаметр заднего хвостовика $D_{з.хв} = 25$ мм.

Силу, допускаемую прочностью переднего хвостовика, рассчитываем по формуле (2.1), приняв площадь опасного сечения $F_{оп} = 490.9\ мм^2$ по таблице 2.4 и рекомендуемое напряжение при растяжении $[\sigma]_р = 300$ МПа;

$P_{хв} = 300 \cdot 490.9 = 147270$ Н.

5. Передние и задние углы зубьев протяжки выбираем по таблице 2.5

Передний угол черновых и переходных зубьев $\gamma = 20°$, чистовых и калибрующих $\gamma = 20°$. Задний угол черновых и переходных зубьев $\alpha_0 = 3°$, чистовых $\alpha_ч = 2°$, калибрующих $\alpha_к = 1°$.

6. Скорость резания устанавливаем по таблице 2.6, для круглой части, которая имеет наиболее высокую группу качества (вторую), $v = 7$ м/мин. Так как сталь 40Х является вязкой, то снижаем скорость на 20%, т.е. $v = 7 \cdot 0.8 = 5.6$ м/мин. Эта скорость входит в диапазон скоростей станка.

7. Определяем подачу черновых зубьев по средней наработке между отказами.(по таблице 2.7). Сначала устанавливаем наработку чистовой части при $S_{zч} = 0.02$ мм и $v = 5.6$ м/мин: $T = 83$ мм. Для черновых зубьев при $v = 5.6$ мм и $T = 89$ м и $S_{zc} = 0.25$ мм на сторону. Наработка с учетом поправочных коэффициентов, принятых по таблице 2.15. составляет $T = 83 \cdot 0.8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 66.4$ м.

Для круглой части, предназначенной для обработки поверхности второй группы качества, подачу черновых зубьев ограничиваем рекомендациями таблицы 2.14: для $v = 5.6$ м/мин и поверхности второй группы качества $S_{zc} = 0.19$ мм.

8. Определяем глубину стружечной канавки приняв предварительно коэффициент помещаемости $K = 3$ согласно рекомендациям методики.

Для круглых зубьев

$h = 1.1283\sqrt{3 \cdot 80 \cdot 0.19} = 7.62$ мм.

По таблице 2.16 принимаем ближайшую большую глубину стружечной канавки $h = 8$.

Для фасочных и шлицевых зубьев $h = 1.1283\sqrt{3 \cdot 80 \cdot 0.25} = 8.74$. По таблице 2.16 принимаем $h = 9$. Глубину стружечной канавки, допустимую жесткости протяжки (диаметр сечения по дну стружечной канавки меньше 40 мм) определяем по формуле 2.2.

Для фасочных и круглых зубьев

$h_Ж = 0.23 \cdot 35.1 = 8.073$ мм

для шлицевых

$h_Ж = 0.23 \cdot 36 = 8.28$

Из таблицы 2.16 принимаем ближайшую меньшую по отношению к расчетной глубину $h = 8$ мм для всех частей протяжки.

Так как глубина стружечной канавки для фасочных и шлицевых зубьев принята из условия жесткости протяжки, то для размещения стружки в стружечной канавке уменьшаем подачу по формуле (2.3)

$$S_{z0} = 0.785\frac{8^2}{3 \cdot 80} = 0.209 \approx 0.21 \text{ мм.}$$

Вследствие округления подачи до большего значения коэффициент помещаемости уменьшается до 2.99.

9. Определяем шаг черновых зубьев t_0 и число одновременно работающих зубьев z_p. Шаг черновых зубьев принимаем по таблице 2.16 наименьшим из всех имеющихся и соответствующим данной глубине стружечной канавки $h = 8$ мм: $t_0 = 18$ мм. Остальные элементы профиля $b = 6$ мм; $r = 4$ мм; $R = 12$ мм.

Число одновременно работающих зубьев рассчитываем по формуле (2.4)

$$z_p = \frac{80}{18} + 1 \approx 5$$

10. Определяем максимально допустимую силу резания $P_{\max}$. Принимаем $P_{\max}$ наименьшей из трех сил: $P_{ст}, P_{хв}, P_{оп}$.

$P_{ст} = 0.8 \cdot 20000 \cdot 9.81 = 156960$ Н; $P_{хв} = 147270$ Н (см. п. 4).

Величину $P_{оп}$ определяем по формуле (2.5), приняв $[\sigma]_p = 400$ МПа:

$$P_{оп} = 0.785 \cdot (35.1 - 2 \cdot 8)^2 \cdot 400 = 114550 \text{ Н}$$

Следовательно, принимаем $P_{\max} = P_{оп} = 114550$ Н.

11. Определяют число зубьев в секции z_c. Число зубьев в секции на фасочной, круглой и шлицевой частях шлицевых протяжек может быть неодинаковым. Для обеспечения у поверхности боковых сторон пазов $Ra \le 2.5$ и улучшения условий резания рекомендуется число черновых зубьев в секции на шлицевой части $z_{сш} \ge 2$. Число зубьев в секции на фасочной и круглой частях (если она помещается между фасочной и шлицевой частями) в целях уменьшения длины рекомендуется принимать равным единице, если это допустимо условиями нормального стружкообразования и силой протягивания.

Для создания нормальных условий образования витка стружки длина режущих кромок $B_{\max}$ не должна превышать значений, приведенных в таблице 2.29.

Таблица 2.29

Наибольшая допустимая без разделения стружки длина режущих кромок на круглых и фасочных зубьях шлицевых протяжек

Диаметр протяжки D, мм	До 25	20 – 50	Свыше 50
Длина режущих лезвий B_k, $B_ф$, мм	7	9	12

Если $B_{\max}$ получается больше, то необходимо разделять стружку выкружками и z_c принимать равным двум.

Число зубьев в группе на любой части протяжки схем расположения зубьев ФКШ (фасочные – круглые - шлицевые), допустимое максимальной силой резания,

$$z_c = \frac{B_{\max} z q_0 z_p K_{PM} K_{P0} K_{Pk} K_{Pp}}{P_{\max}}. \qquad (2.11)$$

Для схемы КФШ (круглые – фасочные - шлицевые) число зубьев в группе для круглой части рассчитывают по формуле (2.5).

Для определения z_c на круглой и фасочной частях протяжки нужно в формулу (2.11) подставить вместо $B_{\max}$ соответствующие значения $B_{k\max}$ и $B_{ф\max}$.

Максимальную длину режущих кромок на фасочных зубьях $B_{ф\max}$ (мм) определяют приближенно по формулам:

Для схем ФКШ (рис. 2.6)

$$B_{ф\max} = b + 2c + \left(d - d_0\right)$$

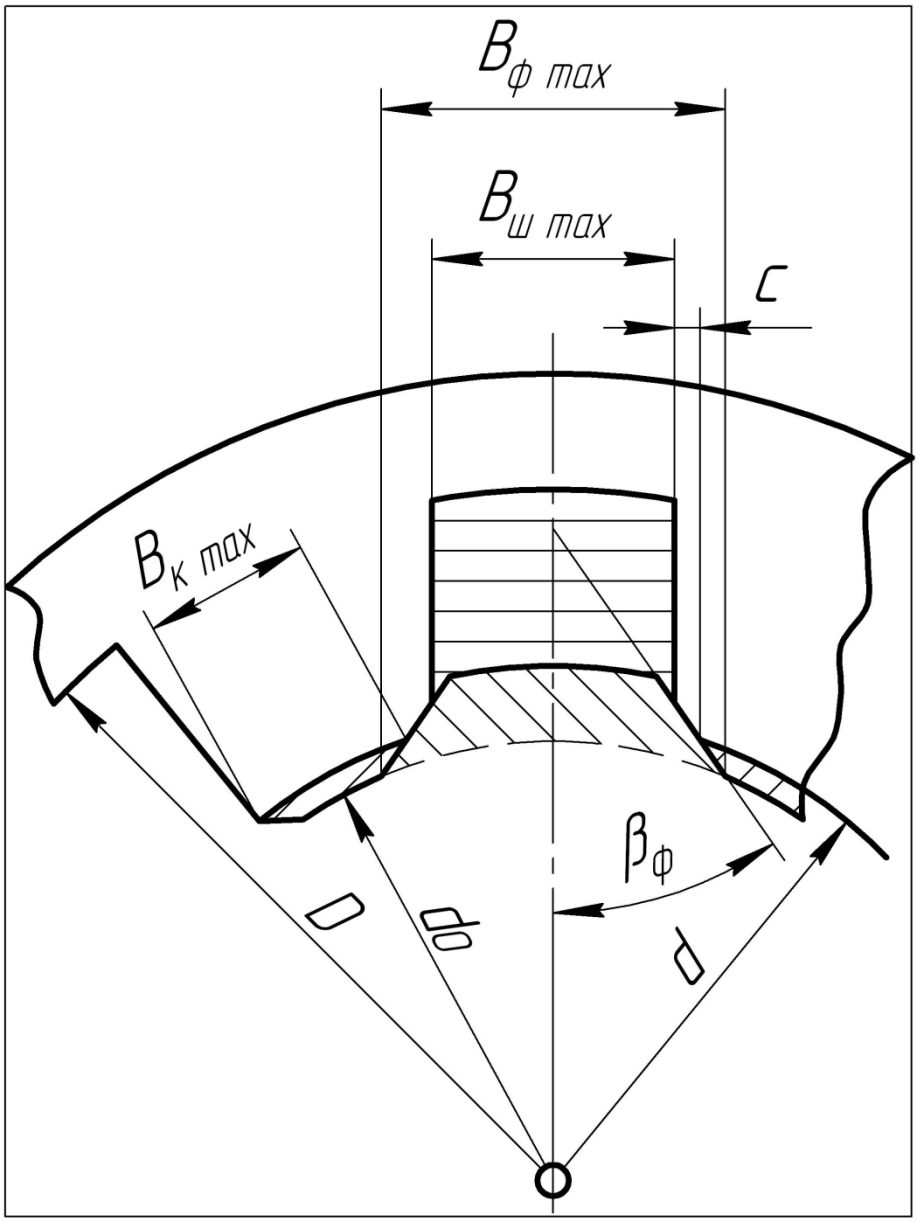


Рис. 2.6. Наибольшая длина режущих кромок на различных зубьях прямобочной шлицевой протяжки

Максимальную длину режущих кромок на круглых зубьях находят только для схемы ФКШ

$$B_{k\max} = \frac{\pi d}{z} - (b + 2c). \qquad (2.12)$$

У протяжек со схемой КФШ круглую часть рассчитывают по методике расчета круглых протяжек.

Длину режущих кромок шлицевых зубьев для протяжек всех схем расположения зубьев принимают равной максимальной ширине паза в пределах допуска $B_ш = B_{\max}$.

Если $B_{ф\max}$ и $B_{k\max}$ не превышают значений, приведенных в таблице 2.16 (т.е. допускается значение $z_c = 1$), а z_c, полученное в результате расчета по формуле (2.5), оказывается большим единицы, то принимают $z_c = 2$. Если по

формуле (2.5) $z_c > 2$, то вариант пропускается и рассчитывается новый с подачей $S_{z0} = S_{zc} - 0.01$ мм.

Если $z_c \le 1$, то принимают $z_c = 1$

$B_{ф\max} = 7 + 2 \cdot 0.5 + (36 - 35.1) = 8.9$ мм

В таблице 2.29 при $B_{ф\max} \le 9$ и $D = 25 \div 50$ мм допускается $z_c = 1$.

Максимальную длину режущих кромок на круглых зубьях определяем по формуле (2.12)

$$B_{k\max} = \frac{3.14 \cdot 36}{8} - (7 + 2 \cdot 0.5) = 6.14 \text{ мм}$$

Значение $B_{k\max}$ меньше значения, при котором допускается работа без разделения стружки; следовательно, принимаем $z_{ck} = 1$.

Максимальная длина режущих кромок на шлицевых зубьях $B_{ш\max} = b_{\max} = 7.076$ мм.

Удельную силу резания q_0 в формуле 2.10 определяем из таблицы 2.17: для $\gamma = 20°$ и $S_{z0} = 0.21$ мм $q_0 = 398$ Н, для $S_{z0} = 0.19$ мм $q_0 = 362$ Н; поправочные коэффициенты находим по таблице 2.18: $K_{PM} = 1$; $K_{Pp} = 1$; $K_{Pk} = 1.1$ для фасочных и шлицевых зубьев, так как группа качества для них третья; для круглых при второй группе качества $K_{Pk} = 1$. Поправочный коэффициент $K_{Po} = 1$ для смазочно-охлаждающей жидкости, принятой по таблице 2.15 (сульфофрезол),

$$z_{сф} = \frac{8.9 \cdot 8 \cdot 398 \cdot 6 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}{114550} = 1.63; \; z_{ck} = \frac{6.13 \cdot 8 \cdot 362 \cdot 6 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}{114550} = 0.93;$$

$$z_{сш} = \frac{7.076 \cdot 8 \cdot 398 \cdot 6 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}{114550} = 1.3.$$

Принимаем $z_{сф} = 2$; $z_{ck} = 1$; $z_{сш} = 2$.

12. Распределяют припуск между разными частями и зубьями протяжек. Весь припуск на протягивание распределяют между отдельными частями протяжки - фасочной, круглой, шлицевой. На круглой и шлицевой частях имеются черновые, переходные и чистовые зубья, между которыми, в свою очередь, распределяют долю припуска, приходящуюся на данную часть. На фасочной части переходных, чистовых зубьев нет, поэтому весь припуск, приходящийся на нее, срезают черновыми зубьями.

Припуск на фасочную часть для схемы ФКШ определяют по формуле

$$A_ф = D_ф - d_{0\min}. \qquad (2.13)$$

Диаметр окружности (D_E), проходящий через точку E пересечения исходных профилей фаски и прямобочного паза, - расчетный диаметр последнего фасочного зуба – находят из построения (рис. 2.7).

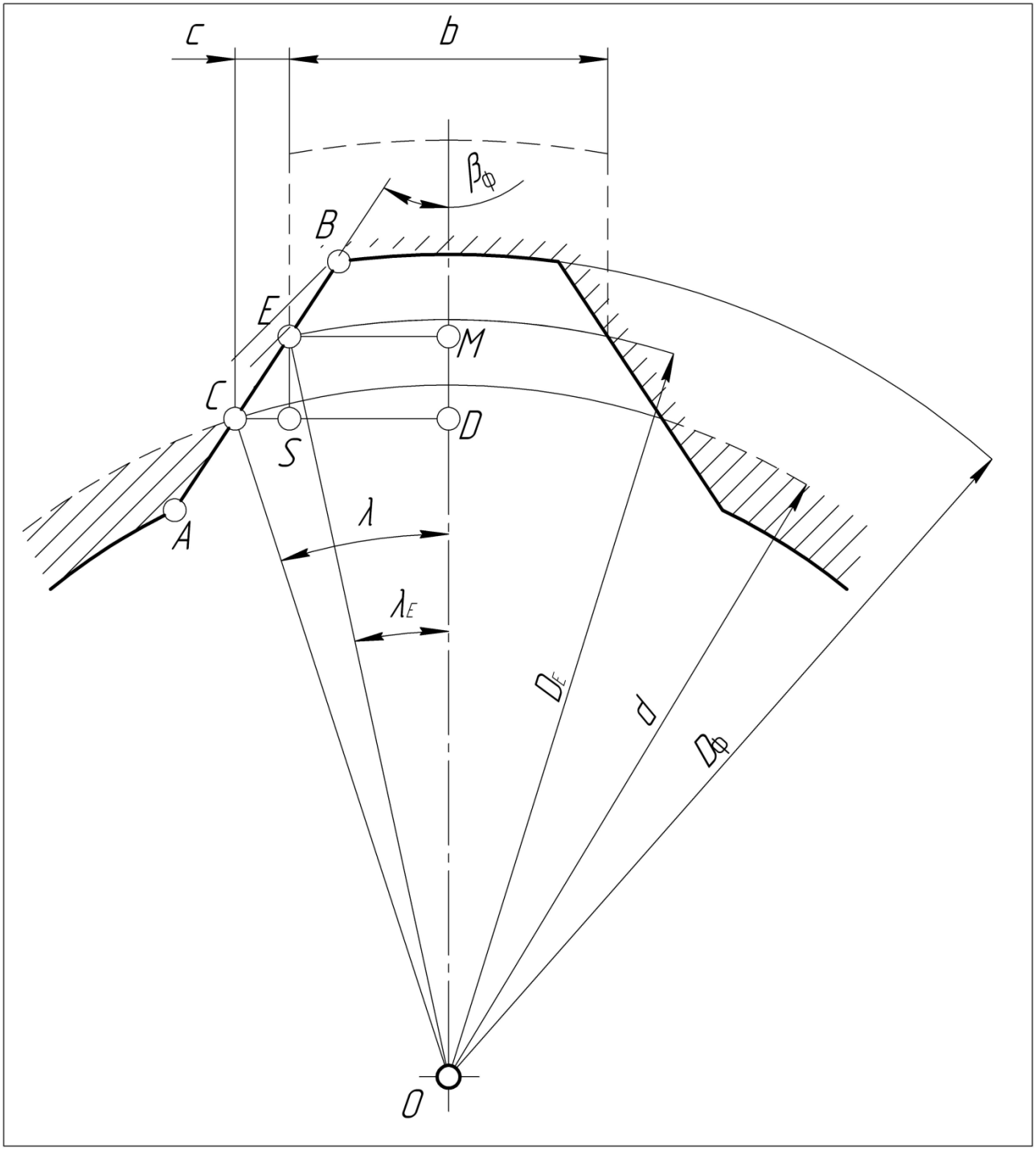


Рис. 2.7. Исходный профиль углового паза с построения для определения диаметра окружности D_E, проходящей через точку E встречи исходных боковых профилей и прямобочного паза

Диаметр D_E рассчитывают в такой последовательности:

$$\lambda = \arcsin\left(\frac{b+2c}{d}\right); \tag{2.14}$$

$$\lambda_E = arcctg\left(\frac{(b+2c)ctg\lambda + 2cctg\beta_\phi}{b}\right), \tag{2.15}$$

$$D_E = \frac{b}{\sin\lambda_E}. \tag{2.16}$$

Для гарантированного получения фаски во впадинах шлицевого отверстия теоретический диаметр последнего фасочного зуба увеличивают на несколько десятых миллиметра:

$$D_ф = D_E + 0.4 \qquad (2.17)$$

Формулы (2.14 – 2.17) справедливы для всех указанных выше схем расположения зубьев на протяжке.

Припуск (мм) на фасочные зубья для схемы КФШ определяют по формуле

$$A_ф = D_ф - d. \qquad (2.18)$$

Для группы качества шлицевого отверстия по внутреннему диаметру (третьей)

$$A'_ф = A_ф - 0.02. \qquad (2.19)$$

Припуск на круглую часть протяжек всех схем

$$A_к = d_{\max} - d_{0\min}. \qquad (2.20)$$

Припуск на черновые зубья круглой части

$$A_{К0} = A_К - \left(A_{КП} + A_{КЧ}\right), \qquad (2.21)$$

где $A_{КП}$ - припуск на переходные круглые зубья, принимают по таблице 2.19; $A_{КЧ}$ - припуск на чистовые круглые зубья принимают по таблице 2.20

Припуск на шлицевую часть протяжек всех схем

$$A_ш = D_{\max} - D_{ш1}, \qquad (2.22)$$

где $D_{ш1}$ - диаметр (мм) первого шлицевого зуба,

$$D_{ш1} = D_E + 2S_{z0}. \qquad (2.23)$$

Первый шлицевой зуб в группу не объединяют, выкружки на нем не делают. При отсутствии фасочных зубьев для первого шлицевого зуба предусматривают групповое построение (два зуба в группе), а диаметр его определяют в зависимости от схемы расположения зубьев.

Припуск между черновыми, переходными и чистовыми шлицевыми зубьями распределяют следующим образом:

$$A_{ш0} = A_ш - \left(A_{шп} + A_{шч}\right), \qquad (2.24)$$

где $A_{шп}$ выбирают по таблице 2.19, $A_{шч}$ по таблице 2.20.

$$\lambda = \arcsin\left(\frac{7.076 + 2\cdot 0.5}{36.025}\right) = 12.9545°;$$

$$\lambda_E = arcctg\left(\frac{\left(7.076 + 2\cdot 0.5\right)ctg\left(12.9545°\right) + 2\cdot 0.5\cdot ctg\left(45°\right)}{7.076}\right) = 11.0876°;$$

$$D_E = \left(\frac{7.076}{\sin\left(11.0876°\right)}\right) \approx 36.8\,мм;$$

$$D_ф = 36.8 + 0.4 = 37.2\ мм,\ A_ф = 37.20 - 35.1 = 2.1\ мм.$$

Припуск на круглую часть

$A_К = 36.025 - 35.1 = 0.925$ мм.

Припуск на черновые зубья круглой части

$A_{K0} = 0.925 - (0.24 + 0.12) = 0.565.$

Припуск на шлицевую часть, а диаметр первого шлицевого зуба по формуле 2.22:

$D_{ш1} = 36.8 + 2 \cdot 0.21 = 37.22$ мм; $A_{ш} = 42.25 - 37.22 = 5.02$ мм.

Припуск на черновые шлицевые зубья определяем по формуле 2.24, в которой $A_{шп} = 0.24$ мм, $A_{шч} = 0.08$ мм:

$A_{ш0} = 5.02 - (0.24 + 0.08) = 4.70$ мм.

13. Находят число групп черновых зубьев i_0, остаточный припуск $A_{ост}$ и распределяют его. Число групп черновых зубьев i_0 (или число зубьев при $z_c = 1$ для фасочных и круглых) на всех частях протяжки (фасочной, круглой и шлицевой при $z_c = 2$) предварительно определяют по формуле (2.9), подставив в нее соответствующие значения A_0 и S_{z0}, принятые для просчитываемой части протяжки. Например, для шлицевой части формула (2.9) будет иметь вид

$$i_{ш0} = \frac{A_{ш0}}{2S_{zш0}}.$$

Полученное дробное число групп черновых зубьев округляют до ближайшего меньшего целого значения. Остаточный припуск, полученный при этом, относят в зависимости от его значения к черновым, переходным или чистовым зубьям. Если половина остаточного припуска превышает подъем зубьев на сторону первой переходной группы, то для срезания ее назначают одну дополнительную группу черновых зубьев. Если половина остаточного припуска меньше подъема на сторону первой переходной группы, но не меньше 0.02 – 0.03 мм, то остаточный припуск добавляют к припуску на переходную часть. Если эе меньше 0.02 мм, то остаточный припуск суммируется с припуском на чистовые зубья, число которых соответственно увеличивают. «Микрометрическую» часть остаточного припуска переносят на последние чистовые зубья. Чтобы не увеличивать чистовую часть, припуск меньше 0.04 мм можно распределить между переходными и чистовыми секциями, увеличив их подъем по 0.01 мм или менее.

$$i_{ф} = \frac{A_{ф}}{2S_{zф}} = \frac{2.1}{2 \cdot 0.21} = 5 \text{ мм}; \; i_{K0} = \frac{A_{K0}}{2S_{z0K}} = \frac{0.565}{2 \cdot 0.19} = 1.49 \text{ мм};$$

$A_{ост.к} = 0.565 - 2 \cdot 0.19 \cdot 1 = 0.185$ мм.

Так как $A_{ост.к} > 2S_{п1}$, то добавляем один черновой круглый зуб с подъемом 0.18 мм, тогда $i_{K0} = 2$; часть остаточного припуска, равная 0.005 мм, срежется первым чистовым зубом;

$$i_{ш0} = \frac{A_{ш0}}{2S_{zш0}} = \frac{4.7}{2 \cdot 0.21} = 11.19; \; A_{остш} = 4.70 - 2 \cdot 0.21 \cdot 11 = 0.08 \text{ мм}.$$

Так как остаточный припуск меньше $2S_{п1}$, то он будет срезан переходными зубьями, число которых будет определено ниже, а число черновых групп $i_{ш0} = 11$.

14. Находят число всех зубьев протяжки Σz. Общее число зубьев для протяжек всех схем определяют по формуле

$$\Sigma z = z_{ф} + z_{k} + z_{ш}; \qquad (2.25)$$

Фасочные зубья – только черновые. Числа круглых z_k и шлицевых $z_ш$ зубьев являются суммами черновых, переходных, чистовых и калибрующих зубьев

$$z_k = z_{ко} + z_{kп} + z_{kч} + z_{kk}, \qquad (2.26)$$

$$z_ш = z_{шо} + z_{шп} + z_{шч} + z_{шk}. \qquad (2.27)$$

Числа всех зубьев на фасочной части и черновых зубьев на круглой части определяют также, как и на круглых протяжках

$$z_{ф} = i_{ф} z_{сф}; \qquad (2.28)$$

$$z_{k0} = i_{k0} z_{ck}; \qquad (2.29)$$

на шлицевой части по формуле

$$z_{ш0} = i_{ш0} z_{сш} + 1. \qquad (2.30)$$

Число черновых зубьев корректируют в зависимости от размещения остаточного припуска. Число переходных зубьев берут в зависимости от припуска принятого из таблицы 2.19. Число чистовых и калибрующих зубьев берут из таблицы 2.20.

$z_{ф} = 5 \cdot 2 = 10.$

Число круглых черновых зубьев рассчитываем по формуле 2.29

$z_{k0} = 2 \cdot 1 = 2$

Число круглых переходных зубьев $z_{kп} = 2$ из таблицы 2.19, число круглых чистовых зубьев $z_{kч} = 4$, число калибрующих зубьев z_{kk} из таблицы 2.20

$z_k = 2 + 2 + 4 + 4 = 12.$

Число шлицевых зубьев определяем по формуле 2.30

$z_{ш0} = 11 \cdot 2 + 1 = 23.$

Число шлицевых переходных зубьев из таблицы 2.19 $z_{шп} = 4$, скорректированное число переходных зубьев за счет остаточного припуска $z_{шп} = 6$, число шлицевых чистовых зубьев $z_{шч} = 2$ (при $z_{сшч} = 1$), число калибрующих зубьев $z_{шк} = 3$:

$z_ш = 23 + 6 + 2 + 3 = 34;\ z = 10 + 12 + 34 = 56.$

15. Подъемы переходных зубьев круглой и шлицевой частей находят из таблицы 2.19 в зависимости от принятого припуска. Подъемы чистовых зубьев круглой и шлицевой частей принимают из таблицы 2.20.

Для круглой части $S_{п1} = 0.08$ мм, $S_{п2} = 0.04$ мм, для шлицевых $S_{п1} = 0.08$ мм, $S_{п2} = 0.04$ мм.

Подъемы чистовых зубьев круглой и шлицевой частей принимаем по таблице 2.20: для круглых $S_{зч1} = 0.02$ мм (два зуба) и $S_{зч2} = 0.01$ мм (два зуба) к подъему первого чистового зуба прибавляем 0.005 мм от остаточного припуска, т.е. $S_{зч3} = 0.015$ мм и $S_{зч4} = 0.01$ мм; для шлицевых $S_{зч} = 0.02$ мм (два зуба).

16. Находят длину режущей части протяжки L_p (мм), шаг и профиль чистовых зубьев. Для протяжек схемы ФКШ

$$L_p = l_ф + l_k + l_ш, \tag{2.31}$$

где

$$l_ф = t_0 z_ф \tag{2.32}$$

Длину круглой l_k и шлицевой частей $l_ш$ определяют как сумму произведений соответствующих величин шагов и числе зубьев:

$$l_k = t_0\left(z_{k0} + z_{kп}\right) + t_ч\left(z_{kч} + z_{kk} - 1\right); \tag{2.33}$$

$$l_ш = t_0\left(z_{ш0} + z_{шп}\right) + t_ч\left(z_{шч} + z_{шk} - 1\right). \tag{2.34}$$

Шаг чистовых и калибрующих зубьев $t_ч = t_к$ берут из таблицы 2.21. и принимают равным среднему шагу. Профиль зубьев, т.е. h, b, R и r выбирают из таблицы 2.16 по шагу $t_ч$.

$l_ф = 18 \cdot 10 = 180$ мм

Шагу $t_0 = 18$ мм соответствует шаг чистовых зубьев $t_{кч} = t_{кш} = t_2 = 14$ мм. Остальные элементы стружечной канавки чистовых зубьев берем из таблицы 2.16. $h = 6$ мм; $b = 4.5$ мм; $R = 10$ мм; $r = 3$ мм.

$l_k = 18(2+2) + 14(4+4-1) = 170$ мм; $l_ш = 18(23+6+1) + 14(2+3-1) = 596$ мм, $L_p = 180 + 170 + 596 = 946$ мм.

17. Силу резания при протягивании на каждой части протяжки рассчитывают по формулам:

на фасочной части

$$P_ф = \frac{B_{ф\max} z q_0 z_p K_p}{z_{сф}}; \tag{2.35}$$

на круглой части для схемы ФКШ

$$P_k = \frac{B_{к\max} z q_0 z_p K_p}{z_{ck}}; \tag{2.36}$$

на круглой части для схемы КФШ

$$P_k = \frac{\pi d q_0 z_p K_p}{z_{ck}}; \tag{2.37}$$

на шлицевой части

$$P_ш = \frac{B_{ш\max} z q_0 z_p K_p}{z_{сш}}, \tag{2.38}$$

где K_P - произведение поправочных коэффициентов из таблицы 2.18

$$P_ф = \frac{8.9 \cdot 8 \cdot 398 \cdot 5 \cdot 1.1}{2} = 77928 \text{ Н}; \; P_k = \frac{6.13 \cdot 8 \cdot 362 \cdot 5 \cdot 1}{1} = 88762 \text{ Н};$$

18. Диаметры калибрующих (круглых D_{kk} и шлицевых $D_{шk}$) зубьев принимают равными максимальному соответственно внутреннему и наружному диаметру шлицевого отверстия.

Допуски на них, а также на другие зубья назначают по ГОСТ 7943-78. Иногда в зависимости от конфигурации деталей диаметр калибрующих зубьев изменяют после испытания новых протяжек.

$D_{kk} = 36.025 - 0.007 = 36.018$ мм; $D_{шk} = 42.25 - 0.016 = 42.234$ мм

19. Находят диаметр впадин фасочных зубьев $D_{ВФ}$ и шлицевых зубьев $D_{ВШ}$. На протяжках со схемой ФКШ $D_{ВФ}$ принимают равной $d_{0\min}$ с полем допуска по $d11$.

Для протяжек со схемой КФШ $D_{ВФ}$ принимают равной $d_{\min}$.

Диаметр впадин на шлицевой части всех принятых схем принимают равным $d_{\min}$ с полем допуска по $f9$ и $d11$ в зависимости от технических требований на расположение шлицевых пазов относительно оси отверстия. При малых допусках соосности отдельных элементов шлицевого отверстия можно применять поле допуска по $e8$. В этих случаях обязательно следует притуплять места переходов поверхности впадины к стружечной канавке, иначе на внутренней поверхности шлицевого отверстия могут появиться задиры.

Диаметр впадин фасочных зубьев - $D_{ВФ} = 35.86d11\left(^{-0.08}_{-0.241}\right)$мм, диаметр впадин шлицевых зубьев $D_{ВШ} = 38f9\left(^{-0.025}_{-0.087}\right)$ мм.

20. Осуществляют расчет числа выкружек N, ширины режущих секторов $Б$, ширины выкружек a, радиуса круга R_k, радиуса выкружек $R_в$ на прорезных зубьях всех частей протяжки всех схем. Прорезные черновые и переходные зубья шлицевой части выполняют с выкружками, так как всегда $z_{сш} = 2$. Выкружки на фасочных зубьях наносятся только тогда, когда число зубьев в секции $z_{сф} = 2$. Число выкружек на шлицевых протяжках равно числу впадин:

$$N_ф = N_ш = z \qquad (2.39)$$

При этом на каждом зубе образуется по две криволинейные фаски. Зачищающие зубья фасок не имеют.

Ширину режущих секторов по технологическим соображениям на прорезных фасочных и шлицевых зубьях назначают одинаковой и определяют по формуле:

$$Б_ф = Б_ш = b - 2f, \qquad (2.40)$$

где f - ширина фаски на шлицевом зубе, берут из таблицы 2.30

Таблица 2.30

Размеры фасок на прорезных шлицевых зубьях

Ширина шлицев, мм	До 3	До 4	До 7	До 9	До 10	До 14	До 16	До 18	До 20
Ширина фасок, мм	0.5	0.8	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.5	5.0

Чистовые шлицевые зубья протяжек для шлицевого отверстия с первой или второй группой качества по наружному диаметру имеют групповое построение ($z_{сшч} = 2$). Прорезные чистовые шлицевые зубья выполняют как черновые и переходные с фасками с обеих сторон.

Чистовые зубья протяжек, предназначенные для протягивания шлицевых отверстий с третьей группой качества, выполняют с подъемом на каждый зуб ($z_{сшч} = 1$), фасок они не имеют. Калибрующие зубья также не имеют фасок.

Ширина выкружек на фасочных и шлицевых зубьях при принятой ширине режущих секторов является величиной переменной; для вычисления радиуса круга это не имеет значения, и поэтому ширину (мм) определяют приближенно по формуле:

$$a_ш = \frac{\pi D}{N} - Б_ш \qquad (2.41)$$

Радиус круга R_k и радиус выкружек $R_в$ определяют по таблице 2.23

Чистовые и калибрующие круглые зубья выполняют без выкружек.

$N_k = 8$; $a_k = 7$ мм; $R_в = 30$ мм; $R_k = 25$ мм; $N_ш = 8$; $f_п = 1$ мм; $Б_ш = 7 - 2 \cdot 1 = 5$ мм; $a_ш = \frac{3.14 \cdot 42}{8} - 5 = 11.5$мм. Для $a_ш = 11.5$мм и $D = 42$ мм; $R_в = 36$ мм и $R_k = 30$ мм.

21. Диаметр и длину передней направляющей определяют так же, как и для круглых протяжек (см. п. 20 методики).

Диаметр передней направляющей $D_{пн} = 35.1e8\left(\begin{smallmatrix}-0.080\\-0.119\end{smallmatrix}\right)$мм, длина передней направляющей $l_{пн} = 0.75 \cdot 80 = 60$ мм, так как $\frac{l}{D} > 1.5$.

22. Длину переходного конуса $l_п$ выбирают из таблицы 2.25. $l_п = 20$ мм

23. Расстояние от переднего торца протяжки до первого зуба определяют в соответствии с п. 22. методики расчета круглых протяжек.

Расстояние от переднего торца протяжки до первого зуба

$L_1 = 160 + 25 + 40 + 80 + 25 = 250$мм.

24. Находят диаметр и длину задней направляющей.

Диаметр задней направляющей $D_{зн}$ принимают равным диаметру впадины шлицев протяжки $D_{зн} = D_{вш}$. Поле допуска на $D_{зн}$ то же, что и на $D_{вш}$.

Тяжелые или длинные протяжки, а также все протяжки, работающие в автоматическом цикле, изготовляют с задними хвостовиками, которые могут быть тех же размеров, что и передние, или меньших, так как они служат только для поддержки протяжки.

Рекомендации по длине задних хвостовиков приведены в таблице 2.27.

Общая длина протяжки равна сумме длин передней части L_1, режущей части $L_р$, задней направляющей $l_{зн}$, и заднего хвостовика $l_{зхв}$.

$L = L_1 + L_р + l_{зн} + l_{зхв}$.

$D_{зн} = 36f9\left(\begin{smallmatrix}-0.025\\-0.087\end{smallmatrix}\right)$ мм, $l_{зн} = 35$ мм.

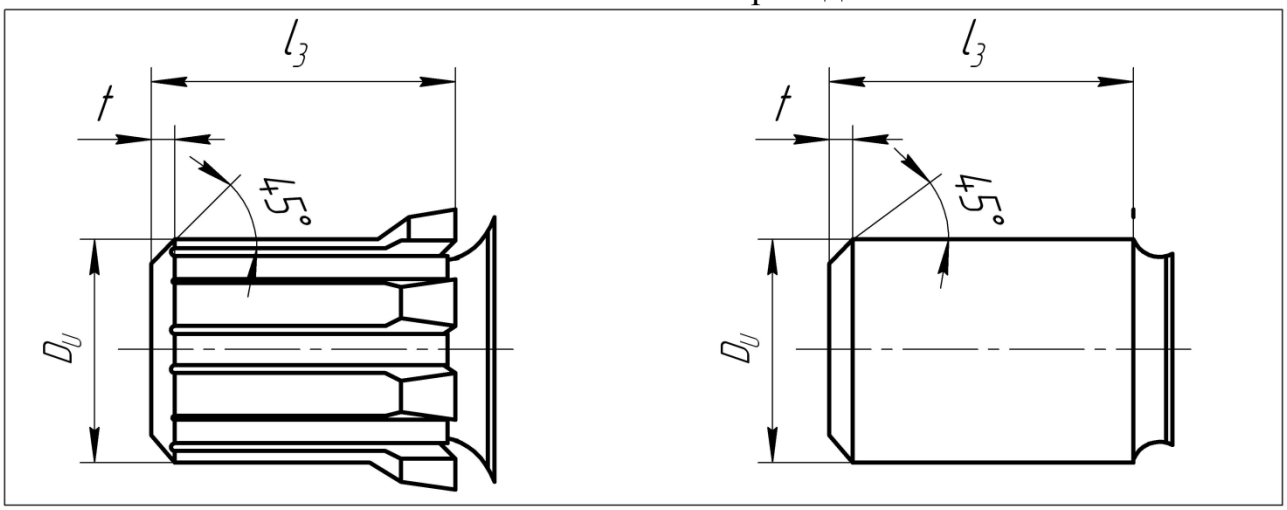
Протяжку выполняется без заднего хвостовика.

Общая длина протяжки $L = 250 + 974 + 35 = 1259$ мм. Округляем до 1260 мм за счет увеличения длины задней направляющей до 36 мм.

25. Если протяжку приходится делить на две – первого и второго рабочего хода, то переднюю направляющую второго рабочего хода изготовляют с шлицевыми выступами, размеры которых берутся по таблице 2.31.

Таблица 2.31

Размеры передней направляющей шлицевых протяжек второго технологического перехода



Диаметр задней направляющей $D_и$	Длина задней направляющей $l_з$	Размер фаски t
До 13	20	0,5
13—23	20	1,0
23—30	25	1,5
30—35	30	1,5
35—40	35	1,5
45—50	40	2,0
55—60	45	2,0
60—70	50	2,0
70—90	60	2,5
90—100	70	2,5
Св. 100	80	3,0

Примечания: 1. Для круглой протяжки $D_и$ равен наименьшему диаметру протянутого отверстия. Предельное отклонение диаметра задней направляющей — по *f*7.

2. Для шлицевой протяжки $D_и$ должен быть меньше внутреннего диаметра шлицевого отверстия на 0,5 — 0,8 мм.

26. Для того, чтобы шлифовальный круг при шлифовке бокового профиля фасочных и шлицевых зубьев не касался поверхности впадин протяжки (направляющая поверхность) на нем делают выборку (рис. 2.8): $h_в = C + 0.5$ мм.

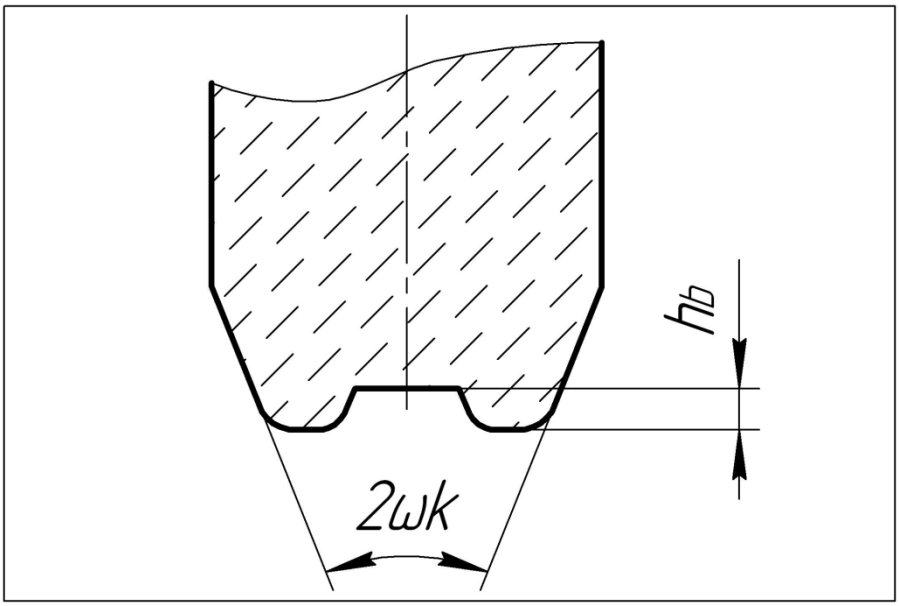


Рис. 2.8. Выборка на абразивном круге

Пример выполнения чертежа шлицевой протяжки приведен на рисунке 2.9

N зуба	1 2 3 4 5 6	7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17	18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37	38 39 40 41 42 43 44
диаметр зубьев	14.1 14.26 14.42 14.58 14.61 14.64	14.8 14.9 14.98 15.06 15.09 15.11 15.11 15.11 15.11 15.11 15.11	17 17.16 17.32 17.48 17.64 17.8 17.96 18.12 18.28 18.44 18.6 18.76 18.92 19.14 19.30 19.46 19.62 19.78 19.81 19.84	20.0 20.05 20.05 20.05 20.05 20.05 20.05
допуск	-0.016	-0.007	-0.016	-0.007
α	3°±30	1°±15	3°+30	1°±15
вид зубьев	черновые и переходные	чистовые и калибрующие круглые	черновые и переходные шлицевые	чистовые и калибр шлицевые

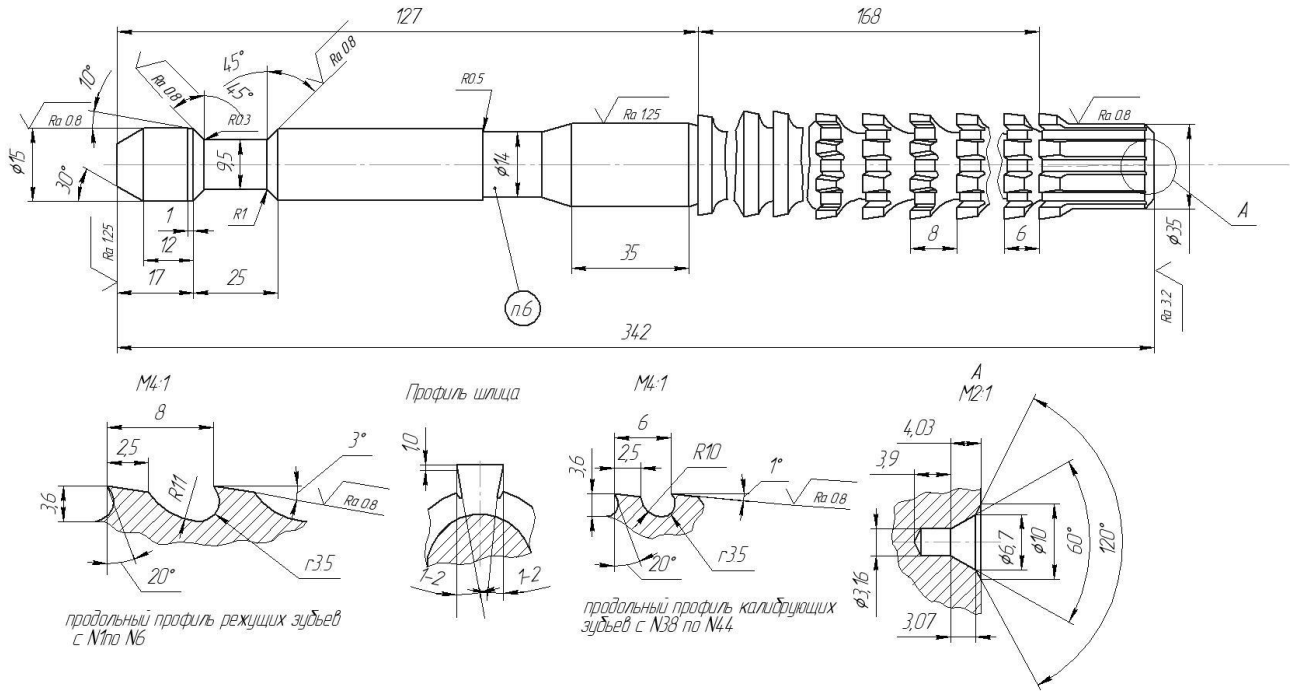


Рис. 2.9. Пример выполнения чертежа протяжки

2.4. Методика расчета протяжек для обработки отверстий с плоскими гранями

Предварительное отверстие под квадратную и шестигранную протяжки делается обычно сверлом и имеет наименьший диаметр D_0, равный расстоянию S между сторонами протягиваемого отверстия (диаметр вписанной окружности), т.е. $D_0 = S_{мин}$.

В том случае, когда следы предварительного отверстия на плоскостях квадрата или шестигранника нежелательны, диаметр принимается на $0.3-0.5$ мм меньше S. Довольно часто, однако, встречаются отверстия, на сторонах которых допустимы следы предварительного цилиндрического отверстия. Здесь будет разобрана конструкция квадратной и шестигранной протяжек, зубья которых создают стороны отверстия отдельными участками, т. е. по генераторной схеме.

Конструктивная форма зубьев таких протяжек приведена на рис. 2.10 *а*— для квадратного и 2.9 ,***б***—для шестигранного отверстий.

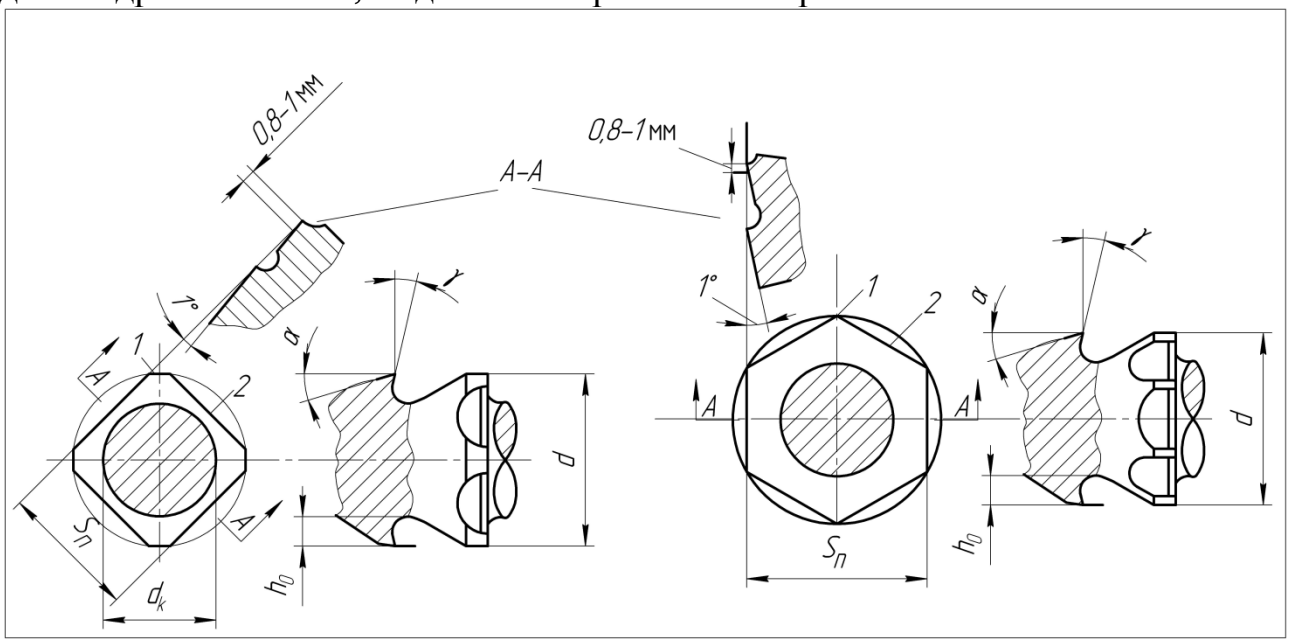


Рис. 2.10. Зубья квадратных и шестигранных протяжек

Главные режущие кромки ***1*** располагаются на углах зубцов и имеют форму дуг концентрических окружностей, диаметр которых ***d*** постепенно увеличивается от первого зуба к последнему.

Диаметр первого зуба протяжки

$$d_1 = D_0,$$

а на последнем режущем и на всех калибрующих зубьях

$$d_n = D_6 = D_{\max} \mp \delta, \qquad (2.42)$$

где $D_{\max}$ - наибольший диаметр протягиваемого отверстия между углами – диаметр описанной окружности;

δ - разбивание или усадка отверстия, значение которого равно 0.01 – 0.015 мм.

Диаметры $\boldsymbol{d}_i$, на промежуточных зубьях определяются общим условием.

$$d_i = d_1 + 2s_z(i-1) = d_1 + \Delta d(i-1), \qquad (2.43)$$

Прямые стороны ***2*** (рис. 2.10) профиля зубьев являются вспомогательными кромками. Расстояние $\boldsymbol{S}_{\text{п}}$ между ними, постоянное для всех зубьев протяжки, определяется следующим условием:

$$S_n = S_{\max} \mp \delta_s, \qquad (2.44)$$

где $S_{\text{макс}}$ — наибольшее допустимое расстояние между сторонами протягиваемого протягиваемого отверстия;

δ_s — разбивание или усадка отверстия по размеру S.

Допустимое отклонение на размер $\boldsymbol{S_n}$ может быть принято равным $\boldsymbol{1/3}$ — $\boldsymbol{1/4}$ допуска на отверстие со знаком минус.

Поскольку $\boldsymbol{S}_{\text{п}}$ обычно больше $\boldsymbol{D_0}$ все зубья с диаметрами от $\boldsymbol{D}_0$ до $\boldsymbol{S}_{\text{п}}$ — круглые. Плоские участки появляются на тех зубцах, диаметр которых больше $\boldsymbol{S_n}$.

Вследствие постоянства $\boldsymbol{S_n}$ и изменения $\boldsymbol{d_i}$ длина главных ***1*** и вспомогательных ***2*** кромок на зубьях протяжек является переменной. На первом зубце прямых участков нет, а дуговые участки сливаются в одну общую окружность с диаметром $\boldsymbol{d_i}$. На последнем зубце, наоборот, дуговые участки исчезают и остаются только прямолинейные. Однако поскольку редко встречаются квадратные и шестигранные отверстия с совершенно острыми углами, так как углы притупляются на ту или иную величину, дуговые участки остаются и на последних зубцах протяжек.

Суммарная длина $\sum \boldsymbol{b_i}$ главных режущих кромок на зубце с любым значением d_i[1] для правильного многоугольника может быть подсчитана по следующей формуле, вытекающей из построения на рис. 2.11

[1] В пределах $S \le d_i \le D = \dfrac{S}{\cos\dfrac{180°}{n}}$

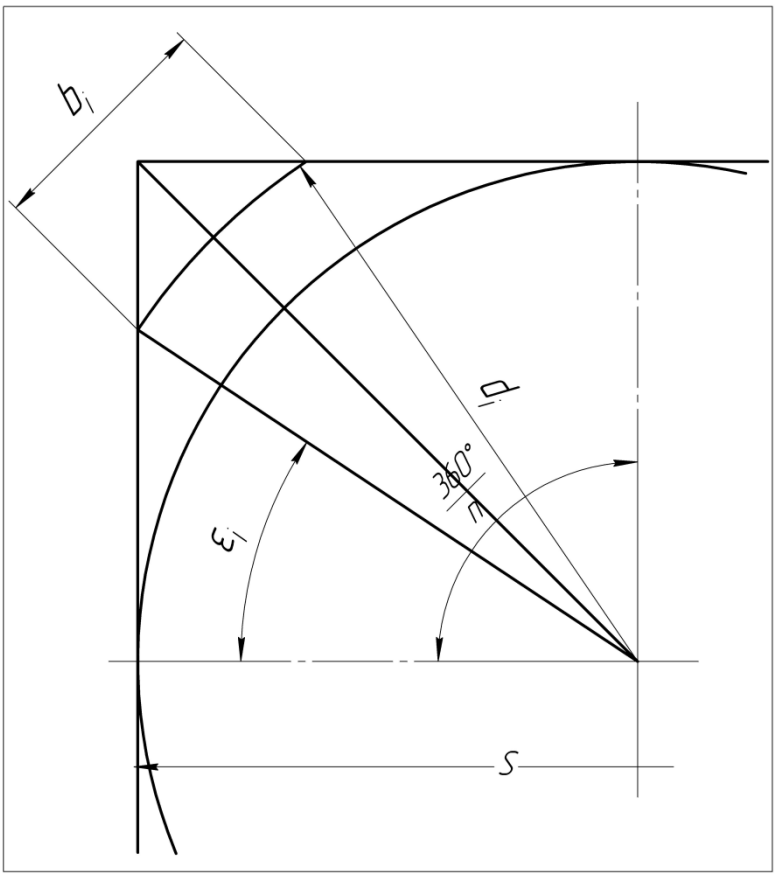


Рис. 2.11. Определение длины режущей кромки

$$\sum b_i = \pi d_i - \frac{2\pi d_i \theta_i^\circ n}{360°} = \pi d_i \left(1 - \frac{n\theta_i^\circ}{180°}\right),$$
$$\theta_i^\circ = \arccos\frac{S}{d_i}. \qquad (2.45)$$

где n — число граней (углов) отверстия.

Для квадратного отверстия соответственно будем иметь

$$\sum b_i = \pi d_i \left(1 - \frac{n\theta_i^\circ}{45°}\right), \qquad (2.46)$$

а для шестигранного $\sum b_i = \pi d_i \left(1 - \frac{n\theta_i^\circ}{30°}\right).$ (2.47)

Для уменьшения трения на плоских сторонах зубцов делают задний угол в 1° (рис. 2.10), который располагается позади ленточки шириной 0,8—1 мм. Если этой ленточки не сделать, может возникнуть искажение прямых сторон отверстия, которые приобретают форму гипербол (хотя и с очень небольшой стрелкой выпуклости внутрь отверстия).

Стружечные канавки на таких протяжках выполняются круговыми, что значительно облегчает изготовление и заточку зубцов. При пересечении спинки стружечной канавки с плоскостями задних граней, примыкающих к прямым участкам режущей кромки, образуются также гиперболы[1]. Размеры стружечной

[1] На чертежах протяжки их обычно показывают дугами окружности

канавки следует по возможности принимать по основному ряду (см. круглые протяжки), хотя на нескольких первых зубьях для обеспечения прочности протяжки приходится иногда прибегать к мелкой канавке.

Глубина стружечной канавки в различных местах поперечного профиля зуба имеет переменное значение: на главных кромках канавка имеет полную глубину, а на вспомогательных — уменьшенную. Возможны случаи, когда на плоских сторонах зубьев канавка совершенно исчезает. Чтобы облегчить движение протяжки в отверстии, такие зубья снабжают продольной канавкой глубиной до 0,5*мм*. Необходимо чтобы размер $\boldsymbol{S_n}$ не возрастал к концу протяжки, а уменьшался и пределах допуска; в противном случае, возможно заклинивание протяжки в отверстии, что может привести к ее разрушению или к вырыву металла со стенок отверстия.

Стружкоделительные канавки размещают в шахматном порядке на всех режущих зубьях с дуговыми режущими кромками, которые в рассматриваемых протяжках срезают металл по обыкновенной схеме. При ширине режущих кромок b_i = 4—10 *мм* делается одна канавка, при b_i >10*мм* – две. На первых, круглых зубцах количество канавок принимается такое же, как у цилиндрических протяжек.

Выбор подачи на зуб s_z при конструировании квадратных, шестигранных и подобных им протяжек является очень важным вопросом. При одинаковой подаче на всех зубьях площадь поперечного сечения среза получается переменной, уменьшаясь к концу протяжки. Подобным же образом будет изменяться и сила протягивания. Такая протяжка имеет излишне большую длину; при работе ею станок используется нерационально,

При постоянной величине поперечного сечения среза, достигаемой последовательным увеличением подачи по мере уменьшения ширины среза, можно значительно уменьшить длину протяжки и обеспечить более благоприятную загрузку станка. Одинаковая загрузка станка по всей длине протяжки может быть достигнута, когда произведение площади поперечного сечения среза на удельную силу протягивания будет постоянным для всех зубьев. Поскольку удельная сила уменьшается с возрастанием подачи, площадь сечения среза должна увеличиваться от зуба к зубу. Протяжка в этом случае будет самая короткая.

Однако у протяжек, выполненных соответственным образом подача на последних зубьях может достичь таких больших значений, что объем стружечных канавок будет недостаточен. Малая длина режущих кромок в сочетании с большой нагрузкой приведет к очень быстрому затуплению зубьев. Кроме того, изменяющийся подъем на всех зубьях, причем с весьма малой разницей, усложняет изготовление протяжек.

Поэтому на практике обычно все зубья протяжки разбивают на несколько групп - ступеней, с постоянной подачей на зуб в пределах каждой ступени. Подача же на отдельных ступенях разная: наименьшая на первой и наибольшая на последней, причем величина ее корректируется в_соответствии с условиями прочности, объемом стружечных канавок и стойкостью протяжек. Такого рода протяжки называют ступенчатыми.

Количество ступеней принимается равным трем для квадратных протяжек с расстоянием между сторонами S < 15 *мм* и четырем при S > 15 *мм.* У шестигранных протяжек делают две ступени при *S* < 20 *мм* и три, когда S > 20 *мм.*

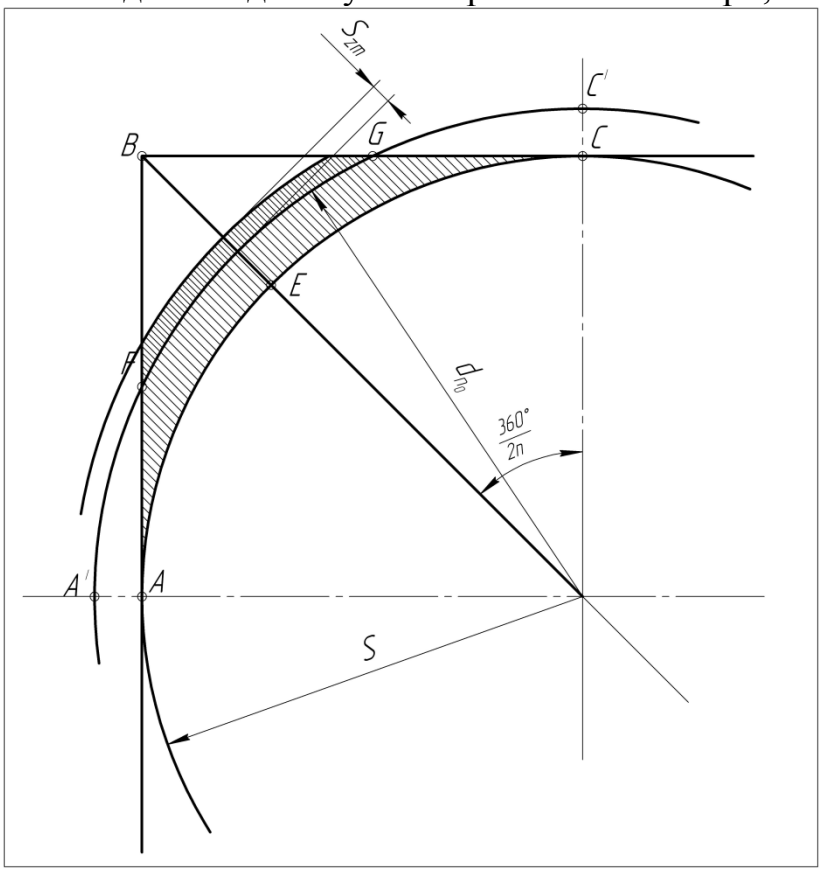


Рис. 2.12. Площадь металла на ступень протяжки

При решении задачи о выборе подачи на зуб $\boldsymbol{S}_{zm}$ и о количестве зубьев z_M для каждой ступени могут быть приняты два условия:

1) количество металла, срезаемое отдельными ступенями, должно быть одинаковым;

2) силы протягивания $\boldsymbol{P_m}$ на первых зубьях всех ступеней также должны быть одинаковыми или во всяком случае близкими по величине.

Обозначив через $\boldsymbol{F_M}$ площадь угла правильного многоугольника (на рис. 2.12 площадь ABCEA), $\boldsymbol{N}$ — число ступеней, $\boldsymbol{m}$ — номер ступени и $\boldsymbol{F_m}$— площадь металла, срезанного ступенями, предшествующими рассматриваемой (на рис. 2.12 площадь AFGCEA), можем записать согласно первому условию

$$\frac{F_m(m-1)}{N} = F_{m-1} \ . \qquad (2.48)$$

Площадь $\boldsymbol{F_M}$ может быть определена как разность площадей многоугольника и круга с диаметром S, деленная на количество углов n, т. е.

$$F_{\text{М}} = \frac{S^2}{4} tg \frac{360^0}{2\pi} - \frac{\pi S^2}{4\pi} = \frac{S^2}{4}\left(tg \frac{360^0}{2\pi} - \frac{\pi}{n} \right).$$

Для квадратного и шестигранного отверстий соответственно получается: $F_{мк} = 0{,}05365\, S^2$ и $F_{мш} = 0{,}01345\, S^2$, или, с учетом обычного притупления углов квадрата, составляющего в среднем 5% от диаметра описанной окружности:

$F_{мк} \approx 0{,}0524\,S^2$.

В свою очередь площадь F_m представляет разность площадей части кольца, относящейся к одному углу отверстия (на рис. 2.12 — *AA'C'C),* и двух равновеликих полусегментов *AA'F* и *CC'G* с высотой $0{,}5(d_{no} - S)$ и основанием $0{,}5\sqrt{d_{no}^2 - S^2}$,т. е. является функцией диаметра последнего зуба d_{no} на предыдущей ступени при данном значении расстояния между сторонами отверстия ***S***.

Таким образом, исходное условие (2.48) приводится к уравнению с одним неизвестным d_m определив которое, можно подсчитать значение диаметра d_m первого зубца рассматриваемой ступени путем добавления удвоенной величины подачи s_{zm}. Однако решение этого уравнения сопряжено со сложными математическими выкладками, проведение которых не оправдывается практическими требованиями. Вместе с тем анализ этой зависимости показывает, что с достаточной для практики точностью диаметр d_m, можно принять равным произведению некоторого коэффициента η_m на *S*. С учетом подачи на первом зубце рассчитываемой ступени это приведет к выражению

$$d_m = \eta_m S + 2s_{zm}.$$

(2.49)

Подобранные значения коэффициента η_m, удовлетворяющие с достаточной степенью точности условию (2.48), приведены в табл. 2.32 для квадратных и шестигранных протяжек.

Таблица 2.32

Коэффициент η_m

Номер ступени	Квадратные протяжки		Шестигранные протяжки	
	Три ступени	Четыре ступени	Две ступени	Три ступени
Первая	1	1	1	1
Вторая	1.06	1.045	1.039	1.023
Третья	1.15	1.105	-	1.058
Четвертая	-	1.19	-	-

Второе условие позволяет установить зависимость между подачами на зуб на первой ступени s_{zI} и на последующих ступенях s_{zm} .

Сила протягивания P_m для квадратных, шестигранных и подобных им протяжек, отнесенная к началу каждой ступени, может быть определена на основе эмпирической формулы для цилиндрических протяжек с учетом измененной длины режущих кромок, а именно:

$$P_m = \frac{C_p}{\pi} \sum b_m s_{zm}^x z_i K_{Pm} K_{Po} K_{Pk} K_{Pp}.$$

Значения постоянной $\boldsymbol{C_p}$ показателя степени *x* и поправочных коэффициентов K_{Pm}, K_{Po}, K_{Pk} и K_{Pp} выбираются по табл. 2.18 применительно к цилиндрическим протяжкам. Суммарная длина режущих кромок на первом зубце каждой ступени $\sum b_m$ подсчитывается по формуле (2.45), в которой значение d_i надо заменить величиной диаметра d_m рассматриваемой ступени. Однако, учитывая своеобразную форму поперечного сечения среза (рис. 2.12), имеющего вид дуговой трапеции, следует диаметр первого зубца ступени относить к сред-

ней линии этой трапеции, т. е. принимать величину d_m, меньшей на величину подачи s_{zm}. Тогда общее выражение для P_m приводится к виду:

$$P_m = C_p\left(d_m - s_{zm}\right)\left(1 - \frac{n\theta_m^\circ}{180^\circ}\right)s_{zm}^x K_{Pm}K_{Po}K_{Pk}K_{Pp},$$

$$\theta_m = \arccos\frac{S}{d_m - S_{zm}}. \qquad (2.50)$$

Для квадратных протяжек соответственно уравнению (2.46) получается

$$P_m = C_p\left(d_m - s_{zm}\right)\left(1 - \frac{\theta_m^\circ}{45^\circ}\right)s_{zm}^x K_{Pm}K_{Po}K_{Pk}K_{Pp}, \qquad (2.51)$$

а для шестигранных

$$P_m = C_p\left(d_m - s_{zm}\right)\left(1 - \frac{\theta_m^\circ}{30^\circ}\right)s_{zm}^x K_{Pm}K_{Po}K_{Pk}K_{Pp}. \qquad (2.52)$$

Для первой ступени, у которой первые зубья имеют круговую режущую кромку, силу протягивания можно подсчитывать по формуле для цилиндрических протяжек:

$$P_I \approx C_p S s_{zI}^x K_{Pm}K_{Po}K_{Pk}K_{Pp}. \qquad (2.53)$$

Соответственно второму исходному условию силы протягивания в начале всех ступеней принимаются одинаковыми, т. е.

$$P_I = P_m.$$

Подставляя в это равенство установленные выше значения P_I *и* P_m а также учитывая соотношение (2.49), получаем

$$S s_{zI}^x = \left(\eta_m S + s_{zm}\right)\left(1 - \frac{n\theta_m^o}{180^o}\right)s_{zm}^x; \cos\theta_m^o = \frac{S}{\eta_m S + s_{zm}}.$$

Отбрасывая значение слагаемого s_{zm} как малое по сравнению с $\eta_m S$, будем иметь:

$$s_{zm} = \left[\frac{1}{\eta_m - \left(1 - \frac{n\theta_m^\circ}{180^\circ}\right)}\right]^{\frac{1}{x}} s_{zI},$$

$$\cos\theta_m^\circ = \frac{1}{\eta_m}.$$

Обозначив теперь первый множитель через ξ_m получаем в окончательном виде

$$s_{zm} = \xi_m s_{zI}. \qquad (2.53)$$

Величины коэффициента ξ_m, вычисленные с достаточной точностью для квадратных и шестигранных протяжек при обработке стали и чугуна, приведены в табл. 2. 33

Таблица 2.33

Коэффициент ξ_m

Номера ступени m	Квадратные протяжки				Шестигранные протяжки			
	Три ступени		Четыре ступени		Две ступени		Три ступени	
	Сталь	Чугун	Сталь	Чугун	Сталь	Чугун	Сталь	Чугун
Первая	1	1	1	1	1	1	1	1
Вторая	1.8	1.98	1.5	1.6	2.3	2.65	1.8	1.98
Третья	3	3.58	2.8	2.65			2.95	3.55
Четвертая	-	-	3.8	4.75	-	-	-	-

Таким образом, приняв определенную величину силы протягивания P_I и соответствующую ей подачу s_{zI} для первой ступени, можно определить, пользуясь условием (2.53) и данными табл. 2.33, подачу s_{zm} для любой ступени. Рассчитанные значения s_{zm} при необходимости должны быть скорректированы в соответствии с условиями заполнения стружечных канавок, стойкости протяжек и чистоты обработанных поверхностей. В частности, опыт показал, что при протягивании стали протяжками рассматриваемой конструкции нежелательны подачи более *0,15мм*, а при обработке чугуна – *0,2мм.*

В табл. 2.34 и 2.35 приведены ориентировочные значения величин подач на ступенях квадратных и шестигранных протяжек, работающих по среднеуглеродистой стали.

Таблица 2.34

Подачи на зуб для квадратных протяжек, в мм

S	S_{zI}	S_{zII}	S_{zIII}	S_{zIV}
9	0.015	0.025	0.04	-
12	0.015	0.03	0.05	
14	0.020	0.035	0.06	
17	0.020	0.030	0.04	0.08
19	0.020	0.035	0.05	0.09
22	-0.025	0.04	0.06	0.10
24	0.025	0.04	0.06	0.10
27	0.03	0.05	0.08	0.12
30 и 32	0.03	0.06	0.09	0.15

Таблица 2.35

Подачи на зуб для шестигранных протяжек

S	S_{zI}	S_{zII}	S_{zIII}
14	0.020	0.04	
17	0.020	0.045	
22	0.025	0.045	0.075
27	0.03	0.045	0.075
32	0.03	0.06	0.10
36	0.035	0.065	0.09

41	0.035	0.07	0.12
46	0.045	0.075	0.125
50	0.05	0.10	0.15

Количество режущих зубьев z_m на каждой ступени, кроме последней, определяется следующим общим условием:

$$z_m = \frac{(d_{m+1} - 2s_{m+1}) - (d_m - 2s_{zm})}{2s_{zm}}, \qquad (2.54)$$

где d_{m+1} и s_{zm+1}— диаметр и подача на первом зубе последующей ступени;
d_m и s_{zm} — то же на первом зубе рассчитываемой ступени.

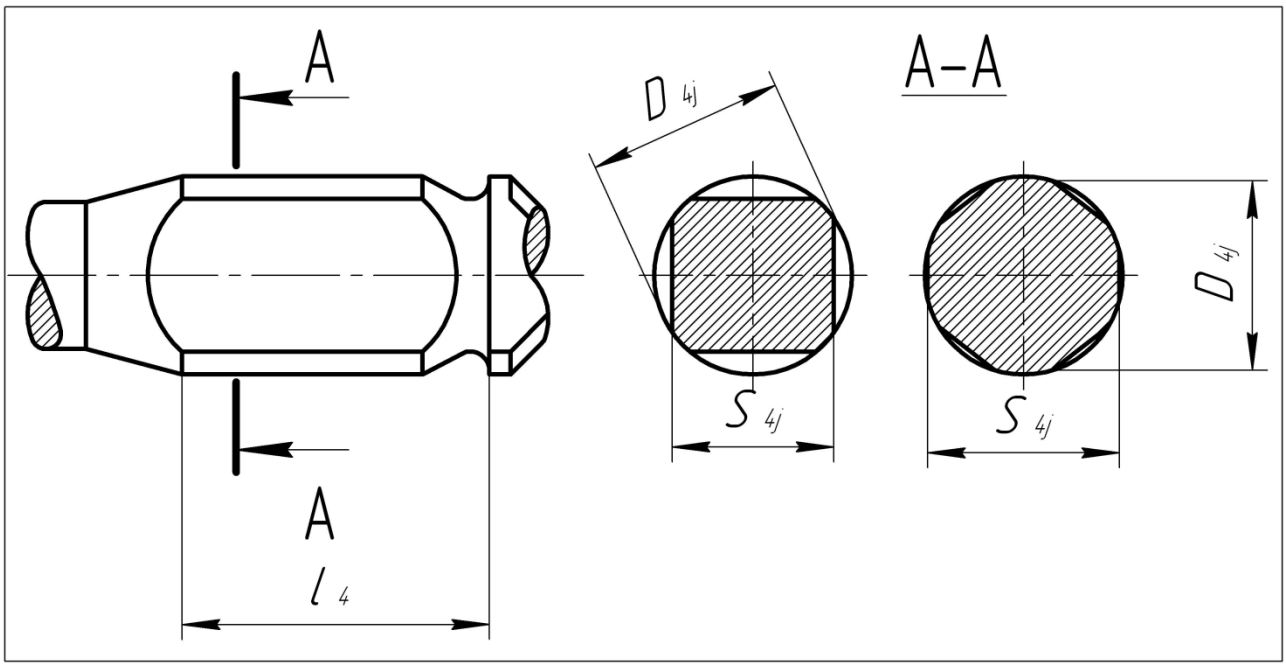


Рис. 2.13. Передняя направляющая для квадратных и шестигранных протяжек

Для последней ступени

$$z_m = \frac{d_n - (d_m - 2s_{zm})}{s_{zm}} + (2 \div 4). \qquad (2.55)$$

где d_n — диаметр последнего зуба протяжки.

Дополнительные два-четыре зуба являются переходными, с уменьшающейся величиной подачи. Для первой ступени, если она начинается с круглого зубца, добавляется один зубец.

Конструкция и размеры калибрующих зубцов и гладких частей квадратных и шестигранных протяжек должны полностью удовлетворять общим условиям.

Комплектные протяжки для рассматриваемых отверстий также выполняют по установленным выше общим правилам. Передняя направляющая для

всех протяжек в комплекте, кроме первой, делается с плоскими гранями (рис. 2.13).

Расстояние S_{4j} должно удовлетворять следующему условию:

$$S_4 = S'_{\text{мин}},$$

а диаметр по закругленным углам

$$D_{4j} = d'_{\min},$$

где $S'_{мин}$ и $d'_{мин}$ - наименьшие допустимые размеры последних зубцов предыдущей протяжки в комплекте.

3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗУБОРЕЗНОГО ИНСТРУМЕНТА

3.1. Зуборезные долбяки

3.1.1. Общие сведения о долбяках

Долбяки применяются для нарезания зубчатых колес наружного и внутреннего зацепления. В процессе работы долбяку сообщается возвратно-поступательное движение вдоль оси (прямолинейное или винтовое в соответствии с продольной формой зубьев нарезаемого колеса) и, кроме этого, долбяк и колесо имею согласованное вращение вокруг своих осей (рис. 3.1).

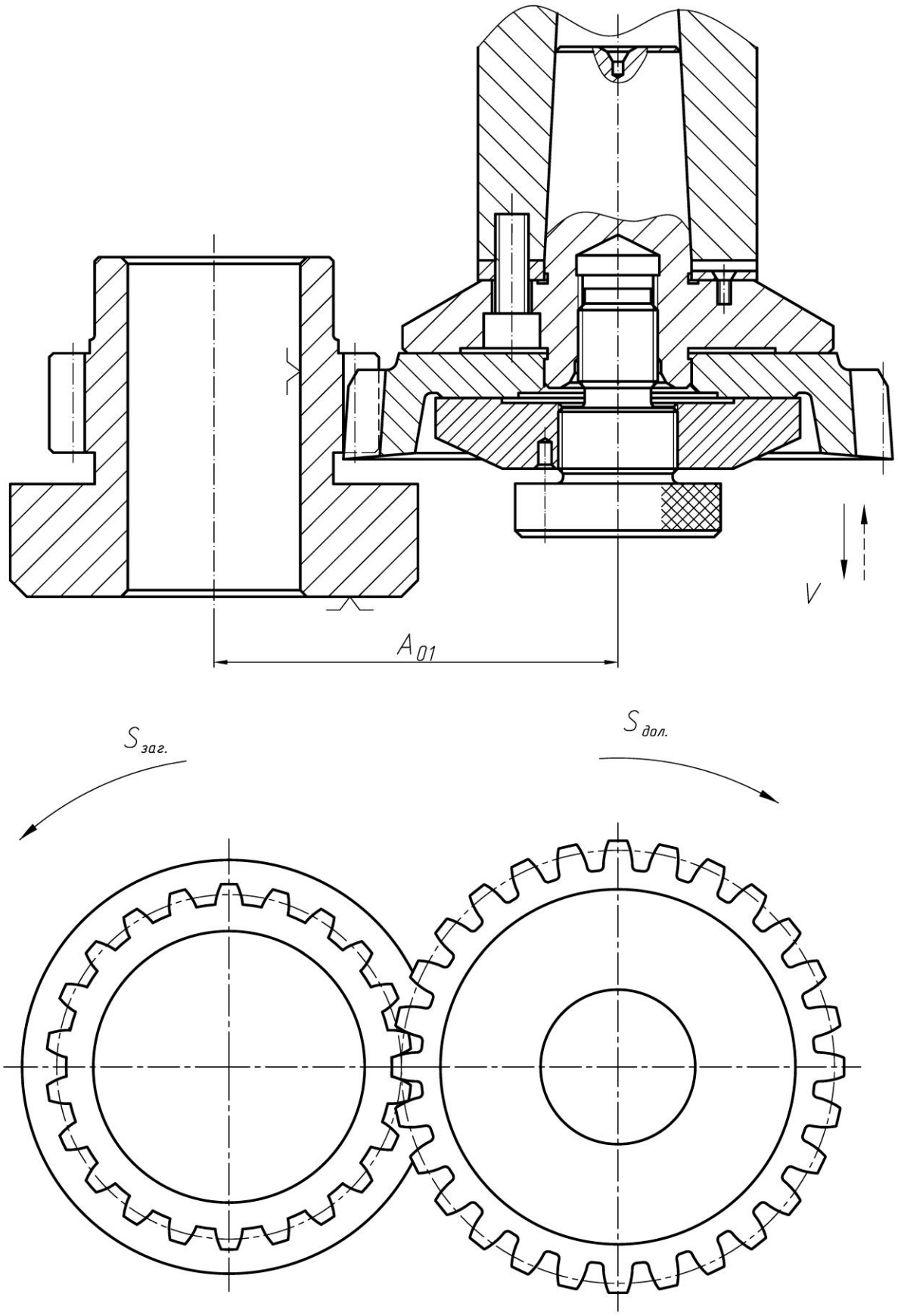


Рис. 3.1.Схема зубодолбления

Долбяки являются наиболее универсальным зуборезным инструментом для нарезания цилиндрических колес. Ими можно нарезать любое цилиндрическое колесо с наружным и внутренним зацеплением, но преимущественное применение долбяки находят в следующих случаях:

1) при нарезании зубьев блочных колес и колес с буртиками,
2) для обработки колес с внутренним зацеплением,
3) для нарезания шевронных колес без канавки для выхода инструмента,
4) для нарезания точных зубчатых реек методом деления.
5) для нарезания мелкомодульных колес с модулем $m<1,5$.

Применяемые в металлообработке долбяки регламентированы ГОСТ 9323-79 (долбяки зуборезные чистовые), ГОСТ 10059-80 (долбяки зуборезные чистовые мелкомодульные) и ГОСТ 6762-79 (долбяки зуборезные чистовые для шлицевых соединений с эвольвентным профилем). Долбяки по ГОСТ 9323-79 изготавливаются с модулями m=1...12 мм, по ГОСТ 10059-80 - m=0,1...0,9 (делительные диаметры $d_д$=12, 16,25,40,63мм).

Габаритные размеры долбяков определяются числом зубьев и диаметром делительной окружности. Номинальный диаметр зависит от модели станка. По ГОСТ 9323-79 в зависимости от типа долбяков их минимальные делительные диаметры равны 25,38,50,80,100, 125,160 и 200 мм. Для долбяков крупных модулей $d_д$=360 мм. Каждый диаметр охватывает определенный диапазон модулей; фактические делительные диаметры отличаются от нормальных, так как $d_д = mz_и$, где $z_и$ – целое число. Число зубьев долбяков по ГОСТ 9322-79 $z_и$ = 9...100, а по ГОСТ 10059-80

Число зубьев у долбяков надо выбирать четным для упрощения технологии изготовления и удобства контроля.

Долбяки изготавливаются трех классов точности: АА - для нарезания колес 6-й степени точности, А - для нарезания колес 7-й степени точности и В - для нарезания колес 8-й степени точности.

Отверстие долбяков изготавливается с допуском по диаметру 0,005 мм; неперпендикулярность оси отверстия к внешней опорной плоскости на расстоянии 30 мм от оси долбяка для долбяков разных классов точности допускается от 0,0025 до 0,005 мм.

В металлообработке применяют следующие типы долбяков:

1) дисковые — для нарезания обычных цилиндрических колес
2) чашечные — для нарезания прямозубых колес в упор
3) втулочные и хвостовые для колес внутреннего зацепления и мелкомодульных колес
4) косозубые - для косозубых колес
5) косозубые парные - для шевронных колес.

Профиль зубьев колеса образуется как огибающая последовательных положений режущих кромок долбяка в процессе их сложного относительного движения. Для обработки колес с эвольвентной формой зубьев долбяк должен иметь также эвольвентную форму режущих кромок. Таким образом, при зубодолблении воспроизводится процесс зацепления двух сопряженных цилиндрических колес.

Режущие кромки зубьев долбяка образуются пересечением передних и

задних поверхностей. Передняя поверхность долбяка и задняя поверхность вершинных режущих кромок обычно конические. Углы наклона образующих конических поверхностей определяют величины переднего $\gamma_{\hat{a}}$ и заднего $\alpha_{\hat{a}}$ углов на вершине зуба долбяка.

Для создания задних углов на боковых кромках задние поверхности их выполнены как эвольвентные винтовые. Пересечение эвольвентной винтовой поверхности с плоскостями, перпендикулярными к ее оси дает эквидистантные эвольвенты, образованные от одной основной окружности. Это обеспечивает сохранение постоянства профиля режущей кромки долбяка после его переточек.

Боковые эвольвентные винтовые поверхности в сочетании с конической задней поверхностью вершинных режущих кромок образуют зубья долбяка, как зубья колес с непрерывно изменяющейся в направлении его оси величиной смещения исходного контура $x_0 m$. Наибольшая величина смещения исходного контура инструментальной рейки долбяка имеет место в плоскости переднего торца. Сечение, в котором смещение исходного контура инструментальной рейки равно нулю, называется исходным (рис.3.2), а расстояние от этого сечения до переднего торца долбяка называется исходным расстоянием. Исходное расстояние определится из выражения:

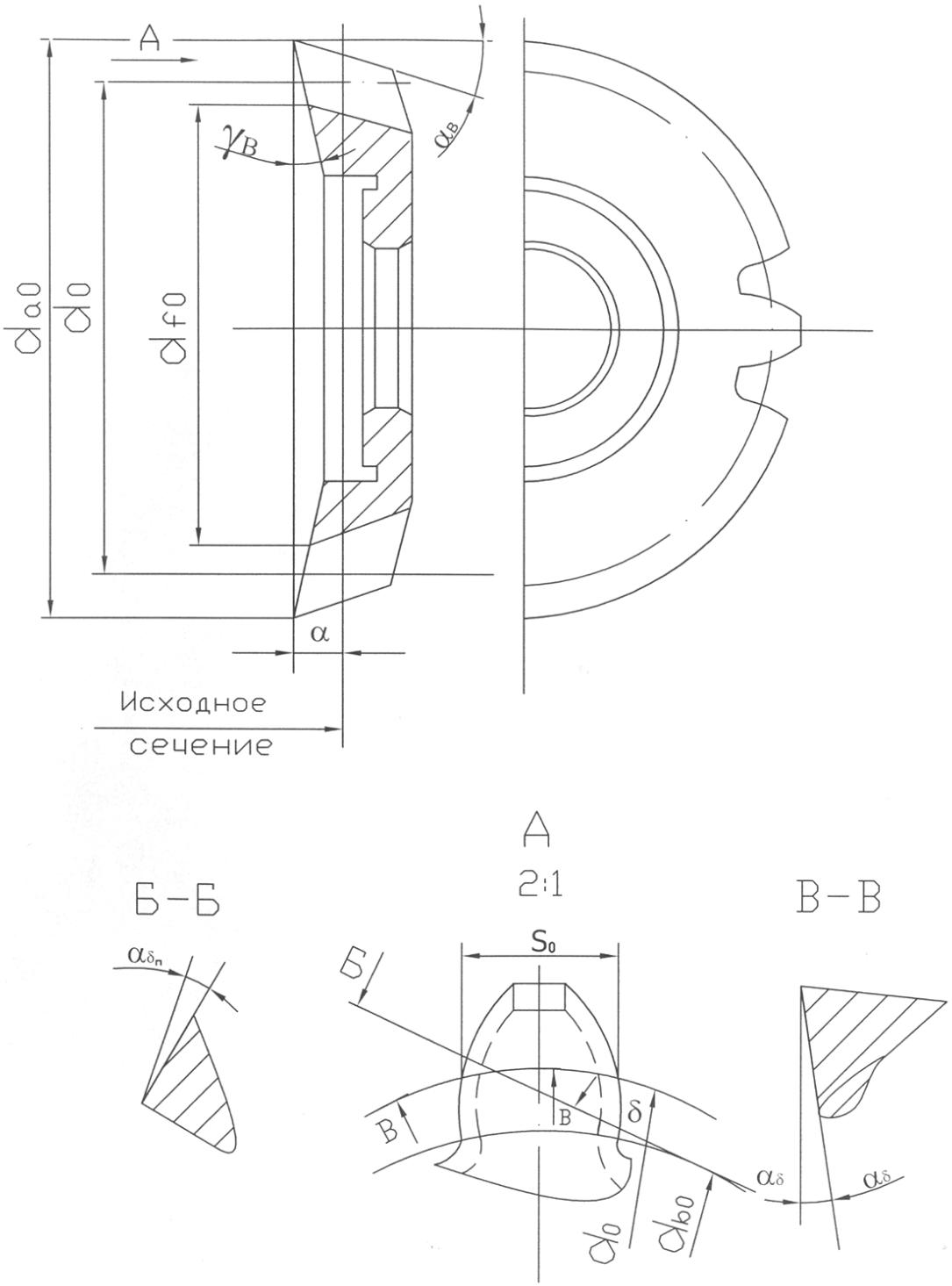


Рис. 3.2. Дисковый прямозубый долбяк

$$a = \frac{x_o m}{tg\alpha_в} \tag{3.1}$$

В процессе формообразования профиля зубьев колеса участвует проекция режущей кромки долбяка на его торцевую плоскость. Ее профиль должен быть эвольвентным, образованным от основной окружности диаметром d'_{bo}:

$$d'_{bo} = d_0 \cos\alpha \tag{3.2}$$

где do -диаметр делительной окружности долбяка:

α- угол профиля исходного контура рейки нарезаемого колеса.

Диаметр делительной окружности долбяка do определится из выражения

$$d_0 = mz_0 \tag{3.3}$$

где m -модуль;

z_0- число зубьев долбяка.

При рассмотрении станочного зацепления долбяка и нарезаемого колеса следует учитывать угол профиля α и диаметр основной окружности d'_{bo}.

Однако, вследствие наличия переднего угла γо отличного от нуля, профиль проекции режущей кромки на торцевую плоскость долбяка получает некоторое отклонение от эвольвенты основной окружности диаметром d'_{bo}. Для уменьшения этих погрешностей угол профиля α_o боковых эвольвентных винтовых поверхностей зубьев долбяка в сечении, перпендикулярном к его оси, корректируется.

Угол α_o определяется по формуле:

$$tg\alpha_o = \frac{tg\alpha}{1 - tg\gamma_в tg\alpha_в} \tag{3.4}$$

Диаметр основного цилиндра, от которого образуются боковые задние поверхности зубьев долбяка, равен:

$$d_{bo} = mz_0 \cos\alpha_0 \tag{3.5}$$

α_o и d_{bo} необходимо принимать во внимание ври шлифовании профиля зубьев долбяков в их контроле.

Задние углы на боковых режущих кромках долбяка рассматриваются в сечении по делительному цилиндру αб (рис. 4.1):

$$\alpha_\delta = arctg\left(tg\alpha_b tg\alpha_0\right) \tag{3.6}$$

а также в сечении, нормальном к профилю зуба долбяка. Для эвольвентного профиля таким сечением будет сечение плоскостью, касательной к основному цилиндру и проходящей через рассматриваемую точку режущей кромки. Величина заднего угла $\alpha_{án}$ в указанном сечении определится из выражения:

$$\alpha_{\delta n} = arctg\left(tg\alpha_\delta \sin\alpha_0\right) \tag{3.7}$$

В исходном сечении толщина зуба долбяка по дуге делительной окружности определится по формуле:

$$S'_0 = \frac{\pi m}{2} + \Delta S_o \tag{3.8}$$

где ΔSo - утолщение зуба долбяка для создания бокового зазора в передаче.

ПО ГОСТ 9323-60 для прямозубых долбяков с делительным диаметром $d_0 = 75 - 200$ мм величина ΔS равна (таблица 3.1):

Таблица 3.1

Утолщение зуба долбяка для создания бокового зазора в передаче

m, мм	1-1,25	1,5-2,50	2,75-3,75	4,0-4,5
ΔS, мм	0,09	0,1	0,12	0,14

Если долбяк предназначен для предварительного нарезания колес под последующую чистовую обработку (например, под шлифование), то толщину зуба следует уменьшить на величину припуска под последующую чистовую обработку.

Размера зуба долбяка в плоскости переднего торца определяются с учетом величины смещения исходного контура $x_{от}$;

$$x_{от} = atg\alpha_b \tag{3.9}$$

Высота головки зуба:

$$h_{a0} = h_{ao}^{*}m + atg\alpha_b \tag{3.10}$$

Величина h_{ao}^{*} является коэффициентом головки зуба и равна $h_{ao}^{*} = 1$

Высота ножки зуба:

$$h_{f0} = h_{ao}^{*}m - atg\alpha_b \tag{3.11}$$

где h_{ao}^{*} - коэффициент высоты головки.

Толщина зуба по дуге делительной окружности:

$$S_0 = \frac{\pi m}{2} + \Delta S_o + 2atg\alpha_в tg\alpha_o \tag{3.12}$$

Диаметр окружности выступов:

$$d_{a0} = mz_0 + 2h_{a0}^{*}m + 2atg\alpha_b \tag{3.13}$$

Диаметр окружности впадин:

$$d_{f0} = mz_0 - 2h_{a0}^{*}m + 2atg\alpha_b \tag{3.14}$$

Для других сечений в формулы вместо величины α следует подставить расстояние от рассматриваемого сечения до исходного.

3.1.2. Определение исходного расстояния

Расстояние «а» от переднего торца нового долбяка до исходного сечения является важной характеристикой инструмента. При увеличении а повышается точность и качество обработки долбяком профиля колес, увеличивается число переточек, уменьшается по мере заточки долбяка опасность подрезания ножек и срезания головок зубьев нарезаемых колес. Однако максимально допустимое расстояние а лимитируется опасностью заострения зубьев долбяка и интерференцией с переходными кривыми, которая может возникнуть в процессе зацепления зубчатых колёс, нарезанных долбяком. Таким образом, при проектировании долбяков необходимо стремиться к установлению наибольшего исходного расстояния а, ограничиваясь допустимой величиной заострения зуба долбяка и обеспечением правильности зацепления нарезаемой пары по условию отсутствия интерференции профилей. Для того, чтобы обеспечить необходимую стойкость долбяка, толщина его зуба на окружности выступов должна быть не менее допустимой величины, определяемой в зависимости от диаметра делительной окружности долбяка по следующим эмпирическим формулам [3] (см. элементы 7...13 блок-схемы на рис. 3.3):

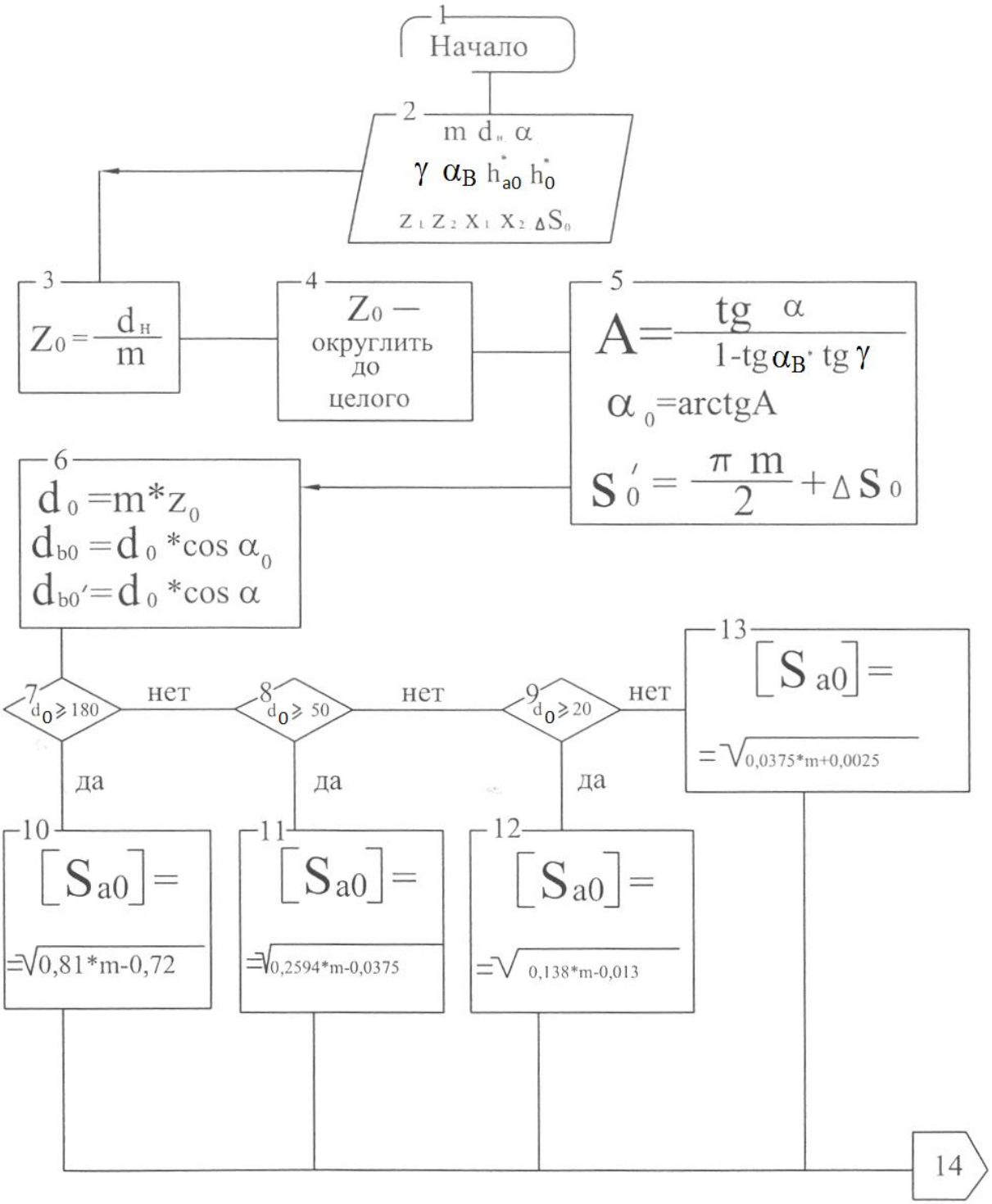
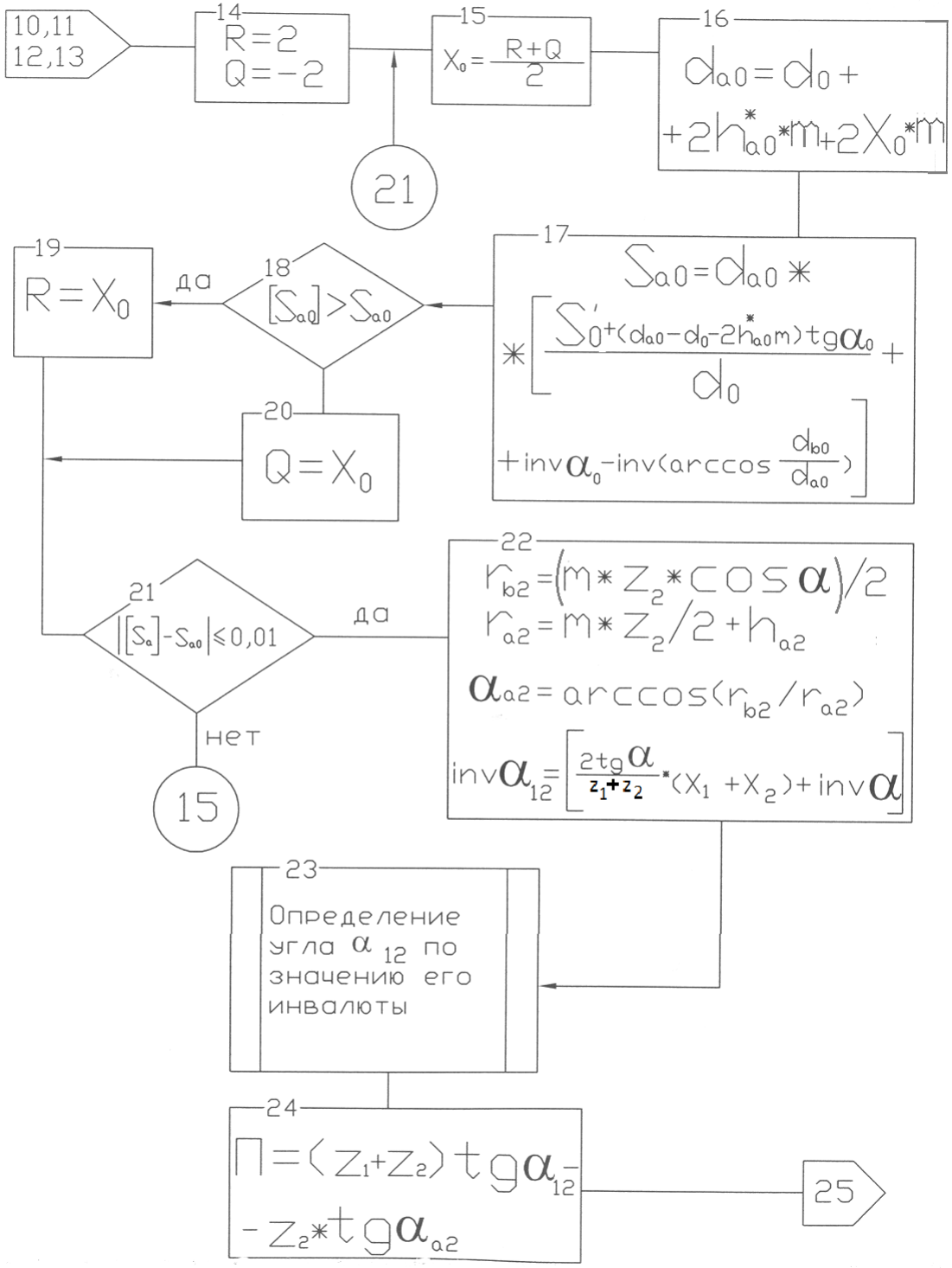
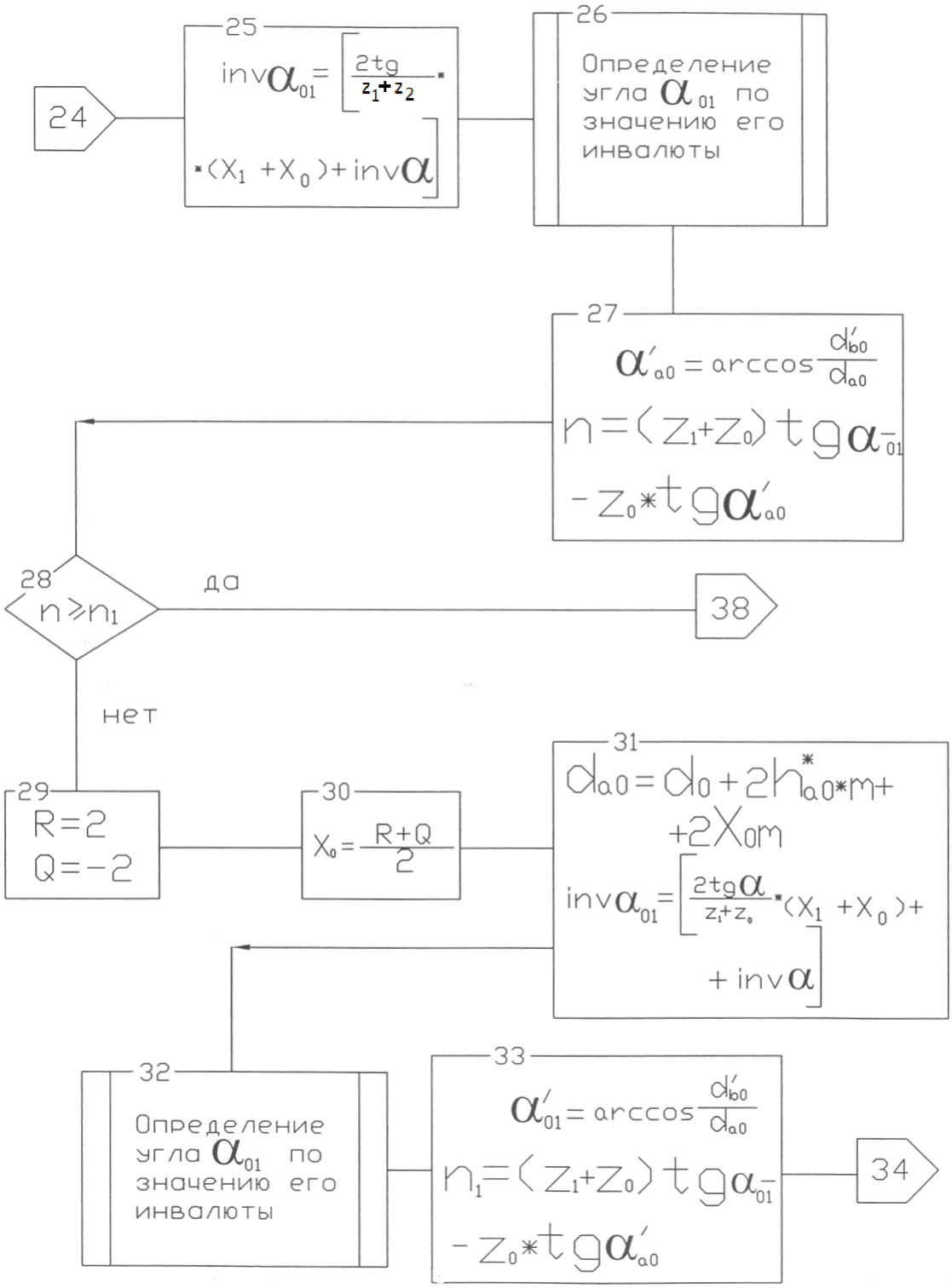


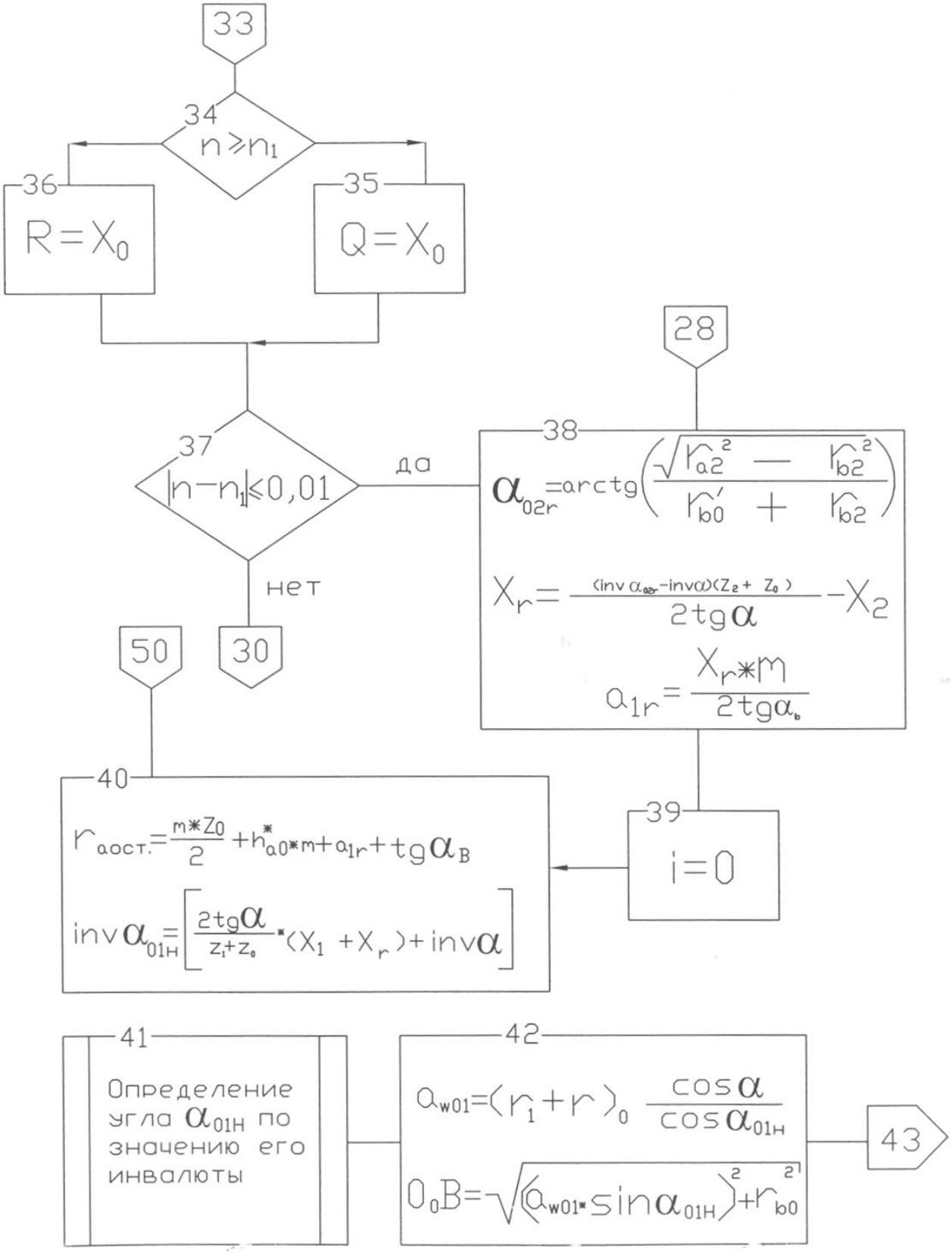
Рис. 3.3. Блок-схема алгоритма проектирования зуборезных долбяков для нарезания цилиндрических зубчатых колес внешнего зацепления.

Продолжение рис. 3.3

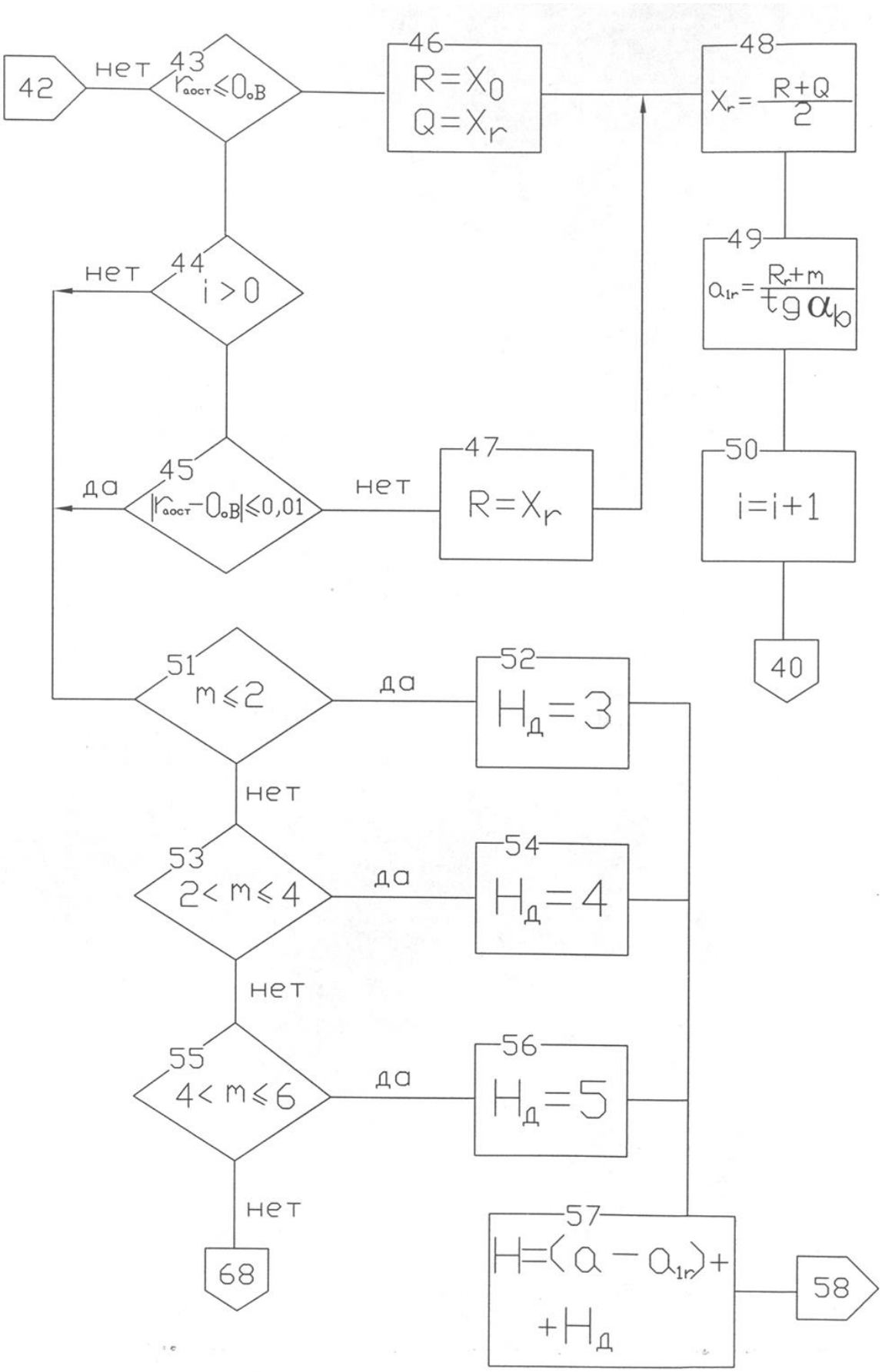




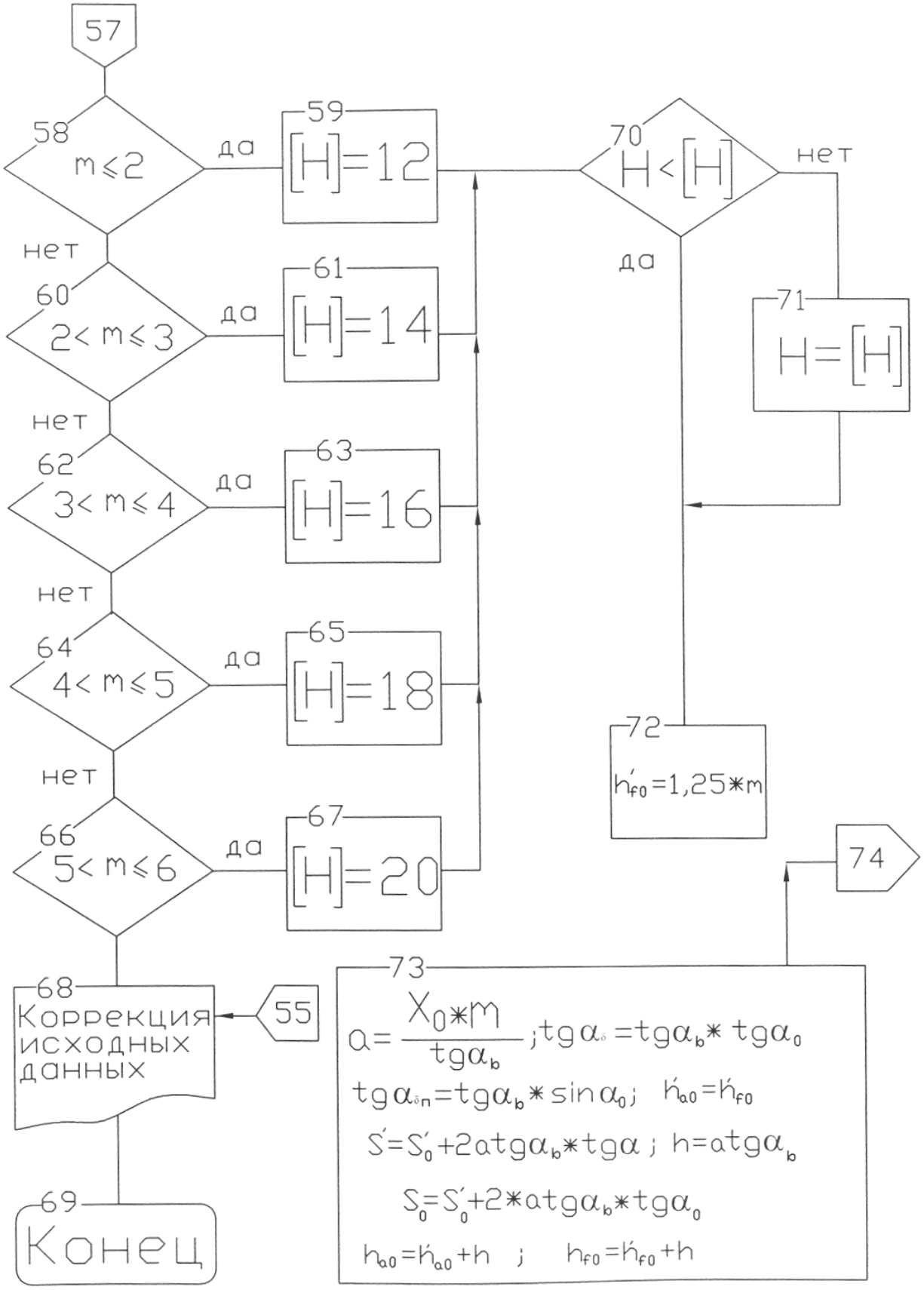
Продолжение рис. 3.3



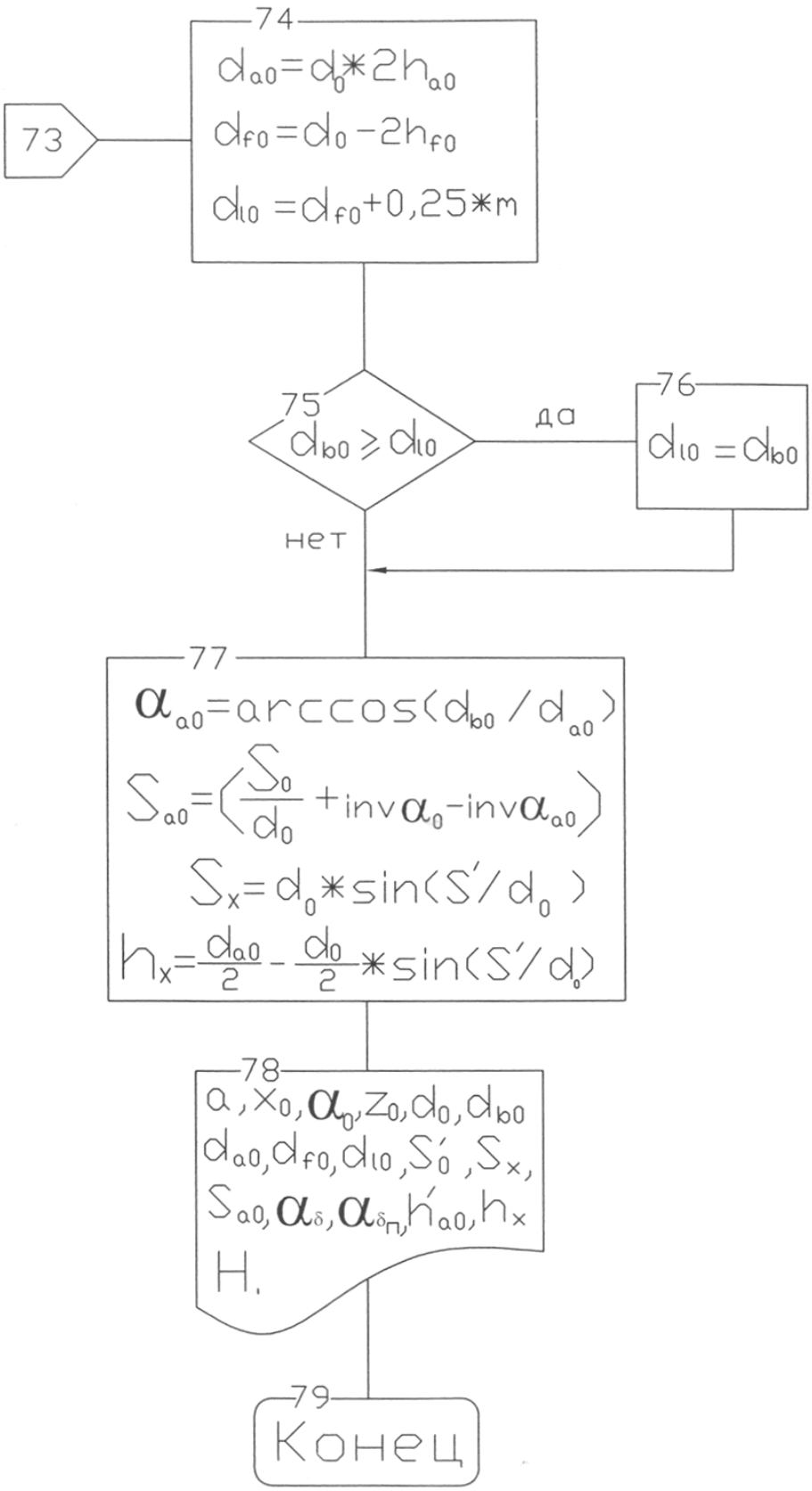
Продолжение рис. 3.3



Продолжение рис. 3.3



Продолжение рис. 3.3


73
74
$d_{a0}=d_0*2h_{a0}$
$d_{f0}=d_0-2h_{f0}$
$d_{l0}=d_{f0}+0,25*m$
75
$d_{b0}\geqslant d_{l0}$
да
76
$d_{l0}=d_{b0}$
нет
77
$\alpha_{a0}=\arccos(d_{b0}/d_{a0})$
$S_{a0}=\left(\frac{S_0}{d_0}+\mathrm{inv}\,\alpha_0-\mathrm{inv}\,\alpha_{a0}\right)$
$S_x=d_0*\sin(S'/d_0)$
$h_x=\frac{d_{a0}}{2}-\frac{d_0}{2}*\sin(S'/d_0)$
78
$a, x_0, \alpha_0, z_0, d_0, d_{b0}$
$d_{a0}, d_{f0}, d_{l0}, S'_0, S_x,$
$S_{a0}, \alpha_\delta, \alpha_{\delta_\Pi}, h'_{a0}, h_x$
H.
79
Конец

а) для $d_0 \geq 180$

$$[Sao] = \sqrt{0.81m - 0.72} \qquad (3.15)$$

б) для 50≤ do <180

$$[Sao] = \sqrt{0.2594m - 0.0375} \qquad (3.16)$$

в) для 20≤ do <50

$$[Sao] = \sqrt{0.138m - 0.013} \qquad (3.17)$$

г) для do<20

$$[Sao] = \sqrt{0.0375m - 0.0025} \qquad (3.18)$$

При известном исходном расстоянии величина Sao, подсчитывается по формуле (рис. 3.3):

$$S_{ao} = \frac{d_{ao}[S'_{ao} + (d_{ao} - d_o - 2h*_{ao}\, m)tg\alpha_o}{d_o} + inv\alpha_o - inv\alpha_{ao}] \qquad (3.19)$$

где d_{a0}- диаметр окружности выступов долбяка в плоскости переднего торца:

$$d_{a0} = mz_0 + 2h^*_{a0}m + 2x_{om} \qquad (3.20)$$

α_0 - угол давления эвольвенты в точке, лежащей на окружности выступов;

$$\alpha_{a0} = \arccos\left(\frac{d_{b0}}{d_{a0}}\right) \qquad (3.21)$$

Значение инволюты углов α и α_0 определится из выражения:

$$inv\alpha = tg\alpha - \alpha \qquad (3.22)$$

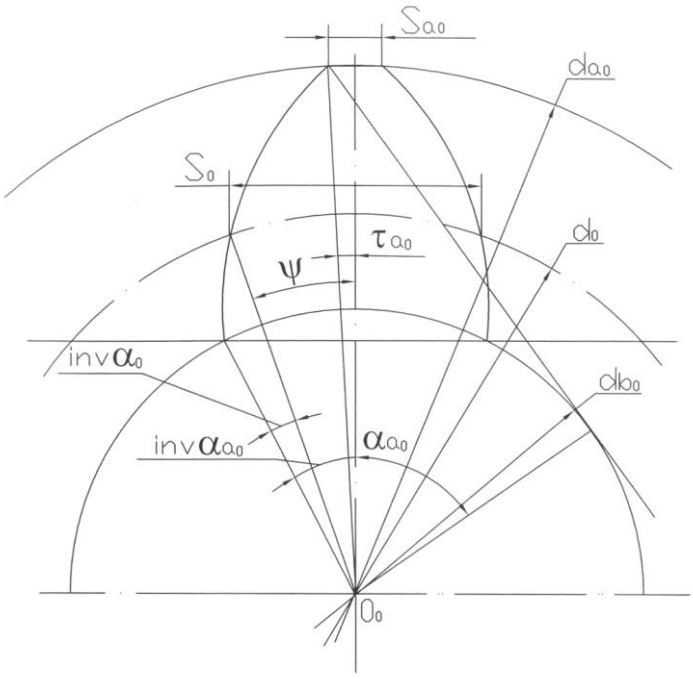


Рис. 3.3 Определение исходного расстояния по условию отсутствия заострения вершин зубьев долбяка

Решить уравнение (3.19) с учетом зависимостей (3.20), (3.21) и (3.22) в ана-

литической форме относительно α_0 не представляется возможным. Поэтому при проектировании зуборезных долбяков с применением ЭВМ угол давления эвольвенты α_0 определяется из уравнения (3.19) с помощью численных методов. Алгоритм одного из методов (метод Ньютона) приведен на рисунке 3.4.

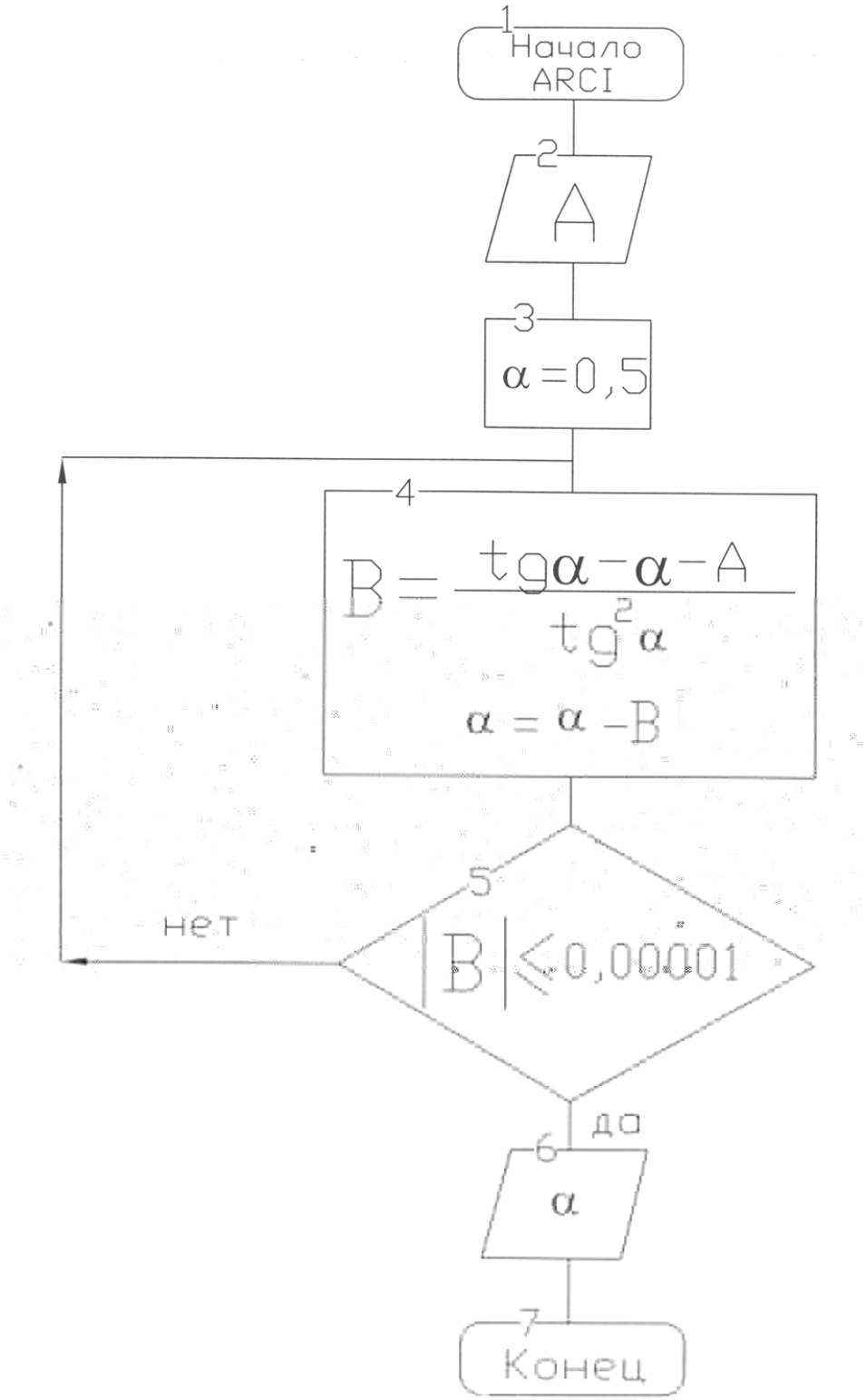


Рис. 3.4 Блок схема алгоритма расчета угла по значению его инволюты.

Далее рассчитывается величина исходного расстояния по формуле:

$$a = \frac{x_o m}{tg\alpha_{\hat{a}}}$$

Для всех практически возможных вариантов значение x_0 лежит на отрезке [-2,2]. Определение x_0 представлено элементами 14...21 блок-схемы алгоритма проектирования долбяков. (рис. 3.2).

Далее максимальное значение коэффициента смещения исходного контура хо, полученное по условного отсутствия заострения вершин зубьев долбяка, необходимо проверить по условию отсутствия интерференции профилей о переходными кривыми.

Для исключения интерференции необходимо обеспечить условие:

$$\rho_\rho > \rho_e \qquad (3.23)$$

где ρ_ρ - радиус кривизны эвольвенты нижней точки активного профиля зуба колеса;

ρ_e - радиус кривизны эвольвенты граничной точке профиля зуба колеса (рис. 3.4)

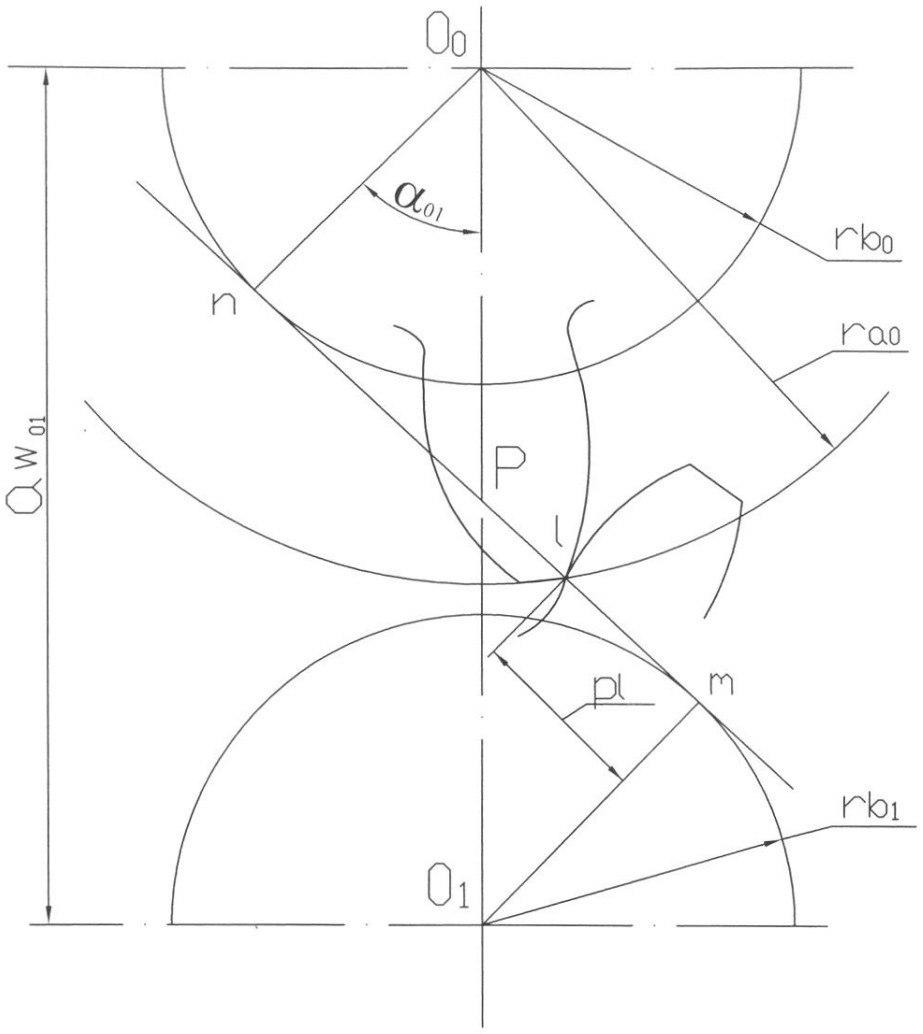


Рис. 3.5. Расчет радиуса кривизны эвольвенты для граничной точки профиля зуба колеса.

Рассматривая зацепление долбяка с нарезаемым колесом, (рис.4.6) и, аналогично, зацепление двух сопряженных колес после несложных преобразований из условия (23), можно получить следующее соотношение, при котором исключается интерференция:

$$\left(z_1 + z_2\right) tg\alpha_{12} - z_2 tg\alpha_{a2} \geq \left(z_1 + z\right) tg\alpha_{01} - z_0 tg\alpha'_{1a0} \qquad (3.24)$$

где α_{12} - угол зацепления двух сопряженных колес;

α_{a2} - угол давления эвольвенты в точке, лежащей на окружности выступов колеса 2;

α_{01} - станочный угол зацепления долбяка в колеса;

α'_{1a0} - угол давления эвольвенты в точке, лежащей на окружности выступов долбяка.

Если условие (3.24) не выполняется, производится последовательное уменьшение коэффициента смещения исходного контура в порядке, предписанном алгоритмом. Максимальный коэффициент смещения исходного контура, удовлетворяющий условию отсутствия интерференции, определяется из соотношения (3.24) методом половинного деления (см. элементы 22..37 блок-схемы). Значение указанного коэффициента лежит на отрезке [-2..Xo].

При нарезании долбяком, имеющим относительно большое число зубьев колеса с малым числом зубьев появляется опасность подрезания ножки зуба колеса, а при нарезании долбяком, имеющим относительно малое число зубьев колеса с большим числом зубьев может произойти срезание головки зуба колеса. На рис. 6 изображен предельный случай, когда срезание головки зуба колеса не имеет места и окружность выступов колеса радиуса raz проходит через крайнюю точку B линии профилирования. Срезание головки зуба колеса наблюдается тогда, когда окружность выступов колеса пересекает линию профилирования за пределами участка AB. Поэтому условие отсутствия срезания головки зуба колеса можно записать в следующем виде:

$$r_{a2} \leq O_2 B. \qquad (3.25)$$

Проверка отсутствия срезания головок и подрезания ножек зубьев производится для колес, нарезаемых предельно сточенным долбяком. Расстояние a1r от исходного сечения до торцового сечения предельно сточенного долбяка обычно является отрицательной величиной и стачивание долбяка при переточках производится за исходное сечение. Предельно допустимое значение коэффициента смещения исходного контура xr при котором отсутствует срезание головок зубьев колеса, определится из выражения:

$$x_r = \frac{(inv\alpha_{o2r} - inv\alpha)(z_2 - z_o)}{2tg\alpha} - x_2, \qquad (3.26)$$

где α_{o2r} - определим по формуле:

$$\alpha_{02r} = arctg\left(\frac{\sqrt{r_{a2}^2 - r_{в2}^2}}{r^1{}_{в0} + \kappa_{в2}}\right). \qquad (3.27)$$

Условие отсутствия подрезания ножки зуба колеса, нарезаемого предельно сточенным долбяком, можно записать в виде:

$$r_{aост} \le O_0 B. \qquad (3.28)$$

Это соотношение получаем из рис. 3.5 если долбяк и колесо поменять местами.

Из двух рассмотренных условий лимитирующим будет то, которое приводит к меньшей по абсолютному значению величине a1r и соответственно, к меньшему по абсолютному значению коэффициенту смещения исходного контура X′r . Указанный исходного контура, удовлетворяющий условию отсутствия срезания головки и подрезания ножки зуба колеса, определяется методом половинного деления из соотношений (3.25) и (3.28) (см. элементы 38.. .50 блок-схемы алгоритма проектирования долбяков).

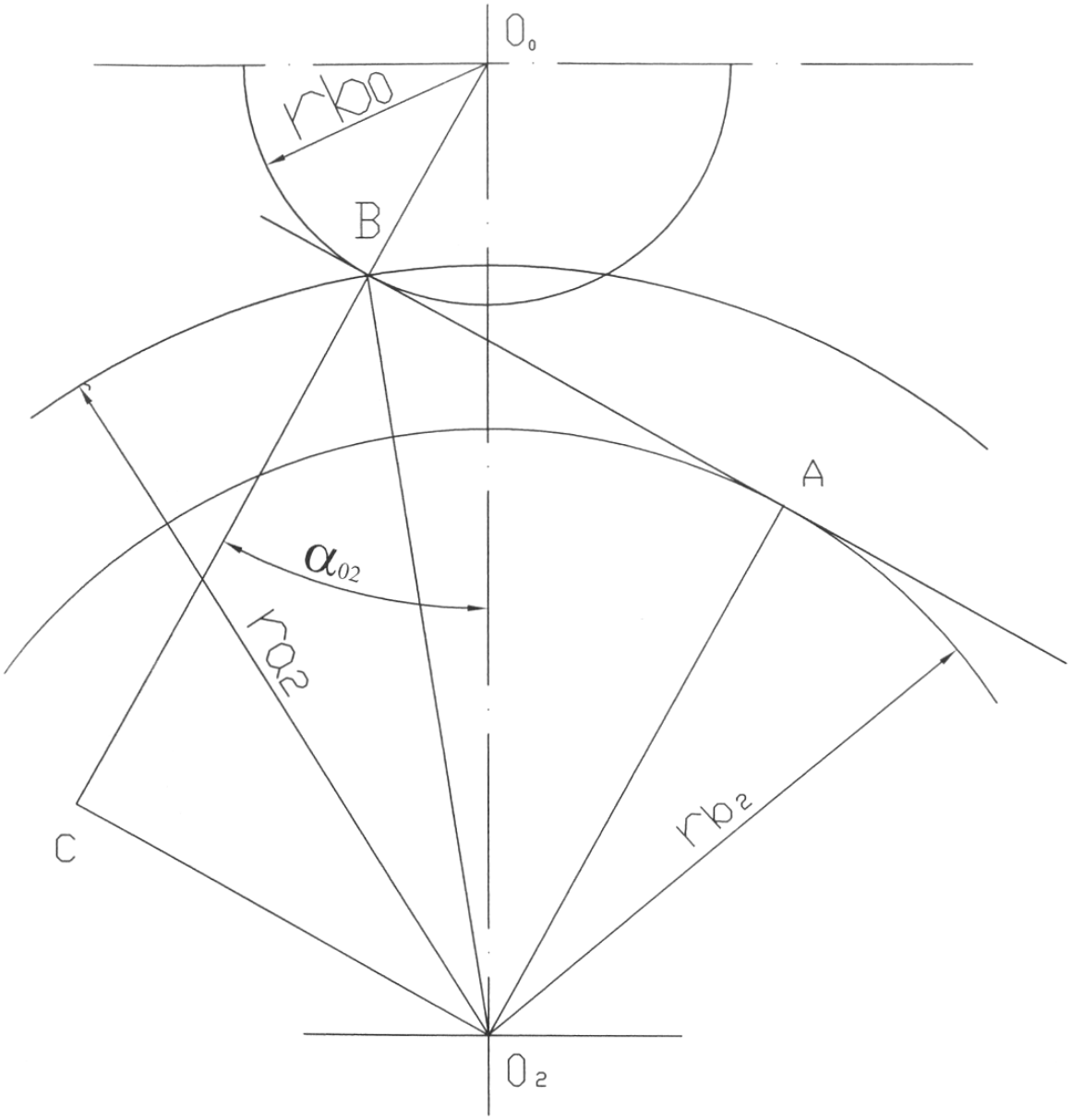


Рис. 3.6 Определение допустимой величины стачивания.

3.1.3. Выбор конструктивных параметров долбяков

Высота долбяка может быть определена по формуле:

$$H = a - a_{ir} + H_d, \qquad (3.30)$$

где a - расстояние от переднего торца нового долбяка до исходного сечения (исходное расстояние);

a_{ir} - расстояние от исходного сечения до торца предельно сточенного долбяка, взятое с соответствующим знаком;

H_d - высота предельно сточенного долбяка, обеспечивающая его достаточную прочность; обычно $H_d = 3 \div 5$ мм. Высота долбяка не должна быть слишком большой по технологическим требованиям. На основе практического опыта рекомендуемая величина высоты долбяка, допустимая по соображениям технологичности зубошлифования, изменяется от 12 до 20 мм для модулей от 1.0 до 6 мм. Определение высота долбяка Н представлено элементами 51... 71 блок-схемы (рис. 3.2).

Далее определяются значения задних углов на боковых режущих кромках долбяка в сечении по делительному цилиндру и в нормальном сечении, высота головки и ножки зуба долбяка в исходном сечении в плоскости переднего торца, толщины зуба по дуге делительной окружности, диаметр окружности выступов и впадин, диаметр окружности граничной точки профиля, толщина зуба на окружности выступов, толщина зуба по хорде в проекции на плоскость переднего торца долбяка, высота головки зуба до хорды (см. элементы 72... 77 блок-схемы).

В машиностроении, применяются следующие конструктивные типы долбяков: дисковые (табл. 3.2- рис. 3.7), чашечные (табл. 3.3. – рис. 3.8), хвостовые (табл. 3.4. – рис. 3.9).

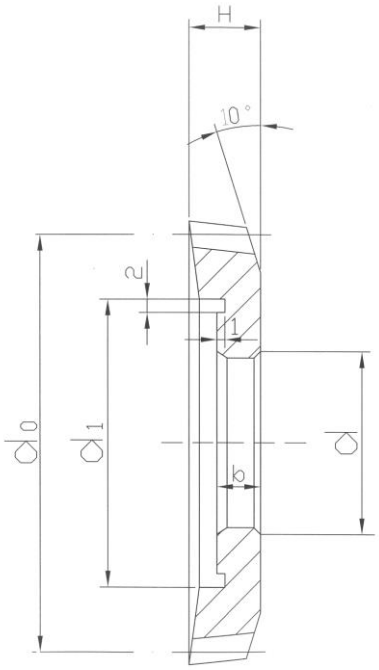


Рис. 3.7 Дисковый долбяк

Таблица 3.2.

Основные конструктивные размеры дисковых прямозубых долбяков, мм

do номин	Модуль m	H	d	d_1	в
40	0.14-0.6	10	20	28	5
	O.7-1.0	12			6
64	0.2-0.6	10	31.743	50	5
	0.7-1.0	12			6
75	1-1.5	12			8
	1.75-2.5	15			
	2.75-4.5	17			
100	1-1.75	17	44.443	70	
	2-5	20			10
	5.5-6.5				12
125	5-9	26		80	14
160	8-10	30		120	20
200	10-12	40		140	25

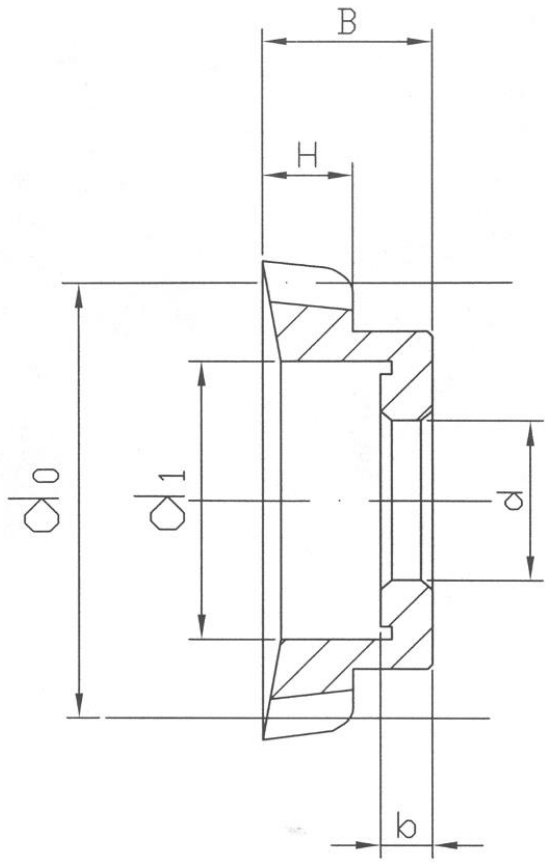


Рис. 3.8. Долбяк чашечный

Таблица 3.3

Основные конструктивные размеры чашечных прямозубых долбяков, мм

d_o	Модуль *m*	H	B	b	d	d_1
50	1,125-1,5	12	25	10	20	28
	1,75-2,75	15		11		
	3-3,5	17				
75	1,125- 1,5	12	28	8	31,743	50
	1,75-2,5	15	30	10		
	2,75-3,5	17				
100	1,125-				44,443	63
	2-5	20	32	12		
	5,5-6,5	22	34			
125	5-9	26	38	16		70

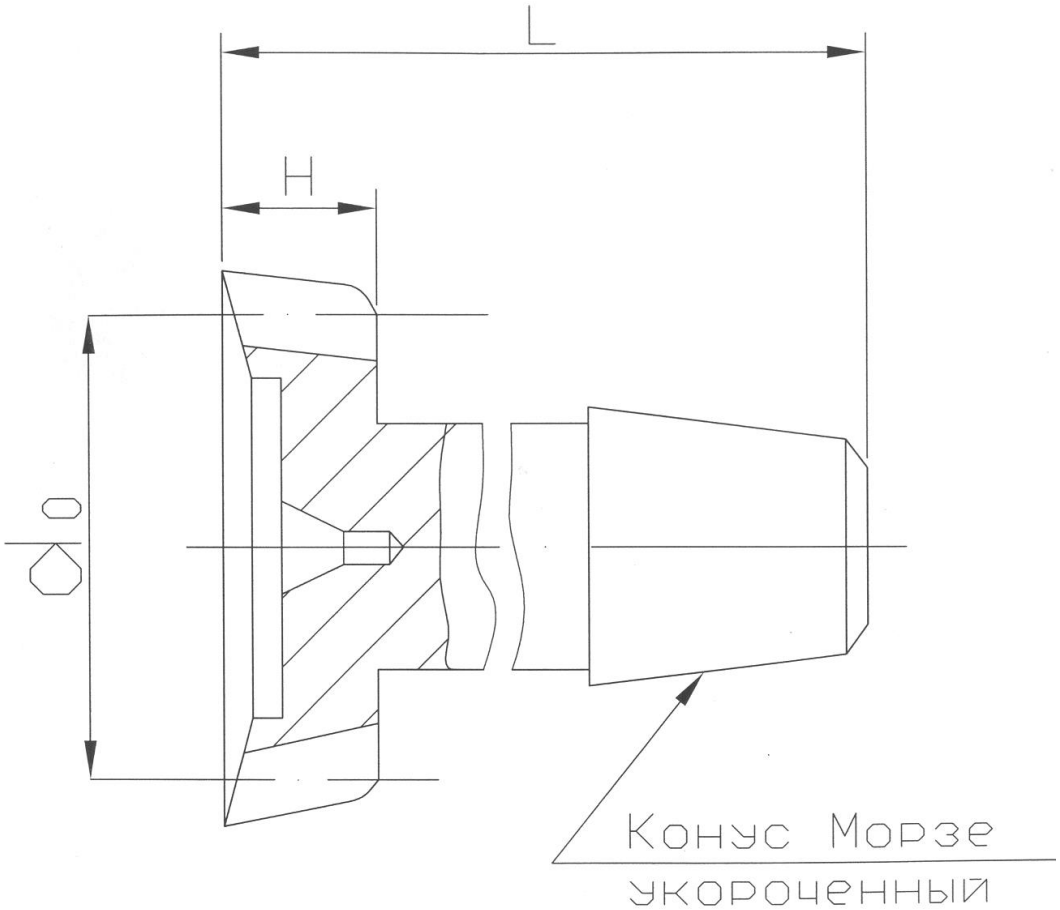


Рис. 3.9. Долбяк хвостовой

Таблица 3.4

Основные конструктивные размеры хвостовых прямозубых долбяков.

d_0 Номин	Модуль m	H	L	Конус Морзе укороченный
12	0,1-0,4	6	60	1в
	0,45-0,5	8		
16	0,1-0,4	6		
	0,45-0,6	8		
25	0,1-0,4	6	80	2в
	0,45-1,0	8		
	1,125-1,5	10	76	2в
	1,75 -2,5	12	78	
	2,75-5,0	15	81	
30	1,125-1,5	12	97	3в
	1,75-3,5	15	100	
	3,75	17	102	

Дисковые прямозубые долбяки применяются в основном для нарезания колес наружного зацепления. Чашечные долбяки по конструкции напоминают дисковые, но имеют увеличенную глубину выточки, где имеется гайка для крепления. Это позволяет чашечными долбяками производить нарезание колес в упор, что имеет место при обработке блоков зубчатых колес, колес с выступающими фланцами.

Хвостовые долбяки, в основном, применяются для нарезания колес внутреннего зацепления к с малым модулем. Установлены следующие номинальные значения диаметров делительных окружностей долбяков: 12, 16, 25, 38, 40, 50, 64, 75, 100, 125, 160, 200 мм. Число зубьев долбяка Zo связано с диаметром делительной окружности соотношением:

$$d_0 = mz_0$$

Так как число зубьев zo может быть только целым, фактически делительные диаметры долбяков несколько отличаются от номинальных.

Дисковые и чашечные долбяки закрепляются на оправке. Базой для крепления является отверстие, а также нижняя опорная торцевая плоскость. Хвостовые долбяки для их закрепления обычно снабжаются коническим хвостовиком. Конструктивные размеры различных типов долбяков можно выбрать по таблицам 3.2, 3.3, 3.4.

3.1.4. Пример расчета зуборезного долбяка

Исходные данные:

Модуль, мм	m	2,75
Угол профиля исходного контура, град	α	20°
Число зубьев шестерни	Z_1	20
Число зубьев колеса	Z_2	25
Коэф. смещения исходного контура шестерни	X_1	0,2
Коэф. смещения исходного контура колеса	X_2	0,1
Коэф. высоты головки зуба	h_a	1,2375
Изменение толщины зуба долбяка	ΔS_o	0
Номинальный диаметр долбяка, мм	d_n	80
Задний угол долбяка, град	$\alpha_в$	6°
Передний угол долбяка, град	$\gamma_в$	5°
Исполнение	-	1

Станок - 5А150, Материал - Сталь 40Х, НВ 217

Расчет основных размеров долбяка

Число зубьев долбяка: $Z_o = d_n / m = 29{,}0909$; принимаем: $Z_o = 30$

$$A = \frac{tg\alpha}{1 - tg\alpha_в * tg\gamma_в} = 0{,}36735$$

Угол профиля, град: $\alpha_o = \mathrm{arctg}A = 20{,}1707$

Толщина зуба по дуге делительной окружности в исходном состоянии, мм:

$$S_o = \frac{P_i * m}{2} = 4{,}31969$$

Делительная толщина зуба, мм:

$$S_d = \frac{P_i * m}{2} + \Delta S_a = 4{,}3199$$

Диаметр делительной окружности, мм:

$$d_o = m * Z_o = 82{,}5$$

Диаметр основной окружности, мм:

$$d_{во} = d_o * \cos\alpha_o = 77{,}44022$$

Диаметр основного цилиндра, от которого образуются боковые задние поверхности зубьев долбяка, мм:

$$d_{во}=d_o*\cos\alpha_o= 77,52464$$

Допустимая величина толщины зуба на вершине, мм:

$$[S_{ao}] = \sqrt{0,2594*m-0,0375}=0,8221$$

Определение коэффициента смещения исходного контура X_o:

$$X_o=0,3$$

Величина смещения исходного сечения нового долбяка, мм:

$$A=X_o*m/ tg\alpha_в=7,84935$$

Диаметр окружности выступов, мм:

$$d_{ao}=d_o +2h_{ao}*m+2*X_o*m= 90,9563$$

где h_{ao}- делительная высота головки зуба, мм:

$$h_{ao}=(h_a+c)*m=5,29375$$

Диаметр окружности впадин, мм:

$$D_{fo}=d_o -2h_{ao}*m+2*X_o*m=74,04375$$

Толщина зуба по дуге делительной окружности, мм:

$$S_{do}= S_0+2Atg\alpha_в=S_a+2Atg\alpha_B*tg\alpha_o=6,62275$$

Толщина зуба на окружности выступов, мм:

$$S_{ao1}=d_{ao}*\frac{S_a(d_{ao}-d_o-2h_{ao}*m)tg\alpha_o}{d_o}+inv\alpha_o-inv(\arccos(\frac{d_{ва}}{d_{ao}}))=3,87553$$

Радиус основной окружности колеса по Z_2, мм:

$$r_{в2}= (m*Z_2*\cos\alpha)/2=32,3019$$

$$r_{a2}= m*Z_2/2+h_{a2}=39,66875$$

Угол давления эвольвенты в точке, лежащей на окружности выступов колеса 2, град:

$$a_{a2}=\arccos\frac{r_{в2}}{r_{a2}}=35,48261$$

Угол зацепления двух сопряженных колес, град:

$$П= (Z_1+Z_2) *tg\alpha_{o1}-Z_2*tg\alpha_{a2}=0,02157$$

Станочный угол зацепления долбяка и колеса, град: $\alpha_{o1}= 0,39138$

Проверка отсутствия подрезания ножек зубьев:

$$\sqrt{(2\frac{m(z_1+z_0)\cos\alpha}{2\cos\alpha_{10}}\sin\alpha_{10})^2+d_{во}^2-d_{ао}} \geq 0 \Rightarrow 8{,}42248 \geq 0$$

где диаметр окружности вершин зубьев изношенного долбяка, мм:

$$d_{ao}=d_o+2h_{ao}-2Atg\alpha_a=99{,}1945$$

смещение исходного сечения предельно сточенного долбяка, допустимое его прочностью, мм:

$$A=B-B_и-A=11{,}1757$$

B и B_{II}- ширина нового и предельно сточенного долбяка, $B_и$ принимать не менее 4 мм:

$$B_и \approx 3\sqrt{m}=4{,}9749$$

где $$inv\alpha_{10}=inv\alpha-\frac{2(x_1m-A'tg\alpha_u)}{m(z_1+z_o)}=0{,}02398 \Rightarrow \alpha_{10}=23°48'$$

Размеры зубьев нового долбяка на передней поверхности:

Делительная толщина зуба, мм:

$$S_{ao}=S_{ao}+2(A-h_{tao}*tg\gamma_a)tg\alpha_б = 7,\ 1736$$

Высота головки зуба, мм:

$$h_{tao}=h_{ao}+Atg\alpha_a=8{,}17772$$

Угол наклона винтовых линий на боковой поверхности зуба долбяка (боковые задние углы) с точностью до 1 :

на делительном цилиндре

$$tg\alpha_б= tg\alpha_a\ tg\alpha_o =0{,}0386 \rightarrow 2°21'11''$$

на основном цилиндре

$$tg\alpha_{бп}= tg\alpha_a\ sin\alpha_o =0{,}0362 \rightarrow 2°07'56''$$

Толщина зуба по хорде, мм:

$$S_{ao} = d_o sin\varphi = 7{,}1646$$

Половина угловой толщины зубьев:

$$\varphi=\frac{360°S_{ao}}{2\pi d_o}=4{,}9820$$

Условие отсутствия подрезания ножки зуба выполняется:

$$(2\frac{m(z_1+z_o)\cos\alpha}{2\cos\alpha_{10}}*\sin\alpha_{10})^2+d_{во}{}^2-d_{ао}\geq 0 \text{ или } 8{,}42248 \geq 0$$

Таблица 3.5

Расстояние до исходного контура	a	7,84935
Коэффициент смещения исходного контура долбяка	X	0,3
Угол профиля рейки долбяка	α_o	20°17'7"
Число зубьев долбяка	Z_o	30
лительный диаметр	d_o	82,5000
Основной диаметр	$d_{по}$	77,4402
Наружный диаметр	$d_{ао}$	90,9563
Внутренний диаметр	d_{io}	74,0438
Толщина зуба долбяка по делительной окружности в исходном сечении	S_o	4,3197
Толщина зуба долбяка по хорде на передней перпендикулярную к оси долбяка	S_x	7,1646
Толщина зуба долбяка на окружности выступов	$S_{ао}$	3,8755
Боковой задний угол на делительном цилиндре	$\alpha_{1б}$	2°21'11"
Боковой задний угол в нормальном сечении	$\alpha_{1бп}$	2°7'56"
Высота головки зуба долбяка в исходном сечении	$h_{ао}$	5,2938
Высота долбяка	H	17

3.2. Зуборезные шеверы

3.2.1. Общие сведения о шеверах

Шеверы применяются для окончательной обработки боковых поверхностей зубьев прямозубых и косозубых колес наружного и внутреннего зацепления после предварительного их нарезания червячной фрезой или долбяком, а также для чистовой обработки точных червячных колес. Шеверы проектируются для обработки колес с определенным числом зубьев или для обработки колес с различным числом зубьев. Шеверы применяются для чистовой обработки цилиндрических колес *m*= 0,2...8 мм с прямыми и винтовыми зубьями наружного и внутреннего зацепления. Шевингование повышает точность колес, как правило, примерно на одну степень, при этом исправляется профиль зубьев,

шаг, биение зубчатого венца, шероховатость поверхности снижается до R_a=0,63...0,32 мкм. Хуже исправляется накопленная погрешность шага.

Конструктивно дисковый шевер представляет собой корригированное зубчатое колесо, зубья которого снабжены канавками, образующими режущие кромки, вращается вокруг оси ОО (рис. 3.11), наклоненной к оси заготовки на некоторый угол θ. При сближении осей шевера, имеющего косые зубья, и заготовки, имеющие прямые зубья, получается зубчатое зацепление заготовки и шевера. Если отметить точку на профиле зуба шевера, лежащую на оси ОО, и соответствующую ей точку на профиле колеса, то при повороте шевера и колеса на некоторый угол при взаимном зацеплении их точка, лежащая на профиле шевера, из положения А переместиться в положение $А_ш$; точка А, лежащая на профиле зуба колеса, переместиться при этом в положение $А_к$. Точки $А_ш$ и $А_к$ Разойдутся на некоторое расстояние l. Поскольку в процессе зацепления шевера и колеса будет происходить тоже самое с каждой точкой профиля, то возникает некоторое скольжение профиля зуба шевера относительно профиля колеса. Скорость этого скольжения и является скоростью резания при шевинговании. Эта скорость переменна, и абсолютная величина её зависит от угла скрещивания осей заготовки и шевера. Обычно этот угол скрещивания осей θ выбирают в пределах 10-15°. Для того чтобы получить относительное скольжение при обработке прямозубых колес, необходимо делать шевер с косыми зубьями, а при обработке косозубых колес – шевер с прямыми зубьями.

Рис. 3.11. Схема шевингования дисковым шевером.

Зацепление шевера с обрабатываемым зубчатым колесом представляет собой беззазорное зацепление двух цилиндрических винтовых колес, оси которых перекрещиваются. Зацепление зубьев этой передачи можно рассматривать как последовательное сопряжение эвольвентных поверхностей или как зацепление двух эвольвентных червяков.

Эвольвентная поверхность (рис. 3.12) образуется при качении без скольжения прямой линии AB по винтовой линии основного цилиндра d_b. Производящая линия эвольвентной поверхности касательна к основному цилиндру и наклонена относительно плоскости, перпендикулярной оси основного цилиндра под определенным углом σ. Этот угол подъема производящей линии равен углу подъема винтовой линии на основном цилиндре (τ_0).

Угол наклона винтовой линии β (угол наклона производящей) является дополнительным углом σ к прямому. Связь между углом подъема производящей, углом наклона β винтовой линии на заданном диаметре и нормальным углом давления α_n на этом диаметре устанавливается следующей зависимостью:

$$\cos\sigma = \cos\alpha_n \cdot \sin\beta . \qquad (3.3.1)$$

Обычно нормальный угол давления и угол наклона винтовой линии заданы в чертеже обрабатываемого зубчатого колеса на делительной окружности.

Из условия сопряжения эвольвентных поверхностей, линия зацепления является общей как для шевера, так и для колеса и лежит в плоскостях, касательных к их основным цилиндрам. На рис. 2 плоскость V касательна к основному цилиндру d_b, в этой плоскости лежит производящая прямая *AB*, положение которой определяется углом σ.

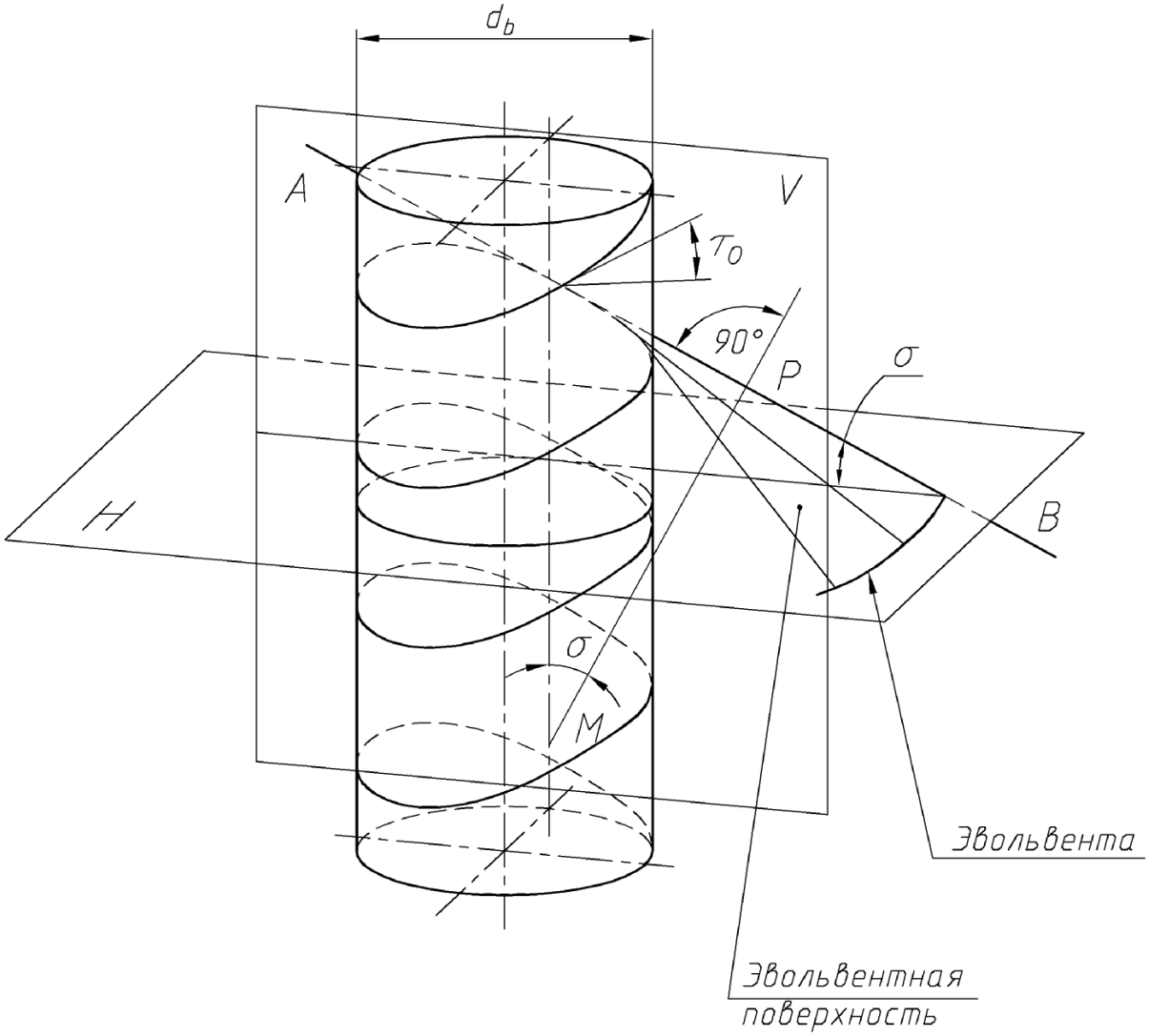


Рисунок 3.12. Схема образования эвольвентной поверхности

При сопряжении эвольвентной поверхности основного цилиндра d_{b0} (шевера) с эвольвентной поверхностью основного цилиндра d_{b1} (колеса) в точке *P* (рис. 3.13) продолжение нормали *PM* эвольвентной поверхности колеса будет нормалью к эвольвентной поверхности шевера. Эта общая нормаль и есть линия зацепления эвольвентных по-

верхностей шевера и колеса. Точка *P* является полюсом зацепления, который лежит на кратчайшем межосевом расстоянии.

Из рис. 3.13 следует, что длина линии зацепления L определяется следующим образом:

$$L = MP + PK.$$

Проекции P_1K_1 и P_2M_2 отрезков *PK* и *PM* на соответствующие торцы есть радиусы кривизны эвольвенты зуба в торцах на начальных диаметрах. Поэтому длину линии зацепления можно выразить следующей зависимостью:

$$L = \frac{\rho_1}{\sin\sigma_1} + \frac{\rho_0}{\sin\sigma_0} = \frac{\sqrt{d_{w1}^2 - d_{b1}^2}}{\sin\sigma_1} + \frac{\sqrt{d_{w0}^2 - d_{b0}^2}}{\sin\sigma_0}, \qquad (3.2.2)$$

где d_{w1} и d_{w0} – диаметры начальных окружностей заготовки и шевера;

d_{b1} и d_{b0} – диаметры основных окружностей заготовки и шевера;

σ_1 *и* σ_0 – углы подъема производящих заготовки и шевера.

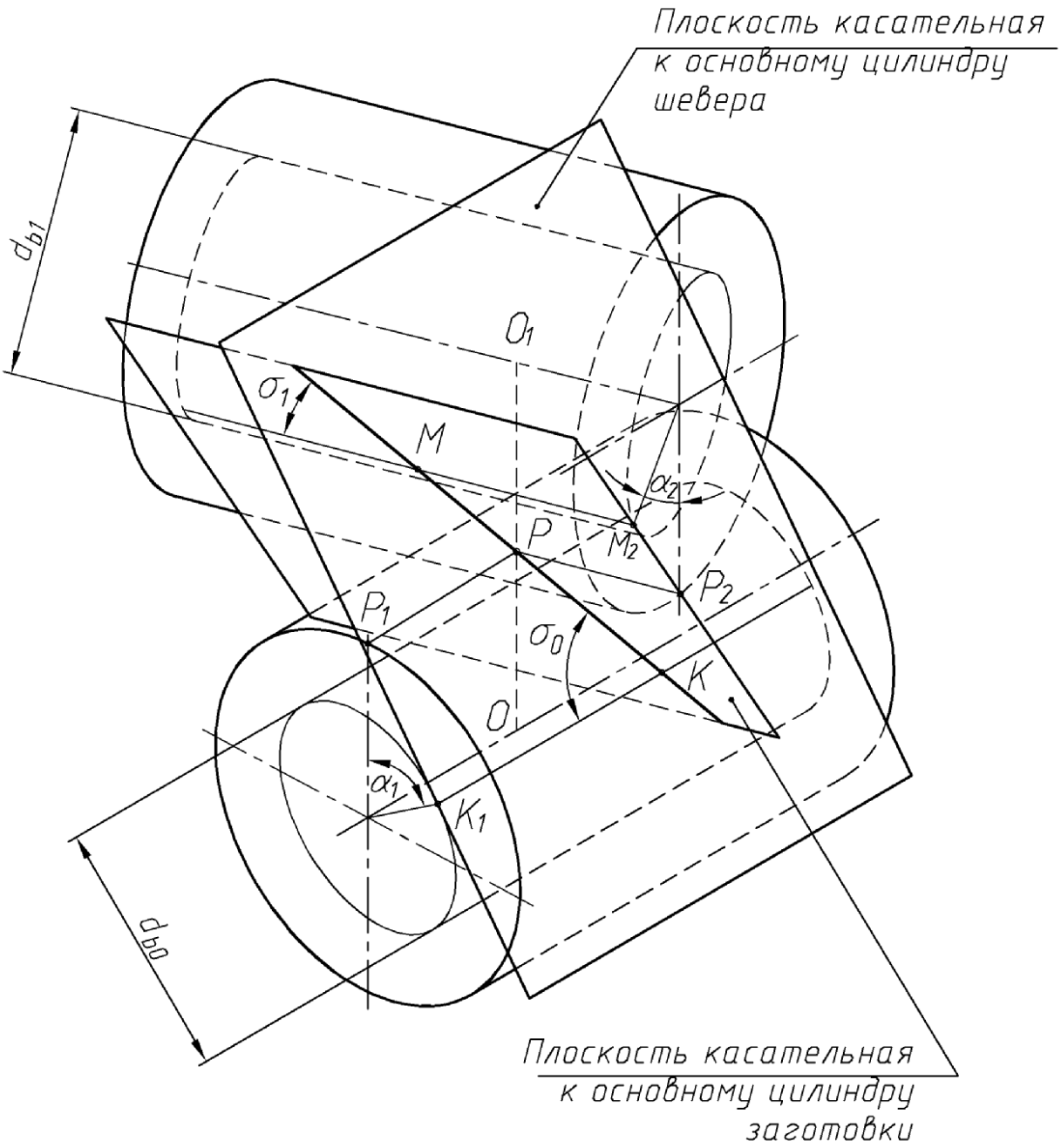


Рис. 3.13. Схема зацепления винтовой передачи

Очевидно, что любой торцовый радиус кривизны эвольвенты зуба лежащий в плоскости касательной к основному цилиндру и проходящий через полюс зацепления является проекцией соответствующего отрезка линии зацепления на торец и наоборот, этот отрезок линии зацепления есть «обратная» проекция соответствующего радиуса кривизны на линию зацепления, т.е.:

$j_1 = \dfrac{\rho}{\sin\sigma_1}$ – для колеса,

для шевера.

$$j_0 = \frac{\rho}{\sin\sigma_0}$$

Таким образом, если известны линия зацепления и какой либо радиус кривизны эвольвенты зуба колеса в торце, то можно определить сопряженный с ним радиус кривизны эвольвенты зуба шевера на торце.

На рис. 3.14. показано зацепление зубьев колеса и шевера в плоскости, проходящей через линию зацепления *MK* и линию кратчайшего межосевого расстояния.

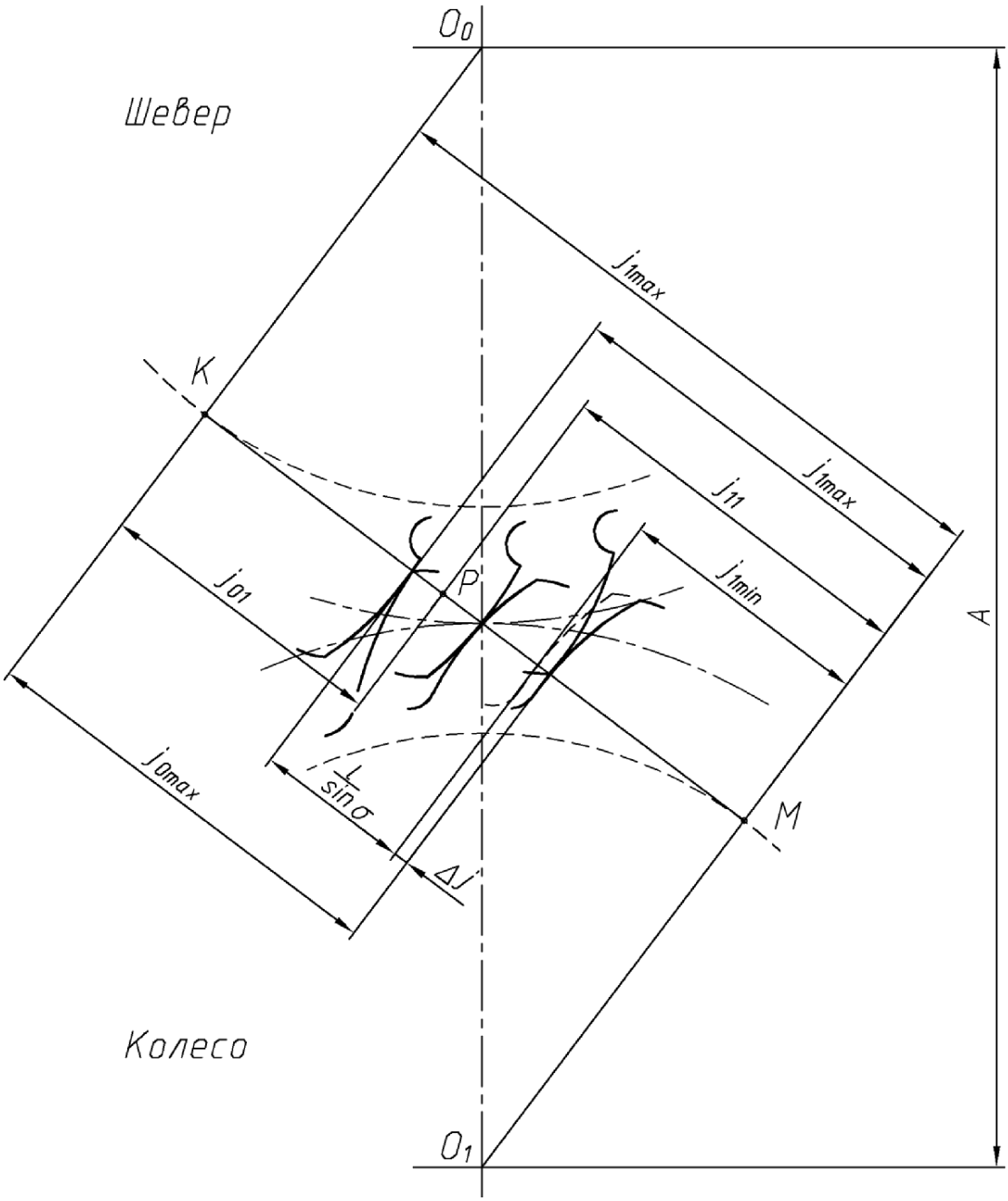


Рис. 3.14. Зацепление зубьев колеса и шевера

При зацеплении шевера и колеса при постоянном межосевом расстоянии А длина линии зацепления есть величина постоянная и равна:

$$L = j_{11} + j_{01} = j_{12} + j_{02} = j_{1\min} + \left(j_{0\max} - \Delta j\right) = const,$$

где j_1 и j_0 – «обратные» проекции радиусов кривизны зубьев колеса и шевера;

Δj – необходимое перекрытие обработкой активной линии зацепления.

Следовательно:

$j_{0\max} = L - \left(j_{\min} - \Delta j\right)$ или

$$\rho_{0\max} = L\sin\sigma_0 - \frac{\left(\rho_{\min} - \Delta\rho\right)\sin\sigma_0}{\sin\sigma_1}. \qquad (3.2.3)$$

Зная максимальный радиус кривизны зуба шевера на его торце можно определить наружный диаметр шевера по известной формуле:

$$d_{a0} = \sqrt{4\rho_{0\max}^2 + d_{b0}^2}. \qquad (3.2.4)$$

Вышеизложенные положения легли в основу расчета шевера. В процессе эксплуатации шевера, последний подвергается переточкам, в результате которых меняет свои параметры. Для обеспечения постоянства перекрытия обработкой активной части профиля колеса необходимо определять параметры шевера как нового, так и сточенного.

Сущность процесса шевингования заключается в следующем: в результате зацепления шевера и обрабатываемого колеса с перекрещивающимися осями возникает скольжение профилей их зубьев, которое используется для создания движения резания при шевинговании. Контакт зубьев шевера и обрабатываемого колеса теоретически точечный (в действительности имеет место пятно контакта). В процессе зацепления контакт перемещается по пространственной линии зацепления. В точках контакта и происходит обработка зубьев колеса зубьями шевера. Для возможности обработки профиля зубьев колеса по всей ширине заготовки, ей относительно шевера сообщается подача

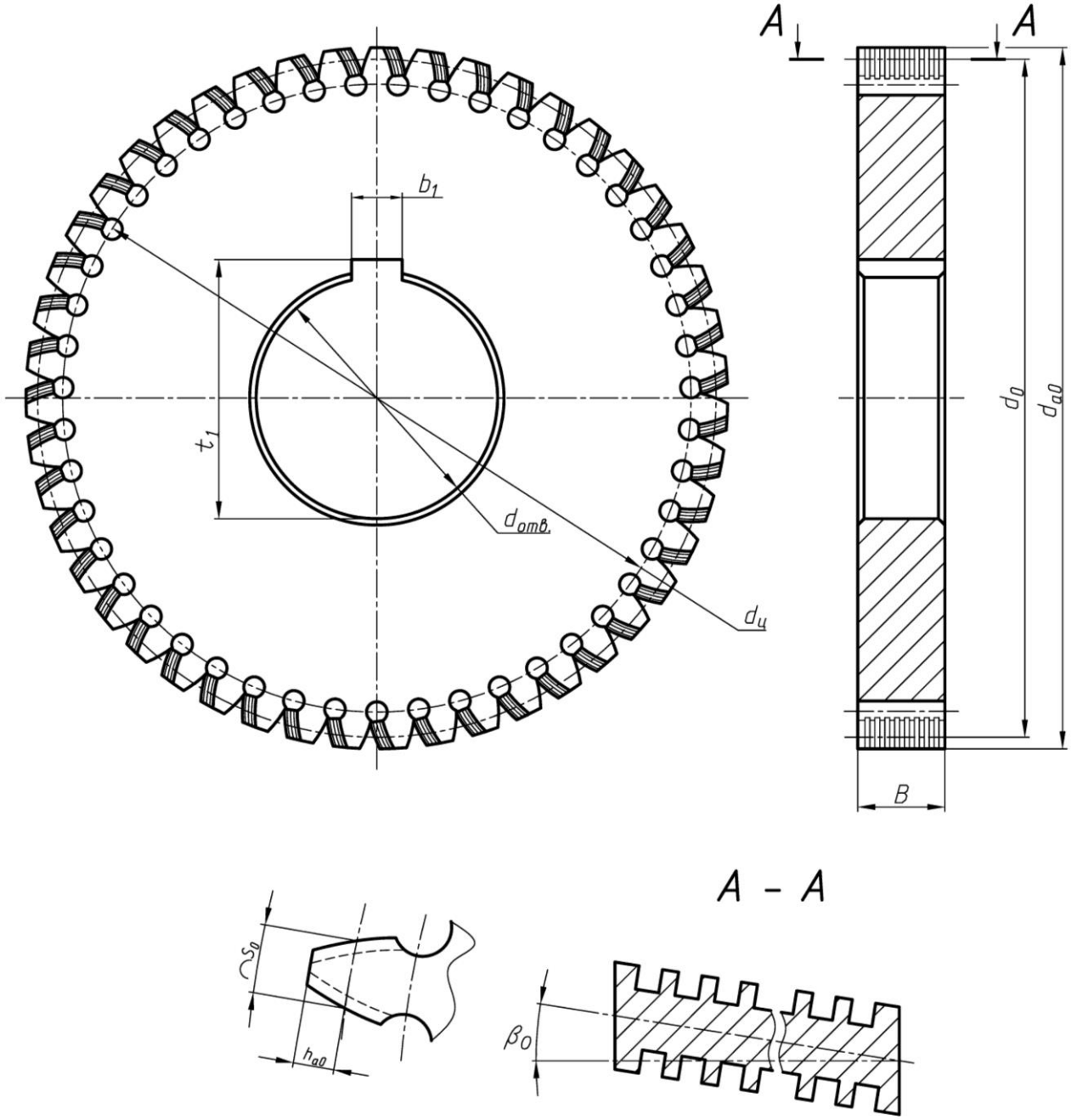


Рис. 3.15. Конструктивные элементы дискового шевера.

К основным конструктивным элементам шевера относятся:

d_o -диаметр делительной окружности ;

d_{ao} -диаметр вершин зубьев;

B - ширина шевера;

$d_ц$ -диаметр окружности центров отверстий;

S_0 -толщина зуба шевера.

Исходные данные для проектирования шевера

Исходными данными для расчета шеверов являются параметры пары сопряженных колес, а именно:

m_n – нормальный модуль

h_a^* - коэффициент высоты головки зуба колеса

β –угол наклона зубьев колес

z_1 – число зубьев обрабатываемого колеса

$\alpha_{ä}$ – угол профиля колеса

z_2 – число зубьев сопряженного с ним колеса

$d_{ä1}$ - диаметр вершин зубьев обрабатываемого колеса

D_{e1} - диаметр граничных точек обрабатываемого колеса

$S_{ä}$ - толщина зуба обрабатываемого колеса

d_1 - делительный диаметр обрабатываемого колеса

$A_{1,2}$ - межосевое расстояние между обрабатываемым и сопряженным колесом

$d_{ä2}$ - диаметр вершин сопряженного колеса

D_{e2} - диаметр граничных точек сопряженного колеса

Расчет шевера заключается в определении его размеров и проверки правильности зацепления обработанных им колес [21]

3.2.2. Формулы определения дополнительных технологических данных колеса, необходимых для расчета шевера

1. Угол зацепления по торцу:

$tg\alpha_{\partial s} = \dfrac{tg\alpha_{\partial}}{\cos\beta_{\partial}}$ для косозубых колес;

$\alpha_{\partial s} = \alpha_{\partial}$ для прямозубых колес.

2. Угол подъема винтовой линии на основном цилиндре колеса (для косозубых колес) $\cos\sigma = \cos\alpha_{\partial}\sin\beta_{\partial}$.

3. Диаметры основных цилиндров колеса и сопряженной с ним шестерни $d_{o1} = d_{\partial 1}\cos\alpha_{\partial s}$; $d_{o2} = d_{\partial 2}\cos\alpha_{\partial s}$.

4. Угол зацепления в зубчатой передаче $\cos\alpha_s = \dfrac{d_{o1} + d_{o2}}{2A_{1,2}}$,

где $A_{1,2}$ -межцентровое расстояние в передаче; для не корригированной передачи $\alpha_s = \alpha_{\partial s}$.

5. Длина активной линии зацепления сопряженных колес в передаче

$$l = 0{,}5\left(\sqrt{D_{e1}^2 - d_{o1}^2} + \sqrt{D_{e2}^2 + d_{o2}^2}\right) - A_{1,2}\sin\alpha_s.$$

6. Радиус кривизны в точке начала активной части профиля колеса

$$p_1 = 0{,}5\sqrt{D_{e1}^2 - d_{o2}^2} - l.$$

7. Необходимое перекрытие обработкой активной части профиля зуба колеса при шевинговании $\Delta l \approx \dfrac{0{,}15m}{\sin\alpha_{\partial s}}$

8. Коэффициент перекрытия при зацеплении колеса с шевером

$$\varepsilon = \frac{l + \Delta l}{\sin\sigma\pi m\cos\alpha_{\partial}}.$$

Должно быть $\varepsilon \geq 1{,}1$, в противном случае шевингование невозможно.

3.2.3. Расчет дискового шевера

1. Угол скрещивания осей шевера и колеса $\gamma = 10° \div 15°$.
2. Угол наклона зубьев на делительной окружности $\beta_{\partial u} = \beta_{\partial} - \gamma$
3. Число зубьев шевера $z_u = \dfrac{(D_{\max} - 3m)\cos\beta_{\partial u}}{m}$,

где $D_{\max}$ -наибольший допустимый диаметр шевера (принимается по модели зубошевинговального станка.(Табл. 3.6)

Таблица 3.6

Модель станка	Шпиндель		Шевер		Стол	
	d	b	$D_{eu\,\max}$	$B_{u\,\max}$	Длина	Ширина
5712	31,743	-	120	32	-	-
571	63,5	8	188	40	810	165
571Б	63,5	8	188	40	810	165
5714	63,5	8	240	40	865	195
5715(«Комсомолец)	65	8	210	40	1300	380
5715(ХМАЗ)	65	14	250	40	1000	330
5702	63,5	8	300	40	810	195
5716	63,5	8	188	40	810	165
5А714	63,5	8	240	40	В центрах	
5717	63,5	8	300	100	Круглый стол Ø630	
5706	76,2 и 80	-	350	70	В центрах	

5708	76, и 80	-	350	70	»

4. Диаметр делительной окружности шевера $d_{\partial u} = \dfrac{mz_u}{\cos\beta_{\partial u}}$.

5. Торцовый профильный угол шевера $tg\alpha_{\partial su} = \dfrac{tg\alpha_{\partial}}{\cos\beta_{\partial u}}$.

6. Диаметр основного цилиндра $d_{ou} = d_{ou}\cos\alpha_{\partial su}$.

7. Угол подъема винтовой линии на основном цилиндре

$\cos\sigma_u = \cos\alpha_{\partial}\sin\beta_{\partial u}$.

Определение параметров нового шевера

8. Нормальный угол зацепления на начальном цилиндре нового шевера $\alpha_{u1} = \alpha_{\partial} + \Delta\alpha$,

где $\Delta\alpha = 1°$ при $\alpha_{\partial} = 20°$ и $\Delta\alpha = 1°30'$ при $\alpha_{\partial} = 15°$.

9. Угол наклона зубьев на начальном цилиндре $Sin\beta_u = \dfrac{\cos\sigma_u}{\cos\alpha_{u1}}$.

10. Угол наклона зубьев на начальном цилиндре колеса

$Sin\beta_1 = \dfrac{\cos\sigma}{\cos\alpha_{u1}}$.

11. Торцовый угол давления на начальном цилиндре шевера

$tg\alpha_{su} = \dfrac{tg\alpha_{u1}}{\cos\beta_u}$.

12. Торцовый угол давления профиля на начальном цилиндре колеса

$tg\alpha_{s1} = \dfrac{tg\alpha_{u1}}{\cos\beta_1}$.

13. Диаметр начального цилиндра шевера $d_u = \dfrac{d_{ou}}{\cos\alpha_{su}}$.

14. Диаметр начального цилиндра колеса $d_1 = \dfrac{d_{o1}}{\cos\alpha_{s1}}$.

15.Длина линии зацепления при шевинговании

$$L = \frac{\sqrt{d_1^2 - d_{o1}^2}}{2\sin\sigma} + \frac{\sqrt{d_u^2 + d_{ou}^2}}{2\sin\sigma_u}.$$

16.Наибольший радиус профиля зуба шевера с учетом перекрытия обработкой активной части профиля колеса $p_u = \left(L - \frac{p_1 - \Delta l}{\sin\sigma}\right)\sin\sigma_u$.

17.Диаметр окружности выступов шевера $D_{eu} = \sqrt{d_{ou}^2 + (2p_u)^2}$.

18.Величина радиального зазора шевера и обрабатываемого колеса

$$2\Delta r = d_1 + d_u - D_{eu} - d_i,$$

Должно быть $2\Delta r \rangle 0{,}2m$, в противном случае нужно уменьшать $\Delta\alpha$.

19.Шаг по нормали на начальных цилиндрах шевера и колеса

$$t = \frac{\pi d_1}{z_1}\cos\beta_1.$$

20.Толщина зуба колеса по нормали на начальном цилиндре шевера

$$S = d_1\left(\frac{S_{\partial 1}}{d_{\partial 1}\cos\beta_{\partial 1}} + inv\alpha_{\partial s} - inv\alpha_{s1}\right)\cos\beta_1.$$

21.Толщина зуба шевера по нормали на начальном цилиндре шевера

$$S_u = t - S.$$

22.Высота головки зуба шевера $h'_u = \frac{D_{eu} - d_u}{2}$.

Проверка зуба на заострение

23.Угол давления торцовый на наружном диаметре $\cos\alpha_{eus} = \frac{d_{ou}}{D_{eu}}$.

24.Угол наклона зуба на наружном диаметре (*косозубый шевер*)

$$tg\beta_{eu} = \frac{D_{eu}tg\beta_{\partial u}}{d_{\partial u}}.$$

25. Толщина зуба на вершине по нормали

$$S_{eu} = D_{eu}\left(\frac{S_u}{d_u \cos\beta_u} + inv\alpha_{su} - inv\alpha_{eus}\right)\cos\beta_{eu}.$$

У шеверов, предназначенных для обработки колес модуля *2,5 мм* и выше, S_{eu} должна быть не меньше *1,8-2 мм,* в противном случае нужно уменьшать $\Delta\alpha$.

Определение параметров сточенного шевера

26. Угол зацепления по нормали на начальном цилиндре сточенного шевера $\alpha_{u2} = \alpha_{\partial} - \Delta\alpha$.

27. Угол наклона зубьев на начальном цилиндре $Sin\beta_u = \dfrac{\cos\sigma_u}{\cos\alpha_{u2}}$.

28. Угол наклона зубьев на начальном цилиндре колеса

$$Sin\beta_1 = \frac{\cos\sigma}{\cos\alpha_{u2}}.$$

29. Торцовый угол давления на начальном цилиндре шевера

$$tg\alpha_{su} = \frac{tg\alpha_{u2}}{\cos\beta_u}.$$

30. Торцовый угол давления профиля на начальном цилиндре колеса

$$tg\alpha_{s1} = \frac{tg\alpha_{u2}}{\cos\beta_1}.$$

31. Диаметр начального цилиндра шевера $d_u = \dfrac{d_{ou}}{\cos\alpha_{su}}$.

32. Диаметр начального цилиндра колеса $d_1 = \dfrac{d_{o1}}{\cos\alpha_{s1}}$.

33. Длина линии зацепления при шевинговании

$$L = \frac{\sqrt{d_1^2 - d_{o1}^2}}{2\sin\sigma} + \frac{\sqrt{d_u^2 + d_{ou}^2}}{2\sin\sigma_u}.$$

34. Наибольший радиус профиля зуба шевера с учетом перекрытия обработкой активной части профиля колеса $p_u = \left(L - \frac{p_1 - \Delta l}{\sin\sigma} \right) \sin\sigma_u$.

35. Диаметр окружности выступов шевера $D_{eu} = \sqrt{d_{ou}^2 + (2p_u)^2}$.

36. Величина радиального зазора шевера и обрабатываемого колеса

$2\Delta r = d_1 + d_u - D_{eu} - d_i$,

Должно быть $2\Delta r \rangle 0{,}2m$, в противном случае нужно уменьшать $\Delta\alpha$.

37. Шаг по нормали на начальных цилиндрах шевера и колеса

$t = \frac{\pi d_1}{z_1} \cos\beta_1$.

38. Толщина зуба колеса по нормали на начальном цилиндре шевера

$S = d_1 \left(\frac{S_{\partial 1}}{d_{\partial 1} \cos\beta_{\partial 1}} + inv\alpha_{\partial s} - inv\alpha_{s1} \right) \cos\beta_1$.

39. Толщина зуба шевера по нормали на начальном цилиндре шевера

$S_u = t - S$.

40. Высота головки зуба шевера $h'_u = \frac{D_{eu} - d_u}{2}$.

41. Наименьший радиус кривизны профиля зуба сточенного шевера в торце $p_{u2} = p'_u - \frac{(l + \Delta l)\sin\sigma_u}{\sin\sigma}$.

Определение конструктивных элементов шевера

42. Диаметр окружности в точке начала зацепления сточенного шевера

$D_{íç} = \sqrt{d_{ou}^2 + (2p_{u2})^2}$.

43. Диаметр окружности ножек $d_{iu} = D_{íç} - a$, где a -удвоенная величина удлинения высоты зуба шевера для обеспечения перекрытия об-

работкой высоты зуба колеса. Принимают равной: $a = 2$ мм при $m \le 3$ мм, $a \le 3$ мм при $m = 3 \div 5$ мм и $a \ge 4$ мм при $m \ge 5$ мм.

Проверка: должно быть $d_{iu} \ge d_{ou}$, в противном случае надо уменьшать Δa или a.

44. Угол давления торцовый на ножке зуба $\cos\alpha_{isu} = \dfrac{d_{ou}}{d_{iu}}$.

45. Торцовая толщина ножки зуба

$$S_{isu} = d_{iu}\left(\frac{S_u}{d_u \cos\beta_u} + inv\alpha_{us} - inv\alpha_{isu}\right).$$

46. Ширина впадины зубьев по окружности ножек $T_i = \dfrac{\pi d_{iu}}{z_u} - S_{isu}$.

Проверка: должно быть $T_i \ge 1{,}5 + 2$ мм для шеверов модуля больше 2 мм, в противном случае надо уменьшать Δa.

47. Диаметр сверла для сверления отверстий в шевере, предназначенных для выхода гребенки, $d_{ñâ} = T_i + (2 \div 2.5)$ мм.

48. Диаметр окружности центров отверстий $D_ö = d_{iu} - \sqrt{d_{ñâ}^2 - T_i^2}$.

49. Угол наклона оси сверла $tg\varphi = \dfrac{d_{iu} tg\beta_{\partial u}}{d_{\partial u}}$.

50. Полная высота зуба шевера $h_u = \dfrac{D_{eu} - d_{iu}}{2}$.

51. Ширина шевера:

для параллельного метода шевингования $B_ö$ выбирается:

$d_{\partial u}$	85	180	240
B_u	16	20	25

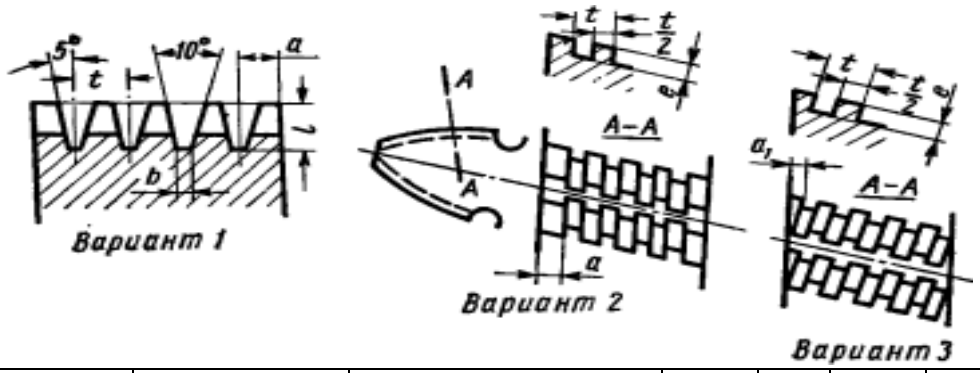
Для диагонального и касательного методов шевингования B_u рассчитывается по формулам $\Delta B = \dfrac{2(l + \Delta l)\cos\sigma_U}{\sin\sigma}$,

$B = btg\gamma$ (касательный), $B = \dfrac{b\sin\gamma}{\sin(\varepsilon+\gamma)}$ (диагональный) и

$B_u = B + \Delta B + (2 \div 3)$ мм.

52. Размеры канавок на боковых сторонах зубьев шевера выбирается по табл. 3.7

Таблица 3.7



Модуль нормальный	$d_{\partial u}$ (номин.)	Вариант исполнения канавок	t	a	a_1	e	b
1,0 1,25 1,5	85	1	2,1 2,7 2,7	2,3 2,4 2,4	-	3 4,5 5	0,8
1,25 1,5 1,75	180	1	3	3	-	4,5 5 5,6	0,8
2-2,75 3 3,25-8	180 240	2 и 3	1,8	1,2	1,37	0,6 0,8 1,0	-

3.2.4. Пример расчета зуборезного шевера

Спроектировать шевер для обработки прямозубого колеса следующих параметров: $z_1 = 50$; $m = 4{,}5$ мм; $\alpha_\partial = 20°$; $d_{\partial 1} = 225$ мм; $D_{e1} = 234$ мм; $h = 9{,}9$ мм; $S_\partial = 7{,}067^{-0{,}06}_{-0{,}14} = 6{,}967$ мм; $d_1 = 214{,}2$ мм; $A_{1,2} = 164{,}25$ мм.

Параметры сопряженного колеса: $z_2 = 23$; $d_{\partial 2} = 103{,}5$ мм; $D_{e2} = 112{,}5$ мм.

Расчет.

а)Определяем дополнительные технологические параметры зубчатого колеса:

1. $\alpha_{\partial s} = \alpha_{\partial} = 20°$;
2. $\cos\sigma = \cos\alpha_{\partial} \sin\beta_{\partial} = 0$; $\sigma = 90°$;
3. $d_{o1} = d_{\partial 1} \cos\alpha_{\partial s} = 225\cos 20° = 211{,}4309$;

   $d_{o2} = d_{\partial 2} \cos\alpha_{\partial s} = 103{,}5\cos 20° = 97{,}2582$;
4. $\alpha = \alpha_{\partial} = 20°$;
5. $l = 0{,}5\left(\sqrt{D_{e1}^2 - d_{o1}^2} + \sqrt{D_{e2}^2 + d_{o2}^2}\right) - A_{1,2} \sin\alpha_s =$

   $= 0{,}5\left(\sqrt{234^2 - 21{,}4309^2} + \sqrt{112{,}5^2 + 97{,}2582^2}\right) - 164{,}25\sin 20 =$
   $= 22{,}2268$;
6. $p_1 = 0{,}5\sqrt{D_{e1}^2 - d_{o2}^2} - l = 0{,}5\sqrt{234^2 - 211{,}4309^2} - 22{,}2268 = 27{,}905$;
7. $\Delta l \approx \dfrac{0{,}15m}{\sin\alpha_{\partial s}} = \dfrac{0{,}15 \cdot 4{,}5}{\sin 20°} = 1{,}97$;
8. $\varepsilon = \dfrac{l + \Delta l}{\sin\sigma\pi m \cos\alpha_{\partial}} = \dfrac{22{,}2268 + 1{,}97}{1 \cdot 3{,}1416 \cdot 4{,}5\cos 20°} = 1{,}82$ - удовлетворительно.

б)Ведем расчет шевера:

1. $\gamma = 15°$;
2. $\beta_{\partial u} = \beta_{\partial} - \gamma = 15°$
3. $z_u = \dfrac{(D_{\max} - 3m)\cos\beta_{\partial u}}{m} = \dfrac{(250 - 3 \cdot 4{,}5)\cos 15°}{4{,}5} = 50{,}1$;

принимаем $z_u = 49$;

4. $d_{\partial u} = \dfrac{mz_u}{\cos\beta_{\partial u}} = \dfrac{4{,}5 \cdot 49}{15°} = 228{,}2784$;

5. $tg\alpha_{\partial su} = \dfrac{tg\alpha_{\partial}}{\cos\beta_{\partial u}} = \dfrac{tg20°}{\cos15°} = 0{,}376809$;

$\alpha_{\partial su} = 20°55'26''$;

6. $d_{ou} = d_{ou}\cos\alpha_{\partial su} = 228{,}278\cos20°55'26'' = 213{,}6163$;

7. $\cos\sigma_u = \cos\alpha_{\partial}\sin\beta_{\partial u} = \cos20°\sin15° = 0{,}24321$;

$\sigma_u = 75°55'26''$

Определение параметров нового шевера

8. $\alpha_{u1} = \alpha_{\partial} + \Delta\alpha = 20° + 1° = 21°$;

9. $Sin\beta_u = \dfrac{\cos\sigma_u}{\cos\alpha_{u1}} = \dfrac{\cos75°55'26''}{\cos21°} = 0{,}260513$;

$\beta_u = 15°6'2''$;

10. $Sin\beta_1 = \dfrac{\cos\sigma}{\cos\alpha_{u1}} = \dfrac{\cos90°}{\cos21°} = 0$;

$\beta_1 = 0°$;

11. $tg\alpha_{su} = \dfrac{tg\alpha_{u1}}{\cos\beta_u} = \dfrac{tg21°}{\cos15°6'2''} = 0{,}39760019$;

$\alpha_{su} = 21°40'58''$;

12. $tg\alpha_{s1} = \dfrac{tg\alpha_{u1}}{\cos\beta_1} = \dfrac{tg21°}{\cos0°} = 0{,}38386404$;

$\alpha_{s1} = 21°$;

13. $d_u = \dfrac{d_{ou}}{\cos\alpha_{su}} = \dfrac{213{,}6143}{\cos21°40'58''} = 229{,}8796$;

14. $d_1 = \dfrac{d_{o1}}{\cos\alpha_{s1}} = \dfrac{211{,}4309}{\cos21°} = 226{,}4732$;

15. $L = \dfrac{\sqrt{d_1^2 - d_{o1}^2}}{2\sin\sigma} + \dfrac{\sqrt{d_u^2 + d_{ou}^2}}{2\sin\sigma_u} =$

$= \dfrac{\sqrt{229{,}8796^2 - 211{,}4309^2}}{2\sin 90°} + \dfrac{\sqrt{229{,}8796^2 + 213{,}6143^2}}{2\sin 75°55'26''} = 84{,}3615;$

16. $p_u = \left(L - \dfrac{p_1 - \Delta l}{\sin\sigma}\right)\sin\sigma_u = \left(84{,}3615 - \dfrac{27{,}905 - 1{,}97}{\sin 90°}\right) \times \sin 75°55'26'' =$

$= 56{,}80715;$

17. $D_{eu} = \sqrt{d_{ou}^2 + (2p_u)^2} = \sqrt{213{,}6143^2 + 113{,}6143^2} = 241{,}8218;$

18. $2\Delta r = d_1 + d_u - D_{eu} - d_i = 226{,}4732 + 229{,}8796 - 241{,}8218 - 213 = 1{,}55$ -

удовлетворительно;

19. $t = \dfrac{\pi d_1}{z_1}\cos\beta_1 = \dfrac{3{,}14159 \cdot 226{,}4732}{50} = 14{,}2298;$

20. $S = d_1\left(\dfrac{S_{\partial 1}}{d_{\partial 1}\cos\beta_{\partial 1}} + inv\alpha_{\partial s} - inv\alpha_{s1}\right)\cos\beta_1 =$

$= 226{,}4732\left(\dfrac{6{,}967}{225} + inv20° - inv21°\right) = 6{,}4597;$

21. $S_u = t - S = 14{,}2298 - 6{,}4597 = 7{,}77;$

22. $h_u' = \dfrac{D_{eu} - d_u}{2} = \dfrac{241{,}8218 - 229{,}8796}{2} = 5{,}9711;$

Проверка зуба на заострение

23. $\cos\alpha_{eus} = \dfrac{d_{ou}}{D_{eu}} = \dfrac{213{,}6143}{241{,}8218} = 0{,}883434;$

$\alpha_{eus} = 27°56'26''$;

24. $tg\beta_{eu} = \dfrac{D_{eu} tg\beta_{\partial u}}{d_{\partial u}} = \dfrac{241{,}8 \cdot 0{,}2679}{228{,}2763} = 0{,}283823;$

$\beta_{eu} = 15°50'45''$;

25. $S_{eu} = D_{eu}\left(\dfrac{S_u}{d_u \cos\beta_u} + inv\alpha_{su} - inv\alpha_{eus}\right)\cos\beta_{eu} =$

$= 241{,}8\left(\dfrac{7{,}77}{229{,}8796\cos 15°6'2''} + inv21°40'58'' - inv27°56'26\right)\times$

$\times\cos 15°50'45'' = 2{,}66$ - удовлетворительно;

Определение параметров сточенного шевера

26. $\alpha_{u2} = \alpha_{\partial} - \Delta\alpha = 20° - 1° = 19°$;

27. $Sin\beta_u = \dfrac{\cos\sigma_u}{\cos\alpha_{u2}} = \dfrac{\cos 75°55'26''}{\cos 19°} = 0{,}257224$;

$\beta_u = 14°54'20''$;

28. $Sin\beta_1 = \dfrac{\cos\sigma}{\cos\alpha_{u2}} = \dfrac{\cos 90°}{\cos 14°54'20''} = 0$;

$\beta_1 = 0°$;

29. $tg\alpha_{su} = \dfrac{tg\alpha_{u2}}{\cos\beta_u} = \dfrac{tg19°}{\cos 14°54'20''} = 0{,}35634622$;

$\alpha_{su} = 19°36'48''$;

30. $tg\alpha_{s1} = \dfrac{tg\alpha_{u2}}{\cos\beta_1} = \dfrac{tg19°}{\cos 0°} = tg19°$;

$\alpha_{s1} = 19°$;

31. $d_u = \dfrac{d_{ou}}{\cos\alpha_{su}} = \dfrac{213{,}6143}{\cos 19°36'48''} = 226{,}7718$;

32. $d_1 = \dfrac{d_{o1}}{\cos\alpha_{s1}} = \dfrac{211{,}4309}{\cos 19°} = 223{,}6135$;

33. $L = \dfrac{\sqrt{d_1^2 - d_{o1}^2}}{2\sin\sigma} + \dfrac{\sqrt{d_u^2 + d_{ou}^2}}{2\sin\sigma_u} = \dfrac{\sqrt{223{,}6135^2 - 211{,}4309^2}}{2} +$

$$+\frac{\sqrt{226{,}7718^2-213{,}6143^2}}{2\sin 75°55'26''}=75{,}6392;$$

34. $p_u=\left(L-\frac{p_1-\Delta l}{\sin\sigma}\right)\sin\sigma_u=(75{,}6392-25{,}9354)\times$

$\times\sin 75°55'26''=48{,}2113;$

35. $D_{eu}=\sqrt{d_{ou}^2+(2p_u)^2}=\sqrt{96{,}4226^2+213{,}6143^2}=234{,}37;$

36. $2\Delta r=d_1+d_u-D_{eu}-d_i=223{,}6135+226{,}7718-234{,}37-$

$-213=3{,}015$ - удовлетворительно;

37. $t=\frac{\pi d_1}{z_1}\cos\beta_1=\frac{3{,}14159\cdot 223{,}6135}{50}=14{,}05;$

38. $S=d_1\left(\frac{S_{\partial 1}}{d_{\partial 1}\cos\beta_{\partial 1}}+inv\alpha_{\partial s}-inv\alpha_{s1}\right)\cos\beta_1=223{,}6135\times$

$\times\left(\frac{6{,}967}{225}+inv20°-inv19°\right)=7{,}413;$

39. $S_u=t-S=14{,}05-7{,}413=6{,}637;$

40. $h'_u=\frac{D_{eu}-d_u}{2}=\frac{234{,}37-226{,}7718}{2}=3{,}799\approx 3{,}8;$

41. $p_{u2}=p'_u-\frac{(l+\Delta l)\sin\sigma_u}{\sin\sigma}=48{,}2113-$

$-\frac{(22{,}227+1{,}97)\sin 75°51'26''}{1}=24{,}741;$

Определение конструктивных элементов шевера

42. $D_{íç}=\sqrt{d_{ou}^2+(2p_{u2})^2}=\sqrt{213{,}6143^2+49{,}4826^2}=219{,}27;$

43. $d_{iu}=D_{íç}-a=219{,}27-3=216{,}27$ - удовлетворительно;

44. $\cos\alpha_{isu}=\frac{d_{ou}}{d_{iu}}=\frac{213{,}6143}{216{,}27}=0{,}98772;$

$\alpha_{isu}=8°59'18'';$

45. $S_{isu} = d_{iu}\left(\dfrac{S_u}{d_u \cos\beta_u} + inv\alpha_{us} - inv\alpha_{isu}\right) =$

$= 216{,}27\left(\dfrac{7{,}77}{229{,}8796\cos 15°6'2''} + inv21°40'58'' - inv8°59'18''\right) = 11{,}43$

46. $T_i = \dfrac{\pi d_{iu}}{z_u} - S_{isu} = \dfrac{3{,}14156 \cdot 216{,}27}{49} - 11{,}43 = 2{,}44$ -удовлетворительно;

47. $d_{ñâ} = T_i + (2 \div 2.5) = 2{,}44 + (2 \div 2{,}5) = 5$;

48. $D_ö = d_{iu} - \sqrt{d_{ñâ}^2 - T_i^2} = 216{,}27 - \sqrt{5^2 - 2{,}44^2} = 211{,}91$;

49. $tg\varphi = \dfrac{d_{iu} tg\beta_{\partial u}}{d_{\partial u}} = \dfrac{216{,}27 tg15°}{228{,}2763} = 0{,}253856$;

$\varphi = 14°14'39''$;

50. $h_u = \dfrac{D_{eu} - d_{iu}}{2} = \dfrac{241{,}8 - 216{,}27}{2} = 12{,}8$;

51. $B_u = 25$

3.3. Червячные зуборезные фрезы

3.3.1. Общие сведения о червячных фрезах

Червячные зуборезные фрезы (рис. 3.16) применяют для черновой, получистовой и чистовой обработки прямозубых и косозубых цилиндрических зубчатых колес с эвольвентным профилем с модулем 0,1—40 мм и изготовляют классов точности AAA, AA, A, B, C и D, которые соответственно предназначены для нарезания зубчатых колес 5—9-й и 11-й степеней точности (ГОСТ 1643-81).

Червячные фрезы являются многолезвийным инструментом с конструктивным обкаточным движением. При обработке ось фрезы и ось нарезаемого колеса (шестерни) перекрещиваются.

Метод зубофрезерования является высокопроизводительным, универсальным и достаточно точным, поэтому червячные фрезы получили большое распространение в промышленности при всех типах производства. При обработке применяют специальные зубофрезерные станки отечественного производ-

ства мод. 53А10, 5К310, 5А324П и др., а также станки зарубежных фирм. Точность зубонарезания колес зависит от класса точности применяемой червячной фрезы и точности станка.

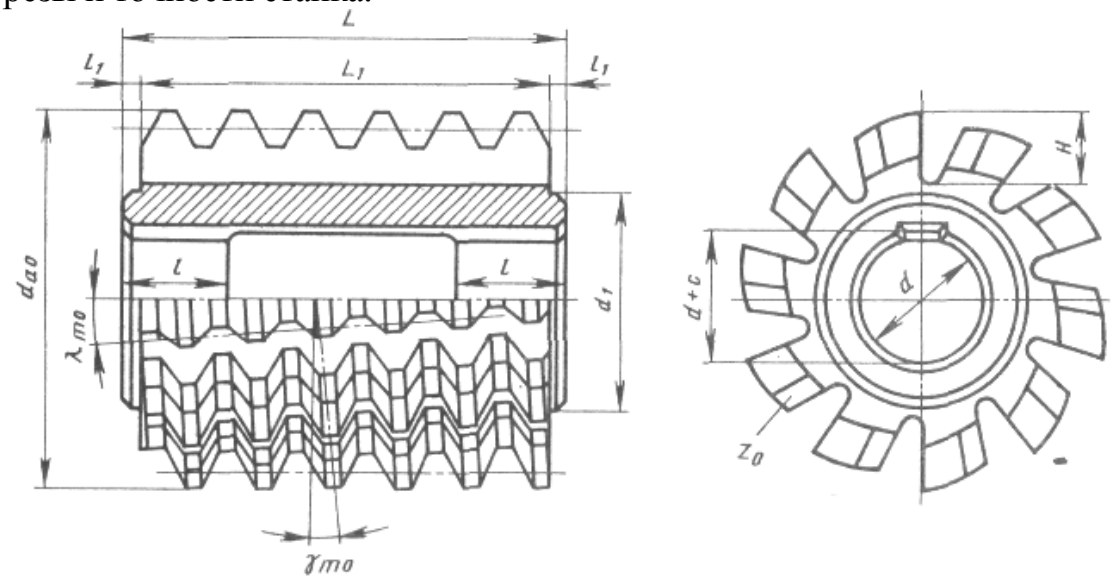


Рис. 3.106. Червячная зуборезная фреза

В основу червячных фрез для нарезания эвольвентных цилиндрических зубчатых колес положен эвольвентный червяк. Для точного нарезания зубьев колеса необходимо, чтобы режущие кромки червячной фрезы находились на поверхности эвольвентного червяка. Однако такие фрезы применяются очень редко из-за сложности их изготовления и контроля.

Широкое распространение получили фрезы, разработанные на приближенных методах профилирования, с расположением боковых режущих кромок на винтовых поверхностях, достаточно близких к эвольвентной винтовой поверхности.

Наибольшее распространение получили следующие приближенные методы профилирования: профиль зубьев принимается прямолинейным в осевом сечении (Архимедов червяк) и профиль зубьев принимается прямолинейным в нормальном сечении (конволютный червяк). В этих сечениях задаются углы профиля фрезы. При этом режущие кромки зубьев фрезы уже не находятся на поверхности основного эвольвентного червяка, в результате чего возникает погрешность профиля зуба нарезаемого колеса. Погрешность профилирования у фрезы, спроектированной на основе Архимедова червяка, меньше, чем у фрезы, спроектированной на основе конволютного червяка. В обоих случаях погрешности приближенного профилирования направлены из тела зубьев фрезы, за счет чего получаются небольшие срезы профиля у головок и ножек зубьев нарезаемых колес. Однако по своему характеру и числовому значению погрешности профиля зубчатых колес иногда бывают больше размеров срезов, допустимых на исходный контур.

Погрешность профилирования червячных фрез по нормальному сечению можно уменьшить путем корректирования угла профиля. При профилировании по нормальному сечению с углом профиля 20° для фрез с модулем m_0, равным 3, 5, 8, 12 и 16 мм, погрешность соответственно составляет

2, 6, 16, 34 и 72 мкм, а для фрез с углом профиля 20° 3' при тех же модулях соответственно равна 2; 4,2; 11,4; 28 и 55 мкм, т.е. меньше для фрез с m_0>*5 мм в* среднем в 1,3 раза, чем в первом случае.

Червячные фрезы изготовляются насадными и хвостовыми. Насадные получили наибольшее распространение, а хвостовые применяются только для нарезания червячных колес.

По направлению витков червячные фрезы делятся на право-и левозаходные, а по числу заходов (z_{10}) на однозаходные и многозаходные.

По ГОСТ 9324-80Е чистовые червячные фрезы классов точности ААА, АА и А изготовляются с модификацией профиля зубьев и без модификации. Фрезы должны изготовляться трех типов: тип 1 — цельные прецизионные с m_0=1-10 мм, классов точности ААА и АА; тип 2 — цельные общего назначения в зависимости от m_0= 1--20 мм классов точности от АА до D; тип 3 — сборные с m_0= 8-25 мм классов точности А, В, С и D.

Фрезы типа 2 изготовляются нормальной и увеличенной длины, а типа 3 — нормальных и уменьшенных габаритов. Червячные фрезы типов 2 и 3 могут изготовляться с заборным конусом.

Мелкомодульные червячные фрезы с m_0 = 0,15-0,9 мм (ГОСТ 10331-81) изготовляются классов точности ААА, АА, А и В.

При проектировании и расчете червячных фрез исходными данными являются следующие параметры колеса: m_0, ос, h_a,h_f,S_n,z_2, направление (правое или левое) и угол наклона зубьев (3_2, обрабатываемый материал, его твердость и $\sigma_в$, степень точности, шероховатость поверхности *Ra (Rz),* вид последующей обработки, размеры модификации профиля зубьев. При этом необходимо также учитывать конструкцию и технические характеристики применяемого зубофрезерного станка.

3.3.2. Методика проектирования червячной зуборезной фрезы

При проектировании и расчете червячных фрез исходными данными являются следующие параметры колеса: $m_о$, $\alpha_{зац}$, $D_{dз}$, $D_{eз}$, $D_{iз}$, $S_{д.з.}$, z, направление (правое или левое) и угол наклона зубьев β_2, обрабатываемый материал, его твердость и $\sigma_в$, степень точности, вид последующей обработки. При этом необходимо также учитывать конструкцию и технические характеристики применяемого зубофрезерного станка.

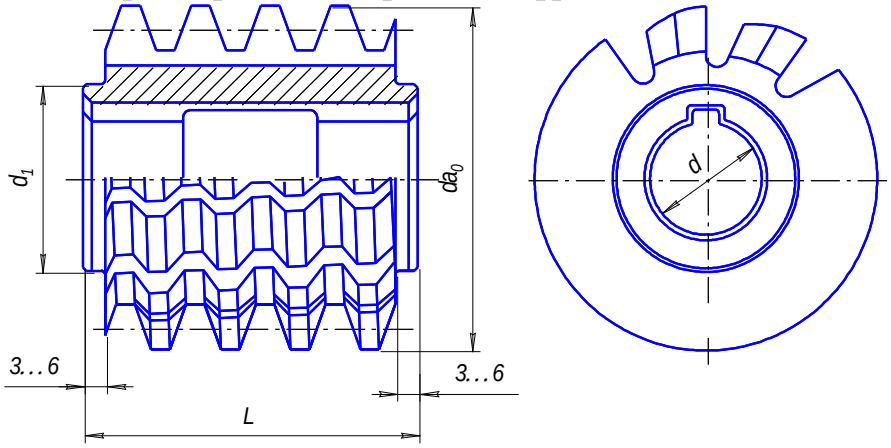
Конструирование и расчет червячной фрезы для обработки цилиндрических колес с эвольвентным профилем проводят по ГОСТ 9324—80Е в приведенной ниже последовательности.

1. Выбрать тип и класс точности конструируемой фрезы.

1. Основные размеры фрезы (наружный диаметр фрезы d_{a0}; посадочный диаметр отверстия d; диаметр буртика d_1; общая длина фрезы L; число зубьев (число стружечных канавок) z_0; длина буртиков l) принимаем по ГОСТ 9324-80Е (табл. 3.8).

Таблица 3.8

Основные размеры (мм) червячных фрез (по ГОСТ 9324-80Е).



Модуль m_o	d_{a0}	d	d_1	L*	Число стружечных канавок z_0
Цельные прецизионные фрезы типа 1 класса точности *AA*					
1; 1,125; 1,25	71	32	50	71	16
1,375; 1,5; 1,75	80		55	80	
2; 2,25	90	40	60	90	14
2,5; 2,75	100		65	100	
3; 3,25; 3,5; 3,75	112		70	112	
4; 4,25; 4,5	125	50	80	125	14
5; 5,5	140		85	140	
6; 6,5; 7	160	60	90	155	12
8 9; 10	180		95	175 180	
Цельные фрезы типа 2 классов точности *AA*, *A*, *B*, *C* и *D*					
1	40	16	25	32/50	12
1,125	50	22	33	32/63	
1,25; 1,375				40/70	
1,5; 1,75	63	27	40	50/80	
2				50/90	
2,25	71			56/90	
2,5; 2,75				63/100	
3; 3,25	80	32	50	71/112	10
3,5				71/125	
3,75	90			80/125	
4				80/140	
4,25				90/140	
4,5	90	32	50	90/140	
5	100	32	50	100/140	10
5,5; 6	112	40	60	112/160	
6,5	118	40	60	118/160	9
7				125/160	
8	125			132/180	

9	140			150/180	
10	150	50	75	170/200	
11	160			180	
12	170			200	
14	190		85	224	
16	212	60	100	250	8
18	236			280	
20	250			300	
* В числителе — нормальная длина, в знаменателе — увеличенная.					
Примечания: 1. Фрезы типа 1 модулей 1; 1,25; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8 и 10 и фрезы типа 2 модулей 1; 1,25; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 5; 6; 8; 10; 12; 16 и 20 являются предпочтительными для применения. 2. Фрезы типа 2 допускается изготовлять с заборным конусом, с гнездами под торцовые шпонки и увеличенной шириной буртика.					

Длину l_1 и диаметр d_1 выточки определяют используя соотношения:

$l_1 = (0{,}3 - 0{,}35)L$ и $d_1 = d_0 + 2$.

3. Рассчитать размеры профиля зубьев в нормальном сечении (рис. 3.17):

а) Шаг зубьев фрезы в нормальном сечении

$P_{п0} = \pi\, m_о$ [мм];

б) Ход зубьев по нормали

$P_{zп} = P_{п0}\, z_{10}$ [мм],

где z_{10} - число заходов фрезы (обычно $z_{10} = 1$);

в) Толщина зуба в нормальном сечении на начальной прямой.

для прецизионных и чистовых фрез

$S_{п0} = P_{п0} – S_{д.з.}$ [мм],

для черновых фрез

$S_{п0} = P_{п0} – (S_{д.з.} + \Delta S)$ [мм],

где $S_{д.з.}$ — толщина зуба колеса по дуге делительной, ΔS —припуск под последующую обработку;

г) Высота зуба фрезы

$h_0 = h_{a0} + h_{f0}$ [мм],

где $h_{a0} = (D_{d3} - D_{i3})/2$ [мм] - высота головки зуба фрезы,

$h_{f0} = (D_{e3} - D_{d3})/2 + (0{,}25 \div 0{,}3)m_о$ [мм] - высота ножки зуба фрезы;

д) Радиусы закруглений головки и ножки зубьев

$\rho_{a0} = 0{,}25m_о$ [мм], $\rho_{f0} = 0{,}3m_о$ [мм].

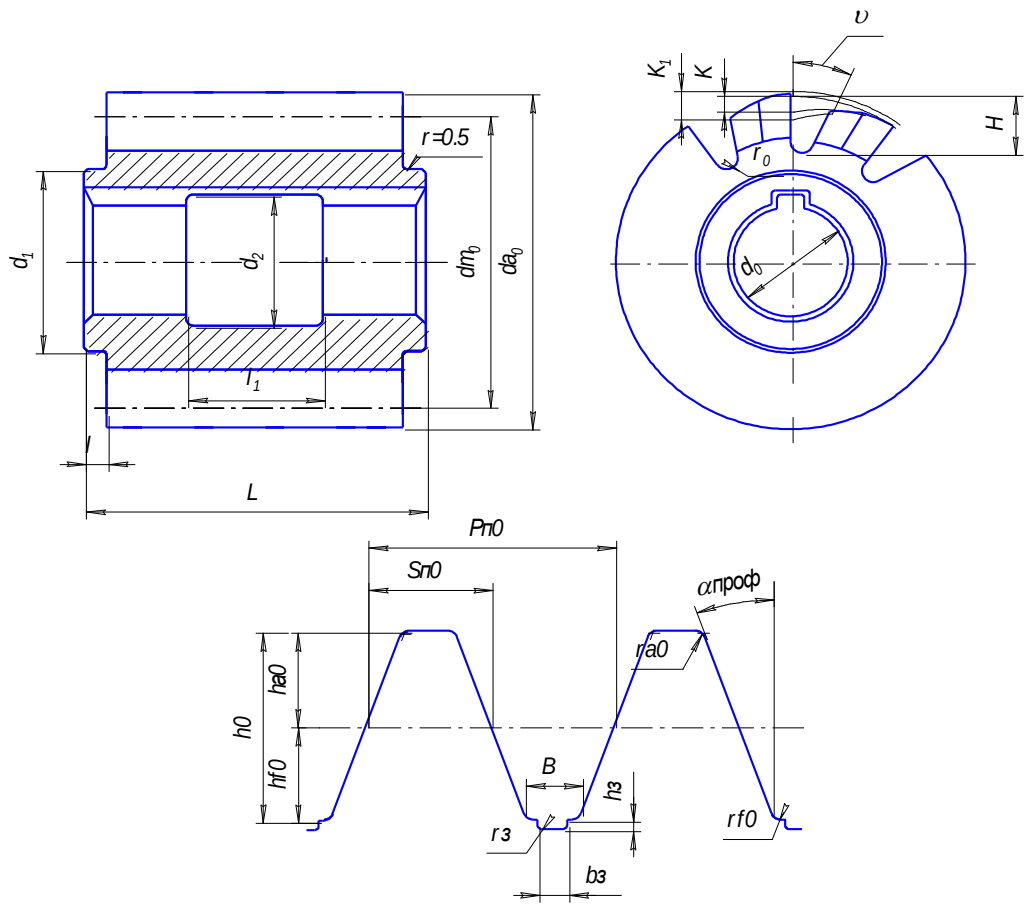


Рис. 3.117. Червячная фреза для нарезания цилиндрических зубчатых колес

4. Геометрические элементы лезвия рабочей части фрезы:

а) Задний угол при вершине зуба $\alpha_в = 9 \div 15°$;

б) Передний угол γ у чистовых фрез при некорректированном профиле их зубьев обычно принимается $\gamma = 0$. При $\gamma \neq 0$ у фрез, предназначенных для точной обработки, профиль их зубьев необходимо корректировать специальными расчетами.

5. Размеры профиля зубьев в осевом сечении (рис. 4.10):

а) Шаг зубьев фрезы в осевом сечении

$P_{x0} = P_{п0}/\cos\gamma_{m0}$ [мм];

б) Падение затылка при выбранном значении $\alpha_в$

$$K = \frac{\pi \cdot d_{a0}}{z_0} tg\alpha_B \text{ [мм]};$$

в) Диаметр начального (делительного) цилиндра фрезы

$d_{m0} = d_{a0} - 2h_{a0} - 0{,}3K$ [мм];

г) Угол подъема витков фрезы (считается с точностью до 1′)

$\sin\gamma_{m0} = P_{zп} / \pi d_{m0}$;

д) Угол наклона стружечных канавок

$\lambda_{m0} = \gamma_{m0}$;

е) Ход винтовых стружечных канавок (считается с точностью до 1 мм)

$P_z = \pi d_{m0} \operatorname{ctg} \lambda_{m0}$ [мм].

6. Элементы стружечных канавок фрезы

Глубина стружечной канавки:

у фрез с нешлифованным профилем зубьев $H = h_0 + K + r_0$ [мм],

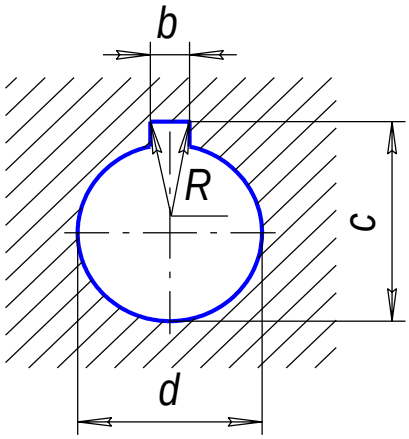
у фрез со шлифованным профилем зубьев $H = h_0 + \frac{K + K_1}{2} + r_0$ [мм],

где $K_1 = (1{,}2 \div 1{,}5)K$ – дополнительное затылование; r_0 – радиус закругления дна стружечной канавки (выбирается из ряда 0,5; 1; 1,5; 2 и т. д.); угол стружечной канавки υ выбирается с учетом того, что υ = 18, 22, 25 или 30°.

7. Шпоночный паз выполняют по ГОСТ 9472—83 (см. табл. 3.9).

Таблица 3.9.

Крепление инструмента на цилиндрической оправке и осевой шпонке (по ГОСТ 9472-83), мм.



***d*(поля допусков *H*7 или *H*6)**	***b***	***c*(*H*12)**	***R***	
			max	**min**
8	**2**	**8,9**	**0,16**	**0,08**
10	**3**	**11,5**	**0,16**	
13	**3**	**14,6**	**0,16**	
16	**4**	**17,7**	**0,16**	
19	**5**	**21,1**	**0,25**	**0,16**
22	**6**	**24,1**	**0,25**	
27	**7**	**29,8**	**0,25**	
32	**8**	**34,8**	**0,25**	
40	**10**	**43,5**	**0,4**	**0,25**
50	**12**	**53,5**	**0,4**	
60	**14**	**64,2**	**0,4**	
70	**16**	**75,0**	**0,4**	
80	**18**	**85,5**	**0,4**	
100	**25**	**107,0**	**0,6**	**0,40**

8. Рассчитать ширину B дна впадины

$B = P_{п0} - S_{п0} - 2 \cdot h_{f0} \cdot \mathrm{tg}\alpha_{проф}$ [мм].

Размеры канавок для облегчения шлифования профиля зубьев:

$h_з = 1 \div 2$ [мм]; $r_з = 0{,}5 \div 1{,}2$ [мм]; $b_з = 0{,}3S_{п0}$ [мм].

9. Технические требования к фрезам принимают по ГОСТ 9324—80.

3.3.3. Пример расчета червячной фрезы для цилиндрических колес

Исходные данные для проектирования зубчатого колеса (рис. 3.18)

Материал зубчатого колеса - Сталь 20Х;

Термообработка – цементация, закалка, отпуск;

z = 23; $S_{д.з.} = 6{,}285^{-0{,}037}_{-0{,}170}$ мм;

$m_o = 4$; $b = 40$ мм;

$D_{dз} = 92$ мм; $d = 40$ мм;

$D_{eз} = 100$ мм; $i = 23/50$;

$D_{iз} = 83{,}2^{-0{,}1}$ мм; $\alpha_{зац} = 20°$;

Степень точности – 8; Сопряжение *f* 7;

Вид чистовой обработки – шлифование (припуск под шлифование ΔS = 0,005 мм).

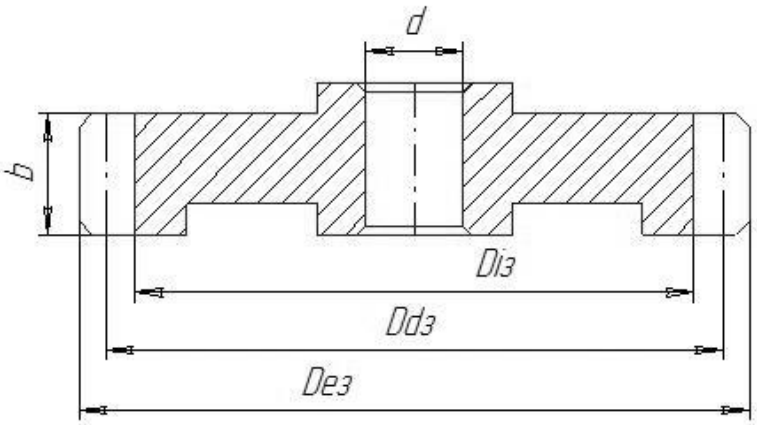


Рис. 3.18. Эскиз зубчатого колеса.

1. Угол профиля фрезы.

$\alpha_{п0} = 20°$;

2. Шаг фрезы в нормальном сечении.

$P_{п0} = \pi\, m_N = 3{,}14 \cdot 4 = 12{,}56$ мм;

3. Число заходов фрезы.

$z_{10} = 1$;

4. Ход зубьев по нормали.

$P_{zп} = P_{п0}\, z_{10} = 12{,}56 \cdot 1 = 12{,}56$ мм;

5. Толщина зуба в нормальном сечении.

$S_{п0} = P_{п0} - (S_{д.з.} + \Delta S) = 12{,}56 - (6{,}285 + 0{,}3) = 5{,}975$ мм,

где $\Delta S = 0{,}3$ мм - припуск под последующее шлифование.

6. Высота головки зуба фрезы.

$h_{a0} = (D_{dз} - D_{iз})/2 = (92 - 83{,}2)/2 = 4{,}4$ мм;

7. Высота ножки зуба.

$h_{f0} = (D_{eз} - D_{dз})/2 + 0{,}3m = (100 - 92)/2 + 0{,}3 \cdot 4 = 5{,}2$ мм;

8. Полная высота зуба.

$h_0 = (D_{eз} - D_{iз})/2 + 0{,}3m = (100 - 83{,}2)/2 + 0{,}3 \cdot 4 = 9{,}6$ мм;

9. Радиусы закруглений головки и ножки зубьев.

$\rho_{a0} = 0{,}25m = 0{,}25 \cdot 4 = 1$ мм; $\rho_{f0} = 0{,}3m = 0{,}3 \cdot 4 = 1{,}2$ мм;

10. Задний угол при вершине зуба.

$\alpha_в = 12°$;

11. Передний угол.

$\gamma = 0°$;

13. Основные размеры фрезы по табл. 1.

Наружный диаметр: $d_{a0} = 90$ мм;
Посадочный диаметр: $d_0 = 32$ мм;
Общая длина фрезы: $L = 80$ мм;
Число заходов фрезы: $z_0 = 1$;

14. Диаметр окружности впадин между зубьями фрезы.

$d_{вп} = 1{,}75\, d_0 = 1{,}75 \cdot 32 = 56$ мм;

15. Число зубьев (стружечных канавок).

Принимаем $z_0 = 10$;

16. Падение затылка.

$$K = \frac{\pi d_{a0}}{z} tg\alpha_{\hat{a}} = \frac{3{,}14 \cdot 90}{10} tg12^{\circ} = 6 \text{ мм};$$

17. Падение дополнительного затылка.

$K_1 = 1{,}5K = 1{,}5 \cdot 6 = 9$ мм;

18. Радиус закругления дна стружечной канавки.

$r_0 = 1$ мм;

19. Глубина стружечной канавки.

$$H_{\hat{e}} = h_0 + \frac{K + K_1}{2} + r_0 = 9{,}6 + \frac{6+9}{2} + 1 = 18{,}1 \text{ мм};$$

20. Угол стружечной канавки.

Так как $z_0 = 10 \rightarrow$ принимаем $\theta = 22°$;

21. Диаметр начального цилиндра фрезы в исходном (расчетном) сечении.

$d_{m0} = d_{a0} - 2\, h_{a0} - 0{,}3K = 90 - 2 \cdot 4{,}4 - 0{,}3 \cdot 6 = 79{,}4$ мм;

22. Угол подъема витков фрезы на начальном цилиндре в расчетном сечении.

$$\sin \gamma_{m0} = \frac{P_{n0} z_{10}}{\pi d_{m0}} = \frac{12{,}56 \cdot 1}{3{,}14 \cdot 79{,}4} = 0{,}0504,$$

$\gamma_{m0} = 2°53'15''$;

23. Ход витков фрезы считается с точностью до 0,001 мм.

$P_{x0} = P_{n0}/\cos\gamma_{m0} = 12{,}56/\cos 2°53'15'' = 12{,}576$ мм.

24. Угол наклона стружечных канавок.

$\lambda_{m0} = \gamma_{m0} = 2°53'15''$;

25. Шаг стружечных канавок с точностью до 1 мм.

$P_z = \pi d_{m0} \operatorname{ctg} \lambda_{m0} = 3{,}14 \cdot 79{,}4 \cdot \operatorname{ctg} 2°53'15'' = 4943$ мм;

26. Диаметр выточки в отверстии фрезы.

$d_{выт} = 1{,}05 d_0 = 1{,}05 \cdot 32 = 33{,}6$ мм;

27. Диаметр буртиков фрезы.

$d_1 = d_{a0} - 2H_к - (1 \div 2) = 90 - 2 \cdot 18{,}1 - 1 = 52{,}8$ мм;

28. Длина буртиков.

$l = 4 \div 6 = 4$ мм.

29. Размеры посадочного отверстия и шпоночного паза принимаем по ГОСТ 9272-83 табл. 2:

$d = 32H5^{(+0{,}011)}$; $C_1 = 34{,}8H12^{(+0{,}250)}$; $b = 8C11^{\binom{+0{,}170}{+0{,}080}}$; $R = 0{,}25$.

30. Технические требования на фрезу типа 2, класса А принимаем по ГОСТ 9324-80.

3.3.4. Расчет параметров режима резания при зубофрезеровании

Фрезерование осуществляется на зубофрезерном станке 53А50.

Рассчитываем по нормативам [11].

1. Определяем глубину резания

$$t = h_0 = 9{,}6 \text{ мм},$$

где h_0 - высота зуба нарезаемого колеса;

2. Назначаем подачу на один оборот нарезаемого зубчатого колеса. По [карта 2, с. 26]

$$S_{0\,табл} = 0{,}8 \text{ мм/об}.$$

Учитывая поправочные коэффициенты на подачу

$$K_{Ms} = 0{,}9; \qquad S_0 = S_{0табл} \cdot K_{Ms} = 0{,}8 \cdot 0{,}9 = 0{,}72 \text{ мм/об};$$

3. Назначаем период стойкости фрезы.

$$T = 240 \text{ мин [приложение 3, с. 161]};$$

4. Определяем скорость главного движения резания. По [карта 4, с. 28]

$$\upsilon_{табл} = 58{,}8 \text{ м/мин},$$

(найдено интерполированием значений $\upsilon_{табл} = 60$ м/мин для $S_0 = 0{,}7$ мм/об и $\upsilon_{табл} = 48$ м/мин для $S_0 = 0{,}9$ мм/об).

Допустимое число осевых перемещений фрезы за время ее работы между двумя повторными заточками [карта 11, с. 36, 37]

$$\omega = 4{,}7.$$

Учитываем поправочные коэффициенты на скорость главного движения резания [карта 4, с. 28]

$$K_{м\upsilon} = 0{,}9;\ \ K_{\beta\upsilon} = 1{,}3.$$

Тогда $\upsilon_u = \upsilon_{табл} \cdot K_{м\upsilon} \cdot K_{\beta\upsilon} = 58{,}8 \cdot 0{,}9 \cdot 1{,}3 = 52{,}92$ м/мин.

Частота вращения фрезы, соответствующая найденной скорости главного движения резания

$$n = \frac{1000\upsilon_u}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 52{,}92}{3{,}14 \cdot 90} = 187{,}3 \text{ мин}^{-1}.$$

Корректируем частоту вращения по данным станка и устанавливаем действительную частоту вращения [1, приложение 1, с. 426]

$$n_д = 160 \text{ мин}^{-1}.$$

Действительная скорость главного движения резания

$$\upsilon_д = \frac{\pi \cdot D \cdot n_д}{1000} = \frac{3{,}14 \cdot 90 \cdot 160}{1000} = 45{,}2 \text{ м/мин};$$

5. Мощность, затрачиваемая на резание [карта 4, с. 28]

$$N_{табл} = 0{,}65 \text{ кВт};\ \ N_{рез} = N_{табл} = 0{,}65 \text{ кВт}$$

Проверяем достаточна ли мощность привода станка

У станка 5350 $N_{шп} = N_д \cdot \eta = 7{,}5 \cdot 0{,}65 = 4{,}9$ кВт

0, 65 < 4,9 кВт, т.е. обработка возможна;

6. Основное время

$$T_0 = \frac{L \cdot z}{n \cdot S_0 \cdot K};$$

Длина рабочего хода фрезы

$$L = b + l_1$$

Согласно приложению 4 [9, с.167] при предварительном зубофрезеровании

$l_1'' = 5$ мм; $l_1' = 28$ мм; $l_1 = l_1' - l_1'' = 28 - 5 = 33$ мм;

$L = 40 + 33 = 73$ мм;

К - число заходов (К=1);

$$T_0 = \frac{73 \cdot 23}{160 \cdot 0{,}72 \cdot 1} = 14{,}8 \text{ мин.}$$

4. ЧЕРВЯЧНЫЕ ШЛИЦЕВЫЕ ФРЕЗЫ, ИХ ПРИМЕНЕНИЕ И ТИПЫ

4.1. Общие сведения о червячных шлицевых фрезах

Червячные шлицевые фрезы применяются для чистовой или получистовой обработки шлицевых валиков по методу обкатки. Для обработки валиков, входящих в шлицевое соединение с центрированием по внутреннему диаметру d (рис. 4.1, исполнение А), применяются червячные фрезы с усиками (рис. 4.2); при центрировании шлицевого соединения по наружному диаметру D (рис.4.1, исполнение В), фрезы без усиков (рис. 4.3). Последние имеют более высокую стойкость по сравнению с первыми.

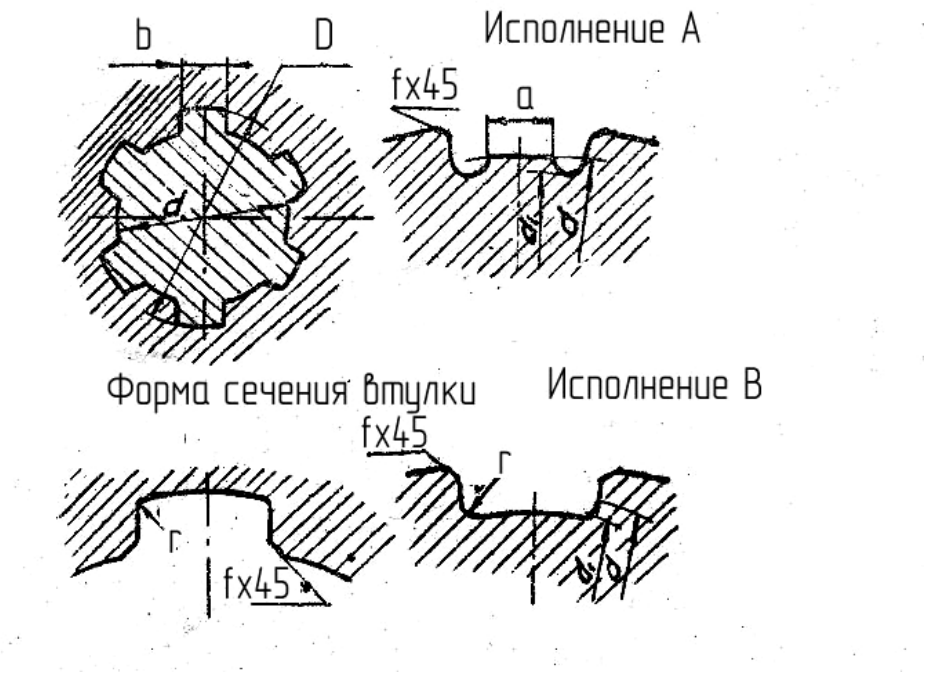


Рис. 4.1. Виды шлицевых валиков.

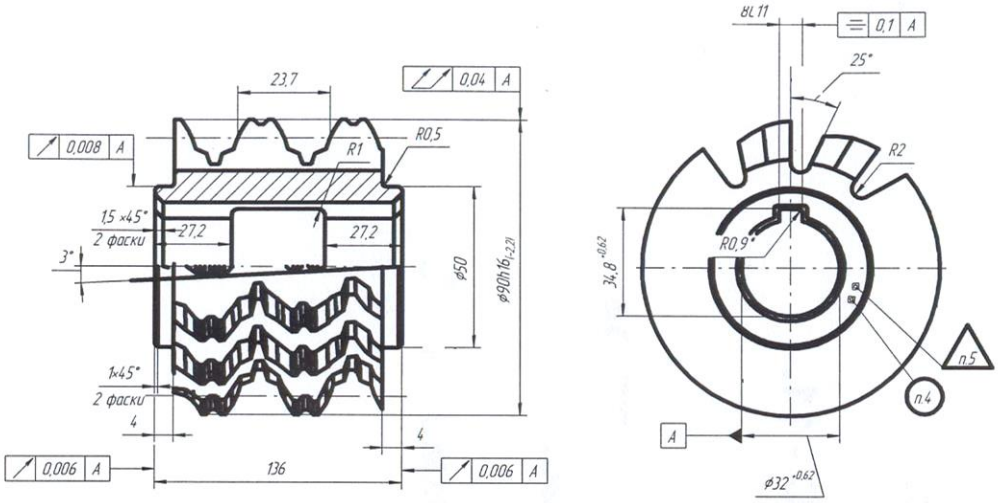


Рис. 4.2. Червячная фреза с усиками

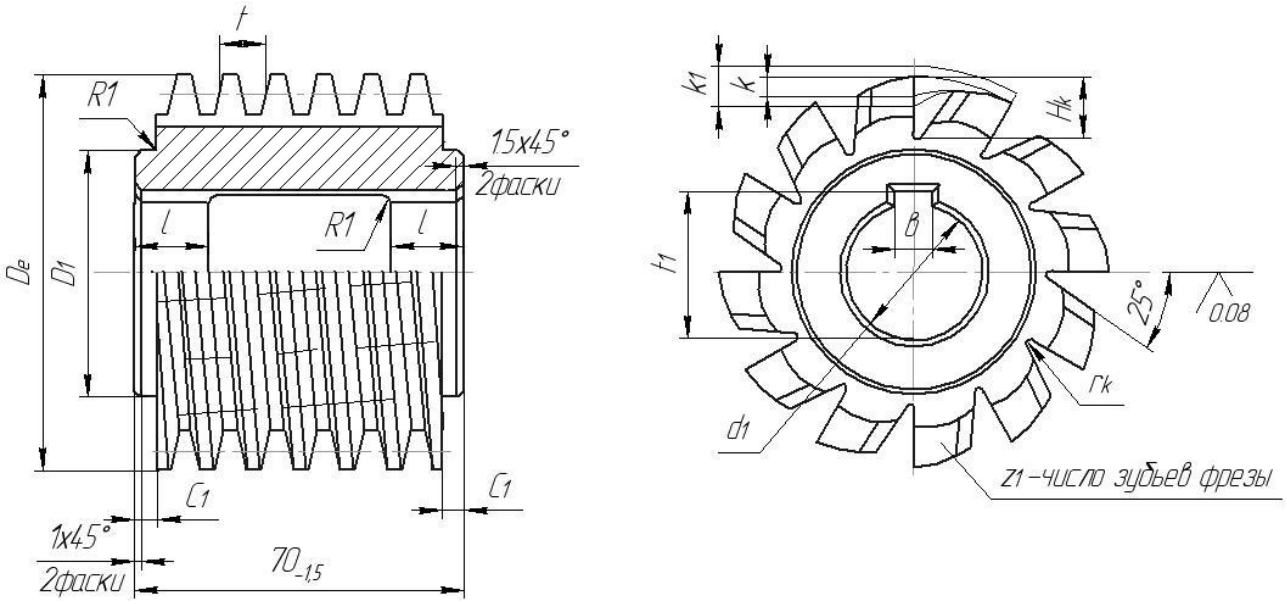


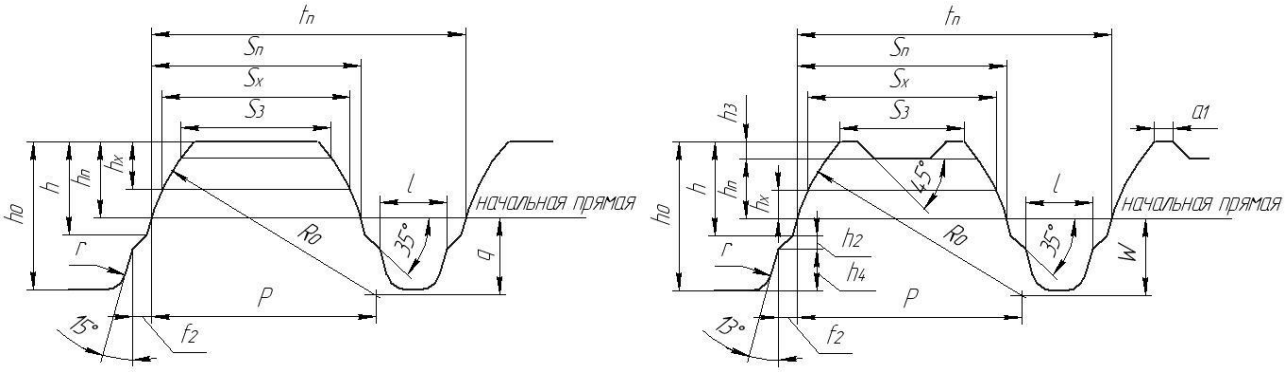
Рис. 4.3. Червячная фреза без усиков

4.2. Методика проектирования червячных шлицевых фрез

Задачей расчета является определить все необходимые размеры фрезы отмеченные на рис. 4.2, 4.3 и размеры профиля в соответствии с рис. 4.4, назначить необходимые допуски и технические условия на изготовление. Задается характер посадки, zxdxD, b, d, a, f, r, с сответствующими допусками, материал валика, термообработка, твердость. Характер обработки: чистовая или получистовая. Например: валик d8x42x48, xS, x из стали 40Х.

$HRC35 \div 40 \;\; z = 8,\; d = 42^{-0.025}_{-0.050},\; b = 8^{-0.022}_{-0.050},\; D = 48^{-0.050}_{-0.250},$

$d_1 \geq 39.5,\; a \geq 2{,}57,\; f = 0.4^{+0.2},\; z = 0.3$



а) *б)*

Рис. 4.4 *а)* Профиль зуба фрезы в нормальном сечении для шлицевых валов с центрированием по наружному диаметру; *б)* Профиль зуба фрезы для шлицевых валов с центрированием по внутреннему диаметру

Определение расчетных размеров валика (рис. 4.5)

1. Расчетный наружный диаметр

$$D_p = D_{\max} - 2 f_{\min}, \qquad (4.1.)$$

где D_{max}-максимальный наружный диаметр шлицевого валика

f_{min}- минимальный размер фаски

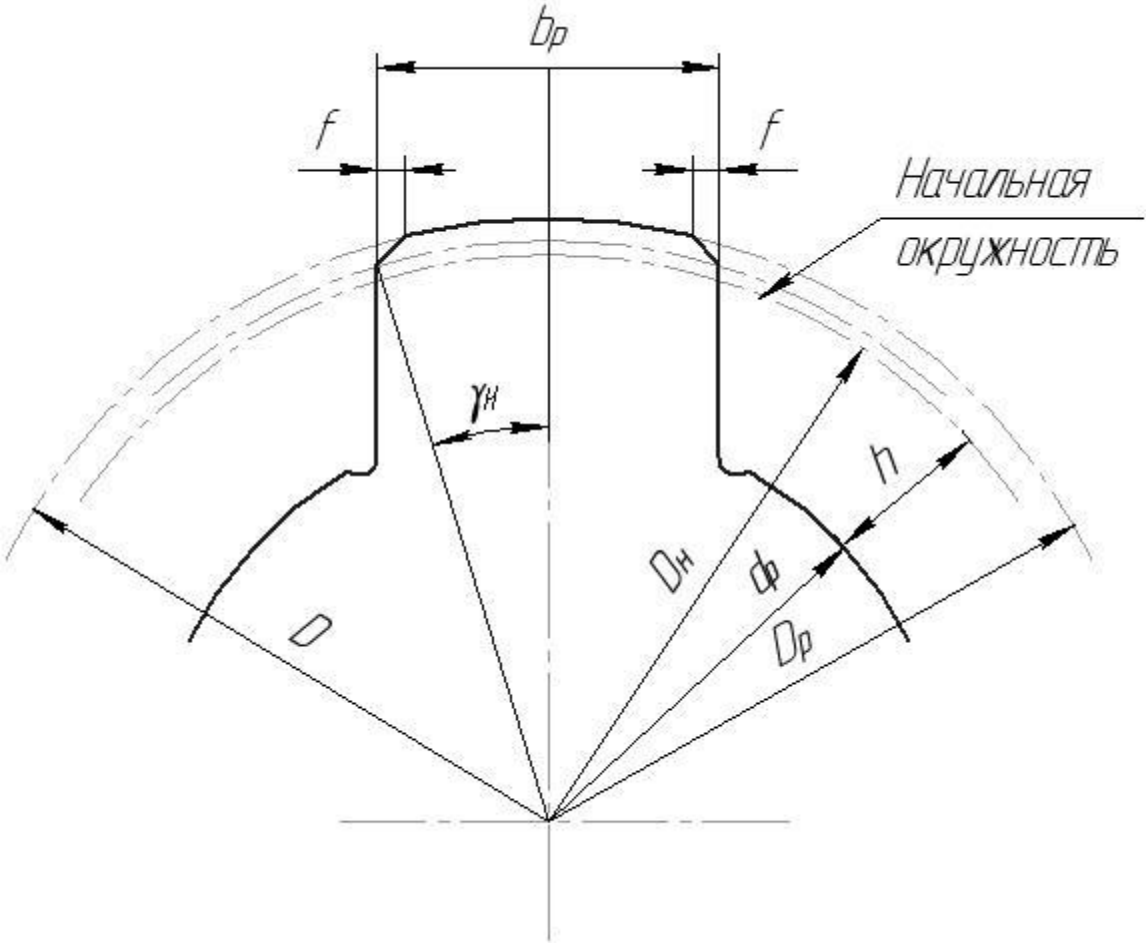


Рис. 5.5. Параметры шлицевого профиля

2. Расчетный внутренний диаметр

$$d_p = d_{\min} + 0.25E_1 - для\, чистовых\, фрез;$$
$$d_p = d_{ном} + P_{ср} - для\, получистовых\, фрез; \qquad (5.2.)$$

где E_1- величина допуска на внутренний диаметр валика

3. Расчетная ширина шлица

$$b_p = b_{\min} + 0.25E - для\ \ чистовых\ \ фрез \qquad (5.3.)$$
$$b_p = b_{ном} + P_{ср} - для\ \ получистовых\ \ фрез$$

где Е- величина допуска на ширину шлица,

$P_{ср}$ - величина припуска на диаметр и соответственно на ширину шлица (табл. 4.1)

Таблица 4.1.

Припуск на шлифование шлицевых валиков.

$d_{ном}$ вали-ка,мм	Припуск на диаметр в мм
До 30	0,25-0,35
Св.30 до 50	0,30-0,40
Св.50 до 80	0,40-0,50
Св.80 до 120	0,45-0,55

4.Диаметр начальной окружности валика

$$D_н = \sqrt{D_p^2 - 0.75 b_p^2} - точность\ \ 0{,}1 мм$$

(5.4.)

5.Угол шлица $\gamma_н$ определяется с точностью до 1’

$$\sin\gamma_н = \frac{b_p}{D_н} \quad (5) \qquad (4.5.)$$

Построение профиля фрезы по координатам (аналитический метод)

Вывод соответствующих уравнений можно получить из рассмотрения рис. 4.6

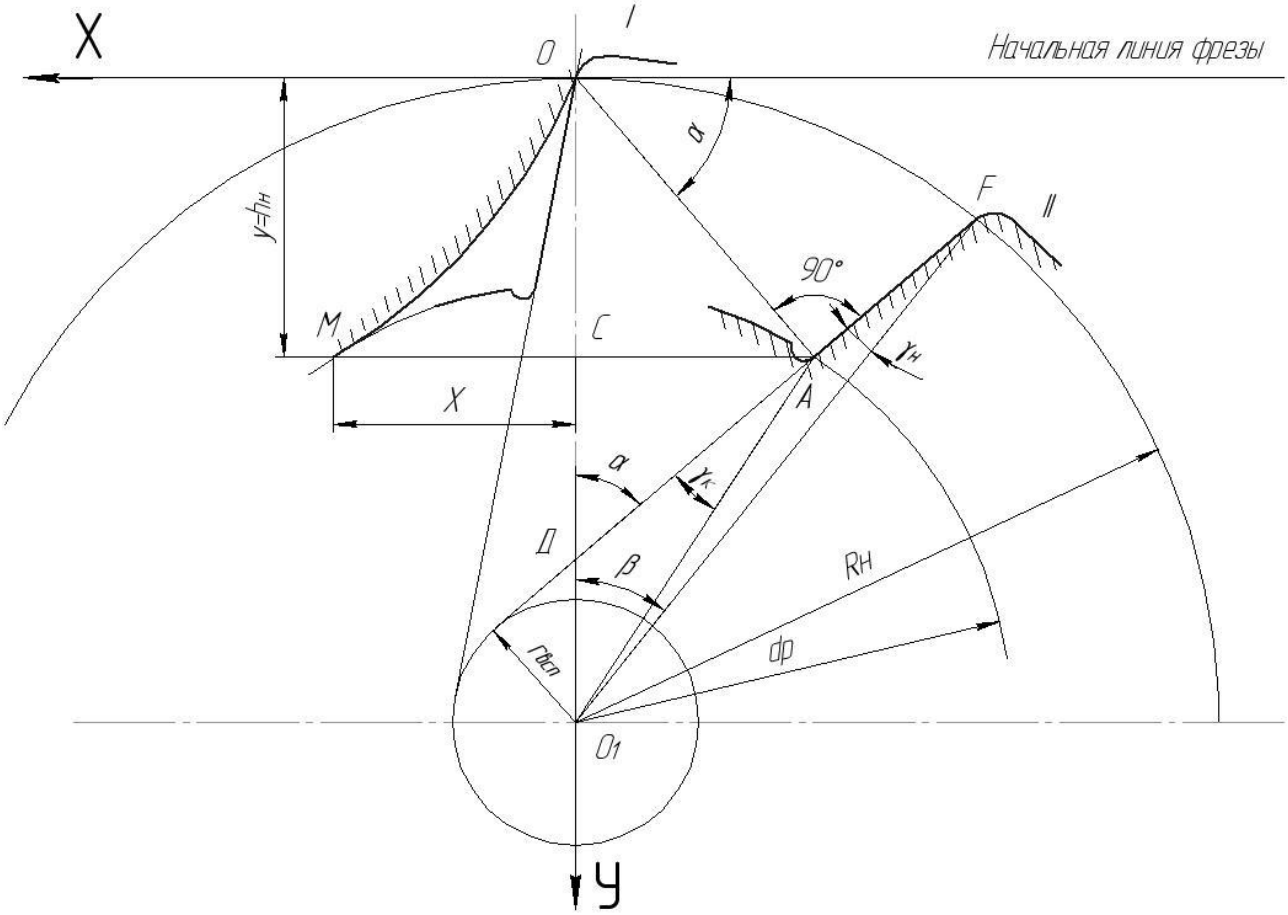


Рис. 4.6. Схема формообразования шлицевого профиля

В положении I точка F валика совпадает с точкой O фрезы в полюсе зацепления. При повороте валика на <β (положение II) крайняя точка A прямолинейного участка профиля шлица должна соприкасаться с точкой M профиля фрезы.

По условию обкатки MA=OF

$$x = MC = MA - CA = \overline{OF} - OA\cos\alpha;$$

$$\overline{OF} = R_н\beta = R_н(\alpha - \gamma_н)\ \ [рад];$$

$$OA = OD\sin\alpha = \left(R_н - \frac{r_{всп}}{\sin\alpha}\right)\sin\alpha,$$

следовательно

$$x = R_н\left[\left(\alpha-\gamma\right)-\left(\sin\alpha-\sin\gamma_н\right)\times\cos\alpha\right].$$

Аналогично

$$y = OC = OA\times\sin\alpha = OD\times\sin^2\alpha = \left(R_н - \frac{r_{всп}}{\sin\alpha}\right)\times\sin^2\alpha$$

или

$$y = \left(R_н\times\sin\alpha - r_{всп}\right)\times\sin\alpha,\ \textit{подставив}\ \ r_{всп} = R_н\times\sin\gamma_н$$

получим

$$y = R_н(\sin\alpha-\sin\gamma_н)\sin\alpha,$$

где α - текущий угол;

$\gamma_н$ – угол шлица;

$R_н$ – радиус начальной окружности.

Высота профиля от начальной прямой, согласно рис. 4.6, определяется:

$$y = h_н = R_н(\sin\alpha-\sin\gamma_н)\sin\alpha_к,$$

$\alpha_к$ – угол α, соответствующий положению II.

Из рис. 4.6 можно получить

$$\cos\alpha_k = \frac{d_p\cos\gamma_k}{D_н},$$

$$\sin\gamma_к = \frac{b_p}{d_p}. \qquad (4.6.)\ и\ (4.7.)$$

Для построения кривой профиля фрезы можно и нужно задаться рядом углов β, определить $\alpha = \beta_н + \gamma_н$ и по формулам (5.6) и (5.7) определить координаты x и y. Можно также задаться рядом значений y в пределах высоты $h_н$ и определить текущее значение α

$$\sin\alpha = \frac{r_{всп} + \sqrt{r_{всп}^2 + 4R_н y}}{2R_н} \qquad (4.8.)$$

затем значение x.

Определение размеров профиля зуба (рис. 4.4)

1. Определяем шаг витков фрезы по нормали (точность расчета 0,001 мм) (окружной шаг валика)

$$t_н = \frac{\pi D_н}{z} \qquad (4.9.)$$

z – число шлицев валика

2. Толщина зуба фрезы по начальной прямой

$$S_n = t_n - S_{вн} = D_н\left(\frac{\pi}{z} - \gamma_н\right)$$

(5.10.)

$D_н$ и $\gamma_н$ определяется по формулам (4.4) и (4.5)

Величина π/z может быть принята по табл. 4.2

Таблица 4.2.

Числовые значения π/z

z	4	6	8	10
π/z	0,785398	0,523599	0,392699	0,314159
z	12	14	16	20
π/z	0,261799	0,224399	0,196350	0,157080

3. Высота шлифованной части профиля фрезы h (рис. 5.4):
а) для фрезы без усиков

$$h = h_н + \left(\frac{D_р - D_н}{2}\right) \qquad (4.11.)$$

б) для фрезы с усиками

$$h = h_н + \frac{D_р - D_н}{2} + h_3$$
$$h_3 = \frac{d - d_1}{2} \qquad (4.12.)$$

4. Размеры уступа под ∟35° (рис.4.4) подсчитываются:
длина f_2=2f – подсчитывается только при наличии фаски f радиуса на валике,
высота h_2= f_2*tg35°

5. Размеры канавки для облегчения шлифования определяются по формулам:
ширина:

$$\ell = t_n - (S_n + 2f_2) \qquad (4.13.)$$

глубина:

$$h_4 = 1.5 \div 3.0 \ \ мм \qquad (4.14.)$$

радиус: r = 1- 2 мм

6. Общая высота профиля зуба фрезы (рис. 4.4)

$$h_0 = h + h_2 + h_4 7.$$

Ширина усика a =0,3-0,8 мм по табл. 4.3.

Определение элементов режущей части

1. Величины: D_e, D_1, d_1, b, t_1, z_1, $r_к$, c_1 –можно выбрать по табл. 4.3 в зависимости от шага $t_н$

2. Передний угол γ выбирается в зависимости от условий работы для чистовых фрез γ=0, для получистовых γ=0-10°

3. Задний угол на вершине зубьев $\alpha_в$ принимается 9-12°

4. Задние углы на боковых кромках в нормальном сечении α_N зависят от диаметра профиля ε определяется по формуле:

$$tg\alpha_{N_к} = tg\alpha_в \sin\varepsilon_k \frac{D_e}{D_k} \qquad (4.15.)$$

Конструктивные размеры червячных шлицевых фрез можно определить из таблицы 4.3

Таблица 4.3.

Конструктивные размеры червячных шлицевых фрез в мм.

a_1		Шаг по нормали		D_e	D_1	d_1A_1	z_1	bx_5	t_1	C_1	z_k
		от	до								
0.4	Лег-	13.6	15.1	70	40	27	12	6	29.4	4	1
0.4	кая	15.2	17.6	80	50	32	12	8	34.8	4	2
0.5	се-	19.1	23.8	90	50	32	14	8	34.8	4	2
0.6	рия	26.1	27.2	110	60	40	14	10	43.5	5	2
0.6		30.3	33.5	112	60	40	14	10	43.5	5	2
0.8		34	37.2	125	60	40	14	10	43.5	5	2
0.3	Сре	10	12	63	34	22	10	6	24.1	4	1.5
0.4	дняя	12.1	14	70	40	27	10	6	29.4	4	1.5
0.4	се-	14.1	17	80	40	27	10	6	29.4	5	2
0.5	рия	17.1	20	90	50	32	10	8	34.8	5	2
0.5		20.1	25	100	50	32	12	8	34.8	5	2
0.5		25.1	30	112	60	40	12	10	43.5	5	2
0.6		30.1	35	125	60	40	12	10	43.5	5	2
0.8		35.1	40	140	60	40	12	10	43.5	5	2
0.3	Тя-	6	7	63	34	22	10	6	24.1	4	1.5
0.3	же	7.1	9	70	40	27	10	6	29.4	4	1.5
0.4	лая	9.1	12	80	40	27	10	6	29.4	4	2
0.4	се-	12.1	15	90	50	32	10	8	34.8	5	2
0.4	рия	15.1	16	100	50	32	12	10	43.5	5	2
0.5		16.1	18	112	60	40	12	10	43.5	5	2
0.5		18.1	19	125	60	40	12	10	43.5	5	2

Наименьшее значение угла α_N будет по видимому, в точке В профиля, так как угол наклона профиля в этой точке будет наименьшим. Поэтому проверку бокового угла рекомендуется делать для точки В по формуле:

$$tg\alpha_{N_B} = tg\alpha_B \sin\varepsilon_B \frac{D_e}{D_e - 2h} \qquad (4.16.)$$

Угол ε_B можно определить по координатам центра радиуса заменяющей окружности p и q по формуле:

$$tg\varepsilon_B = \frac{q}{p} \qquad (4.17.)$$

5. Величина первого затылования (рис. 4.7)

$$K = \frac{\pi D_e}{z_1} tg\alpha_B \qquad (4.18.)$$

z_1- число зубьев (гребенок) фрезы.

6. Величина дополнительного затылования

$$K_1 = (1,2 \div 1,5)K \quad (26) \qquad (4.19.)$$

Полученные расчетом величины К и K_1 округляются до 0,5 мм.

7. Размер шлифованной части затылка определяется углом (рис.5.7.)

$$\psi = (0,4 \div 0,5)\eta, \ \eta = \frac{360°}{2} \qquad (4.20.)$$

Большее значение Ψ для больших D_e и меньших z_1

Правильность выбора этой величины проверяется вычерчиванием.

8. Диаметр D´ (рис. 4.7) определяется по формуле:

$$D' = D_e + 2(K_1 - K)\frac{\psi}{\eta}$$

$$при \ \frac{\psi}{\eta} = 0,5 \qquad (4.21.)$$

$$D' = D_e + (K_1 - K)$$

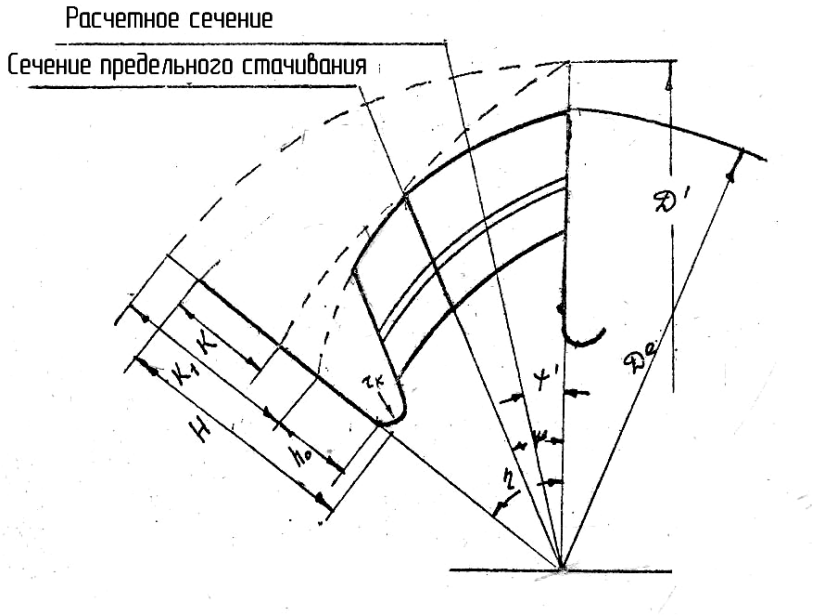


Рис. 4.7. Поперечный профиль зубьев фрезы

9. Глубина канавки подсчитывается с точностью до 0,1 мм

$$L = 2\sqrt{h_н(D_e - h_н)} + (4 \div 0,5)t_п + 2C_1 \ , \qquad (4.22.)$$

где C_1- длина буртика

$$H = h_0 + K_1 - (K_1 - K)\frac{\psi}{\eta} + r_k \qquad (4.23.)$$

10. Длина фрезы определяется с точностью до 0,5 мм

11. Размер l отверстия принимается

l=(0.20-0.30)L

Большая величина коэффициента L принимается при больших диаметрах.

12. Положение расчетного сечения (рис. 4.7) определяется углом: ψ' =ψ/2

13. Средний расчетный диаметр вычисляется из выражения:

$$D_{t_{расч}} = D_e - 2h_н - 2h_3 - \frac{2\psi'}{\eta}K - для\ \ фрез\ \ с\ \ усиками$$

$$D_{t_{расч}} = D_e - 2h_н - \frac{2\psi'}{\eta}K - для\ \ фрез\ \ без\ \ усиков \qquad (4.24.)$$

Точность определения 0,1 мм.

14. Угол винтовой линии:

$$\sin\omega_{расч} = \frac{t_n}{\pi D t_{расч}} \qquad (4.25.)$$

Точность расчета 1’

15. Шаг винтовой линии вычисляется по формуле:

$$H_{сп} = \pi D t_{расч} ctg\omega_{расч} \qquad (4.26.)$$

Точность определения 1 мм.

16. Осевой шаг витков подсчитывается с точностью 0,001 мм по формуле:

$$t_0 = \frac{t_n}{\cos\omega_{расч}} \qquad (4.27.)$$

17. Направление червячной нарезки обычно принимается правое, а направление винтовой канавки – левое.

18. Выбор материала для изготовления фрез

а) При изготовлении шлицевых валиков из конструкционных углеродистых и низколегированных сталей рекомендуется быстрорежущая сталь Р18;

б) для высоколегированных сталей, жаропрочных и титановых сплавов Р18Ф2М, Р9К6, Р9К10.

Требования к выполнению графической части задания.

1. Рабочий чертеж фрезы - в масштабе, с простановкой всех, необходимых размеров (в числах), допусков и шероховатости обработки.
2. Деталь нормального сечения профиля фрезы с размерами в увеличенном масштабе.
3. Деталь затылования зуба фрезы с размерами в увеличенном масштабе.
4. Обозначение материала фрезы с термообработкой (твердость по HRC).
5. Клеймение – в виде записи характеристика валика, вида посадки, материала инструмента, угла спирали, шага спирали. Пример: $d8_x42_x48$, ∟ω=3˚45’, $H_{сп}$=3129, Р18.
6. Технические требования и отклонения на проверяемые параметры фрез приведены в таблице 4 [9]
7. Штамп чертежа.
8. Графическое построение профиля зуба фрезы в случае, если профиль определяется графически и построение по точкам в случае аналитического определения профиля.
9. Замена профиля дугой окружности.

Технические требования и отклонения параметров фрез.

№	Проверяемые параметры	Нормальные шаги фрез, мм			
		до 10	св 10 до 16	св 16 до 25	св. 25
		мкм			
1.	Наибольшая погрешность шага.	±10	±12	±16	±25
2.	Наибольшая накопленная ошибка шага на длине любых двух шагов.	±16	±20	±25	±32
3.	Радиальное биение по наружному диаметру.	20	25	32	40
4.	Отклонение переднего угла от номинального в мин.	30	30	30	30
5.	Отклонение шага винтовых стружечных канавок в % от шага Нсп.	±3	±2,5	±2,5	±2,5
6.	Наклонная ошибка окружного шага канавок.	63	80	100	125
7.	Конусность по наружному диаметру по длине фрезы	32	40	50	63
8.	Радиальное биение буртиков.	16	20	20	20
9.	Торцевое биение буртиков	10	12	16	20

4.3. Пример расчета червячной шлицевой фрезы

Исходные данные

Номинальный размер zxdxD 8x56x62

Размеры валика и допуски

$d = 56^{+0.010}_{-0.010}; b = 10^{0}_{-0.030}; D = 62^{-0.100}_{-0.900}; d_1 = 53.6(не\ менее)$

$a = 6.38(не\ менее); f = 0.5^{+0.3}; r = 0.5(не\ более)$

Материал шлицевого валика – сталь 50

Характер термообработки – закалка, отпуск - $HRC_э$ 30...35

Характер обработки – чистовая

Определение размеров валика

Расчетный наружный диаметр

$D_p = D_{\max} - 2f_{\min}$

$D_p = 62.100 - 2 \cdot 0.5 = 61.100\,мм$

Расчетный внутренний диаметр

$d_p = d_{\min} + 0.25E_1 = 53.6 + 0.25 = 53.85$

Расчетная ширина шлица

$B_p = b_{\min} + 0.25E = 0.97 + 0.25 \cdot 0.03 = 9.9775мм$

Диаметр наружной окружности валика

$D_н = \sqrt{D_p^{\ 2} + 0.75b_p^2} = \sqrt{61{,}1^2 - 0{,}75 \cdot 9{,}9775^2} = 60{,}49\,мм \approx 60{,}5\,мм$

Угол шлица γн определяется с точностью 1˚

$\sin\gamma_н = B_р / D_н = 9{,}9775/60{,}5 = 0{,}1649$

$\gamma_н = 9°29'$

Определение размеров профиля зуба

1.Определяем шаг витков фрезы по нормали (окружной шаг валика)

$t_н = \Pi D_н / z = 3.14 * 60.5/8 = 23.746$

2.Толщина зуба фрезы по начальной прямой

$S_н = t_н - Sb_н = D_н(\Pi / z - \gamma_н) = 60{,}5(\Pi/8 - 0{,}157) = 14{,}2$

3.Высота шлифовочной части профиля фрезы для фрез с усиками

$h = h_н + (D_р - D_н)/2 + h_3 = 3.1 + 61.1 - 60.5/2 + 1.5 = 4.6$

$h_3 = \dfrac{d - d_1}{2} = \dfrac{56 - 53.6}{2} = 1.5 мм$

4.Размеры уступа под $\angle 35°$ подсчитывается длины

$f_2 = 2f = 2 \cdot 0.5 = 1 мм$

$высота \;\; h_2 = f_2 \cdot tg35° = 0.35 мм$

5.Размеры канавки для облегчения шлифования

$ширина \;\; l = t_n - (S_n + 2f_2) = 23.746 - (13.7 + 1) = 9.046 мм$

$глубина \;\; h_v = 1.5 \div 3.0 мм = 2 мм$

$радиус \;\; r = 1 \div 2 мм$

6. Общая высота профиля зуба фрезы $h_0 = h + h_2 + h_v = 4.6 + 0.35 + 2 = 6.95$ мм

7.Ширина ушки

$a_1 = 0{,}5(т.з.).\;\; D_e = 90 мм;\;\; D_1 = 50 мм;\;\; d_1 A_1 = 32 мм;\;\; z_1 = 14 мм;$

$bx_s = 8 мм;\;\; t_1 = 34.8 мм;\;\; a' = 4 мм;\;\; r_k = 2 мм.$

Определение элементов режущей части

1.Конструктивные размеры фрезы

2.Передний угол γ выбирается в зависимости от усилии работы для чистовых фрез

$\gamma = 0°$

$\gamma = 9 \div 12°$

3.Задний угол при вершине:

$$tg\alpha_{NK} = tg\alpha_b * \sin\varepsilon_x * \frac{D_e}{D_e - 2h}$$

4.Задние углы на боковых кромках в нормальном сечении α_N зависит точки профиля Dx и углы наклона профиля ε определяется по формуле:

Угол $\varepsilon_в$ можно определить по координатам центра радиуса окружности p и q по формуле:

$$tg\varepsilon_b = \frac{q}{p}$$

5.Величина первого затылования:

$$\kappa = \frac{ПD_e}{z_1} * tg\alpha_b = \frac{3.14*90}{14} * tg9 = 3.197 \approx 3$$

6.Величина дополнительного затылования

$$k_1 = 11.2 \div 1.5k = 4.8 \approx 5$$

7.Размер шлифованной части затылка определяется углом

$$\Psi = (0,4 \div 0,5)h = 12.9$$

$$h = \frac{360}{z_1} = \frac{360}{14} = 25.7$$

8.Диаметр D′ определяется по формуле

$$D' = D_e + 2(k_1 - k)\frac{\Psi}{h} = 90 + 2(5-3) * \frac{12.9}{25.7} = 92 мм$$

9.Глубина канавки подсчитывается с точностью до 0,1мм

$$H = h_0 + k_1 - (k_1 - k)\frac{\Psi}{h} + r_k = 6.95 + 5 - (5-3) \times 0.5 + 2 = 12.9$$

10.Длина фрезы определяется с точностью до 0,5мм

$$L = 2\sqrt{h_н(D_e - h_{н)}} + (4 + 0,5)t_н + 2l_1$$

$$l_1 - длина\, буртика$$

$$L = 2\sqrt{3.1(90 - 3.1)} + (4 + 0.5)23.8 + 2 \times 4 = 147.5 \approx 136$$

11. Размер l отверстия принимается

$$l = (0.20 \div 0.30)L$$

12. Положение расчетного сечения определяется углом

$$\Psi' = \frac{\Psi}{2} = \frac{12,9}{2} = 6,45$$

13. Средний расчетный диаметр вычисляется

$$Dt_{расч} = D_e - 2h_н - 2h_з - \frac{2x'к}{25.7} = 90 \times 2 \times 3,1 - \frac{2 \times 6,453}{25,7} - 2 \times 1,2 = 80 \quad мм$$

14.Угол наклона винтов линий

$$\sin\Psi_{расч} = \frac{t_н}{\pi D_{tp}} = \frac{23.8}{3.14 \times 80} = 0.094745;\ \omega = 5°26'$$

15. Шаг винтов линии вычисляется

$$H_{сп} = \pi D_{tрасч} ctg\Psi_{расч} = 3,14 \times 80 \times 10,51 = 2639,4$$

16. Осевой шаг витков подсчитывается (т. 0,001)

$$t_0 = \frac{t_n}{\cos\omega_{расч}} = \frac{23,8}{0,9955} = 23,853$$

Режимы резания

1.Подача So=1.3 мм/об

$$\upsilon = \upsilon_{табл} \times \kappa_{\upsilon} = 35 \times 1 = 35 \quad мм/об$$

2.Скорость резания υ=35 мм/об

3. Число оборотов

$$n = \frac{1000\upsilon}{\pi D} = \frac{1000 \times 35}{3.14 \times 90} = 123.8 \quad мм/об$$

5. ФАСОННЫЕ ФРЕЗЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ТУРБИННОЙ ЛОПАТКИ

В общем машиностроении довольно широкое применение получили фасонные фрезы для фрезерования турбинных лопаток. Наиболее характерным типом фасонной фрезы, требующим значительных расчетов, является фреза для обработки косых турбинных лопаток.

На рис. 5.1, *а* представлен чертеж косой турбинной лопатки, рабочая часть которой имеет внутреннюю и наружную фасонные линейчатые поверхности, прямолинейные образующие которых наклонены под некоторым углом к оси лопатки и имеют горизонтальные и вертикальные уклоны. Внутренняя и наружная поверхности этой лопатки обрабатываются фасонными фрезами, которым сообщается подача, направленная под заданным углом к оси лопатки.

5.1. Методика расчета фасонной фрезы для обработки турбинной лопатки

На рис. 5.1, б и в приведены два крайних профильных сечения по *А—А* и *Б—Б* внутренней поверхности лопатки, профиль которой состоит из двух сопряженных дуг с радиусами R_1 и R_2 и касательной прямой под углом β к боковой плоскости лопатки. Ширина профилей в каждом сечении равна *В* — ширине лопатки. На профилях сечений (рис. 5.1, б и в) заданы также координаты центров x_1, y_1 x_2, y_2, x_3, y_3 и x_4, y_4 дуг окружностей и координаты крайней точки *р (А* и *В) с* началом координат, расположенным на паровыходных кромках.

Ввиду наличия уклонов на косой лопатке и общности профилей во всех сечениях профиль сечения по Б—Б. Поэтому профиль фрезы будет шире и выше каждого из указанных сечений. Для определения профиля на рис. 5.1, *г* профили двух сечений *(А—А* и *Б—Б)* лопатки совмещены. Начало координат m совмещенных профилей совпадает с началом координат n сечения по Б—Б. Поэтому координаты центров дуговых участков совмещенных профилей совпадают с координатами крайнего головного сечения по Б—Б лопатки. Крайняя точка р совмещенного профиля совпадает с крайней точкой *р* (сечение по *А—А).* В этом случае координаты x_5 и y_5 крайней точки р совмещенного профиля определяется по формулам:

$$\mathbf{X_5 = X_3 - X_1 + B}$$

$$\mathbf{Y_5 = Y_3 - Y_1 + A}$$

Для построения шаблонов потребуется определение угла μ касательной к другой части профиля в крайней точки р (рис. 5.1, г), который находится по формуле

$$\sin\mu = \text{——}$$

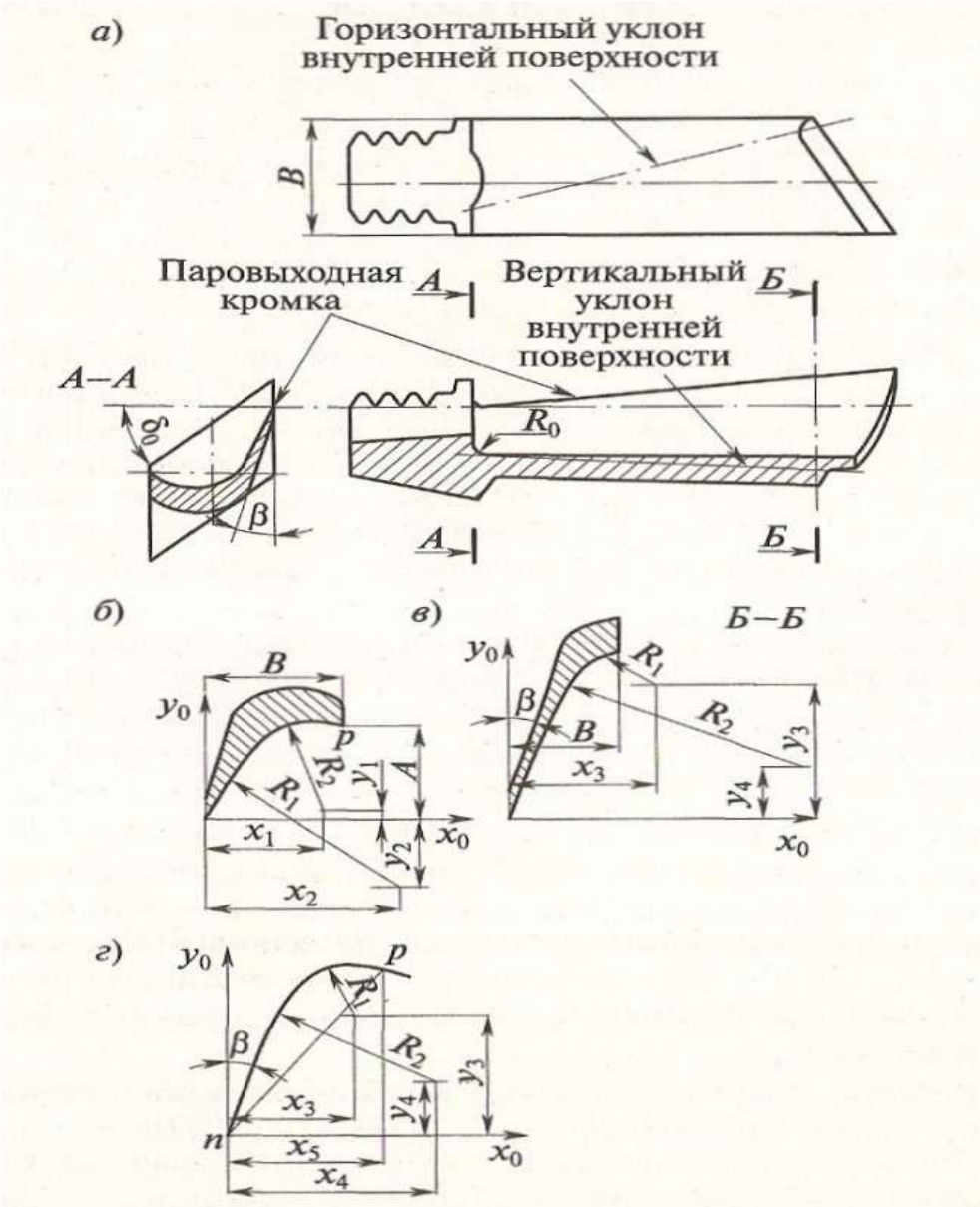


Рис. 5.1. Турбинная лопатка с профилями крайних сечений

Наибольшая высота профиля лопатки (рис 5.1, г) равна h_0 = Y3 + R1 При данной высоте профиля, являющейся, как правило, большой, соответственно требуется и большой наружный диаметр фрезы. Из-за необходимости создания малой галтели у хвостовой части лопатки, наружный диаметр фрезы должен иметь минимально допустимую величину. Это достигается уменьшением высоты профиля детали *h* путем поворота профиля по часовой стрелке вокруг точки n (рис. 5.2). Как известно, при малых значениях угла β на прямолинейном участке фрезы получаются малые задние углы в нормальном сечении, поэтому поворот профиля также увеличивает задние углы на крутых участках профиля.

Наиболее целесообразный угол поворота профиля для получения минимальной высоты профиля образуется тогда, когда крайние точки *nи p* профиля располагаются на прямой, параллельной оси фрезы. В этом случае угол поворота новой системы координат δ (см. рис. 5.2) определится по формуле

$$\text{tg}\ \delta = —$$

Однако угол поворота δ не должен превышать значения δ *Y Y Y*10°, где μ — угол касательной к профилю в точке *p*. Это обеспечивает необходимый задний угол у точки р режущей кромки фрезы.

Из условия выбора наиболее рациональных технологических баз угол δ часто берется несколько меньше расчетного.

Поворот профиля вокруг точки n на угол δ изменяет размеры координат центров дуговых участков, крайних точек и углов профиля, которые рассчитываются по общей для любых точек профиля формуле (см. рис. 5.2):

$$x_0 = y \sin\delta + x \cos\delta\ ,$$
$$y_0 = y \cos\sigma — x \sin\sigma,$$

соответственно чему координаты центра x_{04} и y_{04} дуги окружности радиуса R_2 определяются по следующим формулам (см. рис. 5.2):

$$x_{04} = y_4 \sin\delta + x_4 \cos\delta\ ,$$
$$y_{04} = y_4 \cos\sigma — x_4 \sin\sigma,$$

Также определяются координаты крайней точки р профиля:

$$x_{05} = y_5 \sin\delta + x_5 \cos\delta\ ,$$
$$y_{05} = y_5 \cos\sigma — x_5 \sin\sigma,$$

Аналогично находятся координаты центров других окружностей. При этом значения заданных координат в системе *x — y* следует проставлять в приведенные формулы со своими знаками. Значения расчетных координат точек в новой системе (x_0 — y_0) также имеют положительный или отрицательный знаки.

Угол прямолинейного участка профиля с плоскостью, перпендикулярной оси фрезы (ось у), определяется по формуле (см. рис. 5.2):

$$\beta_0 = \beta + \delta$$

Соответственно угол μ касательной к профилю в конечной точке р будет равен:

$$\mu_0 = \mu - \delta$$

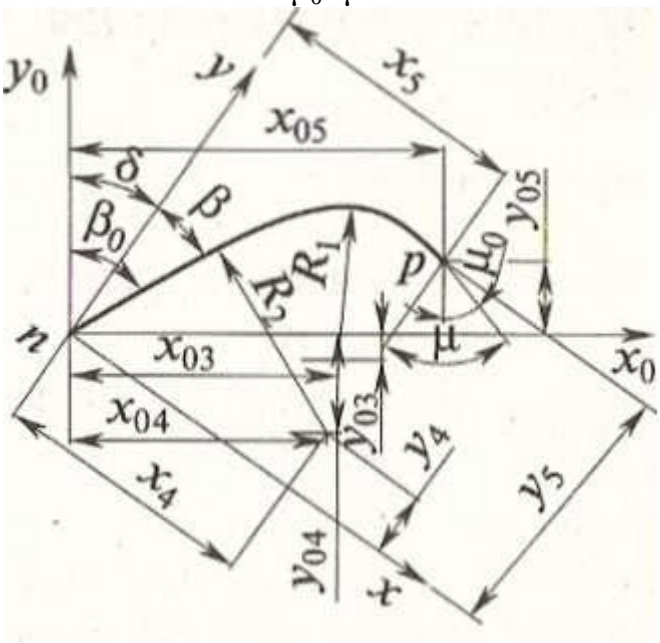


Рис. 5.2. Расчет координат точек профиля в новой системе координат

Для обеспечения обработки всего профиля детали профиль фрезы проектируется с перекрытием c = 1 мм по ширине профиля с каждой стороны (см. рис. 5.2 Тогда ширина Вф рабочего участка профиля фрезы определяется по формуле

$$B_ф = x_{05} + 2c.$$

Если угол β_0 меньше 20°, то перекрытие c = 0,5...0,75 мм.

Профиль фрезы для прямолинейного участка продолжается по прямой, а для дугового участка — по дуге того же радиуса.

В том случае, когда угол μ_0 касательной в точке р меньше 20°, продолжение профиля с дуговым участком на величину перекрытия следует производить по касательной прямой с углом μ_0

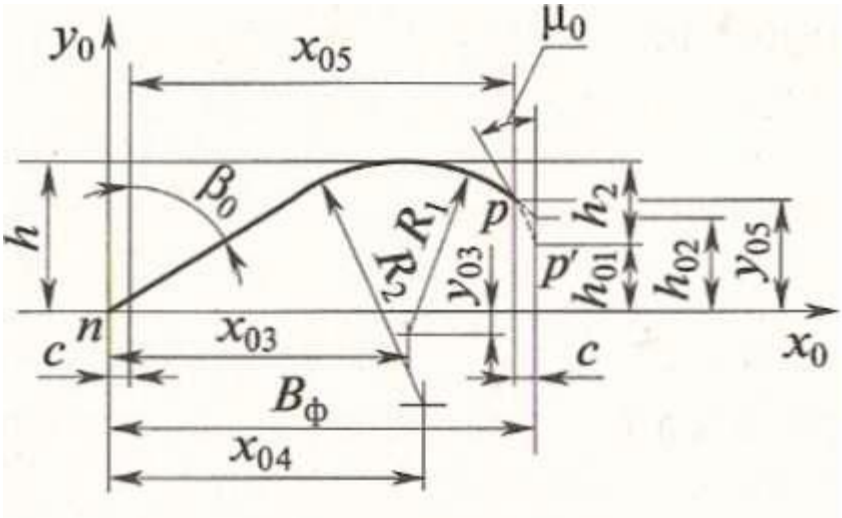


Рис. 5.3. Расчет ширины и высоты профиля фрезы

Окончательные размеры профиля фрезы с учетом перекрытия c определяются по следующим формулам (рис. 5.3).

Наибольшая высота h профиля фрезы будет равна:

при $x_{04} > x_{03}$

$h = R1 + y_{03} + c\ ctg\beta_0$;

при $x_{03} > x_{04}$

$h = R_2 + y_{04} + c\ c\ ctg\beta_0$;

Здесь y_{03} и y_{04} проставляются со своими знаками.

Высота крайней точки p профиля фрезы определяется при перекрытии c по касательной:

$$h_{02} = y_{04} - c\ ctg\ \mu o + c\ ctg\ \beta_0$$

при перекрытии c по дуге:

$$h_{01} = R \sin \lambda + c\ ctg\ \beta_0 + y_{03},$$

где $\cos \lambda = \cos \mu o + —$

Дополнительная высота $h_2 = h — h_{0l}$.

Шаблон для контроля профиля фрезы проектируется, исходя из следующих положений: все шаблоны для проверки профиля лопатки в разных сечениях и шаблон для фрезы согласуются между собой посредством рабочего эта-

лонного шаблона (рис. 5.4). Поэтому проектируется несколько шаблонов, а именно:

*эталон, имеющий выпуклую форму и полный профиль, охватывающий все сечения в неразвернутой форме и применяемый только для контроля рабочих эталонов;

*рабочий эталон или «копия эталона» и «накидка», служащие для проверки всех рабочих шаблонов;

*шаблон для фрезы согласуется с «копией эталона» при помощи угольника с углом 5 — поворота профиля.

Технические требования на изготовление шаблона.

1)Подчеркнутые размеры выдержать с допуском ±0,01 мм.

2)Контршаблон фрезы проверять накидкой копии эталона с помощью угольника.

3)Шаблон фрезы проверить контршаблоном и плиткой 1 мм.

4)Накидку копии эталона проверять эталоном.

5)Материал — сталь 20 ГОСТ 1050—88.

6)Цементировать и калить 56...60 HRC.

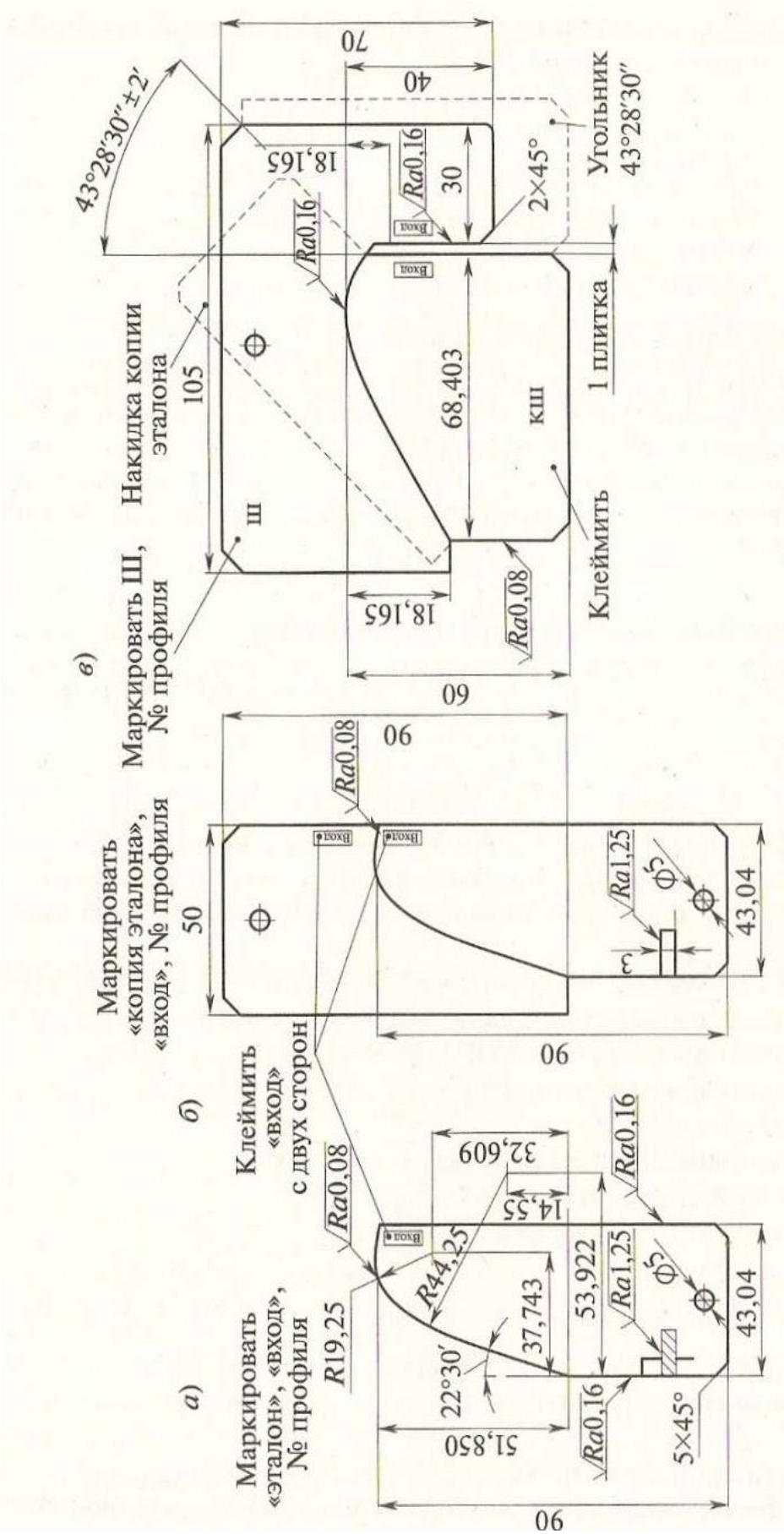


Рис. 5.4. Эталоны и шаблоны профиля фрезы

5.2. Пример расчета фрезы для внутренней поверхности косой турбинной лопатки

З а д а н и е . Рассчитать профиль фрезы для внутренней поверхности косой турбинной лопатки.

Р а с ч е т п р о ф и л я ф р е з ы .

1. Исходные данные.

1) Косая турбинная лопатка (см. рис. 5.1), согласно обозначениям размеров лопатки и профилей двух крайних сечений по А—А и Б—Б, имеет следующие размеры, сведенные в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Расчет профиля фрезы

Обозначение	Величина, мм	Обозначение	Величина, мм
B	$30_{-0,05}$	X1	24,703
A	20,632	У1	2,125
β	22°30'	X3	37,743
δ_0	43°28' 30"	У3	32,609
R1	19,25	X4	53,922
R2	44,25	У4	14,55

Координаты x_5, y_5 и угол μ крайней точки профиля (по рис. 5.1, *г)* определяются по формулам:

$$x_5 = x_3 - x1 + B = 37,743 - 24,703 + 30,0 = 43,04 \text{ мм};$$

$$y_5 = y_3 \; y1 + A = 32,609 - 2,125 + 20,632 = 51,116 \text{ мм};$$

$$\sin \mu = \frac{Y5-Y3}{} = \frac{51.116-32.609}{} = 0.961395$$

Принимаем μ = 74°2'.

Так как при фрезеровании внутренней поверхности лопатки за базовую плоскость принимается плоскость хвостовика (см. рис. 5.2), то поворот профиля производим на угол $\delta = \delta_0 = 43°28'30''$.

Условие, когда угол поворота $\delta \leq \mu - 10° = 74°2' - 10° = 64°2'$, как видно, соблюдено.

Согласно вышеприведенным формулам и обозначениям на рис. 5.3, значения координат центров дуговых участков и крайней точки повернутого профиля находятся с помощью табл. 3.4.

Постоянные размеры следующие:

$$\delta = 43°28' 30''; \sin \delta = 0,688038; \cos \delta = 0,725675.$$

Углы прямолинейного участка и касательной, согласно расчету в п. 7 из предыдущего параграфа, будут равны:

$$\beta_0 = \beta + \delta = 22°30' + 43°28' = 65°58';$$

$$\mu_0 = \mu - \delta = 74°2' - 43°28' = 30°34'.$$

2) Размер перекрытия берем c = 1 мм. Тогда ширина профиля фрезы (см. рис. 5.3) будет

$$B_ф = x_{05} + 2c = 66{,}40 + 2 = 68{,}40 \text{ мм.}$$

Таблица 5.2

Значения координат центров дуговых участков крайней точки повернутого профиля

№ индексов координат	Заданные координаты		Расчетные промежуточные величины				Искомые координаты	
	У	Х	$a1 = y \sin\delta$	$b1 = x \cos\delta$	$a2 = y \cos\delta$	$b2 = x \sin\delta$	x0= = a1 + b1	yo = =a2-b2
3	32,609	37,745	22,435	27,389	23,664	25,969	49,825	-2,305
4	14,550	53,922	10,011	39,130	10,559	37,100	49,141	-26,541
5	51,116	43,040	35,170	31,233	37,094	29,613	66,403	7,479

Наибольшая высота профиля фрезы определится по формуле п. 9, при условии $x_{03} > x_{04}$, так как 49,825 > 49,141 мм.

$$h_{01} = R_2 + y_{04}\, c \operatorname{ctg} \beta_0 = 44{,}25 - 26{,}541 + 0{,}446 = 18{,}155 \text{ мм.}$$

Высота крайней точки профиля при перекрытии по дуге радикса R_1 будет $\cos \lambda = \cos \mu_6 + \frac{c}{R1} = 0{,}861161 + \frac{1}{19.25} = 0{,}913109$.

Отсюда определяем угол λ:

$$\lambda = 24°340'' \sin = \lambda = 0{,}407711;$$

$$h_{01} = R \sin \lambda + c \operatorname{ctg} \beta_0 + y_{03},$$

$$h_{01} = 19{,}25 \cdot 0{,}406711 + 0{,}446 - 2{,}305 = 5{,}989 \text{ мм;}$$

$$h_2 = h - h_{01}$$

$$h_2 = 18{,}15 * 5 - 5{,}989 = 12{,}166.$$

3) На рис. 5.5 приведен чертеж фасонной фрезы с припаянными ножами и штифтовым креплением. Для рассчитанной высоты профиля h = 18,155 мм выбираем по [28] фрезу для высоты профиля h = 15...18 мм. Незначительное превышение h на 0,155 мм по сравнению с фактической высотой профиля фрезы практически не имеет значения; при этом выбран меньший диаметр фрезы, т. е. D = 140 мм. Остальные размеры фрезы взяты по [28] для выбранного диаметра. Размеры стружколомательных канавок взяты по [28] для ширины фрезы b = 70 мм.

Технические требования на изготовление.

1) Основные размеры по нормали.

2) Профиль фрезы проверять шаблоном (см. рис. 5.4, а), прикладывая его к стороне «входа».

3)Ножи фрезы термообработать. Твердость ножей 63...66 HRC.

4)Толщина слоя припоя не должна превышать 0,02 мм.

5)Биение режущих кромок относительно оси не более 0,04 мм.

6)Отклонение радиальности передней грани не более 0,09 мм.

7)Биение торцов не более 0,03 мм.

8)Отверстие под конические штифты в ноже и корпусе обработать совместно.

9)Выступающие концы штифтов удалить.

10) Затыловать стружколомательные канавки через один

11) Размеры корпуса и ножа даны без припуска на обработку.

Список литературы

1. Алексеев Г.А., Аршинов В.А., Кричевская Р.М. "Конструирование инструментов" 1979.
2. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3х томах. Издание 8-е переработанное и дополненное. Под редакцией Жестковой И.Е.- М.: Машиностроение, 2001
3. Баранчиков В.И., Боровский Г.В. и др. "Справочник конструктора-инструментальщика". 1994 .
4. Баранчиков В.И. и др. "Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов". Справочник. - М.: Машиностроение, 1990.
5. Гречишников В.А., Григорьев С.Н., Коротков И.А, Схитртладзе А.Г. "Проектирование металлообрабатывающих инструментов: учеб. пособие для вузов" - М.: Дрофа, 2010.
6. Иноземцев Г.Г. "Проектирование металлорежущих инструментов". - М.: Машиностроение, 1984.
7. Кирсанов Г.Н. и др. "Руководство по курсовому проектированию металлорежущих инструментов". - М.: Машиностроение, 1986.
8. Косилова А.Г., Р.К. Мещерякова. "Справочник технолога машиностроителя", том 1, 2. -М.: Машиностроение, 1985.
9. Маргулис Д.К. и др. "Протяжки для обработки отверстий". – М.: Машиностроение. 1986.
10. Музыкант Я.А. "Металлорежущий инструмент". Номенклатурный каталог в четырех частях. Часть 1 "Токарный инструмент". - М.: Машиностроение, 1995.
11. Нефедов Н.А., Осипов К.А.. "Сборник задач и примеров по резанию металлов и режущему инструменту". - М.: Машиностроение, 1990.
12. "Общемашиностроительные нормативы" том.2. 1974.
13. Ординарцев И.А. и др. "Справочник инструментальщика". -Л.: Машиностроение, 1987.
14. Палей М.М. "Технология производства металлорежущих инструментов". -М.: Машиностроение, 1982.
15. Палей М.М. "Технология и автоматизация инструментального производства". - Волгоград, 1995.
16. Попов А.А. "Обработка металлов резанием" - справочник технолога - М.: Машиностроение, 1988.
17. Проников А.С. "Проектирование металлорежущих станков и станочных систем". Справочник-учебник в 3-х томах, том 1 "Проектирование станков" -М.: Машиностроение, 1994.
18. "Проектирование и производство металлорежущих инструментов". Методические указания по курсовому проектированию. Специальность 120100. 1990.
19. "Режущий инструмент" - альбом, часть 1. Под ред. Гречишникова В.А. - М.: СТАНКИН, 1996.

20. Родин П.Р. "Проектирование и производство режущего инструмента". - Киев.: Высшая школа, 1975.
21. Романов В.Ф., "Расчеты зуборезных инструментов" - М.: Машиностроение, 1969.
22. Сахаров Г.Н. и др. "Металлорежущие инструменты" - М.: Машиностроение, 1989.
23. Семенченко И.И. и др. "Проектирование металлорежущих инструментов" . 1987 г.
24. "Составной режущий инструмент". Под ред. К.П. Имшенника. М.: Машиностроение, 1995.
25. Справочник под ред. Жедь В.Л.
26. Справочник технолога-машиностроителя Т.2 / под ред. А.Н.Малова
27. Фадюшин И.Л. и др. "Инструмент для станков с ЧПУ, многоцелевых станков и ГПС". - М.: Машиностроение, 1990.
28. Филиппов Г.В. "Режущий инструмент". - Л.: Машиностроение, 1981.
29. Фрайфельд И. А. "Расчеты и конструкции специального металлорежущего инструмента" –М.: Машгиз, 1959.
30. Щеголев А.В., "Конструирование протяжек". - М.: Машгиз, 1960.

Типовое содержание проекта

1. Общий порядок проектирования инструмента. Особенности проектирования инструментов для автоматизированного производства и станков с ЧПУ.

1.1. Быстросменная безподналадочная смена инструмента.

1.2. Инструментальная оснастка для станков с ЧПУ.

2. Проектирование фасонного резца (круглого или призматического).

2.1. Применение и принцип работы круглых и призматических фасонных резцов.

2.2. Расчет профиля фасонного резца:

а)в плоскости передней грани;

б) в осевой плоскости.

2.3. Замена кривых профилей фасонных резцов и фрез дугами окружностей.

2.4. (I). Расчет призматических фасонных резцов:

а)выбор конструктивных размеров и порядок расчета;

б) расчет профиля. Или

2.4. (II). Расчет дискового (наружного) фасонного резца.

а)выбор конструктивных размеров;

б) расчет профиля.

3. Расчет и проектирование протяжки.

3.1. Протягивание схемы резания при протягивании. Виды протяжек и их назначение. Износ, стойкость и скорость резания при протягивании.

3.2. Расчет и проектирование круглой (или шлицевой шпоночной) протяжки.

3.2.1. Конструкция протяжки и конструктивные элементы.

3.2.2. Схема резания и форма режущих кромок. Геометрические параметры режущей части и размеры срезаемого слоя.

3.2.3. Порядок расчета протяжки. Сечения, их расчет.

3.2.4. Особенности конструкции. Образование и отвод стружки. Износ режущих зубьев. Установка на станке. Виды хвостовиков. Улучшение конструкции протяжки.

4. Расчет и конструкция червячной фрезы.

4.1. Инструмент для обработки зубьев у цилиндрических колес.

4.2. Общие вопросы проектирования зуборезных инструментов. Определение формы профиля зубьев зубчатого колеса. Зацепление двух колес.

4.3. Зуборезные инструменты, работающие с профилированием методом копирования.

4.4. Обкатные зуборезные инструменты. Движение обката, скорость точки режущей кромки. Образование впадин заготовки методом огибания.

4.5. Порядок расчета червячной зуборезной фрезы. Образование червячной фрезой зубьев колеса. Формы зуба и впадин червячной фрезы.

4.6. Расчет дисковой модульной фрезы для нарезания цилиндрических прямозубых колес.

4.7. Червячные шлицевые фрезы. Порядок расчета.

4.7.1. Табличный расчет профиля фрезы по дуге окружности.

4.7.2. Конструктивные размеры червячной шлицевой фрезы. Расчетные размеры валика.

4.7.3. Аналитический расчет профиля по дуге окружности. Расчет координат точек профиля фрезы.

4.7.4. Графическое построение сопряженного профиля фрезы при помощи линии зацепления.

4.7.5. Определение размеров профиля зуба и элементов режущей части.

4.8. Конструкция и расчет зуборезного долбяка.

4.8.1. Схема работы. Размеры зубьев долбяка в диаметральном и других сечениях.

4.8.2. Размеры зубьев долбяка в плоскости переднего торца, геометрические параметры. Исходный и действительный профиль режущей кромки и угол профиля задней поверхности зубьев долбяка.

4.8.3. Общий порядок расчета.

4.9. Конструкция и расчет зуборезного шевера.

4.9.1. Схема работы и расчет шевера.

5. Инструменты общего назначения.

5.1. Резцы, оснащенные многогранными пластинами. Выбор и расчет конструкции. Резцы с режущими элементами из СТМ.

5.2. Расчет фасонной фрезы для обработки турбинной лопатки.

6. Заключения.

7. Список литературы.

Варианты заданий для проектирования круглых протяжек

Общие условия для всех вариантов исходных данных:

- наибольшая длина протяжки, допустимая возможностями инструментального производства до 1500 мм;
- производство деталей: для вариантов заданий 1 – 10 – массовое, 11-20 – крупносерийное;
- производство инструмента – мелкосерийное;
- отверстие под протягивание во всех вариантах заданий подготовлено сверлом;
- квалитет точности отверстий - $H12$
- данные, относящиеся к соответствующей модели протяжного станка, определяются по справочнику;
- толщина фланца приспособления – 30 мм.

Условные обозначения, принятые в таблице вариантов исходных данных:

$d_{\min}$ - наименьший диаметр обрабатываемого отверстия

TD - величина допуска на отверстие

ТЛ – толстостенные

ТН – тонкостенные

L_a, l_1, l_2, a_k - смотри эскиз детали

d_0 - наименьший диаметр отверстия под протягивание

Q_T - тяговое усилие протяжного станка, все варианты – 200 кН

L_{cm} - наибольший ход каретки протяжного станка, вариант – 4, 10 – 1250 мм, остальные варианты – 1600 мм.

Тип рабочего патрона

А – автоматический

Б – быстросменный

Конструктивные особенности протяжки (КОП):

ЗХ – наличие у протяжки заднего хвостовика;

ЗКЗ – наличие у протяжки запасных калибрующих зубьев,

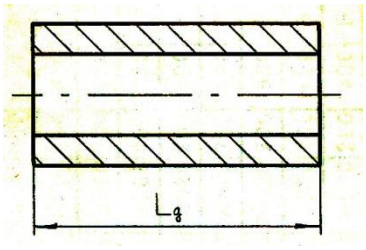
ВЗ – наличие у протяжки выглаживающих зубьев

Примечание: при несоответствии хвостовика патрона и посадочного резьбового отверстия протяжного станка применять переходные втулки.

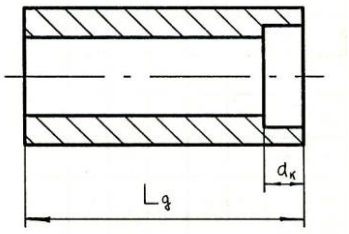
Внимание: некоторые исходные данные находятся вне таблицы.

Эскизы детали

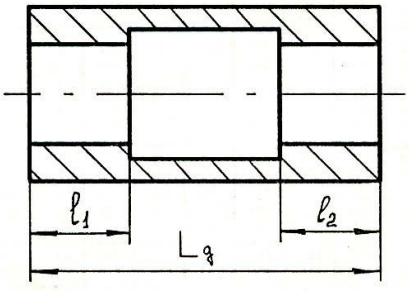
Тип детали 1



Тип детали 2



Тип детали 3



Характер стенок:

Варианты 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19 – ТЛ, остальные варианты – ТН

Модель станка

Варианты 4, 10 – 77208

Варианты 1, 3, 6, 8, 11, 12, 14, 16, 18, 20 – 7А520, остальные варианты – станок – 7Б520

Тип патрона

Варианты - 1, 3, 5, 8, 9, 11, 13, 15, 17, 19 - тип Б, остальные – тип А

Таблица 7.1 Варианты исходных данных

№ варианта	d_{min}	*TD*	*Ra*	Материал детали	НВ	Тип детали	L_g	l_1	l_2	a_k	d_0	КОП
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	33	0.027	1.6	Сталь 30Х	187	1	35	-	-	-	31.4	ВЗ
2	33	0.050	3.2	Сталь 45Х	217	2	50	-	-	10	32.2	ЗХ/ЗКЗ
3	34	0.027	0.8	Сталь 40Х	241	1	40				32.4	В З
4	34	0.050	3.2	Чугун СЧ	173	1	80	-	-	-	33.2	ЗХ/ВЗ
5	35	0.027	1.6	Чугун СЧ	197	1	45	-	-	-	33.4	ЗКЗ/ВЗ
6	35	0.050	3.2	Чугун КЧ	163	2	90	-	-	25	34.2	ЗХ/ЗКЗ
7	36	0.027	0.8	Сталь 30	179	1	25				34.4	ЗХ/ВЗ
8	36	0.050	3.2	Сталь 45	210	2	45			10	35.2	З К З
9	38	0.027	1.6	Сталь 50Г2	240	1	30				35.4	В З
10	38	0.050	3.2	Сталь 20Х	179	1	50				37.2	ЗХ/ВЗ
11	40	0.027	0.8	Сталь 40Х	207	1	35				38.4	ЗКЗ/ВЗ
12	40	0.050	3.2	Сталь 35ХН	241	1	55				39.2	ЗХ/ВЗ
13	42	0.027	1.6	Чугун СЧ	179	1	40				40.4	З К З
14	42	0.050	3.2	Чугун СЧ	197	3	100	45	25		41.2	ЗХ/ЗКЗ
15	45	0.027	0.8	Чугун КЧ	163	1	5 0			10	43.4	В З
16	45	0.050	3.2	Сталь 35	187	3	110	30	55		44.2	ЗХ/ЗКЗ
17	48	0.027	1.6	Сталь 40	217	1	4 5				46.4	З К З
18	48	0.050	3.2	Сталь 65Г	269	1	115				47.2	ЗХ/ВЗ
19	50	0.027	0.8	Сталь 30Х	187	1	5 0				48.4	В З
20	50	0.050	3.2	Сталь 45Х	217	2	120			35	49.2	ЗХ/ВЗ

Варианты заданий для проектирования протяжки для прямобочных шлицев

Общие условия для всех вариантов исходных данных

- Наибольшая длина протяжки, допустимая возможностями инструментального производства до 1500 мм.
- производство деталей: для вариантов заданий 21 – 30 – массовое, для вариантов 31 – 40 – крупносерийное;
- производство инструмента – мелкосерийное;
- отверстие под протягивание во всех вариантах заданий подготовлено сверлом
- данные, относящиеся к соответствующей модели протяжного станка, определяются по справочнику;
- тип деталей для всех вариантов – 1
- толщина фланца приспособления – 30 мм.

Условные обозначения, принятые в таблице вариантов исходных данных

D_{min} - наименьший внутренний диаметр шлицевого отверстия

$+\delta_D$ - величина допуска на наружный диаметр
$d_{\min}$ - наименьший внутренний диаметр шлицевого отверстия;
δ_d - величина допуска на внутренний диаметр
$b_{\min}$ - наименьшая ширина шлицев;
$+\delta_b$ - величина допуска на ширину шлицев
$D_н$ - шероховатость наружного диаметра
$d_н$ - шероховатость внутреннего диаметра
$b_н$ - шероховатость боковых поверхностей
Характер притупления: R - радиус; F - фаска;
Соосность диаметров: ПС – повышенная соосность диаметров;
Характер стенок отверстия;
ТЛ – толстостенные
ТН – тонкостенные
L_g, l_1, l_2, a_k - смотри эскиз детали
d_0 - наименьший диаметр отверстия под протягивание
Q_T - тяговое усилие протяжного станка:
7А510 – 100 кН; 7Б510 – 100 кН; 7А520 – 200 кН; 7Б520 – 200 кН
L_{cm} - наибольший ход каретки протяжного станка, вариант – 4, 10 – 1250 мм, остальные варианты – 1600 мм.
Тип рабочего патрона
А – автоматический; Б – быстросменный
При использовании автоматического рабочего патрона на протяжке проектируем задний хвостовик.
Тип патрона – варианты 36, 37, 38, 40 – Б, остальные варианты – А
Модель станка – 30, 32, 35, 37, 39 – 7Б510, остальные 7А510
Соосность диаметров у вариантов – 26, 28, 33, 39 – ПС
Характер стенок – варианты – 21, 23, 25, 27, 29, 31, 33, 35, 37, 39 – ТЛ; остальные варианты – ТН
Материал детали
Сталь 40Х – варианты 21, 22, 33, 38; Сталь 40 – 23, 25, 29, 32, 35
Сталь 30Х – 24, 30, 34, 36, 40; Сталь 20 – 26
Сталь 35 – 27; Сталь 45 – 28
Сталь 65Г – 31; Чугун КЧ – 37
Сталь 20Х – 40;

Таблица 7.2. Варианты исходных данных

№ вариантов	$D_{\min}$	$+\delta_D$	$d_{\min}$	$+\delta_d$	$b_{\min}$	$+\delta_b$	шероховатость			Число шлицев	Характер притупления		Твердость материала	L_g	d_0
							$D_н$	$d_н$	$b_н$		R	F			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
21	16	0.035	13	0.240	3.5	0.029	1.6	1.6	6.3	6	-	0.3	268	35	12.5
22	20	0.045	17	0.240	5	0.045	3.2	3.2	6.3	6	-	0.3	302	30	16.5
23	36	0.046	30.6	0.170	6	0.050	1.6	1.6	3.2	8	0.3	-	217	25	3 0
24	38	0.046	33	-0.170	3.5	0.027	1.6	1.6	6.3	16		0.3	268	55	32.5
25	38	0.045	33	0.170	3.5	0.027	6.3	6.3	6.3	16	0.3		217	90	32.5
26	27.8	0.140	25	0.045	4.5	0.045	6.3	6.3	6.3	10		0.3	179	15	24.1
27	28	0.045	25	0.140	4.5	0.045	1.6	1.6	6.3	10	0.25		207	80	24.3
28	28	0.140	22	0.023	4.5	0.045	6.3	6.3	12.5	10		0.4	210	30	21.5
29	29.6	0.023	27	0.140	4	0.045	3.2	6.3	6.3	10	0.3		217	50	2 5
30	30	0.045	27	0.140	4.5	0.045	3.2	3.2	6.3	10		0.3	268	70	2 6

31	30.2	0.340	26	0.210	4.7	0.200	3.2	6.3	6.3	10	0.4		217	40	25.2
32	33	0.050	30	0.140	4.7	0.070	6.3	6.3	6.3	10		0.3	207	55	2 9
33	34.8	0.200	30	0.027	5	0.050	6.3	6.3	3.2	10	0.3		217	55	2 9
34	35	0.027	30	0.140	5	0.027	3.2	3.2	6.3	10		0.3	302	35	29.4
35	36	0.045	34.5	0.170	5.6	0.070	3.2	3.2	6.3	10	0.3		207	55	33.7
36	38	0.027	33	0.340	6	0.027	3.2	3.2	6.3	10		0.3	285	40	32.5
37	38	0.035	35	0.200	6	0.050	1.6	3.2	6.3	10	0.3		163	50	3 4
38	38	0.160	31	0.110	6	0.050	6.3	6.3	6.3	10		0.3	285	45	30.5
39	41.8	0.170	36	0.027	6	0.027	6.3	3.2	3.2	10	0.3		179	55	3 5
40	42	0.027	37	0.170	6	0.027	3.2	3.2	6.3	10		0.3	302	30	36.3

Варианты задания для проектирования квадратных протяжек

Общие условия для - всех вариантов исходных данных
- наибольшая длина протяжки, допустимая возможностями инструментального производства до 1500 мм;
- производство деталей: для вариантов заданий 41 – 70 – массовое; 71 – 100 – крупносерийное;
- производство инструмента – мелкосерийное;
- отверстие под протягивание во всех вариантах заданий подготовлено сверлом;
- данные, относящиеся к соответствующей модели протяжного станка, определяется по справочнику.

Модель станка – 7А510 (варианты – 41 – 47; 49 -51; 53 – 56; 60 – 64; 67 – 71; 76, 79, 82 – 87; 89 – 94; 99);
7Б510 (варианты 48, 52, 57 – 59; 65 – 66; 72 – 75; 77 – 78; 80 – 81; 88, 95 – 98; 100)
Тяговое усилие станка в кН (Q_T): - 100 (варианты 41 – 55; 61 – 71; 76, 78 - 95), остальные варианты – 200
Квалитет точности d_0 - $H12$ (все варианты)
Наибольший ход каретки протяжного станка – 1250 мм (варианты 41 – 55; 61 – 71; 78 - 95); 1510 мм (вариант 56); 1600 мм (остальные варианты)
Толщина фланца приспособления – 25 мм (варианты – 41 – 55; 61 – 71; 76; 78 – 93; 98, 100); 30 мм (остальные варианты)
Тип патрона: А (варианты 41, 48, 51, 53, 55, 57, 60 – 61; 65 – 66; 69, 72, 76, 79, 82 – 83, 87, 90, 93, 96, 99); Б (остальные варианты)
Условные обозначения, принятые в таблице вариантов исходных данных:
A, B - расстояние между сторонами фасонного отверстия;
$+\delta$ - величина допуска на размеры
$L_{ä}$ - длина детали;
d_0 - наименьший диаметр отверстия под протягивание
Q_T - тяговое усилие протяжного станка (по справочнику)
L_{CT} - наибольший ход каретки протяжного станка
Тип рабочего патрона: А – автоматический; Б - быстросменный

Эскиз детали

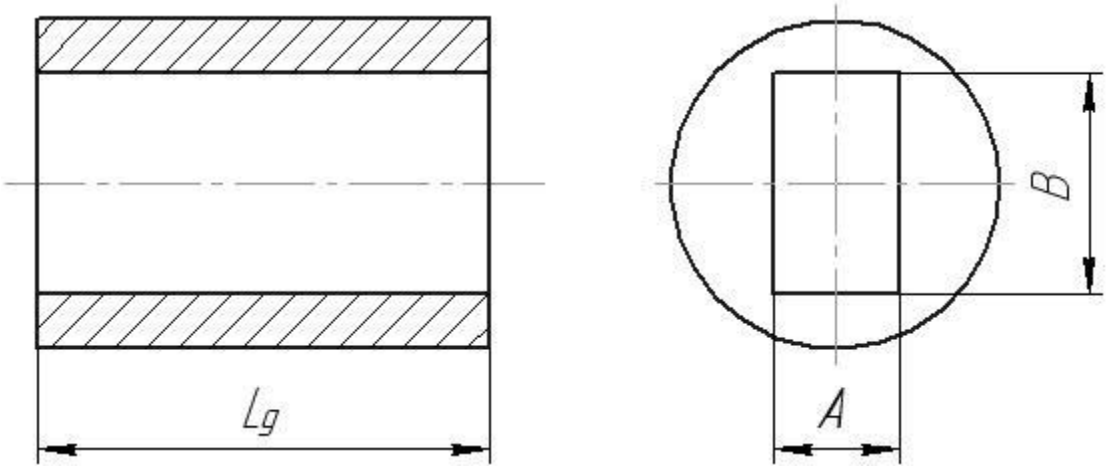


Таблица вариантов исходных данных

№ варианта	A	B	$+\delta$	Шероховатость Ra	Материал детали	Твердость материала	$L_{ä}$	d_0
1	2	3	4	5		6	7	8
41	12	12	0.019	0.8	Сталь 30	179	15	11.8
42	14	14	0.019	1.6	Сталь 45	210	35	13.2
43	16	16	0.019	1.6	Сталь 20Х	179	20	15.2
44	18	18	0.023	3.2	Сталь 40Х	207	35	17.2
45	19	19	0.023	0.8	Сталь 35	187	50	18.2
46	20	20	0.045	1.6	Сталь 40	217	40	19.2
47	21	21	0.023	3.2	Сталь 30Х	187	20	20.2
48	22	22	0.045	3.2	СЧ	173	55	21.2
49	24	24	0.023	0.8	КЧ	153	50	23.2
50	25	25	0.023	3.2	Сталь 30	179	40	24.4
51	26	26	0.045	3.2	Сталь 20Х	179	35	25.4
52	27	27	0.023	0.8	Сталь 35	187	35	26.2
53	28	28	0.045	3.2	СЧ	197	55	27.2
54	30	30	0.023	3.2	Сталь 40	217	55	29.4
55	32	32	0.027	1.6	Сталь 55Г	266	50	31.2
56	33	33	0.027	1.6	Сталь 30Х	187	35	32.4
57	34	34	0.050	3.2	Сталь 45Х	217	60	32.4
58	35	35	0.027	1.6	Сталь 40	217	45	34.2
59	36	36	0.059	3.2	Сталь 35	187	60	35.2
60	38	38	0.027	1.6	Сталь 20Х	179	56	35.8
61	12	14	0.019	0.8	Сталь 30	179	15	11.8
62	14	16	0.019	1.6	Сталь 45	210	35	13.2
63	16	18	0.023	3.2	Сталь 20Х	179	20	15.2
64	18	20	0.023	3.2	Сталь 40	217	50	17.2
65	20	21	0.045	0.8	Сталь 30Х	187	45	19.2
66	22	24	0.023	1.6	Сталь 30Х	187	60	21.2
67	24	25	0.045	1.6	Сталь 30	179	55	23.4
68	26	28	0.045	3.2	Сталь 35	187	45	25.4

69	28	30	0.045	3.2	Сталь 45Х	217	60	26.8
70	30	32	0.023	3.2	Сталь 20Х	179	50	29.2
71	32	34	0.050	0.8	Сталь 20	179	45	31.4
72	34	36	0.027	1.6	Сталь 45	210	35	32.8
73	36	38	0.050	1.6	Сталь 30	179	50	31.8
74	35	38	0.045	0.8	Сталь 30Х	187	45	34.2
75	32	36	0.050	0.8	Сталь 40	217	35	31.8
1	2	3	4	5	6	7	8	9
76	30	34	0.045	1.6	Сталь 30	179	40	28.8
77	26	30	0.027	3.2	Сталь 20Х	174	50	25.2
78	18	22	0.045	3.2	Сталь 35	187	45	17.8
79	21	23	0.023	3.2	Сталь 35Х	187	50	20.2
80	16	20	0.019	3.2	Сталь 40	217	40	15.8
81	12	12	0.019	0.8	Сталь 30	179	25	11.8
82	14	14	0.019	1.6	Сталь 45	210	25	13.2
83	16	16	0.019	1.6	Сталь 20Х	179	25	15.2
84	18	18	0.023	3.2	Сталь 40Х	207	30	17.2
85	19	19	0.023	0.8	Сталь 35	187	40	18.2
86	20	20	0.045	1.6	Сталь 40	217	50	19.2
87	21	21	0.023	3.2	Сталь 30Х	187	30	20.2
88	22	22	0.045	3.2	СЧ	173	45	21.2
89	24	24	0.023	0.8	Сталь 30	179	50	23.2
90	25	25	0.023	3.2	Сталь 35	187	50	24.4
91	26	26	0.045	3.2	Сталь 20Х	179	25	25.4
92	27	27	0.023	0.8	Сталь 35	187	55	26.2
93	28	28	0.045	3.2	Сталь 30	179	65	27.2
94	30	30	0.023	3.2	Сталь 40	217	65	29.4
95	32	32	0.027	1.6	Сталь 55Г	269	60	31.2
96	33	33	0.027	1.6	Сталь 30Х	187	60	32.4
97	34	34	0.050	3.2	Сталь 45Х	217	45	32.8
98	35	35	0.027	1.6	Сталь 40	217	60	34.2
99	36	36	0.050	3.2	Сталь 35Х	187	55	34.8
100	38	38	0.027	1.6	Сталь 20Х	179	65	36.8

Варианты заданий для проектирования долбяка и шевера

Условные обозначения, принятые в таблице вариантов исходных данных

Параметры обрабатываемого колеса
m - модуль нормальный
z_1 - число зубьев
x_1 - коэффициент смещения исходного контура
степень точности колеса – 8Х

Параметры сопряженного колеса
z_2 - число зубьев
x_2 - коэффициент смещения исходного контура
Угол профиля исходного контура зубчатой рейки $\alpha = 20°$
Угол наклона зубьев сопряженных колес на делительном диаметре $\beta = 0$

Характеристика обработки колеса
M - материал колеса

- твердость материала *НВ*

Δ - величина припуска на толщину зуба (на сторону) под последующую обработку

Технологическое назначение проектируемого долбяка (в таблице без заголовка)

О - чистовой для окончательного нарезания

Ш – получистовой под шевингование

Для вариантов – 9, 10, 17, 18, 19, 20 – модель станка 5А12

Для вариантов – 23, 24, 25 – модель станка 5А161

Остальные варианты – модель станка 5А150

Для всех вариантов:

- производство деталей – крупносерийное
- производство инструмента – мелкосерийное.

Таблица вариантов исходных данных

Таблица 7.3. Варианты исходных данных

№ варианта	m	z_1	x_1	z_2	x_2	*М*	*НВ*	Δ	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2.75	16	+0.487	29	+0.3	Сталь 30Х	187	-	О
2	2.75	29	+0.3	16	+0.487	Сталь 35Х	197	-	О
3	2.75	25	+0.3	20	+0.487	Сталь 38ХА	207	0.15	Ш
4	2.75	20	+0.487	25	+0.3	Сталь 40Х	217	0.15	Ш
5	3	20	0	25	-0.74	Сталь 20Х	179	-	О
6	3	25	-0.74	20	0	Сталь 35Х	197	-	О
7	3	15	+0.52	29	0	Сталь 30Х	187	-	О
8	3	29	0	15	+0.52	Сталь 40Х	217	-	О
9	3	16	0	19	+0.4	Сталь 38ХА	207	0.15	Ш
10	3	19	+0.4	16	0	Сталь 30Х	187	0.15	Ш
11	3.5	17	+0.6	41	-0.6	Сталь 20Х	179	0.15	Ш
12	3.5	41	-0.6	17	+0.6	Сталь 35Х	197	-	О
13	3.5	34	0	24	0	Сталь 40Х	217	0.15	Ш
14	3	24	0	34	0	Сталь 30Х	187	0.15	Ш
15	3.5	25	+1.1	32	+0.231	Сталь 35Х	197	-	О
16	3.5	32	+0.231	25	+1.1	Сталь 40Х	217	-	О
17	3.75	16	0	43	0	Сталь 38ХА	207	0.15	Ш
18	3	43	0	16	0	Сталь 20Х	179	-	О
19	3.75	18	0	22	0	Сталь 38ХА	207	0.15	Ш
20	3	22	0	18	0	Сталь 20Х	179	-	О
21	3.75	23	0	40	-0.261	Сталь 40Х	217	-	О
22	3.75	40	-0.261	23	0	Сталь 38ХА	207	-	О
23	4.5	41	0	14	+0.284	Сталь 20Х	179	-	О
24	4.5	14	+0.284	41	0	Сталь 40Х	217	0.15	Ш
25	4.5	25	+0.244	36	-0.299	Сталь 30Х	187	0.15	Ш

Варианты заданий для проектирования зуборезной фрезы

Условные обозначения, принятые в таблице вариантов исходных данных

Параметры обрабатываемого колеса

m - модуль нормальный; z_1 - число зубьев; x_1 - коэффициент смещения исходного контура; степень точности колеса – 8Х

Параметры сопряженного колеса

z_2 - число зубьев; x_2 - коэффициент смещения исходного контура; Угол профиля исходного контура зубчатой рейки $\alpha = 20°$; Угол наклона зубьев сопряженных колес на делительном диаметре $\beta = 0$

Характеристика обработки колеса

M - материал колеса (сталь); - твердость материала; Δ - величина припуска на толщину зуба (на сторону) под последующую обработку; S_0 - величина осевой подачи при зубофрезеровании; N - количество передвижек фрезы (каждая передвижка на один шаг); Технологическое назначение проектируемой фрезы (Т); *О* - чистовая для окончательного нарезания; *Ш* – получистовая под шевингование или под шлифование; *З* – черновая под последующее зубодолбление

Конструктивные особенности проектируемой фрезы (К)

Ц – цельная; С – сборная; Т – оснащенная твердым сплавом; Б – быстрорежущая

Примечание: фрезы под шевингование или под шлифование должны быть выполнены или с модифицированным профилем, или с уменьшенным профильным углом, что обосновывается в процессе проектирования.

Техническая характеристика зубофрезерного станка

Мод – модель станка

$d_{\alpha 0 \max}$ - наибольший допустимый диаметр фрезы

$L_{\max}$ - наибольшая допустимая длина фрезы

Для всех вариантов:

- производство деталей – крупносерийное; - производство инструмента – мелкосерийное.

Таблица 7.4. Варианты исходных данных

№ вар.	m	z_1	x_1	z_2	x_2	М	НВ	Δ	S_0	N	Т	К	Мод	$d_{\alpha 0 \max}$	$L_{\max}$
1	2.75	16	+0.48	20	+0.437	38ХА	207	0.1	0.6	3	Ш	Ц/Б	5310	80	100
2	4	35	+0.17	19	+0.35	40Х	217	1.0	1.5	2	З	С/Б	5032	120	8 0
3	1 . 5	18	+0.18	32	+0.16	35Х	241	0.1	1.5	3	Ш	Ц/Б	5312	150	120
4	4	32	+0.174	22	+0.35	40Х	217	1.0	1.5	2	З	С/Т	5032	120	8 0
5	2.75	20	+0.481	16	+0.48	38ХА	207	0.1	0.6	3	Ш	Ц/Б	5310	8 0	100
6	4	27	+0.35	37	+0.167	40Х	217	1.0	1.5	2	З	С/Т	5032	120	8 0
7	1	19	0	41	0	35Х	241	0.1	0.6	3	Ш	Ц/Б	5312	150	120
8	4	38	+0.188	16	+0.104	40Х	217	1.0	1.5	3	З	С/Т	5310	8 0	100
9	2	38	- 0 . 5	17	+0.105	35Х	241	0.1	0.6	3	Ш	Ц/Б	5312	150	120
10	2	17	+ 0 . 5	38	-0.5	35Х	241	0.1	0.6	3	Ш	Ц/Б	5310	8 0	100
11	4	17	+ 0 . 3	46	+0.11	40Х	217	1.0	1.5	3	З	С/Б	5312	150	120
12	3 . 5	17	+0.17	41	-0.17	30Х	187	0.1	0.6	3	Ш	С/Б	5310	8 0	100
13	4	48	+0.11	17	+1.0	40Х	217	1.0	1.5	2	З	С/Т	5032	120	8 0

14	3.5	17	+0.17	32	+0.23	30Х	187	0.1	0.6	3	Ш	С/Б	5310	8 0	100
15	4	38	+0.18	26	+0.4	40Х	217	1.0	1.5	2	З	С/Т	5032	120	8 0
16	2.75	25	0	20	0	30Х	187	0.1	0.6	3	Ш	Ц/Б	5310	8 0	100
17	3	82	0	38	0	40Х	217	1.0	1.5	3	З	С/Б	5312	150	120
18	3.5	41	-0.17	17	+0.17	35Х	241	0.1	0.6	2	Ш	С/Т	5032	120	8 0
19	3	38	0	82	0	40Х	217	1.0	1.5	3	З	С/Б	5310	8 0	100
20	3.5	34	0	25	+0.31	35Х	241	-	1.5	3	О	С/Т	5312	150	120
21	4	69	+0.08	19	+1.0	40Х	217	1.0	0.6	2	З	С/Т	5032	120	8 0
22	3.5	25	+0.31	34	0	35Х	241	-	0.6	3	0	С/Б	5310	8 0	100
23	3	53	0	27	0	40Х	217	1.0	1.5	3	З	С/Б	5312	150	120
24	3.75	43	0	16	+0.2	35Х	241	-	0.6	3	О	С/Б	5310	8 0	100
25	4	37	0	35	0	20Х	179	1.0	1.5	3	З	С/Т	5312	150	120
26	3.75	16	+0.2	43	0	35Х	241	-	0.6	3	О	С/Б	5312	150	120
27	4	23	0	37	0	40Х	217	1.0	1.5	3	З	С/Т	5310	8 0	100
28	3.5	32	+0.23	17	+0.17	35Х	241	-	0.6	2	0	С/Б	5032	120	8 0
29	4	23	+0.2	37	0	20Х	179	1.0	0.6	3	З	С/Б	5310	8 0	100
30	2.75	20	0	25	0	38ХА	207	-	0.6	3	О	Ц/Б	5312	150	120
31	4	52	0	20	0	40Х	217	1.0	1.5	2	З	С/Б	5032	120	8 0
32	3	19	+0.4	31	+0.55	38ХА	207	-	0.6	2	О	С/Б	5032	120	8 0
33	4	62	0	45	0	40Х	217	1.0	1.5	3	З	С/Т	5312	150	120
34	3	29	0	25	0	35Х	241	-	0.6	3	О	С/Б	5310	8 0	100
35	4	37	0	23	0	40Х	217	1.5	0.6	2	З	С/Т	5312	150	120
36	3	25	0	29	0	20Х	179	-	0.6	2	0	Ц/Б	5032	120	8 0
37	5	52	0	23	0	30Х	187	1.0	1.5	3	З	С/Т	5312	150	120
38	3	31	+0.55	29	+0.55	35Х	241	-	0.6	2	О	С/Б	5310	8 0	100
39	3	35	+0.173	22	+0.35	20Х	179	1.0	1.5	2	З	С/Т	5312	150	120
40	3.5	25	+0.17	32	+0.23	30Х	187	-	0.6	2	О	Ц/Б	5032	120	8 0
41	3.5	32	+0.23	25	+0.17	35Х	241	-	0.6	3	О	С/Т	5312	150	120
42	3.75	23	0	40	+0.26	40Х	217	0.1	1.5	2	Ш	С/Б	5032	120	8 0
43	3.75	40	-0.26	23	0	40Х	217	-	0.6	3	О	С/Б	5310	8 0	100
44	4.5	22	+0.2	41	0	38ХА	207	0.1	0.6	3	Ш	С/Б	5312	150	120
45	4.5	14	+0.3	41	0	20Х	179	-	0.6	2	О	Ц/Б	5310	8 0	100
46	4.5	25	+0.24	36	-0.28	40Х	217	-	1.5	3	О	С/Т	5312	150	120
47	4.5	36	-0.29	25	+0.24	35Х	241	0.1	1.5	3	Ш	Ц/Б	5312	150	120
48	3	15	+0.58	19	0	30Х	187	-	0.6	2	О	Ц/Б	5032	120	8 0
49	3	19	0	15	+0.58	20Х	179	-	0.6	3	О	С/Т	5312	150	120

Варианты заданий на проектирование червячных шлицевых фрез

Условные обозначения, принятые в таблице вариантов исходных данных

ХТ – характер термообработки

Ц – цементация; З – закалка; О – отпуск; А – азотирование; ПЗ - поверхностная закалка; У – улучшение; Н – нормализация

ВО – вид обработки

П – получистовая; Ч – чистовая

МВ – материал вала (сталь)

Таблица 7.5. Варианты исходных данных

№ п/п	Номинальный размер. $z\times d\times D$	Размеры валика и допуски							МВ	ХТ	HRC	ВО
		d	D	b	d_1 не менее	a не менее	f	r не более				
1	$8\times42\times48$	$42^{0.020}_{0.050}$	$48^{-0.080}_{-0.250}$	$8^{-0.022}_{-0.050}$	39.5	2.57	$0.4^{}_{+0.2}$	0.3	40Х	Ц, З	$35\div40$	Ч
2	$6\times23\times26$	23	$26^{0}_{-0.014}$	$6^{0}_{-0.014}$	22.1	3.54	$0.3^{}_{+0.2}$	0.2	12ХН3А	Ц, З, О	$50\div55$	П
3	$10\times16\times20$	16	$20^{+0.007}_{+0.007}$	$2.5^{-0.035}_{-0.080}$	14.1	-	$0.3^{}_{+0.2}$	0.2	20Х	З, О	$56\div60$	П
4	$6\times11\times14$	$11^{-0.032}_{-0.075}$	$14^{-0.060}_{-0.130}$	$3^{0}_{-0.035}$	9.9	-	$0.3^{}_{+0.2}$	0.2	40Х	А	HB $300\div330$	Ч
5	$10\times72\times83$	72	$82^{0}_{-0.035}$	$12^{+0.010}_{-0.025}$	67.4	-	$0.5^{}_{+0.2}$	0.5	36ХМ10А	З, О	$57\div60$	П
6	$8\times56\times62$	$56^{+0.010}_{-0.010}$	$62^{-0.100}_{-0.300}$	$10^{0}_{-0.030}$	53.6	6.38	$0.5^{}_{+0.2}$	0.5	50	З, О	$30\div35$	Ч
7	$8\times32\times36$	$32^{0}_{-0.025}$	$36^{-0.080}_{-0.250}$	$6^{-0.022}_{-0.070}$	30.4	2.71	$0.4^{}_{+0.2}$	0.3	35ХМА	ПЗ	$40\div45$	Ч
8	$8\times36\times42$	36	$42^{+0.055}_{+0.018}$	$7^{+0.005}_{-0.040}$	33.5	1.02	$0.4^{}_{+0.2}$	0.3	40ХН	Ц, З, О	$45\div50$	Ч
9	$10\times82\times88$	32	$88^{-0.040}_{-0.025}$	$12^{-0.040}_{0.110}$	79.3	8.62	$0.5^{}_{+0.2}$	0.5	15ХЛ	З, О	$58\div61$	Ч
10	$6\times26\times30$	$26^{+0.03}_{+0.015}$	$30^{-0.070}_{-0.210}$	$6^{+0.008}_{-0.014}$	24.6	3.85	$0.3^{}_{+0.2}$	0.2	30ХН3М	З, О	$35\div40$	Ч
11	$10\times42\times52$	$42^{0}_{-0.017}$	$52^{-0.100}_{-0.300}$	$6^{-0.022}_{-0.055}$	36.9	-	$0.4^{}_{+0.2}$	0.3	38ХМЮА	А	$60\div63$	П
12	$8\times32\times38$	32	$38^{-0.075}_{-0.115}$	$6^{-0.045}$	29.4	-	$0.4^{}_{+0.2}$	0.3		А		Ч
13	$8\times62\times72$	$62^{-0.100}_{-0.300}$	$72^{0}_{-0.035}$	$12^{+0,012}_{-0.012}$	57.8	2.4	$0.5^{}_{+0.3}$	0.5	20ХН3А	Ц, З, О	$60\div63$	П
14	$6\times23\times28$	$23^{-0.006}_{-0.018}$	28	$6^{-0.017}_{-0.040}$	21.3	1.34	$0.3^{}_{+0.2}$	0.2	50	У	$30\div35$	Ч
15	$10\times92\times98$	$92^{0.040}_{0.075}$	98	$14^{-0.040}_{-0.075}$	89.4	10.08	$0.5^{}_{+0.3}$	0.5	45	Н	HB $260\div300$	Ч
16	$20\times82\times92$	$82^{-0.120}_{-0.350}$	$92^{-0.012}_{-0.012}$	$6^{-0.040}_{-0.075}$	75.6	-	$0.5^{}_{+0.3}$	0.5	15Х	Ц, З, О	$58\div60$	П
17	$16\times56\times65$	$56^{0}_{-0.035}$	65	$5^{0}_{-0.030}$	50.6	-	$0.5^{}_{+0.3}$	0.5	45Х	З, О	$40\div45$	Ч
18	$8\times46\times50$	$46^{-0.080}_{0.250}$	$50^{-0.015}_{-0.115}$	$9^{-0.022}_{-0.070}$	44.6	5.75	$0.4^{}_{+0.2}$	0.3	40ХН	Н	HB $280\div320$	Ч
19	$6\times13\times16$	$13^{-0.060}_{-0.180}$	$16^{-0.052}_{-0.075}$	$3.5^{-0.030}_{-0.085}$	12.0	-	$0.3^{}_{+0.2}$	0.2	35ХЮА	А	$58\div60$	П
20	$8\times62\times68$	$62^{0.055}_{0.105}$	68	$12^{-0.030}_{-0.090}$	59.8	7.31	0.5	0.5	40Х	З ТВЧ	$45\div50$	П

							$^{+0.3}$					
21	$10\times82\times92$	$82^{0}_{-0.035}$	92	$12^{0}_{-0.070}$	77.1	3.0	$0.5^{+0.3}$	0.5	50	Н	НВ $300\div330$	Ч
22	$6\times16\times20$	$16^{-0,060}_{-0,180}$	$20^{0}_{-0.014}$	$4^{-0.011}_{-0.040}$	14.54	-	$0.3^{+0.2}$	0.2	12ХН3А	Ц, З, О	$58\div63$	П
23	$10\times72\times78$	$72^{+0,010}_{-0.010}$	78	12	69.6	5.45	$0.5^{+0.3}$	0.5	35ХЮА	А	$55\div60$	П
24	$8\times46\times54$	$46^{-0.080}_{-0.250}$	$54^{+0.040}_{+0.020}$	$9^{+0.010}_{-0.020}$	42.7	-	$0.5^{+0.3}$	0.5	35ХМА	З, О	$40\div45$	Ч
25	$8\times36\times40$	36	$40^{-0.022}_{-0.050}$	$7^{+0.008}_{-0.018}$	3.45	3.46	$0.4^{+0.2}$	0.3	35ХМА	З, О	$40\div45$	Ч
26	$6\times18\times22$	$18^{-0.032}_{-0.075}$	22	$5^{-0.030}_{-0.065}$	16.7	-	$0.3^{+0.2}$	0.2	40ХН	ПЗ	$45\div50$	П
27	$10\times21\times26$	21	$26^{-0.008}_{-0.022}$	$3^{-0.017}_{-0.040}$	18.5	-	$0.3^{+0.2}$	0.2	15ХА	Ц, З, О	$58\div61$	П
28	$20\times102\times115$	102	$115^{-0.120}_{-0.175}$	$8^{-0.040}_{-0.110}$	98.7	-	$0.5^{+0.3}$	0.5	30ХН3М	З, О	$35\div40$	Ч
29	$10\times112\times125$	$112^{-0.080}_{-0.125}$	125	$18^{-0.040}_{-0.075}$	106.3	4.4	$0.5^{+0.3}$	0.5	40Х	Н	НВ $320\div350$	Ч
30	$8\times42\times46$	$42^{0}_{-0.025}$	46	$8^{0}_{-0.025}$	40.4	5.03	$0.4^{+0.2}$	0.3	20ХН3А	Ц, З, О	$60\div63$	П
31	$10\times92\times102$	$92^{+0.045}_{-0.023}$	102	$14^{+0.010}_{-0.025}$	87.3	4.5	$0.5^{+0.3}$	0.5	38ХМЮН	А	$60\div63$	П
32	$8\times52\times58$	52	$58^{-0.012}_{-0.032}$	$10^{-0.030}_{-0.090}$	49.7	4.89	$0.5^{+0.3}$	0.5	50	У	НВ $260\div300$	Ч
33	$6\times21\times25$	$21^{-0.040}_{-0.070}$	26	$5^{-0.014}_{-0.050}$	19.5	1.95	$0.3^{+0.2}$	0.2	30ХГСА	З ТВЧ	$45\div50$	П
34	$16\times62\times72$	62	$72^{0}_{-0.020}$	$6^{-0.014}_{-0.032}$	56.1	-	$0.5^{+0.3}$	0.5	45	Н	НВ $260\div300$	Ч
35	$10\times102\times112$	102	$112^{0}_{-0.035}$	$16^{-0.080}_{-0.150}$	97.7	6.3	$0.5^{+0.3}$	0.5	45Х	З, О	$46\div46$	П
36	$8\times46\times54$	46	$54^{-0.072}_{-0.159}$	$9^{-0.060}_{-0.120}$	42.7	-	$0.5^{+0.3}$	0.5	40ХН	Н	НВ $280\div320$	Ч
37	$8\times46\times54$	$46^{+0.035}_{+0.018}$	$54^{-0.100}_{-0.300}$	$9^{+0.008}_{-0.078}$	42.7	-	$0.5^{+0.3}$	0.5	40Х	З ТВЧ.	$45\div50$	П
38	$10\times102\times108$	102	$108^{+0.012}_{-0.012}$	$16^{0}_{-0.035}$	99.9	11.49	$0.5^{+0.3}$	0.5	50	Н	НВ $300\div320$	Ч
39	$10\times52\times60$	52	$60^{0}_{-0.020}$	$5^{+0.010}_{-0.020}$	47.0	-	$0.5^{+0.3}$	0.5	12ХН3А	Ц,З, О	$58\div63$	П
40	$20\times112\times125$	$112^{0}_{-0.023}$	$125^{-0.130}_{-0.400}$	$9^{-0.040}_{-0.075}$	104	-	$0.5^{+0.3}$	0.5	35ХЮА	А	$55\div60$	Ч
41	$8\times52\times60$	52	$60^{0}_{-0.020}$	$10^{0}_{-0.021}$	48.7	2.44	$0.5^{+0.3}$	0.5	35ХМА	З, О	$40\div45$	Ч

42	$8\times56\times65$	$56^{0}_{-0.020}$	$65^{-0.100}_{-0.300}$	$10^{0}_{-0.030}$	52.2	2.5	$0.5^{+0.3}$	0.5	12Х2Н4	Ц,З,О	$55\div60$	П
43	$10\times112\times120$	$112^{+0.012}_{-0.012}$	$120^{+0.120}_{-0.350}$	$18^{0}_{-0.035}$	108.8	10.72	$0.5^{+0.3}$	0.5	45	Н	$26\div28$	Ч
44	$16\times72\times82$	72	$82^{0}_{-0.035}$	$7^{0}_{-0.035}$	65.9	-	$0.5^{+0.3}$	0.5	40ХН	З,О	$40\div45$	Ч
45	$20\times82\times92$	$82^{+0.012}_{-0.012}$	$92^{-0.120}_{-0.35}$	$6^{-0.040}_{-0.075}$	75.6	-	$0.5^{+0.3}$	0.5	38ХМЮН	А	$50\div55$	П
46	$10\times18\times23$	$18^{0}_{-0.018}$	$23^{-0.070}_{-0.210}$	$3^{-0.014}_{-0.032}$	15.8	-	$0.5^{+0.3}$	0.2	50Г	Н	$35\div40$	Ч
47	$10\times36\times45$	36	$45^{0}_{-0.025}$	$5^{0}_{-0.50}$	31.3	-	$0.4^{+0.2}$	0.3	45	З,О	$30\div35$	Ч
48	$20\times92\times102$	92	$102^{0}_{-0.023}$	$7^{-0.040}_{-0.110}$	85.5	-	$0.5^{+0.3}$	0.5	30ХГСА	З,О	$40\div45$	Ч