

Федеральное агентство по образованию
Тверской государственный технический университет

С.П. Рыков, А.Г. Схиртладзе, В.Л. Хренов

Проектирование металлорежущего инструмента

Учебное пособие

Издание первое

Допущено Учебно-методическим объединением вузов по образованию в области автоматизированного машиностроения (УМО АМ) в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств».

Тверь 2008

УДК 621.9.02
ББК 34.63-5:30.2я7

Рыков, С.П. Проектирование металлорежущего инструмента [Текст]: учебное пособие / С.П. Рыков, А.Г. Схиртладзе, В.Л. Хренов. 1-е изд. Тверь: ТГТУ, 2008. 140 с.

Изложены методики организации и проведения курсового проектирования металлорежущего инструмента, расчета специальных режущих инструментов для заданных условий обработки, предложены типовые задания на проектирование.

Предназначено для студентов машиностроительных специальностей высших учебных заведений.

Рецензенты: зав. кафедрой строительных, дорожных машин и оборудования ТГТУ, доктор технических наук профессор А.В. Кондратьев; директор ОАО «Вагонкомплект», кандидат технических наук Ю.Е. Стрункин.

SBN 978-5-7995-0416-8

© Тверской государственный
технический университет, 2008
© С.П. Рыков, А.Г. Схиртладзе,
В.Л. Хренов, 2008

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Введение.....	5
1.	Организация курсового проектирования.....	6
2.	Этапы проектирования.....	11
3.	Проектирование фасонных резцов.....	15
3.1.	Сведения о фасонных резцах.....	15
3.2.	Методика проектирования фасонных резцов.....	15
3.2.1.	Характерные точки.....	15
3.2.2.	Назначение материала фасонных резцов.....	16
3.2.3.	Назначение геометрических параметров фасонных резцов.....	17
3.2.4.	Определение конструктивных параметров круглых фасонных резцов.....	17
3.2.5.	Конструктивные параметры призматических резцов	26
3.3.	Профилирование фасонных резцов.....	28
3.4.	Оформление рабочего чертежа резца.....	30
3.4.1.	Требования к оформлению рабочих чертежей фасонных резцов.....	30
3.4.2.	Технические требования к фасонным резцам.....	31
4.	Проектирование внутренних протяжек.....	34
4.1.	Основные сведения о протяжках.....	34
4.2.	Общие конструктивные элементы внутренних протяжек.....	35
4.3.	Схемы резания при протягивании.....	38
4.4.	Методика проектирования круглой протяжки.....	40
4.4.1.	Исходные данные.....	40
4.4.2.	Выбор схемы резания и уточнение припуска под протягивание.....	40
4.4.3.	Выбор материала протяжки, типа и параметров хвостовика....	42
4.4.4.	Предварительный выбор шага режущих зубьев.....	43
4.4.5.	Определение подачи на зуб у режущих зубьев протяжки.....	43
4.4.6.	Формы и размеры зуба и стружечной канавки режущей части.....	47
4.4.7.	Число и размеры режущих зубьев.....	49
4.4.8.	Число и размеры стружкоразделительных канавок для режущих зубьев протяжек одинарного резания.....	50
4.4.9.	Число, профиль и размеры выкружек протяжек групповой схемы резания.....	52
4.4.10.	Число, профиль и размеры калибрующих зубьев.....	55
4.4.11.	Определение общей длины протяжки.....	56
4.5.	Особенности расчета протяжек для обработки фасонных	

	отверстий.....	59
4.5.1.	Протяжки для обработки квадратных (гранных) отверстий...	59
4.5.2.	Протяжки для обработки шпоночных пазов в цилиндрическом отверстии.....	65
5.	<i>Проектирование зуборезного инструмента</i>	70
5.1.	Общие сведения для расчета зуборезного инструмента.....	70
5.1.1.	Методы формообразования зубчатых деталей.....	70
5.1.2.	Исходная инструментальная рейка.....	71
5.1.3.	Геометрические параметры цилиндрических эвольвентных зубчатых колес и их зацепления.....	73
5.1.4.	Определение сопряженных участков профилей зубьев эвольвентных колес и инструментов.....	76
5.2.	Червячные зуборезные фрезы.....	79
5.2.1.	Общие сведения.....	79
5.2.2.	Методика расчета червячных фрез для нарезания прямозубых и косозубых колес.....	79
5.2.3.	Технические требования.....	93
5.2.4.	Оформление рабочего чертежа.....	94
5.3.	Зуборезные долбяки.....	99
5.4.	Шеверы.....	113
5.4.1.	Общие сведения.....	113
5.4.2.	Конструктивные параметры дискового шевера.....	114
5.4.3.	Размеры и форма зубьев шевера.....	117
5.4.4.	Проверка на правильность зацепления обработанных колес z_1 и z_2	122
5.4.5.	Технические требования.....	124
6.	<i>Типовые задания на проектирование</i>	127
	Библиографический список.....	138

ВВЕДЕНИЕ

Учебное пособие разработано как руководство для курсового проектирования по специальной дисциплине «Режущий инструмент» для направления подготовки специалистов 150900 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств специальности 151001 Технология машиностроения в соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования (ГОС ВПО). Его также можно использовать для специальности 220301 Автоматизация технологических процессов и производств (машиностроение).

Задача пособия – закрепление и углубление теоретических знаний студента, полученных по дисциплине «Режущий инструмент», овладение методами проектирования инструментов. При создании высокоэффективных конструкций режущего инструмента студент должен четко представлять процессы формообразования и условия работы инструмента, поэтому он должен использовать полученные знания и навыки, приобретенные при изучении общепрофессиональных дисциплин специальности «Технология машиностроения», а, именно, «Сопротивление материалов», «Материаловедение», «Технология конструкционных материалов», «Метрология. Стандартизация. Сертификация», «Основы технологии машиностроения», а также специальной дисциплины «Резание материалов».

Учебное пособие содержит последовательность проектирования инструментов, методические указания по их проектированию, сведения, необходимые для их конструирования, и выдержки из ГОСТов. Представлены методики проектирования важнейших видов инструментов: фасонных резцов, внутренних протяжек и зуборезных инструментов, работающих по методу обката. Приведены примеры оформления рабочих чертежей. Разработаны типовые задания на проектирование перечисленных видов инструментов.

1. ОРГАНИЗАЦИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Назначение. Курсовое проектирование предназначено для закрепления и расширения теоретических знаний студента, полученных по дисциплине «Режущий инструмент»; приобретения практических навыков ведения самостоятельной работы по расчету, конструированию и исследованию режущего инструмента.

Тематика курсовой работы – преимущественно проектирование специального режущего инструмента. Предусматривается выполнение разработок, направленных на выбор типа и конструкции инструмента, материалов его режущей и крепежной частей, назначение геометрических и конструктивных параметров, оптимизацию вариантов конструкции по различным критериям, а также анализ точности, стойкости и производительности.

Темами курсовой работы могут быть научные исследования инструмента теоретического, экспериментального и реферативно-поискового характера.

Конкретное содержание проекта и перечень подлежащих разработке вопросов устанавливаются руководителем работы.

Структура и содержание. Курсовая работа должна содержать пояснительную записку на 20-30 листах формата А4 без учета приложений и графическую часть общим объемом до двух листов формата А1.

Рекомендуемая структура пояснительной записки:

- титульный лист;
- задание на курсовую работу;
- содержание;
- введение;
- основная часть;
- библиографический список;
- приложения (при их наличии).

Содержание проекта руководитель определяет в форме задания на курсовую работу. В задании указываются тема курсовой работы, срок представления к защите, наименования инструментов, параметры обрабатываемых деталей и т.д., перечень графических материалов. Если какие-то параметры не указаны в задании, студент вправе задаться ими самостоятельно с указанием на это в пояснительной записке.

В содержании приводят номера и наименования разделов и подразделов с указанием номеров листов (страниц).

Во введении излагают назначение, особенности конструкции и область применения проектируемых режущих инструментов.

В основной части пояснительной записки типовой курсовой работы приводят обоснование и описание предлагаемых конструкций; этапы расчета и конструирования с краткими пояснениями по каждому инструменту в отдельном разделе.

Библиографический список включает перечень источников, использованных при выполнении курсовой работы.

Для лучшего понимания основной части в записку можно включать приложения, где содержатся спецификации, техническая документация по базовым инструментам, распечатки компьютерных программ и другие материалы, не вошедшие в состав соответствующих разделов.

В графической части приводят рабочие чертежи инструмента. Возможно использование и другого иллюстрационного материала (схемы, диаграммы, компьютерные файлы и т.д.) с обязательным их приложением на бумажных носителях. Состав графической части уточняет руководитель в задании на курсовую работу.

Структура курсовой работы может быть изменена в зависимости от конкретной работы.

Оформление пояснительной записки. Текст пояснительной записки выполняют с применением печатающих и графических устройств вывода ЭВМ (ГОСТ 2.004). Желательно использовать редактор Microsoft Word с размером шрифта 14 пунктов через 1 интервал.

Допускается рукописный вариант оформления пояснительной записки с высотой букв и цифр 2,5-5 мм, цифры и буквы следует писать четко (ГОСТ 2.304).

Пояснительную записку представляют к защите в сброшюрованном виде со сквозной нумерацией на листах формата А4 (ГОСТ 2.301). Титульный лист, задание и приложения включают в общую нумерацию.

Задание на проектирование обязательно подписывают руководитель и студент.

Далее текст пояснительной записки размещают **на формах с рамкой** (20 мм слева и по 5 мм со всех остальных сторон) **и штампами**, установленными ГОСТ 2.106. Первый текстовый лист (с содержанием пояснительной записки) размещают на форме 5, последующие листы – на формах 5а с основными надписями по ГОСТ 2.104 по форме 2 и 2а соответственно.

Текст основной части делится на разделы и подразделы. Разделы должны иметь номера в пределах всей записки, обозначенные

арабскими цифрами без точки и записанные с абзацевого отступа. Введение не нумеруется. Подразделы должны иметь нумерацию в пределах каждого раздела. Номер подраздела состоит из номеров раздела и подраздела, разделенных точкой. В конце номера подраздела точка не ставится. Разделы, как и подразделы, могут состоять из одного или нескольких пунктов, например:

1. Проектирование фасонного резца.

1.1. Задание на проектирование.

1.1.1. Чертеж обрабатываемой детали.

Разделы, подразделы должны иметь заголовки. Пункты, как правило, заголовков не имеют. Заголовки следует печатать с прописной буквы без точки в конце. Расстояние между заголовком и текстом равно 3, 4 интервалам, между заголовками раздела и подраздела – 2 интервалам.

Каждый раздел рекомендуется начинать с нового листа.

В тексте разделов полностью приводят расчетные формулы. Пояснения символов и числовых коэффициентов, входящих в формулу, должны быть приведены непосредственно под формулой, если этого не было сделано раньше. Их помещают с новой строки для каждого в последовательности, в которой символы приведены в формуле. Первая строка пояснения должна начинаться со слова «где» без двоеточия после него. Формулы нумеруют в пределах раздела арабскими цифрами, которые записывают на уровне формулы справа в круглых скобках. Номер формулы состоит из номера раздела и порядкового номера формулы, разделенных точкой, например (3.1). Ссылки в тексте на порядковый номер формул дают в скобках, например, в формуле (2.12).

Текст и расчеты основной части следует сопровождать иллюстрациями, которые способствуют большей ясности и конкретности изложенного материала. Иллюстрации выполняют в соответствии с ЕСКД. Нумеруют иллюстрации арабскими цифрами в пределах раздела. В этом случае номер иллюстрации состоит из номера раздела и порядкового номера иллюстрации, разделенных точкой и обозначается, например, Рисунок 1.3.

При ссылках на иллюстрации следует писать «... в соответствии с рисунком 1.3» при нумерации в пределах раздела.

Иллюстрации при необходимости могут иметь наименование и пояснительные данные (подрисуночный текст). Слово «Рисунок» и наименование помещают после пояснительных данных и располагают следующим образом: Рисунок 1.3 – Эскиз детали.

Цифровой материал рекомендуется оформлять в виде таблиц и снабжать словом «Таблица». Таблицы нумеруют арабскими цифрами в пределах раздела и указывают название (при его наличии), например, Таблица 1.3 – Расчетные размеры. Таблицу размещают под текстом после первой ссылки на нее, или на следующей странице. Допускается размещать таблицу вдоль длинной стороны листа документа.

Если строки или графы таблицы выходят за формат страницы, ее делят на части, помещая одну часть под другой или рядом, при этом в каждой части таблицы повторяют ее головку и боковик (допускается заменять их номером граф и строк). Слово «Таблица» указывают один раз слева над первой частью таблицы, над другими частями пишут слова «Продолжение таблицы» с указанием номера.

Библиографический список должен включать перечень источников в порядке их упоминания в тексте курсовой работы. Он оформляется в соответствии с ГОСТ 7.1-2003. Ссылки на источники в тексте указывают их порядковым номером по списку в квадратных скобках, например [7].

Приложения оформляют как продолжение пояснительной записки на последующих ее листах. В тексте на все приложения должны быть ссылки. Каждое приложение начинают с новой страницы с указанием наверху слова «Приложение» и его обозначения. Приложение должно иметь заголовок, который записывают по центру с прописной буквы отдельной строкой. Приложения обозначают заглавными буквами русского алфавита, начиная с А, за исключением букв З, Й, О, Ч, Ъ, Ы, Ь.

Приложения должны иметь общую с остальной частью документа сквозную нумерацию страниц. Все приложения должны быть перечислены в содержании документа (при наличии) с указанием их номеров и заголовков.

Оформление графической части. Графические материалы курсовой работы выполняют в соответствии со стандартами ЕСКД (ГОСТ 2.119-93, ГОСТ 2.120-93, ГОСТ 2.301-68, ГОСТ 2.109-73), с помощью компьютерной графики (AutoCAD, КОМПАС и др.).

Допускается рукописный вариант оформления графической части.

Для сборочных чертежей в приложении расчетно-пояснительной записки должны быть приведены спецификации.

Каждый инструмент в зависимости от размеров изображают в масштабе М 1:1 на соответствующем формате по ГОСТ 2.301 с основными надписями по форме 1, ГОСТ 2.104. Чертеж инструмента должен быть представлен минимально необходимым числом проекций, полностью раскрывающим его конструкцию. Дополнительно у многолезвийных

(многозубых) инструментов показывают зубья, стружечные канавки, элементы лезвия; у фасонных инструментов приводят форму режущей кромки (со всеми необходимыми размерами). Основные изображения выполняют в натуральную величину (М 1:1), так как это позволяет реально представить действительные размеры и форму изделия. В отдельных случаях для мелкоразмерного (или крупного) инструмента допускаются масштабы увеличения (уменьшения). При вычерчивании инструмента в натуральную величину отдельные мелкие элементы и сечения, такие как геометрия режущей части, профили и др., нужно изображать в увеличенном масштабе.

На рабочем чертеже указывают размеры, предельные отклонения, обозначения шероховатости и др. данные, которым должно соответствовать готовое изделие. Для сборных конструкций представляют контролируемые и требуемые для сборки размеры, справочные размеры, а также размеры, предельные отклонения и шероховатость поверхностей, получающихся в результате сборки. Для сборных конструкций в пояснительной записке приводят спецификацию.

На поле чертежа над основной надписью (над штампом) помещают технические требования по пунктам сверху вниз. В их основу необходимо положить ГОСТы и технические требования на аналогичные конструкции режущих инструментов. В общем случае в их состав могут входить указания:

- по способам создания неразъемных соединений;
- способам достижения точности соединения, если она обеспечивается пригонкой, регулировкой и т.д.;
- способам испытания и контроля изделия;
- сборке изделия для его качественной работы;
- материалу, заготовке, термообработке;
- предельным отклонениям размеров, формы и взаимного расположения;
- качеству поверхностей, их покрытию, маркировке и другие.

Защита работы. При выполнении работы студент консультируется по возникшим вопросам у руководителя (один раз в неделю – при дневной форме обучения, один раз в месяц – заочной). Оформленную курсовую работу представляют руководителю на просмотр. В пояснительную записку и чертежи при необходимости вносят изменения или дополнения в соответствии с замечаниями преподавателя.

Подготовленную к защите работу подписывают у руководителя.

Студент защищает курсовую работу у руководителя или комиссии, назначенной заведующим кафедрой. На защите он кратко излагает суть

проекта, отвечает на поставленные вопросы. Курсовую работу оценивают по четырехбалльной системе. При оценке работы учитывают правильное обоснование представленных разработок, их оригинальность, полноту и качество оформления пояснительной записки и графической части, соответствие их требованиям ГОСТ и ЕСКД, а также умение объяснять и защищать предлагаемые в работе решения.

2.ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Проектирование инструмента в общем случае производится в приведенной ниже последовательности. (В конкретных случаях при проектировании не исключается другая последовательность, а между этапами расчета может существовать обратная циклическая связь.)

1. Изучение аналогичных конструкций инструментов и методики их расчетов [1 - 7].

2. Уточнение исходных данных для расчета:

- сведения о детали;
- оборудовании;
- характере и условиях обработки [8 - 10].

3. Определение при необходимости дополнительных данных.

Например, дополнительные размеры обрабатываемого и сопряженного с ним зубчатого колеса при расчете зуборезного инструмента.

4. Выбор типа конструкции:

- цельная;
- составная;
- сборная.

5. Выбор инструментального материала режущей части.

Определение конкретной марки инструментального материала зависит от большого количества факторов и проводится на основе эмпирических данных [6, 8, 11-14]. В пособии можно воспользоваться табл. 2.1.

Таблица 2.1. Основные марки быстрорежущих сталей

Марка стали	Характерные физико-механические свойства	Область применения
1	2	3
P18	Удовлетворительная прочность, повышенная износостойкость при малых и средних скоростях резания	Для всех видов режущего инструмента при обработке углеродистых и легированных конструкционных сталей
P12	Близкие к стали P18, но обладающие лучшими механическими свойствами	Та же, что для P18, а также для обработки некоторых видов коррозионно-стойкой стали
P9	То же, что и для стали P12	Для инструментов простой формы, обработки конструкционных материалов

Продолжение табл. 2.1

1	2	3
P6M5	Повышенная прочность, повышенная склонность к обезуглероживанию и выгоранию молибдена	Та же, что для стали P18, но предпочтительны для изготовления резьбонарезного инструмента и работающего с ударными нагрузками
11P3AMФ2	Склонна к перегреву	Для инструмента простой формы при обработке углеродистых и конструкционных сталей с прочностью не более 800 МПа
P12Ф3	Стойкость выше в 1,5 - 2,5 раза, чем у сталей P12 и P6M5 при средних скоростях резания	Для чистовых инструментов при обработке вязких сталей, обладающих абразивными свойствами
P6M5Ф3	Повышенная прочность, вязкость, износостойкость	Для чистовых и получистовых инструментов (фасонные резцы развертки, протяжки, фрезы) при обработке углеродистых и легированных конструкционных сталей
P18K5Ф2	Повышенная вторичная твердость и износостойкость	Для черновых и получистовых инструментов при обработке высокопрочных, коррозионно-стойких сталей и жаропрочных сталей и сплавов
P9K5	Повышенная вторичная твердость	Для различных инструментов при обработке коррозионно-стойких сталей и жаропрочных сплавов, а также сталей повышенной прочности
P6M5K5	То же, что и для стали P18K5Ф2	Для черновых и получистовых инструментов при обработке легированных и коррозионно-стойких сталей
P9M4K8	То же, что и для стали P6M5K5	Для различных инструментов при обработке высокопрочных, жаропрочных, коррозионно-стойких сталей и сплавов, а также улучшенной легированной стали

Окончание табл. 2.1

1	2	3
P10K5Ф5	Повышенная твердость, высокая износостойкость	То же, что и для стали P18K5Ф2
P9K10	Повышенная вторичная твердость, пониженная ударная вязкость	То же, что и для стали P9K5
P12Ф4K5	Высокая прочность и вязкость, повышенная износостойкость	Для чистовых и получистовых инструментов для обработки труднообрабатываемых материалов
P12M3Ф2K8, P6M5Ф2K8	Повышенная прочность, высокая износостойкость	Для различных инструментов, обработки труднообрабатываемых материалов, обработки конструкционных материалов на высоких скоростях резания
P6M5K5-МП P9K5-МП	Высокая прочность на изгиб и в 1,5-2,5 раза более высокая стойкость по сравнению с аналогичной маркой обычного производства	Для черновых и получистовых инструментов (фрезы, сверла др.). Для обработки жаростойких и высокопрочных сталей, жаропрочных сплавов типа ХН77ТЮР
P9M4K8-МП		Для черновых и получистовых инструментов (фрезы, сверла, др.). Для обработки жаропрочных сплавов пониженной обрабатываемости типа ЖС6-КП
P12M3K5Ф2-МП		Для обработки жаропрочных сталей при протягивании
P12M3K8Ф2-МП P12M3K10Ф3-МП		Для чистовых и получистовых инструментов для обработки жаропрочных сплавов типа ВЖЛ-12
P6M5K5-МП		Для обработки низко- и среднелегированных сталей при фасонном точении, сверлении, развертывании, зенкерования, фрезеровании, зубодолблении

6. Выбор геометрических параметров режущей части.

Геометрические параметры зависят от марки обрабатываемого и инструментального материала и ряда других факторов. Рекомендации для конкретных инструментов приведены в соответствующих разделах пособия.

7. Определение основных размеров рабочей и крепежной частей.

Этот этап также имеет особенности в зависимости от конкретной конструкции и назначения инструмента [11-18]. Часть конструктивных размеров рассчитывают, часть определяют по так называемым конструктивным соображениям или на основе имеющегося опыта.

Крепежная часть инструмента должна обязательно соответствовать размерам посадочных мест выбранного станка.

8. Профилирование инструмента.

Определяют профиль режущей кромки, обеспечивающий получение требуемого профиля детали. Применяют для инструментов с формообразованием методами копирования и огибания. При этом учитывают влияние положения передней и задней поверхности (передние и задние углы) инструмента на форму и размеры режущей кромки и отличие задних поверхностей от требуемой поверхности (профиля) заготовки.

9. Определение оставшихся габаритных и конструктивных размеров.

10. Расчет исполнительных размеров.

Проводят с учетом разбивки (увеличения размеров поверхностей детали после обработки) или усадки (уменьшения размеров поверхностей детали после обработки), износа инструмента в процессе его эксплуатации и допуска на его изготовление.

11. Назначение допусков и технических требований.

Технические требования на изготовление изделия (инструмента) указывают на чертеже в соответствии с ГОСТ 2.316 в последовательности:

а) требования, предъявляемые к материалу, заготовке, термической обработке;

б) размеры, предельные отклонения размеров формы и взаимного расположения поверхностей;

в) требования к качеству поверхности, указание на покрытие;

г) другие требования к качеству изделий;

д) указание на маркировку и клеймение;

е) особые условия эксплуатации.

Основные технические требования по видам инструментов приведены в соответствующих разделах пособия.

3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФАСОННЫХ РЕЗЦОВ

3.1. СВЕДЕНИЯ О ФАСОННЫХ РЕЗЦАХ

Фасонные резцы – инструменты, режущие кромки которых определены профилем детали и работают по методу копирования. Они широко применяются в серийном, крупносерийном и массовом производстве при обработке тел вращения, имеющих наружные или внутренние фасонные поверхности. Обработка ведется из прутка на револьверных станках, автоматах, полуавтоматах. Точно рассчитанные и изготовленные для обработки конкретной детали фасонные резцы обеспечивают высокую производительность, идентичность формы детали и точность размеров, не зависящих от квалификации рабочего. Точность размеров обрабатываемых деталей соответствует IT8-IT12, шероховатость поверхности – $Ra=0,63-2,5$ мкм.

Наибольшее распространение имеют круглые и призматические резцы, работающие с радиальной и тангенциальной (направленной по касательной) подачей.

Призматические резцы применяют для обработки наружных поверхностей. По сравнению с круглыми резцами они обладают повышенной жесткостью, высокой точностью обработки, простотой установки на станках.

Круглые резцы используют для обработки наружных и внутренних поверхностей. Они более технологичны в изготовлении, чем призматические, обеспечивают большее число переточек, но уступают последним в жесткости точности обработки.

При выборе типа фасонного резца решающее значение имеет его стоимость, точность формы и линейных размеров профиля, которые гарантируют получение годной детали.

3.2. МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ФАСОННЫХ РЕЗЦОВ

Проектирование фасонного резца любого типа для обработки заданной детали состоит из ряда общих и обязательных этапов для всех типов резцов. Так, назначение материала инструмента, выбор передних и задних углов и назначение ряда конструктивных параметров осуществляются абсолютно одинаково для всех фасонных резцов.

3.2.1. Характерные точки

Перед проектированием на профиле детали последовательно отмечают характерные (узловые) точки 1, 2, 3 и др. К ним относятся точки начала и конца профиля; узловые, в которых один участок профиля переходит в другой; дополнительная средняя точка на коническом участке; две или три равноудаленные друг от друга дополнительные точки на криволинейном участке. Простые фаски не координируются. На чертеже резца указывают тот же угол и размер фаски, что и на детали.

Затем определяют расчетные размеры характерных точек с учетом величины и расположения полей допусков. Расчетные номинальные диаметры устанавливают по середине поля допуска, с точностью до 0,001 мм. Результаты записывают в сводную таблицу.

Координаты средней промежуточной точки конуса определяют по формулам

$$D_{cp} = D_{нач} + L_{cp}(D_{кон} - D_{нач})/L_{уч},$$
$$L_{cp} = 0,5L_{уч},$$

где $D_{нач}, D_{cp}, D_{кон}$ – диаметры начальной, средней промежуточной и конечной точки конуса; $L_{уч}, L_{cp}$ – линейные размеры конуса и средней промежуточной точки.

Координаты средней промежуточной точки криволинейного участка (квадранта) определяют по формулам

$$D_{cp} = D_r - 2(R_{дет} - \sqrt{R_{дет}^2 - (L_{рад} - L_{cp})^2}),$$
$$L_{cp} = 0,5L_{рад},$$

где D_{cp}, D_r – диаметры средней, промежуточной и начальной точки квадранта, который входит в состав криволинейного участка; $R_{дет}$ – радиус дуги; $L_{рад}, L_{cp}$ – линейные размеры центра дуги и средней промежуточной точки.

3.2.2. Назначение материала фасонных резцов

Круглые фасонные резцы в основном проектируют и изготавливают цельными, а призматические, с целью экономии инструментального материала, – составными. В качестве материала рабочей части резцов чаще всего применяют быстрорежущую сталь Р6М5. При изготовлении деталей из труднообрабатываемых материалов экономически выгодно использовать резцы из быстрорежущих сталей Р10К5Ф5, Р9К10, Р18К5Ф2, Р9К5 и твердых сплавов ВК10-М, ВК8, Т15К6. При проектировании

составных резцов в качестве материала державки используют сталь 45 ГОСТ 1050-74.

3.2.3. Назначение геометрических параметров фасонных резцов

Геометрические параметры фасонных резцов (передний угол γ и задний α) при наружной обработке назначают для характерной точки режущей кромки, лежащей на минимальном радиусе детали. Величину передних углов для круглых и призматических фасонных резцов выбирают в зависимости от физико-механических свойств обрабатываемого материала и материала рабочей части резца по табл. 3.1.

Таблица 3.1. Значения переднего угла для фасонных резцов

Обрабатываемый материал	σ_s , МПа	НВ	γ , град	
			Быстрорежущая сталь	Твердые сплавы
Алюминий, медь	—	—	25-30	-
Сталь	До 500	До 150	20	10-15
Сталь	500- 600	150-175	15	10-15
Сталь	600- 800	175-235	10	5-0
Сталь	Св. 800	Св.235	5	5-0
Чугун	—	До 180	10	0
Чугун	—	180-200	5	0
Чугун	—	Св. 200	0	0
Бронза, латунь	—	—	0-5	0

Задний угол α у круглых фасонных резцов выбирается в пределах $8...10^\circ$. Большие величины угла α ведут к ослаблению режущих кромок резца. Задний угол α у призматических фасонных резцов рекомендуется принимать равным $12...15^\circ$.

3.2.4. Определение конструктивных параметров круглых фасонных резцов

При определении конструктивных параметров круглого фасонного резца выбирают тип крепления резца, параметры крепления (диаметр

посадочного отверстия, с торцевыми и осевыми выточками), наружный диаметр резца, дополнительные технологические кромки.

При длине обрабатываемой поверхности менее 30 мм применяется одностороннее консольное крепление резца (рис. 3.1 а).

При длине, обрабатываемой фасонным резцом поверхности, 30 мм и более рекомендуется применять двухстороннее крепление, при котором ось для установки резца имеет две опоры (рис. 3.1 б).

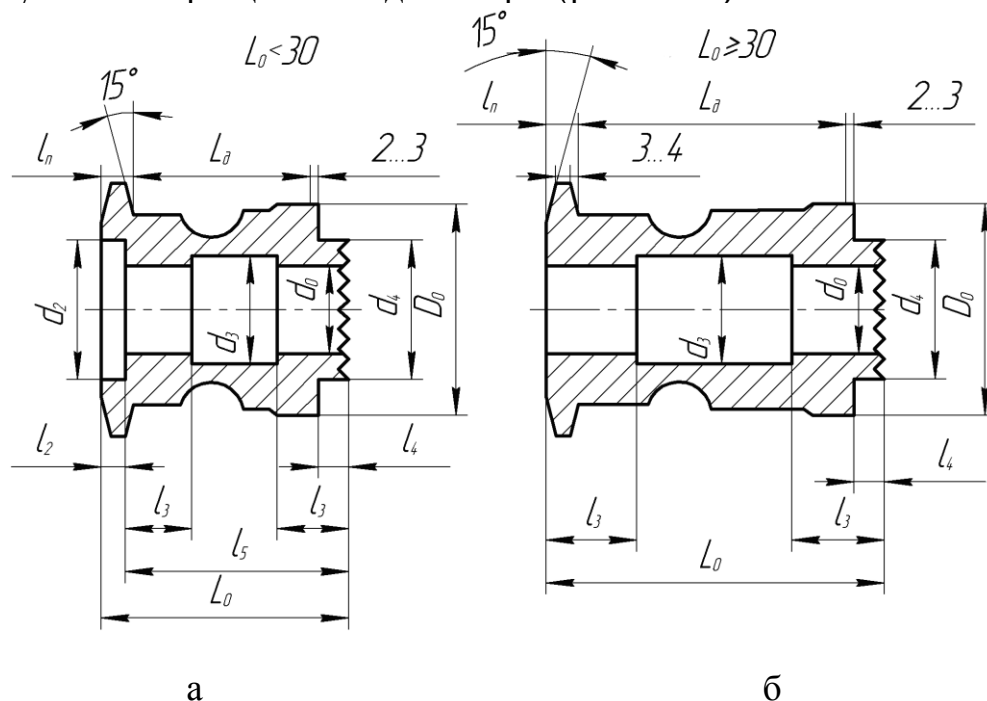


Рис. 3.1. Схема расположения выточек у круглого фасонного резца с односторонним (а) и двухсторонним (б) креплением

Диаметр посадочного отверстия круглого фасонного резца можно определить из условия достаточной прочности и жесткости оправки в зависимости от главной составляющей силы резания P_Z . Поперечная подача при работе фасонными резцами назначается в пределах 0,03... 0,06 мм/об.

Составляющая силы резания (P_Z) определяется по формуле

$$P_Z = \rho L ,$$

где ρ – удельная сила резания, приходящаяся на единицу длины режущей кромки, Н/мм; L – длина обрабатываемой поверхности, мм.

Значения удельных сил резания при обработке конструкционных материалов приведены в табл. 3.2.

При консольном (одностороннем) креплении резца (см. рис. 3.1 а) диаметр посадочного отверстия d_0 определяется по эмпирической формуле

$$d_o = 0,6L^{0,33}P_z^{0,38}.$$

При двухстороннем креплении резца диаметр (см. рис. 3.1 б) посадочного отверстия определяется по формуле

$$d_o = 0,78L^{0,33}P_z^{0,25}.$$

Таблица 3.2. Значение удельных сил резания при обработке конструкционных материалов

S , мм/об	V , м/мин	ρ , Н/мм
0,03	31	150
0,04	21	190
0,05	24	220
0,06	22	260
0,07	20	290
0,08	19	320

Полученные значения диаметра посадочного отверстия округляют до ближайшего большего значения из следующего ряда стандартных диаметров: 10; 13; 16; 22; 19; 27; 32; 40; 50; 60 мм. Точность изготовления по Н7 - Н9.

У круглых резцов с односторонним креплением выполняют торцевую выточку. Она располагается с левой стороны, т.е. со стороны шпинделя станка и служит для размещения головки пальца, на которой крепится резец (см. рис. 3.1 а).

Внутри резца располагают осевую выточку для уменьшения посадочной поверхности (см. рис. 3.1 а, б), характерную для обоих способов крепления круглых фасонных резцов.

Размеры выточек определяются с округлением до целого числа по формулам

$$d_2 = 1,5 \cdot d_0,$$

$$d_3 = 1,05 \cdot d_0,$$

$$l_2 = 5 \dots 8,$$

$$l_5 = L_0 - l_2,$$

$$l_3 = 0,25 \cdot l_5 .$$

При двухстороннем креплении

$$L_3 = 0,25 \cdot L_0 ,$$

где L_0 – общая ширина резца, мм.

Наибольшая глубина профиля детали определяется по формуле

$$t_{\max} = r_{\max} - r_{\min},$$

где $r_{\max}$ и $r_{\min}$ – наибольший и наименьший радиус детали, мм.

Наружный диаметр (рис. 3.2) круглого фасонного резца может быть рассчитан по формуле

$$D_0 = d_0 + 2(t_{\max} + a + e),$$

где $t_{\max}$ – наибольшая глубина профиля детали, мм; a – запас по длине передней грани фасонного резца для обеспечения свободного схода стружки, мм; e – толщина стенки резца, мм.

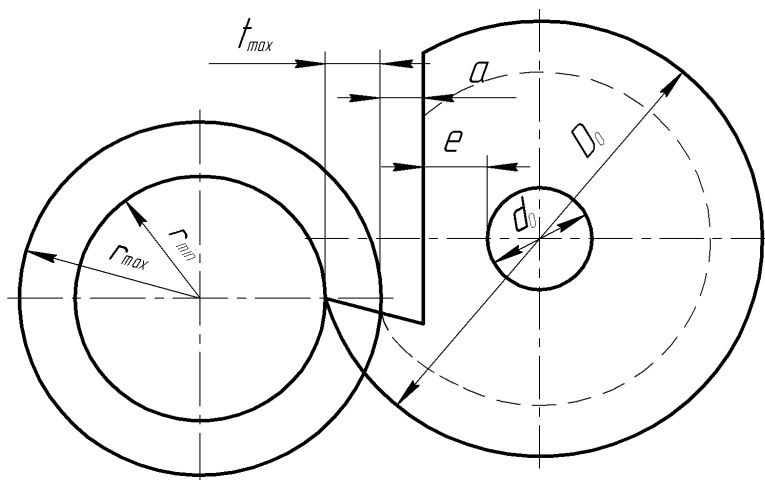


Рис. 3.2. Схема определения наружного диаметра D_0 круглого фасонного резца

Запас по длине передней грани фасонного резца для обеспечения свободного схода стружки принимается не менее трех миллиметров (как правило, $a = 3...8$ мм). Толщина стенки фасонного резца определяется по формуле

$$e = 0,4d_0.$$

Полученное значение наружного диаметра резца округляется до числа, кратного пяти. Резцы диаметром более 100-120 мм практически не применяются.

Наружный диаметр круглых фасонных резцов для внутренней обработки с посадочным отверстием под оправку или хвостовиком выбирают из выражения

$$D_0 \leq (0,75 \dots 0,8) d_{\text{заг}},$$

где $d_{\text{заг}}$ – минимальный диаметр отверстия у заготовки.

Для обеспечения надежного крепления, а также для предварительной установки резца после его переточки относительно оси изделия с правой стороны резца, если смотреть по направлению подачи, делают буртик, на котором нарезаются рифления (рис. 3.3). Для подобной цели также используют отверстия под штифт.

Наружный диаметр буртика выбирают таким, чтобы зубья рифлений подходили непосредственно к линии заточки:

$$d_4 = (1,5-1,7) d_0.$$

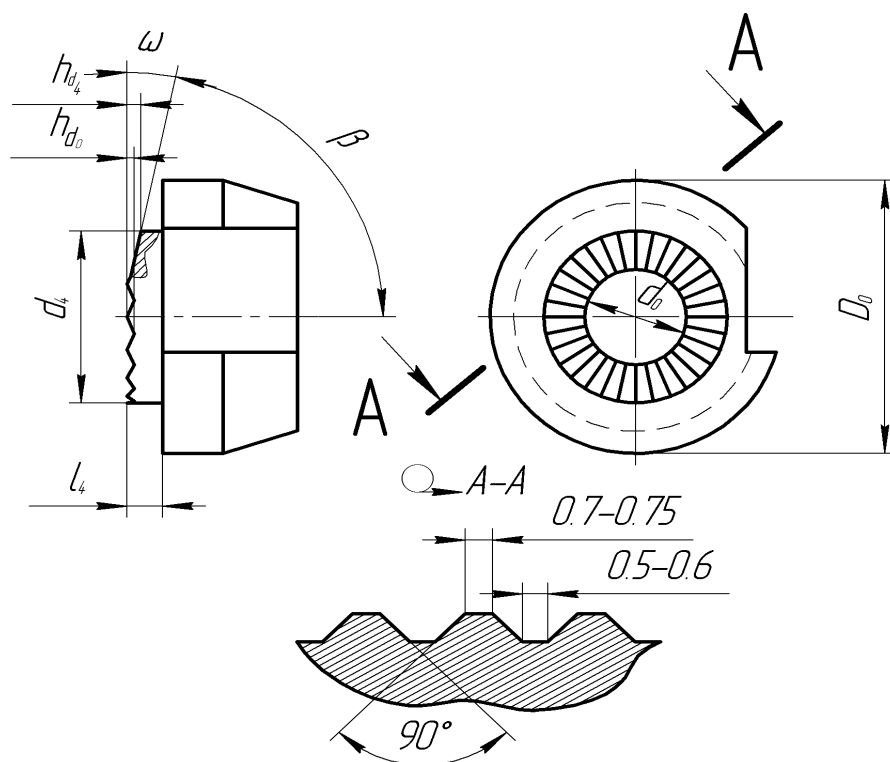


Рис. 3.3. Схема к определению размеров рифлений

Число зубьев рифлений z принимают равным 32-34. Угол профиля рифлений в нормальном сечении равен 90° . Вершины зубьев рифлений срезаны на величину 0,35-0,37 мм, при этом оставляют площадку шириной 0,7- 0,75 мм. Во впадине остается площадка шириной 0,5-0,6 мм. Это обеспечивает сопряжение зубьев на резце и державке по боковым

сторонам. Для обеспечения постоянства ширины площадки при вершине зубьев по их длине дно впадины между зубьями располагают к торцу буртика под углом ω (см. рис. 3.3). Угол ω определяют по формуле

$$\omega = \operatorname{arctg} \left[\frac{\pi}{z} \right].$$

Ширину буртика под рифления выбирают так, чтобы в процессе нарезания зубьев фреза не задевала тело резца. При этом используют формулу

$$l_4 = \frac{D - d_4}{2} \operatorname{tg}(\omega) + \frac{\pi d_4}{2z},$$

где D – наружный диаметр резца на правом торце (если смотреть на переднюю поверхность инструмента).

Полученное значение ширины буртика округляют до целого числа. Кроме того, на рабочем чертеже круглого фасонного резца необходимо указать угол установки шпинделя делительной головки при фрезеровании зубьев рифлений. Его величину определяют по формуле

$$\beta = 90 - \omega.$$

При определении общей ширины резца необходимо учитывать, что кроме режущей кромки, предназначенной для оформления фасонного профиля детали, у фасонных резцов выполняют дополнительные режущие кромки (рис.3.4).

Таким образом, общую ширину круглого фасонного резца определяют по формуле и округляют до целого числа:

$$L_0 = L_d + l_4 + l_n + l_6,$$

где L_d – длина детали, мм; l_4 – ширина буртика с рифлением, мм; l_n – ширина дополнительной режущей кромки со стороны прутка, мм; l_6 – ширина дополнительной режущей кромки со стороны открытого торца детали.

Размеры дополнительных режущих кромок круглых и призматических резцов со стороны открытого торца детали l_6 определяются следующим образом:

- при обработке деталей с фаской на торце под углом 45^0 или 30^0 режущую кромку резца, которая обрабатывает фаску, удлиняют на

1-2 мм, а резец заканчивают упрочняющей частью шириной 2-3 мм (рис. 3.4 а);

- при обработке деталей, оканчивающихся цилиндрической частью, крайнюю режущую кромку удлиняют на 1-2 мм (рис. 3.4 б). Упрочняющая часть режущей кромки при этом отсутствует;
- при обработке деталей, оканчивающихся радиусным участком, на резце предусматривается режущая кромка длиной 1-2 мм под углом 45° , начинающая от крайней точки детали, и резец заканчивается упрочняющей частью шириной 2-3 мм (рис. 3.4 в).

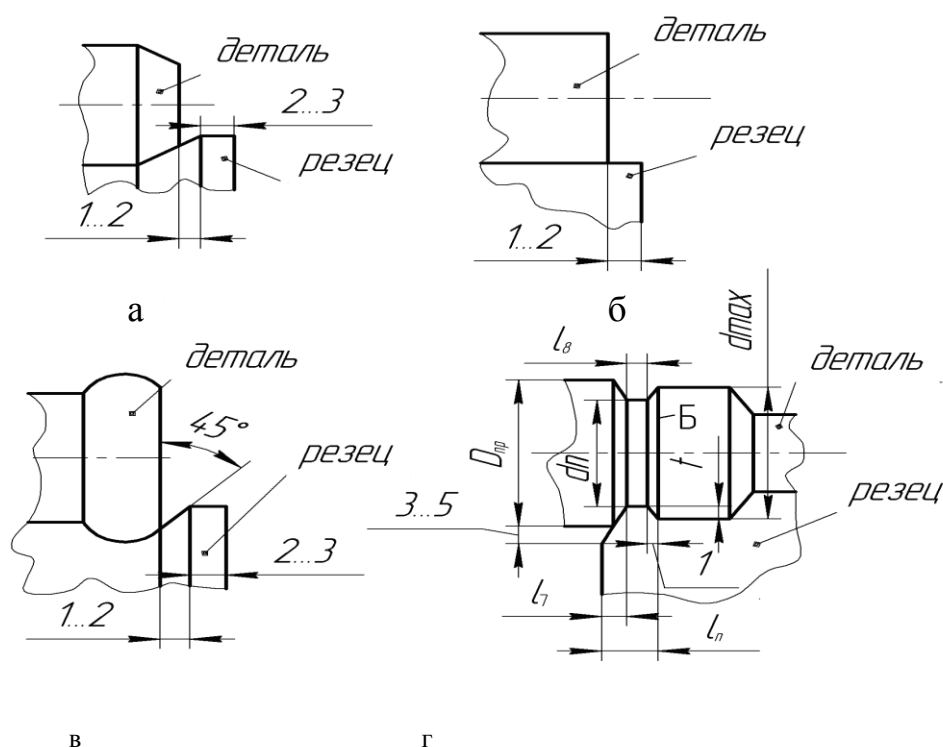


Рис.3.4. Дополнительные режущие кромки

Размеры режущих кромок со стороны прутка (рис. 3.4 г) l_n , которые подготавливают отрезку готовой детали, определяют по формуле

$$l_n = l_7 + l_8 + 1,$$

где l_7 – ширина отрезной кромки со стороны прутка; l_8 – ширина отрезного резца 3-4 мм.

Ширина отрезной кромки со стороны прутка

$$l_7 = \left(\frac{D_{np} - d_n}{2} + (3...5) \right) \operatorname{tg} \varphi,$$

где D_{np} – диаметр прутка, мм; d_n – диаметр пояска под отрезку, мм; φ – угол между режущей кромкой и прямой, перпендикулярной оси детали, чаще всего $\varphi = 15^\circ \dots 20^\circ$.

Минимальный диаметр прутка принимается на 1-2 мм больше максимального диаметра детали.

Полученное значение общей ширины резца округляется до целого числа за счет дополнительной режущей кромки со стороны прутка.

Для приближенного определения конструктивных параметров круглых фасонных резцов с торцевыми рифлениями и отверстиями под штифт (рис. 3.5) через максимальную глубину профиля t_{max} и коэффициент

длины $K = \frac{L_D}{t_{max}}$ можно воспользоваться данными табл. 3.3 и 3.4.

Таблица 3.3. Размеры круглого фасонного резца с торцевым рифлением

Максимальная глубина профиля t_{max}	Коэффициент K	Размеры резца, мм					
		D_0	d_{H9}	b	r	d_4	l_4
До 4	До 5	30	10	3	1	-	-
	5- 7	40	13	3	1	20	3
	Св. 7	50	16	4	1	26	3
4- 6	До 5	40	13	3	1	20	3
	5- 6	50	16	4	1	26	3
	Св.6	70	22	5	2	35	4
6-10	До 4	50	16	4	1	26	3
	4-5	70	22	5	2	35	4
	Св.5	90	22	5	2	45	5
10-15	До 4	70	22	5	2	35	4
	4- 5	90	22	5	2	35	4
	Св.5	100	27	5	2	50	5
15-18	До 3	90	22	5	2	35	4
	Св.3	100	27	5	2	50	5

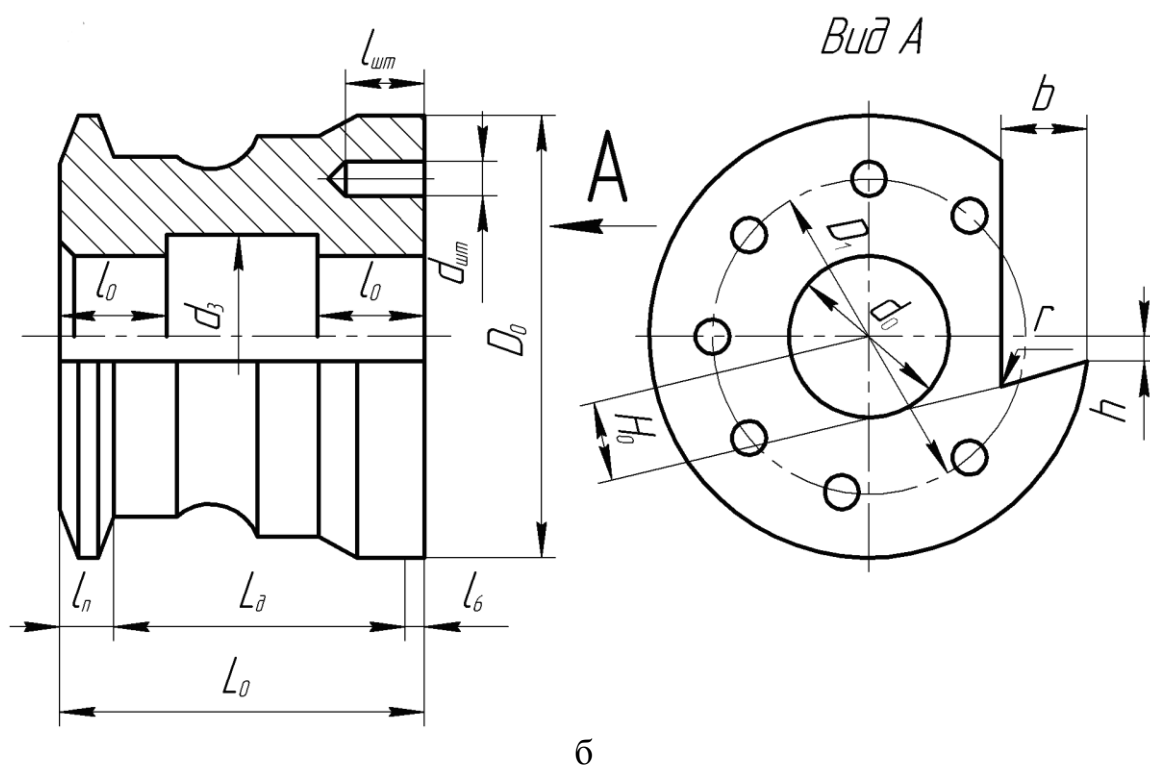
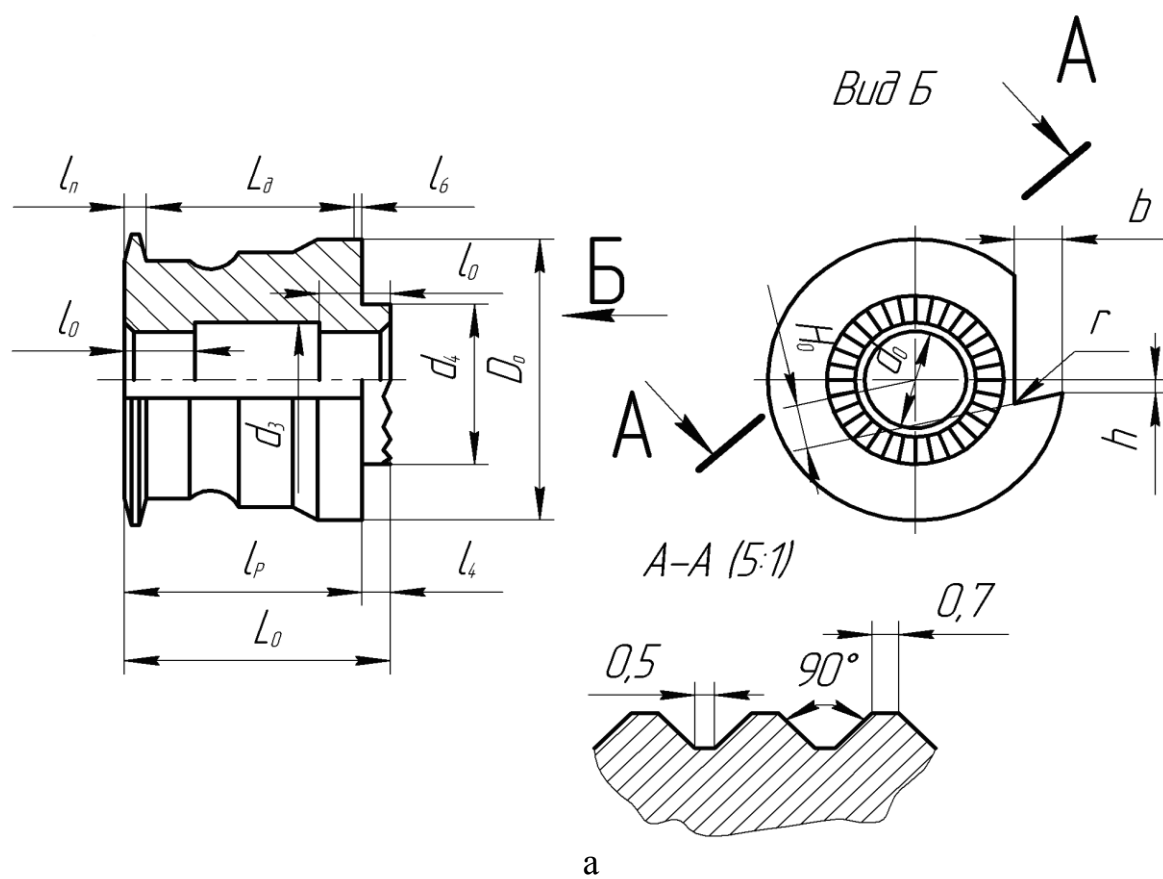


Рис. 3.5. Конструкция круглого фасонного резца с торцевыми рифлениями (а) и отверстиями под штифт (б)

Таблица 3.4. Размеры круглого фасонного резца с отверстиями под штифт

Максимальная глубина профиля детали t_{max}	Размеры резца, мм					
	D_0	d_0 Н9	r	D_1	d_{um}	l_{um}
6	50	13	1	28	5	9
8	60	16	2	34	5	11
11	75	22	2	42	5	15
14	90	22	2	45	6	18
18	105	27	2	52	8	23

3.2.5. Конструктивные параметры призматических резцов

Конструктивные параметры призматического резца (рис. 3.6) в каждом отдельном случае назначаются в зависимости от наибольшей глубины профиля детали и коэффициента K , учитывающего длину детали (табл. 3.5).

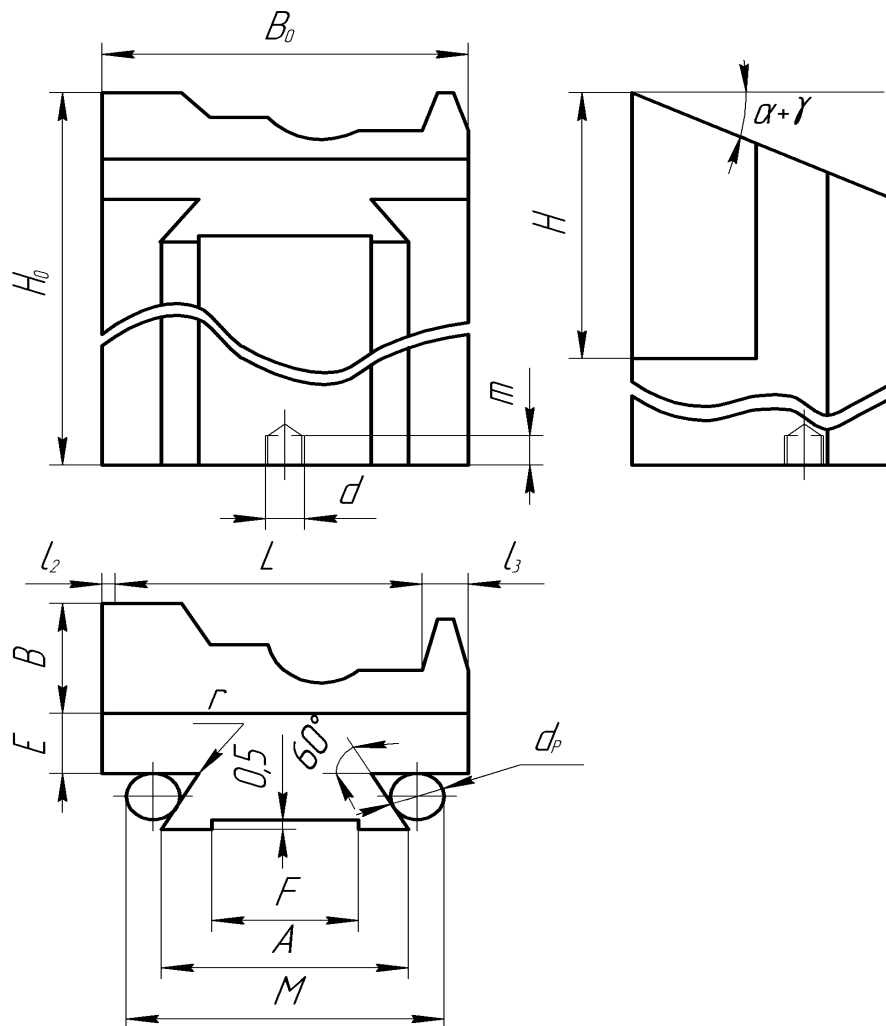


Рис. 3.6. Конструктивные элементы призматического фасонного резца

Общая ширина призматического фасонного резца, так же как и круглого, определяется с учетом дополнительных режущих кромок по формуле с округлением до целого числа:

$$B_0 = L + l_2 + l_3 ,$$

где L – длина детали, мм; l_2 – ширина дополнительной режущей кромки со стороны прутка, мм; l_3 – ширина дополнительной режущей кромки со стороны открытого торца детали, мм.

При конструировании резцов с приваренной пластиной быстрорежущей стали или припаянной пластиной твердого сплава размер B увеличивается на 5-10 мм. Длина пластины H не должна превышать $0,75 \cdot H_0$.

Таблица 3.5. Основные размеры призматических фасонных резцов

Максимальная глубина профиля детали, мм	Кэф-фициент K	Размеры фасонного резца								Размеры хвостовика резца в зависимости от диаметра ролика	
		B	H_0	E	A	F	r	d	m	d_p	M
До 4	До 5	9	75	4	15	7	0,5	M6	15	4	21,31
	5 - 6	14	75	6	20	10	0,5	M6	15	6	29,46
	Св. 7	19	75	6	25	15	0,5	M6	15	6	34,46
4-6	До 4	14	75	6	20	10	0,5	M6	15	6	29,46
	5 - 6	19	75	6	25	15	0,5	M6	15	6	34,46
	Св. 6	25	90	10	30	20	1	M6	15	10	45,77
6-10	До 4	19	75	6	25	15	0,5	M6	15	6	34,46
	4 - 5	25	90	10	30	20	1	M6	15	10	45,77
	Св. 5	35	90	10	40	25	1	M6	15	10	55,77
10-14	До 4	25	90	10	30	20	1	M8	20	10	45,77
	4 - 5	35	90	10	40	25	1	M8	20	10	55,77
	Св.5	45	100	15	60	40	1	M8	20	15	83,66
14-20	До 3	35	90	10	40	25	1	M8	25	10	55,77
	Св. 3	45	100	15	60	40	1	M8	25	15	83,66

3.3. ПРОФИЛИРОВАНИЕ ФАСОННЫХ РЕЗЦОВ

Профилирование (аналитический расчет профиля) фасонных резцов необходимо для изготовления их самих, а также шаблонов и контршаблонов, которые применяются для контроля профилей резцов и шаблонов соответственно. При этом профиль круглого резца рассчитывается в радиальном (осевом) сечении, призматического – в сечении, нормальном к задней поверхности.

Из-за наличия переменных значений углов α и γ глубина (высота) точек профиля резца в этих сечениях не совпадает с глубиной профиля детали в ее осевом сечении. Коррекционный расчет ведется путем последовательного определения высотных координат характерных (узловых) точек профиля, отсчитываемых от базовой точки, за которую принимается наивысшая точка профиля (вершина резца). Осевые размеры профиля не искажаются и переносятся с детали на резец без изменения.

В качестве примера рассмотрим расчет профиля фасонного резца *геометрическим методом*. Совмещенная расчетная схема круглого и призматического резцов (для обработки усеченного конуса) построена без масштаба и представлена на рис. 3.7.

Профилирование круглых резцов. Исходные данные для расчета профиля резца: обрабатываемый материал и профиль детали, задаваемый радиусами окружностей, проходящих через характерные точки (r_1, r_2, r_3). По рекомендациям пп. 3.2.3 и 3.2.4 выбирают углы вершинной (базовой) точки резца (точка 1 на схеме) α и γ и радиус наружной окружности R_1 . Цель расчета – определение радиусов точек резца (R_2, R_3), обрабатывающих соответствующие характерные точки детали.

Рассмотрев систему прямоугольных треугольников, связанных с деталью и резцом, сначала определяют

$$h_0 = r_1 \sin \gamma, \quad (3.1)$$

$$A_1 = r_1 \cos \gamma, \quad (3.2)$$

$$\varepsilon_1 = \alpha + \gamma, \quad (3.3)$$

$$H = R_1 \sin \varepsilon_1,$$

$$B_1 = R_1 \cos \varepsilon_1.$$

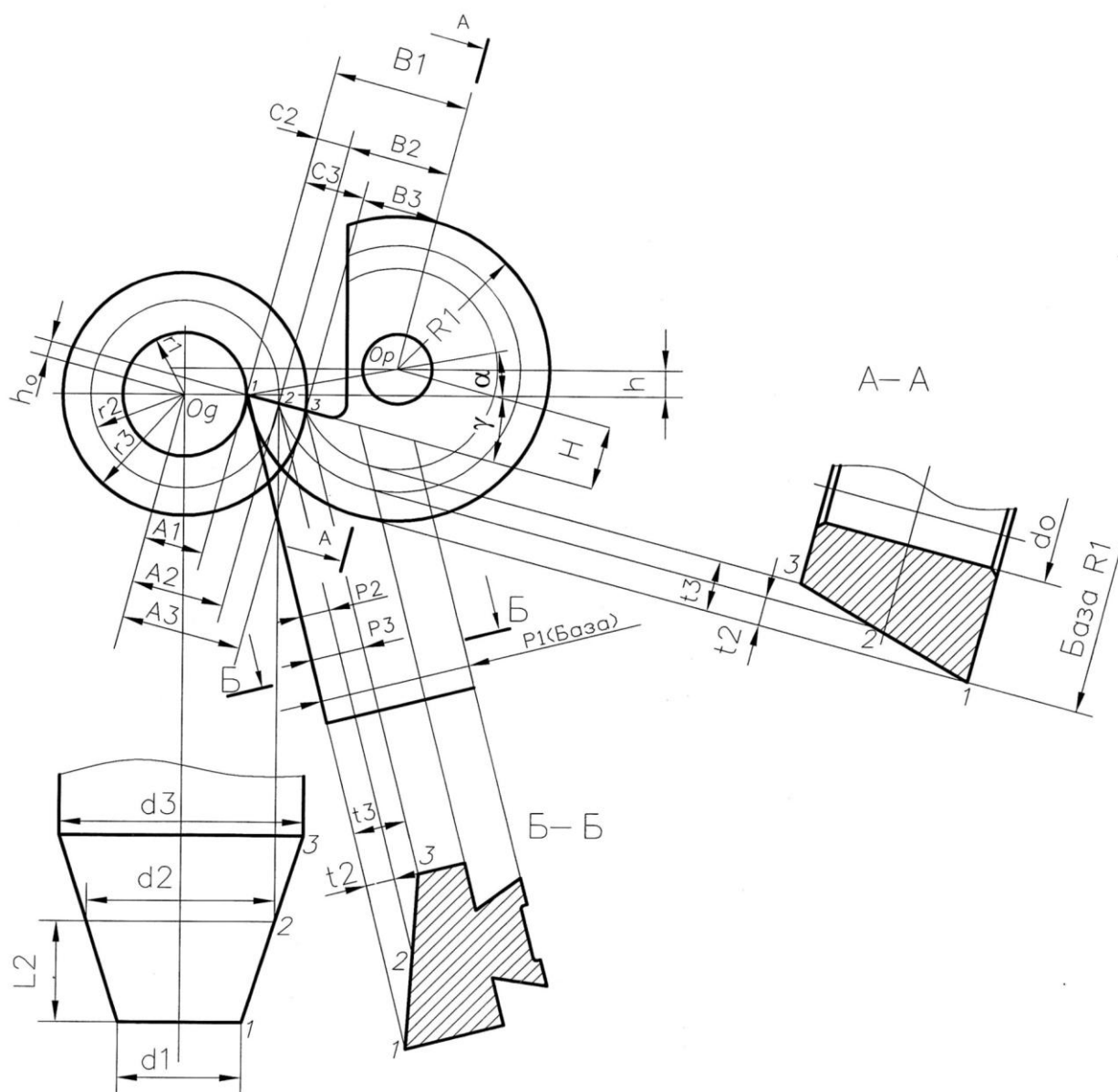


Рис. 3.7. Совмещенная расчетная схема круглого и призматического резцов

Затем, используя значения полученных параметров, последовательно для каждой i -й характерной точки (для нашей схемы 2-й и 3-й на усеченном конусе) находят

$$\gamma_i = \arcsin\left[\frac{h_0}{r_i}\right],$$

где r_i – радиус детали в i -й характерной точке;

$$A_i = r_i \cos \gamma_i,$$

$$C_i = A_i - A_1 ,$$

$$B_i = B_1 - C_i ,$$

$$\varepsilon_i = \arctg [H/B_i] ;$$

радиус резца в характерной точке

$$R_i = H / \sin \varepsilon_i ;$$

высота профиля в каждой характерной точке

$$t_i = R_1 - R_i .$$

Профилирование призматических резцов производится на основе тех же исходных данных и заключается в определении высотных координат P_i узловых точек профиля резца в сечении, перпендикулярном к задней поверхности инструмента. Из расчетной схемы (см. рис.3.7) сначала определяют параметры по формулам (3.1)-(3.3), а затем для каждой i -й характерной точки (для нашей схемы 2-й и 3-й на усеченном конусе) последовательно находят

$$\gamma_i = \arcsin \left[\frac{h_0}{r_i} \right] ,$$

$$A_i = r_i \cos \gamma_i ,$$

$$C_i = A_i - A_1$$

и высоту профиля в каждой характерной точке

$$t_i = P_i = C_i \cos \varepsilon_i .$$

3.4. ОФОРМЛЕНИЕ РАБОЧЕГО ЧЕРТЕЖА РЕЗЦА

3.4.1. Требования к оформлению рабочих чертежей фасонных резцов

Чертеж инструмента (рис. 3.8, 3.9) должен быть представлен минимально необходимым числом проекций, полностью раскрывающих его конструкцию в натуральную величину (М 1:1). На этих проекциях указывают конструктивные параметры резца. Для круглых фасонных резцов указывают наибольший диаметр и общую ширину резца, диаметр посадочного отверстия, размеры выточек, диаметр и высоту буртиков под рифления (если они предусмотрены), глубину заточки, величину превышения оси резца над осью детали. Для призматических резцов указывают общую ширину, высоту и толщину, размеры составной части резца из инструментального материала, размеры ласточкина хвоста (высоту, размер по острым углам, размер по роликам и диаметр роликов, угол профиля), размеры и координаты отверстия под регулировочный винт.

В масштабе увеличения (М 2:1 и более) вычерчивают профиль резца в радиальном сечении для круглого резца и в сечении, перпендикулярном задней поверхности, для призматического. Осевые и глубинные размеры профиля резца по узловым точкам необходимо определять от базы.

Для круглых фасонных резцов, которые имеют буртик с рифлениями, на рабочем чертеже показывают развёртку рифлений М 5:1. На развёртке указывают угол профиля рифлений, ширину ленточки по выступу и ширину площадки по впадине.

Для всех без исключения размеров, показанных на рабочем чертеже фасонного резца, должны быть указаны предельные отклонения и параметры шероховатости.

3.4.2. Технические требования к фасонным резцам

Над основной надписью в виде текста помещают технические требования. Текст записывают сверху вниз. Каждый пункт текста имеет свой номер и записывается с новой строки. Состав и последовательность изложения технических требований следующие:

- если резец составной или сборный, то следует указать материал режущей части (сталь Р6М5) и материал державки или корпуса (сталь 45 ГОСТ 1050-74);
- указываются твёрдость режущей части и державки (если инструмент составной или сборный) или общая твёрдость (если резец цельный); характер термообработки; вид покрытия.

У призматического фасонного резца твёрдость рабочей части должна быть HRC 62-63, державки – HRC 35-40. Для круглого фасонного резца указывают общую твёрдость, равную HRC 62-65;

- оговариваются предельные отклонения размеров, не указанных на рабочем чертеже.

4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВНУТРЕННИХ ПРОТЯЖЕК

4.1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОТЯЖКАХ

Протяжка – многолезвийный инструмент, осуществляющий снятие припуска без движения подачи за счет превышения высоты или ширины последующего зуба по отношению к высоте или ширине предыдущего. Главное движение, осуществляющее процесс резания, поступательно прямолинейное, реже – вращательное. Протягивание – одно из наиболее высокопроизводительных процессов обработки деталей резанием, это достигается одновременным нахождением в работе нескольких зубьев инструмента. Протяжки позволяют получать поверхности высокой точности (IT6-IT8) и низкой шероховатости (Ra 0,32-2,5 мкм).

Протяжки – сложный, узкоспециализированный и дорогостоящий инструмент, поэтому их широко применяют в массовом и серийном производстве. В мелкосерийном производстве протяжки используют лишь тогда, когда другим способом нельзя получить необходимую форму и точность поверхности детали, например, шлицевые и винтовые отверстия.

Протяжки применяют для обработки внутренних (замкнутых) и наружных (открытых) поверхностей деталей. Соответственно различают внутренние и наружные протяжки. Разновидностью протяжек являются прошивки, конструкция которых подобна конструкции протяжек, однако в процессе резания прошивки подвергаются в основном сжимающим усилиям, а протяжки работают на растяжение.

Протягивание осуществляется на универсальных протяжных станках с горизонтальной или вертикальной компоновкой, со скоростью резания $V=6\ldots 10$ м/мин. Размерные возможности обработки ограничиваются силой тяги, создаваемой приводом на хвостовике протяжки и длиной рабочего хода ползуна (табл. 4.1). Прошивание осуществляется на прессах.

Таблица 4.1. Эксплуатационные характеристики горизонтальных протяжных станков

Модель станка	Тип патрона	$L_{ст}$, мм	Тяговое усилие, кН	Ход ползуна, мм
7510	Клиновой	190	102	1400
7520	Клиновой	200	204	1600
7530	Быстросменный автоматический	280	306	1800
7540	Быстросменный автоматический	380	408	2000

4.2. ОБЩИЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ВНУТРЕННИХ ПРОТЯЖЕК

В зависимости от формы обрабатываемого отверстия различают следующие типы внутренних протяжек: круглые, многогранные (треугольные, квадратные, шестигранные, прямоугольные), шпоночные и шлицевые с параллельными и фасонными сторонами.

Внутренние протяжки независимо от типа имеют вид стержня с симметричным расположением зубьев (исключение – шпоночные протяжки) и общие конструктивные элементы. Основные конструктивные части круглой протяжки показаны на рис. 4.1.

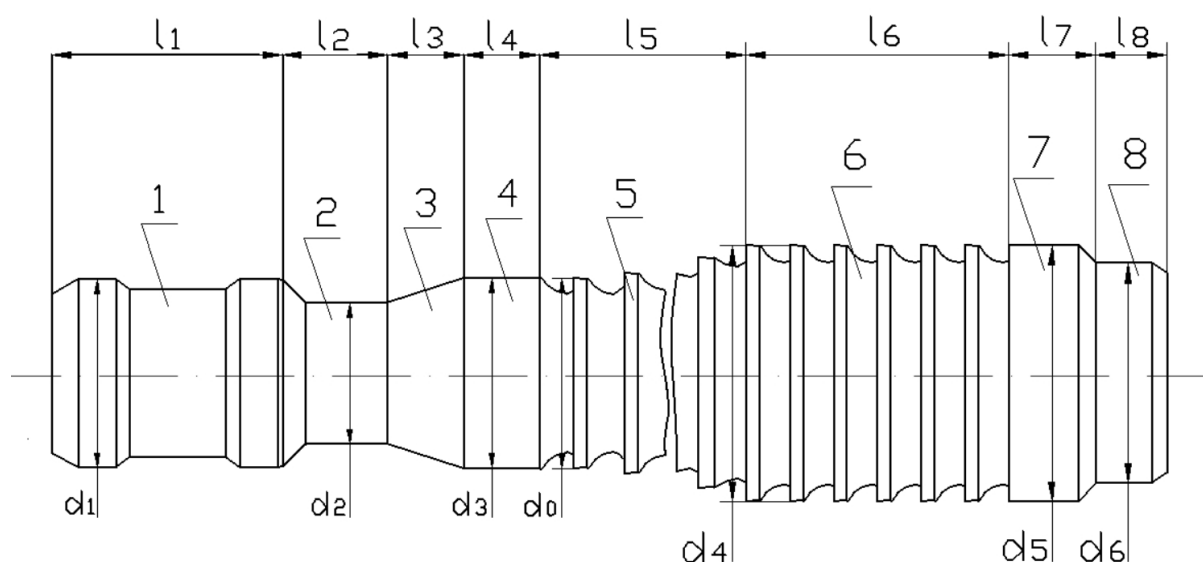


Рис. 4.1. Части круглой протяжки: 1 – хвостовик; 2 – шейка; 3 – переходный конус; 4 – передняя направляющая; 5 – режущая часть; 6 – калибрующая часть; 7 – задняя направляющая; 8 – опорная цапфа

Хвостовик служит для закрепления протяжки в патроне станка. Форма хвостовика (рис. 4.2) зависит от типа протяжки и конструкции патрона. Для ориентации протяжки относительно обрабатываемой заготовки хвостовик может иметь соответствующие ориентирующие элементы. Диаметр хвостовика d_1 принимают на 0,5-1 мм меньше диаметра предварительно подготовленного отверстия. Типы и основные размеры некоторых нормализованных хвостовиков приведены в табл. 4.2-4.5. Допуск на диаметр хвостовика принимают по посадке f9.

Хвостовики могут изготавливаться как единое целое с протяжкой (цельные протяжки), привариваться или крепиться к протяжке при помощи резьбовых соединений, что позволяет экономить быстрорежущую сталь. Материал сварных и съемных хвостовиков – сталь 40Х либо другая конструкционная или инструментальная сталь.

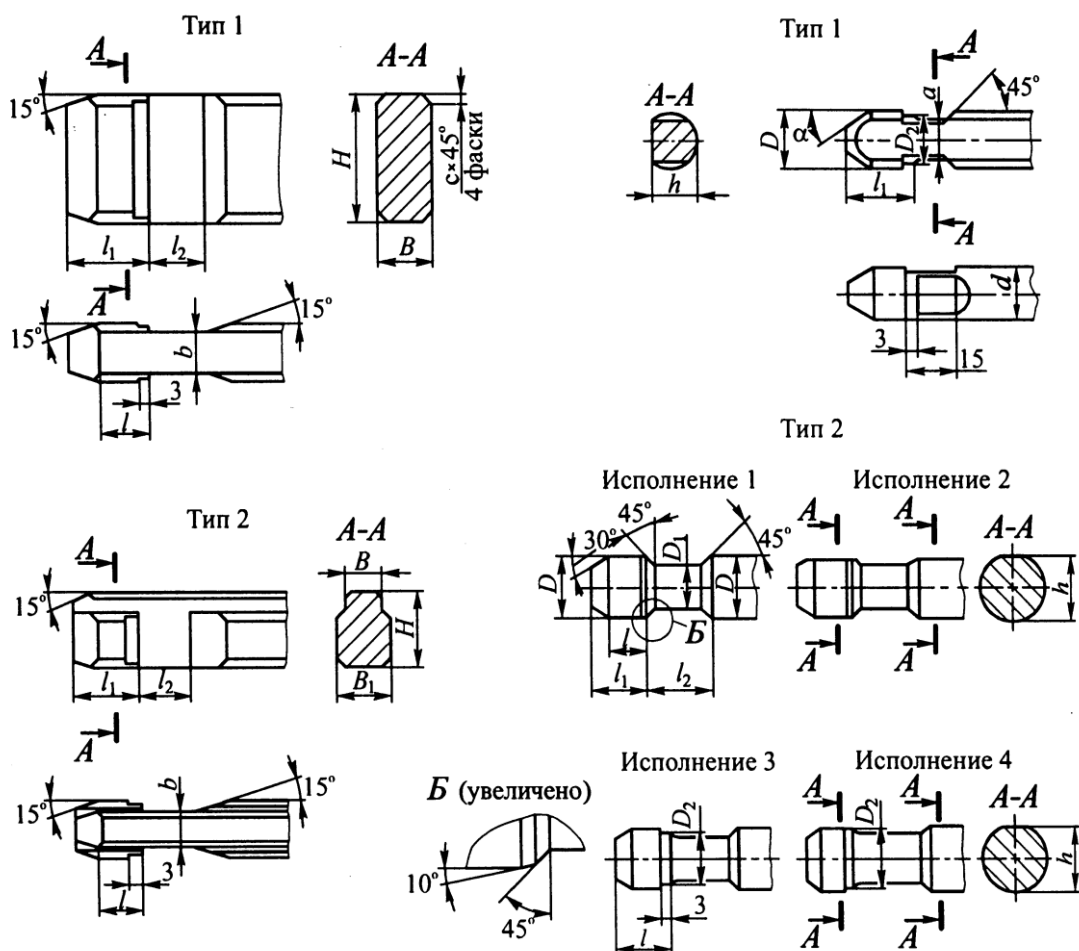


Рис. 4.2. Хвостовики протяжек

Таблица 4.2. Размеры хвостовиков плоского типа 1

Конструктивные размеры ГОСТ 4043-70, мм (рис. 4.2)															
B	b	H	l	l_1	l_2	B	b	H	l	l_1	l_2				
4	2,4	7	14	20	16	20	15	45	17	25	22				
5	3,2	11				22	16,5								
6	4	15				24	18	50							
7	4,5	16				25	19								
8	5	18				28	21	55				60	20	30	28
10	7	22				32	24								
12	8	28	18	18	36	28									
14	10	30			40	32									
16	12	36			22	45	36	28	40	36					
18	13	40	50	40											

Таблица 4.3. Размеры хвостовиков плоского типа 2

Конструктивные размеры ГОСТ 4043-70, мм (рис. 4.2)						
H	B	B_1	b	l	l_1	l_2
4	2	3	1,5	14	20	16
5	3	4	2,5			
6						
7	4	6	4			
11	5	8	5			
15	6	10	6			
16	7		7			
18	8	12	8			
22	10	15	10			

Таблица 4.4. Размеры хвостовиков круглых типа 1

Конструктивные размеры ГОСТ 4044-70, мм (рис. 4.2)											
D	D_2	a	d	l_1	$F \text{ мм}^2$	D	D_2	a	d	l_1	$F \text{ мм}^2$
4	3,8	2	3,7	16	6,6	10	9,8	6	9,5	20	61,5
5	4,8	3	4,6		13,2	12	11,7	8	11,5		85,2
5,5	5,3	3,3	5,1		15,8	14	13,7		13,5		96,1
6	5,8	4	5,6		20,9	16	15,7	10	15,5		145
7	6,8	4,2	6,5		23,8	18	17,7	12	17,5		193
8	7,8	5	7,5		35,4						

Таблица 4.5. Размеры хвостовиков круглых типа 2

Конструктивные размеры ГОСТ 4044-70, мм (рис. 4.2)													
D	D_1	l	l_1	l_2	h	$F \text{ мм}^2$	D	D_1	l	l_1	l_2	h	$F \text{ мм}^2$
12	8	12	17	20	10,5	50,3	45	34	20	32	32	39	907,9
14	9,5				12,5	70,9	50	38				43,5	1134,1
16	11				14	95	55	42				48,5	1385,4
18	13				16	132,7	56	42				48,5	1385,4
20	15	16	21	25	17	176,7	60	45	25	40	40	55	1590,4
22	17				19	227	63	48				55	1809,6
25	19				21,5	283,5	70	53				61	2206,2
28	22				24	380,1	80	60				69,5	2827,4
32	25	20	32	32	27,5	490,9	90	70	32	50	50	78,5	3848,4
36	28				31	615,7	100	75				87	4417,9
40	32				34,5	804,2							

Шейка и переходный конус являются связующими элементами между хвостовиком и передней направляющей частью протяжки. На шейке обычно маркируют протяжку, здесь же располагается сварной шов в случае составной конструкции протяжки. Диаметр шейки d_2 равен или на 0,5-1 мм меньше диаметра хвостовика, а ее длина зависит от конструкции станка, в частности от толщины опорного стола, на котором крепится заготовка. У шпоночных протяжек шейка специально не выделяется, а выполняется заодно с хвостовиком.

Передняя направляющая служит для центрирования обрабатываемого отверстия относительно оси протяжки, а также исключает перекося детали на протяжке при входе в контакт с заготовкой первых режущих зубьев. Форма направляющей части должна соответствовать форме предварительно подготовленного отверстия. Диаметр направляющей части равен наименьшему диаметру подготовленного отверстия, т.е. $d_4 = d_{0min}$. Допуск на погрешность изготовления принимается по посадке $f7$. Длину направляющей части делают равной 0,75...1 длины обрабатываемого отверстия.

Режущая часть протяжки состоит из режущих и переходных зубьев. Режущие зубья служат для удаления основной части припуска. Переходные зубья обеспечивают плавность спада силы резания при выходе последних режущих зубьев из контакта с заготовкой за счет постепенного снижения толщины среза до нуля.

Калибрующая часть состоит из калибрующих зубьев, назначение которых окончательное формирование формы и размера обрабатываемой поверхности заготовки и обеспечение резерва режущих зубьев после переточки.

Задняя направляющая не допускает перекося обработанной детали в момент выхода из нее последних калибрующих зубьев протяжки и тем самым устраняет повреждение обработанной поверхности. Ее форма может не соответствовать профилю обработанного отверстия. Так, она может быть цилиндрической не только для круглого, но и для многогранного и шлицевого отверстия. У шпоночных и наружных протяжек нет задней направляющей части. Длина задней направляющей части 0,5...0,75 длины обрабатываемого отверстия, допуск на погрешность изготовления принимается по посадке $f7$.

Для длинных и тяжелых протяжек, работающих на горизонтально-протяжных станках, за задней направляющей делается *цанфа*, которая в скользящем люнете поддерживает протяжку от провисания.

4.3.СХЕМЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ПРОТЯГИВАНИИ

Под схемой резания при протягивании понимают картину постепенного изменения формы и размеров обрабатываемого отверстия.

При протягивании различают схемы резания по способу:

- деления припуска по ширине – одинарная и групповая (рис. 4.3);
- формирования обработанной поверхности – профильная, генераторная и комбинированная.

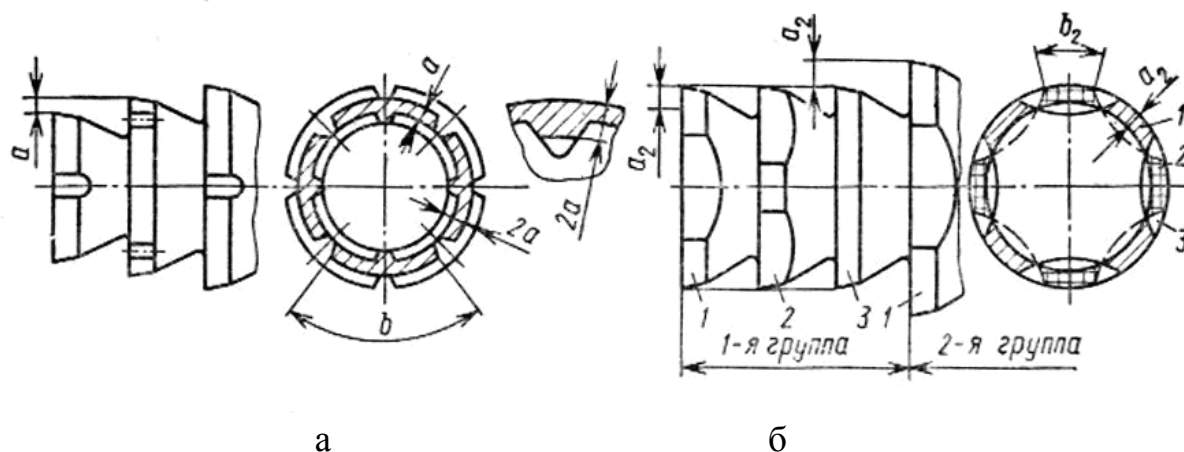


Рис. 4.3. Одинарная (а) и групповая (б) схемы резания

При одинарной схеме резания каждый режущий зуб срезает широкий b , но тонкий a слой по всему периметру отверстия (рис. 4.3 а). Диаметр или высота каждого последующего зуба режущей части протяжки больше предыдущего на определенную обычно постоянную величину, равную $2a$ или a . Для деления кольцевых и длинных по ширине стружек используют стружкоразделительные канавки V-образной формы, глубина которых несколько больше толщины срезаемого слоя.

При групповой схеме резания (рис. 4.3 б) каждый режущий зуб срезает короткий b_2 , но толстый слой a_2 . Режущая часть протяжки состоит из нескольких групп или секций зубьев разного диаметра или разной высоты, а каждая группа имеет несколько зубьев (2-5) одного диаметра или одной высоты, кроме последнего, который делают с занижением на 0,02-0,04 мм. Цифрами 1,2,3 обозначены режущие зубья одной группы, лежащие на одном диаметре, кроме последнего, т.е. третьего. Срезаемые слои с параметрами a_2 и b_2 обозначены теми же цифрами.

Припуск по толщине делится между группами зубьев, по ширине – внутри группы широкими выкружками, выполняемыми в шахматном порядке. Выкружки на зубьях делают так, чтобы площадь, срезаемая каждым зубом данной группы, была одинаковой. Последний зуб третьей группы без выкружки – сплошной. Благодаря большой ширине выкружек срезаемая стружка не имеет ребер жесткости, хорошо скручивается в канавках между зубьями. За счет этого при групповой схеме резания возможно увеличение толщины среза при существенном сокращении длины режущей части протяжки.

Формообразование профиля отверстия по групповой схеме резания производится генераторным методом, при котором контур поверхности формируется по участкам последовательно режущими кромками различных зубьев. Форма режущих кромок не совпадает с формой обработанной поверхности, которая формируется последовательно всеми зубьями.

При одинарной схеме резания поверхность образуется, как правило, профильным методом, когда контур режущей кромки каждого зуба подобен профилю окончательно обработанного отверстия (поверхности). При этом в окончательном формировании обработанной поверхности принимают участие только последние зубья, а остальные служат для удаления припуска.

При высоких требованиях к шероховатости обработанной поверхности рекомендуется использовать комбинированную схему, при которой два-три последних режущих и калибрующие зубья работают по профильной, остальные – по генераторной схеме.

4.4. МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ КРУГЛОЙ ПРОТЯЖКИ

4.4.1. Исходные данные

Чертеж детали, марка материала заготовки, твердость НВ, предел прочности на растяжение σ_b , диаметр отверстия после протягивания D , длина протягиваемого отверстия l и шероховатость обрабатываемой поверхности.

4.4.2. Выбор схемы резания и уточнение припуска под протягивание

Схему резания проектируемой протяжки выбирают с учетом лимитирующих факторов (формы, состояние поверхностного слоя заготовки, методы получения исходного отверстия). При выборе схемы резания уточняют порядок и направление срезания припуска. При протягивании круглого отверстия более рациональна профильная одинарная или групповая схема резания, для многогранных и шпоночных протяжек – генераторная.

Припуск на диаметр A_0 круглого отверстия (рис. 4.4) определяют в зависимости от диаметра, длины и шероховатости протягиваемого отверстия по нормативным таблицам, составленным по данным экспериментальных исследований (табл. 4.6), или рассчитывают по эмпирическим формулам. Для протяжек одинарного и группового резания

припуск одинаковый.

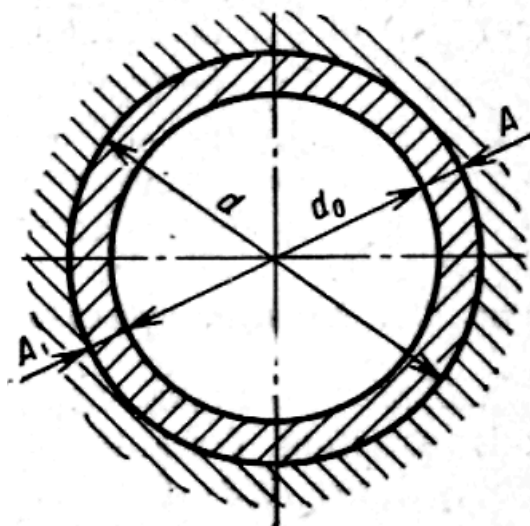


Рис. 4.4. Припуск под протягивание круглого отверстия

Таблица 4.6. Припуски на диаметр для круглых отверстий, мм

Длина протя- гива- емого отвер- стия L_0	Обработка протягиваемого отверстия $R_a = 2,5-1,25$					Обработка протягиваемого отверстия $R_a = 0,63-0,32$				
	Диаметр D протягиваемого отверстия									
	от 10 до 18	от 18 до 30	от 30 до 50	от 50 до 80	от 80 до 100	от 10 до 18	от 18 до 30	от 30 до 50	от 50 до 80	от 80 до 100
6- 10	0,4	0,5	-	-	-	0,2	0,3	-	-	-
10-18	0,5	0,5	0,6	-	-	0,3	0,3	0,4	-	-
18- 30	0,6	0,6	0,8	1,0	-	0,4	0,4	0,5	0,5	-
30- 50	0,8	0,8	0,8	1,0	1,2	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7
50- 80	-	0,8	1,0	1,2	1,2	-	0,5	0,6	0,7	0,7
80-120	-	1,0	1,0	1,2	1,4	-	0,6	0,6	0,7	0,7
120- 180	-	-	1,2	1,4	1,4	-	-	0,7	0,8	0,8
Св. 180	-	-	1,2	1,4	1,6	-	-	0,7	0,8	1,0

Для круглых отверстий припуск под протягивание на диаметр можно рассчитывать по следующим формулам:

при подготовке исходного отверстия сверлом (H11)

$$A_0 = 2A = 0,005d + (0,1...0,2)\sqrt{l} + (0,7...1)\delta ;$$

при подготовке исходного отверстия зенкерованием (H9)

$$A_0 = 2A = 0,005d + (0,05 \div 0,1)\sqrt{l} + (0,7 \div 1)\delta ,$$

где A – припуск на сторону; d – минимальный диаметр обрабатываемого отверстия; l – длина протягиваемого отверстия; δ – допуск на изготовление отверстия.

4.4.3. Выбор материала протяжки, типа и параметров хвостовика

Внутренние протяжки изготавливаются из быстрорежущих и легированных сталей. Если их диаметр менее 15 мм и используется в качестве инструментального материала быстрорежущая сталь, то конструкция цельная, диаметр 15-40 мм – сварная, диаметр более 40 мм – сборная. Протяжки из легированных сталей всегда цельные. Марки сталей для режущей части протяжки в зависимости от обрабатываемого материала выбираем из табл. 4.7. Твердость рабочей направляющей и задней замковой частей должна составлять HRC 63...65, твердость передней замковой части (хвостовика) и шейки – HRC 42...46.

**Таблица 4.7. Инструментальные материалы
для изготовления круглых протяжек**

Обрабатываемый материал	Материал протяжки
Углеродистая и легированная конструкционная сталь HB 240...250; чугун HB ≤ 220	P6M5; 9XBГ XBГ; XГ
Легированная конструкционная сталь HB 240...302; чугун >220	P6M5; XBГ
Легированная конструкционная сталь в термообработанном состоянии HB 300; нержавеющая сталь	P18; P6M5
Жаропрочные стали и сплавы	P18; P9Ф5
Титановые сплавы	P18, P9Ф5, P9K10, P9K5, BK8, BK6M

Тип и основные размеры хвостовиков выбирают согласно данным табл. 4.2-4.5. Диаметр хвостовика должен быть максимальным из диаметров, свободно проходящих через предварительное отверстие в заготовке (зазор 0,5...1). Допуск на диаметр хвостовика обычно принимают по посадке $f9$.

4.4.4. Предварительный выбор шага режущих зубьев

На выбор шага влияют два противоречивых фактора. Чем меньше шаг, тем короче протяжка и ниже ее стоимость, больше число зубьев, одновременно участвующих в работе, и выше плавность процесса протягивания, повышается производительность и качество обработанной поверхности. С другой стороны, чем меньше шаг, тем больше сила протягивания и возникает опасность разрыва самой протяжки.

Сначала определяют предварительную величину шага зубьев, используя следующие формулы:
для протяжек одинарного резания

$$t = (1,25...1,5)\sqrt{l} ;$$

для протяжек группового резания

$$t = (1,45...1,9)\sqrt{l} .$$

Определив шаг, необходимо проверить, чтобы число зубьев, одновременно участвующих в работе, было не менее двух и не более шести – условие равномерности процесса протягивания.

Максимальное число одновременно работающих зубьев протяжки определяют по следующей формуле с округлением до ближайшего большего целого числа:

$$Z_{\max} = \frac{l}{t} + 1 .$$

Окончательный размер шага принимают с учетом выбранной подачи на зуб, обеспечивающей нормальное формирование и размещение стружки в стружечной канавке при достаточной прочности режущих зубьев.

4.4.5. Определение подачи на зуб у режущих зубьев протяжки

Определение подачи на зуб S_z у режущих зубьев внутренней протяжки может производиться:

- для протяжек с одинарной схемой резания по нормативным таблицам в зависимости от марки материала заготовки (табл. 4.8);
- для протяжек с групповой схемой резания подачу черновых зубьев (секций) выбирают по средней наработке между отказами из условия равной стойкости черновой и чистовой обработки и учетом требования к качеству обработанной поверхности (табл. 4.9);
- оптимизацией размеров протяжки и схемы резания через сравнение и выбор минимального значения подачи на зуб, определенной из условия размещения стружки в канавке S_{zk} и допускаемой силой резания S_{zP} .

Таблица 4.8. Подача на зуб S_z для внутренних протяжек, работающих по одинарной схеме резания, мм

Обрабатываемый материал	Предел прочности σ_s , МПа	Протяжка		
		круглая	квадратная	шпоночная
Сталь углеродистая и малолегированная	< 500	0,015-0,020	0,03-0,12	0,05-0,20
	500-700	0,025-0,030	0,05-0,15	0,05-0,15
	> 750	0,015-0,025	0,03-0,12	0,05-0,12
Сталь высоколегированная	<800	0,025-0,030	0,03-0,12	0,05-0,12
	>800	0,010-0,025	0,03-0,10	0,05-0,10
Чугун HB < 160 HB > 160	-	0,030-0,08	0,05-0,20	0,06-0,20
	-	0,050-0,10		
Алюминий и магниевые сплавы	-	0,020-0,05	0,05-0,08	0,05-0,08
Бронза, латунь	-	0,050...0,12	0,06-0,20	0,08-0,20

Таблица 4.9. Рекомендуемые подачи на зуб черновых зубьев внутренних протяжек с групповой схемой резания, мм

Диаметр отверстия, мм	До 10	10-25	25-50	50-100	Св. 100
Подача на зуб, мм	0,03-0,08	0,05-0,12	0,08-0,160	0,10-0,20	0,15-0,25

Подача на зуб, допускаемая из условия размещения стружки в канавке S_{zk} , определяется через коэффициент заполнения стружечной канавки k (табл. 4.10), который указывает, во сколько раз площадь стружечной канавки превышает площадь слоя, срезаемого зубом:

$$S_{zk} = \frac{0,25\pi h_k^2}{kl},$$

где h_k – высота стружечной канавки; k – коэффициент заполнения стружечной канавки (см. табл. 4.8).

Таблица 4.10. Коэффициент заполнения стружечных канавок для круглых протяжек

Схема резания	Обрабатываемый материал				
	Сталь σ_b , МПа			Чугун	Медь, латунь, алюминий, баббит
	до 400	от 400 до 700	свыше 700		
Одинарная	4,0	3,0	3,5	2,5	3,0
Групповая	3,0	2,0	2,5	2,0	2,5

Сила резания при протягивании P определяется по формуле

$$P = C_p a^x \sum B Z_{\max} K_\gamma K_u K_{cm}, \quad (4.1)$$

где C_p – коэффициент и показатель степени x , зависящие от физико-механических свойств обрабатываемого материала (табл. 4.11); $\sum B$ – суммарная длина режущих кромок одного зуба; для круглых протяжек $\sum B = \pi d$; K_γ, K_{cm}, K_u – коэффициенты, учитывающие влияние на силу резания соответственно значений переднего угла, смазывающе-охлаждающей жидкости, износа зубьев протяжки; при обработке заготовки из стали $K_\gamma = 1,13; 1,0; 0,93; 0,85$ соответственно при $\gamma = 5, 10, 15$ и 20° ;

$K_u = 1 \dots 1,5$ соответственно для острых и затупленных зубьев, $K_{cm} = 0,9; 1; 1,34$ соответственно при применении в качестве СОЖ растительного масла, сульфозрезола или эмульсии и при отсутствии СОЖ.

Допустимая толщина срезаемого слоя по силе резания, равная по величине S_{zp} , выражается из (4.1):

$$S_{zp} = a_{zp} = \left(\frac{P_d}{C_p \cdot \pi \cdot d \cdot Z_{\max} \cdot K_\gamma \cdot K_{CM} \cdot K_{II}} \right)^{\frac{1}{X}},$$

где P_d – наименьшая из сил, допустимых по прочности хвостовика, прочности по впадине перед первым зубом и тяговому усилию станка:

$$P_d = \min (P_{dX}, P_{dП}, P_{dC}).$$

Сила, допустимая хвостовиком:

$$P_{dX} = [\sigma]_P \cdot F_{OX},$$

где $[\sigma]_P$ – допустимое напряжение при растяжении (для хвостовиков из быстрорежущих сталей $[\sigma]_P = 400$ МПа; для хвостовиков из сталей 45 и 40Х и сваренных встык с рабочей частью протяжки $[\sigma]_P = 200$ МПа; для протяжек из стали ХВГ $[\sigma]_P = 250$ МПа); F_{OX} – площадь опасного сечения хвостовика.

Таблица 4.11. Постоянная C_p и показатель степени X

Обрабатываемый материал			Коэффициент C_p		Показатель степени X
Наименование	Твердость, НВ	Предел прочности σ_s , МПа	Протяжка		
			круглая	шпоночная	
Сталь углеродистая	<200	<700	7000	1770	0,85
	200-230	700-800	7620	2020	
	>230	>800	8420	2500	
Сталь легированная	<200	<700	7620	2020	0,85
	200-300	700-800	8420	2500	
	>230	>800	10000	2850	
Чугун	<200	-	3000	1150	0,73
	>200	-	3540	1350	
Цветные сплавы	-	-	1500	750	0,73

Наибольшая сила, допустимая протяжкой на прочность по впадине перед первым зубом:

$$P_{ДП} = 0,25 \pi (d - 2h_k)^2 \cdot [\sigma]_P .$$

Сила, допустимая по тяге станка P_C (см. табл. 4.1):

$$P_{ДС} = (0,8... 0,9)P_C.$$

Из двух найденных подач выбирают наименьшую по величине и принимают ее как окончательно принятую. Если по второму варианту $S_{zk} < S_{zp}$, принимается одинарная схема резания. Если стружечные канавки по объему допускают большее значение подачи, чем сила резания ($S_{zk} > S_{zp}$), то применяется групповая схема резания.

4.4.6. Формы и размеры зуба и стружечной канавки режущей части

Глубину стружечной канавки определяют по следующим зависимостям:

при обработке вязких материалов с образованием сливной стружки

$$h_k = 1,13 \sqrt{a l k} ;$$

при обработке хрупких материалов с образованием элементной стружки, которая более компактна и равномерно заполняет почти весь объем канавки,

$$h_k = (0,9...1) \sqrt{a l k} .$$

Затем в зависимости от глубины стружечной канавки и обрабатываемого материала определяют основные размеры и форму зуба и стружечной канавки (рис. 4.7):

$$t = 2,75h_k; c = 1,25h_k; r = 0,5h_k; E = 1,5h_k; r' = 0,75h_k ,$$

где c – толщина зуба; r – радиус дна канавки; E – ширина канавки; r' – радиус спинки зуба, если она вогнутая.

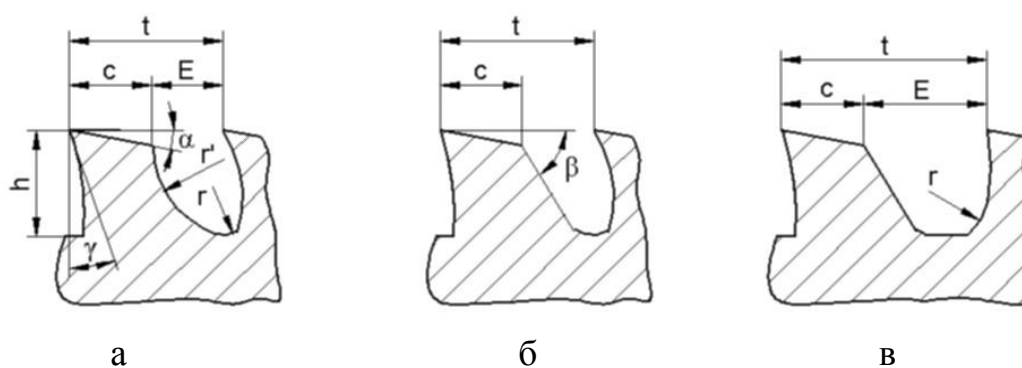


Рис. 4.7. Элементы зубьев с вогнутой (а) и прямолинейной (б) спинками и удлиненным дном (в) стружечной канавки

Форма стружечной канавки зависит от обрабатываемого материала. Вогнутую спинку зуба (рис. 4.7 а) делают у протяжек для обработки вязких материалов с групповой схемой резания (с большими толщинами среза).

Для обработки хрупких материалов спинку зуба делают прямолинейной (рис. 4.9 б). В этом случае образуется элементная стружка, которая более равномерно и полнее заполняет канавку.

При обработке длинных отверстий шаг зубьев получается сравнительно большим, объем срезаемого слоя увеличивается. Поэтому для увеличения объема стружечных канавок их дно рекомендуется делать с прямолинейным участком (рис. 4.9 в). Относительная толщина зуба для них уменьшается $c = (0,2-0,25) t$.

Прямолинейная спинка зуба имеет угол наклона $\beta = 50-55^\circ$.

Полученное значение шага согласовывают с нормализованным рядом шагов (ГОСТ 20365-74): 4; 4,5; 5; 5,5 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19; 20; 21; 22;24; 25; 26; 28; 30; 32 мм.

Размеры стружечных канавок в зависимости от шага можно скорректировать по стандартным данным табл. 4.12 и 4.13.

**Таблица 4.12. Размеры зубьев с криволинейной формой
стружечной канавки (рис. 4.7 а)**

Конструктивные параметры, мм					
Шаг протяжки	Глубина впадины	Толщина задней грани	Радиус дна впадины		Площадь сечения впадины, мм ²
t	h_k	c	r	r'	F_a
4	1,6	1,5	0,8	2,5	1,91
5	2		1	3,5	3,14
6	2,5	2	1,25	4	4,91
7	3	2,5	1,5		5
8		3			
10	4	4	2	7	12,66
12	5		2,5	8	19,62
14	6		3	10	28,25
16	7		3,5	12	38,46
18	8	50			
20	9	6	4,5	14	63,58
22	10		5	16	78,5

**Таблица 4.13. Размеры зубьев с прямолинейной формой
стружечной канавки (рис. 4.7 б)**

Конструктивные параметры, мм			
Глубина впадины	Толщина задней грани	Радиус дна впадины	Площадь сечения впадины, мм ²
h_k	c	r	F_a
2	2,5	1	3
2,3	3	1,25	5,8
2,7	3,5	1,5	7
3,6	4	2	12,5
4,5	4,5	2,5	19,3
5,4	5	3	27,9
6,3	5,5	3,5	38
7,2	6	4	49,6
8,1	6,5	4,5	62,7
9	7	5	78,8

Передний угол зубьев протяжек в основном зависит от свойств обрабатываемого материала. Для обработки сталей он принимается 12...18°, чугуна – 5...10°, вязких цветных металлов и сплавов – 25°.

Переточку протяжек по мере изнашивания зубьев производят по передней поверхности. При небольших значениях заднего угла этим достигается незначительное изменение диаметра или высоты зубьев и увеличение срока службы протяжки. Для сохранения диаметральных или высотных размеров после переточки задние углы у зубьев внутренних протяжек равны $\alpha = 2-3^\circ$ при обработке отверстий 6-го качества точности, $\alpha = 3-4^\circ$ при обработке отверстий меньшей точности. Для шпоночных протяжек $\alpha = 4-7^\circ$.

4.4.7. Число и размеры режущих зубьев

Число черновых зубьев одинарного резания определяется по формуле

$$Z_p = \frac{A - \sum S_{zc}}{S_z} + (1 - 2),$$

где $\sum S_{zc}$ – суммарный подъем на переходные зубья, мм.

Переходными зубьями (числом 3...5) удаляется припуск, равный толщине слоя, срезаемого одним черновым зубом протяжки. Толщина срезаемого слоя с каждым переходным зубом равномерно уменьшается от первого к последнему. Если рассмотреть три переходных зуба, то первый срезает слой толщиной $a_1 = 0,5 S_z$, второй – $a_2 = 0,3 S_z$, третий – $a_3 = 0,2 S_z$. При этом минимальная толщина слоя, срезаемая последним переходным зубом, должна быть не менее 0,015 мм. При меньших толщинах из-за радиуса скругления режущей кромки, величина которого соизмерима с ними, слой режущей кромкой не срезается, а подминается и вдавливается в обрабатываемую поверхность.

В отличие от протяжек одинарного резания для групповых протяжек первая секция зубьев снимает половину толщины срезаемого слоя, т.е. $0,5 S_z$. Поэтому для протяжек переменного резания число черновых зубьев

$$Z_{\text{ч}} = \frac{A_{\text{ч}}^1}{S_z} z_r + 0,5 z_r,$$

где z_r – число зубьев в каждой группе (2-5); S_z – толщина слоя, срезаемого каждой группой зубьев; $A_{\text{ч}}^1$ – припуск на сторону, срезаемый черновыми

зубьями без первой группы зубьев, $A'_q = A_q - 0,5S_z$.

Отношение $A_q / S_z = n$, т.е. равно числу черновых групп протяжки. Число получистовых и чистовых (переходных) зубьев, как указывалось ранее, для протяжек одинарного резания $z_l = 2-5$, для протяжек группового резания $z_l = z_r + (3-5)$. Число режущих зубьев уточняется при составлении сводной таблицы размеров зубьев (данные приводятся на рабочем чертеже).

Для протяжек одинарного резания первый режущий зуб выполняется по форме и размеру подготовленного отверстия. Диаметр (высота) первого зуба равен номинальному диаметру (высоте) подготовленного отверстия (поверхности), т.е. $D_1 < d_0$. Диаметр первой группы зубьев у протяжек группового резания $D_1 = d_0 + 0,5 S_z$. Диаметр каждого последующего чернового зуба или группы черновых зубьев будет увеличиваться на две толщины срезаемого слоя для двусторонних протяжек или на одну толщину срезаемого слоя для односторонних протяжек (типа шпоночных).

4.4.8. Число и размеры стружкообразовательных канавок для режущих зубьев протяжек одинарного резания

Для облегчения формирования и удаления стружки на широких режущих кромках (более 6-8 мм) протяжек одинарного резания изготавливают стружкообразовательные канавки V-образной формы (рис. 4.8) в шахматном порядке при переходе от одного зуба к другому. Количество и размеры канавок определяют по табл. 4.14.

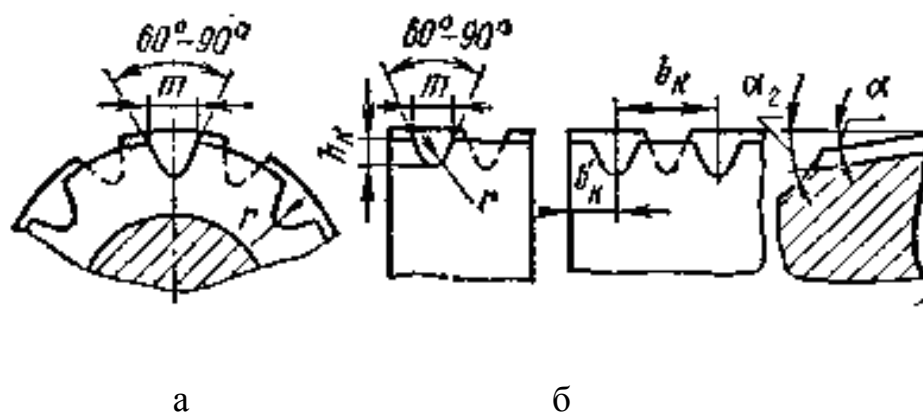


Рис. 4.8. Конструктивные параметры стружкообразовательных канавок

Таблица 4.14. Число и размеры стружкоразделительных канавок на режущих зубьях

Цилиндрические протяжки (рис. 4.8 а)				
Диаметр протяжки D	Число канавок n	m	h_k	r
10-18	6	0,6-0,8	0,4-0,6	0,2-0,3
13-16	8	0,8-1,0	0,5-0,7	
16-20	10			
20-25	12			
25-30	14			
30-35	16			
35-40	18			
40-45	20			
45-50	22	1,0-1,2	0,7-0,8	
50-55	24			
55-60	28			
60-65	30			
65-70	32			
70-75	34			
75-80	36			
Шпоночные, шлицевые и плоские протяжки (рис. 4.8 б)				
Ширина зуба протяжки B	Число канавок n	m	h_k	r
6-8	1	0,8-1,0	0,5-0,7	0,2-0,3
8-10	1			
10-20	2			
20-30	3	1,0-1,2		
30-45	4			
45-60	6			
65-75	8		0,7-0,8	0,3-0,4
75-100	10			

Примечания:

1. Расстояние между канавкам $b_k = \pi D/n$ или $b_k = B/n$.
2. Расстояние от боковой стороны протяжки до первой канавки $b'_k = 0,4b_k$.
3. Дно канавки параллельно задней поверхности, $\alpha_2 = \alpha$.

4.4.9. Число, профиль и размеры выкружек протяжек групповой схемы резания

Выкружки (круговые вырезы) на режущих зубьях делают так, чтобы площадь, срезаемая каждым зубом данной группы, была одинаковая.

Последний зуб группы без выкружки сплошной. Он срезает слои не сплошь по всей окружности, а то, что осталось не срезанным первыми зубьями. Его диаметр по отношению к диаметру предыдущего зуба данной группы меньше на 0,02-0,04 мм, что позволяет исключить образование кольцевых стружек.

Число выкружек N и их ширину a на черновых зубьях в зависимости от диаметра зуба D и числа зубьев в группе (рис. 4.9) определяют по следующим формулам с округлением до ближайшего большего четного числа или табл. 4.15:

$$\text{для } D < 100 \text{ мм} \quad N = \frac{(2.4 \dots 3.1) \sqrt{D}}{z_c} ;$$

$$\text{для } D > 100 \text{ мм} \quad N = \frac{(0.25 \dots 0.3) \sqrt{D}}{z_c} ;$$

$$a = \frac{\pi D (z_c - 1)}{N \cdot z_c} .$$

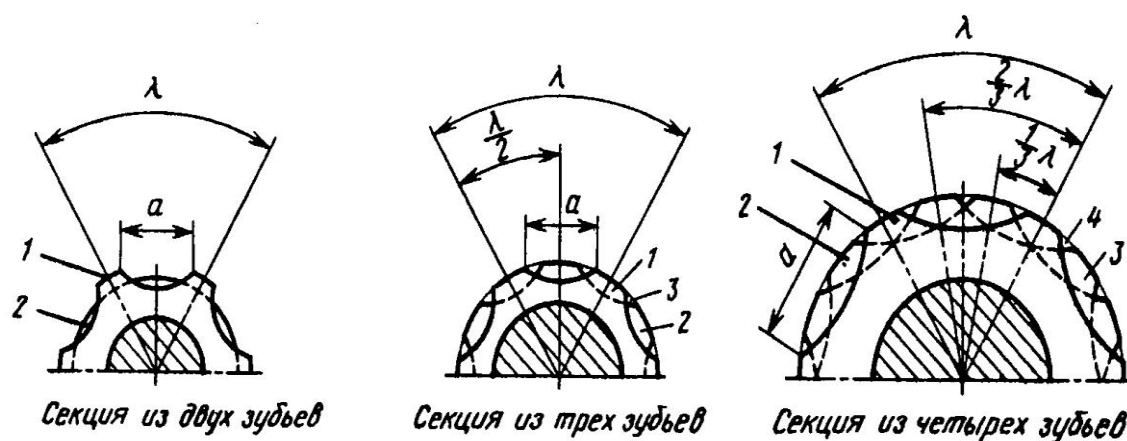


Рис. 4.9. Конструктивные параметры выкружек на черновых зубьях круглых протяжек

**Таблица 4.15. Число и размеры выкружек
на черновых зубьях круглых протяжек**

Диаметр зубьев, мм	$z_c=2$		$z_c=3$		$z_c=4$	
	N	a	N	a	N	a
1	2	3	4	5	6	7
6-7	4	2,5	-	-	-	-
7-8		3				
8-9		3,5				
9-10		4				
10-11		4,5				
11-12		5				
12-13		5,5				
14-15		6				
15-16	6	4	4	8		
16-17		4,5		8,5		
17-18		5		9		
18-19		5		9,5		
19-20		5		10		
20-22		5,5		11		
22-24		6		12		
24-25		6,5		13		
25-26	8	5	6	9	4	15
26-28		5,5		9,5		16
28-30		6		10		17
30-32		6		11		18
32-34		6,5		11,5		19
34-36		7		12		20
36-38		7,5		13		21
38-40		7,5		13		22
40-42	10	6,5		14	6	24
42-45		7		15		26
45-48		7,5		16		28
48-50		7,5		17		28
50-52		8		18		20
52-55		8,5		19		21
55-60	12	7,5	8	15		22
60-63		8		16		24
63-65		8,5		17		25
65-70		9		18		26
70-75		9,5		19		28

Продолжение табл. 4.15

1	2	3	4	5	6	7
75-80	14	9		20		30
80-85		9,5		21		32
85-90		10		22		34
90-95		10,5		24		36
95-100		11		25		36
100-105	16	10	10	21	8	30
105-110		11		22		32
110-120		11,5		24		34
120-125		12		26		36
125-130		12		26		38
130-140		13		28		40

Число и параметры выкружек чистовых зубьев приведены на рис.4.10 и в табл. 4.16.

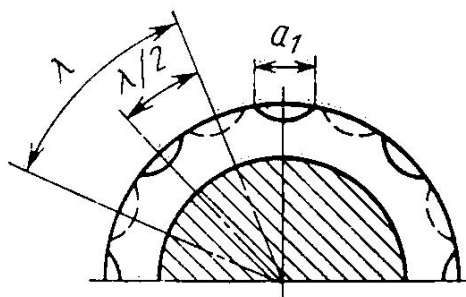


Рис. 4.10. Конструктивные параметры выкружек на чистовых зубьях круглых протяжек

Таблица 4.16. Число и размеры выкружек на чистовых зубьях круглых протяжек

Диаметры зубьев протяжки, мм	$z_c = 2$		Диаметры зубьев протяжки, мм	$z_c = 2$		Диаметры зубьев протяжки, мм	$z_c = 2$	
	N	a_1		N	a_1		N	a_1
1	2	3	4	5	6	7	8	9
6-7	4	1,8	25-26	8	3,5	65-70	14	6,5
7-8		2	26-28		4	70-75		7,5
8-9		2,2	28-30		4,5	75-80		7
9-10		2,5	30-32		4,5	80-85		7,5
10-11		3	32-34		5	85-90		8

Продолжение табл. 4.16

1	2	3	4	5	6	7	8	9
11-12		3,5	34-36		5	90-95		8,5
12-13		4	36-38		5,5	95-100		9
13-14		4	38-40		5,5	100-105		7
14-15		4,5	40-42		4,5	105-110		8
15-16	6	3	42-45	10	5	110-120	16	8,5
16-17		3,5	45-48		5,5	120-125		9
17-18		3,5	45-50		5,5	125-130		9
18-19		3,5	50-52		6	130-140		10
19-20		3,5	52-55	6,5				
20-22		4	55-60	12	5,5			
22-24		4,5	60-63		6			
24-25		5	63-65		6,5			

4.4.10. Число, профиль и размеры калибрующих зубьев

Число калибрующих зубьев в зависимости от необходимого качества точности протянутой поверхности выбирают по табл. 4.17.

Таблица 4.17. Число калибрующих зубьев

Квалитет точности	6	7	8	9	10	Св.10
Число калибрующих зубьев Z_k	8	7	6	5	4	2...3

Форму и размеры калибрующих зубьев и стружечных канавок устанавливают в зависимости от их шага $t_k = (0,6-1)t$ по тем же зависимостям, что и для режущих зубьев. Передние углы калибрующих зубьев равны передним углам режущих зубьев, а задние углы равны $\alpha=0,5-1^\circ$. Для внутренних протяжек диаметр калибрующих зубьев равен диаметру последнего чистового режущего зуба. По задней поверхности всех калибрующих зубьев оставляют цилиндрическую ленточку, ширина которой увеличивается от зуба к зубу на 0,1 мм, т.е. $f_1=0,1$ мм, $f_2=0,2$ мм, $f_3=0,3$ мм и т.д. При этом наибольшая величина фаски не должна превышать 0,4-0,6 мм.

Исполнительный диаметр калибрующих зубьев с учетом физико-механических свойств обрабатываемого материала:

$$d_k = D_{\max} \pm \delta_d ,$$

где $D_{\max}$ – максимальный диаметр обрабатываемого отверстия; δ_d – значение остаточной деформации отверстия.

Увеличение диаметра отверстия после протягивания (разбивка) – знак «-», уменьшение (усадка) – знак «+». При протягивании заготовок из стали увеличение отверстия составляет 0,005...0,01 мм. При обработке вязких материалов уменьшение достигает 0,01 мм.

Предельные отклонения диаметров режущих зубьев не должны превышать 0,01 мм, калибрующих зубьев – 0,005 мм (табл. 4.18).

Таблица 4.18. Допуски для калибрующих зубьев IT, мкм

Номинальные диаметры протяжек, мм	Протяжки, предназначенные для обработки отверстия		
	H7	H8	H9
До 18	5	8	10
Св.18 до 30	5	8	10
Св. 30 до 50	8	10	10
Св. 50 до 60	8	10	16
Св. 80 до 120	10	16	20

4.4.11. Определение общей длины протяжки

Длину протяжки от торца хвостовика до первого зуба принимают в зависимости от размеров патрона, толщины опорной плиты, приспособления для закрепления заготовки, длины заготовки (рис. 4.11).

Расстояние L_1 от переднего торца протяжки до первого режущего зуба определяется из следующих соотношений (см. рис. 4.11 и рис.4.1):

$$L_1 = L_{CT} + l_1 + l_4 = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 ,$$

где L_{CT} – размерная характеристика станка (табл.4.1); l_1 – длина хвостовика (см. табл. 4.2); l_2 – длина шейки; l_3 – длина переходного конуса (10-30 мм); l_4 – длина передней направляющей (равна длине обрабатываемой заготовки).

Длина шейки протяжки

$$l_2 = L_1 - l_1 - l_3 - l_4 ,$$

длина режущей части протяжки

$$l_p = tZ_p .$$

Быстросменный автоматический патрон

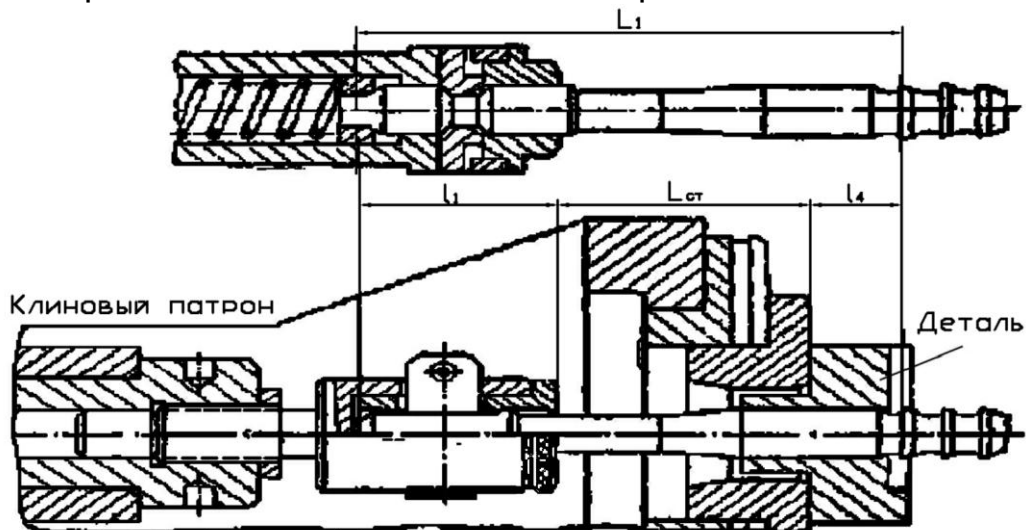


Рис. 4.11. Схема для определения длины протяжки от торца хвостовика до первого зуба

Длина зачищающей и калибрующей частей протяжки

$$l_{зк} = l_з + l_k = P_k(Z_з + Z_k).$$

Общую длину протяжки подсчитывают как сумму длин составляющих ее частей:

$$L_n = L_1 + l_p + l_{зк} + l_5,$$

где l_5 – длина задней направляющей протяжки, которая должна быть не менее 0,5-1 длины заготовки.

Предельная длина протяжки меньше длины рабочего хода ползуна протяжного станка. Ориентировочно предельная длина протяжки диаметром менее 50 мм должна быть не более $(50-55)d$ и при диаметре более 50 мм – не более $30d$.

Если длина протяжки получается большей, то ее рабочую часть делят на несколько протяжек – комплект. Обычно комплект состоит из двух-четырех протяжек, работающих последовательно одна за другой. В каждой протяжке комплекта делают рабочую и калибрующую части, хвостовики, передние и задние направляющие, т.е. полное конструктивное оформление. Первый режущий зуб последующей протяжки комплекта должен иметь рабочие размеры, равные или немного меньше (на 0,01-0,02 мм), чем размеры калибрующего зуба предыдущей протяжки комплекта.

Рабочий чертеж круглой протяжки приведен на рис. 4.12.

4.5. ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ПРОТЯЖЕК ДЛЯ ОБРАБОТКИ ФАСОННЫХ ОТВЕРСТИЙ

4.5.1. Протяжки для обработки квадратных (гранных) отверстий

Внутреннее квадратное (гранное) отверстие протягивается из исходного круглого. Может быть использована как профильная схема резания, так и генераторная (рис. 4.13).

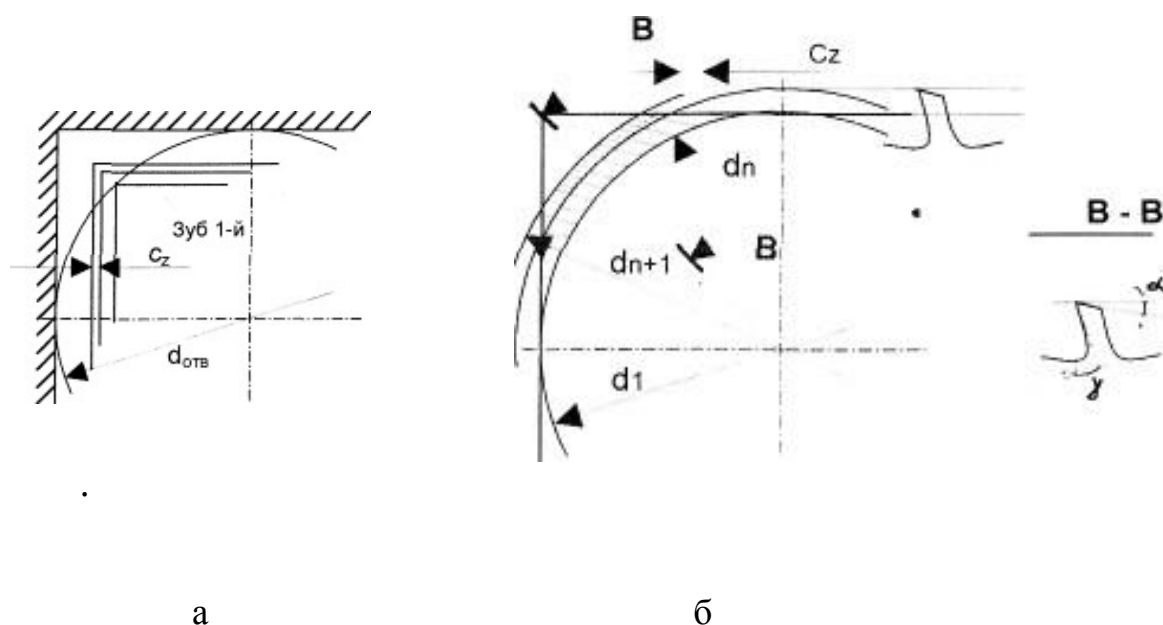


Рис. 4.13. Схемы резания при обработке квадратного отверстия

При профильной схеме резания (рис. 4.13 а) все зубья имеют одинаковую квадратную форму последовательно увеличивающихся размеров. Первые зубья начинают обработку углом пересечения боковых режущих кромок. Площадь сечения среза вначале небольшая, а затем увеличивается, изменяя подобным образом силу резания. Процесс схода стружки от боковых режущих кромок не свободный, относительное базирование заготовки и протяжки вначале плохое, но улучшающееся в процессе обработки.

При генераторной схеме резания (рис. 4.13 б) первые зубья имеют круглую форму, последующие – режущие кромки в виде дуг окружностей, радиус которых увеличивается по длине протяжки. Для образования квадратного отверстия зубья круглой протяжки срезаются по противоположным сторонам. Ширина рабочих участков у первых зубьев наибольшая, затем она уменьшается, снижая постепенно силу резания. Для ее выравнивания и уменьшения длины протяжки подачу на зуб делают

величиной переменной, увеличивающейся по длине протяжки не на каждом зубе, а на группе зубьев (ступени). Количество ступеней зубьев m зависит от ширины стороны (границы) квадрата S . Количество ступеней принимают равным трем ($m=3$) для квадратных протяжек с расстоянием между сторонами $S < 15$ мм и четырем ($m=4$) – при $S > 15$ мм.

Расчет квадратных (гранных) протяжек генераторной схемы резания проводится в той же последовательности, что и круглых. Расчетная схема припуска для обработки квадратного отверстия приведена на рис. 4.14.

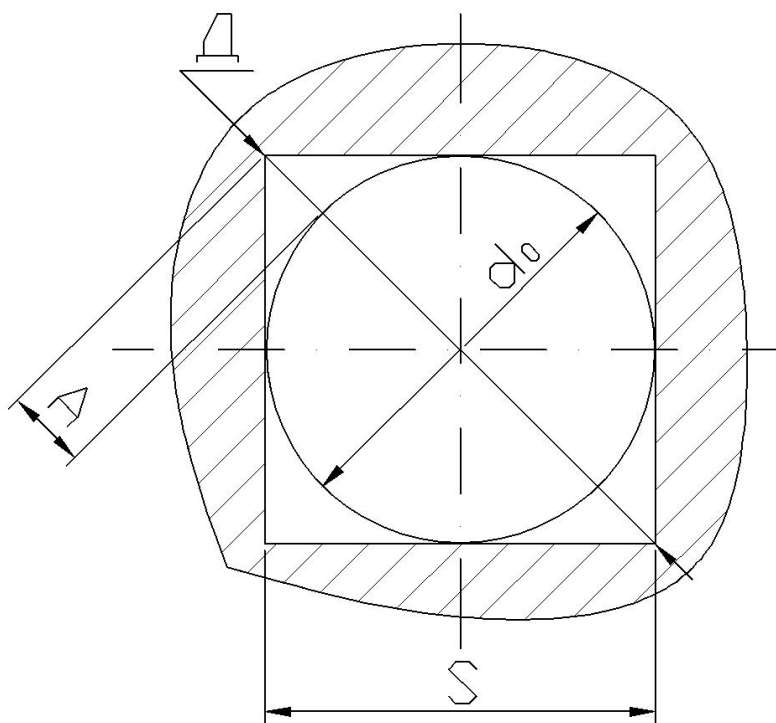


Рис. 4.14. Припуск при обработке квадратного отверстия

Диаметр исходного отверстия под протягивание соответствует диаметру окружности, вписанной в квадратный профиль готового отверстия.

Обработка ведется обычно комплектом из двух, трех или более протяжек. Первая протяжка имеет круглую переднюю направляющую и несколько круглых зубьев. Диаметр первого зуба первой ступени d_1 равен S_{min} – минимальному расстоянию между сторонами протягиваемого отверстия (диаметр исходного отверстия d_0). В том случае, когда следы предварительного отверстия на плоскостях квадрата нежелательны, этот размер уменьшают на 0,3-0,5мм.

Диаметр последнего режущего и калибрующих зубьев, мм:

$$d_n = D_{max} \pm \delta,$$

где D_{max} – наибольший (с учетом допуска) размер протягиваемого отверстия между углами (диаметр описанной окружности); δ – разбивание или усадка отверстия.

Значения δ при обработке толстостенных изделий следующие: (0,005-0,01) мм при длине протяжки до 800 мм и (0,01-0,015) мм при длине более 800 мм (знак « - » означает разбивку отверстий, знак « + » – их усадку). При обработке тонкостенных деталей из обычных углеродистых сталей $\delta = +(0,3A - 1,4B)$ мкм, где A – диаметр, мм; B – толщина стенки, мм.

Прямые стороны профиля зубьев являются вспомогательными режущими кромками. Расстояние S_n (рис. 4.15) между ними, постоянное для всех зубьев протяжки, определяется условием

$$S_n = S_{max} \pm \delta_s,$$

где S_{max} – наибольшее допустимое расстояние между сторонами протягиваемого отверстия; δ_s – разбивание или усадка отверстия по размеру S .

Поскольку S_n обычно больше d_o , все зубья с диаметрами от d_o до S_n – круглые. Плоские участки появляются на тех зубьях, диаметр которых больше S_n .

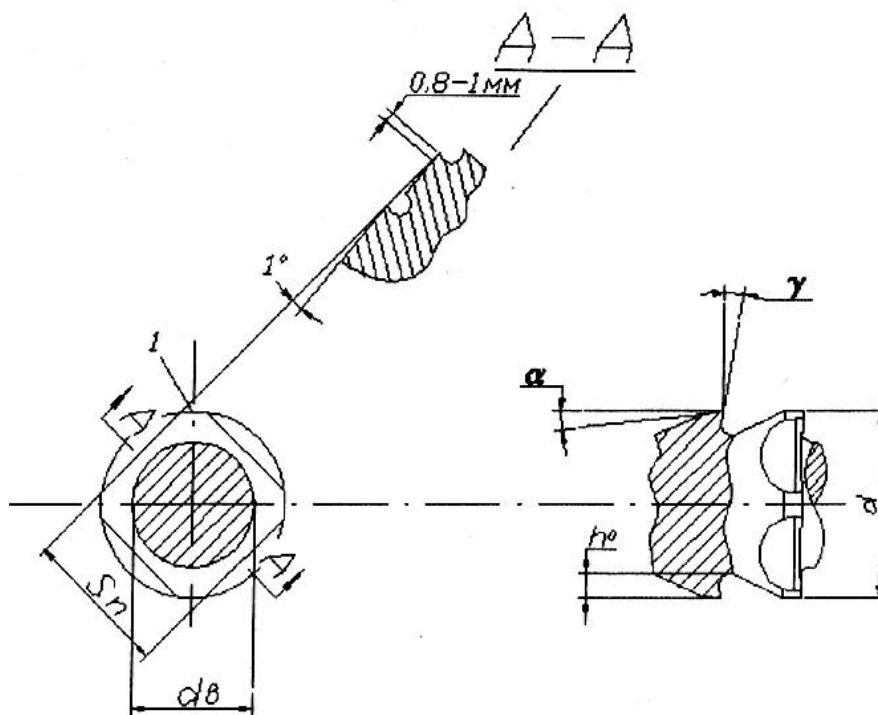


Рис. 4.15. Зубья квадратной протяжки

Для уменьшения трения на плоских сторонах зубьев делают задний угол 1° (рис. 4.15), который располагается позади ленточки шириной 0,8-1 мм. Если этой ленточки не сделать, может возникнуть искажение прямых сторон отверстия, которые приобретают форму гиперболы (хотя и с очень небольшой стрелкой выпуклости внутри отверстия).

Стружечные канавки на таких протяжках выполняются круговые, что значительно облегчает изготовление и заточку зубьев. При пересечении спинки стружечной канавки с плоскостями задних граней, примыкающих к прямым участкам режущей кромки, образуются также гиперболы. Размеры стружечной канавки следует по возможности принимать по основному ряду, 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 – полная, на вспомогательных – уменьшенная.

Минимальную величину подачи на зуб из условия размещения стружки в канавке и допустимой по силе резания принимаем за расчетную величину подачи на зуб первой ступени S_{z1} , которую можно заменить данными (минимальным значением) табл. 4.8.

Подачи на последующих ступенях S_{zm} с учетом масштабного коэффициента на подачу ξ_m (табл. 4.19) определяют по формуле

$$S_{zm} = \xi_m S_{z1} .$$

Подачу на последней ступени необходимо проверить на условие размещения стружки в канавке.

Диаметры первых зубьев на ступенях, мм:

$$d_m = \eta_m S + 2 S_{zm} ,$$

где m – номер ступени; η_m – масштабный коэффициент на диаметр (табл. 4.19).

Количество режущих зубьев на каждой ступени, кроме последней, определяется условием

$$Z_m = \frac{(d_{m+1} - 2 \cdot s_{zm+1}) - (d_m - 2s_{zm})}{2 \cdot s_{zm}} ,$$

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 зубце рассчитываемой ступени.

Таблица 4.19. Значения масштабных коэффициентов по ступеням

Номер ступени m	ζ_m				η_m	
	3 ступени		4 ступени		3 ступени	4 ступени
	Сталь	Чугун	Сталь	Чугун		
1	1	1	1	1	1	1
2	1,8	1,98	1,5	1,6	1,06	1,045
3	3	3,58	2,3	2,65	1,15	1,105
4	-	-	3,8	4,75	-	1,19

Для последней ступени

$$Z_m = \frac{d_n - (d_m - 2 \cdot s_{zm})}{2 \cdot s_{zm}} + (2...4) ,$$

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 зуба, добавляется один зуб.

Количество, размеры и конструкция калибрующих зубьев полностью соответствуют общим положениям проектирования протяжек (см. п. 4.4.10).

Число протяжек J в комплекте рассчитывают по формуле с округлением до ближайшего целого числа:

$$J = \frac{l_5 + l_6}{L_{n\max} - (l + l_7)} ,$$

где l – длина хвостовика; $l_5 + l_6$ – длина режущей и калибрующей частей; l_7 – длина задней направляющей; $L_{n\max}$ – предельная допустимая длина протяжки.

Рабочий чертеж квадратной протяжки представлен на рис. 4.16 .

4.5.2. Протяжки для обработки шпоночных пазов цилиндрическом отверстии

Для протягивания шпоночных пазов прямоугольного сечения в цилиндрических отверстиях применяют в основном протяжки с плоским телом, работающие по генераторной схеме резания. По своей конструкции шпоночные протяжки имеют те же части по длине, что и круглые, но приложение силы резания одностороннее, что вызывает дополнительное деформирование от изгиба протяжки. Протягивание производится при установке заготовки 2 на специальную втулку 1 (адаптер), закрепленную через опорное кольцо 3 на планшайбе станка 4 и имеющую продольный паз для ориентации и направления протяжки, которая через хвостовик связана с тяговым патроном 5 (рис. 4.17).

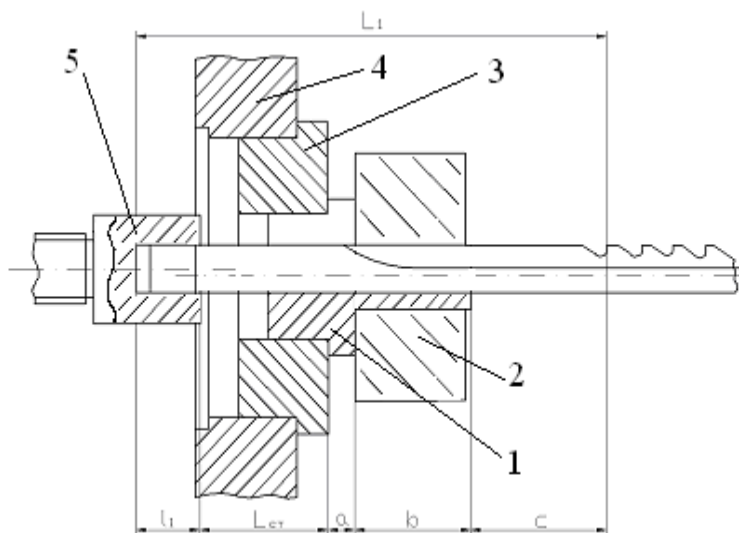


Рис. 4.17. Положение шпоночной протяжки на станке

Протяжки с плоскими телами могут работать в комплектах от одной до нескольких штук. При малом объеме производства протягивание ведется одной протяжкой, глубина паза достигается прокладками, которые устанавливаются под протяжку в направляющем пазу адаптера.

Протяжки с плоским телом делятся на две разновидности:

- с утолщенным телом, или ступенчатые, когда тело протяжки выполняется большей ширины, чем режущие зубья;
- с тонким телом, или ленточные, когда тело протяжки имеет такую же ширину (толщину), как и режущие зубья.

Протяжки с утолщенным телом применяются чаще, так как они более жесткие и выдерживают большие нагрузки, чем тонкие протяжки. Однако протяжки с тонким телом могут помещаться в отверстиях с

меньшими диаметрами. При ширине шпоночного паза более 10 мм рекомендуется применение протяжек с утолщенным телом.

Исходные данные для расчета шпоночных протяжек, кроме указанных ранее для круглых протяжек, включают: диаметр отверстия D , ширину b и глубину t шпоночного паза. Расчетная схема параметров поперечного сечения протяжки 1 по первой стружечной канавке вместе с передней частью направляющей оправки 2, обрабатываемым изделием 3 и профилем прорезаемой шпоночной канавки 4, обозначенной пунктиром, представлены на рис. 4.18.

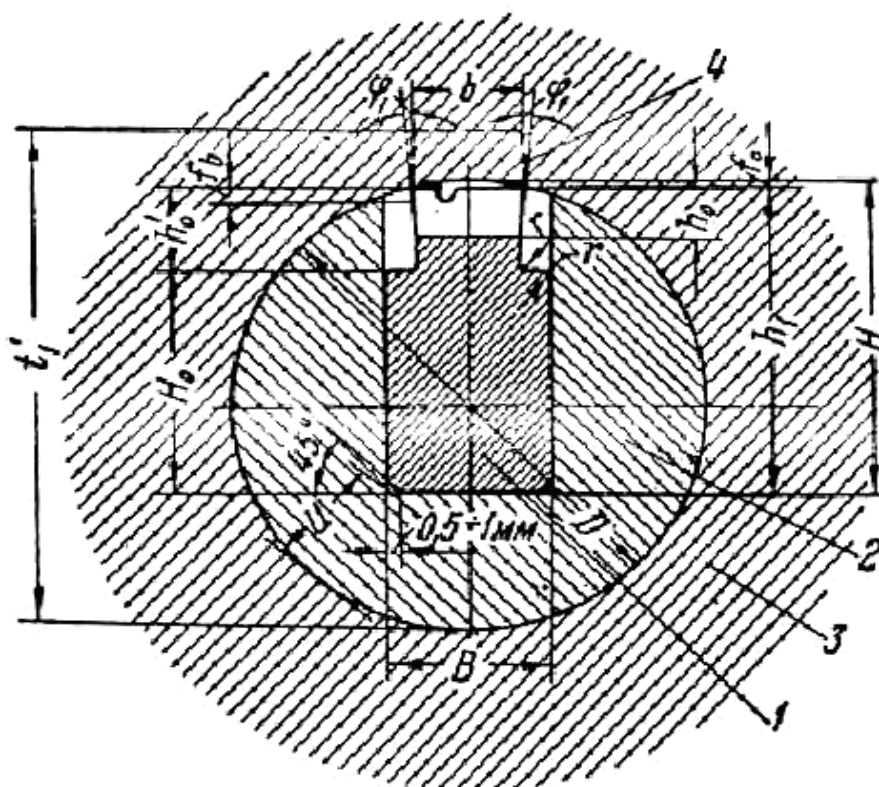


Рис. 4.18. Поперечное сечение шпоночной протяжки по первой стружечной канавке

Припуск A на обработку шпоночной протяжки (см. рис. 4.18) будет складываться из глубины канавки и стрелки f_0 дуги, соответствующей ширине протягиваемой канавки b :

$$A = t_1 - D + f_0,$$

где t' – расстояние от края отверстия до дна канавки (наибольший допустимый размер); D – диаметр отверстия (наименьший размер); $f_0 = 0,5(D - \sqrt{D^2 - b^2})$.

Ширину тела протяжки с утолщением B выбирают по выражению

$$B = b + (2 \dots 6),$$

где b – ширина протягиваемой канавки, $b = b_{\max} - (0,005 - 0,1)$ мм.

Методика выбора и расчета основных конструктивных элементов шпоночной протяжки (t , h_0 , S_z) аналогична приведенной выше для круглых протяжек.

Высота зубчатой части (см. рис. 4.18)

$$h'_0 = 1,25h_0,$$

где h_0 – глубина стружечной канавки.

На шпоночных протяжках обычно делают стружечные канавки с прямолинейной спинкой зуба (рис. 4.7 б).

Высота сечения протяжки по первому зубу h_1 должна удовлетворять условию, которое вытекает из условия прочности при растяжении протяжки силой резания P и имеет вид

$$h_1 \geq \frac{P}{B[\sigma_p]} + h_0.$$

Величина допускаемого напряжения на растяжение $[\sigma_p]$ принимается равной 150 Н/мм^2 для легированных сталей и 200 Н/мм^2 для быстрорежущих сталей (меньше, чем указано в п. 4.4.4) по причине одностороннего резания с дополнительным деформированием от изгиба.

Полученное значение h_1 желательно округлять до стандартной величины, приведенной в табл. 4.20.

Таблица 4.20. Размеры поперечного сечения стандартных шпоночных протяжек, мм

b	h_1^*	B	H_o	D_{min}
3	6	4	3,5	8
4	9	6	6	13
5	11	8	6,5	16
6	15	10	10	20
8	18	12	12	25
10	22	15	15	30
12	28	18	20	37
14	30.	20	22;	42
16	35	22	25	48
18	40	26	25	55

Необходимо стремиться к тому, чтобы высота тела H_0 , определяемая следующей зависимостью, была не меньше его толщины B :

$$H_0 = h_1 - h_0^1 .$$

Значение H_0 является постоянным по длине протяжки, а высота зубчатой части h'_0 увеличивается к последнему зубцу на величину суммарного подъема (припуска).

Высота протяжки по последнему режущему зубцу h_n и калибрующим зубцам H_6 составляет

$$h_n = H_6 = h_1 + A .$$

Конструктивное оформление режущего выступа приведено на рис. 4.18. Поднутрение делается с углом $\varphi_1 = 0^\circ 30' - 1^\circ$, ленточка у вершины зуба $f=0,8-1$ мм. Основание режущего выступа закругляют радиусом около 1 мм. Края тела протяжки притупляются скосами (фасками) высотой 0,5-1 мм с углом 45° .

Калибрующие и рабочие зубья шпоночных протяжек имеют одинаковый шаг. Длину последнего калибрующего зуба принимают равной $1,5t$ для превращения последнего в заднюю направляющую, в соответствии с чем длина этой части

$$l_k = t (z_k + 0,5) .$$

Длину до первого зуба определяют по формуле

$$L_1 = l_1 + l_{cm} + a + b + c ,$$

где l_1 – длина хвостовика, зависящая от способа крепления (табл.4.2-4.3); l_{cm} – размерная величина станка, мм (табл.4.1); a – длина выступающей части фланца направляющей оправки (адаптера) – 10-15 мм; b – длина посадочной части оправки равна длине протягиваемого отверстия; c – длина, необходимая для беспрепятственного насаживания изделия на протяжку при работе без отключения протяжки от станка после каждого рабочего хода, принимается равной 5-15 мм (при работе с отключением протяжки данный участок отсутствует).

Полную длину шпоночной протяжки определяют как сумму длин гладкой, режущей и калибрующей частей.

Предельные отклонения размеров шпоночных протяжек: по высоте режущей части - 0,02 мм, по ширине - 0,015 мм.

Рабочий чертеж шпоночной протяжки представлен на рис. 4.19.

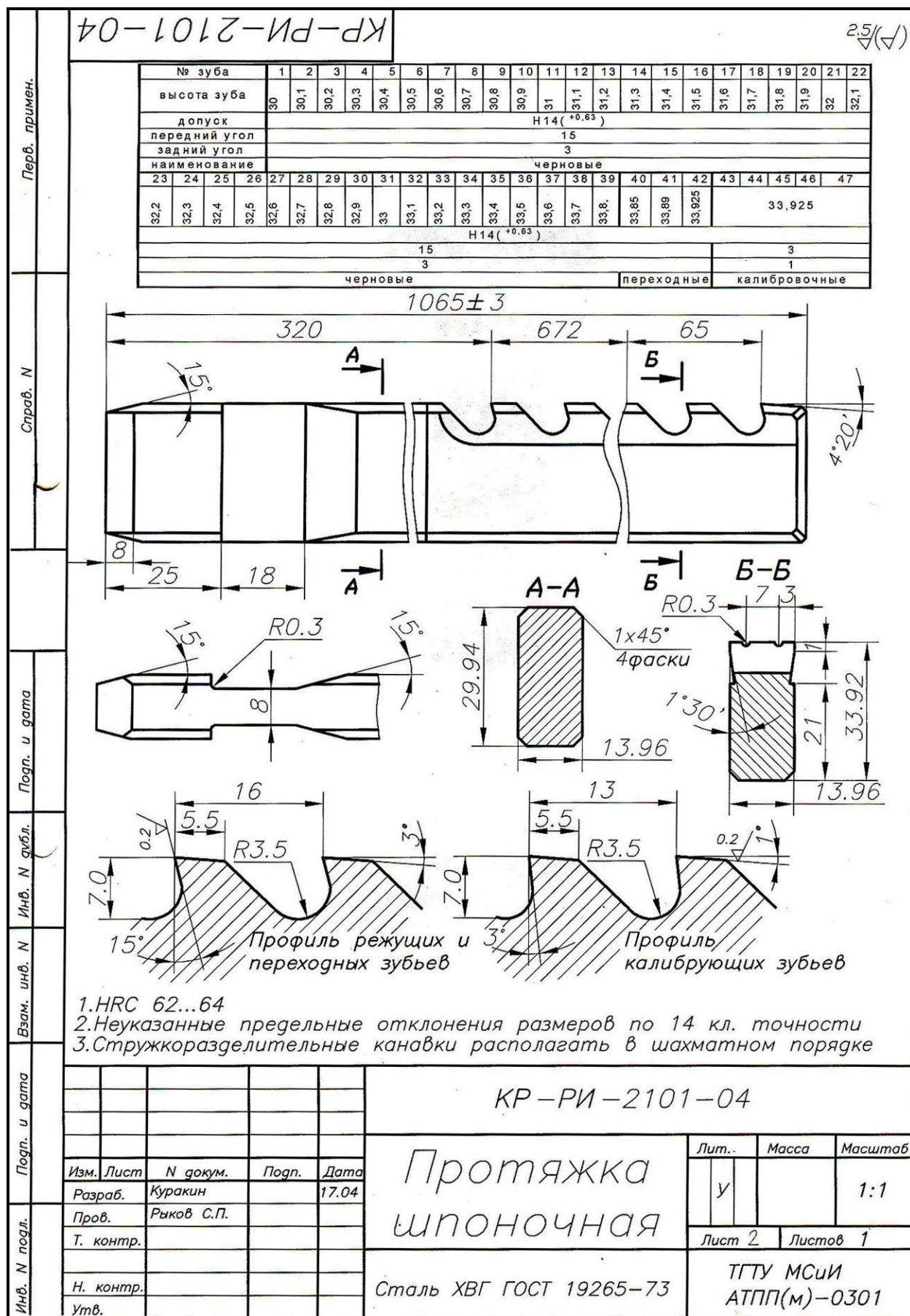


Рис. 4.19. Рабочий чертеж шпоночной протяжки

5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗУБОРЕЗНОГО ИНСТРУМЕНТА

5.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ЗУБОРЕЗНОГО ИНСТРУМЕНТА

5.1.1. Методы формообразования зубчатых деталей

Зубообрабатывающие инструменты по характеру формирования профиля зубчатых деталей бывают двух видов: работающие по методу копирования и методу обкаточного огибания. При формировании поверхности зуба в обоих направлениях (по образующей и направляющей) все инструменты независимо от вида профилирования работают по методу огибания, частным случаем которого является касание или след.

При методе копирования профиль режущих кромок полностью соответствует профилю впадин между зубьями колеса (рис. 5.1 а). К инструментам, работающим этим методом, относятся дисковые и пальцевые фасонные фрезы, зубодолбежные многолезцовые головки, протяжки.

Достоинством метода копирования является простая кинематика станка. Однако точность изготовления зубьев колес относительно низка из-за неизбежных погрешностей изготовления фасонных зубьев инструментов и установки их относительно заготовки. К тому же метод копирования при профилировании и его реализации в конструкции инструмента обуславливает в большинстве случаев специальное назначение инструмента, пригодное для обработки конкретного колеса (или нескольких колес, но мало различающихся по своим размерам).

При методе обкаточного огибания centroиды инструмента и нарезаемого колеса катятся друг по другу без скольжения, а профиль нарезаемых зубьев колеса формируется как огибающая различных положений режущих кромок при зубонарезании (рис. 5.1 б). Форма режущих зубьев у этих инструментов не совпадает с профилем впадин между зубьями нарезаемых колес и определяется в результате достаточно сложных расчетов. По этому принципу работают зуборезные гребенки, червячные фрезы, долбяки, зубострогальные обкаточные резцы, зубчатые хоны, шеверы.

Достоинство этих инструментов – универсальность. Ими можно нарезать колеса данного модуля с различным числом зубьев. При этом точность нарезаемых колес выше точности колес, полученных методом копирования. Недостатки: сложная кинематика зуборезных станков и конструкция самих инструментов.

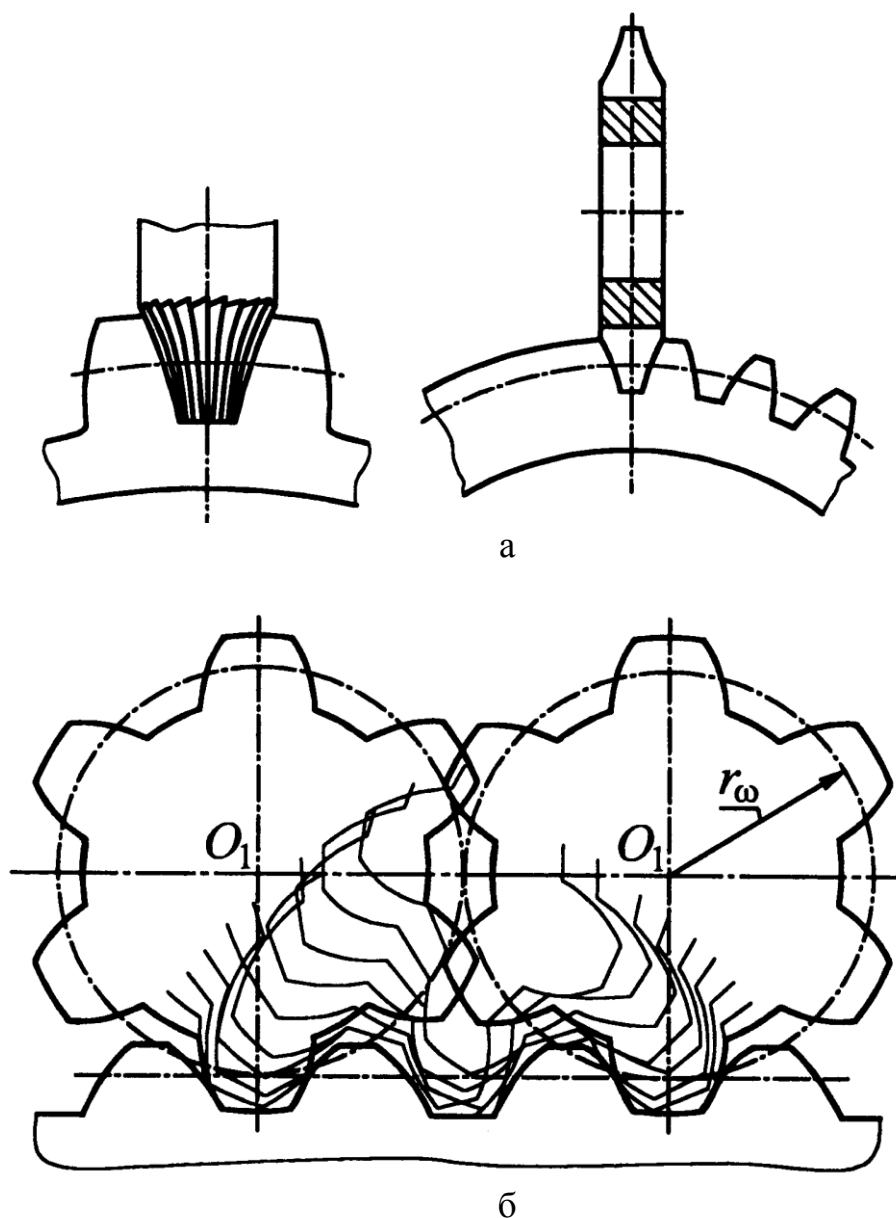


Рис. 5.1. Образование профиля зубьев колес при обработке методами копирования (а) и огибания (б)

5.1.2. Исходная инструментальная рейка

Играет такую же роль для инструментов, как и зубчатая рейка для цилиндрических колес, т.е. лежит в основе образования исходных инструментальных поверхностей и служит для определения основных размеров зубьев инструмента. По своему рабочему профилю обе рейки конгруэнтны.

Инструментальная рейка отличается от зубчатой высотой головки, которая берется больше на размер радиального зазора в передаче, и толщиной зуба, принимаемой из условия обеспечения бокового зазора в передаче и припуска под последующую обработку зубчатых колес.

Профиль рейки принимают за профиль зубьев зубострогальных гребенок в проекции на торцовую плоскость заготовки, а также за профиль зубьев червячных фрез в нормальном сечении, если к их точности не предъявляют повышенных требований. В других случаях его используют в качестве исходных данных для расчета профиля зубьев инструмента.

Размеры зубьев инструментов, обрабатывающих эвольвентные цилиндрические колеса, определяются параметрами исходной инструментальной рейки (рис. 5.2), элементы которой пропорциональны модулю

$$m = P_n / \pi ,$$

где P_n – шаг зубьев по нормали на делительном цилиндре, мм.

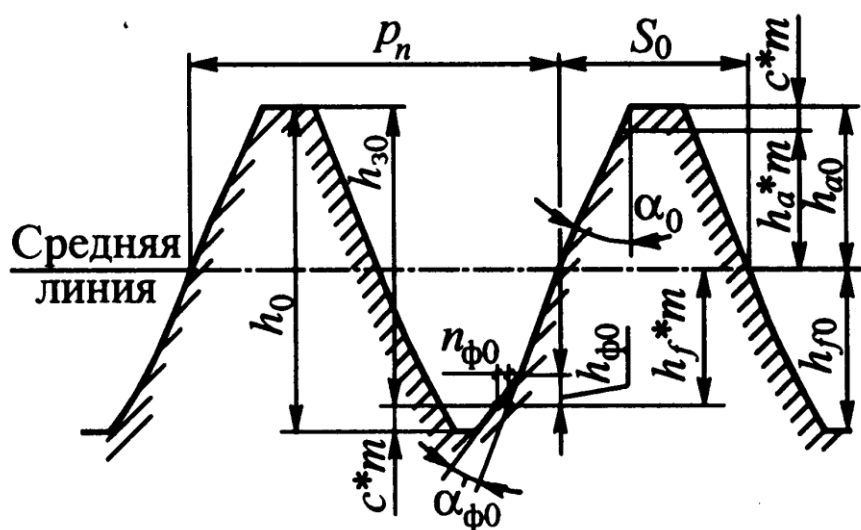


Рис. 5.2. Исходный контур инструментальной рейки для эвольвентных зубчатых колес

Высота начальной головки и ножки зуба инструментальной рейки

$$h_{a0} = h_{f0} = (h_a^* + c^*)m , \quad (5.1)$$

где $h_a^* = 1,0$ или $0,8$ – коэффициент высоты; $c^* = 0,25$ или $0,3$ – коэффициент радиального зазора.

Толщину зуба рейки принимают с учетом обеспечения в зубчатой передаче обязательного бокового зазора

$$S_0 = \frac{\pi m}{2} + \Delta S ,$$

где ΔS – утолщение зуба рейки (табл. 5.1).

У инструментов для предварительной обработки высоту h_{a0} увеличивают примерно на $0,1\sqrt{m}$ с целью разгрузки от работы вершин зубьев чистовых инструментов, а толщину зубьев уменьшают на величину припуска ΔS_{II} под последующую обработку. Величину ΔS_{II} принимают:

$1,2\sqrt[3]{m} \operatorname{tg} \alpha$ – для чистового зубофрезерования или зубодолбления;

$0,5\sqrt[3]{m} \operatorname{tg} \alpha$ – шлифования;

$0,035m$ – шевингования.

Если нарезаемое колесо имеет срез у головки (модифицированный профиль), то ножка зуба инструментальной рейки должна иметь утолщение с параметрами $n_{\phi 0}$, $h_{\phi 0}$ и $\alpha_{\phi 0}$, принимаемыми в соответствии с их размерами у стандартной зубчатой рейки.

Таблица 5.1. Утолщение зуба инструментальной рейки и допуск на толщину зуба инструмента, мм

m	ΔS	Допуск для класса точности		m	ΔS	Допуск для класса точности	
		А	В			А	В
1-2	0,10	0,025	0,032	9-10	0,26	0,05	0,063
2,25-3,75	0,14	0,032	0,04	11-16	0,34	0,063	0,08
4-5,5	0,16	0,04	0,05	18	0,37	0,08	0,01
6	0,20	0,04	0,05	20	0,42	0,08	0,01
6,5-8	0,22	0,05	0,063	22-25	0,46	0,08	0,01

5.1.3. Геометрические параметры цилиндрических эвольвентных зубчатых колес и их зацепления

В машиностроении наибольшее распространение получили цилиндрические зубчатые передачи с эвольвентным зацеплением. При расчете режущих инструментов для их изготовления необходимо знать геометрические параметры зубчатых колес и их зацепления.

Торцовый модуль

$$m_{t1} = m_{n1} / \cos \beta_1, \text{ при } \beta_1 = 0 \quad m_{t1} = m_{n1}. \quad (5.2)$$

Делительный диаметр

$$d_1 = m_{t1} z_1. \quad (5.3)$$

Профильный угол в торцовом сечении

$$\alpha_{t1} = \arctg \left(\frac{tg \alpha_{n1}}{\cos \beta_1} \right) . \quad (5.4)$$

Радиус основного цилиндра

$$r_{b1} = r_1 \cos \alpha_{t1} = \frac{d_1}{2} \cos \alpha_{t1} . \quad (5.5)$$

Угол давления эвольвенты на цилиндре произвольного радиуса r_{y1}

$$\alpha_{y1} = \arccos \frac{r_{b1}}{r_{y1}} . \quad (5.6)$$

Угол развернутости эвольвенты зуба

$$\nu = tg \alpha . \quad (5.7)$$

Эвольвентный угол профиля зуба, рад,

$$inv \alpha = tg \alpha - \alpha . \quad (5.8)$$

В справочнике [11, с.12] имеются специальные таблицы инволют:
 $inv \alpha = f(\alpha)$.

Угол β_{y1} наклона зуба колеса на цилиндре произвольного радиуса r_{y1}

$$tg \beta_{y1} = \frac{r_{y1}}{r_1} tg \beta_1 . \quad (5.9)$$

Угол β_{w1} наклона зуба колеса с профильным углом α_{n1} на начальном цилиндре при обработке инструментом с профильным углом α_{n0} (в общем случае, когда $r_{w1} \neq r_1$)

$$\sin \beta_{w1} = \frac{\sin \beta_1 \cos \alpha_{n1}}{\cos \alpha_{n0}} . \quad (5.10)$$

Профильный угол (α_{tw1} зуба колеса на начальном цилиндре обработки в торцовой плоскости)

$$tg\alpha_{tw1} = \frac{tg\alpha_{n0}}{\cos\beta_{w1}} . \quad (5.11)$$

Для прямозубых колес, т.е. при $\beta_1=0$, $\alpha_{tw1} = \alpha_{n0}$.
Радиус начального цилиндра обработки колеса

$$r_{w1} = \frac{r_{b1}}{\cos\alpha_{tw1}} . \quad (5.12)$$

Толщина зуба корригированного колеса в сечении, нормальном к винтовой линии на делительном цилиндре, при коэффициенте смещения исходного контура x

$$S_{n1} = \frac{\pi m_{n1}}{2} - \Delta S + 2xm_{n1}tg\alpha_{n1} . \quad (5.13)$$

Высота делительной головки зуба корригированного колеса

$$h_{a1k} = h_{a1} + xm = \left(h_a^* + x \right) m . \quad (5.14)$$

Высота делительной ножки зуба корригированного колеса

$$h_{f1k} = h_{f1} - xm = \left(h_f^* + c^* - x \right) m . \quad (5.15)$$

Радиус окружности вершин зубьев

$$r_{a1} = r_1 + h_{a1k} . \quad (5.16)$$

Радиус окружности впадин зубьев

$$r_{f1} = r_1 - h_{f1k} . \quad (5.17)$$

Толщина зуба колеса в сечении, нормальном к винтовой линии зуба, на начальном цилиндре

$$S_{nw1} = 2r_{w1} \left(\frac{S_{n1}}{2r_1 \cos\beta_1} + inv\alpha_{t1} - inv\alpha_{tw1} \right) \cos\beta_{w1} . \quad (5.18)$$

Угол зацепления корригированных колес

$$\operatorname{inv}\alpha_{tw12} = \operatorname{inv}\alpha_t + 2 \frac{x_1 + x_2}{z_1 + z_2} \operatorname{tg}\alpha_t. \quad (5.19)$$

Если сопряженные колеса заданы окружными делительными толщинами их зубьев S_{t1} и S_{t2} , то

$$\operatorname{inv}\alpha_{tw12} = \operatorname{inv}\alpha_t + \frac{S_{t1} + S_{t2} - \pi m}{m(z_1 + z_2)}. \quad (5.20)$$

При известном угле зацепления α_{tw} диаметры начальных окружностей

$$d_{w1} = mz_1 \frac{\cos\alpha_t}{\cos\alpha_{tw}}; \quad d_{w2} = mz_2 \frac{\cos\alpha_t}{\cos\alpha_{tw}}, \quad (5.21)$$

межцентровое расстояние

$$a_{w12} = \frac{d_{w1} + d_{w2}}{2} = \frac{m(z_1 + z_2)}{2} \frac{\cos\alpha_t}{\cos\alpha_{tw}}. \quad (5.22)$$

Приведенные формулы (5.2)-(5.22) пригодны и для расчета параметров колеса с z_2 , сопряженного с обрабатываемым колесом, и для расчета зуборезного инструмента. При этом следует присваивать определяемым величинам, относящимся к колесу, парному с нарезаемым, индекс 2, к инструменту – индекс 0, а величинам, относящимся одновременно к обоим элементам рассматриваемой пары, соответственно индексы 12, 10, 20. Например, при определении параметров сопряжения пары зубчатая деталь – инструмент в последних формулах (5.19)-(5.22) надо заменить параметры, характеризующие сопряженное колесо z_2 , параметрами инструмента.

5.1.4. Определение сопряженных участков профилей зубьев эвольвентных колес и инструментов

При проектировании зубообрабатывающих инструментов приходится решать задачи, связанные не только с обеспечением нужной точности обработки эвольвентных участков зубьев, но и с получением требуемых размеров других участков: срезов на вершинах зубьев и соответствующих им фланков на зубьях инструмента, различного рода модификаций у ножек зубьев и соответствующих им профилей на вершинах зубьев инструмента и др. Это относится к инструментам с различными конструктивными и технологическими модификациями профиля зубьев. В связи с этим возникает необходимость в определении сопряженных участков профилей зубьев колес и инструмента.

Размеры их для пары инструментальная рейка – колесо находят из схемы зацепления этой пары в торцовом сечении (рис. 5.3). Зуб колеса показан в двух положениях, соответствующих началу и концу зацепления его с рейкой. На схеме показано: Π – полюс профилирования, A_1B_{11} – активная часть линии профилирования, соответствующая образованию эвольвентного профиля на зубе колеса, A_0B_0 – участок зуба рейки высотой $h_0^{\Gamma} + h_0^{\Pi}$, необходимый для обработки эвольвентного участка $h_1^{\Gamma} + h_1^{\Pi}$ зуба колеса, скругление h_0^3 при вершине и утолщение высотой h_0^{Φ} у основания ножки зуба. Эти участки должны быть сопряженными с соответствующими участками профиля зуба колеса.

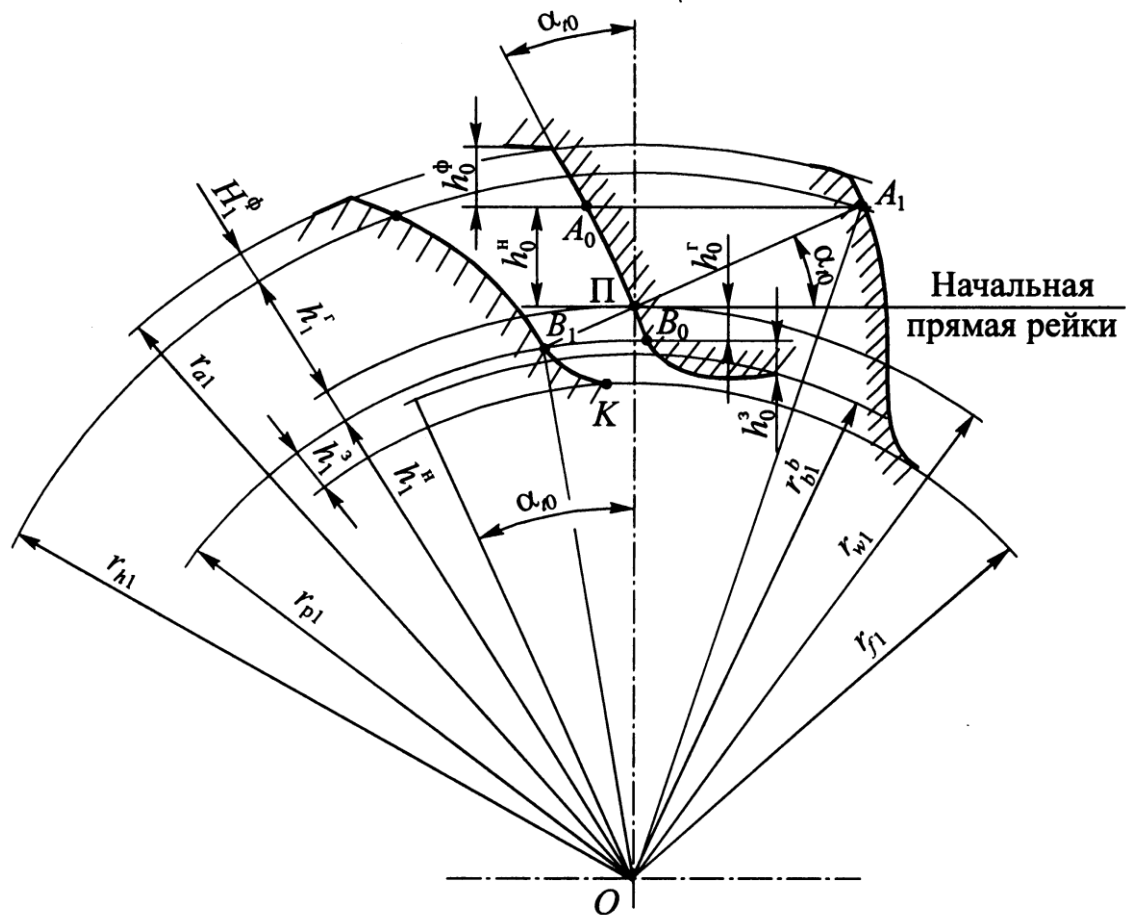


Рис. 5.3. Схема зацепления инструментальной рейки с эвольвентным колесом

Схема характеризует общий случай, когда угол α_{t0} профиля рейки отличен от угла α_{t1} , профиля нарезаемого колеса, при этом радиус начального цилиндра обработки колеса $r_{w1} = r_1 \frac{\cos \alpha_{t1}}{\cos \alpha_{t0}}$. Исходя из геометрических соотношений (рис. 5.3), размеры сопряженных участков определяются зависимостями

$$\begin{aligned} h_0^H &= \sin \alpha_{t0} [\sqrt{r_{w1}^2 \sin^2 \alpha_{t0} + 2r_{w1}h_1^\Gamma + (h_1^\Gamma)^2} - r_{w1} \sin \alpha_{t0}]; \\ h_0^\Gamma &= \sin \alpha_{t0} [r_{w1} \sin \alpha_{t0} - \sqrt{r_{w1}^2 \sin^2 \alpha_{t0} - 2r_{w1}h_1^H + (h_1^H)^2}]; \\ h_1^\Gamma &= \sqrt{r_{w1}^2 + 2r_{w1}h_0^H + (h_0^H)^2 \csc^2 \alpha_{t0}} - r_{w1}; \\ h_1^H &= r_{w1} - \sqrt{r_{w1}^2 - 2r_{w1}h_0^\Gamma + (h_0^\Gamma)^2 \csc^2 \alpha_{t0}}. \end{aligned}$$

Радиусы окружностей, проходящих через верхние и нижние точки активных профилей зубьев колеса:

$$r_{h1} = r_{w1} + h_1^I = \sqrt{r_{w1}^2 + 2r_{w1}h_0^H + (h_0^H)^2 \csc^2 \alpha_{t0}};$$

$$r_{p1} = r_{w1} - h_1^H = \sqrt{r_{w1}^2 - 2r_{w1}h_0^I + (h_0^I)^2 \csc^2 \alpha_{t0}}.$$

Для пары колес сопряженные участки профилей их зубьев находятся через соответствующие им сопряженные точки профиля, которые определяют следующим образом. Если на профиле зуба колеса z_2 дана произвольная точка E , характеризуемая радиусом r_{E2} проходящей через нее окружности, то радиус окружности, проходящей через сопряженную с ней точку K профиля зуба парного колеса z_1 находят по формуле

$$r_{K1} = \sqrt{r_{b1}^2 + (a_{w12} \sin \alpha_{tw12} - r_{b2} \operatorname{tg} \alpha_{E2})^2}, \quad (5.23)$$

где $\cos \alpha_{E2} = \frac{r_{b2}}{r_{E2}} = \frac{mZ_2}{2r_{E2}} \cos \alpha_{t2}$; расстояние a_{w12} определяют по формуле (5.22); угол — α_{tw12} по (5.19) или (5.20).

Во избежание интерференции обработанных колес при их зацеплении необходимо, чтобы

$$r_{p12} \geq r_{p10},$$

где r_{p12} и r_{p10} — радиусы окружностей нижних точек активного профиля колеса z_1 при зацеплении его с колесом z_2 и обрабатывающим инструментом z_0 . Их рассчитывают по формуле (5.23), в которой при расчете r_{p10} индексы 2 следует поменять на индексы 0. Значение углов α_E давления эвольвенты следует принимать для точек профиля на окружностях радиусов r_{a2} и r_{a0} вершин зубьев соответственно колеса z_2 и инструмента z_0 .

5.2. ЧЕРВЯЧНЫЕ ЗУБОРЕЗНЫЕ ФРЕЗЫ

5.2.1. Общие сведения

Червячные фрезы применяют для черновой, получистовой и чистовой обработки прямозубых, косозубых и шевронных цилиндрических колес в диапазоне модулей 0,1-40 мм, а также для нарезания зубьев червячных колес с различными видами зацепления. Нарезание

цилиндрических зубчатых колес червячными фрезами имеет наибольшее распространение в машиностроении, т.к. является универсальным способом, с высокой точностью и производительностью процесса обработки. Червячная зуборезная фреза предназначена для обработки профилей зубчатых деталей методом обкаточного огибания и относится к группе обкатных многолезвийных инструментов с конструктивным движением обката.

Конструкции стандартных зуборезных фрез регламентируются ГОСТ 10331-80; ГОСТ 18692-73; ГОСТ 9324-80. Стандартные червячные зуборезные фрезы (ГОСТ 9324-80) изготавливаются шести классов точности: ААА; АА; А; В; С; Д. Прецизионные фрезы классов ААА и АА нарезают зубчатые колеса 6 и 7 степени точности по ГОСТ 1643-81, фрезы общего назначения класса А – 8 степени, класса В – 9, класса С – 10 и класса Д – 11 степени точности. ГОСТ 9324-80 устанавливает три типа фрез:

- тип 1 – цельные фрезы повышенной точности классов ААА, АА;
- тип 2 – цельные фрезы общего назначения классов точности А, В, С и Д нормальной и увеличенной длины;
- тип 3 – сборной конструкции классов точности АА, А, В, С и Д нормальных и уменьшенных габаритных размеров.

5.2.2.Методика расчета червячных фрез для нарезания прямозубых и косозубых колес

Проектирование червячных фрез заключается в назначении размеров конструктивных элементов, геометрических параметров и, главным образом, определении размеров профиля их зубьев в осевом сечении, если фреза выполнена на основе архимедова червяка или в нормальном сечении, если фреза конвольютная. Наружный диаметр, тип основного червяка, число заходов, диаметр посадочного отверстия и другие параметры фрез являются конструктивными элементами, поэтому их выбирают по нормальям или стандартам либо задают исходя из паспортных данных станка и опыта эксплуатации фрез (рис. 5.4).

Исходными данными для расчета являются параметры пары сопряженных колес: m_n , α_1 , z_1 , z_2 , x_1 , x_2 , направление (правое или левое) и угол наклона зубьев β_1 , обрабатываемый материал, степень точности колес.

Геометрические параметры зубчатого колеса определяют по формулам (5.2)-(5.6), (5.9)-(5.13) и (5.18).

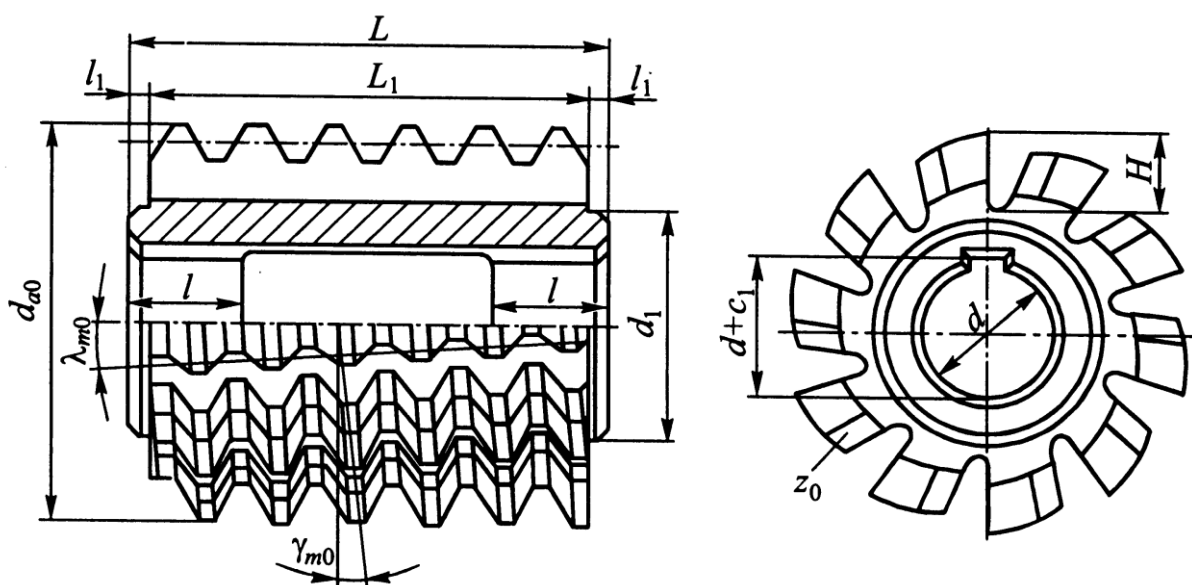


Рис. 5.4. Конструктивные и геометрические элементы червячной зуборезной фрезы

Число заходов фрезы (Z_{10}). Однозаходные червячные фрезы дают высокую точность обработки, просты в изготовлении и эксплуатации. Поэтому чистовые фрезы проектируются однозаходными, т. е. $Z_{10}=1$.

Многозаходные фрезы применяются с целью повышения производительности зубонарезания, но при этом снижается точность обработки и увеличивается шероховатость обработанной поверхности. При этом для уменьшения погрешностей обработки число заходов Z_{10} не должно быть кратным числу зубьев нарезаемого колеса z_1 и числу z_0 . Для черновых фрез и при отсутствии повышенных требований к точности обработки можно принимать $Z_{10}=2, 3$ или 4 .

Расчетный профильный угол исходной рейки в нормальном сечении α_0 . В подавляющем большинстве случаев профильный угол исходной рейки (рис. 5.5) в нормальном сечении принимается равным углу профиля нарезаемого зубчатого колеса, т.е. $\alpha_0 = \alpha_1$. Однако в некоторых случаях профильный угол исходной рейки в нормальном сечении принимается отличным от угла профиля нарезаемого колеса. В данном пособии подобные случаи не рассматриваются.

Нормальный шаг (между соседними профилями фрезы)

$$P_{n0} = \pi m_0.$$

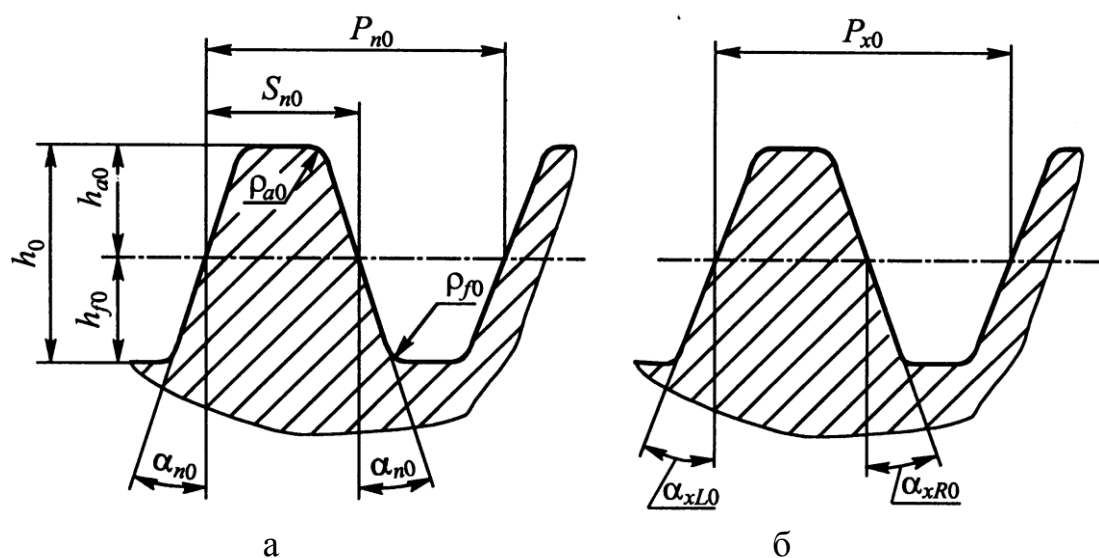


Рис. 5.5. Профиль зубьев: а – в нормальном; б – осевом сечениях

Величина хода по нормали (только для многозаходных фрез)

$$P_{nz0} = \pi \cdot m_0 \cdot Z_{10} \cdot$$

Подсчет величин P_{n0} и P_{nz0} ведется с точностью до 0,001 мм.

Толщина зуба в нормальном сечении (S_{n0}) на делительной прямой:
для чистовых фрез

$$S_{n0} = P_{n0} - S_{n1};$$

для черновых фрез

$$S_{n0} = P_{n0} - S_{n1} - \Delta S_{II},$$

где ΔS_{II} – величина припуска по толщине зуба на чистовую обработку (см. п. 5.1.2); S_{n1} – толщина зуба колеса на делительном цилиндре (определяется по формуле (5.13)).

Таблица 5.2. Величины припусков по толщине зуба под чистовое фрезерование зубчатых колес, мм

m_0 , мм	Величина припуска, ΔS_{II}
От 2 до 4	0,4
От 4 до 6	0,6

От 6 до 8	0,8
От 8 до 10	1,0

Высота головки зуба фрезы h_{a0} . Головка зуба фрезы обрабатывает ножку зуба колеса, поэтому

$$h_{a0} = h_{f1}.$$

Высота ножки зуба фрезы h_{f0} . Ножка зуба фрезы обрабатывает головку зуба колеса. Чтобы основание впадины между зубьями фрезы не обрабатывало наружную поверхность зубьев колеса, между ними предусматривается зазор, равный радиальному зазору передачи:

$$h_{f0} = h_{a1} + c^* \cdot m.$$

При обработке колес без смещения ($x_1 = x_2 = 0$) высоту головки и ножки зуба фрезы вычисляют по формуле (5.1).

Высота зуба фрезы

$$h_0 = h_{a0} + h_{f0}.$$

Величины h_0 , h_{a0} , h_{f0} подсчитывают с точностью до 0,01 мм.

Радиус закругления головки ρ_{a0} и ножки ρ_{f0} зуба фрезы. С увеличением радиуса закругления головки зуба возрастает стойкость фрезы, однако при этом увеличивается длина переходной кривой на зубе нарезаемого колеса:

$$\rho_{a0} = 0,25m_0;$$

$$\rho_{f0} = 0,3m_0.$$

Величины ρ_{a0} и ρ_{f0} подсчитывают с точностью до 0,01 мм.

Модифицирование профиля применяют с целью улучшения условий работы передачи, оно заключается в незначительном срезании вершины зубьев колеса. Для обработки таких колес на ножке зубьев фрезы делается утолщение (см. рис. 5.2). Высоту утолщения $h_{\phi 0}$ принимают равную высоте модифицированного участка профиля головки зуба нарезаемого колеса $h_{\phi 1}$:

$$h_{\phi 0} = h_{\phi 1} .$$

Угол утолщения $\Delta a_{\phi 0}$ принимают равным углу модификации профиля головки зуба нарезаемого колеса $\Delta a_{\phi 1}$:

$$\Delta a_{\phi 0} = \Delta a_{\phi 1} .$$

Величина переднего угла на вершине зуба γ_{a0} . Чистовые фрезы проектируют с передним углом на вершине зуба $\gamma_{a0} = 0$. При этом облегчаются расчет параметров, контроль и технология изготовления фрез.

Из теории резания металлов известно, что величина переднего угла инструмента зависит от физико-механических свойств обрабатываемого материала и материала режущей части инструмента. Червячные зуборезные фрезы с оптимальными передними углами имеют стойкость в несколько раз больше, чем фрезы с нулевыми передними углами. Но фрезы с передним углом, не равным нулю, искажают профиль зуба нарезаемого колеса, поэтому требуется трудоемкая корректировка профиля фрезы.

Черновые фрезы с целью облегчения процесса резания проектируют с передним углом при вершине, равным $\gamma_{a0} = 5...10^\circ$, причем корректировка профиля не производится, т.к. получаемые погрешности профиля укладываются в припуск на чистовое фрезерование.

Величина заднего угла при вершине зубьев фрезы α_{a0} принимается равной $10...12^\circ$.

Величина заднего угла на боковых сторонах α_δ

$$\operatorname{tg} \alpha_{\delta} = \operatorname{tg} \alpha_{a0} \cdot \sin \alpha .$$

Задний угол на боковых сторонах должен быть не менее 2° . В противном случае необходимо увеличить α_{a0} .

Наружный диаметр фрезы d_{a0} . С увеличением наружного диаметра фрезы d_{a0} повышается точность нарезаемого зубчатого колеса, улучшается качество обработанной поверхности. Однако с повышением диаметра фрезы увеличивается расход инструментального материала, снижается производительность зубофрезерования, т.к. при одной и той же скорости резания приходится уменьшать число оборотов фрезы. Кроме того, максимально допустимый диаметр фрезы ограничивает размеры узла крепления станка. Поэтому для черновых фрез принимают максимально возможный диаметр, для чистовых – из условия обеспечения требуемой точности и чистоты обработанной поверхности. Наружные диаметры стандартных червячно-модульных фрез приведены в табл. 5.3.

Число зубьев (число стружечных канавок) фрезы z_0 . Влияет на количество резцов, формирующих профиль зубьев колеса, высоту гребешков, получающихся в процессе обработки, толщину срезаемого слоя, равномерность фрезерования. Для улучшения чистоты обработки число зубьев необходимо принимать по возможности большим, учитывая при этом возможности затылования.

Чаще всего число зубьев ориентировочно определяется из условия равномерности фрезерования по формуле

$$z_0 = 1,3 \cdot \frac{360^\circ}{\varphi},$$

где φ – угол контакта фрезы с заготовкой, град.

Таблица 5.3. Величины наружных диаметров стандартных червячных зуборезных фрез, мм

m_0 , мм	Тип 2	Тип 1
1	40	71
1,125	50	71
1,25	50	71
1,375	50	80
1,5-1,75	63	80
2	63	90
2,25	71	90
2,5-2,75	71	100
3-3,5	80	112
3,75	90	112
4-4,5	90	125
5	100	140
5,5	112	140
6	112	160
6,5-7	118	160
8	125	180
9	140	180
10	150	180

Приблизленно угол контакта фрезы с заготовкой можно определить по формуле [3]

$$\varphi = \arccos \frac{d_{a0} - 2h_a}{d_{a0}}.$$

Полученное значение z_0 округляют до целого числа. С целью упрощения контроля наружного диаметра фрезы рекомендуется принимать четное число зубьев. Числа зубьев стандартных фрез можно также определить по табл. 5.4.

Таблица 5.4. Число зубьев (стружечных канавок) стандартных фрез

m_0 , мм	1-1,75	2-2,75	3-5,5	6	6,5-10
Обычные фрезы	12	12	10	10	9
Фрезы с увеличенным диаметром	16	14	14	12	12

Величина затылования K (с точностью до 0,5 мм при $m_0 < 7$ мм и до 1 мм при $m_0 > 8$ мм, рис. 5.6):

$$K = \frac{\pi d_{a0}}{z_0} \operatorname{tg} \alpha_{a0}.$$

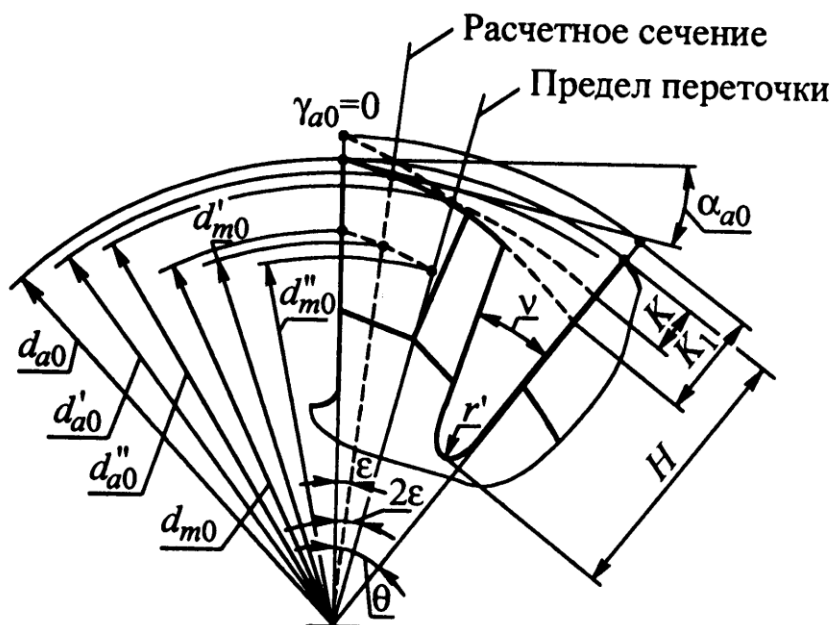


Рис. 5.6. Зуб червячной зуборезной фрезы

Величина дополнительного затылования K_1 для зубьев со шлифованным профилем назначается в 1,2-1,5 раза больше величины основного затылования:

$$K_1 = (1,2 \dots 1,5) K.$$

Полученный результат округляется в большую сторону до 0,5 мм при $m_0 < 7$ мм и до 1 мм при $m_0 > 8$.

Глубина стружечной канавки H :

для фрез со шлифованным профилем

$$H = h_0 + \frac{K + K_1}{2} + r';$$

с нешлифованным профилем

$$H = h_0 + K + r',$$

где r' – радиус закругления дна канавки.

Для стандартных фрез величина r' приведена в табл. 5.5.

Таблица 5.5. Величины радиуса закругления дна канавки стандартных фрез, мм

m_0 , мм	2-2,25	2,5 - 9	10
r'	1,5	2,0	2,5

Угол профиля стружечной канавки ν_k (см. рис. 5.6) назначается в зависимости от числа зубьев фрезы согласно табл. 5.6.

Таблица 5.6. Величины угла профиля стружечной канавки

z_0	8	9-10	12 и больше
ν_k , град	25	22	18

Расчетный диаметр делительного цилиндра фрезы d_{mo} . Важным элементом фрезы является расчетный диаметр, который соответствует диаметру делительного цилиндра основного червяка d_{mo} . По нему определяют углы наклона продольной канавки, угол подъема витков фрезы и другие величины. По мере переточек с уменьшением наружного

диаметра фрезы уменьшается и действительный средний диаметр профиля зубьев, следовательно, изменяется и угол подъема витков фрезы, и угол наклона продольной канавки. Для уменьшения отклонения фактических размеров угла подъема витков и угла наклона продольных канавок от расчетных средний диаметр фрезы при ее проектировании принимают в сечении, отстоящем от передней поверхности на $0,1...0,25$ окружного шага (см. рис. 5.6). Тогда расчетный диаметр d_{m0} определяют по формуле

$$d_{m0} = d_{a0} - 2 \cdot h_{a0} - (0,25...0,3) \cdot K.$$

Величину среднего расчетного диаметра подсчитывают с точностью до $0,01$ мм.

Направление витков фрезы. Если фреза предназначена для нарезания прямозубых колес, то принимается правое направление витков, если для косозубых колес одноименное с наклоном зуба колеса, т.е. для колеса с правым наклоном зуба, – правое направление витков фрезы.

Направление стружечных канавок. Для получения на обеих сторонах зубьев одинаковых передних углов стружечные канавки делают винтовыми. Передняя поверхность канавок располагается нормально к виткам по среднему расчетному цилиндру, т.е. на расчётном цилиндре угол наклона канавки равен углу подъема витков. Поэтому направление стружечных канавок обратно направлению витков фрезы: для правых витков – канавки левые и наоборот.

При небольшом угле подъема витков, не более 6° , допускается изготовление фрез с прямыми осевыми стружечными канавками (параллельными оси фрезы).

Угол подъема витков фрезы на начальном цилиндре γ_{m0} в расчетном сечении, необходимый для определения угла установки фрезы на станке относительно обрабатываемого колеса, определяется с точностью до $1'$:

$$\sin \gamma_{m0} = \frac{m_0 Z_{10}}{d_{m0}}.$$

Угол наклона винтовой стружечной канавки λ_{m0} (только для фрез с винтовыми стружечными канавками). На среднем расчетном диаметре угол наклона винтовой стружечной канавки равен углу подъема витков фрезы:

$$\lambda_{m0} = \gamma_{m0}.$$

Ход (шаг) винтовых стружечных канавок

$$T_z = \pi d_{m0} \operatorname{ctg} \lambda_{m0}.$$

Величина осевого шага винтовой стружечной канавки определяется с точностью до 1 мм.

Осевой шаг витков фрезы [3]

$$P_{x0} = \frac{P_{n0}}{\cos \gamma_{m0}}.$$

Величина осевого шага определяется с точностью до 0,001 мм.

Осевой шаг захода фрезы (только для многозаходных фрез):

$$P_{xz0} = \frac{P_{nz0}}{\cos \gamma_{m0}}.$$

Величина осевого шага захода определяется с точностью до 0,001 мм.

Профилирование червячных фрез. Для точного нарезания зубьев колеса необходимо, чтобы режущие кромки червячной фрезы находились на поверхности эвольвентного червяка. Однако такие фрезы практически не применяются 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. При замене исходного эвольвентного червяка на приближенный приходится решать задачу профилирования, т.е. определения угла профиля червяка α_c , заменяющего эвольвентный червяк.

Наибольшее распространение получили приближенные методы профилирования: профиль зубьев принимается прямолинейным в осевом сечении (архимедов червяк) или нормальном сечении (конволютный червяк). В 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 получают 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.

Прецизионные фрезы проектируются на основе архимедова червяка, который имеет наибольшее приближение к эвольвентному. При отсутствии повышенных требований к точности зубьев фрезы черновые червячные зуборезные фрезы проектируются на основе конволютных червяков.

Расчетные профильные углы для правой и левой сторон профиля α_R и α_L в нормальном и осевом сечениях.

В нормальном сечении (для всех типов фрез):

для фрез с $\gamma_{m0} < 3^\circ$

$$\alpha_R = \alpha_L = \alpha_{\text{Ч}} = \alpha_0;$$

для фрез с $\gamma_{m0} > 3^\circ$

$$\alpha_R = \alpha_L = \alpha_{\text{Ч}} = \alpha_0 + \Delta\alpha.$$

В осевом сечении если фреза, спроектированная на основе архимедова червяка, имеет прямые осевые стружечные канавки, то величина профильного угла будет одинаковой для правой и левой сторон профиля:

$$\operatorname{tg} \alpha_R = \operatorname{tg} \alpha_L = \operatorname{tg} \alpha_{\text{Ч}} = \operatorname{ctg} \alpha_0 \cos \gamma_{m0},$$

где $\alpha_{\text{Ч}}$ – профильный угол основного червяка (при $\gamma_{m0} < 3^\circ$ $\alpha_{\text{Ч}} \approx \alpha_0$).

Если фреза, спроектированная на основе архимедова червяка, имеет винтовые стружечные канавки, то величины профильного угла для правой и левой сторон будут различными:

$$\operatorname{ctg} \alpha_{xR} = \operatorname{ctg} \alpha_0 \mp \frac{K \cdot z_0}{T_z}; \quad (5.24)$$

$$\operatorname{ctg} \alpha_{xL} = \operatorname{ctg} \alpha_0 \pm \frac{K \cdot z_0}{T_z}. \quad (5.25)$$

В формулах (5.24) и (5.25) верхние знаки относятся к правозаходным фрезам, нижние – к левозаходным.

Диаметр посадочного отверстия d . Посадочное отверстие служит для крепления и базирования фрезы на оправке. Для увеличения жесткости

крепления диаметр отверстия d следует брать по возможности больше. Ориентировочно его величина определяется для черновых фрез по формуле

$$d = 20m^{0,373};$$

для чистовых и прецизионных фрез

$$d = 20m^{0,4}.$$

Полученное значение d корректируется согласно нормальному ряду диаметров отверстий насадного инструмента [11, 12, 15]: 16, 22, 27, 32, 40, 50, 60, 70 (мм). Диаметры посадочных отверстий стандартных фрез общего назначения и с увеличенным диаметром приведены в табл. 5.7 и 5.8 соответственно.

Таблица 5.7. Величины диаметров посадочных отверстий стандартных фрез общего назначения, мм

d_{a0}	50	63-71	80-100	112-140	150-190
d	22	27	32	40	50

Таблица 5.8. Величины диаметров посадочных отверстий стандартных фрез с увеличенным наружным диаметром, мм

d_{a0}	71-80	90-112	125-140	160-180	200-212
d	32	40	50	60	70

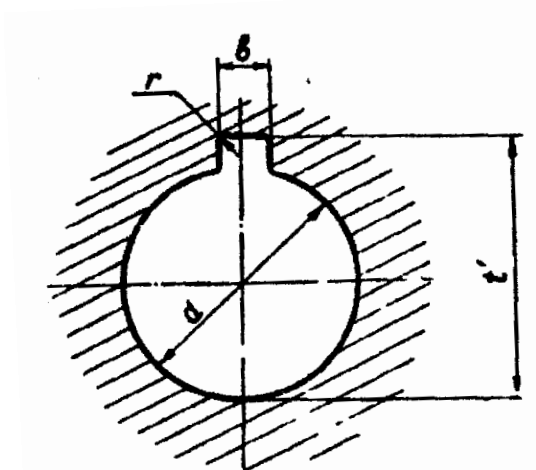


Рис. 5.7. Шпоночный паз

Тип шпоночного паза.

Червячные зуборезные фрезы могут быть с продольным или торцовым шпоночным пазом. Продольный шпоночный паз (рис. 5.7) дает возможность сравнительно просто контролировать биение фрезы, передвигать фрезу вдоль оправки, однако он ослабляет тело фрезы. Торцовый шпоночный паз тело фрезы не ослабляет, но усложняется контроль биения фрезы. В настоящее время червячные зуборезные фрезы

изготавливаются только с продольным шпоночным пазом. Размеры шпоночного паза назначают в зависимости от его типа и диаметра посадочного отверстия согласно ГОСТ 9472-90. Размеры продольного шпоночного паза для часто встречающихся диаметров посадочного отверстия приведены в табл. 5.9.

Таблица 5.9. Конструктивные размеры продольного шпоночного паза, мм

Диаметр посадочного отверстия		16	22	27	32	40	50	60	70
<i>b</i>	Номинальный	4	6	6	8	10	12	14	16
	Предельное отклонение	+0,24 +0,08	+0,24 +0,08	+0,24 +0,08	+0,30 +0,10	+0,30 +0,10	+0,36 +0,12	+0,36 +0,12	+0,36 +0,12
<i>t'</i>	Номинальный	17,7	24,1	29,4	34,8	43,5	53,5	64,2	75
	Предельное отклонение	+0,43	+0,52	+0,52	+0,62	+0,62	+0,74	+0,74	+0,74
<i>r</i>		0,5	0,5	0,8	0,8	1,0	1,0	1,2	1,5

Диаметр выточки в отверстии фрезы для уменьшения посадочной поверхности с точностью до 1 мм

$$d_{\text{выт}} = 1,05d .$$

Диаметр буртиков d_1 . По бокам фрезы делают буртики диаметром d_1 на 1-2 мм меньше окружности, проходящей через дно канавки фрезы. Они служат для контроля биения фрез при установке их на зубофрезерном станке. Поверхность буртиков выполняют строго концентрично с витками основного червяка, проходящего через режущие кромки фрез. Диаметр буртиков определяют по формуле

$$d_1 = d_{a0} - 2H - (1...2) .$$

Величину d_1 подсчитывают с точностью до 1 мм. Диаметры буртиков стандартных фрез приведены в табл. 5.10.

Ширина буртиков l_1 . Принимается равной 3-6 мм. Ширина буртиков l_1 стандартных фрез приведена в табл. 5.11.

Длина рабочей части фрезы L_1 . В основу расчета длины рабочей части фрезы положено следующее соображение: длина рабочей части фрезы

должна быть не меньше длины проекции линии зацепления на начальную прямую рейки $L_1 = h_0 \operatorname{ctg} \alpha_{a0}$.

Таблица 5.10. Величины диаметров буртиков стандартных фрез, мм

m_0	1-1,375	1,5-1,75	2-2,75	3-3,75	4-5	5,5	6-7	8	9-10
d_1 (фрезы обычные)	35	40	40	50	50	60	60	60	63
d_1 (фрезы с увеличенным диаметром)	50	50	63	63	80	80	100	125	125

Таблица 5.11. Величина ширины буртиков стандартных фрез, мм

m_0	1-3,25	3,5-7	7-14	14-20
l_1	3	4	5	6

При работе червячная фреза изнашивается неравномерно. Для увеличения срока её службы желательно периодически передвигать фрезу на оправке и вводить в работу не затупившиеся зубья. В связи с этим при расчете длины рабочей части фрезы предусматривают некоторый запас длины, равный ($X \cdot P_{n0}$), на возможные перемещения на оправке. Кроме того, часть крайних зубьев у торцов фрезы получается уменьшенной толщины из-за типового характера витков фрезы. Чтобы исключить их из работы, увеличивают длину фрезы еще на один шаг. Длину рабочей части фрезы определяют по формуле

$$L_1 = h_0 \cdot \operatorname{ctg} \alpha_{a0} + X \cdot P_{n0} .$$

Значения коэффициента X приведены в табл. 5.12. При применении больших передвижек рабочую длину фрез следует увеличить в 1,25...1,8 раза.

Общая длина фрезы L с продольным шпоночным пазом складывается из длины рабочей части фрезы и ширины двух контрольных буртиков:

$$L = L_1 + 2l_1 .$$

Общую длину фрезы подсчитывают с точностью до 1 мм. Общая длина стандартных фрез с продольным шпоночным пазом приведена в табл. 5.13.

Таблица 5.12. Величины коэффициента X в формулах для расчета длины рабочей части фрезы

m_0 , мм	1-2	2 -5	5-15	Св. 15
X	13...7	5,5...3,5	3...2	1,8...1,4

Таблица 5.13. Величина общей длины стандартных фрез с продольным шпоночным пазом, мм

m_0	1-1,125	1,25	1,375	1,5	1,75	2	2,25	2,5-2,75	3-3,5
L (фрезы обычные)	32	40	40	45	50	50	56	63	71
L (фрезы увеличенного диаметра)	71	71	80	80	80	90	40	100	112

m_0	3,75	4	4,25-4,	5	5,5	6	6,5	7	8	9	10
L (фрезы обычные)	80	85	90	100	112	112	118	125	140	150	170
L (фрезы увеличенного диаметра)	112	174	125	10	140	160	160	160	180	200	224

Длина шлифованной части посадочного отверстия l с каждого торца (подсчитывается с точностью до 1 мм) определяется по формуле

$$l = (0,2...0,3)L .$$

5.2.3. Технические требования

Режущая часть фрезы должна быть изготовлена из быстрорежущей стали марок, предусмотренных ГОСТ 19265-73. При этом карбидная неоднородность должна быть в пределах 3-4 баллов.

Твердость режущей части фрез должна быть 63-66 HRC_Э, твердость режущей части фрез, изготовленных из быстрорежущей стали с содержанием ванадия 3 % и более, а также кобальта 5 % и более, – 64-67 HRC_Э.

Твердость отверстия и торцов фрез – не ниже 40-45 HRC_Э.

Фрезы изготавливаются со шлифовальным профилем. Шлифованная часть у фрез должна быть не менее $1/2$ длины зуба, считая по наружному диаметру.

Неполные витки снимаются с таким расчетом, чтобы ширина верхней части зуба по всей его длине была не менее 0,5 модуля.

Указываются величины предельных отклонений на основные элементы червячно-модульных фрез.

Маркировать: модуль, класс точности, профильный угол, угол подъема винтовой линии, шаг винтовой стружечной канавки, марку стали режущей части.

5.2.4. Оформление рабочего чертежа

Рабочий чертеж червячных зуборезных фрез (рис. 5.8) выполняют в соответствии с ЕСКД. Две основные проекции фрезы вычерчивают обязательно в масштабе 1:1. На проекциях указывают конструктивные параметры фрезы: наружный и средний расчетный диаметры, размеры посадочного отверстия и шпоночного паза, размеры буртиков и т.п. При необходимости отдельно изображают профиль зуба в сечении, перпендикулярном оси фрезы, на котором показывают величины основного и дополнительного затылования, глубину стружечной канавки, величину радиуса закругления дна канавки.

Для конволютных фрез в масштабе увеличения вычерчивают профиль зубьев фрезы в нормальном сечении к виткам. На этом профиле показывают величины шага и шага захода по нормали, толщину зуба в нормальном сечении, высоту головки, ножки в полную высоту зуба фрезы, радиусы закругления головки и ножки, профильные углы для правой и левой сторон профиля.

Для архимедовых фрез вычерчивают два профиля: в нормальном и осевом сечении. В нормальном сечении показывают линейные размеры исходной рейки, в осевом – линейные и угловые размеры фрезы.

В отдельной таблице, которая обычно помещается над техническими условиями в правом верхнем углу чертежа (рис. 5.8), приводят некоторые параметры фрезы (табл. 5.14).

На рабочем чертеже также указывают условия на изготовление инструмента, проставляют знаки обработки поверхностей, предельные отклонения на размеры, приведенные в табл. 5.15 - 5.16.

**Таблица 5.14. Форма таблицы,
помещаемой на рабочем чертеже**

Наименование	Обозначение	Величина
Модуль	m	
Угол профиля исходного контура	α_0	
Число стружечных канавок	Z_0	
Число заходов	Z_{10}	
Направление витков фрезы	-	
Угол подъема витков	γ_{mo}	
Шаг по оси	P_{xo}	
Шаг захода по нормали	P_{xzo}	
Направление стружечной канавки	-	
Шаг стружечной канавки	T_z	

**Таблица 5.15. Параметры шероховатости поверхностей
червячных фрез, мкм**

Класс точности	Модуль m_0 , мм	Посадочное отверстие, R_a	Передняя поверхность, R_z	Задняя боковая поверхность, R_z	Задняя поверхность по вершинам зуба, R_z	Цилиндрическая поверхность буртика, R_z	Торец буртика, R_a
AAA	От 1 до 10	0,16	1,6	1,6	1,6	1,6	0,32
AA	От 1 до 10	0,4	1,6	1,6	1,6	1,6	0,4
	Св. 10 до 25	0,4	1,6	3,2	3,2	3,2	0,8
A	От 1 до 10	0,4	3,2	1,6	3,2	1,6	0,4
	Св. 10 до 25	0,4	3,2	3,2	3,2	3,2	0,8
B	От 1 до 3,5	0,4	3,2	3,2	3,2	3,2	0,8
	Св. 3,5 до 10	0,8	3,2	3,2	3,2	3,2	0,8
	Св. 10 до 25	0,8	6,3	6,3	6,3	6,3	1,6
C,D	От 1 до 10	0,8	6,3	6,3	6,3	6,3	1,6
	Св. 10 до 25	1,6	6,3	6,3	6,3	6,3	1,6

Таблица 5.16. Допуски и предельные отклонения параметров червячных фрез (ГОСТ 9324-80Е)

Параметр	Класс точности	Допуск, мкм, при m_0 , мм				
		От 1 до 2	Св. 2 до 3,5	Св. 3,5 до 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 16
Диаметр посадочного отверстия f_d	AAA AA и A B и C D	H4 H5 H6 H7				
Радиальное биение буртиков f_y	AAA	3	3	4	4	-
	AA	5	5	5	5	6
	A	5	5	6	8	10
	B	6	8	10	12	16
	C	10	12	16	20	20
	D	16	25	32	40	40
Торцовое биение буртиков f_t	AAA	3	3	3	3	-
	AA	3	3	4	5	5
	A	3	4	5	6	8
	B	4	5	6	8	10
	C	8	10	12	16	16
	D	12	16	20	25	25
Радиальное биение по вершинам зубьев f_{rda}	AAA	8	10	12	16	-
	AA	12	16	20	25	32
	A	20	25	32	40	50
	B	32	40	50	63	80
	C	50	63	80	100	125
	D	80	100	125	160	200
Профиль передней поверхности f_γ	AAA	8	10	12	16	-
	AA	12	16	20	25	32
	A	20	25	32	40	50
	B	32	40	50	63	80
	C	63	80	100	125	160
	D	100	125	160	200	250
Разность соседних окружных шагов f_{uo}	AAA	10	12	16	20	-
	AA	12	16	20	25	32
	A	20	25	32	40	50
	B	32	40	50	63	80
	C	63	80	100	125	160
	D	100	125	160	200	250

Продолжение табл. 5.16

Параметр	Класс точности	Допуск, мкм, при m_0 , мм				
		От 1 до 2	Св. 2 до 3,5	Св. 3,5 до 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 16
Направление стружечных канавок f_x	AAA	± 40			-	
	AA	± 63			± 50	
	A	± 80			± 70	
	B	± 100				
	C	± 125				
	D	± 160				
Профиль зуба f_{fo}	AAA	3	4	5	6	-
	AA	5	6	8	10	12
	A	8	10	12	16	20
	B	12	16	20	25	32
	C	20	25	32	40	50
	D	40	50	63	80	100
Толщина зубьев T_{s0}	AAA	-8	-10	-12	-16	-
	AA	-16	-20	-25	-32	-40
	A	-25	-32	-40	-50	-63
	B	-32	-40	-50	-63	-80
	C	-50	-63	-80	-100	-125
	D	-80	-100	-125	-160	-200
Осевой шаг f_{px0}	AAA	-				
	AA					
	A					
	B	± 8	± 10	± 12	± 14	± 16
	C	± 12	± 14	± 18	± 22	± 25
	D	± 22	± 25	± 32	± 40	± 50
Накопленное отклонение шага на длине любых трех шагов f_{px30}	AAA	-				
	AA					
	A					
	B	+12	+16	± 20	± 25	± 25
	C	± 18	± 22	± 25	± 32	± 40
	D	± 32	± 40	± 50	± 63	± 80
Винтовая линия фрезы от зуба к зубу f_{h10}	AAA	3	3	4	4	-
	AA	4	5	6	8	10
	A	6	8	10	12	16
	B	10	12	16	20	25
	C	16	20	25	32	40
	D	-	-	-	-	-

Окончание табл. 5.16

Параметр	Класс точности	Допуск, мкм, при m_0 , мм				
		От 1 до 2	Св. 2 до 3,5	Св. 3,5 до 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 16
Винтовая линия фрезы на одном обороте f_{ho}	AAA	5	6	7	8	-
	AA	6	8	10	12	16
	A	10	12	14	20	25
	B	16	18	22	32	40
	C	25	32	40	50	63
	D	-	-	-	-	-
Винтовая линия фрезы на трех оборотах f_{hzo}	AAA	6	8	10	12	-
	AA	8	10	14	16	25
	A	14	16	20	32	40
	B	25	28	32	50	63
	C	40	50	63	80	100
	D	-	-	-	-	-
Погрешность зацепления от зуба к зубу F_{pb10}	AAA	3	4	4	5	-
	AA	4	5	6	8	10
	A	6	8	10	12	16
	B	10	12	16	20	25
	C	16	20	25	32	40
	D	-	-	-	-	-
Погрешность зацепления на длине активной части F_{pbo}	AAA	7	8	8	10	-
	AA	8	10	12	16	20
	A	12	14	18	25	32
	B	16	22	28	40	50
	C	32	40	50	63	80
	D	-	-	-	-	-
Накопленная погрешность окружного шага стружечных канавок F_{po}	AAA	18	20	25	32	-
	AA	25	32	40	50	63
	A	40	50	63	80	100
	B	63	80	100	125	160
	C	125	160	200	250	315
	D	200	250	315	400	500

5.3. ЗУБОРЕЗНЫЕ ДОЛБЯКИ

Общие положения. Зуборезные долбяки применяют для нарезания зубчатых колес с прямыми и винтовыми зубьями с наружным и внутренним их расположением и с наружными шевронными зубьями. Рассмотрим проектирование специальных долбяков для эвольвентных колес внешнего зацепления с прямыми и винтовыми зубьями ($m=1-12$).

Стандартные зуборезные долбяки рассчитаны из условия нарезания зубчатых колес одного модуля в диапазоне чисел зубьев (обычно 17-120). Они универсальные и, следовательно, более дешевые, но не являются оптимальными для нарезания колес с заданными значениями чисел зубьев.

Специальный долбяк проектируется по заданным модулю и числам зубьев колес сопряженной пары. Такой долбяк нарезает качественную зубчатую пару, хотя может быть применен и для нарезания колес с другими числами зубьев, но показатели работы этой пары будут не оптимальными.

Исходные данные. Параметры зубодолбежного станка и пары сопряженных колес: профильный угол α_n в нормальном сечении, модуль нормальный m_{n1} , число зубьев z_1 и z_2 , угол β_1 наклона зубьев, коэффициенты смещения исходного контура x_1 и x_2 , коэффициент высоты зуба h_a^* , степень точности колес.

Дополнительные расчетные исходные данные. Параметры обрабатываемых колес (определяют по формулам (5.2)-(5.22)):

торцовый модуль m_{t1} ;
делительный диаметр d_1 , d_2 ;
высота делительной головки зуба h_{a1} , h_{a2} ;
высота делительной ножки зуба h_{f1} , h_{f2} ;
профильный угол в торцовом сечении α_t ;
диаметр основного цилиндра d_{b1} , d_{b2} ;
диаметр вершин d_{a1} , d_{a2} ;
диаметр впадин d_{f1} , d_{f2} ;
толщина зуба по нормали на делительном цилиндре S_{n1} , S_{n2} ;
угол зацепления колес α_{tw12} ;
межосевое расстояние в передаче a_{w12} .

Тип долбяка. Долбяки изготавливают трех основных типов: дисковые, чашечные и хвостовые. Базой дисковых и чашечных долбяков являются отверстие и внешний базовый торец. Долбяки на штосселе (шпинделе) зубодолбежного станка крепят гайкой. Гайка и резьбовой конец штосселя станка могут препятствовать обработке блочных колес. Для их обработки применяют чашечные долбяки, у которых передний рабочий торец отстоит на большем расстоянии от базового торца и имеется выемка для размещения крепежной гайки. Хвостовые долбяки применяют обычно для обработки колес с внутренним зубчатым венцом. Диаметральные размеры таких долбяков должны обеспечить размещение долбяка внутри отверстия заготовки.

Долбяки для колес с винтовыми и шевронными зубьями имеют ту же конструкцию, что и прямозубые, но зубья у них винтовые. Переднюю поверхность зубьев выполняют или перпендикулярно к направлению зуба, или в торцовой плоскости; в последнем случае необходима специальная заточка режущих кромок для получения требуемых значений передних углов.

Выбор типа долбяка (дисковый, чашечный или хвостовой) зависит от условия обработки.

Инструментальный материал. Назначается в зависимости от обрабатываемого материала (табл. 2.1). Дисковые и чашечные долбяки изготавливаются из быстрорежущей стали (реже – твердого сплава) преимущественно цельной конструкции. Чаще используются стали Р6М3, Р6М5. При нарезании колес повышенной твердости рекомендуется сталь Р9М4К8Ф.

Основные параметры долбяка. Долбяки образуют зубья колеса методом обкаточного огибания; профиль их зубьев (образующий инструментальную поверхность) является сопряженным к профилю зубьев нарезаемого колеса; для обработки колес с эвольвентными зубьями он тоже имеет эвольвентную форму. Поэтому при проектировании следует соблюдать условия:

$$m_{n0} = m_{n1} = m;$$

$$m_{t0} = m_{t1} = m_t;$$

$$\alpha_{n0} = \alpha_n = \alpha.$$

Геометрические параметры зубьев долбяка. Каждый зуб долбяка имеет три режущие кромки – одну на вершине (по окружности вершин) и две боковые; кромка в основании впадин зубьев в резании не участвует. Боковые задние поверхности зубьев долбяка – эвольвентные винтовые поверхности, передняя поверхность – коническая с прямолинейной образующей.

Значения передних α_B и задних γ_B углов назначаются для вершинного лезвия зуба (по окружности вершин). Они влияют не только на процесс резания, но и на количество возможных переточек, а также на точность профиля нарезаемых колес. Их значения выбирают в ограниченных пределах: $\alpha_B = 6^\circ$, передний угол у черновых долбяков $\gamma_B = 10^\circ$, у чистовых $\gamma_B = 5^\circ$.

Изменение толщины зуба долбяка по дуге делительного цилиндра по длине зуба образует задний угол на боковых режущих кромках $\alpha_{бок}$. Задний угол боковой поверхности зуба в сечении плоскостью, касательной к делительному цилиндру долбяка:

$$\operatorname{tg} \alpha_{бок} = \operatorname{tg} \alpha_B \operatorname{tg} \alpha.$$

Угол наклона зуба долбяка выбирают из условия $\beta_0 = \beta_1 = \beta$. Для колес внешнего зацепления направление зубьев долбяка и нарезаемого колеса должны быть противоположными, а внутреннего – одинаковыми.

Число зубьев долбяка z_0 предварительно

$$z_0 = \frac{d_{0ном}}{m_t},$$

где $d_{0ном}$ – номинальный делительный диаметр, выбирается из нормированного ряда с учетом модели зубодолбежного станка (табл. 5.17). В ГОСТ 9323-79 указаны номинальные значения диаметров делительных окружностей долбяков: 25, 38, 50, 80, 100, 125, 160, 200 мм. Предпочтительно, учитывая рекомендации [27],

принимать диаметр делительной окружности, равный 80 или 100 мм для дисковых и чашечных долбяков и 25 мм для хвостовых.

Таблица 5.17. Основные параметры зубодолбежных станков, мм

Модель станка	Параметр, мм				
	Наибольший размер заготовки			Размер долбяка	
	m_n	d_a	Высота	d_0	$d_{отв}$
5111	1	80	20	40	-
5A12, 5B12, 5M12	4	208	50	80	31,75
5121, 5122, 5122B	5	200	50	100	44,45
5122Б	4,5	200	30	100	44,45
514, 5M14	6	500	105	100	44,45
5140, 5140Б	8	500	100	100	44,45
5150, 5A150, 5B150, 5M150	12	800	160	200	101,6
5161, 5M161, 5B161, 5B161	12	1250	160	200	101,6

Расчетное число округляется до ближайшего целого z_0 . Рекомендуется выбирать числа зубьев долбяков в пределах $15 \leq z_0 \leq 75$ [5, 27]. Возможны отклонения в большую сторону, до 110-120. Долбяки с числами зубьев более 75 нарезают правильные зубчатые колеса, но их шлифование встречает известные трудности, связанные с чрезмерным износом шлифовального круга. Долбяки с числами зубьев меньше 15 имеют основную окружность, большую окружности впадин. Поэтому профиль зуба долбяка, расположенный между этими окружностями, не является эвольвентным. Зубчатые колеса, нарезанные такими долбяками, будут иметь значительные по высоте переходные кривые. Это приводит к некачественным передачам.

Диаметр делительной окружности с точностью до четвертого знака

$$d_0 = m_t z_0 .$$

Размеры долбяка в исходном сечении, характеризуемом значением $A=0$ ($x_0=0$):

высота головки и ножки зуба

$$h_{a0исх} = h_{f1}; \quad h_{f0исх} = h_{a1} + c * m;$$

диаметры окружностей выступов и впадин

$$d_{a0исх} = d_0 + 2h_{a0исх};$$

$$d_{f0исх} = d_0 - 2h_{f0исх};$$

диаметр основной окружности

$$d_{b0} = d_0 \cos \alpha_t;$$

толщина зуба по дуге делительной окружности

$$S_{0исх} = \pi m - S_{n1};$$

угол давления эвольвенты на головке зуба

$$\cos \alpha_{ta0исх} = \frac{d_{b0}}{d_{a0исх}};$$

толщина зуба на окружности выступов

$$S_{a0исх} = d_{a0исх} \left(\frac{S_{0исх}}{d_0 \cos \beta} + \operatorname{inv} \alpha_t - \operatorname{inv} \alpha_{ta0исх} \right).$$

Величина смещения исходного контура А. Определение расстояния от переднего торца нового долбяка до исходного сечения является одной из самых сложных и ответственных задач при проектировании долбяка.

Коэффициент смещения исходного контура x_0 зуба долбяка (расстояние А исходного сечения) влияет на его конструктивные размеры, условия работы и образование профиля зубьев нарезаемого колеса. Меньшая шероховатость, меньшая величина огранки профиля зубьев колеса, нарезанного долбяком, обеспечивается участками режущей кромки, более удаленными от его основной окружности. Для этого желательно увеличение смещения x_0 исходного контура (расстояния исходного сечения А); с увеличением x_0 увеличиваются инструментальные передние углы γ , но уменьшается толщина зуба S_{a0} на окружности вершин, лезвия которых снимают большие слои металла, что оказывает влияние на изнашивание долбяков.

Максимально допустимое x_0 и А лимитируются также опасностью заострения зубьев долбяка и интерференцией с переходными кривыми, которая может возникнуть в процессе зацепления зубчатых колес, нарезанных долбяком.

Исследования показали, что практически выбор исходного расстояния А в основном ограничивается заострением зуба долбяка. Для достаточной стойкости долбяка толщина его зуба S_{a0} на окружности выступов не должна быть меньше допустимой величины.

Минимально допустимая по условию стойкости ширина головки зуба нового долбяка:

$$d_0 \geq 180$$

$$S_{a0} = \sqrt{0,81m - 0,72};$$

$$d_0 \geq 50$$

$$S_{a0} = \sqrt{0,2594m - 0,0375};$$

$$d_0 \geq 20$$

$$S_{a0} = \sqrt{0,138m - 0,013};$$

$$d_0 < 20$$

$$S_{a0} = \sqrt{0,0025 + 0,0375m}.$$

Расчетную величину $A_{расч}$ смещения исходного контура определяют одним из приведенных ниже способов.

1. Из условия обеспечения заданной толщины зуба S_{a0} долбяка в плоскости переднего торца на основе использования формулы В.Ф. Романова

$$A_{расч} = \frac{(S_{a0исх} - S_{a0} / \cos \beta) d_{a0исх}}{2 \operatorname{tg} \alpha_B (d_{a0исх} \operatorname{tg} \alpha_{та0исх} - S_{a0исх}) - (d_{a0исх})^2 C / d_0},$$

где $C = 2 \operatorname{tg} \alpha_{бок}$ для прямозубого долбяка; $C = \operatorname{tg}(\beta + \alpha_{бок}) - \operatorname{tg}(\beta - \alpha_{бок})$ для косозубого долбяка.

2. На основе использования графических зависимостей (рис. 5.9). По принятым значениям величины S_{a0}/m и числу зубьев долбяка z_0 находят x_0 , а затем

$$A_{расч} = x_0 m \operatorname{tg} \alpha_B.$$

Могут быть применены и другие методы определения величины $A_{расч}$ долбяков [14, 15, 23].

Дополнительные расчетные данные для проверок. Радиус кривизны эвольвентного профиля зуба колеса в нижней точке при нарезании долбяком

$$\rho_{10} = a_{w10} \sin \alpha_{tw10} - r_{b0} \operatorname{tg} \alpha_{a0}.$$

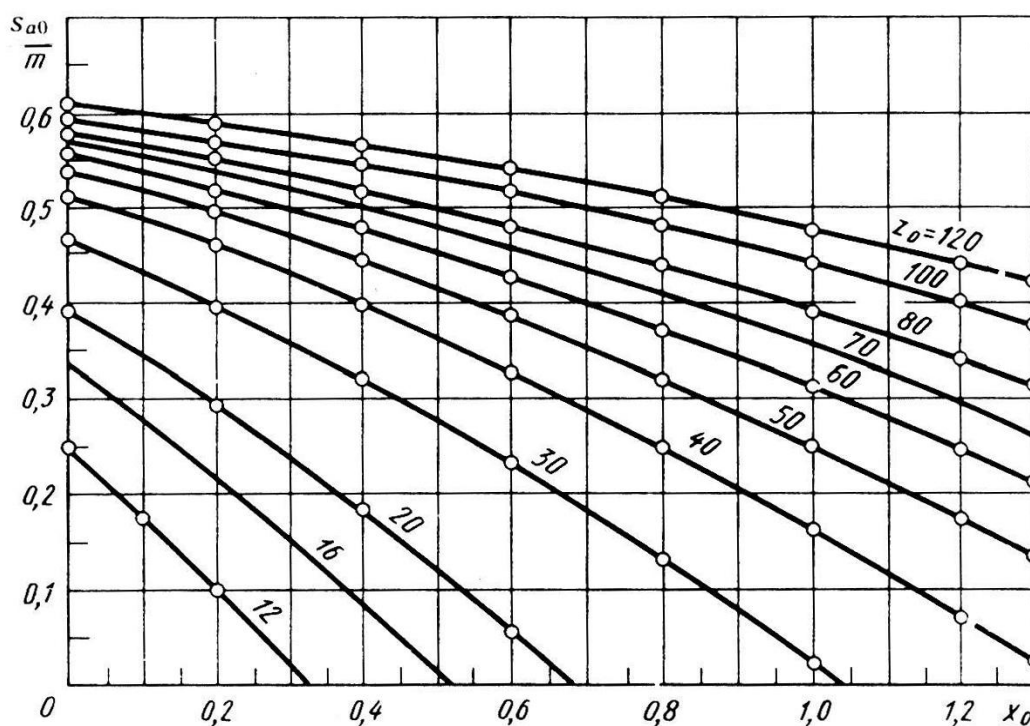


Рис. 5.9. Номограмма для определения величины смещения

Межцентровое расстояние зубчатого колеса и долбяка по уравнению (5.22)

$$a_{w10} = \frac{m_t(z_1 + z_0)}{2} \frac{\cos \alpha_t}{\cos \alpha_{tw10}}.$$

Угол зацепления колеса и долбяка по уравнению (5.19)

$$\operatorname{inv} \alpha_{tw10} = \operatorname{inv} \alpha_t + \frac{2(x_1 + x_0)}{z_1 + z_0} \operatorname{tg} \alpha_t,$$

при $x_1=0$ и $x_0 = A \operatorname{tg} \alpha_B$

$$\operatorname{inv} \alpha_{tw10} = \operatorname{inv} \alpha_t + \frac{2A \operatorname{tg} \alpha_B}{z_1 + z_0} \operatorname{tg} \alpha_t.$$

Радиус кривизны эвольвентного профиля зуба колеса в нижней точке при зацеплении с парным колесом

$$\rho_{12} = a_{w12} \sin \alpha_{tw12} - r_{b2} \operatorname{tg} \alpha_{a2}.$$

Угол давления эвольвенты на головке зуба долбяка

$$\cos \alpha_{a0} = d_{b0} / d_{a0}.$$

Предварительный диаметр окружности выступов нового долбяка

$$d_{a0} = d_{a0исх} + 2A_{расч} \operatorname{tg} \alpha_B.$$

Угол давления эвольвенты на головке зуба колеса, сопряженного с обрабатываемым:

$$\cos \alpha_{a2} = d_{b2} / d_{a2}.$$

Фактический диаметр впадин зубьев колеса после нарезания спроектированным долбяком

$$d_{f1\phi} = 2a_{w10} - d_{a0}.$$

Проводят проверку величины $A_{расч}$ в следующем порядке:

1. Делают проверку отсутствия интерференции зубчатых колес z_1 и z_2 , нарезанных спроектированным долбяком, по условию

$$\rho_{10} \leq \rho_{12}.$$

При проектировании долбяка необходимо обеспечить превышение правильно образованного эвольвентного участка профиля зубьев над рабочим участком. Кроме этого необходимо проверить, не подрезаны ли зубьями долбяка ножки зубьев нарезаемого колеса и не срезаны ли головки зубьев нарезаемого колеса режущей кромкой на ножке зуба долбяка.

2. Делают проверку диаметра впадин зубчатого колеса по условию

$$d_{f1} - d_{f1\Phi} \leq 0,2m.$$

При исходном контуре по ГОСТ 13755-81 допускается уменьшение $d_{f1\Phi}$ не более чем на $0,2m$.

Если указанные условия нарушаются, то следует изменить конструктивные исходные параметры долбяка:

- или уменьшить коррекцию зубьев долбяка, т.е. принять уменьшенную величину $A_{ум}$;
- или увеличить число зубьев z_0 долбяка, если это допустимо по условию выбора другого значения делительного диаметра долбяка.

Принимаемое значение А. Окончательно принимаемая при проектировании долбяка величина исходного расстояния

$$A = A_{ум}, \text{ если } A_{ум} < 0,5B, \text{ и} \\ A = 0,5B, \text{ если } A_{ум} > 0,5B,$$

где B – высота долбяка по стандарту (при выполнении условия $\rho_{10} \leq \rho_{12}$ в последних формулах $A_{ум} = A_{расч}$).

Размеры долбяка в плоскости его переднего торца. Размеры зубьев в плоскости переднего торца условно определяют в плоскости, перпендикулярной к оси долбяка, проходящей через вершины его зубьев:

высота головки и ножки зуба

$$h_{a0} = h_{a0исх} + Atg\alpha_{\epsilon}; \\ h_{f0} = h_{f0исх} - Atg\alpha_{\epsilon};$$

высота зуба

$$h_0 = h_{a0} + h_{f0};$$

диаметры окружностей выступов и впадин

$$d_{a0} = d_{a0исх} + 2Atg\alpha_{\epsilon}; \\ d_{f0} = d_{f0исх} + 2Atg\alpha_{\epsilon};$$

толщина зуба по дуге делительной окружности

$$S_0 = S_{0исх} + 2Atg\alpha_t tg\alpha_{\epsilon}.$$

Высота головки зуба по передней поверхности

$$h_{a0nn} = \frac{h_{a0}}{\cos \gamma_e}.$$

Для уменьшения искажений профиля режущих кромок долбяка от наличия углов γ_e и α_e корректируется профильный угол α_0 долбяка по формуле для прямоугольного долбяка:

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{1 - \operatorname{tg} \gamma_e \operatorname{tg} \alpha_e};$$

для острой и тупой стороны зуба косоугольного долбяка

$$\operatorname{tg} \alpha_{0ост} = \frac{\operatorname{tg} \alpha_0}{\cos(\beta + \alpha_{бок})} = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos(\beta + \alpha_{бок})(1 - \operatorname{tg} \gamma_e \operatorname{tg} \alpha_e)};$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{0туп} = \frac{\operatorname{tg} \alpha_0}{\cos(\beta - \alpha_{бок})} = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos(\beta - \alpha_{бок})(1 - \operatorname{tg} \gamma_e \operatorname{tg} \alpha_e)}.$$

С учетом профильного угла окончательно обрабатывают (шлифуют) задние поверхности зубьев долбяка и контролируют их.

Задний и передний углы на боковых режущих кромках в нормальном сечении на делительном цилиндре – α_N и γ_N :

$$\operatorname{tg} \alpha_N = \operatorname{tg} \alpha_e \sin \alpha_0;$$

$$\operatorname{tg} \gamma_N = \operatorname{tg} \gamma_e \sin \alpha_0.$$

Фактические диаметры основных цилиндров долбяка, необходимые для шлифования профиля: для прямоугольного долбяка

$$d_{b0} = d_0 \cos \alpha_0;$$

для острой и тупой стороны зуба косоугольного долбяка соответственно

$$d_{b0ост} = d_0 \cos \alpha_{0ост};$$

$$d_{b0туп} = d_0 \cos \alpha_{0туп}.$$

Шаг винтового копира для косоугольного долбяка

$$P_{кон} = \pi m Z_0 / \sin \beta.$$

Расчет отрицательного смещения исходного контура –А [11].
Станочный угол зацепления сточенного долбяка, вызывающий подрез ножки зуба обрабатываемого колеса;

$$\cos \alpha_c = \frac{2d_{f1}(d_{b1} + d_{b0})}{(d_{b1} + d_{b0})^2 + d_{f1}^2 - d_{b0}^2}.$$

Максимально допустимое отрицательное исходное расстояние предельно сточенного долбяка

$$-A = \frac{(\text{inv} \alpha_c - \text{inv} \alpha_0)(d_1 + d_0)}{C}.$$

Общие конструктивные размеры. Высота долбяка, диаметр посадочного отверстия и пр. (рис. 5.10) принимаются в соответствии со стандартом (табл. 5.18).

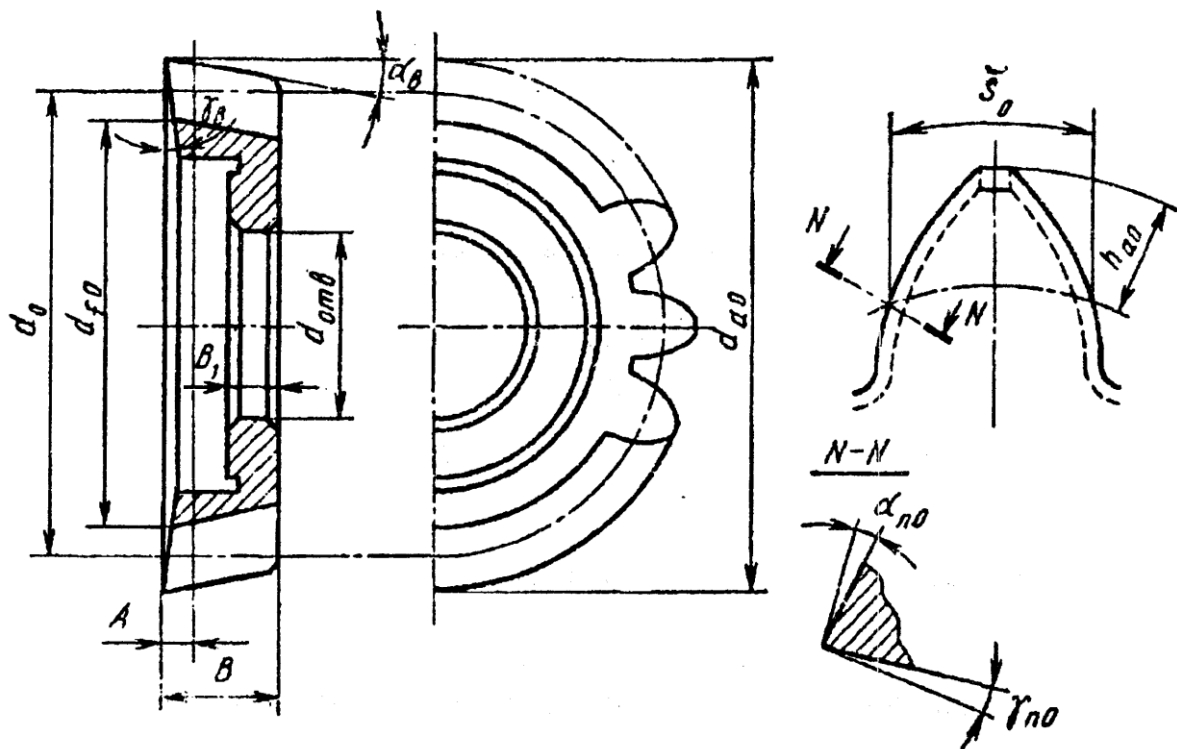


Рис. 5.10. Общие конструктивные размеры долбяка

Таблица 5.18. Основные размеры дисковых долбяков, мм

d_0	m_n	$d_{отв}$	B	B_1	d_2
80	1-1,5	31,75	12	8	50
	1,75-2,5		15		
	2,75-4,5		17		
100	1-1,75	44,45	17	8	70
	2-5		20		
	5,5-8		22		

125	2-3,5	44,45	22	10	80
	3,75-4,5		24	10	
	5-10		28	14	
160	6-7	88,9	30	16	120
	8-10		32	20	
200	8-12	101,6	40	25	140

Диаметры посадочных отверстий долбяков отличны от стандартизованных диаметров отверстий насадных инструментов. Они установлены в соответствии с размерами посадочных мест станков: для дисковых долбяков – 20; 31,75; 44,45; 88,9; 101,6 мм с допуском Н4, для хвостовых долбяков для крепления применяют конус Морзе укороченный В12, В18, В24 (ГОСТ 9232-79).

Режущие кромки зубьев долбяка могут быть изготовлены с утолщением (модификацией) по ножке зуба для получения колес со срезом вершины зубьев и с фаской или закруглением боковой эвольвентной поверхности на вершине зуба для увеличения стойкости долбяков [11, 12, 14].

Технические требования. Твердость режущей части из быстрорежущей стали HRC_Э 63-66, из быстрорежущей стали повышенной производительности (с содержанием ванадия и кобальта) HRC_Э 64-68.

Для эвольвентных колес зуборезные долбяки (ГОСТ 9323-79) выпускаются классов точности АА, А, и В для колес 6, 7 и 8-й степени соответственно.

Шероховатость передних и задних поверхностей долбяков не должна превышать $R_z = 1,6$ мкм для классов точности АА, А и $R_z = 2,5$ мкм для класса точности В; базовой опорной поверхности – $R_a = 0,16$ мкм; внутренней опорной поверхности – $R_a = 0,63$ мкм; посадочного отверстия – $R_a = 0,16$ мкм для классов точности АА и $R_a = 0,25$ мкм для классов точности А и В; остальные поверхности – $R_a = 2,5$ мкм.

Допуски и предельные отклонения параметров долбяков приведены в таблице 5.19 (ГОСТ 9323-79).

Рабочий чертеж инструмента. Рабочий чертеж долбяка (рис. 5.11) оформляют в двух проекциях в масштабе 1:1 в соответствии с ЕСКД. На этих проекциях указывают общие конструктивные параметры долбяка и размеры в плоскости переднего торца.

Отдельно изображают зуб в увеличенном масштабе, на котором указывают задний и передний углы на боковых режущих кромках в нормальном сечении – α_N и γ_N ; S_{n0} – толщина зуба на делительной окружности по нормали; h_{a0} – высота головки зуба по передней поверхности.

В таблице, которая обычно помещается над техническими условиями в правом верхнем углу чертежа, приводятся некоторые параметры долбяка: модуль нормальный m_n , фактический профильный угол α_0 , число зубьев z_0 , угол наклона зубьев β_0 и его направление (правое, левое), фактический диаметр основного цилиндра для прямозубого долбяка d_{b0} или диаметр основного цилиндра для острой и тупой стороны зуба косозубого долбяка $d_{b0ост}$ и $d_{b0туп}$, степень точности долбяка.

На рабочем чертеже указываются также технические требования на изготовление инструмента, маркировка, шероховатости поверхностей и предельные отклонения на размеры, приведенные в табл. 5.19.

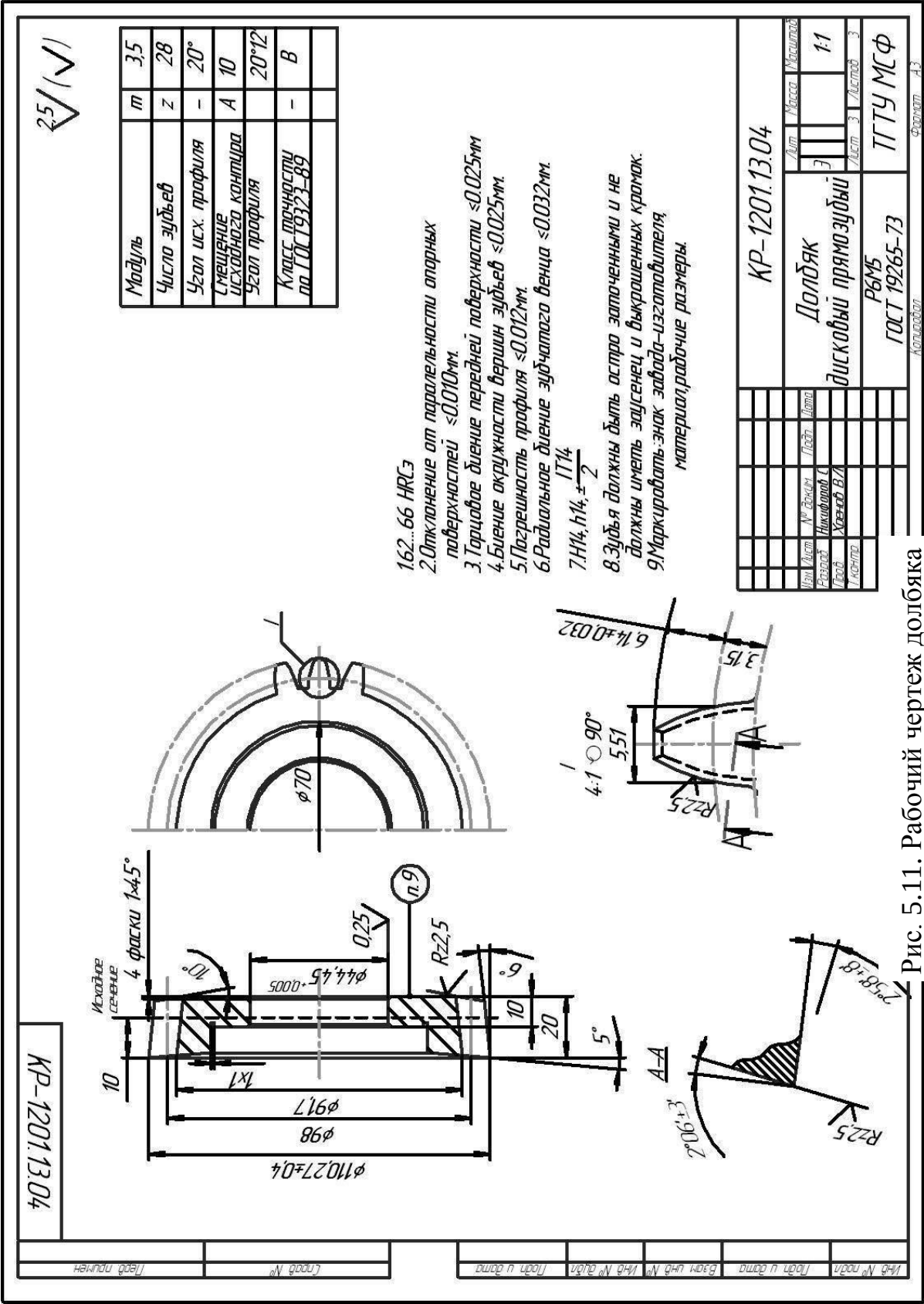


Рис. 5.11. Рабочий чертеж долбляка

Рис. 5.11. Рабочий чертеж долбляка

Таблица 5.19. Допуски и предельные отклонения параметров долбяков

Параметр и его обозначение	d_0 , мм	Класс точности	Допуски и отклонения, мкм, при m_0 , мм			
			От 1 до 3,5	Св. 3,5 до 6	Св. 6 до 10	Св. 10
Отклонения от параллельности опорных поверхностей f_x	50	A B	5 8	6 10	-	-
	Св. 50 до 125	AA A B	3 5 8	4 6 10	4 6 10	-
	Св. 125 до 200	AA A B	- - -	- - -	5 8 12	6 8 12
Торцовое биение передней поверхности $f_{\gamma t}$	До 50	A B	14 20	14 20	-	-
	Св. 50 до 125	AA A B	12 16 25	12 16 25	12 16 25	-
	Св. 125 до 200	AA A B	- - -	20 28 40	20 28 40	20 28 40
Биение окружности вершин зубьев f_{ao}	До 50	A B	14 20	14 20	-	-
	Св. 50 до 125	AA A B	10 16 25	12 20 32	12 20 32	-
	Св. 125 до 200	AA A B	- - -	- - -	16 25 40	20 32 50
Погрешность профиля f_{ro}	-	AA A B	3-4 4-5 8-10	4 7 12	6 7 12	6 10 16-20
Разность соседних окружных шагов f_{uo}	-	AA A B	3-4 5-6 8-10	4 6 8	4 6 8	5 8 12

Продолжение табл. 5.19

Параметр и его обозначение	d_o , мм	Класс точности	Допуски и отклонения, мкм, при m_0 , мм			
			От 1 до 3,5	Св. 3,5 до 6	Св. 6 до 10	Св. 10
Накопленная погрешность окружного шага F_{po}	-	АА	9-11	11	11	14
		А	14-18	18	18	22
		В	20-24	30	30	36
Радиальное биение зубчатого венца F_{ro}	До 50	А	14-16	16	-	-
		В	20-24	26	-	-
	Св. 50 до 125	АА	12-14	14	14	-
		А	16-18	20	20	
		В	24-26	32	32	
	Св. 125	АА	-	-	18	20
		А			24	-
		В			36	40

5.4. ШЕВЕРЫ

5.4.1. Общие сведения

Шеверы предназначены 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, на одну степень, при этом исправляются профиль зубьев, шаг, направление зубьев, биение зубчатого венца, а шероховатость поверхности зубьев снижается с $R_a = 3,0...2,5$ мкм до $R_a = 0,63...0,32$ мкм. Шеверы бывают дисковые и реечные для обработки цилиндрических колес и червячные для обработки червячных колес. Наибольшее применение имеют дисковые шеверы.

Станочная пара шевер – колесо, элементы которой вращаются вокруг скрещивающихся под углом Σ осей, воспроизводит зацепление либо винтовой передачи с точечным контактом (для обычного шевера), либо пространственной передачи с линейчатым контактом (для облегающего шевера). При зацеплении из-за скрещивания осей шевера и колеса возникает относительное скольжение профилей их зубьев – главное движение резания, при котором режущие кромки на боковых сторонах зубьев шевера срезают с заготовки тонкие волосообразные стружки.

Дисковый шевер представляет собой цилиндрическое зубчатое колесо, изготовленное из инструментального материала с высокой степенью точности. На боковых сторонах его зубьев путем долбления сформированы стружечные канавки, которые образуют режущие кромки при пересечении с боковыми

эвольвентными поверхностями зубьев и создают пространство для размещения стружки.

Шеверы общего назначения для эвольвентных некорригированных колес, применяемые обычно в единичном и мелкосерийном производстве, стандартизированы (ГОСТ 8570-80Е, ГОСТ 10222-81Е).

В серийном и массовом производстве используют специальные шеверы, спроектированные для обработки колес заданных размеров (одного числа зубьев).

5.4.2. Конструктивные параметры дискового шевера

Исходными данными для расчета являются параметры пары сопряженных колес: m_n , α_1 , β_1 , z_1 , z_2 , степень точности колес. Геометрические параметры зубчатого колеса определяют по формулам (5.2)-(5.6), (5.9)-(5.13) и (5.18).

Расчет шевера заключается в определении его размеров (рис. 5.12) и проверке правильности зацепления обработанных им колес.

Как следует из теории зубчатого зацепления, у сопряженных колес (в нашем случае шевер z_0 и колесо z_1) в нормальном сечении $m_{n0}=m_1$; $\alpha_{n0}=\alpha_1$; $P_{n0}=P_1$.

Угол наклона линии зубьев шевера

$$\beta_0 = \beta_1 \mp \Sigma,$$

где Σ – угол скрещивания осей колеса и шевера, рекомендуется назначать в пределах $5...20^\circ$ (15° для одновенцового колеса). Знак «-» – для разноименного направления зубьев, знак «+» – для одноименного. Направление зубьев шевера обычно принимается противоположным направлению зубьев колеса.

При обработке блочных колес из-за ограничения продольного хода шевера принимается меньшее значение $\Sigma = 5-10^\circ$. С увеличением угла Σ улучшаются условия резания, увеличивается скорость резания (скольжение), уменьшается нормальная составляющая силы резания, но также уменьшается пятно касания зубьев шевера и колеса, ухудшается исправляемость колес по направлению зубьев и увеличивается машинное время обработки.

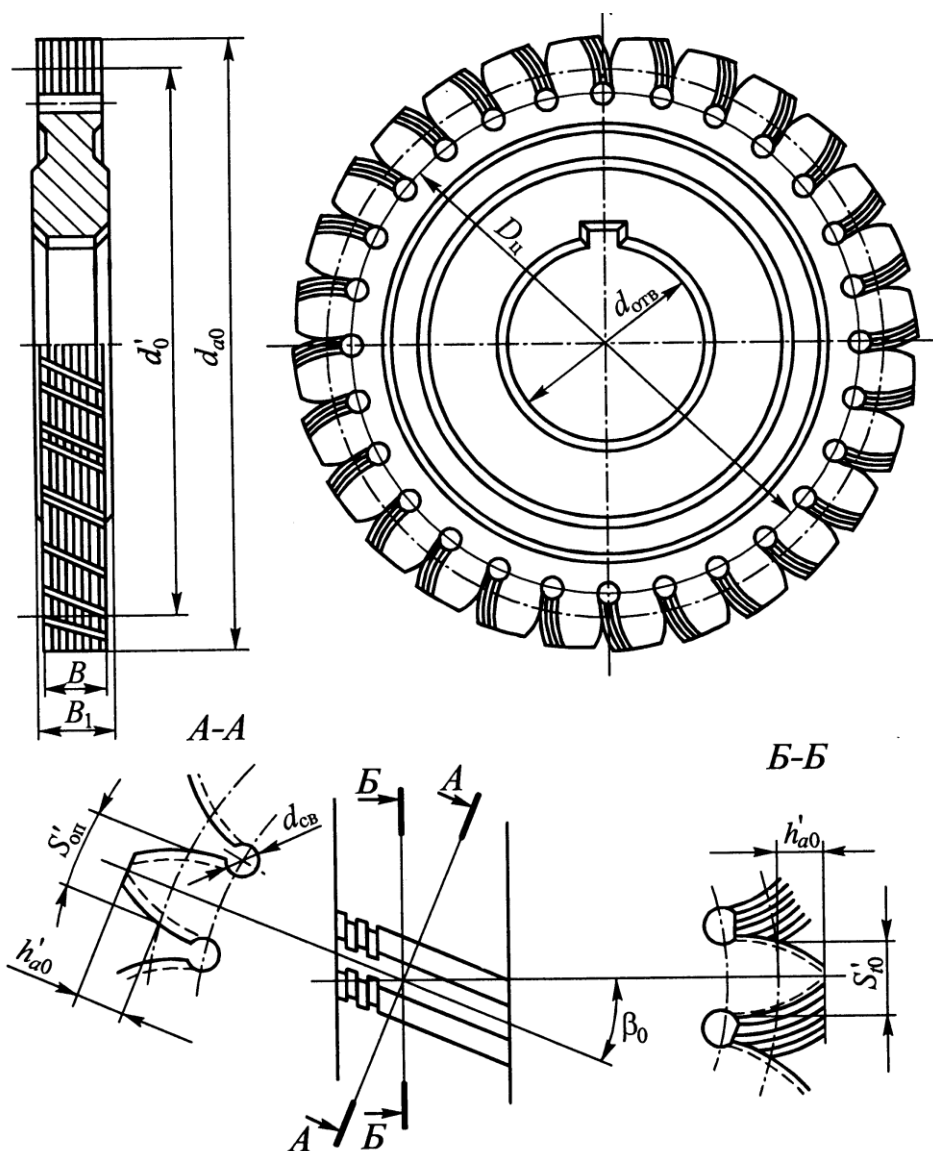


Рис. 5.12. Шевер дисковый

Число зубьев шевера (максимально возможное) предварительно рассчитывается по формуле

$$z_0 \leq \frac{(d_{a0\max} - 3m_n) \cos \beta_0}{m_n}, \quad (5.26)$$

где $d_{a0\max}$ – максимальный наружный диаметр шевера, допустимый для данной модели зубошевинговального станка (табл. 5.20) или по ГОСТ 8570-80Е.

$$z_0 = \frac{d_{0H} \cos \beta_0}{m_n}, \quad (5.27)$$

где d_{0H} – номинальный диаметр делительной окружности. Установлены следующие номинальные диаметры делительных окружностей: 85 (для $m=0,2 \dots 1,5$), 180 (для $m=1,25 \dots 6,0$) и 240 (для $m=2 \dots 8$). Фактический расчетный диаметр может отличаться от номинального.

Найденное из уравнения (5.26) или (5.27) значение числа зубьев шевера уточняется из условий точности и качества обработанной поверхности зубьев колеса. Оно не должно быть кратным или иметь общие множители с z_1 и должно быть простым числом: 29, 31, 37, 41, 43, 47, 53, 61, 67, 71, 73, 83. При этом через каждый оборот во впадине зуба колеса будет находиться иной зуб шевера, что обеспечивает повышение качества обработанных поверхностей зубьев колеса. Для мелко модульных шеверов возможно число z_0 , образованное двумя или тремя множителями. Наиболее употребительные числа зубьев z_0 приведены в ГОСТ 8570-80Е и ГОСТ 10222-81Е.

**Таблица 5.20. Технические характеристики
зубошевинговальных станков**

Параметр	Модели станков				
	5712, 5701	571Б	5А714, 5М714	5702, 5702А, 5702Б	5703
Максимальный модуль m , мм	1,5	6	6	6	8
Диаметр обрабатываемого колеса d_{a1} , мм	10-125	40-232	35-320	35-320	90-500
Межосевое расстояние пары шевер-колесо d_{l0} , мм	36-105	104-200	102-305	36-240	0-398
Максимальный диаметр шевера d_{a0max} , мм	120	190	290	300	300
Наибольшая длина обрабатываемого зуба, мм	40	-	-	100	150
Диаметр посадочного отверстия шевера, мм	31,743	63,5	63,5	63,5	63,5

Многие параметры шевера удобнее контролировать в торцовом сечении. Их можно найти пересчетом путем деления значений в нормальном сечении на $\cos\beta_0$. Величины линейных параметров подсчитываются с точностью до 0,001 мм. Таким образом, торцовый модуль шевера

$$m_t = m_n / \cos\beta_0,$$

торцовый профильный угол

$$\operatorname{tg}\alpha_{t0} = \operatorname{tg}\alpha / \cos\beta_0.$$

Диаметр делительного цилиндра

$$d_0 = m_t z_0.$$

Диаметр основного цилиндра

$$d_{b0} = d_0 \cos \alpha_{t0}.$$

Ширину рабочей части зубьев (венца) шевера B и диаметр посадочного отверстия $d_{отв}$ принимают следующих размеров, мм:

d_{0H}	85	180	240
B	15	20	25
$d_{отв}$	31,75	63,5	63,5

Полная ширина шевера с учетом ступицы

$$B_1 = B + 1.$$

На торцах шевера делают круговую канавку глубиной 1-2 мм для разделения плоскости точно обработанного торца ступицы от торца обода.

5.4.3. Размеры и форма зубьев шевера

Толщина зубьев S_0 в нормальном сечении на делительном цилиндре для шеверов типа 1 со сквозными стружечными канавками (рис. 5.13 а) при $m = 0,3-1,75$ мм:

$$S_0 = \pi m n - S_{n1,2};$$

для шеверов типа 2 с прорезанными несквозными стружечными канавками при $m > 1,75$ мм

$$S_{0нов(изн)} = \pi m n - S_{n1,2} \pm \Delta,$$

где $S_{n1,2}$ – нормальная толщина зуба на делительном цилиндре колеса z_1 (парного колеса z_2); Δ – припуск на переточку на обе стороны зуба, знак «+» – для нового шевера, знак «-» – для изношенного шевера.

Припуск Δ на переточку шевера влияет на размеры его зубьев (S_0, h_{a0}), срок службы шевера, ширину впадины между зубьями по окружности впадин. При выборе его следует руководствоваться тем, чтобы толщина зубьев S_{a0} нового шевера на окружности выступов была достаточной для обеспечения их прочности, а минимальный диаметр рабочей окружности впадин переточенного шевера был больше диаметра его основной окружности не менее чем на 2 мм (см. ниже). На этапе предварительного расчета расположение припуска на переточку шевера (рис. 5.13) принимается симметричным относительно номинального профиля зуба ($x_0=0$), а величина его в нормальном сечении в зависимости от модуля назначается:

m_n , мм	2-2,75	3	3,25-6	6,5-8
Δ , мм	0,25	0,30	0,40	0,45

Высота ножки зубьев изношенного шевера для типа 1

$$h_{f0} = h_{a1,2} + 0,25m_n$$

и для типа 2

$$h_{f0} = h_{a1,2} + \frac{\Delta}{2} \operatorname{ctg} \alpha + \delta ,$$

где $h_{a1,2}$ – высота головки зуба колеса z_1 (парного колеса z_2); δ – запас на величину возможного увода сверла при сверлении отверстий $d_{св}$ в основании впадин зубьев шевера (рис. 5.13 б), принимаемый в зависимости от модуля:

$m_n, \text{ мм}$	2-2,5	2,5-2,75	3-3,5	3,75-8,0
$\delta, \text{ мм}$	0,35	0,50	0,75	1,0

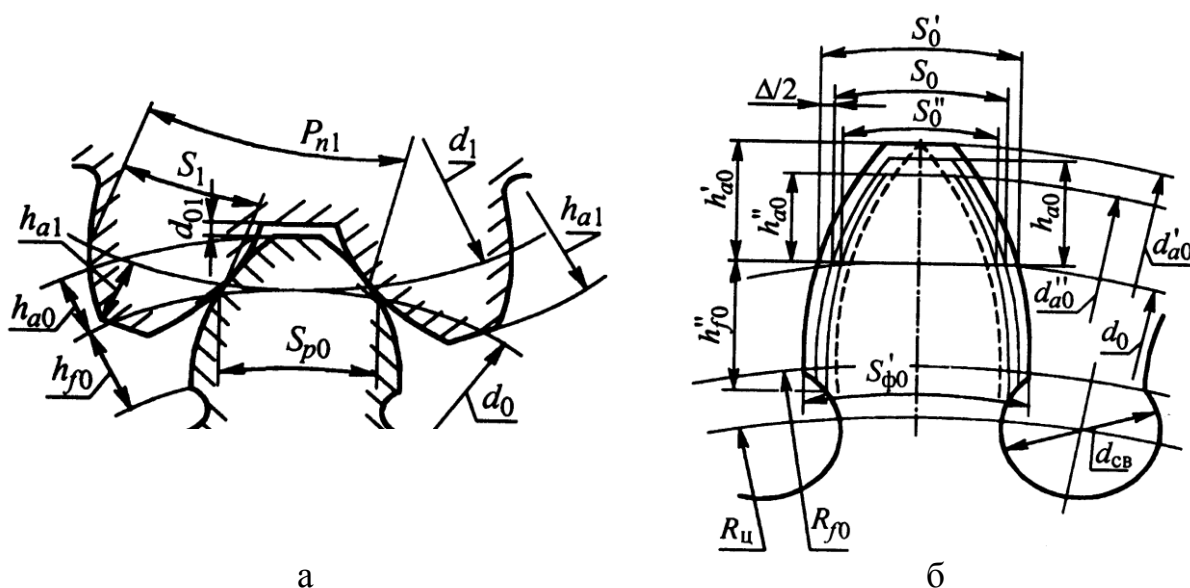


Рис. 5.13. Размеры зубьев шевера: а – в нормальном сечении; б – с учетом припуска на переточку;

Диаметр окружности впадин зубьев сточенного шевера

$$d_{f0\min} = d_0 - 2h_{f0}.$$

Для качественной обработки боковой поверхности зубьев колеса должно выполняться условие

$$d_{f0\min} \geq d_{b0} + 2.$$

В противном случае выполняется дополнительное высотное корригирование зубьев шевера на величину

$$y = (d_{b0} - d_{f0\min}) + 1,$$

при этом увеличивается высота головки зуба и уменьшается высота ножки на эту же величину. После чего проводится перерасчет размеров шевера:

$$S_{0нов.скор} = S_{0нов} + 2y \operatorname{tg} \alpha;$$

$$h_{f0скор} = h_{f0} - y;$$

$$d_{f0скор} = d_{f0} + 2y.$$

Высота головки зубьев нового шевера для типа 1

$$h_{a0} = 1,1h_{a2,1}$$

и для типа 2

$$h_{a0} = 1,1h_{a2,1} + \frac{\Delta}{2} \operatorname{ctg} \alpha, \text{ или } h_{a0скор} = 1,1h_{a2,1} + \frac{\Delta}{2} \operatorname{ctg} \alpha + y,$$

где $h_{a2,1}$ – высота головки колеса, зацепляющегося с обрабатываемым.

Диаметры вершин зубьев

$$d_{a0} = d_0 + 2h_{a0};$$

$$d_{a0скор} = d_0 + 2h_{a0скор}.$$

Торцовая толщина зуба нового шевера по делительному цилиндру

$$S_{t0} = (S_{0нов} + 2y \operatorname{tg} \alpha) \cos \beta_0,$$

где при отсутствии дополнительного корригирования зубьев шевера $y=0$.

Толщина зуба на окружности выступов нового шевера

$$S_{ta0} = d_{a0\max} \left(\frac{S_{t0}}{d_0} + \operatorname{inv} \alpha_{t0} - \operatorname{inv} \alpha_{ta0} \right),$$

где $\alpha_{ta0} = \arccos d_{b0} / d_{a0\max}$.

Для обеспечения прочности зуба должно выполняться условие (рис. 5.14 е)

$$p' = S_{ta0} - 2l / \cos \alpha_{ta0} \geq 0,1 \text{ мм},$$

где l – глубина стружечных канавок шевера.

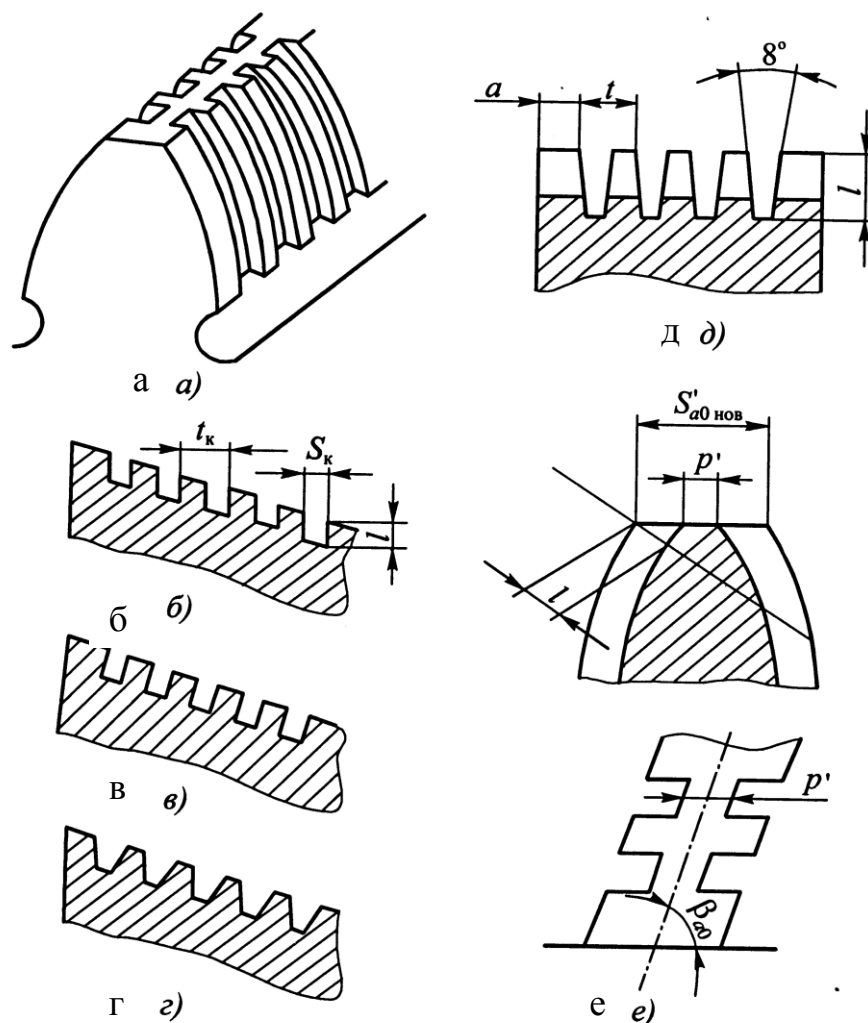


Рис. 5.14. Форма канавок на зубьях шевера

При несоблюдении этого условия следует изменить расположение припуска относительно номинального профиля зуба, размер припуска Δ или уменьшить глубину канавки l .

Стружечные канавки, образующие режущие кромки на боковых поверхностях зубьев шевров при $m=2-8$ мм (рис. 5.14, а), выполняют следующих форм: с боковыми сторонами, параллельными торцу шевера (рис. 5.14 б); со сторонами, нормальными к направлению зуба (рис. 5.14 в); трапецидальной формы, одна сторона которых параллельна торцу шевера, а другая нормальна к направлению зуба (рис. 5.14 г). При первой форме канавок передний угол на одной стороне положителен, на другой — отрицателен. При второй форме передние углы шевера на обеих сторонах канавок имеют нулевое значение. Рекомендуемые размеры канавок: шаг канавок (рис. 5.14 б) $t_k=1,8$ мм или (рис. 5.14 в) $t_k=2,2-2,4$ мм, глубина канавок $l=0,6-1,0$ мм, ширина $S_k=0,5t_k$.

У шевров при $m<2$ мм канавки делают сквозными, перерезающими зубья, прямоугольной или трапецидальной формы с углом $\delta=8^\circ$ (рис. 5.14д). Размеры их приведены в табл. 5.21.

**Таблица 5.21. Размеры канавок шеверов
при $m < 2$ мм (рис. 5.14 д), мм**

m	t	l	a	Число канавок
От 0,2 до 0,28	1,4	1,0	0,7	6
Св. 0,28 до 0,5 Св. 0,5 до 0,7 0,8 0,9 1,0	1,7	1,5		5
		2,0	0,6	
	2,1	2,5	0,7	6
		3,0	0,6	
1,255; 1,25 1,375; 1,5	2,7	4,5	0,8	5
		5,0		
1,75	3,0	5,6	0,9	6

Для шеверов типа 2 (с несквозными канавками) выполняют проверку достаточности ширины впадины по окружности впадин для прохождения гребенки при строгании канавок по условию

$$e_{tf0} = d_{f0}(\pi/z_0 - S_{t0\phi}/d_0 - \text{inv}\alpha_{t0} + \text{inv}\alpha_{tf0}) > 1,3\text{мм},$$

где $\alpha_{tf0} = \arccos d_{bo}/d_{fo}$; $S_{t0\phi}$ – торцовая толщина зуба шевера после фрезерования по делительному цилиндру, $S_{t0\phi} + \Delta S / \cos \beta_0$.

Припуск ΔS принимают в зависимости от m :

$m, \text{мм}$	2-2,5	2,5-3,75	4,0-8,0
$\Delta S, \text{мм}$	0,35	0,45	0,50

Диаметр отверстий в основании впадин зубьев шевера для выхода гребенки выбирают в зависимости от модуля:

$m, \text{мм}$	2,0-2,25	2,5-3,75	4,0-4,5	5,0-5,5	6,0-8,0
$d_{св}, \text{мм}$	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0

Диаметр окружности расположения центров отверстий для выхода гребенки

$$D_u = d_{f0\min} - \sqrt{d_{св}^2 - e_{tf0}^2}.$$

Условия свободного выхода гребенки окончательно проверяют прочерчиванием. При неудовлетворительном результате корректируют и вновь определяют $D_{\text{ш}}$.

Угол наклона оси отверстия β' равен углу наклона винтовой линии зуба шевера на цилиндре диаметром $D_{\text{ш}}$. Обычно принимают $\beta' = \beta_0 - 1^\circ$.

5.4.4. Проверка на правильность зацепления обработанных колес z_1 и z_2

Для этого необходимо, чтобы активная часть профилей их зубьев в паре z_1 - z_2 была меньше активной части профилей зубьев колес в станочной паре, т. е. при зацеплении их с обрабатываемым шевером. Если картину пространственного зацепления станочной пары спроектировать на торцовую плоскость колес, то условие примет вид

$$\rho_{p12} \geq \rho_{p10} + \Delta g, \quad (5.28)$$

где ρ_{p12} – радиус кривизны эвольвентной поверхности зуба колеса (z_1) в его торцовой плоскости в нижней точке активного профиля при зацеплении с парным колесом (z_2); ρ_{p10} – то же, при зацеплении с обрабатываемым шевером (z_0); Δg – необходимое перекрытие обработкой активной части профиля, принимаем $\Delta g = (0,15 \dots 0,20)m_t / \sin \alpha_{t1}$.

Радиус кривизны эвольвентной поверхности зуба колеса (z_1) в его торцовой плоскости в нижней точке активного профиля при зацеплении с парным колесом (z_2)

$$\rho_{p12} = a_{12} \sin \alpha_{t12} - \sqrt{r_{a2}^2 - r_{b2}^2},$$

где a_{12} – межосевое расстояние передачи, определяемое по формуле (5.22); α_{t12} – угол зацепления в передаче, определяемый по формуле (5.19) или (5.20).

Радиус кривизны эвольвентной поверхности зуба колеса (z_1) в его торцовой плоскости в нижней точке активного профиля при зацеплении с обрабатываемым шевером (z_0)

$$\rho_{p10} = (g_{10} - \rho_{a0} / \sin \gamma_{b0}) \sin \gamma_{b1},$$

g_{10} – длина линии зацепления станочной пары,

$$g_{10} = \frac{\sqrt{r_{w0}^2 - r_{b0}^2}}{\sin \gamma_{b0}} + \frac{\sqrt{r_{w1}^2 - r_{b1}^2}}{\sin \gamma_{b1}}; \quad (5.29)$$

ρ_{a0} – радиус кривизны профиля зуба шевера в его торцовом сечении на окружности выступов,

$$\rho_{a0} = \sqrt{r_{a0}^2 - r_{b0}^2};$$

γ_{b0} и γ_{b1} – углы подъема винтовых линий зубьев шевера и колеса на основных цилиндрах радиусов r_{b0} и r_{b1} ,

$$\cos \gamma_{b0} = \cos \alpha \sin \beta_0;$$

$$\cos \gamma_{b1} = \cos \alpha \sin \beta_1.$$

В формуле (5.29) при определении длины линии зацепления станочной пары r_{w0} – радиус начального цилиндра шевера:

$$r_{w0} = r_0 - \text{для шевера типа 1},$$

$$r_{w0} = r_0 + \frac{\Delta}{2} \operatorname{ctg} \alpha + y - \text{для нового шевера типа 2};$$

$$r_{w1} - \text{радиус начального цилиндра колеса:}$$

$$r_{w1} = r_1 \operatorname{tg} \beta_{w1} / \operatorname{tg} \beta_1 \text{ при } \beta_1 \neq 0 \text{ и } r_{w1} = d_{b1} / \cos \alpha_{nw} \text{ при } \beta_1 = 0.$$

Входящие в эти формулы значения углов согласно формулам (5.11) и (5.12) находят как

$$\operatorname{tg} \beta_{w0} = \frac{r_{w0}}{r_0} \operatorname{tg} \beta_0;$$

$$\cos \alpha_{nw} = \frac{\cos \gamma_{b0}}{\sin \beta_{w0}};$$

$$\sin \beta_{w1} = \frac{\cos \gamma_{b1}}{\cos \alpha_{nw}}.$$

При несоблюдении условия (5.28) необходимо пересчитать радиус вершин зубьев шевера:

$$r_{a0} = \sqrt{\rho_{a0\max}^2 + r_{b0}^2},$$

где $\rho_{a0\max}$ – наибольший радиус кривизны профиля зуба в торцовом сечении с учетом перекрытия обработкой активной части профиля зуба колеса:

$$\rho_{a0\max} = \left(g_{10} - \frac{\rho_{p12} - \Delta g}{\sin \gamma_{b1}} \right) \sin \gamma_{b0}.$$

Необходимо пересчитать также высоту и толщину головки зуба, а затем провести новый расчет до удовлетворительного результата.

Для качественной обработки шевеком коэффициент перекрытия должен быть не менее

$$\varepsilon = \frac{g_{a10}}{\pi m \sin \gamma_{b1} \cos \alpha} \geq 1,1.$$

Указанная проверка проводится для нового и окончательно сточенного шевеком.

5.4.5. Технические требования

Требования по точности конструктивных элементов шеверов устанавливаются в зависимости от точности обработанных колес:

для колес 5-й степени точности – шеверы класса точности АА,

для колес 6-й степени – шеверы класса А,

для колес 7-й степени – шеверы класса В.

Допускаемые отклонения параметров шеверов классов точности АА, А и В (по ГОСТ 10222-81Е и ГОСТ 8570-80Е) приведены в табл. 5.22.

Шероховатость рабочих поверхностей шеверов не должна превышать:

боковых поверхностей зубьев – $R_z = 1,6$ мкм,

опорных торцовых поверхностей – $R_a = 0,40$ мкм,

посадочного отверстия – $R_a = 0,20$ мкм для классов точности АА и А и $R_a = 0,32$ мкм для класса точности В.

Шеверы изготавливаются из быстрорежущих сталей марок Р6М5, Р6М5К5, Р18. Твердость режущей части должна быть HRC₂ 63-66.

Рабочий чертеж шевера показан на рис. 5.15.

Таблица 5.22. Предельные отклонения параметров шеверов, мкм

Параметр и обозначение его отклонения	Степень точности шеверов класса		
	АА	А	В
Диаметр посадочного отверстия, f_d	5	5	5-8
Профиль зубьев, f_{f0}	3-4	4-6	5-8
Высота головки зуба, f_{ha0}	$\pm(12-20)$	$\pm(10-25)$	$\pm(15-25)$
Диаметр окружности выступов, f_{da0}	± 200	± 400	± 400
Разность окружных шагов, f_{vpt0}	3	3	4-5
Накопленная погрешность окружного шага, F_{p0}	8-10	12	16
Радиальное биение зубчатого венца, F_{r0r}	6-8	10	18
Направление зуба, f_{p0}	$\pm(6-8)$	± 9	± 11
Параллельность торцовых поверхностей, f_x	5	8	10
Отклонение от перпендикулярности торцовых поверхностей отверстия, f_{xy}	5	7	8

6. ТИПОВЫЕ ЗАДАНИЯ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Курсовая работа предполагает проектирование трех видов режущих инструментов:

- фасонный резец (круглый или призматический);
- внутренняя протяжка (круглая, квадратная или шпоночная);
- зуборезный обкатный инструмент (червячной фрезы, долбяка или дискового шевера).

Индивидуальное задание на проектирование и перечень подлежащих разработке вопросов устанавливает руководитель работы. Для этой цели используют рис. и данные таблиц 6.1-6.8.

Руководитель задает студенту по каждому виду инструмента номер варианта.

По **фасонному резцу** номер варианта определяет соответствующий эскиз обрабатываемой детали (рис.). Габаритные размеры и материал детали выбирают по табл. 6.1.

По **внутренней протяжке** номер варианта определяет строку соответствующей таблицы (6.2, 6.3, 6.4), где указаны размеры отверстия и материал обрабатываемой детали.

По **зуборезному инструменту** номер варианта определяет строку соответствующей таблицы (6.5, 6.6, 6.7, 6.8), где указаны основные параметры и материал обрабатываемой зубчатой детали. Для зубчатых деталей всех вариантов следует принять угол профиля стандартного эвольвентного

зацепления $\alpha = 20^\circ$; правое направление винтовой линии (если $\beta_1 \neq 0^\circ$); коэффициент смещения $x_{1(2)} = 0$.

Если какие-то параметры не указаны в задании, студент вправе задать их самостоятельно с указанием на это в пояснительной записке.

Принятые обозначения:

D, d, R, S, b, t – размеры, мм;

l – длина обработки, мм;

m – модуль нормальный, мм;

α – угол профиля исходного контура;

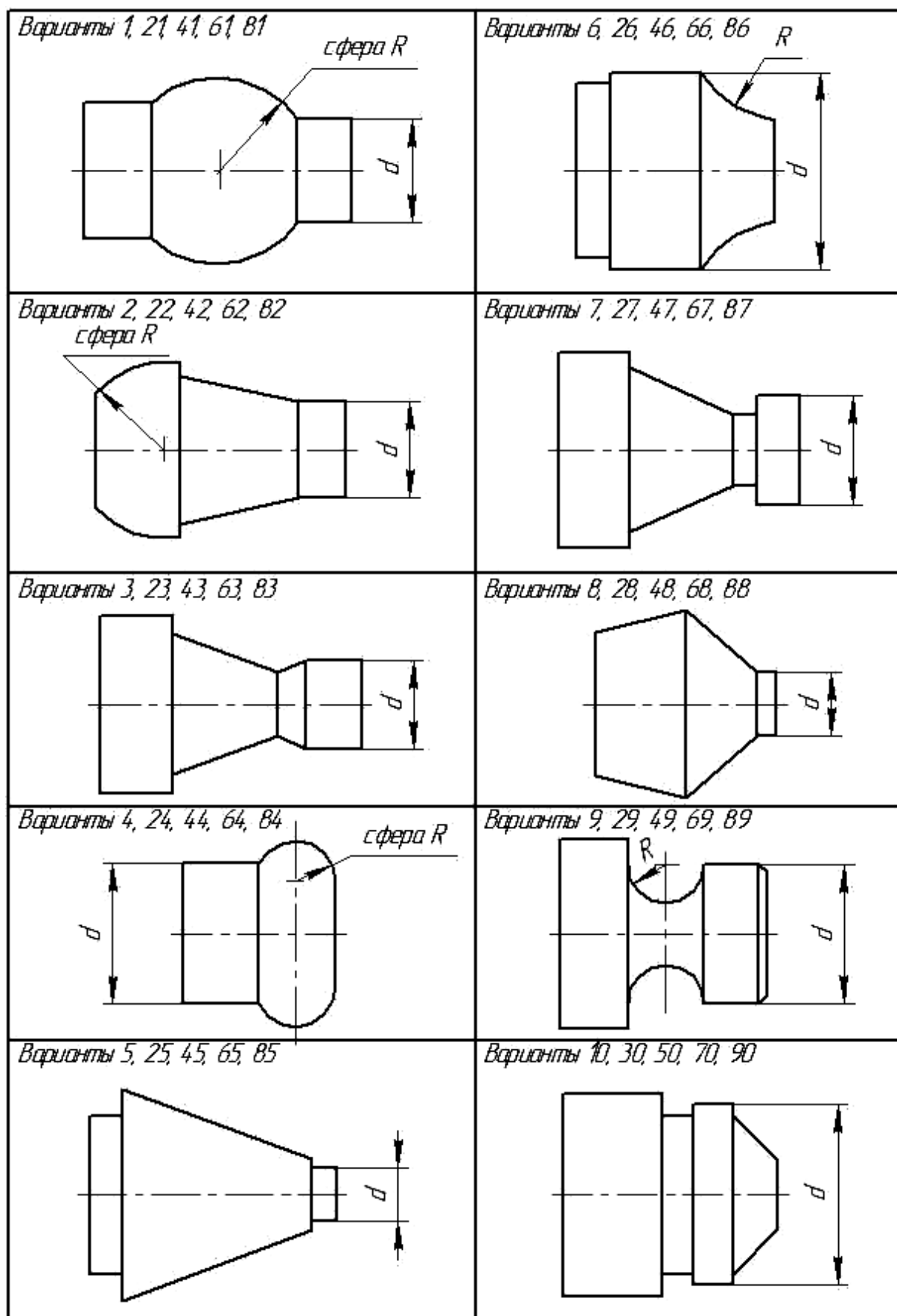
z_1 – число зубьев обрабатываемого колеса;

z_2 – число зубьев колеса, зацепляемого с обрабатываемым;

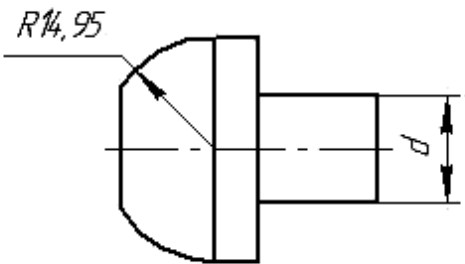
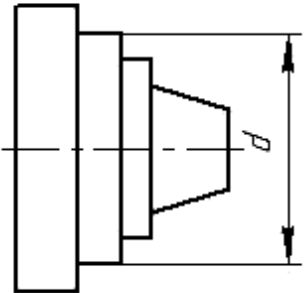
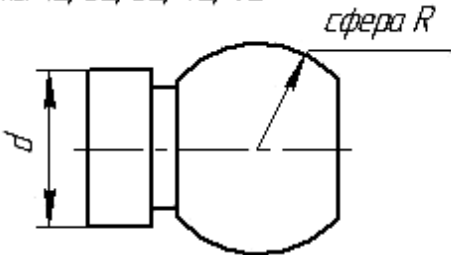
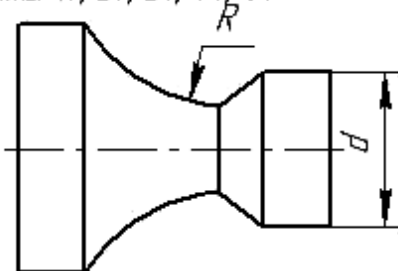
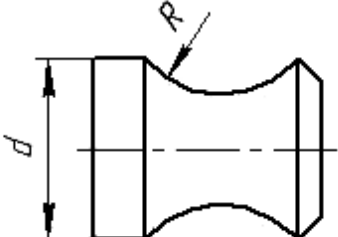
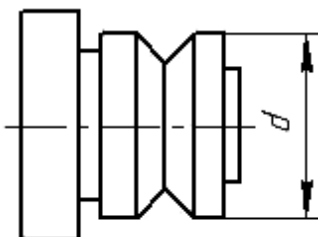
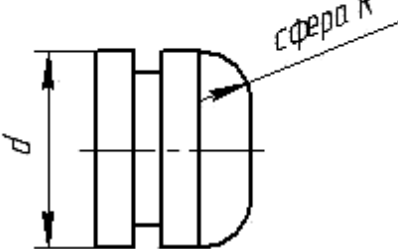
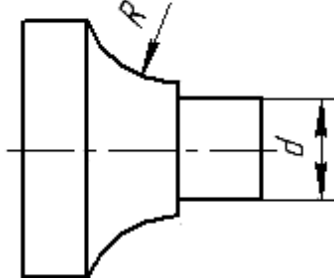
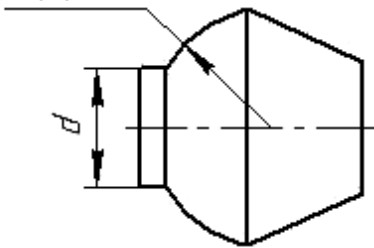
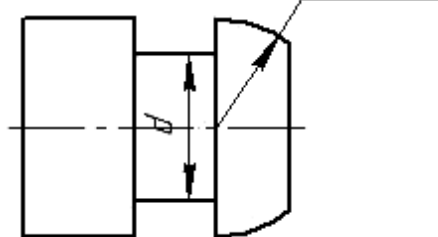
h^* – коэффициент высоты зуба колеса;

β_1 – угол наклона зубьев колеса, град.;

$x_{1(2)}$ – коэффициент смещения.



Эскизы деталей, изготавливаемые фасонными резцами
из прутка диаметра D

Варианты 11, 31, 51, 71, 91 	Варианты 16, 36, 56, 76, 96 
Варианты 12, 32, 52, 72, 92 	Варианты 17, 37, 57, 77, 97 
Варианты 13, 33, 53, 73, 93 	Варианты 18, 38, 58, 78, 98 
Варианты 14, 34, 54, 74, 94 	Варианты 19, 39, 59, 79, 99 
Варианты 15, 35, 55, 75, 95 	Варианты 20, 40, 60, 80, 100 

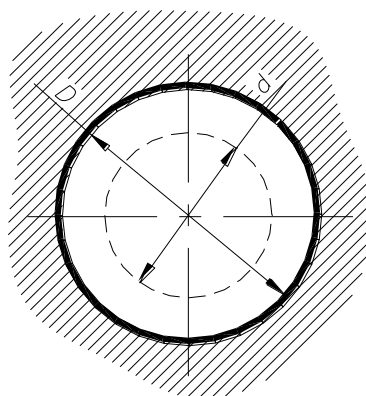
Эскизы деталей, изготавливаемые фасонными резцами
из прутка диаметра D (продолжение)

Таблица 6.1. Исходные данные для проектирования фасонного резца

Вариант №	Диаметр прутка D , мм	Длина детали l , мм	Квалитет на диаметр d	Материал заготовки
1-10	25	1,5D	h8	Сталь 40X $\sigma_B = 850$ МПа
11-20	30	2D	f9	Сталь 30ХН3А $\sigma_B = 1000$ МПа
21-30	34	D	h10	Бронза $\sigma_B = 500$ МПа
31-40	40	1,5D	c11	Сталь 45 $\sigma_B = 750$ МПа
41-50	48	2D	h12	Д16 – дюраль $\sigma_B = 400$ МПа
51-60	42	D	h8	Сталь 40X $\sigma_B = 850$ МПа
61-70	50	1,5D	f9	Сталь 30 $\sigma_B = 500$ МПа
71-80	38	2D	q10	Сталь 5 $\sigma_B = 600$ МПа
81-90	45	D	f11	Сталь 38ХА $\sigma_B = 680$ МПа
91-100	60	1,5D	e12	Медь М3

Максимальный диаметр обрабатываемой детали $d_{\max} = D - 1$, мм. Оставшиеся размеры назначаются самостоятельно, пропорционально эскизу.

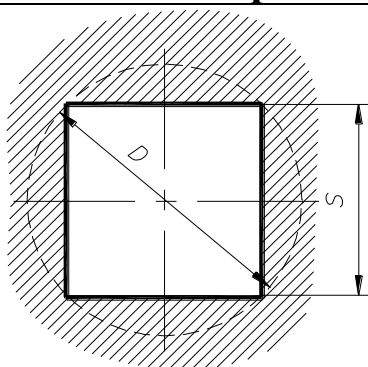
Таблица 6.2. Исходные данные для проектирования протяжки круглой



l – длина отверстия

Вариант №	D, мм	l, мм	Материал
1	45H7	75	45
2	20H7	55	40
3	32H7	50	40XH
4	58H8	100	35
5	120H7	200	20X
6	65H8	100	40XH
7	150H8	250	40X
8	75H7	125	45
9	70H7	120	40XH
10	45H8	140	40X
11	30H8	50	45
12	27H9	45	40
13	25H9	40	40XH
14	22H8	35	35
15	20H7	30	20X
16	32H7	70	40X
17	36H7	75	45
18	45H9	90	40XH
19	55H8	100	45
20	65H9	120	40

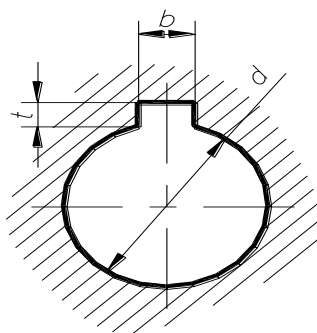
**Таблица 6.3. Исходные данные для проектирования
протяжки квадратной**



l – длина отверстия

Вариант №	$S(H11)$, мм	$D(H12)$, мм	l, мм	Материал
1	27	37,1	45	40XH
2	10	13,2	18	45
3	50	68,6	75	20
4	41	55,1	64	35
5	17	22	30	40X
6	22	29,5	40	50Г
7	36	48,8	50	40
8	60	82,6	90	45
9	12	16	20	30
10	80	110,4	100	25
11	24	33,9	40	40XH
12	30	42,4	30	45
13	25	35,3	50	20
14	19	26,8	20	35
15	40	56,5	60	40X
16	32	45,2	70	50Г
17	55	77,7	60	40
18	38	53,7	50	45
19	70	98,9	100	30
20	90	127,3	120	40X

**Таблица 6.4. Исходные данные для проектирования
протяжки шпоночной**



l – длина отверстия

Вариант №	b , мм	$t(H12)$, мм	d , мм	l , мм	Материал
1	8D10	3,3	25	120	45
2	28P9	6,4	110	25	40
3	10P9	3,3	35	110	20X
4	25D10	5,6	95	35	40X
5	12D10	3,3	40	100	35
6	22P9	5,4	85	45	45
7	14D10	3,8	45	90	40
8	20P9	4,9	75	55	P9
9	16P9	4,3	55	80	50Г
10	18D10	4,4	65	65	45
11	18P9	4,4	60	70	45
12	16D10	4,3	50	75	40
13	20D10	4,9	70	60	20X
14	14P9	3,8	45	85	40X
15	22D10	5,4	80	50	35
16	12P9	3,3	40	95	45
17	25D10	5,6	90	40	40
18	10P9	3,3	35	105	P9
19	28D10	6,4	100	30	50Г
20	8D10	3,3	30	115	45

**Таблица 6.5. Исходные данные для проектирования
червячной модульной фрезы**

Вариант №	m , мм	z_1	h^*	β_1	Степень точности	Материал
1	1,75	42	1	0	5	Сталь 35Х
2	10	25	0,8	0	6	Сталь 40Х
3	2	36	1	0	7	Серый чугун
4	9	40	0,8	10	8	Сталь 30ХГТ
5	2,25	25	1	0	9	Сталь 20Х
6	8	75	0,8	15	10	Серый чугун
7	2,5	40	1	0	11	Сталь 45
8	7	35	0,8	0	5	Сталь 12ХН3А
9	2,75	65	1	10	6	Серый чугун
10	6,5	30	0,8	0	7	Сталь 35Х
11	3	17	1	0	8	Серый чугун
12	6	30	0,8	10	9	Сталь 45
13	3,25	50	1	0	10	Сталь 40Х
14	5,5	70	0,8	10	11	Серый чугун
15	3,5	24	1	15	5	Сталь 35Х
16	5	45	0,8	0	6	Сталь 30ХГТ
17	3,75	80	1	0	7	Серый чугун
18	4,5	40	0,8	10	8	Сталь 40Х
19	4	20	1	10	9	Сталь 35
20	4,25	35	0,8	0	10	Сталь 20Х

Таблица 6.6. Исходные данные для проектирования зуборезного долбяка

Вариант №	m , мм	z_1	h^*	β_1	z_2	Степень точности	Материал
1	1	27	1	0	81	6	Сталь 35Х
2	10	21	0,8	10	84	7	Сталь 40Х
3	1,25	29	1	15	58	8	Серый чугун
4	9	26	0,8	20	106	6	Сталь 30ХГТ
5	1,5	18	1	25	54	7	Сталь 20Х
6	8	23	0,8	0	95	8	Серый чугун
7	1,75	25	1	10	70	6	Сталь 12ХН3А
8	7	40	0,8	15	80	7	Серый чугун
9	2	18	1	20	55	8	Сталь 35Х
10	6,5	20	0,8	25	50	6	Серый чугун
11	2,25	32	1	0	70	7	Сталь 45
12	6	25	0,8	10	75	8	Сталь 40Х
13	2,5	45	1	15	60	6	Серый чугун
14	5,5	20	0,8	20	50	7	Сталь 35Х
15	2,75	19	1	25	70	8	Сталь 30ХГТ
16	5	45	0,8	0	70	6	Серый чугун
17	3	30	1	10	50	7	Сталь 40Х
18	4,5	24	0,8	15	72	8	Сталь 35
19	3,25	20	1	20	45	6	Сталь 20Х
20	4	35	0,8	25	70	7	Серый чугун

**Таблица 6.7. Исходные данные для проектирования
дискового шевера**

Вариант №	m , мм	z_1	h^*	β_1	z_2	Степень точности	Материал
1	1	14	1	30	56	5	Сталь 35Х
2	8	21	0,8	20	63	6	Сталь 40Х
3	1,25	16	1	10	62	7	Серый чугун
4	7	16	0,8	0	70	5	Сталь 30ХГТ
5	1,5	27	1	30	54	6	Сталь 20Х
6	6,5	25	0,8	20	100	7	Серый чугун
7	1,75	47	1	10	96	5	Сталь 12ХН3А
8	6	15	0,8	0	75	6	Серый чугун
9	2	16	1	30	90	7	Сталь 35Х
10	5,5	16	0,8	20	48	5	Серый чугун
11	2,25	36	1	10	72	6	Сталь 45
12	5	18	0,8	0	40	7	Сталь 40Х
13	2,5	30	1	30	50	5	Серый чугун
14	4,5	27	0,8	20	74	6	Сталь 35Х
15	2,75	20	1	10	60	7	Сталь 30ХГТ
16	4,25	42	0,8	0	70	5	Серый чугун
17	3	18	1	30	54	6	Сталь 40Х
18	4	21	0,8	20	80	7	Сталь 35
19	3,25	45	1	10	75	5	Сталь 20Х
20	3,75	20	0,8	0	51	6	Серый чугун

Таблица 6.8. Исходные данные для проектирования червячной фрезы для шлицевого вала

№	Обозначение шлицевого вала	l , мм	Материал
1	$D - 6 \times 23 - 26f7 \times 6f7$	20	Сталь 40Х
2	$D - 8 \times 32 \times 36f7 \times 6f7$	25	Сталь 20Х
3	$D - 8 \times 36 \times 40f7 \times 7f6$	40	Сталь 45
4	$d - 6 \times 11g6 \times 13a11 \times 3k7$	30	Сталь 40Х
5	$d - 6 \times 13g6 \times 16a11 \times 35k7$	30	Сталь 35Х
6	$D - 8 \times 42 \times 46f7 \times 8f8$	40	Сталь Х6СМ
7	$d - 6 \times 16g6 \times 20a11 \times 4k7$	15	Сталь 30ХГС
8	$b - 8 \times 36 \times 40a11 \times 7js7$	25	Сталь Х18
9	$D - 6 \times 26 \times 32g6 \times 6k7$	20	Сталь Х14
10	$D - 6 \times 28 \times 34g6 \times 7k7$	30	Сталь Х18Н9Т
11	$D - 8 \times 46 \times 50f7 \times 9f7$	40	Сталь 45
12	$D - 10 \times 72 \times 78f7 \times 12f7$	50	Сталь 20Х
13	$D - 10 \times 82 \times 88g6 \times 12k7$	40	Сталь 35Х
14	$D - 10 \times 92 \times 98g6 \times 14k7$	60	Сталь 12ХН3А
15	$D - 10 \times 102 \times 108g6 \times 16k7$	30	Сталь 45
16	$D - 10 \times 112 \times 120f7 \times 18f8$	40	Сталь 40Х
17	$d - 8 \times 36e8 \times 38a11 \times 6f7$	50	Сталь 45
18	$d - 8 \times 36e8 \times 42a11 \times 6f7$	40	Сталь 40Х
19	$b - 8 \times 32 \times 36a11 \times 6f8$	30	Сталь 35Х
20	$d - 10 \times 92f7 \times 102a11 \times 14k7$	20	Сталь 30ХГС

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Режущий инструмент [Текст]: учебник для вузов / под ред. С.В. Кирсанова. - М.: Машиностроение, 2004. - 512 с.
2. Балашов, В.М. Режущие инструменты [Текст] / В.М. Балашов, В.А. Гречишников, А.И. Матвеев, С.П. Рыков, А.Г. Схиртладзе, В.Л. Хренов. - Тверь: ТГТУ, 2002. - 244 с.
3. Сахаров, Г.Н. Metallорежущие инструменты / Г.Н. Сахаров, О.Б. Арбузов, Ю.Л. Боровой [и др.]. - М.: Машиностроение, 1989. - 328 с.
4. Иноземцев, Г.Г. Проектирование metallорежущих инструментов. [Текст] / Г.Г. Иноземцев. - М.: Машиностроение, 1984. - 272 с.
5. Семенченко, И.И. Проектирование metallорежущих инструментов [Текст] / И.И. Семенченко, В.М. Матюшин, Г.Н. Сахаров. - М.: Машгиз, 1963. - 952 с.
6. Краткий справочник metallиста [Текст] / под общ. ред. П.Н. Орлова и С.И. Скороходова. - М.: Машиностроение, 1987. - 960 с.
7. Юликов, М.И. Проектирование и производство режущего инструмента [Текст] / М.И. Юликов, Б.И. Горбунов, Н.В. Колесов. - М.: Машиностроение, 1987. - 295 с.
8. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания metallов [Текст]: справочник / под общ. ред. В.И. Баранчикова. - М.: Машиностроение, 1990. - 400 с.
9. Панов, А.А. Обработка metallов резанием [Текст]: справочник технолога / А.А. Панов [и др.] ; под общ. ред. А.А. Панова. - М.: Машиностроение, 1988. - 736 с.
10. Режимы резания metallов [Текст]: справочник / под ред. Ю.В. Барановского. - М.: Машиностроение, 1972. - 470 с.
11. Ординарцев, И.А. Справочник инструментальщика [Текст] / И.А. Ординарцев, Г.Н. Филиппов, А.Н. Шевченко [и др.] ; под общ. ред. И.А. Ординарцева. - Л.: Машиностроение, 1987. - 846 с.
12. Справочник конструктора-инструментальщика [Текст] / под общей ред. В.И. Баранчикова. - М.: Машиностроение, 1994. - 560 с.
13. Шатин, В.П. Справочник конструктора инструментальщика [Текст] / В.П. Шатин, Ю.В. Шатин. - М.: Машиностроение, 1977. - 456 с.
14. Справочник metallиста [Текст]: В 5 т. / под ред. А.Н. Малова. - М.: Машиностроение, 1977. Т. 3. 748 с.
15. Кирсанов, Г.Н. Руководство по курсовому проектированию metallорежущих инструментов [Текст] / Г.Н. Кирсанов, О.В. Арбузов, Ю.Л. Боровой [и др.] ; под общ. ред. Г.Н. Кирсанова. - М.: Машиностроение, 1986. - 288 с.
16. Нефедов, Н.А. Сборник задач и примеров по резанию metallов и режущему инструменту [Текст] / Н.А. Нефедов, К.А. Осипов. - М.: Машиностроение, 1990. - 448 с.

17. Лашнев, С.И. Расчет и конструирование металлорежущих инструментов с применением ЭВМ [Текст] / С.И. Лашнев, М.И. Юликов. - М.: Машиностроение, 1975. - 391 с.
18. Таратынов, О.В. Проектирование и расчёт металлорежущего инструмента на ЭВМ [Текст]: учебное пособие для втузов / О.В. Таратынов, Г.Г. Земсков, Ю.П. Тарамыкин [и др.]. - М.: Высшая школа, 1991. - 423 с.
19. Грановский, Г.И. Фасонные резцы [Текст] / Г.И. Грановский, К.П. Панченко. - М.: Машиностроение, 1975. - 344 с.
20. Маргулис, Д.К. Протяжки для обработки отверстий [Текст] / Д.К. Маргулис, М.М. Тверской, В.Н. Ашихмин [и др.]. - М.: Машиностроение, 1986. - 232 с.
21. Щеголев, А.В. Конструирование протяжек [Текст] / А.В. Щеголев. - Л.: Машгиз, 1960. - 352 с.
22. Кацев, П.Г. Справочник протяжника [Текст] / П.Г. Кацев, Н.П. Епифанов. - М.: Машгиз, 1963. - 256 с.
23. Романов, В.Ф. Расчет зуборезных инструментов [Текст] / В.Ф. Романов. - М.: Машиностроение 1969. - 255 с.
24. Кудевицкий, Я.В. Фасонные фрезы [Текст] / Я.В. Кудевицкий. - Л.: Машиностроение, 1987. - 846 с.
25. Стаханов, Н.Г. Проектирование фасонных затылованных фрез [Текст] / Н.Г. Стаханов. - Тула: Тульский гос. техн. ун-т, 1995. - 111 с.
26. Фрайфельд, И.А. Расчёты и конструкция специального металлорежущего инструмента [Текст] / И.А. Фрайфельд. - М.; Л.: Машгиз, 1957. - 140 с.
27. Матюшин, В.М. Зубодолбление [Текст] / В.М. Матюшин. - М.: Машгиз, 1953. - 182 с.

*Сергей Павлович Рыков
Александр Георгиевич Схиртладзе
Владимир Леонидович Хренов*

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ
МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА**

Учебное пособие
Издание первое

Редактор Т.С. Сеницына
Корректор И.В. Шункова
Технический редактор Г.В. Комарова

Подписано в печать 21.03.08

Формат 60х84/16

Физ. печ. л. 8,75

Тираж 150 экз.

Усл. печ. л. 8,14

Заказ № 22

Бумага писчая

Уч.- изд. л. 7,61

С – 21

Редакционно-издательский центр
Тверского государственного технического университета
170026, Тверь, наб. Афанасия Никитина, 22