

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Кафедра технологии машиностроения

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

для выполнения курсового проекта по дисциплине
«Режущий инструмент» для студентов специальности
1-36 01 01 «Технология машиностроения»
по теме: **«Проектирование специального инструмента»**

Брест 2012

Методические указания предназначены для выполнения курсового проекта по дисциплине « Режущий инструмент » для студентов специальности 1-36 01 01 «Технология машиностроения» и соответствующего раздела при дипломном проектировании. В настоящих методических указаниях предлагаются способы расчета и проектирования сложнорежущих и специальных инструментов. Содержание методических указаний соответствует учебной программе по дисциплине «Режущий инструмент». Методические указания предназначены для студентов специальности 1-36 01 01 «Технология машиностроения » дневной и заочной форм обучения.

Составители: Левданский А.М., старший преподаватель
Кудрицкий Я.В., старший преподаватель

Содержание

Раздел 1 – Проектирование и расчёт фасонного резца, шаблона и контршаблона.....	4
Раздел 2 – Проектирование и расчёт фасонной протяжки.....	25
Раздел 3 – Проектирование и расчёт круглой протяжки.....	39
Раздел 4 – Проектирование и расчёт червячной фрезы с прямобочным шлицем.....	51
Раздел 5 – Проектирование и расчёт зуборезной фрезы.....	61

Раздел 1 – Проектирование и расчёт фасонного резца, шаблона и контршаблона

В методических указаниях дана краткая последовательность расчета фасонных резцов, ось которых (база крепления) параллельна оси детали.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАСЧЕТА РЕЗЦА

1.1. Вычертить эскиз обрабатываемой детали, указать наименование, марку и механические свойства материала детали.

1.2. На эскизе обозначить узловые точки профиля детали цифрами 1, 2, 3, 4 и т.д. в порядке возрастания диаметров отдельных участков профиля.

1.3. Рассчитать высотные размеры профиля в узловых точках на детали по формулам (1.1):

$$t_2 = \frac{d_2 - d_1}{2}, t_3 = \frac{d_3 - d_1}{2}, t_4 = \frac{d_4 - d_1}{2}, \dots, t_{\max} = \frac{d_{\max} - d_1}{2}; \quad (1.1)$$

где $d_1, d_2, d_3, d_4, \dots, d_{\max}$ — диаметры обработанных поверхностей на детали.

1.4. Выбрать габаритные и конструктивные размеры резца по таблице 1.1 и 1.2, величины переднего γ и заднего α углов резца – по таблице 1.3.

Таблица 1.1 – Размеры круглых фасонных резцов, мм (рисунок 1)

Высота профиля на детали t_{\max}	D	d	d_1	d_2	b	l_2
0...6	40	13		20	10	3
6...8	50			26		
8...10	60			32		
10...12	70	22	34	35	17	4
12...15	80			40	20	
15...18	90			45	23	5
18...21	100	27	40	50	25	

Примечание: 1. Размеры L_p определяют по длине детали и ширине дополнительных режущих кромок резца (см. п. 10).

$$l_1 = 0,25 \cdot L_p; \quad l = L_p - l_1; \quad l_3 = 0,25 \cdot l.$$

2. Технические условия:

а) материал резца – сталь Р6М5 ГОСТ 19265-73, твердость – HRC, 63...66;

б) размеры профиля резца изготовить по шаблону;

в) маркировать: Р6М5; $\gamma^0 \dots$; $l_2 \dots$; Н...; товарный знак предприятия.

Таблица 1.2 – Размеры призматических фасонных резцов, мм (рисунок 3)

Высота профиля на детали t_{\max}	M	A	F	E	d	H
0...4	21,31	15	7	4		75
4...6	29,46	20	10			
7...10	34,46	25	15	6		
11...14	45,77	30	20			90
15...20	55,77	40	25	10		
21...28	83,66	60	40	15		100

Примечание: 1. Размеры L_p определяют по длине детали и ширине дополнительных режущих кромок резца (см. п. 10); $b = t_{\max} + (5 \dots 12)$; размер В определяют конструктивно.

2. Технические условия:

а) материал режущей части резца – сталь Р6М5 ГОСТ 19265-73, твердость – HRC, 63...66;

б) размеры профиля резца изготовить по шаблону;

в) маркировать: Р6М5; $\gamma^0 \dots$; $\alpha^0 \dots$; товарный знак предприятия

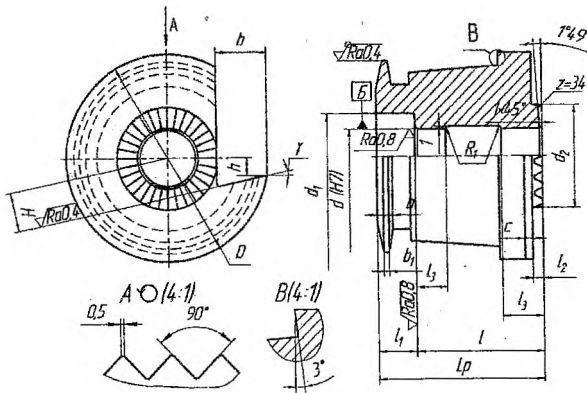


Рисунок 1.1 – Резец фасонный круглый

Рисунок 1.2 – Конструкции круглых фасонных резцов а – целый резец с хвостовиком; б – насадной резец для консольного крепления с зубьями на торце; в – то же, со штифтом и зубчатой полумуфтой; г – круглый резец для обработки отверстий (с – срез)

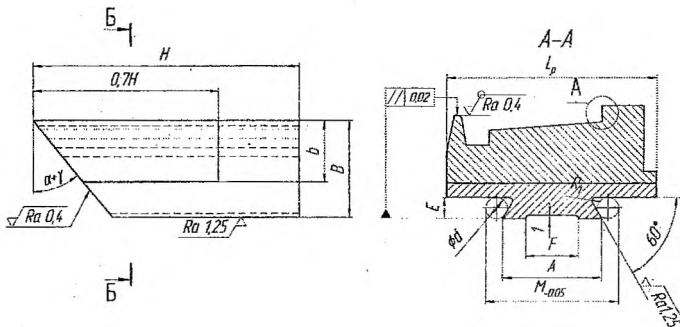
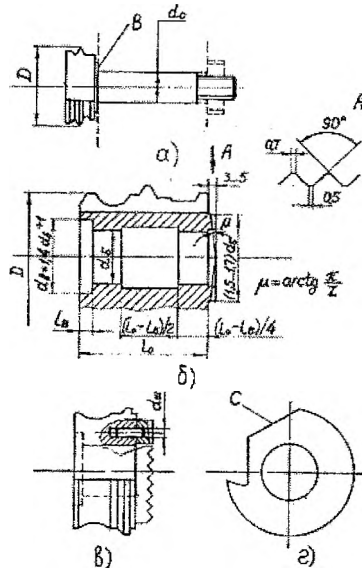


Рисунок 1.3 – Резец фасонный призматический

Таблица 1.3 - Величина передних γ и задних α углов фасонных резцов

Обрабатываемый материал		γ^0	α^0	
Марка	σ_n , МПа		Тип реза	
			круглый	призматический
Сталь	500	25	10...12	12...15
	500...800	20		
	800...1000	12		
	1000...1200	8		
Алюминий, медь	—	20...25		
Бронза, латунь	—	20...25		

1.5. Вычертить эскиз взаимного расположения детали и реза в двух проекциях, за базовую точку установки принять точку I на профиле детали (рисунок 1.3, 1.4).

1.6. Рассчитать для круглого фасонного реза высоту заточки реза H и высоту установки реза h (рисунок 1.1) по формулам (1.2) и (1.3):

$$H = R_1 \cdot \sin(\alpha + \gamma), \quad (1.2)$$

где R_1 – радиус наибольшей (габаритной) окружности реза.

$$R_1 = \frac{D}{2},$$

D – по таблице 1.

$$h = R_1 \cdot \sin \alpha. \quad (1.3)$$

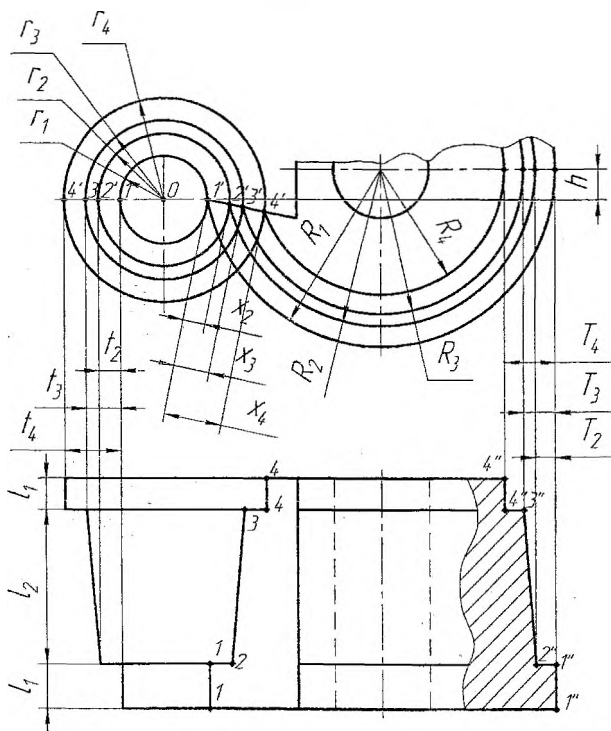


Рисунок 1.4 – Схема взаимного расположения детали и круглого фасонного реза

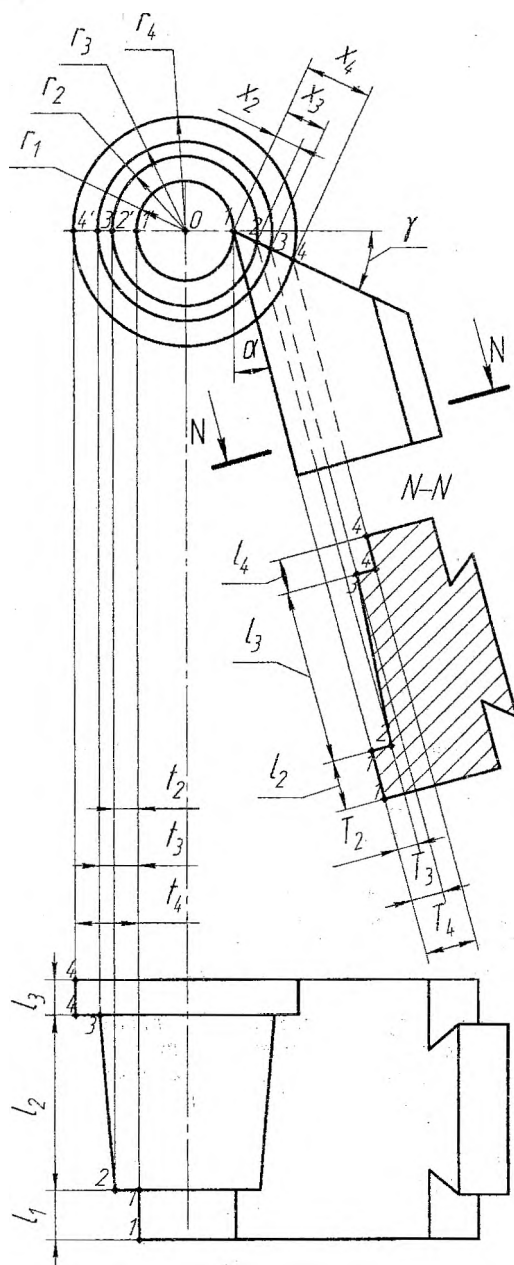


Рисунок 1.5 -- Схема взаимного расположения детали и призматического фасонного резца

1.7. Рассчитать для каждой узловой точки высотные размеры профиля реза, измеренные вдоль передней поверхности. (см. рисунки 1.4, 1.5).

$$x_2 = \frac{r_2 \cdot \cos(\gamma - \gamma_2) - r_1}{\cos \gamma}, x_3 = \frac{r_3 \cdot \cos(\gamma - \gamma_3) - r_1}{\cos \gamma}, x_4 = \frac{r_4 \cdot \cos(\gamma - \gamma_4) - r_1}{\cos \gamma}, \dots, \\ x_i = \frac{r_i \cdot \cos(\gamma - \gamma_i) - r_1}{\cos \gamma}, \quad (1.4)$$

где $r_1, r_2, r_3, r_4, \dots, r_i$ – радиусы узловых точек на профиле детали;
 γ – величина переднего угла в базовой точке 1 (по таблице 1.4);
 $\gamma_2, \gamma_3, \gamma_4, \dots, \gamma_i$ – величины передних углов для расчетных точек на профиле режущей кромки реза.

$$\sin \gamma_2 = \frac{r_1}{r_2} \sin \gamma, \sin \gamma_3 = \frac{r_1}{r_3} \sin \gamma, \sin \gamma_4 = \frac{r_1}{r_4} \sin \gamma, \sin \gamma_i = \frac{r_1}{r_i} \sin \gamma. \quad (1.5)$$

1.8. Рассчитать высотные размеры профиля реза, необходимые для его изготовления и контроля.

1.8.1. Круглые резы – высотные размеры профиля для каждой узловой точки задают в радиальном (осевом) сечении (см. рисунок 1.3).

$$T_2 = R_1 - R_2, T_3 = R_1 - R_3, T_4 = R_1 - R_4, \dots, T_i = R_1 - R_i. \quad (1.6)$$

где $R_1, R_2, R_3, R_4, \dots, R_i$ – радиусы окружностей, проходящих через узловые точки профиля реза.

$$R_2 = \left[R_1^2 + x_2^2 - 2 \cdot R_1 \cdot x_2 \cdot \cos(\alpha + \gamma) \right]^{1/2}; \\ R_3 = \left[R_1^2 + x_3^2 - 2 \cdot R_1 \cdot x_3 \cdot \cos(\alpha + \gamma) \right]^{1/2}; \\ \dots \dots \dots \\ R_i = \left[R_1^2 + x_i^2 - 2 \cdot R_1 \cdot x_i \cdot \cos(\alpha + \gamma) \right]^{1/2}. \quad (1.7)$$

1.8.2 Призматические резы – высотные размеры профиля для каждой узловой точки задают в сечении перпендикулярном задней поверхности реза (см. рисунок 1.5).

$$T_2 = x_2 \cdot \cos(\alpha + \gamma), T_3 = x_3 \cdot \cos(\alpha + \gamma), T_4 = x_4 \cdot \cos(\alpha + \gamma), \dots, T_i = x_i \cdot \cos(\alpha + \gamma) \quad (1.8)$$

Примечание: Для автоматизации расчета высотных размеров профиля реза целесообразно использовать ЭВМ.

1.9. Проверить результаты аналитического расчета величин $T_2, T_3, T_4, \dots, T_i$ по формулам (6) и (8) графическим построением профиля реза. Графическое построение выполнить на листе чертежной бумаги формата А2 в масштабе $M \geq 5:1$.

Последовательность графического построения профиля реза (см. рисунки 1.6 и 1.7).

1) Вычертить деталь в двух проекциях на координатных плоскостях V и Н. Плоскость V – вертикальная, проходит перпендикулярно оси детали, плоскость Н – горизонтальная, совпадает с направлением подачи реза.

2) Обозначить на проекциях детали узловые точки профиля цифрами 1, 2, 3, 4 и т. д. Для построения криволинейного участка профиля (например, 2-4) произвольно задают одну (v_1) или несколько точек на этом профиле.

3) Вычертить на плоскости V контуры передней и задней поверхностей реза. Проекция передней поверхности призматического и круглого резов – прямая линия $1'P$, проведенная из точки $1'$ под углом γ к горизонтальной осевой линии детали. Проекция задней поверхности призматического реза – прямые параллельные линии, проведенные под углом α к вертикальной осевой линии детали через точки пересечения линии $1'P$ с контурными окружностями профиля детали.

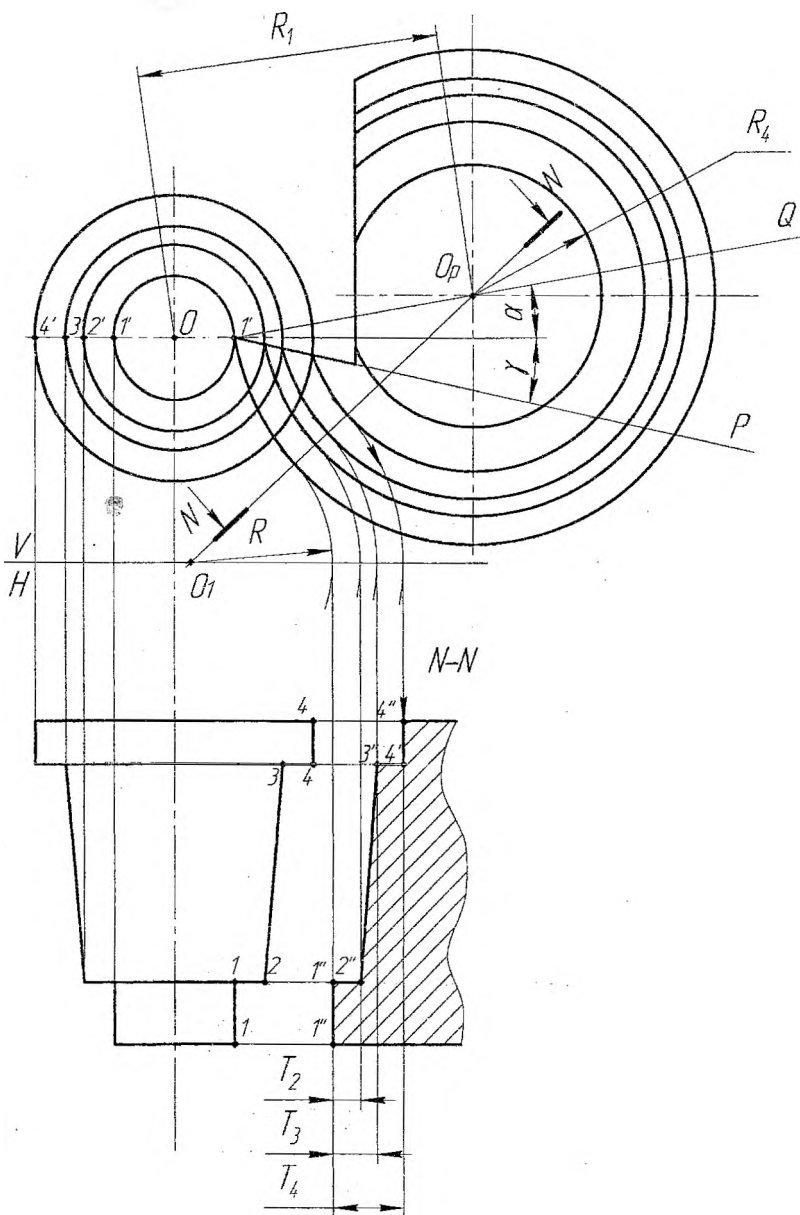


Рисунок 1.6 – Графическое построение профиля круглого резца

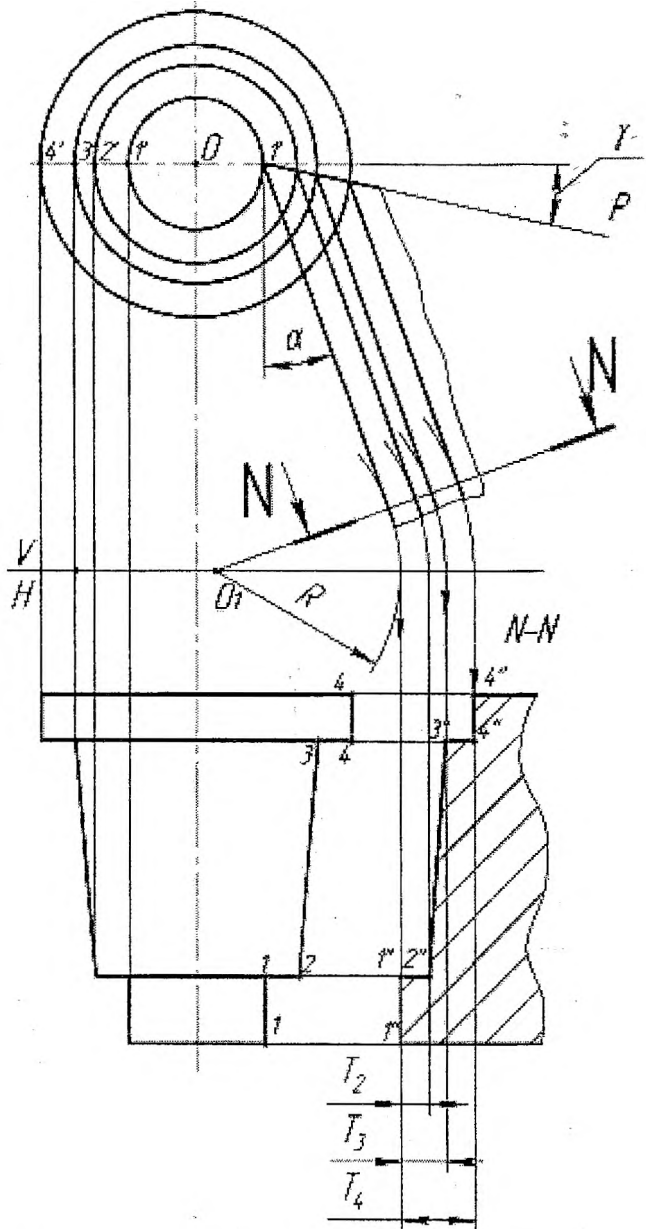


Рисунок 1.7 – Графическое построение профиля призматического реза

Проекция задней поверхности круглого реза окружности радиусов R_1, R_2, R_3, R_4 и т. д., проведенных из центра O_p , лежит на линии из точки I' под углом α к горизонтальной осевой линии детали на расстоянии, равном радиусу R_1 , т. е. $I'Q=R_1$.

4) вычертить на координатной плоскости H профиль реза в нормальном сечении, для чего:

- а) выбрать произвольно центр O_1 пересечения следов плоскостей N и H ;
- б) из центра O_1 провести прямую линию $N-N$, перпендикулярную задней поверхности для призматического реза или радиально направленную для круглого реза;
- в) перенести с помощью циркуля высотные размеры профиля реза из плоскости V на плоскость H .

г) измерить на чертеже высотные размеры каждой узловой точки профиля реза T_2, T_3, T_4 и т.д. и разделить полученные величины на принятый масштаб графического профилирования реза, результаты занести в табл. 4 и сопоставить с результатами аналитического расчета высотных размеров профиля реза.

Таблица 1.4 – Результаты сравнения

Номер узловой точки	Высотные размеры профиля, измеренные от базовой точки 1, мм		
	на детали	на резе	
		аналитический расчет	графическое построение
2	t_2	T_2	T_2
3	t_3	T_3	T_3
4	t_4	T_4	T_4
...

1.10. Определить размеры дополнительных режущих кромок.

Дополнительные режущие кромки (рисунок 1.8,а) подготавливают отрезку детали от прутка. Высота кромок не должна быть больше высоты рабочего профиля реза (необходимо предусмотреть размер C), ширина равна ширине режущей кромки отрезного реза.

$v \geq 4 \dots 8$; размеры: $v_1 \geq 2$; $c_1 = 1,5 \dots 2$; $c_2 = 1 \dots 2$; $f = 2 \dots 5$.

Для уменьшения трения реза о заготовку на участках профиля, перпендикулярных оси детали, затачивают угол, равный 3° , или оставляют фаску, равную 1мм (рисунок 1.8, б, в).

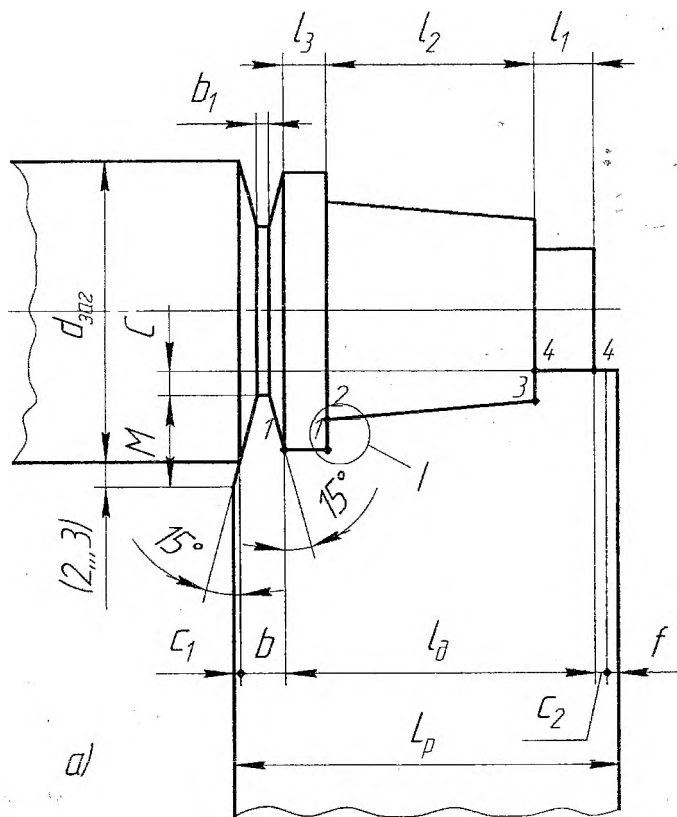
1.11. Разработать чертеж шаблона и контршаблона для проверки профиля реза на просвет. Профиль шаблона (рис.1.9) представляет собой негативный профиль реза. Высотные размеры профиля шаблона равны соответствующим высотным размерам профиля реза. Осевые размеры между узловыми точками профиля шаблона равны соответствующим осевым размерам профиля детали. Для построения профиля шаблона необходимо через узловую базовую точку 1 провести координатную горизонтальную линию, от которой в направлениях, перпендикулярных к ней, отложить высотные размеры профиля реза. Допуск на изготовление высотных размеров профиля шаблона $\pm 0,01$, линейных - $\pm 0,02 \dots 0,03$. При необходимости точного расчета допусков на размеры профиля реза и шаблона рекомендуется использовать методики, приведенные в работах [2], [3].

Ширина шаблона : $L_m = L_p + 2f$, (1.9)

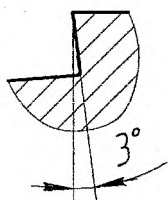
где L_p – ширина реза;

$f = 1 \dots 2$.

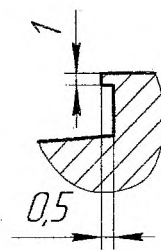
Размер m равен высотному размеру дополнительных режущих кромок реза.



a)



δ)



θ)

Рисунок 1.8 – Дополнительные режущие кромки фасонных резцов

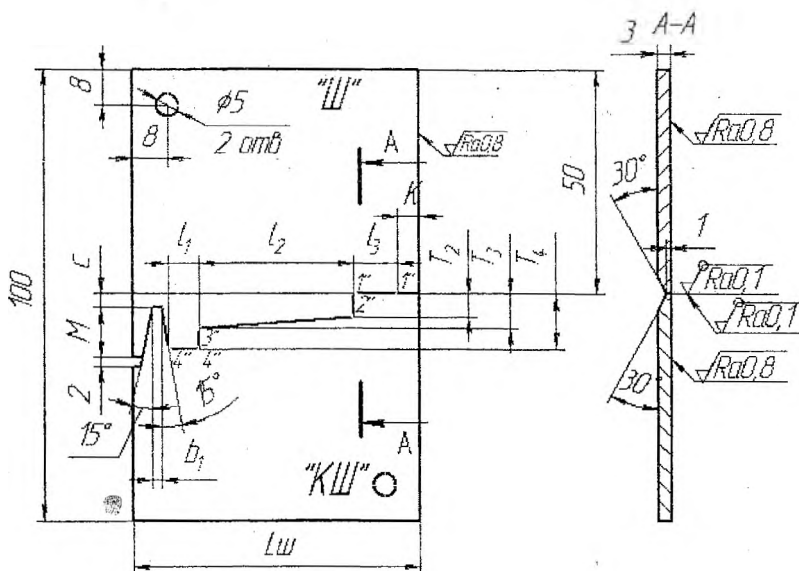


Рисунок 1.9 – Шаблон и контршаблон

1. Материал шаблона и контршаблона – сталь 20 ГОСТ 1051-83, цементировать на глубину 0,1...0,2. Твердость – HRCэ 50...55.
2. Маркировать: «Ш»; «КШ»; № резца; № шаблона; товарный знак предприятия.

Аналитический метод профилирования тангенциальных призматических фасонных резцов

Методика аналитического профилирования тангенциальных фасонных резцов аналогична методике графического профилирования.

Выбирают систему координат xuz . Ось x проводят параллельно оси детали, ось y – параллельно направлению прямолинейно-поступательного движения подачи S резца, а ось z – перпендикулярно к оси детали.

Началом координат является базовая точка C профиля детали, расположенная в осевом сечении xz (рисунок 1.10). При профилировании резца профиль детали считается заданным. Тогда уравнения профиля детали будут:

$$z = f(x); y = 0$$

В процессе обработки цилиндрическая поверхность I , описываемая режущей кромкой резца при его прямолинейно-поступательном движении подачи, касается поверхности детали. В рассматриваемом случае, когда направление движения подачи перпендикулярно к оси детали, профиль поверхности I и профиль поверхности D совпадают.

Поэтому в системе xuz в соответствии с заданными значениями углов γ и λ проводим переднюю плоскость P . Уравнение передней плоскости P записывается в таком виде:

$$x \operatorname{tg} \lambda + y + z \operatorname{tg} \gamma = 0 \quad (1.10)$$

Совместное рассмотрение уравнения поверхности I и передней плоскости P дает режущую кромку AB тангенциального фасонного резца:

$$z = f(x), \quad (1.11)$$

$$x \operatorname{tg} \lambda + y + z \operatorname{tg} \gamma = 0.$$

Чтобы определить профиль резца КМ в сечении N , перпендикулярном к образующим АМ, ВК задней поверхности, введем систему координат x_1, y_1, z_1 . Ось x_1 направим по оси x , ось y_1 направим параллельно образующим задней поверхности резца. Начало координат системы x_1, y_1, z_1 совместим с началом координат системы x, y, z .

Запишем формулы преобразования координат:

$$\begin{aligned} x &= x_1, \\ y &= y_1 \cos \alpha + z_1 \sin \alpha; \\ z &= z_1 \cos \alpha - y_1 \sin \alpha. \end{aligned} \quad (1.12)$$

Уравнения режущей кромки в системе x_1, y_1, z_1 :

$$\begin{aligned} z_1 \cos \alpha - y_1 \sin \alpha &= f(x); \\ x_1 \operatorname{tg} \lambda + y_1 \cos \alpha + z_1 \sin \alpha + f(x_1) \operatorname{tg} \gamma &= 0. \end{aligned} \quad (1.13)$$

Умножив первое уравнение на $\cos \alpha$, а второе на $\sin \alpha$ и, сложив после преобразования, получим

$$z_1 = f(x_1) (\cos(\alpha + \gamma) / \cos \gamma) - x_1 \operatorname{tg} \lambda \sin \alpha. \quad (1.14)$$

Это уравнение представляет собой уравнение цилиндрической фасонной поверхности, образующие которой идут параллельно оси z_1 и которая включает режущую кромку фасонного тангенциального резца. Рассматриваемое уравнение является уравнением задней поверхности тангенциального призматического фасонного резца. Профиль этой поверхности, т.е. профиль КМ тангенциального резца в сечении, перпендикулярном к образующим задней поверхности:

$$\begin{aligned} y_1 &= \text{const}; \\ z_1 &= f(x_1) (\cos(\alpha + \gamma) / \cos \gamma) - x_1 \operatorname{tg} \lambda \sin \alpha; \end{aligned} \quad (1.15)$$

где $x_1 = x$, $f(x_1) = z$.

По этим формулам, зная координаты x, z узловых точек профиля детали, рассчитывают координаты x_1, z_1 соответствующих узловых точек профиля тангенциального фасонного призматического резца с прямолинейно-поступательным движением подачи.

В общем случае аналитическое профилирование тангенциальных фасонных призматических резцов с прямолинейно-поступательным движением подачи удобно вести по следующим зависимостям:

$$\begin{aligned} l_{pi} &= l_i; \\ t_{pi} &= R_a (\cos(\alpha + \gamma) / \cos \gamma) - l_i \operatorname{tg} \lambda \sin \alpha; \\ \operatorname{tg} \delta &= \operatorname{tg} \lambda \sin \alpha, \end{aligned} \quad (1.16)$$

где λ – угол наклона режущей кромки, измеряемый в сечении, параллельном оси детали и направлению движения подачи S ; δ – угол поворота державки резца, необходимый для коррекции профиля детали из-за дополнительного наклона режущей кромки; l_{pi} – расстояние, измеряемое вдоль оси резца от его базовой точки; t_{pi} – глубина профиля резца в нормальном сечении.

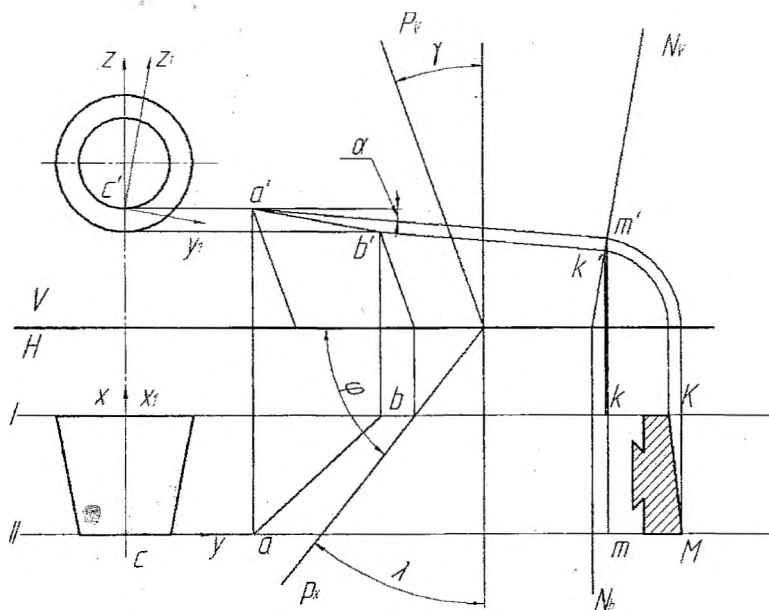


Рисунок 1.10 – Профиль детали в осевом сечении

Задания для проектирования фасонного резца

Рассчитать и спроектировать фасонный резец для изготовления детали, чертёж которой приведен на рисунках 1.10 – 1.63, материал заготовки в таблице 1.5.

Объём работы

1. Пояснительная записка – расчет размеров профиля и конструктивных элементов резца. Все расчеты следует сопровождать ссылками на использованные литературные источники.

2. Графическая часть (1 лист чертежной бумаги формата А1) содержит:

- рабочий чертёж резца (формат А3),
- рабочий чертёж шаблона и контршаблона (формат А3),
- графическое построение профиля резца (формат А2).

Таблица 1.5 – Исходные данные

Номер варианта	Заготовка		Тип резца
	Марка материала прутка	МПа	
1	Сталь А12	500	круглый
2	Сталь А30	600	призматический
3	Сталь А40Г	675	круглый
4	Сталь 20	500	призматический
5	Сталь 45	650	круглый
6	Сталь 50Г	700	призматический
7	Сталь 18ХГТ	981	круглый
8	Медь М2	250	призматический
9	Латунь Л62	380	круглый
10	Алюминий Д6	460	призматический

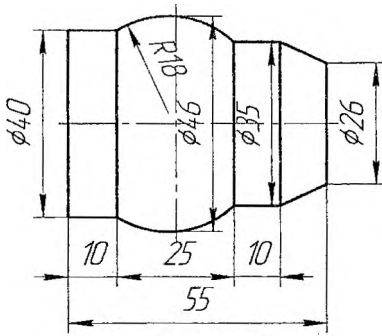


Рисунок 1.10

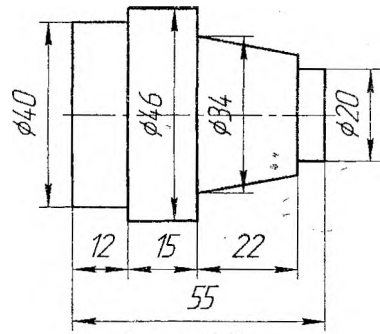


Рисунок 1.11

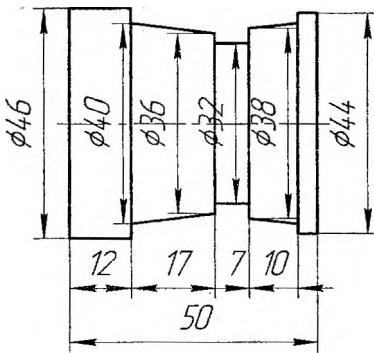


Рисунок 1.12

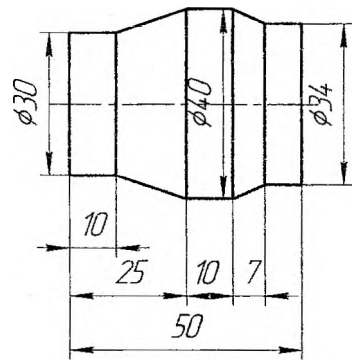


Рисунок 1.13

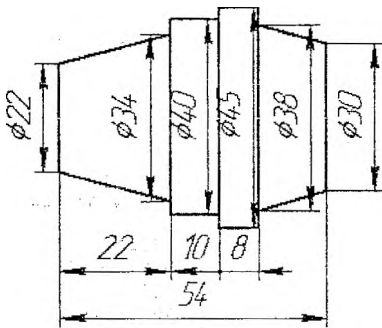


Рисунок 1.14

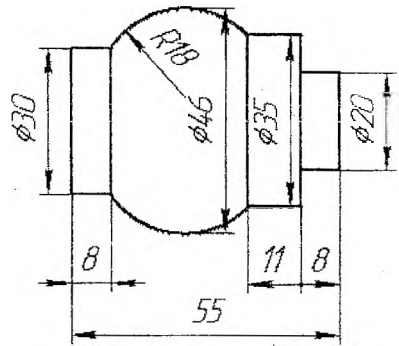


Рисунок 1.15

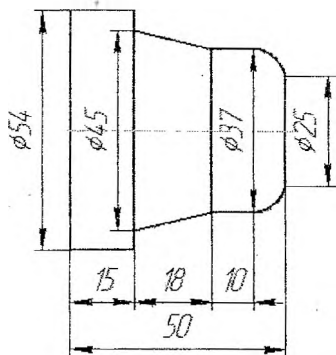


Рисунок 1.16

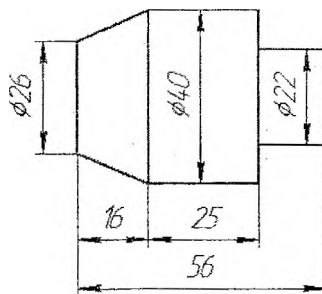


Рисунок 1.17

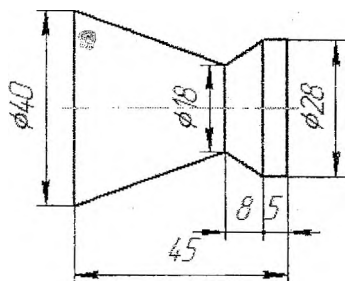


Рисунок 1.18

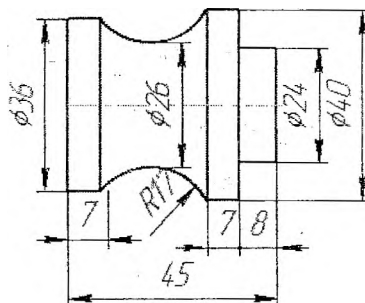


Рисунок 1.19

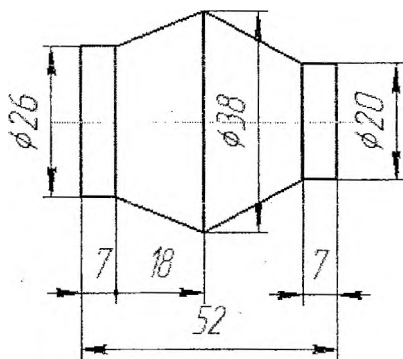


Рисунок 1.20

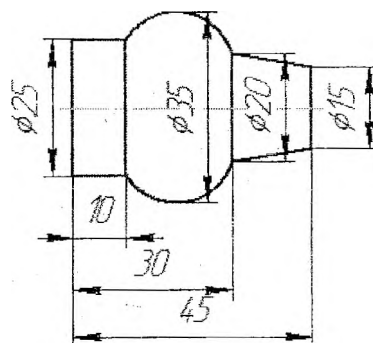


Рисунок 1.21

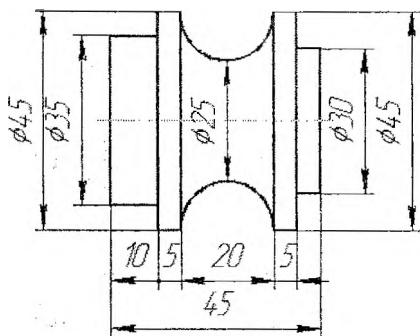


Рисунок 1.22

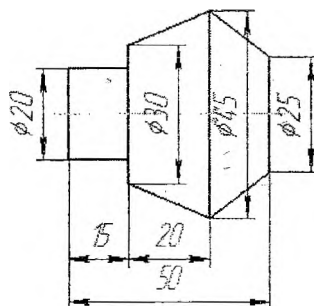


Рисунок 1.23

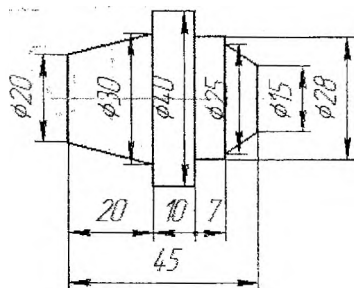


Рисунок 1.24

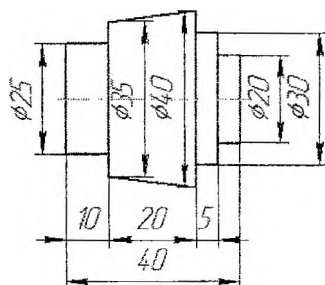


Рисунок 1.25

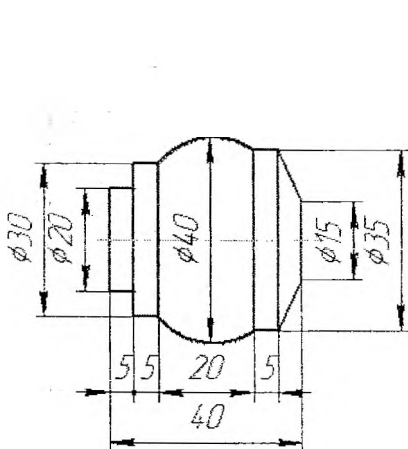


Рисунок 1.26

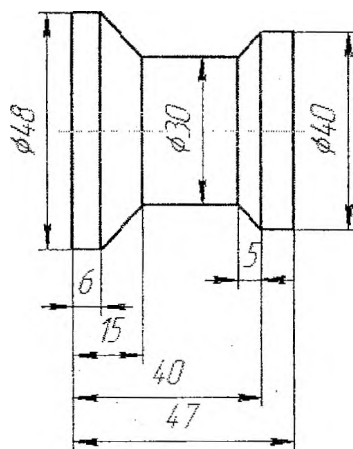


Рисунок 1.27

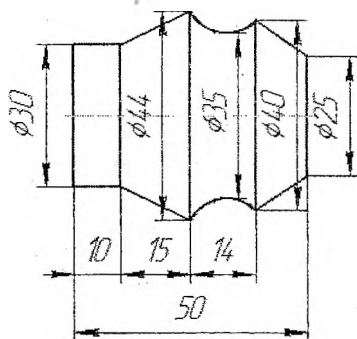


Рисунок 1.28

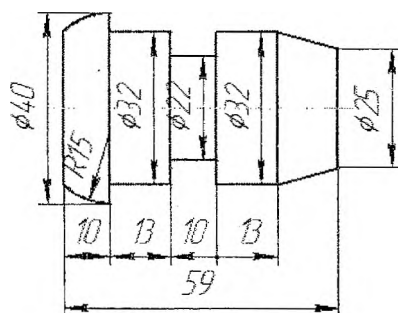


Рисунок 1.29

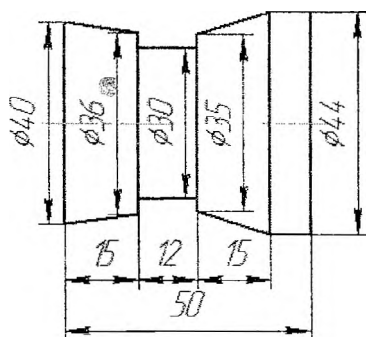


Рисунок 1.30

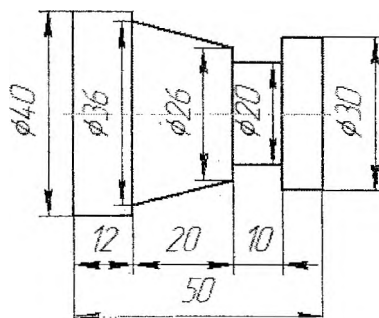


Рисунок 1.31

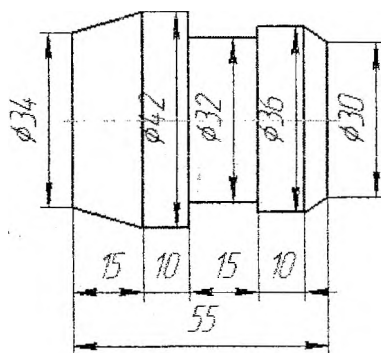


Рисунок 1.32

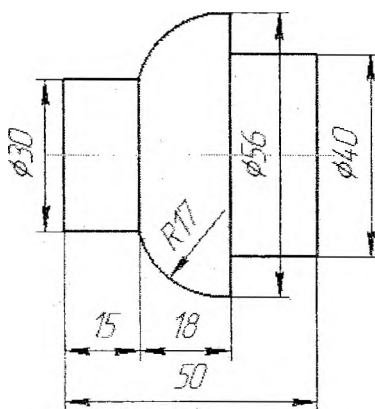


Рисунок 1.33

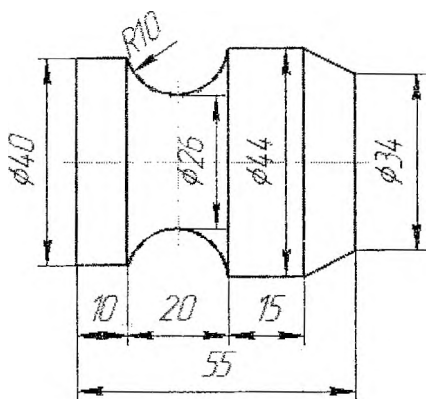


Рисунок 1.34

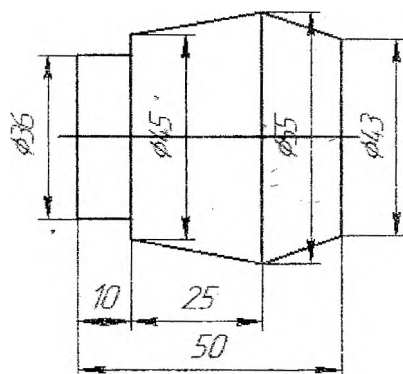


Рисунок 1.35

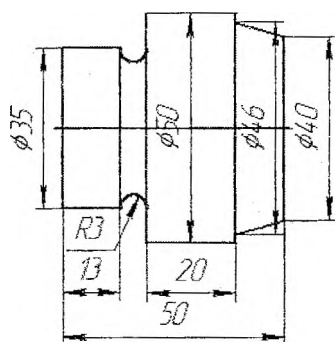


Рисунок 1.36

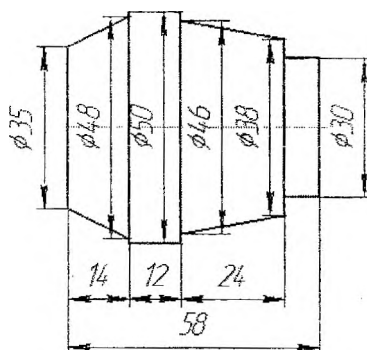


Рисунок 1.37

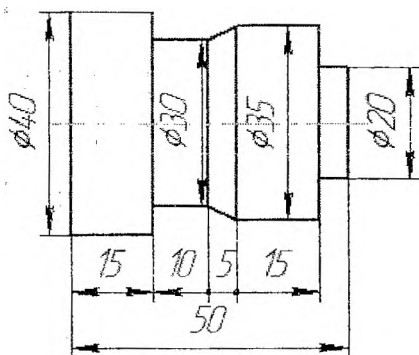


Рисунок 1.38

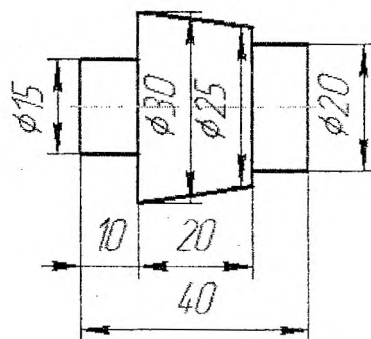


Рисунок 1.39

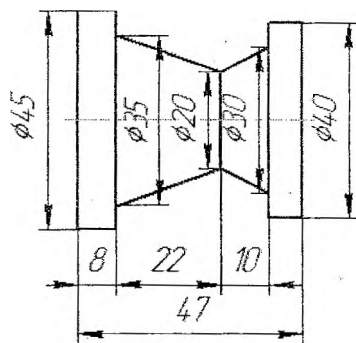


Рисунок 1.40

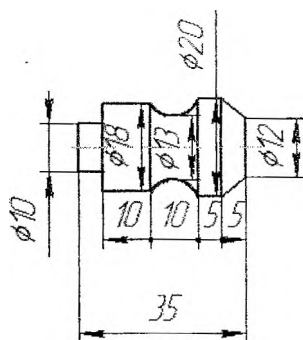


Рисунок 1.41

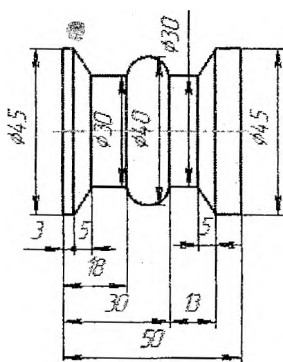


Рисунок 1.42

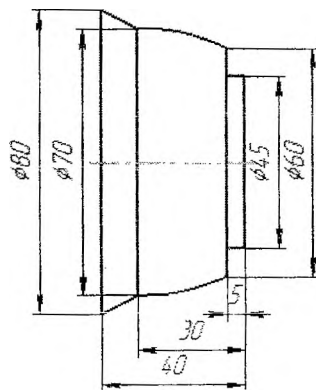


Рисунок 1.43

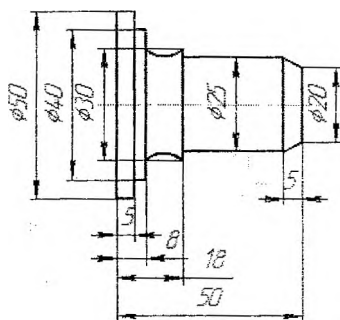


Рисунок 1.44

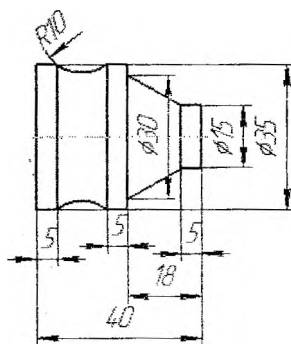


Рисунок 1.45

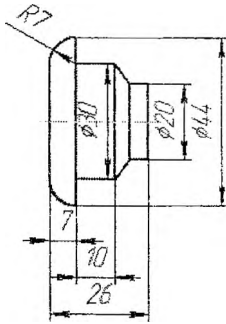


Рисунок 1.46

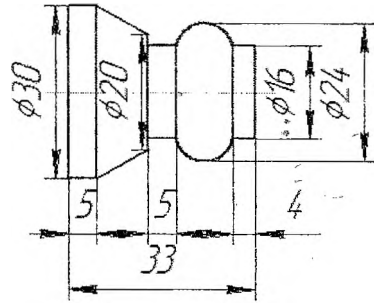


Рисунок 1.47

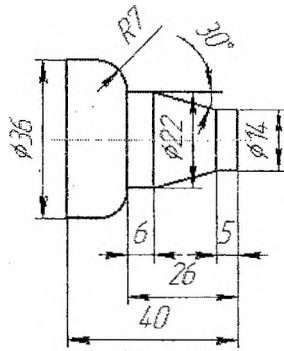


Рисунок 1.48

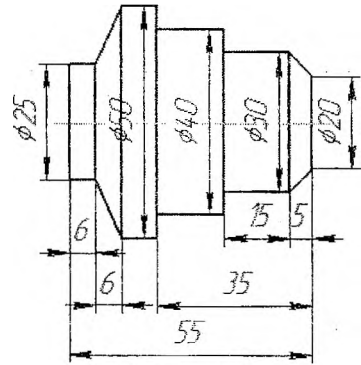


Рисунок 1.49

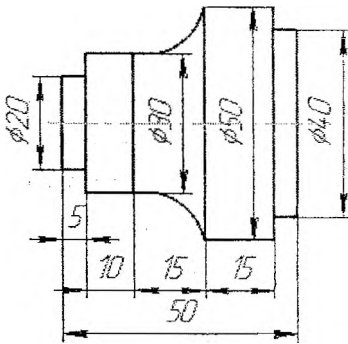


Рисунок 1.50

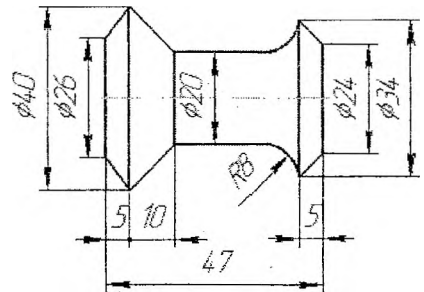


Рисунок 1.51

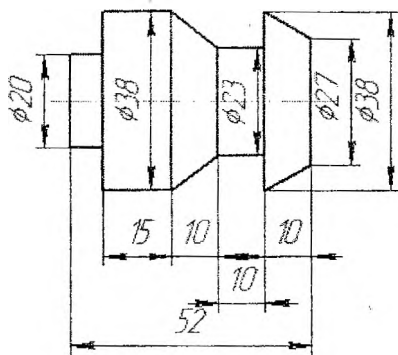


Рисунок 1.52

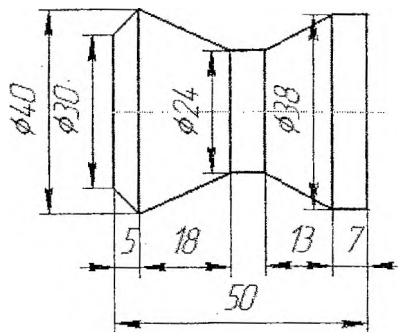


Рисунок 1.53

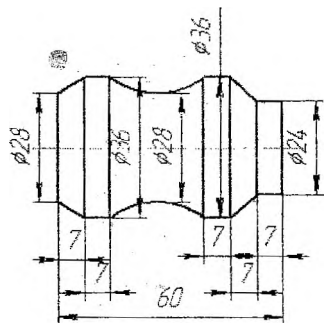


Рисунок 1.54

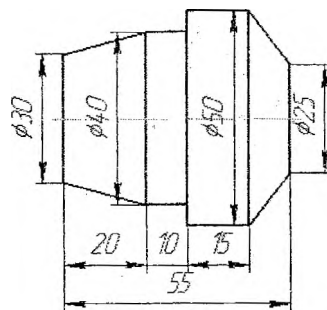


Рисунок 1.55

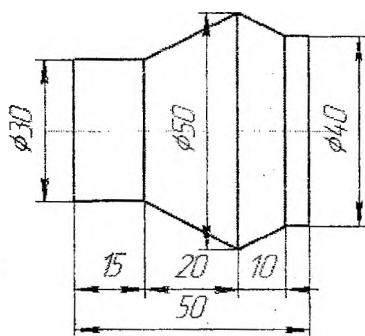


Рисунок 1.56

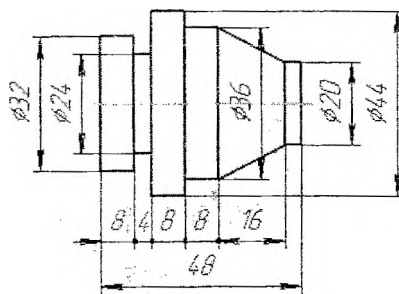


Рисунок 1.57

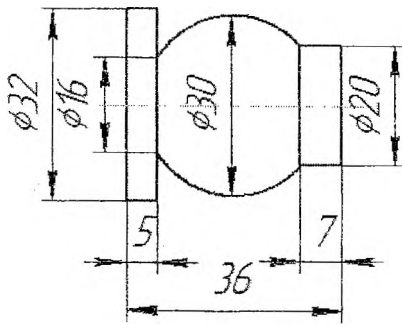


Рисунок 1.58

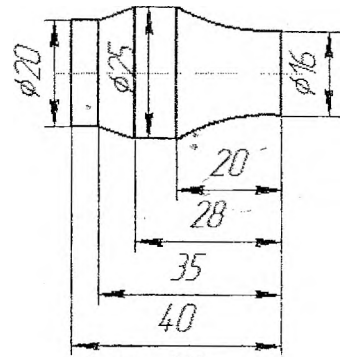


Рисунок 1.59

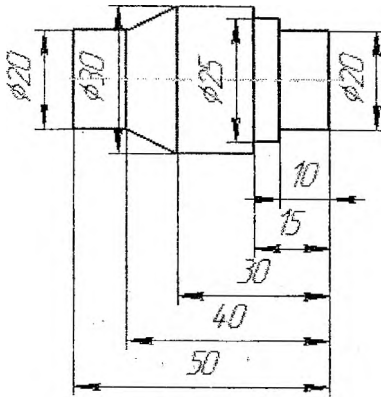


Рисунок 1.60

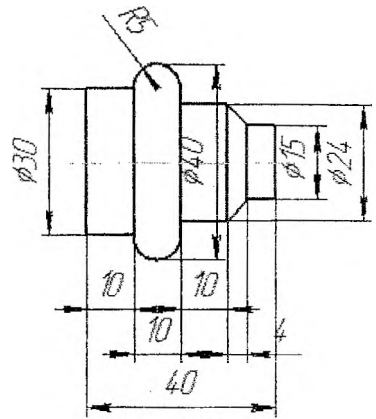


Рисунок 1.61

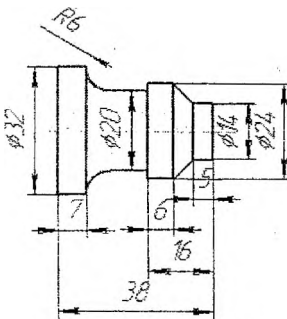


Рисунок 1.62

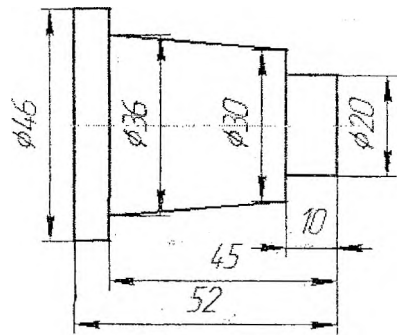


Рисунок 1.63

Раздел 2 – Проектирование и расчёт фасонной протяжки

Изложена методика проектирования протяжек для обработки фасонных отверстий, профиль которых состоит из прямых линий и дуг окружности. Отверстия под протягивание делают круглыми, их диаметр равен диаметру окружности, вписанной в профиль готового отверстия.

РАСЧЁТ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОТЯЖКИ

2.1. Хвостовик и шейка (рисунок 2.1)

Диаметр хвостовика

$$D_1 = d - 0,5, \quad (2.1)$$

где d - минимальный диаметр отверстия под протягивание, мм.

Расчётную величину D_1 округляют до ближайшей меньшей величины, соответствующей ГОСТ 4044-70 (таблица 2.1). Остальные размеры хвостовика и размеры шейки принимают по ГОСТ 4044-70. На шейку наносят маркировку протяжки.

2.2. Переходный конус

Длина конуса, мм	15	20	25...30
Диаметр отверстия под протягивание, мм	≤ 30	30...70	>70

Диаметры конуса: меньший равен диаметру шейки, больший – передней направляющей части.

2.3. Передняя направляющая часть

Диаметр передней направляющей, мм:

$$D_{п.н.} = d \quad (2.2)$$

Предельное отклонение – по е8.

Длина передней направляющей $L_{п.н.}$ равна расстоянию от конца переходного конуса до первого зуба режущей части, т. е. включая длину первой стружечной канавки (рисунок 2.1)

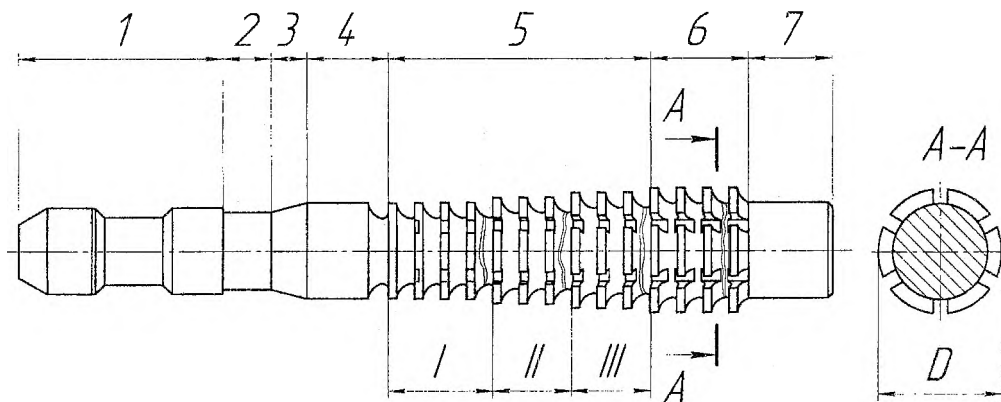
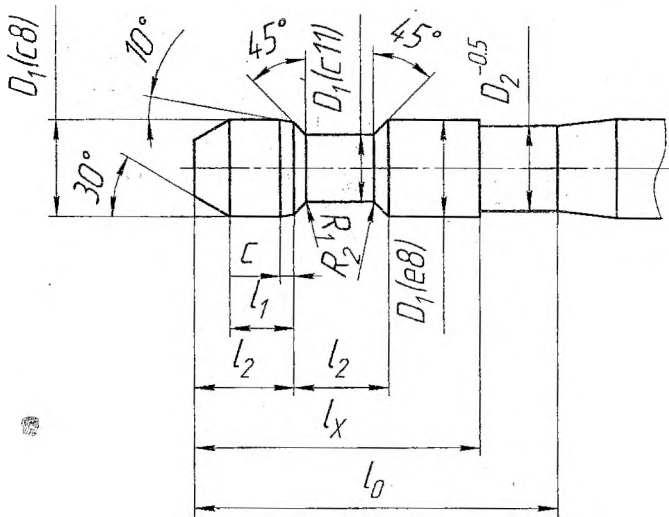


Рисунок 2.1 – Протяжка: 1-хвостовик; 2-шейка; 3-переходный конус; 4-передняя направляющая часть; 5-режущая часть; 6-калибрующая часть; I, II, III-секции режущих зубьев.

Таблица 2.1 – Размеры хвостовиков протяжек (ГОСТ 4044-70)



D_1	D_1'	D_2	l	l_x	l_1	l_2	R	R_2	C	α°
12	8,0	11,5	120	100	12	20	0,2	0,6	0,5	20
14	9,5	13,5					0,3			
16	11,0	15,5								
18	13,0	17,5								
20	15,0	19,5	140	120	16	25	1,0	1,0	30	
22	17,0	21,5								
25	19,0	24,5	160	140	20	32	0,4	1,6		
28	22,0	27,5					0,5			
32	25,0	31,5								
36	28,0	35,5								
40	32,0	39,5	180	160	25	40	2,5	1,5		
45	34,0	44,5								
50	38,0	49,5								
56	42,0	55,5								
63	48,0	62,5	210	190	25	40	0,6	4,0		
70	53,0	69,5								
80	60,0	79,5	240	220	32	50	0,8	6,0	2,0	
90	70,0	89,5								
100	75,0	99,5								

$$L_{п.н.} = l_d, \text{ при } l_d / D \leq 1,5, \quad (2.3)$$

$$L_{п.н.} = 0,75l_d, \text{ при } l_d / D > 1,5,$$

где l_d - длина протягиваемого отверстия, мм;

D - диаметр отверстия, получаемого после протягивания, мм.

2.4 Режущая часть

2.4.1 Форма и размеры зубьев режущей части

Профиль зуба задают в осевом и нормальном сечении протяжки (рисунок 2.2).

Главные режущие кромки 1 (рисунок 2.2, а) зубьев имеют форму дуг концентрических окружностей, диаметр которых D_1 постоянно увеличивается от первого зуба к последнему. Вспомогательные режущие кромки 2 зубьев имеют прямолинейную форму в зависимости от профиля обрабатываемой детали.

Углы лезвий зубьев протяжки задают в нормальном сечении к главным и вспомогательным режущим кромкам. Величины углов в нормальном сечении по главной режущей кромке приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Величины углов в нормальном сечении

Обрабатываемый материал	Твёрдость ПВ	γ град.	α град.	Предельные отклонения углов по ГОСТ 16492-70	
				$\Delta\gamma$	$\Delta\alpha$
Сталь	<200	16...20	3	+2°	+30'
	200...230	12...15		-1°	
	>230	8...10			

Для уменьшения трения на вспомогательных режущих кромках делают угол, равный 1° , располагающийся позади ленточки шириной 0,8...1 мм.

Зубья с прямолинейной спинкой (рисунок 2.2, б) применяют при протягивании заготовок из хрупких материалов: твёрдая сталь, чугун, бронза и т. д., с криволинейной спинкой (рисунок 2.2, в) – при обработке заготовок из вязкой стали, зубья с удлиненной формой стружечной канавки (рисунок 2.2, г) – для протяжек, у которых по условиям прочности необходимо принимать уменьшенные значения h .

Ориентировочные размеры режущих зубьев и расположенных между ними стружечных канавок могут быть определены следующим соотношением:

$$\begin{aligned} t &= (1,25 \dots 1,50) \cdot \sqrt{l_0}; & R &= (0,5 \dots 0,55) \cdot h; \\ h &= (0,35 \dots 0,60) \cdot t; & R_1 &= (0,65 \dots 0,80) \cdot t; \\ c &= (0,30 \dots 0,35) \cdot t \end{aligned} \quad (2.4)$$

Диаметр первого зуба протяжки, мм:

$$D_{z1} = D_{п.н}, \quad (2.5)$$

где $D_{п.н}$ - диаметр передней направляющей части, мм.

Диаметр последнего зуба режущей части протяжки

$$D_{п} = D_{к}, \quad (2.6)$$

где $D_{к}$ - диаметр калибрующих зубьев протяжки, мм.

$$D_{к} = (D + \Delta) - p, \quad (2.7)$$

где D - диаметр отверстия, получаемого после протягивания, мм;

Δ - предельное отклонение диаметра D по чертежу, мм;

$p = (0,010 \dots 0,015) \text{ мм}$ - величина разбивания отверстия.

Диаметры промежуточных зубьев режущей части протяжки между первым и последним получают последовательным прибавлением к диаметру первого зуба удвоенного значения толщины срезаемого слоя одним зубом $2a$ (подъем на зуб по диаметру), т. е.

$$\text{диаметр второго зуба } D_{z2} = D_{z1} + 2a$$

$$\text{диаметр третьего зуба } D_{z3} = D_{z2} + 2a \text{ и т. д.}$$

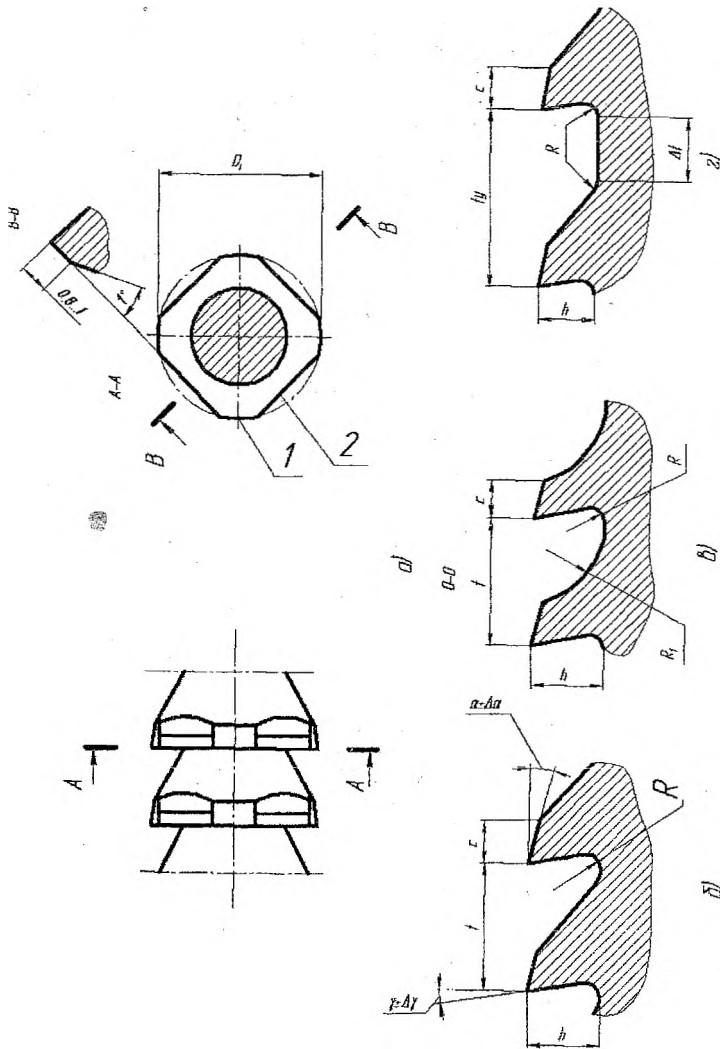


Рисунок 2.2- форма и размеры стружечных конусов на режущей части полотна

Предельные отклонения диаметров режущих зубьев, кроме последнего, по ГОСТ 16492-70 не должны превышать величин, указанных в таблице 2.3.

Таблица 2.3

Подъем на зуб по диаметру $2a$, мм	Предельное отклонение диаметра зуба, мм по ГОСТ 16492-70
<0,05	-0,010
0,05...0,10	-0,015
>0,10	-0,020

Предельное отклонение диаметра последнего режущего и калибрующих зубьев равно $-0,02$ мм.

2.4.2 Определение толщины срезаемого слоя

Фасонные протяжки срезают припуск на заготовке, как правило, по генераторной схеме резания (рис. 3). Толщина срезаемого слоя a равна разности высот и полуразности диаметров каждой пары смежных режущих зубьев. Ширина срезаемого слоя $\sum b$ равна длине главной режущей кромки зуба протяжки. Режущая кромка первого зуба окружность (см. равенство 5), следовательно $\sum b_1 = \pi \cdot D_{z1}$

Режущие кромки последующих зубьев – дуги концентрических окружностей, поэтому ширина срезаемого слоя одним зубом равна сумме длин дуговых участков главной режущей кромки данного зуба, т.е.:

$$\sum b = b \cdot n, \quad (2.8)$$

где b – длина одного дугового участка на режущей кромке данного зуба;
 n – число дуговых участков на режущей кромке зуба.

Длина дуговых участков режущей кромки уменьшается при увеличении диаметра от d до D , т.е. от первого зуба к последнему на режущей части протяжки. Сила резания при протягивании зависит от площади срезаемого слоя $P=f(a \cdot b)$, поэтому для сохранения постоянной силы P за весь период протягивания отверстия пропорционально уменьшению b увеличивают толщину срезаемого слоя a , т.е. стремятся получить постоянной величину площади срезаемого слоя $(a \cdot b)$ каждым зубом протяжки.

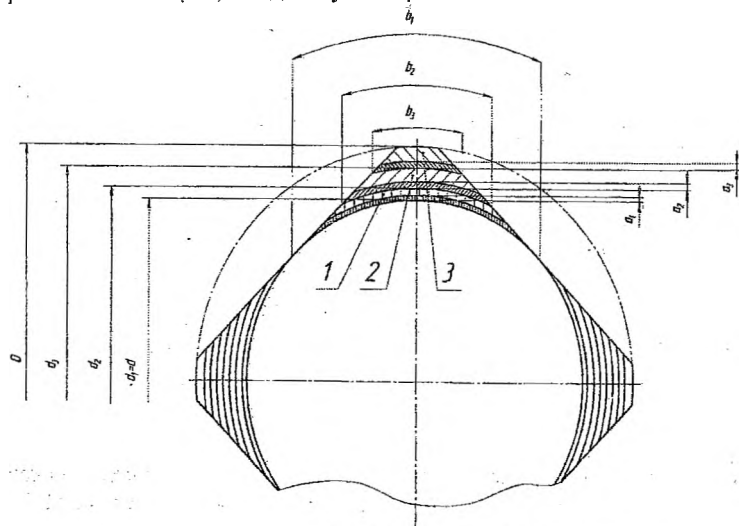


Рисунок 2.3 – Схема резания при протягивании

Последовательность определения толщины срезаемого слоя.

1. Определить общий припуск на протягивание, мм:

$$A = \frac{(D + \Delta) - d}{2}, \quad (2.9)$$

где D – диаметр отверстия, получаемого после протягивания, мм;

Δ – предельное отклонение диаметра D по чертежу, мм.

2. Разделить произвольно величину A на три-четыре ступени и установить диаметры ступеней d_1, d_2, d_3 т. д.

Припуск первой ступени от d_1 до d_2 срезают зубья секции 1 режущей части протяжки. припуск второй ступени от d_2 до d_3 срезают зубья секции номер 2 и т. д.

3. Принять постоянной величину a в пределах каждой ступени, но разной на отдельных ступенях: наименьшая на первой, наибольшая на последней ступени.

4. Определить толщину срезаемого слоя на первой ступени a_1 из условия прочности протяжки по впадине первого зуба.

$$a_1 = \left(\frac{F_1 \cdot [\sigma]_p}{10 \cdot C_p \cdot \sum b_i \cdot z_k \cdot K_\gamma \cdot K_0} \right)^{1,18}, \quad (2.10)$$

где F_1 - площадь сечения во впадине первого зуба протяжки, мм²

$$F_1 = \frac{\pi \cdot (D_{z1} - 2 \cdot h)^2}{4}, \quad (2.11)$$

где $[\sigma]_p$ - допускаемое напряжение деформации растяжения в материале режущей части протяжки, МПа.

Сталь Р6М5 ГОСТ 19265-73 $[\sigma]_p = 400 \text{ МПа}$, твёрдость – HRCэ 63...66;

$\sum b_i$ - длина режущей кромки первого зуба протяжки, мм;

z_k - число зубьев протяжки участвующих одновременно в резании;

$$z_k = \frac{l_0}{t} + 1, \quad (2.12)$$

где t - шаг зубьев на режущей части протяжки;

C_p, K_γ, K_0 - коэффициенты, принимаемые по таблицам 2.4, 2.5.

Таблица 2.4

Твёрдость НВ	Обрабатываемый материал	
	Сталь углеродистая конструкционная	Сталь легированная конструкционная
<200	212	230
200...230	230	284
>230	284	315

Таблица 2.5

K_γ	1,13	1,0	0,93	0,85
Передний угол γ , град	5	10	15	20

$K_0 = 1$ - обработка с эмульсией, $K_0 = 1,34$ - обработка без СОЖ.

5. Определить толщину срезаемого слоя на второй a_2 и последующих a_i ступенях из условия:

$$a_1 \cdot \sum b_i = a_2 \cdot \sum b_2 = a_3 \cdot \sum b_3 = \dots = a_i \cdot \sum b_i$$

$$a_2 = \frac{a_1 \cdot \sum b_i}{\sum b_2}; \quad a_3 = \frac{a_1 \cdot \sum b_i}{\sum b_3}; \quad \dots \quad a_i = \frac{a_1 \cdot \sum b_i}{\sum b_i} \quad (2.13)$$

где $\sum b_i$ - суммарная ширина срезаемого слоя первым зубом каждой ступени.

$$\sum b_i = b_i \cdot n, \quad (2.14)$$

где b_i - длина дугового участка режущей кромки первого зуба каждой ступени (секции), измеряемая на диаметре данной ступени (например, b_2 на второй ступени измеряют на диаметре d_2), мм;

n - число дуговых участков.

6. Проверить возможность размещения стружки в канавке между зубьями при срезании протяжкой максимальной толщины срезаемого слоя a_{\max} :

$$h \geq \sqrt{a_{\max} \cdot K_C \cdot l_{\theta}}, \quad (2.15)$$

где K_C - коэффициент заполнения стружечной канавки, по табл. 2.6

Таблица 2.6

Толщина срезаемого слоя а, мм	Обрабатываемый материал сталь σ_B , МПа		
	400	400...700	700
	K_C		
<0,03	3,5	2,5	3,0
0,03...0,07	4,0	3,0	3,5
>0,07	4,5	3,5	4,0

При несоблюдении условия (2.15) необходимо:

- а) увеличить h и повторить расчёт по уравнению (2.10) или
- б) принять удлинённую форму стружечной канавки t_y (рисунок 2.2, в)

Размеры удлинённой стружечной канавки определяют с учётом размещения в ней стружки на один рабочий ход зуба. Расчёт ведут в сечении, перпендикулярном к режущей кромке.

$$\frac{f_{KY}}{f_C} \geq K_C, \quad (2.16)$$

где f_{KY} - активная площадь удлинённой стружечной канавки, $мм^2$;

f_C - площадь срезаемого слоя, $мм^2$;

$$f_{KY} = 0,25 \cdot \pi \cdot h^2 + \Delta t \cdot h; \quad (2.17)$$

$$\Delta t = t_y - t; \quad (2.18)$$

$$f_C = a_{\max} \cdot l_{\theta}. \quad (2.19)$$

2.4.3 Проверка прочности протяжки на разрыв по шейке хвостовика.

$$\frac{P}{F_X} \leq [\sigma]_X, \quad (2.20)$$

где P - сила резания при протягивании, Н.

$$P = 10 \cdot C_p \cdot a_1^{0,85} \cdot \sum b_1 \cdot z_k \cdot K_r \cdot K_0, \quad (2.21)$$

где C_p, K_r, K_0 - коэффициенты, принимаемые по таблицам 2.4, 2.5.

$$F_X = \frac{\pi \cdot (D_1')^2}{4}, \quad (2.22)$$

где D_1' - диаметр шейки хвостовика, мм по таблице 2.1;

$[\sigma]_X$ - допускаемое напряжение при деформации растяжения в материале хвостовика, МПа.

Сталь 40 ГОСТ4543-71, $[\sigma]_X = 300 \text{ МПа}$; твёрдость - HRCэ 43...51.

2.4.4 Проверка протяжки по тяговой силе протяжного станка.

$$P \leq 0,9 \cdot Q, \quad (2.23)$$

где Q - номинальная тяговая сила протяжного станка, по таблице 2.7

Таблица 2.7

Модель станка	Номинальная тяговая сила Q, кН	Максимальная длина хода рабочей каретки, мм
7Б54	50	1000
7Б55	100	1250
7Б56	200	1600
7Б57	400	2000
7Б58	800	

2.4.5 Стружкоделительные канавки на режущих зубьях протяжки.

Канавки делают на зубьях, имеющих длину режущей кромки 5...10 мм и размещают их в шахматном порядке (рисунок 2.4).

Количество канавок

$$n_k = b / (5 \dots 10) \quad (2.24)$$

2.5 Калибрующая часть протяжки

Состоит из пяти-семи зубьев одинакового диаметра, равного диаметру последнего режущего зуба. Стружечные канавки имеют такую же форму и размеры, как и на режущей части протяжки. Шаг калибрующих зубьев принимают равным шагу режущих зубьев, кроме протяжек, предназначенных для обработки отверстий повышенной точности, у которых $t_k = (0,6 \dots 0,7) \cdot t$.

Вершину калибрующих зубьев снабжают фаской 0,2...0,6 мм, которая предназначена для сохранения диаметральных (поперечных) размеров протяжки при переточках.

Передний угол γ_k принимают равным γ , так как при эксплуатации протяжки в результате переточек затупившихся зубьев происходит постепенный переход калибрующих зубьев в режущие.

Задний угол имеет небольшую величину по сравнению с режущими зубьями $\alpha_k = 1^{\circ}30' \pm 15'$. Это вызвано необходимостью обеспечить медленное уменьшение диаметральных размеров зубьев при переточках.

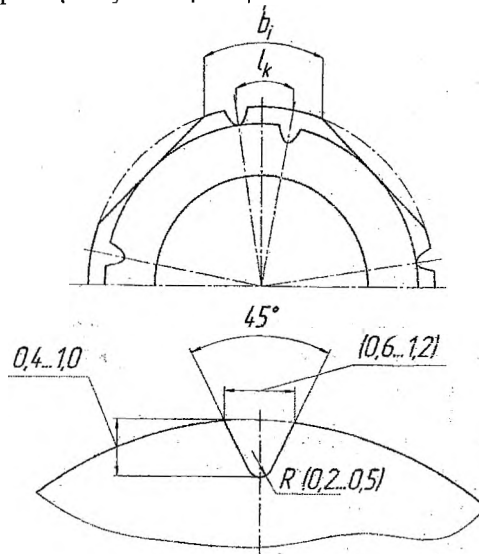


Рисунок 2.4 – Стружкоделительные канавки

2.6. Задняя направляющая часть

Заднюю направляющую часть у гранных и фасонных протяжек выполняют цилиндрической. Диаметр задней направляющей части, мм:

$$D_{3,н} = d, \quad (2.25)$$

где d – минимальный диаметр отверстия под протягивание, мм.

Предельное отклонение $D_{3,н}$ по f 7.

Длину задней направляющей части принимаем по таблице 2.8.

Таблица 2.8

Длина протягивания l_0 , мм						
25	25-30	30-40	40-50	50-70	70-100	100
20	22	25	30	35	40	50

ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОТЯЖЕК

Рассчитать и сконструировать протяжку для обработки отверстия, профиль и размеры которого для заданного варианта даны на рисунках 2.5...2.16 и в таблице 2.9

Объём работы

1. Пояснительная записка – расчёт конструктивных элементов протяжки, оформление по стандартам ЕСКД на текстовые документы.

2. Графическая часть – рабочий чертёж протяжки с указанием всех необходимых для изготовления размеров с допусками и шероховатостью поверхностей по ГОСТ 2789-73:

передней и задней на режущих и калибрующих зубьях...Ra 0,2
ленточки на калибрующих зубьях.....Ra 0,1
передней и задней направляющих, посадочной
цилиндрической и конической под кулачки на хвостовике,
спинке и дне стружечных канавок, рабочего конуса центровых
отверстий.....Ra 0,8
остальных поверхностей.....Ra 1,6

Технические требования на чертеже протяжки

1. Материал рабочей части сталь Р6М5 ГОСТ 19265-73, твёрдость – HRCэ 63...66.
2. Материал хвостовика сталь 40Х ГОСТ 4543-71, твёрдость – HRCэ 43...51.
3. Размеры центровых отверстий – по ГОСТ 14034-74, форма В.
4. Радиальное биение зубьев относительно оси протяжки не должно превышать допусков на диаметр зуба.
5. Правила приёмки – по ГОСТ 23726-79.
6. Маркировать: обозначение протяжки, Р6М5, товарный знак предприятия-изготовителя, год изготовления.

Таблица 2.9

Номер варианта	Размеры обрабатываемого отверстия, мм							Материал заготовки	
	d	D			Δ	Lд	B		δ
		Рис. 5...14	Рис. 15	Рис. 16					
1	20	26,0	24,7	23,1	0,03	30	4	0,07	Сталь 20 $\sigma_b=412$ МПа НВ 156
2	30	32,5	30,9	28,9	0,04				
3	25	39,0	37,1	34,6					
4	35	45,5	43,3	40,4	0,05	60	6		Сталь 45 $\sigma_b=589$ МПа НВ 207
5	40	52,0	49,4	46,2					
6	45	58,5	55,6	52,0					
7	50	65,0	61,8	57,7	0,06	75	8		Сталь 18ХГТ $\sigma_b=981$ МПа НВ 217
8	55	71,5	68,0	63,5					
9	60	78,0	74,2	69,3	0,09	85	10		
10	65	84,5	80,3	75,1					

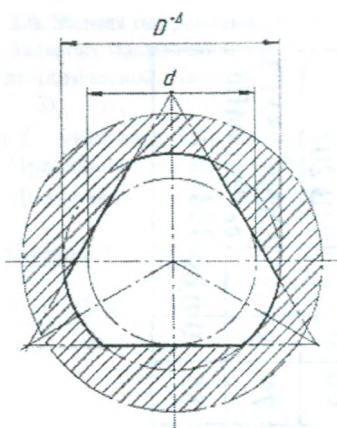


Рисунок 2.5

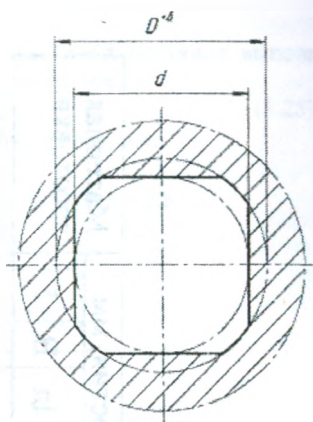


Рисунок 2.6

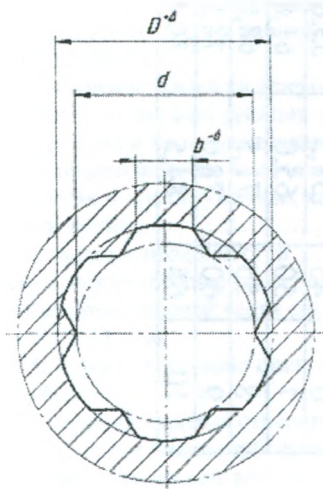


Рисунок 2.7

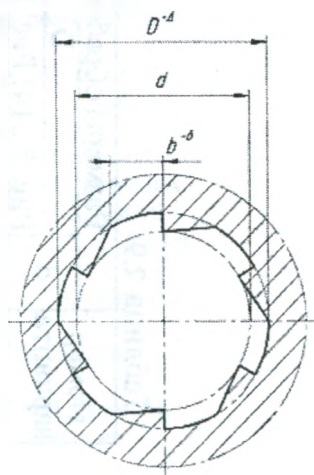


Рисунок 2.8

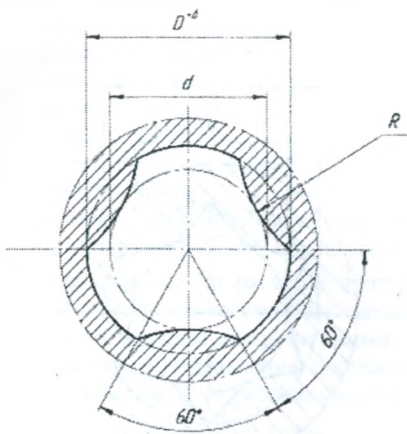


Рисунок 2.9

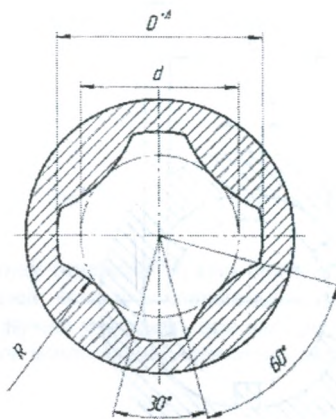


Рисунок 2.10

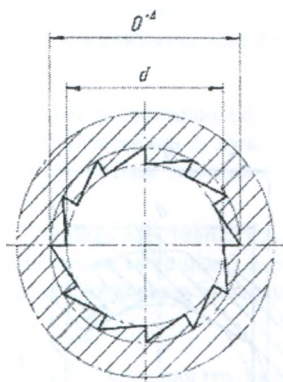


Рисунок 2.11

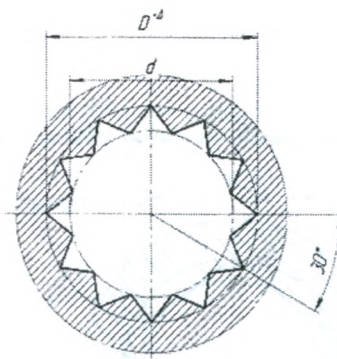


Рисунок 2.12

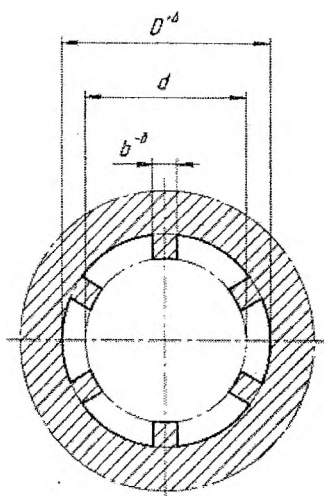


Рисунок 2.13

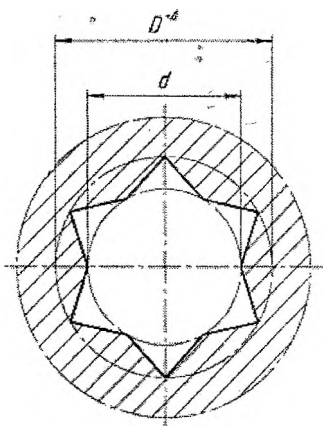


Рисунок 2.14

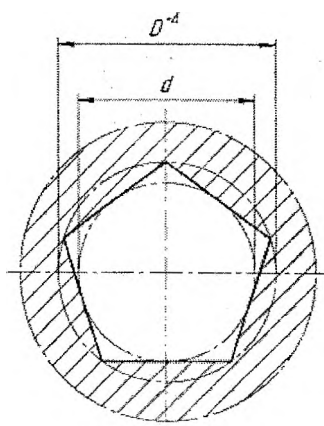


Рисунок 2.15

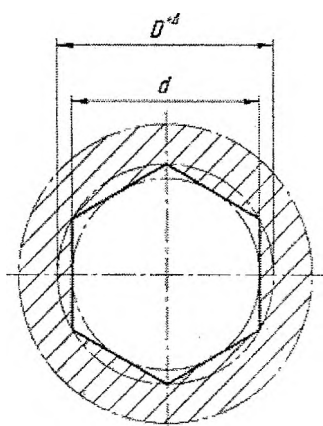


Рисунок 2.16

Раздел 3 – Проектирование и расчёт круглой протяжки

Рассчитать и сконструировать протяжку для обработки отверстия.

Исходные данные:

- диаметр получаемого отверстия D_0 , мм;
- материал заготовки;
- твёрдость HB;
- длина отверстия L , мм;
- модель станка;
- тяговая сила станка P_0 (см. таблицу 3.1);
- наибольший рабочий ход ползуна $l_{\text{раб}}$, мм.

При выполнении расчётов протяжки длину отверстия нужно брать с учётом числа одновременно обрабатываемых деталей; если в исходных данных указан диаметр отверстия до протягивания, то его нужно учитывать при выборе диаметра переднего направления протяжки (взять минимальное значение), если этот диаметр не задан, он рассчитывается.

1. Припуск под протягивание, мм

$$A = 0,005 \cdot D + (0,1 - 0,2) \cdot \sqrt{L} \quad (3.1)$$

2. Диаметры отверстия до протягивания переднего направления $D_{\text{п}}$ и первого зуба протяжки D_{01} , мм

$$D_{01} = D_{\text{п}} = D_0 - A \quad (3.2)$$

3. Расстояние до первого зуба, мм

Расстояние до первого зуба выбирают по паспорту станка; если это расстояние не дано, его рассчитывают по формуле

$$L_1 = 280 + L \quad (3.3)$$

4. Диаметр хвостовика d_1 , мм

Диаметр хвостовика d_1 нужно выбирать по таблицам 3.2 или 3.3, при этом выбирают наибольший хвостовик, который может пройти через отверстие (рисунки 3.1; 3.2)

5. Площадь хвостовика F_x , определяющая его прочность, мм^2 .
выбирается по таблицам 3.2–3.5

6. Шаг режущих зубьев, мм

$$t_p = m \cdot \sqrt{L}, \quad (3.4)$$

где $m=1,25 \dots 1,5$ – для групповой схемы резания

В формуле (3.4) коэффициент m выбран для одинарной схемы резания. Окончательный выбор схемы уточняют в последующих расчётах.

7. Принятый шаг зубьев, мм

Принимается по таблице 3.6

8. Наибольшее число одновременно работающих зубьев

$$z_{\text{max}} = \frac{L}{t_p} + 1, \quad (3.5)$$

При подсчёте z_{\max} дробная часть отбрасывается; если $z_{\max} < 3$, нужно уменьшить шаг t_p или протягивать сразу несколько деталей; если $t_p > L$, то детали нужно жёстко крепить, в противном случае возможны провал деталей между зубьями и поломка протяжки; при обработке прерывистых отверстий нужно выбрать шаг режущих зубьев так, чтобы на каждом пояске работал обязательно один зуб.

9. Глубина стружечной канавки h_k , мм

Выбирается по таблице 3.6.

10. Площадь стружечной канавки F_k , мм²

Выбирается по таблице 3.6

11. Коэффициент заполнения стружечной канавки K

Выбирается по таблице 3.8

12. Подача, допустимая по размещению стружки в канавке, мм/зуб

$$s_{zk} = F_k / (K \cdot L) \quad (3.6)$$

13. Наибольшее усилие, допустимое хвостовиком, Н

$$P_x = F_x \cdot \sigma_x \quad (3.7)$$

где σ_x - принимается по таблице 3.9

14. Наибольшее усилие, допустимое протяжкой на прочность по первому зубу, Н

$$P_1 = F_1 \cdot \sigma_1 = \pi \cdot (D_{01} - 2h)^2 \cdot \sigma_1 / 4, \quad (3.8)$$

где σ_1 - принимается по таблице 3.9

15. Расчётная сила резания, Н

Расчётное усилие P_p равно наименьшему из P_x , P_1 , $P_c \cdot 0,9$.

16. Подача, допустимая по силе резания, мм/зуб

$$S_{zp} = \left(\frac{P_p}{C_p \cdot \pi \cdot D_o \cdot z_{\max}} \right)^{\frac{10}{8}}, \quad (3.9)$$

где C_p – коэффициент, принимаем по таблице 3.7

Если $S_{zp} \geq S_{zk}$, следует применять одинарную схему резания; если $S_{zp} < S_{zk}$, то необходимо производить расчёт для групповой схемы резания; число зубьев в группе n_r выбирают методом последовательных приближений (для начала $n_r = 2$).

17. Шаг режущих зубьев для групповой схемы резания, мм

$$t_p = m \cdot \sqrt{L}, \quad (3.10)$$

где $m = 1,45 \dots 1,9$ – для групповой схемы резания.

18. Принятый шаг, мм

Выбираем по таблице 3.6

19. Определяем z_{\max} согласно п. 8

20. Определяем h_k

Если $P_p = P_x$, то глубину канавок оставляем прежней.

21. Определяем F_k согласно п. 10

22. Определяем K

Выбираем по таблице 3.8

23. Подача, допустимая по размещению стружки, мм/зуб

$$S_{zk} = F_k / (K \cdot L) \quad (3.11)$$

24. Подача, допустимая по усилию резания, мм/зуб

$$S_{zp} = \left(\frac{P_p \cdot n_d}{C_p \cdot \pi \cdot D_o \cdot z_{\max}} \right)^{\frac{10}{8}} \quad (3.12)$$

25. Примерная длина режущей части при одинарной схеме резания, мм (см. пп. 12,16)

$$l_p = \frac{A \cdot t_p}{2 \cdot S_{z \min}} \quad (3.13)$$

26. Примерная длина режущей части для групповой схемы резания, мм ($S_{z \min}$ наименьшее значение из пп. 23 и 24)

$$l_{pr} = \frac{A \cdot t_p \cdot n_r}{2 \cdot S_{z \min}} \quad (3.14)$$

Принимаем схему резания на основании пп. 25, 26. Групповая схема резания принимается в том случае, если она сокращает длину режущей части.

27. S_{zp} при $n_r=3$ (см. п. 24)

28. Примерная длина режущей части для $n_d=3$

$$l_{pr2} = \frac{3 \cdot A \cdot t_p}{2 \cdot S_{z \min}} \quad (3.15)$$

Аналогично можно проверить целесообразность применения групповой схемы резания с числом зубьев в группе 4, однако при этом подача S_{zp} не должна быть больше S_{zk} .

29. Принимаем значение S_z

30. Принимаем значение n_r

31. Определяем диаметры режущих зубьев с учётом принятых схем резания, чисел зубьев в группе n_r и выбранных подач S_z

Примечание: на последних режущих зубьях подача не должна превышать S_{zk} .

32. Число режущих зубьев z_p

33. Длина режущей части, мм

$$l_p = t_p \cdot (z_p - 1) \quad (3.16)$$

34. Число зубьев калибрующей части z_k

Принимаем по таблице 3.9-3.11

35. Шаг калибрующих зубьев, мм (см. таблицу 3.6)

$$t_k \approx 2 \cdot t_p / 3 \quad (3.17)$$

36. Длина калибрующей части, мм

$$l_K = l_K \cdot z_K \quad (3.18)$$

37. Длина заднего направления протяжки, мм

$$l_3 = L \quad (3.19)$$

38. Общая длина протяжки, мм

$$L_{\text{пр}} = l_1 + l_p + l_K + l_3 \quad (3.20)$$

39. Допустимая длина протяжки, мм

$$L_{\text{пр max}} = 40 \cdot D_O < 2000 \quad (3.21)$$

Если $L_{\text{пр}}$ превышает допустимую длину, нужно проектировать комплект протяжек из нескольких штук.

40. Необходимая длина рабочего хода, мм

$$l_{\text{рх}} = L + l_p + l_K \quad (3.22)$$

если $l_{\text{рх}}$ не должна превышать наибольший рабочий ход ползуна станка, в противном случае нужно проектировать комплект протяжек.

41. Расстояние между стружкоразделительными канавками для чистовых зубьев, мм (см. таблицу 3.10)

$$b = 1,7 \cdot \sqrt{D_O} \quad (3.23)$$

42. Число стружкоразделительных канавок

$$n_c = \pi \cdot D_O / b \quad (3.24)$$

43. Диаметр $D_{\text{кр}}$ круга для шлифования выкружек (рисунок 3.1) выбираем из нормального ряда диаметров 80, 100, 125, 160 мм.

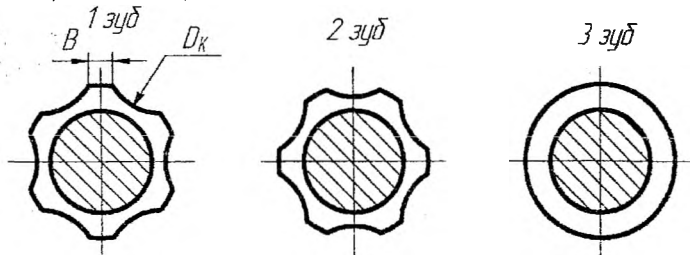


Рисунок 3.1 – Профиль режущих зубьев круглых протяжек с групповой схемой резания

44. Глубина выкружки, мм

$$h_B > (2-5) \cdot s_z \quad (3.25)$$

45. Расстояние между осями круга и протяжки, мм

$$a = \frac{D_O + D_{\text{кр}}}{2} - h_B \quad (3.26)$$

46. Вспомогательный угол θ°

$$\cos \theta = \frac{D_O^2 + 4 \cdot a^2 - D_{\text{кр}}^2}{4 \cdot a \cdot D_O} \quad (3.27)$$

47. Число выкружек

$$i = \pi \cdot D_o / (b + \theta \cdot D_o) \quad (3.28)$$

Примечание: угол θ в формулу подставляется в радианах.

48. Фактическая длина режущей кромки, мм

$$b = D_o \cdot \left(\frac{\pi}{i} - \theta \right) \quad (3.29)$$

49. Передний угол γ^*

Выбирается в зависимости от обрабатываемого материала.

50. Угол $\beta_{кр}$ для заточки угла γ принимаем равным 45° .

51. Наибольший диаметр круга для заточки, мм

$$D_{крз} = \frac{D_{от} - h_k}{\sin \gamma} \cdot \sin \beta_{кр} \quad (3.30)$$

52. Наибольший диаметр $D_{оmax}$ протягиваемого отверстия, мм

53. Допуск на разбивку p , мм

Принимается равным 0,005 мм.

54. Допуск на изготовление, мм

Принимается равным 1/3 допуска на отверстие.

55. Диаметр калибрующих зубьев

$$D_k = (D + \Delta) - p \quad (3.31)$$

где D - диаметр отверстия, получаемого после протягивания, мм;

Δ - предельное отклонение диаметра D по чертежу, мм.

56. Допуск на диаметр режущих зубьев, мм

Принимается равным 0,01-0,02 мм и не более 0,4 от S_z .

СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОТЯЖЕК

Таблица 3.1 – Номинальные тяговые силы P и наибольшие длины ходов протяжных станков.

Станок	P , кН	Наибольшая длина хода, мм	Станок	P , кН	Наибольшая длина хода, мм
Горизонтальный: 7510; 7510М 7А510 7520; 7А520 7530М 7540 7551 7552	102 102 204 306 408 714 1020	1400 1250 1600 1800 2000 2000 2000	Вертикальный: 7505; 7705А	51	600
			7705В		
			7А705В	51	800
			7710		
			7А710	102	1350
			7Б710; 7710В		
			7А710Д	102	1200
			7720		
			7Б720; 7720В	204	1600
			7А720Д		

Таблица 3.2 – Размеры круглых хвостовиков для протяжек по ГОСТ 4044-70, тип 1 (рис. 3.2, а), мм

d_1 (пред. откл. по е8)	d_3	d_4 (пред. откл. -0,5 -1 мм)	a (пред. откл. по с11)	b_1 (пред. откл. по d9)	l_1	l_2	l_4	l_5	l_6	α, β	r	Площадь по сечению А-А, мм
4	3,8	4	2	3,7								6,6
5	4,8	5	3	4,6								13,2
5,5	5,3	5,5	3,3	5,1	100	16	-	90	80	-	0,2	15,8
6	5,8	6	4	5,6								20,9
7	6,8	7	4,2	6,5						10		23,8
8	7,8	8	5	7,5								35,4
10	9,8	10	6	9,5								61,5
12	11,7	12	8	11,5	120	20	12	110	100	20	0,3	85,2
14	13,7	14	8	13,5								95,1
16	15,7	16	10	15,5								145,0
18	17,7	18	12	17,5								193,0

Таблица 3.3 – Размеры круглых хвостовиков протяжек (рисунок 3.2, б), мм

d_1 (пред. откл. по е8)	d_2 (пред. откл. по с11)	d_3	d_4 (пред.откл. -0,5 -1 мм)	l_1	l_2	l_3	l_4	l_5	l_6	b_2 (пред. откл. по е8)	r_1	r_2	c	a	Площадь по сечению размера d, мм
12	8,0	11,7	12							10,5	0,2			10	50,3
14	9,5	13,7	14							12,5		0,6			70,9
16	11,0	15,7	16	120	20	20	12	110	100	14,0			0,5	20	95,0
18	13,0	17,7	18							16,0					132,7
20	15,0	19,7	20							17,0	0,3				176,7
22	17,0	21,7	22	140	25	25	16	120	120	19,0		1,0			227,0
25	19,0	24,7	25							21,5					283,5
28	22,0	27,6	28							24,0			1,0		380,1
32	25,0	31,6	32	160				140	140	27,5					490,9
36	28,0	35,6	36							31,0	0,4	1,6			615,7
40	32,0	39,5	40		32	32	20			34,5					804,2
45	34,0	44,5	45	180				160	160	39,0		0,5	2,5		907,9
50	38,0	49,5	50							43,5				30	1134,1
56	42,0	55,4	56							48,5					1385,4
63	48,0	62,4	63	210	40	40	25	190	190	55,0	0,6	4,0			1809,6
70	53,0	69,4	70							61,0					2206,2
80	60,0	79,2	80							69,5					2827,4
90	70,0	89,2	90	240	50	50	32	220	220	78,5	0,8	6,0	2,0		3848,4
100	75,0	99,2	100							87,0					4417,9

Таблица 3.4 Размеры плоских хвостовиков для протяжек по ГОСТ 4043-70 (рисунок 3.2, в), мм.

b_1 (пред. откл. по с11)	b_2 (пред. откл. по с11)	H , не более	l_1 , не менее	l_2 , не менее	l_3	Длина зажима l_4	c	K	r_1	r_2	Площадь по сечению размера b_3 , мм ²
4	2,5	7					0,5				22,5
5	3,2	11									35,2
6	4,0	15	14	20	16	180		0,1	0,2	0,6	60
7	4,5	16					0,8				62
8	5	18									90
10	7	22									154
12	8	28			18						224
14	10	30									300
16	12	36									402,5
18	13	40	17	25		200		0,15	0,3	1,0	520
20	15	45			22						675
22	16,5	50									732,5
24	18	55					1,0				900
25	19	55									950
28	21										1155
32	24		20	30	28	220		0,20	0,2	1,6	1440
36	28										1680
40	32	60									1920
45	36										2160
50	40		28	40	36	250		0,25	0,4	2,5	2400

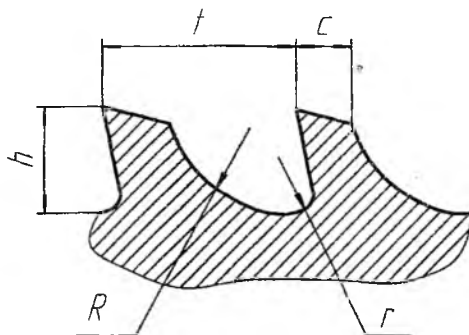
Примечания: 1. Размеры H установлены для хвостовиков плоских протяжек. 2. Допускается выполнять хвостовики без канавок шириной 10 мм. Пред. откл. по с11 размера b_1 к шпоночным протяжкам не относится.

Таблица 3.5 - Размеры плоских хвостовиков для протяжек по ГОСТ 4043-70 (рисунок 3.2, г), мм.

b_1 (пред. откл. по с11)	b_2 (пред. откл. по F7)	b_3 (пред. откл. по с11)	H , не более	l_1 , не менее	l_2 , не менее	l_3	c	K	Площадь по сечению размера b_3 , мм ²
2	3	1,5	4						6
2,5			5				0,3		12,5
3	4	2,5	6						15
4	6	4	7	14	20	16		0,1	36
5	8	5	11						55
6		6	15						90
7	10	7	16						112
8		8	18				0,8		114
10	15	10	22						220

Примечания: 1. Размеры H установлены для хвостовиков шпоночных протяжек. 2. Допускается выполнять хвостовики без канавок шириной 10 мм.

Таблица 3.6 - Размеры стружечных канавок, мм



t	h _к	C	r	R	F _к , мм ²	t	h _к	C	r	R	F _к , мм ²
4,5	2	1,5	1	2,5	3,14	14	3	4	1,5	10	7,07
6	2	2	1	4	3,14		4		2		12,56
	2,5		1,25		4,91		2,5		19,63		
8	2,5	3	1,25	5	4,91	16	4	2	12,56		
	3		1,5		7,07		2,5	19,63			
10	3	3	1,5	7	7,07		5	4,5	2,5	12	19,63
	4		2		12,56	3	28,27				
						3,5	38,48				
12	3	4	1,5	8	7,07	18	6	2,5	12	19,63	
	4		2		12,56			3		28,27	
								3,5		38,48	

Таблица 3.7 - Значения C_p для расчета сил резания при обработке некоторых материалов

Материал	Твердость НВ	C _p , Н/мм ²
Углеродистые стали	До 197	2170
	197...220	2400
	Св. 220	2860
Легированные стали	До 197	2880
	197...220	3110
	Св. 220	3610
Чугун серый	До 180	1850
	Св. 180	2040
Чугун ковкий	Св. 200	1670

Таблица 3.8 - Коэффициент K заполнения стружечной канавки

Обрабатываемый материал	Схема резания	
	одинарная	групповая
Сталь	4	3
Чугун	2,5	2

Таблица 3.9 - Допускаемое напряжение на растяжение, МПа

Материал протяжки – сталь	Часть протяжки	
	хвостовая σ_x	режущая σ_f
Углеродистая качественная	250	-
Инструментальная легированная	250	300
Быстрорежущая диаметром, мм:		
до 15	300	450
св. 15	300	400

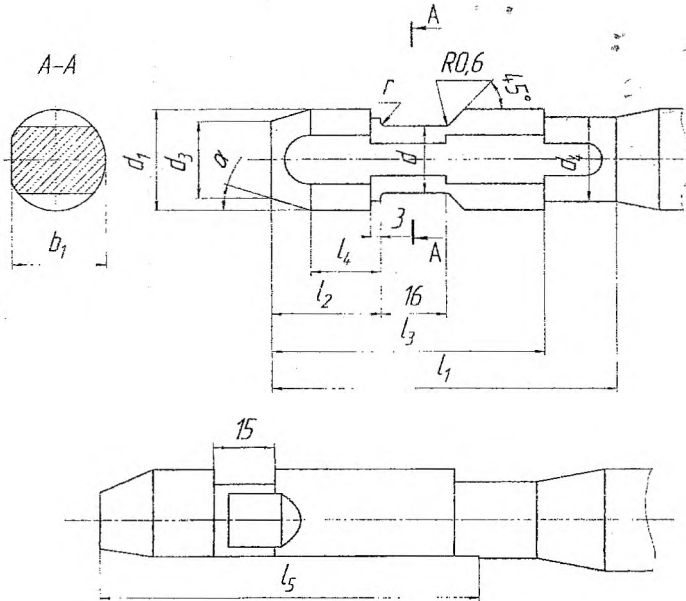
Таблица 3.10 - Предельные подачи, при которых стружка свертывается в спиральный валик при ширине b режущей кромки

Предельные подачи, мм/зуб					Ширина режущей кромки b , мм
$h_k=3$	$h_k=4$	$h_k=5$	$h_k=6$	$h_k=7$	
0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	3
0,1	0,15	0,2	0,3	0,3	До $1,2\sqrt{D}$
0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	До $1,7\sqrt{D}$

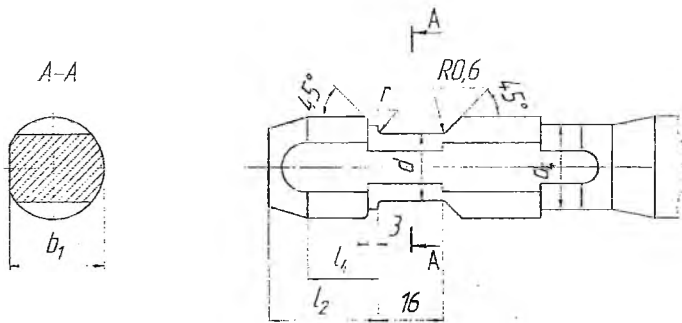
Таблица 3.11 - Число калибрующих зубьев протяжки

Квалитет точности	Z_K
6	8
7	7
8	6
9	5
10	4
Св. 10	2...3

Тип 1
Исполнение 1



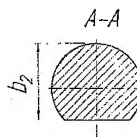
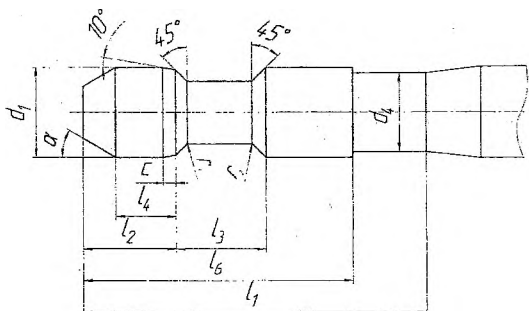
Исполнение 2



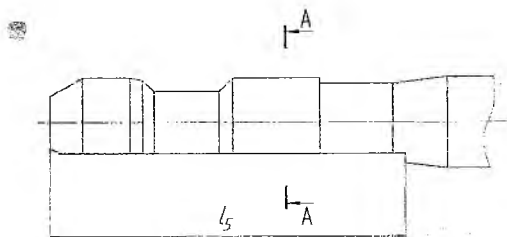
a/

Рисунок 3.2

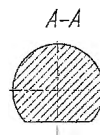
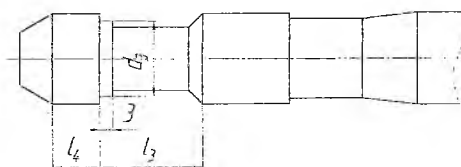
Тип 2
Исполнение 1



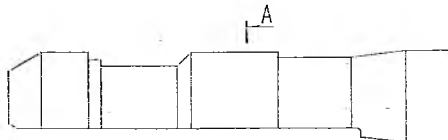
Исполнение 2



Исполнение 3



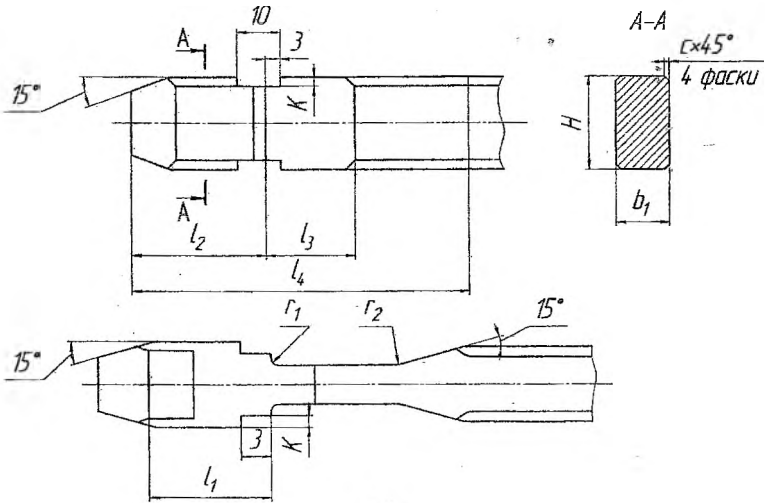
Исполнение 4



δ/

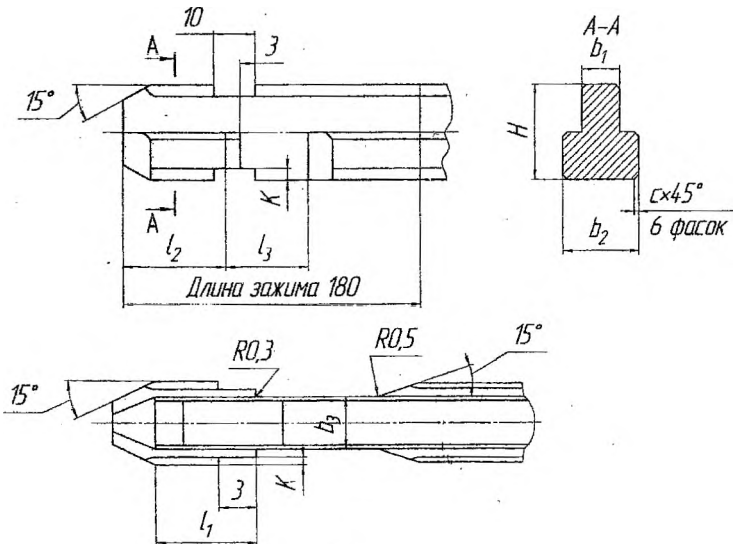
Рисунок 3.2

Тун 1



в)

Тун 2



г)

Рисунок 3.2

Раздел 4 – Проектирование и расчёт червячной фрезы с прямобочным шлицем

Исходные данные.

Исходные данные для проектирования фрез принимают из таблицы 4.1 в соответствии с вариантом задания. Форма торцевого сечения вала зависит от системы центрирования шлицевого соединения (см. рисунок 4.1). Расчетными размерами нарезаемого вала является среднее от предельных размеров с учетом допусков на изготовление.

4.1 Расчетные размеры вала

4.1.1 Наружный диаметр (точность расчета 0,01 мм).

$$D_p = D_{\max} - 2 \cdot f_{\min}, \quad (4.1)$$

где D_{\max} – максимальная величина наружного диаметра вала, мм;

f_{\min} – минимальная (номинальная) величина фаски, мм.

Если $f = 0$, то $D_p = D_{\max}$.

4.1.2 Внутренний диаметр (точность расчета 0,001 мм).

а) без учета припуска под шлифование вала (для окончательных фрез):

$$d_p = d_{\min} + 0,25 \cdot \Delta d, \quad (4.2)$$

где d_{\min} – минимальная величина внутреннего диаметра, мм;

Δd – допуск на внутренний диаметр, мм;

б) с учетом припуска под шлифование вала (промежуточные фрезы):

$$d_p = d_{\text{ном}} + P, \quad (4.3)$$

где $d_{\text{ном}}$ – номинальный внутренний диаметр;

P – припуск под шлифование (см. таблицу 4.2).

1.3 Ширина шлица (точность расчета 0,001 мм):

а) без учета припуска под шлифование вала:

$$b = b_{\min} + 0,25 \cdot \Delta b, \quad (4.4)$$

где b_{\min} – минимальная ширина шлица, мм;

Δb – допуск на ширину шлица, мм;

б) с учетом припуска:

$$b_p = b_{\text{ном}} + P, \quad (4.5)$$

где $b_{\text{ном}}$ – номинальная ширина шлица, мм;

P – припуск на шлифование, мм.

1.4 Диаметр начальной окружности с фаской на сторонах шлица.

$$D_H = \sqrt{D_p^2 - 0,75 \cdot b_p^2} \quad (4.6)$$

При отсутствии фаски

$$D_H = \sqrt{D_{\max}^2 - 0,75 \cdot b_p^2} \quad (4.7)$$

Результат округлить до четной десятой доли миллиметра. Следует учитывать, что отклонение от расчетного значения D_H в меньшую сторону приводит к срезанию боковой стороны шлица, прилегающей к наружному диаметру вала; отклонение в большую сторону — к увеличению переходной кривой на боковой стороне шлица, прилегающей к внутреннему диаметру вала.

4.2 Конструктивные элементы фрезы

4.2.1 Определение профиля боковой стороны зубьев фрезы аналитическим методом.

Профиль боковой стороны зуба фрезы представляет собой кривую, огибающую ряд последовательных положений профиля шлицевого вала при качении начальной окружности вала по начальной прямой фрезы.

На практике теоретическую кривую заменяют одной или двумя дугами окружности.

Одной дугой заменяют при высоте профиля шлицевого вала $h \leq 3,5$ мм и двумя, когда $h > 3,5$ мм или $h > 0,06 \cdot D_H$ (точность расчета 0,001 мм)

$$h = \frac{D_H - d_p}{2} \quad (4.8)$$

Для нахождения радиуса одной заменяющей окружности R_o и координат (x_o, y_o) центра этой окружности необходимо иметь координаты трех узловых точек профиля фрезы (см. рисунок 4.2): т.О с координатами $x=0, y=0$ расположена на начальной прямой в точке пересечения ее с кривой профиля; т.1 — посередине профиля; т.2 — у вершины профиля зуба. Зная координаты т.1 и т.2, найдем x_o, y_o, R_o . Координаты центра заменяющей окружности (точность расчета 0,001 мм).

$$x_o = \frac{x_1^2 - 2 \cdot y_o \cdot y_1 + y_1^2}{2 \cdot x_1}, \quad y_o = \frac{x_1 \cdot (x_2^2 + y_2^2) - x_2 \cdot (x_1^2 + y_1^2)}{2 \cdot (x_1 y_2 - x_2 y_1)} \quad (4.9)$$

Радиус заменяющей окружности:

$$R_o = \sqrt{x_o^2 + y_o^2} \quad (4.10)$$

Ординаты т.1 и т.2 принимают:

$$y_1 = (0,4 \dots 0,5) \cdot h, \quad y_2 = 0,9 \cdot h \quad (4.11)$$

Абсциссы т.1 и т.2 из формул:

$$x_1 = R_H \left[\begin{matrix} (\alpha_1 - \gamma_H) \\ (\alpha) \end{matrix} \right] - \cos \alpha_1 \left[\begin{matrix} (\sin \alpha_1 - \sin \gamma_H) \\ (\alpha) \end{matrix} \right], \quad (4.12)$$

где R_H — радиус начальной окружности вала, мм;

α_1, α_2 — углы обката т.1 и т.2 соответственно (угловые параметры), рад.

$$\sin \alpha_1 = \frac{\sin \gamma_H}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sin \gamma_H}{2} \right)^2 + \frac{y_1}{R_H}}, \quad (4.13)$$

$$\sin \alpha_2 = \frac{\sin \gamma_H}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sin \gamma_H}{2} \right)^2 + \frac{y_2}{R_H}},$$

где γ_H — угол шлица в точке на D_H , рад.

$$\sin \gamma_H = \frac{b_p}{D_H} \quad (4.14)$$

Точность расчета всех угловых параметров 1”.

Чтобы проверить точность замены кривой бокового профиля зуба фрезы дугой окружности, определяют величину отклонений дуги от теоретической кривой в двух точках a и b , расположенных между точками 0, 1, 2 (см. рисунок 4.2).

Максимальная погрешность замены в точках a и b (точность расчета 0,001):

$$\begin{aligned} \Delta a &= Fa - Ro, \\ \Delta b &= Fb - Ro, \end{aligned} \quad (4.15)$$

где F_a, F_b – радиусы точек a и b ,

$$F_a = \sqrt{(x_a - x_o)^2 + (y_a - y_o)^2} \quad (4.16)$$

$$F_b = \sqrt{(x_b - x_o)^2 + (y_b - y_o)^2}$$

где x_a, x_b, y_a, y_b – координаты точек a и b ;

$$x_a = R_H [(\alpha_a - \gamma_H) - \cos \alpha_a (\sin \alpha_a - \sin \gamma_H)]; \quad (4.17)$$

$$x_b = R_H [(\alpha_b - \gamma_H) - \cos \alpha_b (\sin \alpha_b - \sin \gamma_H)].$$

Здесь $\alpha_a, \alpha_b, \gamma_H$ – в радианах (1 градус = 0,017453 рад),

$$y_a = R_H \cdot \sin \alpha_a \cdot (\sin \alpha_a - \sin \gamma_H) \quad (4.18)$$

$$y_b = R_H \cdot \sin \alpha_b \cdot (\sin \alpha_b - \sin \gamma_H)$$

Точность расчета 0,001

Углы обката точек a и b в радианах:

$$\alpha_k = A + \sqrt{A^2 + B} \quad (4.19)$$

$$\alpha_d = A - \sqrt{A^2 + B}$$

Точность расчета 0,00001

$$A = \frac{R_H + \gamma_H + x_o}{2 \cdot (R_H + y_o / 3)} \quad (4.20)$$

$$B = \frac{y_o}{R_H + y_o / 3}$$

Здесь γ_H в радианах, y_o – подставляют в формулу со своим знаком (обычно с минусом).

Погрешность считается допустимой, если $(\Delta a + \Delta b) \leq \frac{2}{3} \cdot \Delta b$, (4.21)

где $(\Delta a + \Delta b)$ — погрешность замены из формулы (4.15) по абсолютному значению.

Δb – допуск на ширину шлица, когда инструмент окончательный, и припуск на обработку, когда промежуточный (*мм*).

Когда условие не выполняется, необходимо расчет произвести заново приняв другие значения ординаты (4.11). Если и в этом случае отклонение превышает допустимое, то профиль заменяется дугами двух окружностей.

4.2.2 Толщина зуба фрезы по начальной прямой (рисунок 4.3):

$$s_H = D_H \cdot \left(\frac{\pi}{n} - \gamma_H \right) \quad (4.22)$$

где n – число шлицев вала (4,6,8,10,12,14,16,20);

γ_H – в радианах.

4.2.3 Шаг зуба в нормальном сечении:

$$t_H = \frac{\pi}{n} \cdot D_n \quad (4.23)$$

4.2.4 Смещение уступа от начальной прямой:

$$t_H = bp^2 / (8 \cdot D_H) \quad (4.24)$$

4.2.5 Угол уступа (фаски):

n	4...6	16...20
ψ	35°	45...50°

Ширина $c = 2 \cdot f$, высота $h_2 = c \cdot \operatorname{tg} \psi$ (4.25)

4.2.6 Размеры канавки для выхода шлифовального круга при затыловании канавки:

радиус	$r = 1 \dots 2$ мм;	
ширина	$l \approx t_H - (S_H + 2 \cdot C)$;	(4.26)
глубина	$h_3 = 1,5 \dots 3$ мм.	

4.2.7 Высота шлифованной части зуба фрезы:

$$h_w = h + h_1 + h_2 \quad (4.27)$$

4.2.8 Общая высота профиля зуба:

$$h_o = h_w + h_3 \quad (4.28)$$

4.2.9 Размеры зуба фрезы с "усиками" (рисунок 4.4):

Одним из недостатков метода нарезания червячными шлицевыми фрезами является наличие переходной кривой у основания шлицев. Когда наличие её недопустимо, используют фрезы с усиками на вершине профиля. Так, фрезы с "усиком" применяют для обработки шлицевых валов внутреннего центрирования (рисунок 4.1). Основные размеры зуба: смотри пункты 4.2.1...4.2.8.

4.2.10 Дополнительно рассчитываются:

Высота усика:

$$h_y = y_{\max} - h, \quad (4.29)$$

где y_{\max} — максимальная высота профиля зуба (высшая точка профиля).

$$y_{\max} = R_H \cdot \sin \alpha_{\max} \cdot (\sin \alpha_{\max} - \sin \gamma_H), \quad (4.30)$$

где R_H — радиус начальной окружности вала, мм;

α_{\max} — угол обката высшей точки профиля.

$$\cos \alpha_{\max} = \frac{d_p}{D_H} \cdot \cos \gamma_d, \quad (4.31)$$

где d_p — расчетный внутренний диаметр вала, мм;

D_H — диаметр начальной окружности вала, мм;

γ_d — угол профиля шлица в точке, расположенной на

$$\sin \gamma_d = \frac{b_p}{d_p}, \quad (4.32)$$

где b_p — расчетная ширина шлица, мм.

4.2.11 Высота шлифованной части зуба

$$h_u = y_{\max} + h_1 + h_2, \quad (4.33)$$

где h_1 – по пункту 2.4;

h_2 – по пункту 2.5;

$$f_y \approx (0,07 \cdot S_H - 0,2) \text{ мм}.$$

Не допускается: $f_y < 0,3 \text{ мм}$

Рекомендуется: $f_y \approx 0,7 \dots 2 \text{ мм}$

4.3 Геометрия фрезы

4.3.1 Передний угол: $\gamma = 0^\circ$ – для чистового инструмента, для чернового допускается: $\gamma = 5^\circ \dots 7^\circ$.

4.3.2 Задний угол на вершине зуба: $\alpha_\delta = 8 \dots 14^\circ$

Шаг между выбираемыми углами 30° .

На боковых сторонах профиля задний угол α_δ определяется из формулы:

$$\operatorname{tg} \alpha_\delta = \operatorname{tg} \alpha_b \cdot \sin \alpha_n, \quad (4.34)$$

где $\operatorname{tg} \alpha_n = \frac{y_0}{x_0}$, а значение угла α_δ должно быть $\alpha_\delta \geq 1^\circ 30'$

При невыполнении условия необходимо увеличить α_b .

4.4 Расчет конструктивных и габаритных размеров фрезы (рисунок 4.5)

4.4.1 Число заходов – преимущественно однозаходные.

4.4.2 Угол подъема витков по среднему диаметру $\tau = 6^\circ$.

При увеличении τ увеличивается погрешность профиля боковой стороны шлица. Направление витков правое. Направление передней поверхности зубьев левое.

4.4.3 Ориентировочный наружный диаметр, мм:

$$D_{\text{ев}} = \frac{D_H}{n \cdot \sin \tau} + 2h_{\text{из}} \quad (4.35)$$

Значение округляется в большую сторону до величины кратной пяти.

4.4.4 Число зубьев фрезы:

при: $D_{\text{ев}} = 50 \dots 85 \rightarrow Z_{\text{min}} = 12$

$D_{\text{ев}} > 85 \rightarrow Z_{\text{min}} = 14$

От допуска на ширину шлица Δb :

$b > 0,1 \rightarrow Z_{\text{min}} = 12$

$b \leq 0,1 \rightarrow Z_{\text{min}} = 14$

4.4.5 Величина затылования:

$$K = (D_{\text{ев}} / Z) \cdot (\pi \cdot \operatorname{tg} \alpha_b) \quad (4.36)$$

$$K_1 = (1,2 \dots 1,7) \cdot K \quad (4.37)$$

затем до ближайшего стандартного значения. Шаг $0,5 \text{ мм}$.

4.4.6 Размеры канавки для выхода стружки, мм:

$$r_2 = 1,25 \dots 2,5$$
$$H = h_0 + \frac{K + K_1}{2} + 1 \quad (4.38)$$

Точность 0,1 мм.

Угол канавки Θ° – 22; 25; 30

4.4.7 Длина шлифованной части задней поверхности зубьев фрезы, мм:

$$l_m \geq \left(\frac{1}{3} \dots \frac{1}{2} \right) \frac{\pi \cdot D_{\text{ев}}}{Z} \quad (4.39)$$

4.4.8 Шаг витков фрезы в осевом сечении, мм:

$$t_0 = \frac{t_n}{\cos \tau} \quad (4.40)$$

4.4.9 Длина наружной части фрезы, мм:

$$l_p = 2 \cdot \sqrt{h \cdot (D_{\text{ев}} - h)} + (2 \dots 0,5) \cdot t_0 \quad (4.41)$$

4.4.10 Общая длина фрезы. Точность расчета 0,5 мм.

$$L = l_p + 2l_\delta, \quad (4.42)$$

где l_δ – длина буртика фрезы, мм.

$$L = (2 \dots 3) \cdot t_0$$

$$l_\delta = 2 \dots 5 \text{ мм.}$$

4.4.11 Диаметр цилиндрической части буртиков, мм:

$$d_\delta = D_{\text{ев}} - 2H - (3 \dots 5) \quad (4.43)$$

4.4.12 Средний расчетный диаметр, мм:

$$D_i = D_{\text{ев}} - 2H - 0,5 \cdot K \quad (4.44)$$

4.4.13 Угол наклона стружечной канавки:

$$\sin \omega = \frac{t_n}{\pi \cdot D_i} \quad (4.45)$$

4.4.14 Шаг стружечной канавки, мм:

$$T = \pi \cdot D_i \cdot \text{ctg } \omega \quad (4.46)$$

4.4.15 Диаметр отверстия фрезы, мм:

$$d_0 \approx 0,625 (D_{\text{ев}} - 2H) \quad (4.47)$$

Затем выбрать ближайшие стандартные: 8, 10, 13; 16; 19; 22; 27; 32; 40...

При центрировании по наружному диаметру D (исполнение 2) $d = d_1$. Точность валов по диаметру -- f7, g6, h6, js6, n6, e8; для b -- e8, h8, e9.

Исполнение 1 — базирование по внутреннему диаметру (используется, когда втулка очень твердая).

Исполнение 2 — наиболее технологично и широко распространенное. Исполнение 3 — базирование по ширине шлица (для валов, работающих с знакопеременными нагрузками).

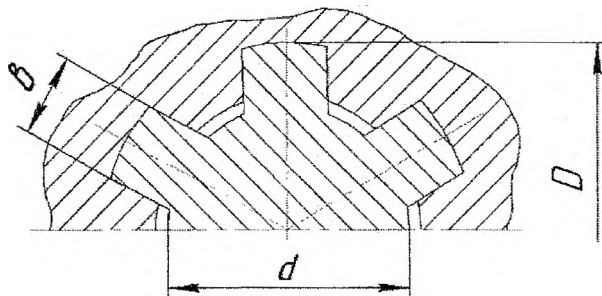
Пример обозначения шлицевого соединения: $D-8*36*40H8/e8*7D9/h8$

Исходными данными для проектирования фрезы являются: размеры шлицевого вала [вид центрирования, вид инструмента (окончательный, промежуточный)].

Таблица 4.1 – Размеры профиля шлицевого вала, мм

N	$z*d*D$ z-шлицев	b	d_1 тип.	a тип.	f ном.	f откл.	r тах
Легкая серия							
1	6*23*26	6	22.1	3.54	0.3	+0.2	0.2
2	6*26*30	6	24.6	3.85	0.3	+0.2	0.2
3	6*28*32	7	26.7	4.03	0.3	+0.2	0.2
4	8*32*36	6	30.4	2.71	0.4	+0.2	0.3
5	8*36*40	7	34.5	34.5	0.4	+0.2	0.3
6	8*42*46	8	40.4	5.03	0.4	+0.2	0.3
7	8*46*50	9	44.6	5.75	0.4	+0.2	0.3
8	8*52*58	10	49.7	4.89	0.5	+0.3	0.5
9	8*56*62	10	53.6	6.38	0.5	+0.3	0.5
10	8*62*68	12	59.8	7.31	0.5	+0.3	0.5
11	10*72*78	12	69.6	5.45	0.5	+0.3	0.5
12	10*82*88	12	79.3	8.62	0.5	+0.3	0.5
13	10*92*98	14	89.4	10.08	0.5	+0.3	0.5
Средняя серия							
14	6*11*14	3	9.9	-	0.3	+0.2	0.2
15	6*13*16	3.5	12.0	-	0.3	+0.2	0.2
16	6*16*20	4	14.5	-	0.3	+0.2	0.2
17	6*18*22	5	16.7	-	0.3	+0.2	0.2
18	6*21*25	5	19.5	1.95	0.3	+0.2	0.2
19	6*23*28	6	21.3	1.34	0.3	+0.2	0.2
20	6*26*32	6	23.4	1.65	0.4	+0.2	0.3
21	6*28*34	7	25.9	1.70	0.4	+0.2	0.3
22	8*32*38	6	29.4	-	0.4	+0.2	0.3
23	8*36*42	7	33.5	1.02	0.4	+0.2	0.3
24	8*42*48	8	39.5	2.75	0.4	+0.2	0.3
Тяжелая серия							
25	10*16*20	2.5	14.1	-	0.3	+0.2	0.2
26	10*18*23	3	15.6	-	0.3	+0.2	0.2
27	10*21*26	3	18.5	-	0.3	+0.2	0.2
28	10*23*29	4	20.3	-	0.3	+0.2	0.2
29	10*26*32	4	23.0	-	0.4	+0.2	0.2
30	10*28*35	4	24.4	-	0.4	+0.2	0.2

Профиль шлицевого соединения



Исполнения шлицевых валов по ГОСТ 1139—80

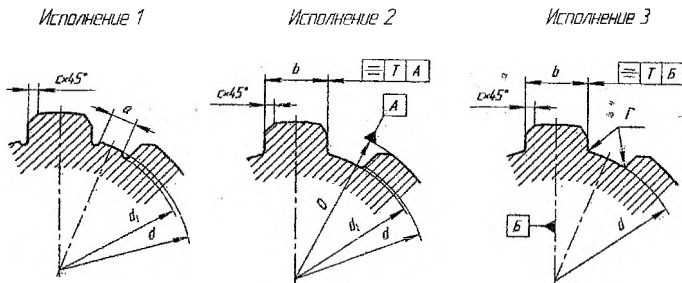


Таблица 4.2 – Припуск на последующую обработку в зависимости от диаметра.

$d_{ном}$, мм	$R_{ном}$ (на \varnothing или ширину шлица)
до 30	0,30
30... 50	0,35
50... 80	0,45
80... 120	0,50

при центрировании по наружному \varnothing : $f7, g6, h6, js6, n6, e8$ вал.
($d=d1$)

для b — $e8, h8, e9$.

Обозначение вала $D-8*36*40e8*7h8$,

где 8 — число шлицев;

36 — внутренний диаметр d , мм;

40e8 — наружный диаметр с отклонением, мм;

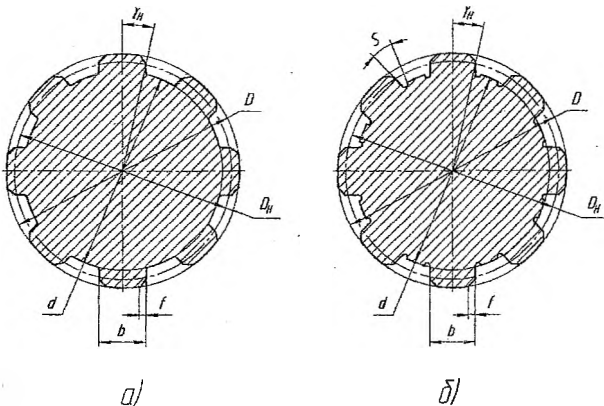
7h8 — ширина шлица с отклонением, мм.

Пример задания

Рассчитать червячную фрезу для обработки шлицевого вала
 $D-8*36*40e8*7h8$
инструмент окончательный.

Вал шлицевой (4:1)

а) при центрировании по
наружному диаметру;
б) при центрировании по
внутреннему диаметру.
Рисунок 4.1 – Профиль
торцового сечения
шлицевого вала.



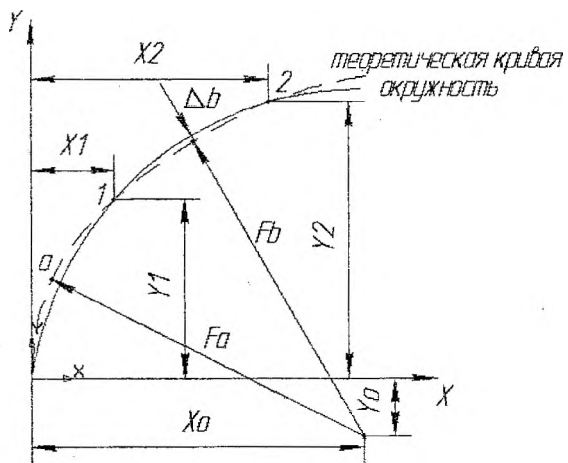


Рисунок 4.2

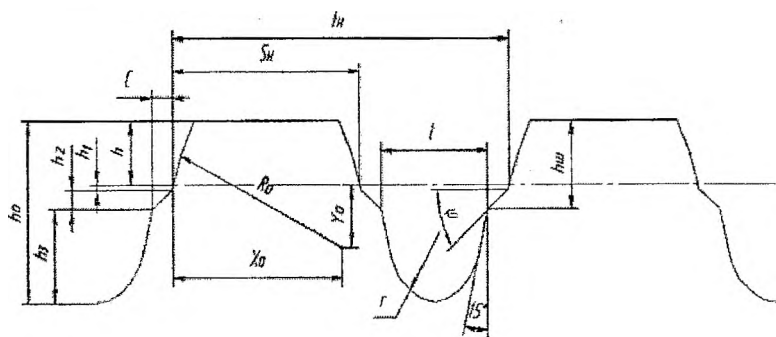


Рисунок 4.3

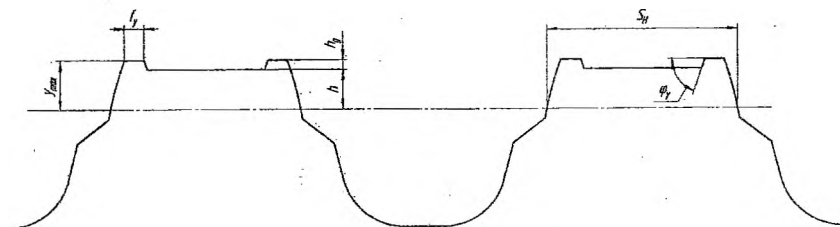
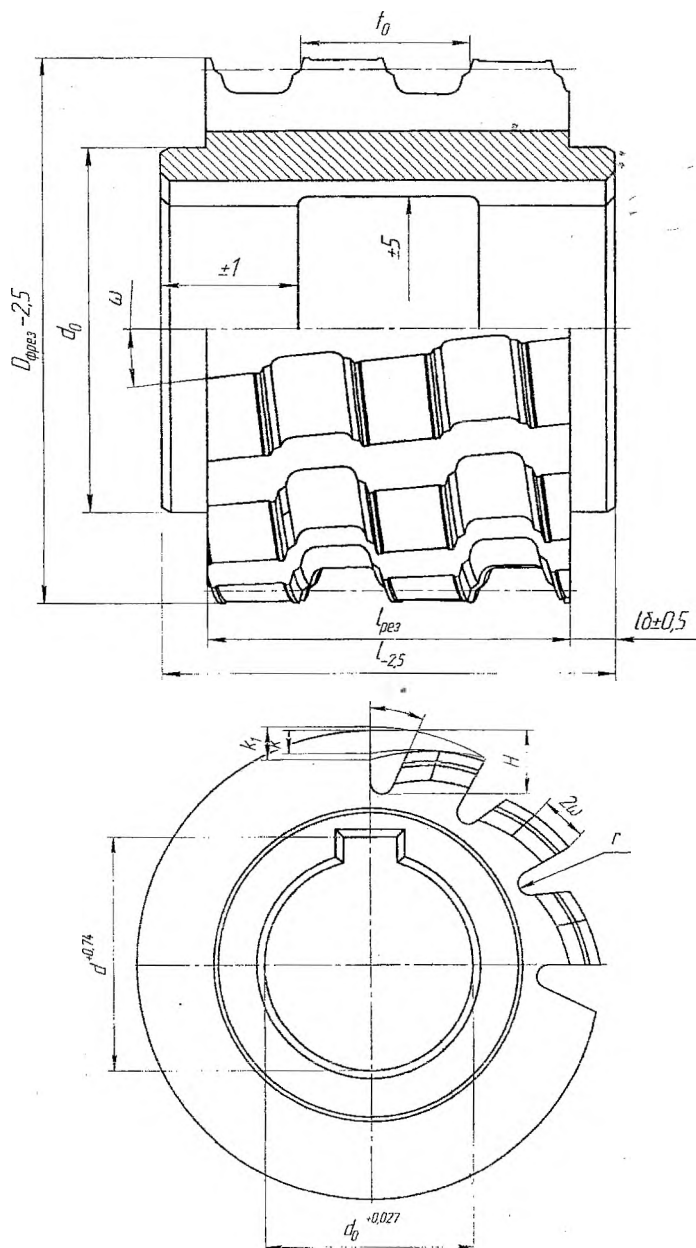


Рисунок 4.4



Рисунк 4.5 – Чертеж червячной фрезы с основными размерами и отклонениями.
Шпоночную канавку выбрать по ГОСТ

Раздел 5 – Проектирование и расчёт зуборезной фрезы

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРЯЖЕННЫХ УЧАСТКОВ ПРОФИЛЕЙ ЗУБЬЕВ ЭВОЛЬВЕНТНЫХ КОЛЕС И ИНСТРУМЕНТОВ

При проектировании зуборезных инструментов приходится решать задачи, связанные не только с обеспечением точности обработки эвольвентных участков зубьев, но и с получением требуемых размеров других их участков: срезов при вершинах зубьев и соответствующих им фланков на зубьях инструмента, закруглений у ножек и соответствующих им закруглений при вершинах зубьев инструмента и др. Особенно это относится к инструментам с различного рода конструктивными и технологическими модификациями профиля зубьев. В связи с этим часто возникает необходимость в определении сопряженных участков профилей зубьев инструментальной рейки и колеса. Размеры этих участков находятся из схемы зацепления рейки с колесом в торцовом сечении (рисунок 5.1). Зуб колеса показан в двух положениях, соответствующих началу и концу зацепления его с рейкой.

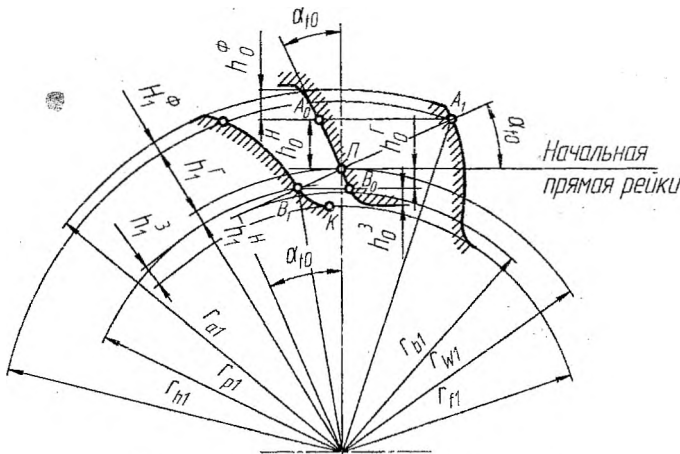


Рисунок 5.1 - Схема зацепления рейки с колесом

Профиль рейки построен так, что линия A_0B_0 проходит через полюс зацепления P . Линия A_1B_1 — активная часть линии зацепления. На профиле зуба инструмента должен быть участок $A_0B_0 = h_0^c + h_0^{st}$, необходимый для обработки эвольвентного участка $h_1^{st} + h_1^c$ зуба колеса, закругление h_0^c при вершине и утолщение высотой h_0^c у основания ножки зуба. Эти участки должны быть сопряженными с соответствующими участками профиля зуба колеса. Примем угол α_0 профиля инструментальной рейки в торцовом сечении отличным от угла α_1 профиля нарезаемого колеса. При этом радиус начального цилиндра обработки колеса

$$r_{w1} = r_1 \frac{\cos \alpha_{11}}{\cos \alpha_{10}} \quad (5.1)$$

Зависимость между активной высотой h_0^c головки зуба колеса и активной высотой h_0^{st} ножки зуба рейки получается из ΔOPA_1 :

$$OA_1^2 = OP^2 + PA_1^2 - 2OP \cdot PA_1 \cos\left(\frac{\pi}{2} + \alpha_{11}\right)$$

Учитывая, что $OA_1 = r_{w1} + h_1^r$, $OP = r_{w1}$ и $PA_1 = h_0^H \csc \alpha_{i0}$, имеем

$$2r_{w1}h_1^r + (h_1^r)^2 = (h_0^H)^2 \csc^2 \alpha_{i0} + 2r_{w1}h_0^H$$

Решая это уравнение относительно h_0^H или h_1^r , получаем

$$h_0^H = \sin \alpha_{i0} \left[\sqrt{r_{w1}^2 \sin^2 \alpha_{i0} + 2r_{w1}h_1^r + (h_1^r)^2} - r_{w1} \sin \alpha_{i0} \right] \quad (5.2)$$

$$h_1^r = \sqrt{r_{w1}^2 + 2r_{w1}h_0^H + (h_0^H)^2 \csc^2 \alpha_{i0}} - r_{w1} \quad (5.3)$$

Закругление ножки зуба колеса начинается в точке B_1 , сопряженной с точкой B_0 начала скругленного участка при вершине зуба рейки. Точка B_1 определяет высоту h_1^H эвольвентной части ножки зуба колеса. Из ΔOB_1P , в котором $OB_1 = r_{w1} - h_1^H$ и $B_1P = h_0^r \csc \alpha_{i0}$, получаем

$$(h_1^H)^2 - 2r_{w1}h_1^H = (h_0^r)^2 \csc^2 \alpha_{i0} - 2r_{w1}h_1^r$$

откуда

$$h_1^r = \sin \alpha_{i0} \left[r_{w1} \sin \alpha_{i0} - \sqrt{r_{w1}^2 \sin^2 \alpha_{i0} - 2r_{w1}h_1^H + (h_1^H)^2} \right] \quad (5.4)$$

$$h_1^H = r_{w1} - \sqrt{r_{w1}^2 - 2r_{w1}h_1^r + (h_1^r)^2 \csc^2 \alpha_{i0}} \quad (5.5)$$

Эта формула определяет размеры эвольвентного профиля на ножке зуба, получающегося при обработке инструментом. Следовательно, можно определить и размеры переходных кривых, образующихся у основания зубьев,

$$h_{II, KP} = h_{r1} - h_1^H \quad (5.6)$$

Из формул (3) и (5) получают выражения для вычисления радиусов окружностей, проходящих через верхние и нижние точки активных профилей зубьев колеса:

$$r_{n1} = r_{w1} + h_1^r = \sqrt{r_{w1}^2 + 2r_{w1}h_0^H + (h_0^H)^2 \csc^2 \alpha_{i0}} \quad (5.7)$$

$$r_{p1} = r_{w1} - h_1^H = \sqrt{r_{w1}^2 - 2r_{w1}h_1^r + (h_1^r)^2 \csc^2 \alpha_{i0}} \quad (5.8)$$

Для пары колес сопряженные участки профилей их зубьев находят через соответствующие им сопряженные точки профиля, которые определяют следующим образом. Если на профиле зуба колеса Z_2 задана произвольная точка E , характеризуемая радиусом r_e , проходящей через нее окружности, то радиус окружности, проходящей через сопряженную с ней точку K профиля зуба парного колеса Z_1

$$r_K = \sqrt{r_{B1}^2 + (\alpha_{w12} \sin \alpha_{nw12} - r_{B2} \operatorname{tg} \alpha_{e2})^2}; \quad (5.9)$$

$$\cos \alpha_{e2} = r_{B2} / r_e = mZ_2 \cos \alpha_{i2} / 2r_{e2},$$

где расстояние $\alpha_{w12} = \frac{m(Z_1 + Z_2)}{2} \frac{\cos \alpha_i}{\cos \alpha_{nw12}}$, а угол α_{nw12} определяют по формуле

$$\operatorname{inv} \alpha_{nw12} = \operatorname{inv} \alpha_{i1} + 2 \frac{X_1 + X_2}{Z_1 + Z_2} \operatorname{tg} \alpha_i, \text{ или } \operatorname{inv} \alpha_{nw12} = \operatorname{inv} \alpha_i + 2 \frac{S_1 + S_2 - \pi m}{m(Z_1 + Z_2)}$$

Во избежание интерференции колес при их зацеплении необходимо, чтобы

$$r_{p12} \geq r_{p10}, \quad (5.10)$$

где r_{p12} и r_{p10} — радиусы окружностей нижних точек активного профиля колеса Z_1 при зацеплении его с колесом Z , и обрабатываемым инструментом Z_0 . Их рассчитывают по формуле (5.9), в которой для расчета r_{p10} надо вместо r_{B2} , α_{e2} , α_{w12} и α_{nw12} принять параметры r_{B0} , α_{i0} , α_{w10} и α_{nw10} , относящиеся к инструменту Z_0 и зацеплению его с колесом Z_1 , а значение углов α_e давления эвольвенты следует принимать для точек профиля на окружностях радиусов r_{a0} и r_{a0} вершин зубьев соответственно колеса Z , или инструмента Z_0 .

ЧЕРВЯЧНЫЕ ЗУБОРЕЗНЫЕ ФРЕЗЫ

Червячные фрезы применяют для черновой и чистовой обработки цилиндрических зубчатых колес наружного зацепления с прямым, винтовым и шевронным зубьями, червячных колес и колес внутреннего зацепления. Червячные фрезы для цилиндрических колес согласно ГОСТ 9324—80Е изготавливают трех типов и четырех классов точности:

тип I — фрезы цельные прецизионные класса точности *AA* модулей $m=1\div 10$ мм; тип II — фрезы цельные общего назначения классов точности *A*, *B*, *C* и *D* с $m=1\div 12$ мм; тип III — фрезы сборные общего назначения классов точности *A*, *B*, *C* и *D* с $m=8\div 25$ мм.

Этими фрезами обрабатывают колеса 7—11-й степеней точности (ГОСТ 1643—81). Размеры фрез $m=0,1\div 1$ мм классов точности *AA*, *A* и *B* регламентируются ГОСТ 10331—81.

Червячные фрезы могут работать с осевой, радиальной, диагональной и тангенциальной подачами. В последнем случае конструкция фрезы снабжается режущей частью длиной, равной двум осевым шагам фрезы, и с углом конуса $20\div 30^\circ$. По способу крепления фрезы делаются насадными и хвостовыми. Проектирование фрез заключается в назначении размеров конструктивных элементов, расчете размеров профиля их зубьев и выборе геометрических параметров и производится в следующей последовательности.

Выбор угла профиля и числа заходов фрезы. Зубчатые колеса могут быть нарезаны червячными фрезами с углом профиля $\alpha_{п0}$ как равным, так и отличным от угла $\alpha_{п1}$ профиля зубьев колес. Иначе, червячные фрезы проектируют на основе червяков, определяемых инструментальными рейками, как совпадающими по углу профиля с исходным контуром колес, так и отличными от него. При этом необходимым условием правильности обработки колес фрезами является равенство их основных шагов в нормальном сечении:

$$P_{п0} = P_{п0} \cos \alpha_{п0} = \pi m \cos \alpha_{п0} = P_{п1} = \pi m_{п1} \cos \alpha_{п1} \quad (5.11)$$

Для обеспечения правильной обработки колес нормальный шаг зубьев фрезы

$$P_{п0} = \pi m_{п1} \cos \alpha_{п1} / \cos \alpha_{п0} = \pi m_{п1} K_K, \quad (5.12)$$

$$\text{где } K_K = \cos \alpha_{п1} / \cos \alpha_{п0} \quad (5.13)$$

Наиболее часто угол $\alpha_{п0}$ принимают равным $\alpha_{п1}$. В этом случае значение коэффициента K_K , входящего в формулу (5.12) и следующие другие, равно единице, и фрезы получают обычных конструкций. На практике иногда с целью повышения качества обработки применяют скорректированные червячные фрезы, у которых $K_K \neq 1$, или с $\alpha_{п0} < \alpha_{п1}$. Это способствует повышению точности обработки, увеличению длины активной части линии профилирования, числа профилирующих кромок, производящих окончательную обработку профиля зубьев, что создает условия для увеличения числа заходов фрезы и повышения производительности зубофрезерования. Коэффициент K_K следует принимать как можно меньше. Однако с уменьшением $\alpha_{п0}$ у затылованных фрез уменьшаются задние углы на боковых кромках, поэтому принимать $\alpha_{п0} < 10\div 12^\circ$ не рекомендуется.

У острозаточенных фрез значение $\alpha_{п0\text{min}}$ не лимитируется величинами задних боковых углов. При выборе же K_K надо иметь в виду, что у колес, у которых $r_{г1} < r_{г1}$, при обработке может подрезаться профиль зубьев. Во избежание этого минимально допустимый угол профиля принимается как $\cos \alpha_{п0\text{min}} = r_{г1} / r_{г1}$. Кроме этого,

окончательное значение $\alpha_{н0\max}$ должно приниматься из условия $r_{w1} \geq r_{f1}$. В противном случае уменьшается площадь при вершине зубьев фрезы. Поскольку фрезы с $K_K \neq 1$ являются специальными, применение их эффективно только в массовом производстве.

Число заходов фрез Z_{10} выбирается в зависимости от их служебного назначения. Для фрез, применяемых при чистовом фрезеровании, обычно $Z_{10} = 1$. При отсутствии повышенных требований к точности обработки в целях увеличения производительности червячные фрезы делают многозаходными. При этом для уменьшения погрешностей обработки Z_{10} принимается четным при нечетном числе Z_1 зубьев обрабатываемого колеса, и наоборот.

Размеры зубьев фрезы в нормальном сечении к ее виткам. Профильный угол червяка фрезы $\alpha_{п0}$ выбирают по рекомендациям, приведенным выше, шаг зубьев $P_{п0}$ в нормальном сечении — по формуле (5.12). Ход зубьев по нормали $P_{z0} = P_{п0} Z_{10}$. Толщина зуба в нормальном сечении $S_{п0} = P_{п0} - (S_{пw1} + \Delta S_{п1})$, где $\Delta S_{п1}$ — припуск под последующую обработку зубьев колеса (при чистовой обработке $\Delta S_{п1} = 0$).

Высота головки зуба фрезы $h_{a0} = h_{f1} = r_{w1} - r_{f1}$

Высота ножки зуба

$$h_{f0} = h_{a1} + c'm_{п1} = (r_{a1} - r_{w1}) + (0,25 \div 0,3)m_{п1}$$

Полная высота зуба

$$h_0 = h + c'm_{п1} = (r_{a1} - r_{f1}) + (0,25 \div 0,3)m_{п1}$$

Радиусы закруглений головки и ножки зубьев

$$\rho_{a0} = 0,25m_{п1}; \quad \rho_{f0} = 0,3m_{п1}$$

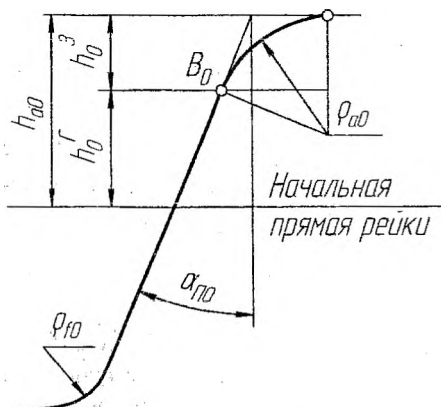


Рисунок 5.2 - Схема для определения радиуса закругления головки зуба рейки

В случае жесткого допуска на размеры галтелей у основания зубьев обрабатываемых колес радиус закругления головки зуба (рисунок 5.2)

$$\rho_{a0} = (h_{a0} - h'_0) / (1 - \sin \alpha_{п0})$$

Этой зависимостью пользуются, если $\rho_{a0} > 0,25m_{п1}$. Стойкость зубьев фрез при этом увеличивается.

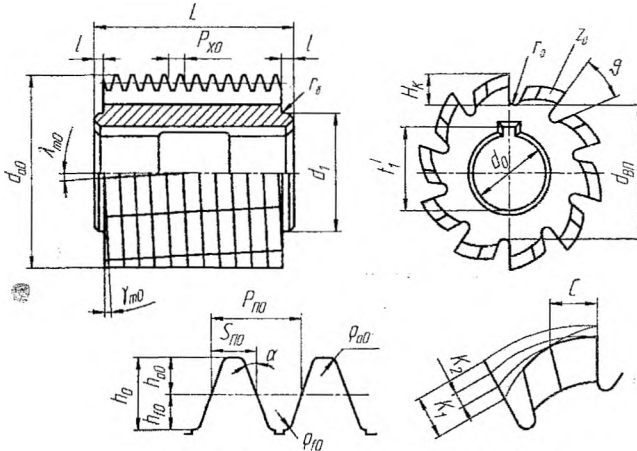
Определение размеров модифицированных участков зубьев фрезы (фланков, усиков и др.) проводится согласно рекомендациям, приведенным выше. Смещение средней прямой рейки фрезы относительно ее начальной прямой $\Delta_1 = (h_{f0} - h_{a0})/2$. Толщина зуба фрезы по средней прямой в нормальном сечении к ее виткам

$$S_{п1ср} = S_{п0} + 2\Delta_1 \operatorname{tg} \alpha_{п0}$$

Выбор геометрических и конструктивных параметров фрез. Задний угол при вершине зуба обычно $\alpha_H = 9 \div 15^\circ$. Задний угол на боковых сторонах зубьев в нормальном сечении (рисунок 5.3)

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{вн}} = \frac{r_{\alpha_2}}{r_i} \operatorname{tg} \alpha_H \sin \alpha_{\text{п}0},$$

где r_i — радиус окружности, проходящей через точку, в которой определяется угол $\alpha_{\text{вн}}$.



C — ширина шлифованного участка зуба фрезы

Рисунок 5.3 - Конструктивные элементы червячной фрезы

Минимальное значение $\alpha_{\text{вн}} = 2^\circ$. Передний угол γ у чистовых фрез при некорректированном профиле их зубьев обычно принимается $\gamma = 0$. При $\gamma \neq 0$ у фрез, предназначенных для точной обработки, профиль их зубьев необходимо корректировать специальными расчетами. Диаметр посадочного отверстия фрезы $d_0 = 14,21 h_0^{0,373}$ — для фрез общего назначения, $d_0 = 18,65 h_0^{0,404}$ — для прецизионных фрез.

Для многозаходных фрез рассчитанный по этим формулам d_0 надо увеличить по крайней мере на одну ступень относительно ближайшего большего значения его из нормального ряда d_0 . Это вызвано необходимостью обеспечения достаточной жесткости и виброустойчивости оправки фрезы, которая вследствие многозаходности фрезы является более нагруженной. Возможность назначения большего d_0 у многозаходных фрез обусловлена также и увеличенными значениями их наружных диаметров, принимаемыми для увеличения общего числа зубьев фрезы с целью компенсации уменьшения числа профилирующих резов.

Диаметр $d_{\text{вн}}$ окружности впадин между зубьями фрезы в целях достаточной прочности должен быть не менее $d_{\text{вн}} = 1,75d_0$. Полная высота зуба фрезы или глубина стружечной канавки: у фрез с нешлифованным профилем зубьев $H_r = h_0 + K + r_0$, у фрез со шлифованным профилем зубьев

$$H_k = h_0 + \frac{K + K_1}{2} + r_0,$$

где $K_1 = \frac{\pi d_0}{Z_0} \operatorname{tg} \alpha_H$; $K_1 = (1,2 \div 1,5)K$; r_0 - радиус закругления дна стружечной канавки (для фрез средних модулей $r_0 = 0,5 \div 2$ мм).

Так как наружный диаметр d_{a0} является неизвестным, то для расчета H_K можно воспользоваться следующими ориентировочными значениями K , имеющими место у стандартных фрез общего назначения:

m , мм	K	m , мм	K
1 — 1,25	2,5	8	7,0
1,5 — 2,75	3,0	9	8,0
3 — 3,5	4,0	10	8,5
3,75 — 4,5	4,5	11	9,0
5	5,0	12	9,5
5,5 — 6	6,0	14	10,5
6,5 — 7	6,5		

После окончательного выбора d_{a0} надо уточнить значения K и K , расчетом по приведенным формулам с последующим округлением до ближайшего значения из нормального ряда кулачков. Наружный диаметр фрезы $d_{a0} \geq d_{вп} + 2H$. Наружный диаметр многозаходных фрез принимают больше, чем у однозаходных, с целью увеличения числа их зубьев. При окончательном назначении d_{a0} , а также общей длины фрезы и диаметра d_0 значения их надо согласовать с размерами посадочных мест зубофрезерных станков по паспортным данным или по таблице 5.1.

Число зубьев (стружечных канавок) для фрез с $\gamma = 0$ и $Z_{10} = 1$

$$Z_0 = \frac{0,967r_{вп}}{h_0^{0,452}} = \frac{0,4835d_{вп}}{h_0^{0,452}}$$

Рекомендуется Z_0 выбирать в зависимости от модуля и типа фрезы (таблица 5.2).

У сборных фрез $Z_0 = 8$ или 10. Число зубьев $Z_0 = 360^\circ/\varphi$, $\cos\varphi = 1 - 4,5 \frac{m_H h_a}{d_{a0}}$, при этом Z_0 округляется до целого числа. Угол ψ стружечной канавки выбирают в зависимости от Z_0 :

Z_0	ψ°
12	18
10 — 9	22
8	25 или 30

Диаметр начального цилиндра фрезы в исходном (расчетном) сечении $d_{m0} = d_{a0} - 2h_{a0} - 0,3K$. Угол подъема витков фрезы на начальном цилиндре в расчетном сечении, необходимый для определения угла установки фрезы относительно обрабатываемого колеса, считается с точностью до $1'$: $\sin \gamma_{m0} = P_{ЗП} / \pi d_{m0} = P_{П0} Z_{10} / \pi d_{m0}$.

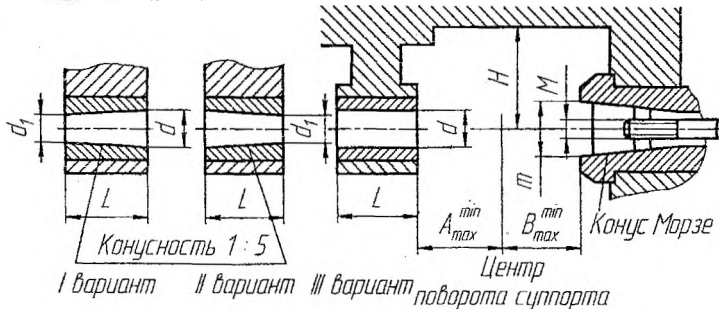


Рисунок 5.4 — Размеры заднего подшипника и конца шпинделя суппорты зубофрезерных станков

Таблица 5.1 - Посадочные размеры суппорта зубофрезерных станков, мм (рисунок 5.4)

Станок	Вариант заднего подшипника	d	L	M	Конус Морзе N	m	$\frac{A_{\min}}{A_{\max}}$	$\frac{B_{\min}}{B_{\max}}$	H	$d_{\text{от макс}}$
5A301	I	13A	30	10	2	18	65/70	28/33	30	50
5325	I	22,27,32,40	95	20	5	48	42/68	64/94	192	155
5A326	I	27,32,40	95	20	5	48	120/170	98/123	105	160
5Д32	I	22,27,32	65	16	4	32	62/102	85/135	80	120
532	I	22,27,32	65	14	4	51,3	65/135	20/105	68	120
5327	I	27,32,40	95	18	5	48	120/170	98/123	215	200
5310	II	27	47	12	3	25	50/70	25/58	—	—
5353	II	60,80	160	30	Метрический 80	80	140/340	150/350	—	360
5330	II	40,50,60	—	—	6	108	30/290	62,5/322,5	—	270
533	II	32,40,50	—	24	6	65	—	—	—	200
5332	II	40,50,60	190	—	6	76	30/290	—	—	270
5301	III	13A	39	10	2	12	27/40	62,5/322,5	26	50
5B31	III	45	90	—	5	48	—	—	—	135
5B32	III	22,27,32	76	14	4	32,5	40/30	34/39	64,5	120
5321	III	27,32,40	120	16	5	48	50/120	0/64	—	150
5B31Б	III	22,27,32	90	18	5	48	—	60/120	—	135
5320	III	34	60	—	3	25	—	0/125	—	90
5355M	III	60,80,100	283	—	Метрический 100	100	—	0/64	—	400

Ход витков фрезы считается с точностью до 0,001 мм: $P_{z0} = P_{zл} / \cos \gamma_{м0}$. Шаг витков фрезы $P_{x0} = P_{п0} / \cos \gamma_{м0}$.

Выбирают угол $\lambda_{м0}$ наклона стружечных канавок (обычно $\lambda_{м0} = \gamma_{м0}$) и определяют шаг стружечных канавок с точностью до 1 мм: $P_z = \pi d_{м0} \text{ctg} \lambda_{м0}$. Окончательно P_z принимают согласно имеющемуся набору сменных колес. Для колес с правым направлением зубьев и прямозубых предпочтительнее применять фрезы с правым направлением витков.

Диаметр выточки в отверстии фрезы $d_{\text{выт}} = 1,05d_0$. Диаметр буртиков фрезы $d_1 = d_0 - 2H_K - (1+2)$ мм.

Таблица 5.2 – Рекомендуемые числа зубьев фрез

Фреза				
прецизионная		Z_0	общего назначения	
m, мм			m	
1 — 1,75		16	1 — 2,75	
2 — 5,5		14	3 — 6	
6 — 10		12	6,5 — 14	
			16 — 20	
			8	

Длина буртиков $l = 4 \div 6$ мм в зависимости от модуля.

Угол установки оси фрезы по отношению к торцу колеса $\psi = \beta_{\text{в1}} \mp \gamma_{\text{м0}}$, где знак «—» принимается при одноименном направлении зубьев колеса и витков фрезы, а «+» — при разноименном. Рабочая длина $L_{\text{р}}$ фрезы выбирается с учетом активной части линии профилирования и требуемого числа осевых передвижек фрезы при эксплуатации. Если осевые передвижки фрезы не предполагаются, то наименьшая длина

$$L_{\text{р}} = \frac{2(r_{\text{в1}} \sin \alpha_{\text{в1}} - r_{\text{в1}} \sin \alpha_{\text{нв1}}) \cos \alpha_{\text{нв1}} \cos \psi}{\cos \beta_{\text{в1}}} + 2d_{\text{г0}}$$

Для обычных фрез $K_K = 1$, для прямозубых колес $L_p = h_{ct} \alpha_1 + 2P_{\lambda 0}$. Общая длина фрезы $L = L_p + 2l$.

Профилирование червячных фрез. Из-за невозможности изготовления фрез на основе эвольвентных червяков профилирование их производится по приближенным методам. При отсутствии повышенных требований к точности зубьев фрезы профилируют на основе конволютного червяка. При этом профиль зубьев фрезы принимается прямолинейным в сечении

$A-A$ (рисунок 5, а), нормальном к винтовой линии на начальном цилиндре фрезы, проходящей через точку C середины впадины. Этот метод имеет две разновидности: 1) при углах γ_{m0} подъема витков фрезы до 3° угол α_{n0} профиля зуба фрезы принимается равным углу α_{n1} профиля колеса,

т. е. $\alpha_{n0} = \alpha_{n1}$; 2) при $\gamma_{m0} > 3^\circ$ для уменьшения отклонений профиля зуба фрезы от теоретического угол

$$\alpha_{n0} = \alpha_{n1} + \Delta\alpha, \quad (14)$$

где $\Delta\alpha$ — поправка на угол профиля, принимаемая согласно следующим рекомендациям:

γ_{m0}°	$\Delta\alpha'$	γ_{m0}°	$\Delta\alpha'$
3.....	1	5,5.....	3,5
4.....	1,5	6.....	4
4,5.....	2	6,5.....	5
5.....	2,5	7.....	6

Фрезы повышенной точности профилируют на основе архимедовых червяков (с прямолинейным профилем в осевом сечении). В этом случае кривая BC теоретически требуемого эвольвентного червяка в осевом сечении (рисунок 5.5, б) заменяется прямой TT , касательной к кривой BC в некоторой точке P . Для повышения точности профилирования точку P следует выбирать посередине рабочего участка BC зуба фрезы, сопряженного с эвольвентным участком профиля зуба обрабатываемого колеса.

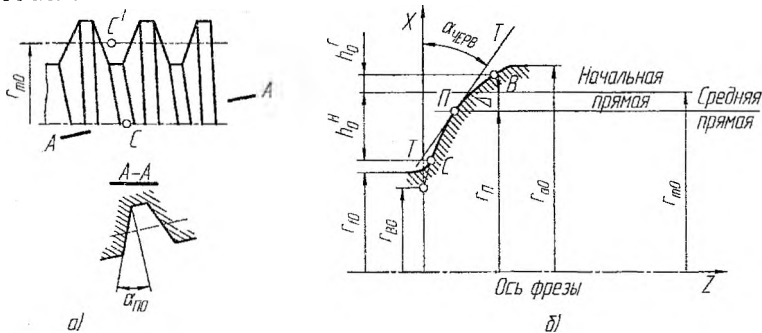


Рисунок 5.5 - Схема профилирования фрез: на основе конволютного (а) и архимедова (б) червяка

Угол α_{chrv} профиля архимедова червяка — угол наклона касательной TT к оси X

$$\operatorname{tg} \alpha_{chrv} = \operatorname{tg} \gamma_{w0} \sin \varphi, \quad (5.15)$$

где γ_{w0} — угол подъема винтовой линии на основном цилиндре эвольвентного червяка радиуса r_{w0} , определяемый как

$$\cos \gamma_{w0} = \cos \gamma_{m0} \cos \alpha_{n0}. \quad (5.16)$$

Угол давления эвольвенты в точке P

$$\cos \varphi = r_{B0} / r_P, \quad (5.17)$$

где r_P — радиус окружности, проходящей через точку P , а радиус

$$r_{B0} = m / (2 \cos \gamma_{m0} \operatorname{tg} \gamma_{B0}) \quad (5.18)$$

Для фрез с $\alpha_{H0} = \alpha_H$ ($K_K = 1$), предназначенных для нарезания нефланкированных колес, смещение точки P середины участка BC с начального цилиндра фрезы незначительно и поэтому $r_P = r_{m0}$. В этом случае угол φ равен профильному углу α_0 инструментальной рейки в сечении, перпендикулярном к оси фрезы, и формула (.....) приводится к виду:

$$\operatorname{ctg} \alpha_{\text{ФРЕЗ}} = \operatorname{ctg} \alpha_{H0} \cos \gamma_{m0} \quad (5.19)$$

Таким образом, формулу (5.19) надо применять при проектировании фрез с $K_K = 1$ с немодифицированным профилем, т. е. без фланков. В других случаях, когда смещение средней точки профилирующего участка зуба фрезы относительно ее начального цилиндра является значительным, при профилировании следует пользоваться формулой (5.15) с определением угла φ по формуле (5.17). При этом радиус

$$r_P = r_{m0} - \Delta = r_{m0} - \frac{h_0^H - h_0^F}{2}, \quad (5.20)$$

где h_0^F и h_0^H — высоты активных участков соответственно головки и ножки зуба фрезы, определяемые по формулам (5.4) и (5.2).

Высота эвольвентного участка ножки зуба колеса и высота эвольвентного участка головки зуба колеса $h_1^H = r_{w1} - r_{p1}$; $h_1^F = r_{H1} - r_{w1}$, где r_{p1} — радиус окружности, проходящей через точку начала эвольвентного профиля у ножки зуба колеса (например, через точку сопряжения галтели у ножки зуба с эвольвентным профилем); r_{H1} — радиус окружности, проходящей через начальную точку эвольвентного профиля у головки зуба колеса; при отсутствии среза или закругления у головки зуба колеса $r_{H1} = r_{a1}$.

Если $h_1^H < 0$, т. е. $r_{w1} < r_{p1}$ то h_0^F следует определять по формуле (2), принимая в последней $h_1^F = |h_1^H|$, а к величине h_0^F приписывать знак минус. Входящие в формулу (5.20) h_0^H и h_0^F надо принимать с учетом их знака.

Углы профиля зубьев червячных фрез в их осевом сечении делают разными для обеих сторон зубьев:

$$\operatorname{ctg} \alpha_{\text{ПРАВ}} = \operatorname{ctg} \alpha_{\text{ФРЕЗ}} \mp \frac{KZ_0}{P_Z}, \quad (5.21)$$

$$\operatorname{ctg} \alpha_{\text{ЛЕВ}} = \operatorname{ctg} \alpha_{\text{ФРЕЗ}} \pm \frac{KZ_0}{P_Z},$$

где верхние знаки перед вторым членом в этих формулах принимаются для фрез правозаходных, а нижние — для фрез левозаходных.

Чертеж фрезы оформляют в двух проекциях с изображением профиля зубьев в нормальном к виткам сечении и указанием характеристики фрезы: направления витков, числа заходов Z_{10} , числа стружечных канавок Z_0 , шага витков по оси P_{X0} , направления и шага стружечных канавок.

Таблица 5.3 - Шероховатость поверхностей фрез, мкм

Наименование поверхности	Класс точности							
	AA		A		B		C	D
	m, мм							
	От 1 до 10	Св. 10 до 25	От 1 до 10	Св. 10 до 25	От 1 до 10	Св. 10 до 25	От 1 до 10	Св. 10 до 25
Посадочное отверстие фрезы, R_a	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,8	0,8	1,6
Передняя поверхность фрезы, R_z	1,6	1,6	3,2	3,2	3,2	6,3	6,3	6,3
Задняя боковая поверхность зуба, R_z	1,6	3,2	1,6	3,2	3,2	6,3	6,3	6,3
Задняя поверхность по вершинам зуба, R_z	1,6	3,2	3,2	3,2	3,2	6,3	6,3	6,3
Цилиндрическая поверхность буртика, R_z	1,6	3,2	1,6	3,2	3,2	6,3	6,3	6,3
Торец буртика, R_a	0,4	0,8	0,4	0,8	0,8	1,6	1,6	1,6

Таблица 5.4 - Допуски червячных однозаходных фрез, мкм

m, мм	Класс точности				
	AA	A	B	C	D
Радиальное биение буртиков f_y					
Св. 2 до 3,5	5	5	8	12	25
» 3,5 » 6	5	6	10	16	32
» 6 » 10	5	8	12	20	40
» 10 » 16	6	10	16	20	40
Торцовое биение буртиков f_i					
» 2 » 3,5	3	4	5	10	16
» 3,5 » 6	4	5	6	12	20
» 6 » 10	5	6	8	16	25
Радиальное биение по вершинам зубьев f_{rdb}					
» 2 » 3,5	16	25	40	63	100
» 3,5 » 6	20	32	50	80	125
» 6 » 10	25	40	63	100	160
» 10 » 16	32	50	80	125	200
Профиль передней поверхности f_p					
» 2 » 3,5	16	25	40	80	125
» 3,5 » 6	20	32	50	100	160
» 6 » 10	25	40	63	125	200
» 10 » 16	32	50	80	160	250
Разность соседних окружных шагов f_{ko}					
» 2 » 3,5	16	25	40	80	125
» 3,5 » 6	20	32	50	100	160
» 6 » 10	35	40	63	125	200
» 10 » 16	32	50	80	160	250
Направление стружечных канавок f_x					
» 2 » 3,5	±63	±80	±100	±125	±160
» 3,5 » 6	±63	±80	±100	±125	±160
» 6 » 10	±63	±80	±100	±125	±160
» 10 » 16	±50	±70	±100	±125	±160
Толщина зуба T_{so}					
» 2 » 3,5	-20	-32	-40	-63	-100
» 3,5 » 6	-25	-40	-50	-80	-125
» 6 » 10	-32	-50	-63	-100	-160
» 10 » 16	-40	-63	-80	-125	-200
Профиль зуба f_{fo}					
» 2 » 3,5	6	10	16	25	50
» 3,5 » 6	8	12	20	32	63
» 6 » 10	10	16	25	40	80
» 10 » 16	12	20	32	50	100

Продолжение таблицы 5.4

m, мм	Класс точности				
	AA	A	B	C	D
Осевой шаг фрезы f_{m0}					
» 2 » 3,5	—	—	±10	±14	±25
» 3,5 » 6	—	—	±12	±18	±32
» 6 » 10	—	—	±14	±22	±40
» 10 » 16	—	—	±16	±25	±50
Накопленное отклонение шага на длине любых трех шагов f_{m3z}					
» 2 » 3,5	—	—	±16	±22	±40
» 3,5 » 6	—	—	±20	±25	±50
» 6 » 10	—	—	±25	±32	±63
» 10 » 16	—	—	±25	±40	±80
Винтовая линия фрезы от зуба к зубу f_{h1z}					
Св. 2 до 3,5	5	8	12	20	—
» 3,5 » 6	6	10	16	25	—
» 6 » 10	8	12	20	32	—
» 10 » 16	10	16	25	40	—
Винтовая линия фрезы на одном обороте f_{h0}					
» 2 » 3,5	8	12	18	32	—
» 3,5 » 6	10	14	22	40	—
» 6 » 10	12	20	32	50	—
» 10 » 16	16	25	40	63	—
Винтовая линия фрезы на трех оборотах f_{h3z}					
» 2 » 3,5	10	16	28	50	—
» 3,5 » 6	14	20	32	63	—
» 6 » 10	16	32	50	80	—
» 10 » 16	25	40	63	100	—

Цельные фрезы и рейки к сборным фрезам изготавливают из быстрорежущей стали по ГОСТ 19265—73 с твердостью рабочей части HRC_{Σ} 63 ... 66. Твердость рабочей части фрез, изготовленных из быстрорежущей стали, должна быть HRC_{Σ} 64 ... 68. Шероховатость поверхностей фрез должна быть не более приведенной в таблице 5.3.

Допуски на изготовление червячных фрез следует назначать по ГОСТ 9324—80. Для фрез $m=(2+16)$ они приведены в таблице 5.4. Отверстия изготавливаются с точностью H5 для фрез классов точности AA и A, H6 — для классов B и C и H7 — для класса D. На торце фрезы наносят маркировку, в которой указывают товарный знак завода-изготовителя, обозначение фрезы, модуль, угол профиля, класс точности, угол подъема витков, шаг стружечной канавки, букву Л (для левозаходных фрез), марку стали, год выпуска.

В целях экономии инструментального материала, возможности применения твердого сплава, улучшения технологичности фрезы с $m > 6$ мм делают сборных конструкций. В ГОСТ 9324—80 не регламентируются конструкции сборных фрез и приводятся лишь основные их размеры. Сборные фрезы делают со вставными гребенками или со вставными зубьями, закрепленными механически, приклеиванием и др. Для размещения деталей крепления в корпусе фрезы число зубьев приходится уменьшать, а диаметр фрезы увеличивать. Пазы под ножи в корпусе выполняют прямолинейными и наклонно к оси фрезы. Задние поверхности чаще всего получают резбощлифованием, круглым и плоским шлифованием. Передняя поверхность зубьев фрез затачивается в собранном виде.

Приложения

Пример расчета червячной модульной фрезы

Исходные данные:

Наружный диаметр вала, $D_1=152\text{мм}$;

Модуль $m=4\text{мм}$;

Число зубьев $z_1=36$;

Делительный диаметр $d_1=144\text{мм}$;

Угол профиля исходного контура $\alpha=20^\circ$;

Степень точности 9-B

Исходя из вышеперечисленных параметров шестерни, основные размеры червячной фрезы принимаем по ГОСТ 10331-81, ГОСТ 15127-83, ГОСТ 6637-80, ГОСТ 9324-80 или справочной литературе :

Наружный диаметр фрезы $d_{a0}=125\text{мм}$;

Диаметр посадочного отверстия $d=50\text{мм}$;

Общая длина фрезы $L=125\text{мм}$;

Средний расчётный диаметр $d_{m0}=113,24\text{мм}$;

Диаметр буртика фрезы $d_b=80\text{мм}$;

Число зубьев фрезы $z_0=14$;

Величина затылования $K=6\text{мм}$;

Шаг стружечной канавки $P_x=10058\text{мм}$;

Угол подъёма витков фрезы $\gamma_{m0}=2^\circ 01'$.

Размеры профиля зубьев червячной фрезы определим по справочной литературе:

Толщина зуба фрезы в нормальном сечении $S_{n0}=6,45\text{мм}$;

Высота зуба фрезы $h_0=10\text{мм}$;

Высота головки зуба фрезы $h_{a0}=5\text{мм}$;

Шаг зуба в нормальном сечении $P_{n0}=12,566\text{мм}$;

Шаг зуба в осевом сечении $P_{x0}=12,574\text{мм}$;

Определим недостающие параметры фрезы.

λ_{m0} – угол наклона канавок $\lambda_{m0}=\gamma_{m0}=2,01^\circ$

Размеры канавки для выхода шлифовального круга при затыловании канавки:

радиусы закруглений головки и ножки зуба фрезы:

$r_{a0}=0,25m=0,25\cdot 4=1\text{мм}$;

$r_{a01}=0,3m=0,3\cdot 4=1,2\text{мм}$;

ширина $l = P_{n0} - S_{n0} = 7,854 - 3,927 = 3,927 \text{ мм}$

Геометрия фрезы: передний угол: $\gamma=0^\circ$.

Задний угол на вершине зуба $\alpha_b = 8 \dots 12 = 10^\circ$.

На боковых сторонах профиля задний угол α_s равен:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha_s &= \operatorname{tg} \alpha_b \cdot \sin \alpha = \operatorname{tg} 10^\circ \cdot \sin 20^\circ = 0,0603 \Rightarrow \angle \alpha_s = 3,45^\circ \\ \alpha_s &= 3,45^\circ \geq 3^\circ - \text{условие выполняется.} \end{aligned}$$

Расчёт конструктивных и габаритных размеров фрезы

Число заходов – однозаходная.

Направление передней поверхности зубьев левое.

Направление витков – правое.

Величина затылования

$$K_1=(1,2\dots 1,5)\cdot K=(1,2\dots 1,5)\cdot 6=7,2\dots 9\text{мм.}, \text{принимаем } K_1=8\text{ мм}$$

Размеры канавки для выхода стружки.

$$r_2=1,25\dots 2,5=2,5\text{ мм}$$

$$H = h_0 + \frac{k + k_1}{2} + 1 = 10 + \frac{6+8}{2} + 1 \approx 18\text{ мм}$$

$$\theta=22^\circ$$

Длина шлифованной части задней поверхности зубьев фрезы:

$$l_{ш} \geq \left(\frac{1}{3}\dots\frac{1}{2}\right) \cdot \frac{\pi \cdot d_{зад}}{Z_0} = \left(\frac{1}{3}\dots\frac{1}{2}\right) \cdot \frac{\pi \cdot 125}{14} = 9,35\dots 14$$

принимаем $l_{ш} = 10\text{ мм}$

Длина шлифованной части диаметра посадочного отверстия фрезы принимается 1/3...1/4 от общей длины фрезы.

Размеры шпоночного паза принимаем согласно ГОСТ 9472-83.

Пример расчета круглой протяжки для протягивания отверстия в размер $30^{+0,045}$

Расчёт конструктивных элементов протяжки.

Исходные данные:

Диаметр отверстия под протягивание: $d=28,86\text{ мм}$.

Диаметр отверстия, получаемого после протягивания: $D=30\text{ мм}$.

Припуск максимальный – 1,14 мм.

Предельное отклонение диаметра D по чертежу детали:

$$\Delta=+0,045\text{мм (8 квалитет)}.$$

Длина протягиваемого отверстия: $l_g=105\text{ мм}$.

Материал заготовки: сталь 45; $\sigma_{в}=610\text{ МПа}$; $\text{HB}=197\text{-}241$.

Хвостовик и шейка

Диаметр хвостовика:

$$D_1=d-0,5=28,86-0,5=28,36\text{ мм},$$

где d - минимальный диаметр отверстия под протягивание, мм

Расчётную величину D_1 округляют до ближайшей меньшей величины, соответствующей ГОСТ 4044-70. Остальные размеры хвостовика и размеры шейки принимают по ГОСТ 4044-70.

$D_1=28\text{e}8\text{ мм}$; $D'_1=22$; $D_2=27,5\text{ мм}$; $l_0=160\text{ мм}$; $l_x=140\text{ мм}$; $l_1=16\text{ мм}$; $l_2=25\text{ мм}$; $R_1=0,3\text{ мм}$; $R_2=1\text{ мм}$; $c=1\text{ мм}$; $\alpha=30^\circ$.

Так как у нас диаметр отверстия под протягивание d в интервале $30\dots 70$, то длину конуса принимаем: $l_{пер.кон.}=20\text{ мм}$

Диаметры конуса: меньший равен диаметру шейки, больший – передней направляющей части.

Площадь сечения хвостовика:

$$F_x = \frac{\pi \cdot (D_1)^2}{4},$$

где D_1 - диаметр вала хвостовика, мм

$$F_x = \frac{\pi \cdot (22)^2}{4} = 378\text{ мм}^2.$$

Передняя направляющая часть.

Диаметр передней направляющей $D_{п.н.} = d = 28,86$ мм

Предельное отклонение $D_{п.н.}$ по е8

Длина передней направляющей $L_{п.н.}$ равна расстоянию от конца переходного конуса до первого зуба режущей части, т.е. включая длину стружечной канавки.

$$L_{п.н.} = 0,75lg = 78,75 = 80 \text{ мм} \quad \text{т.к.} \quad \frac{lg}{D} = \frac{105}{30} = 3,5 > 1,5$$

Режущая часть

Форма и размеры зубьев

Режущие кромки зубьев имеют форму окружностей, диаметр которых D_i постоянно увеличивается от первого зуба к последнему. Величины углов в нормальном сечении по главной режущей кромке для стали 45

$$\gamma = 15^\circ \quad \alpha = 3^\circ$$

Предельные отклонения углов по ГОСТ 16492-70

$$\Delta\gamma = +2^\circ - 1^\circ \quad \Delta\alpha = +30^\circ$$

Размеры режущих зубьев и расположенных между ними стружечных канавок могут быть определены по таблице 8.6[5]

$$\text{при } t = (1,25 \dots 1,5) \cdot \sqrt{lg} = (1,25 \dots 1,5) \cdot \sqrt{105} = (12,8 \dots 15,4) \text{ мм}$$

Принимаем $t = 14$ мм.

$$\text{Принимаем } h = 5 \text{ мм, } c = 4 \text{ мм, } R = 2,5 \text{ мм, } R_1 = 10 \text{ мм, } F_k = 19,63 \text{ мм}^2.$$

$$\text{Количество зубьев в работе } Z_k = \frac{lg}{t} + 1 = \frac{105}{14} + 1 = 8,5$$

Принимаем $Z_k = 8$.

K_c - коэффициент заполнения стружечной канавки, $K_c = 4$ - по таблице 8.8[5] при одинарной схеме.

Диаметр первого зуба протяжки:

$$D_{z1} = D_{п.н.} = 28,86 \text{ мм}$$

Диаметр последнего зуба режущей части протяжки

$$D_{z8} = D_k,$$

где D_k - диаметр калибрующих зубьев протяжки, мм.

$$D_k = (D + \Delta) - p = 30,045 - 0,005 = 30,04 \text{ мм,}$$

где $p = 0,005$ мм - величина разбивания отверстия.

Диаметр промежуточных зубьев режущей части протяжки между первым и последним получают последовательным прибавлением к диаметру первого зуба удвоенного значения толщины срезаемого слоя одним зубом.

Предельные отклонения диаметров режущих и калибрующих зубьев по ГОСТ 16492-70 не должны превышать следующих величин: $1/3$ от допуска отверстия, но не более $0,4S_z$. Где S_z - принятая подача на зуб.

S_{zk} - допустимая по заполнению стружечной канавки подача на зуб:

$$S_{zk} = F_k / kL$$

$$S_{zk} = 19,63 / 4 * 105 = 0,0467 \text{ мм на зуб.}$$

Наибольшее усилие, допустимое хвостовиком,

$$P_x = F_x [\sigma]_x,$$

где $[\sigma]_x$ - допустимое напряжение при деформации растяжения.

Сталь 40Х ГОСТ 4543-71, по таблице 8.9[5] $[\sigma]_x = 250$ МПа для сварной протяжки, твёрдость - HRC₃ 43...51.

Получаем: $P_x = 250 * 378 = 94500$ Н.

Наибольшее усилие, допустимое по впадине первого зуба

$$P_1 = F_1 [\sigma]_1 = 3,14 * (D - 2h)^2 * \sigma_1 / 4$$

$$P_1 = 3,14 * (28,86 - 2 * 5)^2 * 400 / 4 = 111689 \text{ Н,}$$

где $\sigma_1 = 400$ МПа - допустимое при деформации напряжение в материале режущей части протяжки по табл. 8.9 для стали Р6М5, при твёрдости HRC₃ 63...66.

Расчетная сила резания принимается равной наименьшему из значений $P = (P_1, P_x, P_o * 0,9)$, где P_o - номинальная тяговая сила протяжного станка.

Выбираем станок: вертикально - протяжной (точность выше чем прогиба протяжки, габариты меньше, чем у горизонтального) станок, модели 7710 с максимальной длиной рабочего хода каретки 1350 мм и номинальной тяговой силой $Q=102$ кН.

Получаем:

$$P_o * 0,9 = 102 * 0,9 = 91800 \text{ Н, который и является наименьшей.}$$

Определим S_{zp} - допустимую подачу на зуб по расчетной силе резания:

$$S_{zp} = \left(\frac{P}{C_r \cdot D_{z1}^{1,2}} \right)^{1,2}$$

где $C_r = 2170 \text{ Н/мм}$ (для стали 45), тогда:

$$S_{zp} = (91800 / (2170 * 3,14 * 10,0(5 * 8))^{1,2})^{1,2} = 0,027 \text{ мм на зуб,}$$

для удобства изготовления окончательно $S_{zp} = 0,025$ мм на зуб.

$S_{zp} \geq S_{zk}$ - принимают одинарную схему, наоборот - групповую.

Групповая имеет достоинства: лучшее стружкоотвращение, короче протяжка, но дороже в изготовлении.

В данном случае схема одинарная, и длина протяжки незначительная.

Количество режущих зубьев $Z_{п}$ 25 (последний $D_{z1} = 10,04$ мм).

Стружкоделительные канавки на режущих зубьях протяжки.

Канавки делают на зубьях, имеющих длину режущей кромки (5...10) мм, и размещают их в шахматном порядке.

Количество канавок:

$$n_{кз} = \frac{n * D}{l_k}$$

где l_k - расстояние между канавками.

$$n_{кз} = (3,14 * 30) / (5 \dots 10) = 10 \dots 19, \text{ принимаем } 12 \text{ канавок на зубе.}$$

Калибрующая часть протяжки

Состоит из 6 зубьев одинакового диаметра, равного диаметру последнего режущего зуба, что рекомендуется для изготовления отверстия по 8 качеству. Стружечные канавки имеют такую же форму и размеры, как и на режущей части протяжки. Шаг калибрующих зубьев принимают равным шагу режущих зубьев.

Вершину калибрующих зубьев снабжают фаской 0,2 мм, которая предназначена для сохранения диаметральных размеров протяжки при переточках.

Передний угол γ_k принимают равным γ , так как при эксплуатации протяжки в результате переточек затупившихся зубьев происходит постепенный переход калибрующих зубьев в режущие.

Задний угол имеет небольшую величину $\epsilon_k = 1^{\circ} 30' 15''$ по сравнению с режущими зубьями. Это вызвано необходимостью обеспечить медленное уменьшение диаметральных размеров зубьев при переточках.

Задняя направляющая часть.

Заднюю направляющую часть протяжки выполняем цилиндрической. Диаметр задней направляющей части:

$$D_{з.н.} = d = 30 \text{ мм}$$

Предельное отклонение: $D_{з.н.}$ по 17.

Длину задней направляющей части принимаем:

$$L_{з.н.} = 80 \text{ мм}$$

$$\text{Длина протяжки: } L = 31 * 14 + 180 + 2 * 80 + 140 = 914 \text{ мм по IT 17}$$

Допустимая длина протяжки: $L = 40$ диаметров $40 * 30 = 1200$ мм, что больше расчетной, следовательно, условие выполняется.

Учебное издание

Составители:

Левданский Алексей Маратович
Кудрицкий Ярослав Владимирович

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

для выполнения курсового проекта по дисциплине
«Режущий инструмент» для студентов специальности
1-36 01 01 «Технология машиностроения»
по теме: **«Проектирование специального инструмента»**

Ответственный за выпуск: Левданский А.М.

Редактор: Строкач Т.В.

Компьютерная верстка: Боровикова И.А.

Корректор: Никитчик Е.В.

Подписано к печати 17.02.2012 г. Формат 60x84 1/16. Тираж 30 экз.
Гарнитура Таймс. Усл. п. л. 4,4. Уч. изд. л. 4,75. Тираж 30 экз.
Заказ № 249. Отпечатано на ризографе учреждения образования
«Брестский государственный технический университет»
224017, г.Брест, ул. Московский, 26/7