

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Н.Э.БАУМАНА**

**КАФЕДРА МТ-2  
«ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ»**

**Н.П. Малевский, Б.Д. Даниленко**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ  
ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ РАЗВЕРТОК**

**Учебное пособие по курсу ОПРИ**

**1999 г.**

## Оглавление

1. Область применения разверток.
2. Классификация разверток.
3. Части разверток и их размеры.
4. Элементы зуба развертки.
5. Геометрические параметры зуба развертки.
6. Профиль канавок и окружной шаг зубьев.
7. Образование стружечной канавки развертки с прямолинейной спинкой зуба
  - 7.1. Определение угла канавки  $\epsilon$  при неравномерном угловом шаге.
  - 7.2. Расчет высоты зубьев при неравномерном угловом шаге.
8. Образование стружечной канавки развертки с криволинейной спинкой зуба
  - 8.1. Расчет параметров стружечной канавки.
9. Развертки сборной конструкции.
10. Краткие рекомендации по выбору разверток.
11. Выбор режима резания и расчет потребности в развертках.
12. Какие задачи можно решить с помощью нашего учебного пособия.
13. Литература.
14. Приложения.
  1. Примеры оформления рабочих чертежей некоторых видов разверток.
  2. Размеры общих стандартных элементов режущих инструментов.
    - 2.1. Конические хвостовики (табл. 22)
    - 2.2. Конические базовые отверстия (табл. 23)
    - 2.3. Центровые отверстия (табл. 24)
    - 2.4. Рифления и углы уклонов ножей и пазов (табл. 25)
    - 2.5. Квадраты хвостовиков ручных инструментов (табл. 26)
  3. Примеры расчета высоты зубьев для разверток с неравномерным шагом.
    - 3.1. Зуб с прямолинейной спинкой
    - 3.2. Зуб с криволинейной спинкой
  4. Государственные стандарты (ГОСТ) цилиндрических разверток.

## 1. Область применения разверток

В классификации режущих инструментов [1] сверла, зенкера, зенковки и развертки образуют группу осевых инструментов, которые характеризуются вращательным главным движением резания  $D_r$ , при постоянном радиусе его траектории и движением подачи  $D_s$ , направленным только вдоль оси главного движения. Развертка – основной инструмент для повышения точности формы и размеров отверстия, и снижения шероховатости обрабатываемой поверхности. В таблице 1 приведена последовательность обработки отверстий осевыми инструментами, в таблице 2 – диаметры инструментов для обработки отверстий с полем допусков 7, 8, и 9 квалитетов [2], а в таблице 3 – припуск под развертывание. Если в технологическом процессе обработки отверстия предусмотрена операция зенкования, то эту операцию следует применить перед развертыванием. Параметры шероховатости поверхности отверстий, обработанных чистовыми развертками, должны иметь не более  $R_a=0,8$  мкм для отверстий 7 и 8 квалитетов и  $R_a=1,6$  для отверстий 9, 10, и 11 квалитетов. Твердосплавные развертки при условии их тщательной доводки, повышенной жесткости технологической системы, использовании специальных патронов для закрепления и центрирования, и применения оптимальных СОЖ могут обеспечивать точность отверстия до 6 квалитета и шероховатости обработанной поверхности не более  $R_a=0,4$  мкм.

## 2. Классификация разверток

Классификационные признаки разверток представлены в таблице 4. В соответствии с предлагаемой нами классификацией основным таксоном (уровнем) является вид инструмента.

Вид характеризуется не более чем 10 признаками, которые являются общими, независимыми от принадлежности объекта классификации к высшим уровням (класс, подкласс, группа, подгруппа). Например, резец токарный державочный со сменной многогранной пластиной, спиральное сверло, червячная шлицевая фреза – все эти виды инструментов имеют не более 10 видовых признаков. В случае если какой-либо признак неадекватен характеристике вида, его код обнуляется. Отметим, что признак 10 является резервным. При десятичной системе кодирования признаки вида не исчерпывают все особенности инструмента. Поэтому мы ввели дополнительный уровень классификации – подвид, который также имеет не более 10 признаков. При этом первые 5 являются общими для всех инструментов - объектов классификации. Более подробно предложенная система представлена в [1].

В качестве примера рассмотрим признаки вида цилиндрической развертки:

1. Форма тела – цилиндр круговой прямой - 1.3
2. Вид главного движения  $D_r$  – вращение правое - 2.1
3. Направление движения подачи  $D_s$  – осевое - 3.1

Типовые методы обработки отверстий 7-11 квалитетов.

Таблица 1

Квалитет точности	Производительность операции	
	При образовании отверстия в сплошном материале	При наличии исходного отверстия, полученного литьем, ковкой или штамповкой.
10, 11	1. Сверление 2. Зенкерование	1. Зенкерование
8,9	1. Сверление 2. Зенкерование 3. Развертывание однократное	1. Зенкерование 2. Развертывание однократное
	1. Сверление 2. Зенкерование 3. Шлифование	
7	1. Сверление 2. Зенкерование 3. Развертывание черновое 4. Развертывание чистовое	1. Зенкерование 2. Развертывание черновое 3. Развертывание чистовое
	1. Сверление 2. Зенкерование 3. Шлифование	

Примечание: зенкерование может быть заменено операцией растачивания.

Диаметры инструментов для обработки отверстий 7, 8 и 9 квалитетов.

Таблица 2

Диаметр обрабатываемого отверстия, мм.	Диаметры инструментов, мм.					
	первого сверла	второго сверла	зенкера	Развертки для отверстий 8 и 9 квалитетов	разверток для отверстия 7 квалитета	
					черновой	чистовой
3	2,9	-	-	3,0	-	-
4	3,9	-	-	4,0	-	-
5	4,8	-	-	5,0	-	-
6	5,8	-	-	6,0	-	-
8	7,8	-	-	8,0	7,96	8,0
10	9,8	-	-	10,0	9,96	10,0
12	11,0	-	11,85	12,0	11,95	12,0
13	12,0	-	12,85	13,0	12,95	13,0
14	13,0	-	13,85	14,0	13,95	14,0
15	14,0	-	14,85	15,0	14,95	15,0
16	15,0	-	15,85	16,0	15,95	16,0
18	17,0	-	17,85	18,0	17,94	18,0
20	18,0	-	19,80	20,0	19,94	20,0
22	20,0	-	21,80	22,0	21,94	22,0
24	22,0	-	23,80	24,0	23,94	24,0
25	23,0	-	24,80	25,0	24,94	25,0
26	24,0	-	25,80	26,0	25,94	26,0
28	26,0	-	27,80	28,0	27,94	28,0
30	15,0	28,0	29,80	30,0	29,93	30,0
32	15,0	30,0	31,75	32,0	31,93	32,0
35	20,0	33,0	34,75	35,0	34,93	35,0
38	20,0	36,0	37,75	38,0	37,93	38,0
40	25,0	38,0	39,75	40,0	39,93	40,0
42	25,0	40,0	41,75	42,0	41,93	42,0
45	25,0	43,0	44,75	45,0	44,93	45,0
48	25,0	46,0	47,75	48,0	47,93	48,0
50	25,0	48,0	49,75	50,0	49,93	50,0

## Припуск под развертывание

Номинальный диаметр развертки, мм.	Припуск под развертывание на диаметр, мм.	
	отверстий 7 и 8 квалитетов	отверстий 9, 10 и 11 квалитетов
до 3	0,05-0,07	0,08
3-10	0,06-0,08	0,10
10-20	0,07-0,08	0,15
20-30	0,07-0,10	0,20
30-50	0,08-0,12	0,25
50-80	0,10-0,15	0,30
80-100	0,10-0,15	0,30

4. База эксплуатационная – хвостовик конический с лапкой - 4.7.1
5. Особенности конструкции – составная неразъемная соединенная сваркой - 5.2.1
6. Вид зубьев – прямой - 6.1
7. Способ образования заднего угла  $\alpha$  – затачивание по задней грани - 7.1
8. Материал рабочей части - сталь быстрорежущая - 8.1
9. Поле допуска развертываемого отверстия (H7) - 9.1
10. Резервная группа признаков

Признаки подвида: развертка машинная, цилиндрическая, чистовая с коническим хвостовиком.

- 0.1 Операция резания – развертывание сквозного отверстия  $\varnothing H7$  - 0.0.1
- 0.2 Характер операции – развертывание чистовое - 0.2.1
- 0.3 Применение развертки – машинное - 0.3.1
- 0.4 Расположение зубьев на теле инструмента – одностороннее 0.4.1
- 0.5 Конструкция неразъемного соединения – опускается
- 0.6 Длина рабочей части – нормальная 0.6.1
- 0.7 Форма затачивания режущей части – угол  $\varphi = 15^\circ$  - 0.7.2
- 0.8 Форма спинки зуба – дуга окружности - 0.8.2
- 0.9 Шаг зубьев – неравномерный - 0.9.2
- 0.10 Развертка стандартная – ГОСТ 11172-70

В металлообработке применяют большое количество различных типов разверток, основные размеры которых регламентированы ГОСТом (таблица 5, рис. 1-4). Помимо приведенных в таблице 5 стандартных разверток, изготавливаемых в централизованном порядке, по заказу потребителя допускается изготовление разверток:

- с цилиндрическим хвостовиком диаметром  $d$  от 2.00 до 16.00 мм
- разверток с коническим хвостовиком диаметром  $d$  от 5.50 до 50.00 мм

разверток насадных с диаметром от 25.00 до 50.00 мм с интервалом размеров диаметра 0.01 мм.

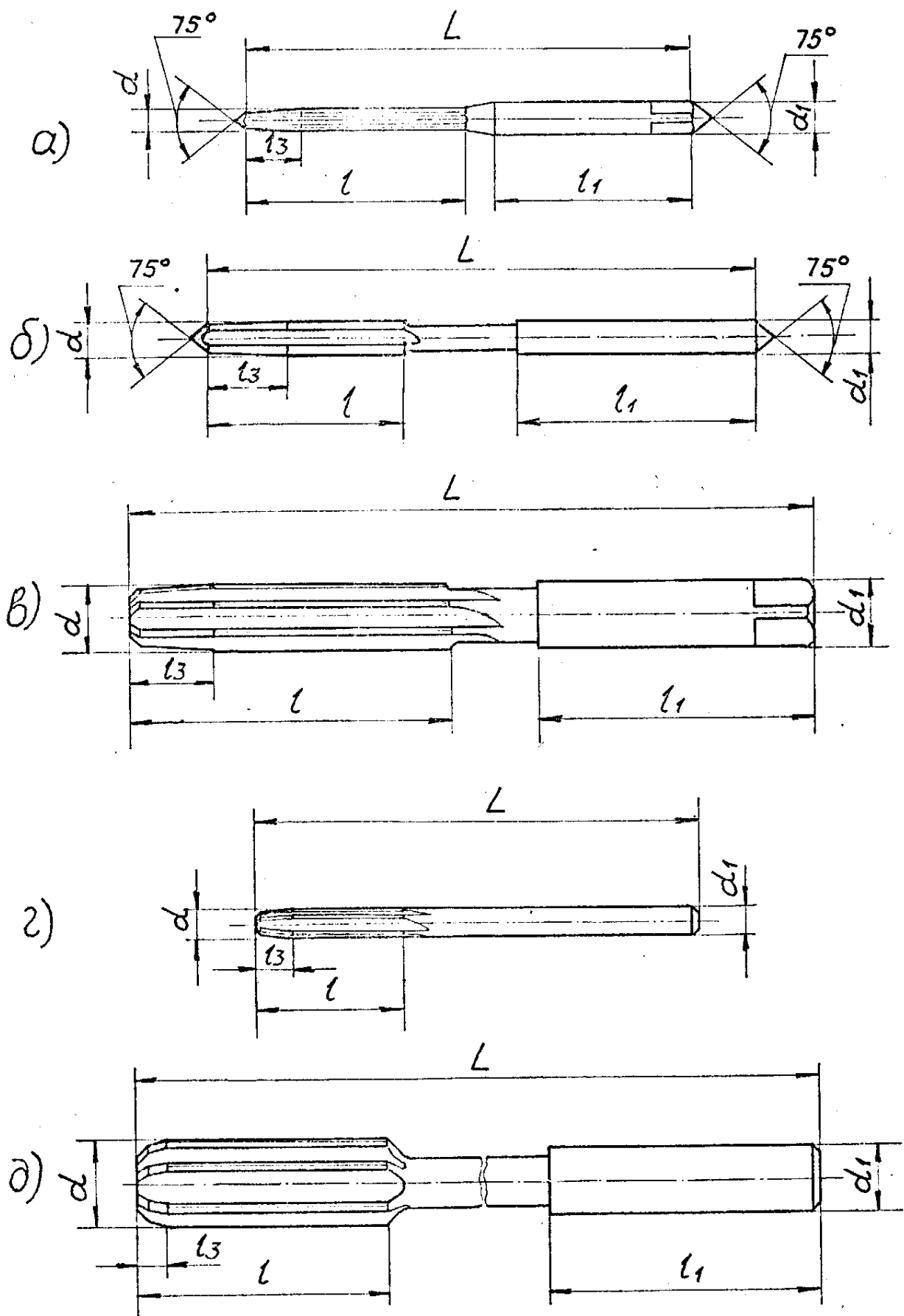


Рис.1.

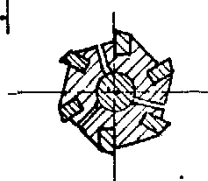
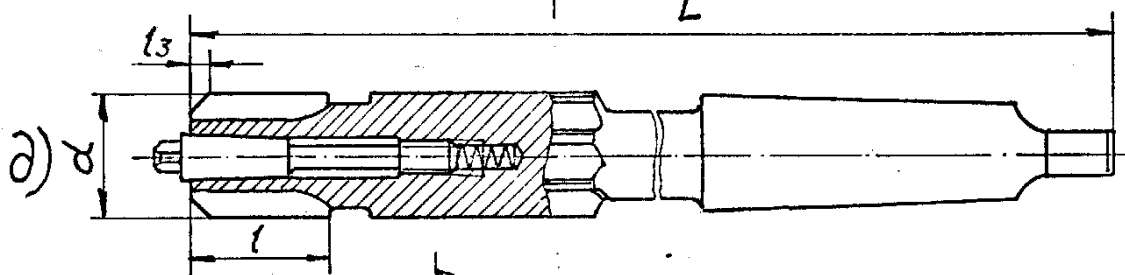
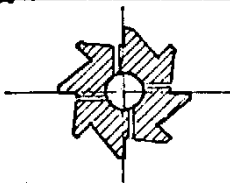
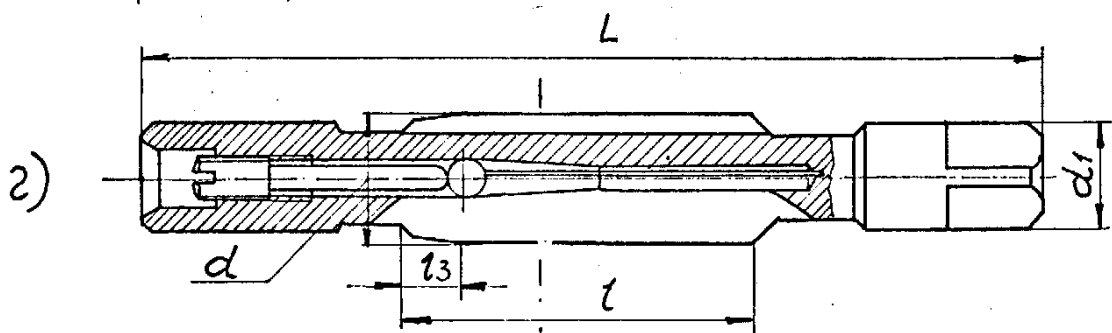
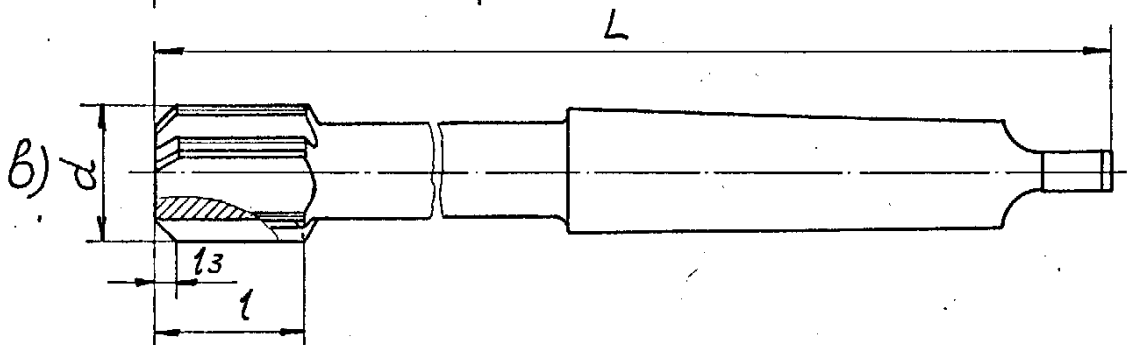
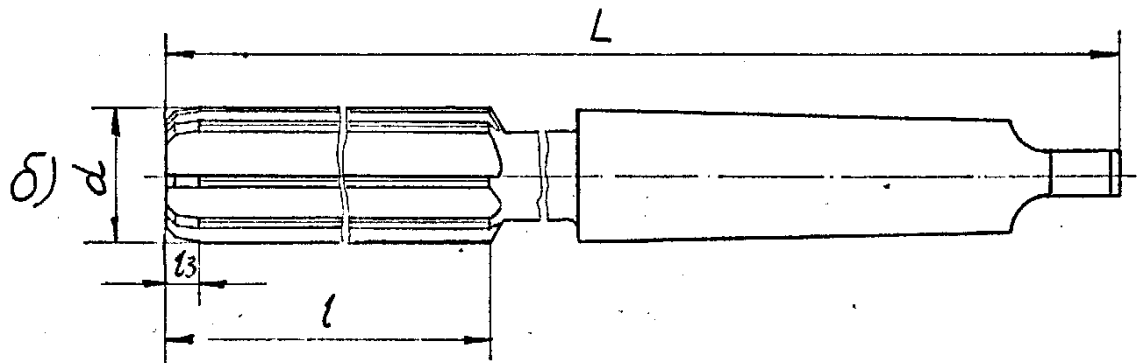
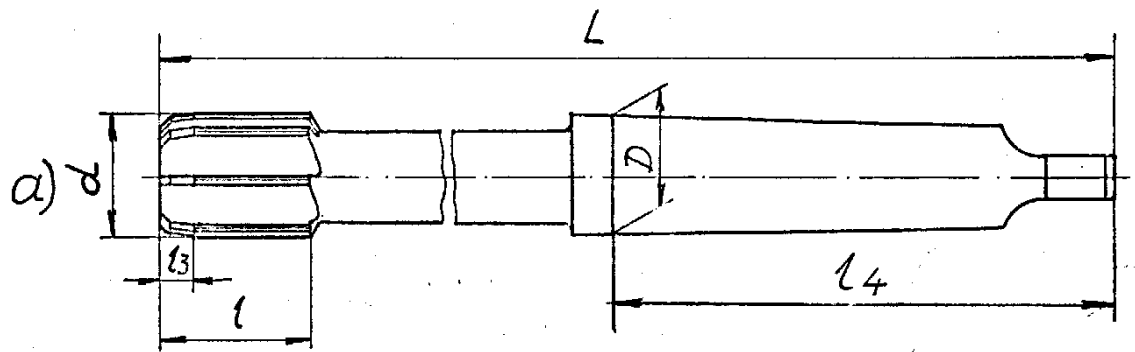
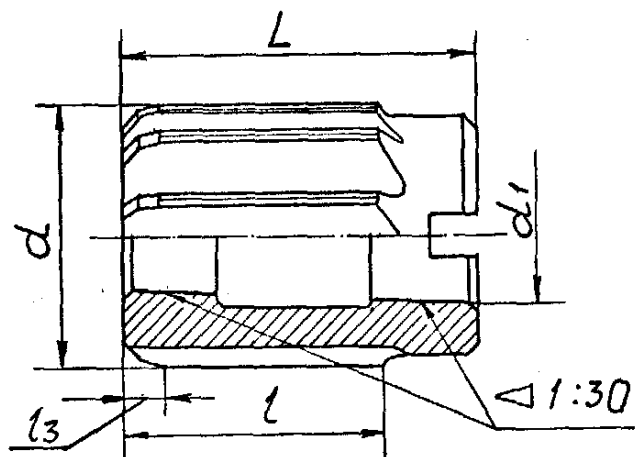
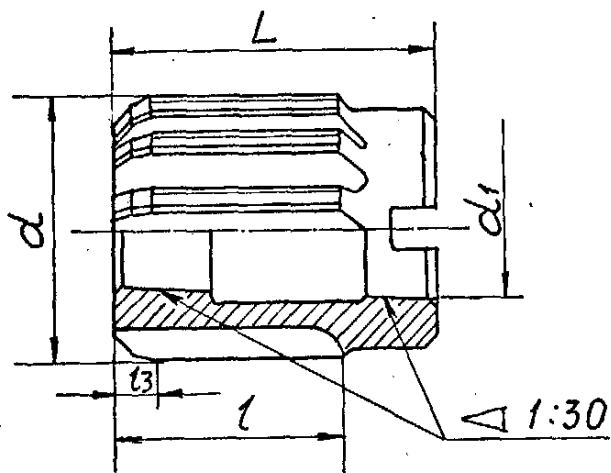


Рис. 2

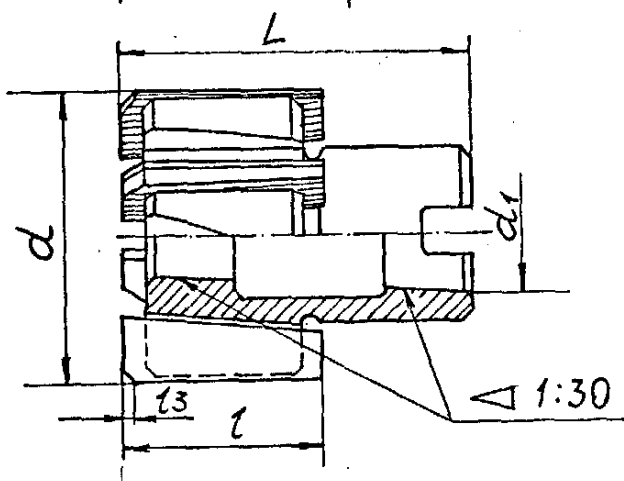
a)



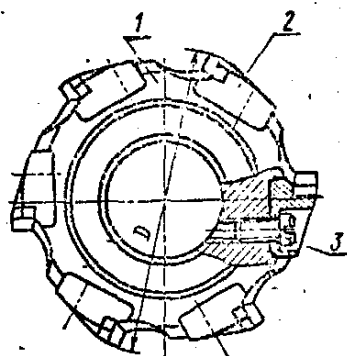
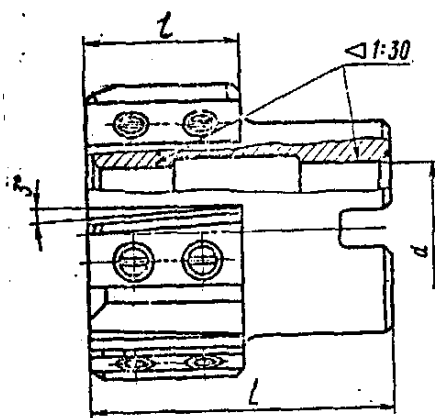
б)



в)



г)





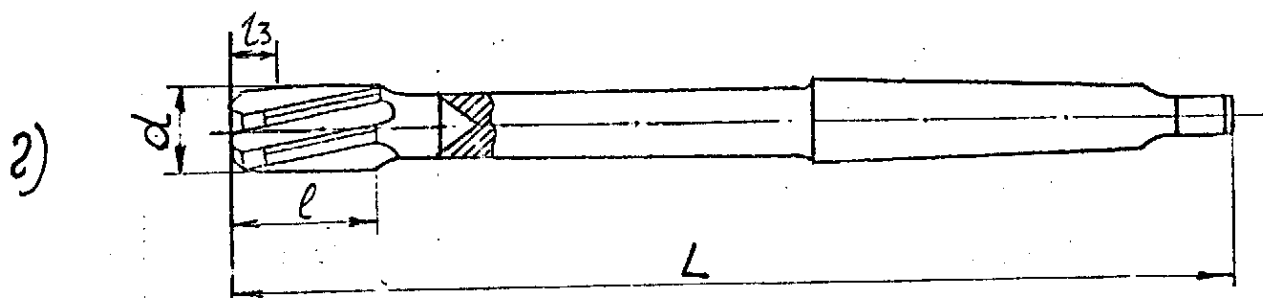
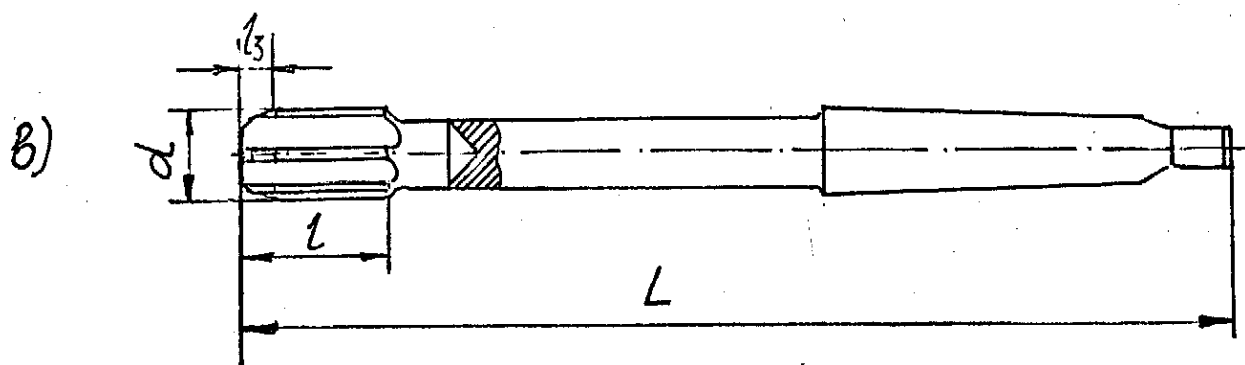
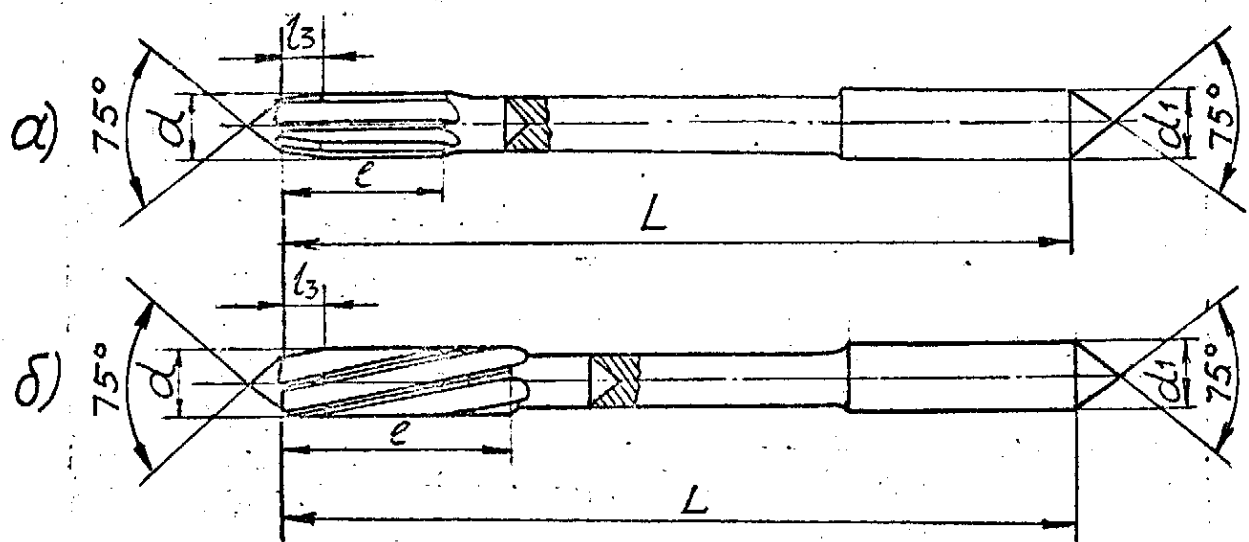


Рис. 4.

Таблица 4

Группа		Осевые инструменты	
Подгруппа		Развертки	
Вид		Развертки цилиндрические	
Группа признаков вида	Код группы вида	Признак	Код признака
Форма тела рабочей части	1	Цилиндр прямой круговой	1.3
		Конус прямой круговой	1.5
Направление главного движения	2	Правое	2.1
		Левое	2.2
Направление движения подачи	3	Осевое, совпадающее с осью главного движения	3.1
Базы эксплуатационные	4	Хвостовик цилиндрический	4.6.1
		Хвостовик конический	4.7.1
Особенности конструкции	5	Цельная	5.1
		Составная, соединение сваркой	5.2.1
		Составная, соединение пайкой	5.2.2
		Составная, соединение склеиванием	5.2.3
		Сборная – разъемное соединение ножей с корпусом*	5.3.1
Вид зуба	6	Прямые	6.1
		Винтовые правые	6.5
		Винтовые левые	6.6
Способ образования задних углов	7	Затачивание	7.1
Материал рабочей части	8	Сталь быстрорежущая	8.1
		Сплав твердый спеченный	8.2
		Сталь легированная	8.5
Поле допуска отверстия	9	Развертки чистовые: H6, Js6, K6, G6, G7, H7, Js7, K7, M7, N7, P7, E8, F8, H8, D9, E9, H9, H10, H11	9.1
		Развертки с припуском под доводку: №1: K6, K7, N7, M7; №2: H6, G6, Js6, Js7; №3: G6, H8, H9; №4: G5; №5: H8, F8, F5; №6: H10, D9.	9.2
		Развертки черновые U8	9.3

H7

	Подвид	Развертка машинная цилиндрическая с коническим хвостовиком из быстрорежущей стали для отверстия d <sub>0</sub> H7	
Группа признаков подвида	Код группы подвида	Признак	Код признака
Операция	0.1	Развертывание сквозного отверстия	0.1.1
		Развертывание глухого отверстия	0.1.2
Характер операции	0.2	Развертывание черновое	0.2.1
		Развертывание чистовое	0.2.2
Применение инструмента	0.3	Машинное	0.3.1
		Ручное	0.3.2
Расположение зубьев на теле инструмента	0.4	Одностороннее	0.4.1
		Двустороннее	0.4.2
Длина рабочей части	0.6	Нормальная	0.6.1
		Удлиненная	0.6.2
Форма заточки режущей части	0.7	Угол в плане $\varphi = 1^{\circ}$	0.7.1
		Угол в плане $\varphi = 5^{\circ}$	0.7.2
		Угол в плане $\varphi = 15^{\circ}$	0.7.3
		Угол в плане $\varphi = 45^{\circ}$	0.7.4
		Кольцевая заточка	0.7.5
Форма спинки зуба в нормальном сечении	0.8	Прямая	0.8.1
		Дуга окружности	0.8.2
Окружной шаг зубьев	0.9	Равномерный	0.9.1
		Неравномерный	0.9.2
Развертка стандартная	0.10	Да	ГОСТ 11172-70
		Нет	

\* – классификатор способов крепления ножей

\*\* – В централизованном порядке изготавливают развертки с полями допусков K7, H7, H8, H9, развертки с иными полями допусков изготавливают по требованию потребителя.

### 3. Части развертки и их размеры

На рисунке 5 показаны части основных видов разверток. У хвостовых разверток различают: 1 – рабочая часть, 2 – шейка, 3 – хвостовик. У ручных разверток диаметром  $d=1.0-5.5$  мм и у машинных разверток диаметром  $d=2.0-3.5$  мм цилиндрический хвостовик имеет внешний (наружный) центр с углом конуса  $75^\circ$ , как это показано на рисунке 1, а, б.

Машинные развертки диаметром  $d$  от 2.00 до 3.50 мм изготавливают без шейки (рис. 1, г).

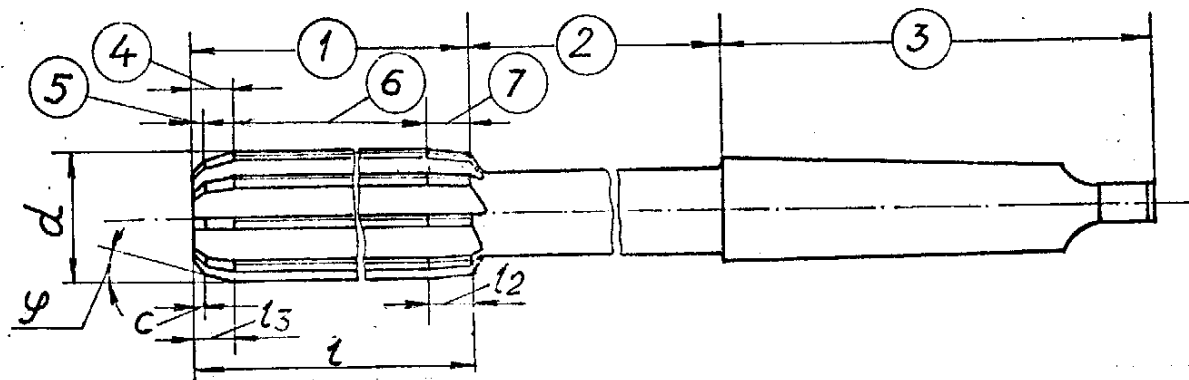
У ручных разверток хвостовик имеет квадрат, размеры которого устанавливает ГОСТ 9523-67 (см. приложение). Рабочая часть цельной машинной развертки (рисунок 5,а,б,в) состоит из режущей части 4, которая включает направляющий конус 5, калибрующей (направляющей) части 6 и обратного конуса 7. Калибрующая часть 6 ручных разверток (рисунок 5,б) выполняют в двух вариантах: цилиндрической на всем протяжении или с обратной конусностью на величину не более допуска на диаметр развертки  $d$ . Если допуск на изготовление развертки менее 0.015 мм, то допускается обратная конусность не более 0.015 мм. Прямая конусность на калибрующей части у всех разверток не допускается. Насадная цельная развертка (рис. 5,в) помимо указанных имеет следующие части: коническое базовое отверстие – 8, торцовую шпонку – 9, выточку – 10 и ступицу – 11. Насадная развертка сборной конструкции (рисунок 5,г) помимо указанных выше частей имеет дополнительно: корпус – 12, ножи – 13 и клинья – 14. Ножи могут быть изготовлены из быстрорежущей стали или могут быть оснащены твердосплавными пластинами. Сборные конструкции могут иметь и иные элементы крепления, что будет рассмотрено ниже.

В таблице 6 приведены эмпирические формулы расчета параметров разверток.

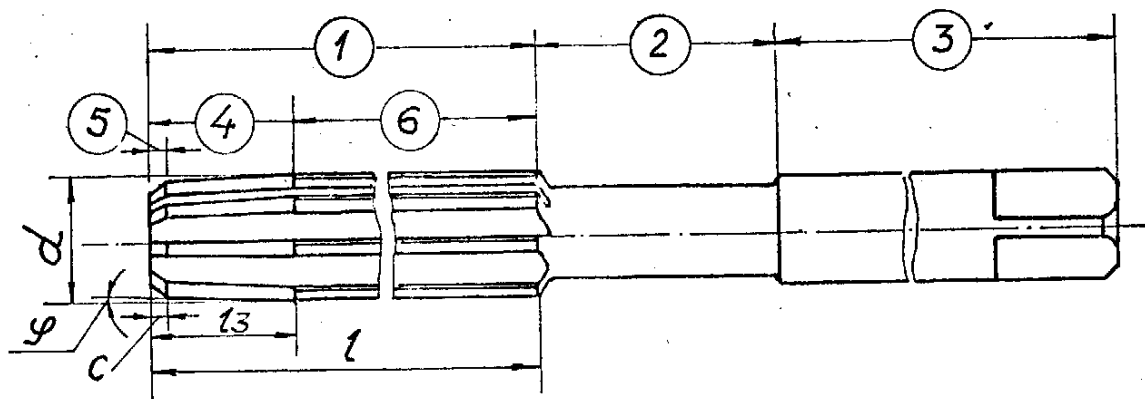
### 4. Элементы зуба развертки

На рисунке 6,а показана рабочая часть цельной развертки. Прямой зуб 1 имеет кромку 2, которая совпадает с образующей направляющего конуса. У ручных разверток плоскость 3 затачивают под задним углом  $8^\circ$ , т.е. она образует дополнительную режущую кромку. У машинных разверток поверхность 3 не имеет заднего угла, и кромка 2 в резании не участвует. Главная режущая кромка 4 образуется пересечением передней поверхности 8 и главной задней поверхности 5. Вспомогательная режущая кромка 6 расположена на калибрующей части зуба. Она образована пересечением передней поверхности 8 и вспомогательной задней поверхности 9. Вершина зуба на калибрующей части имеет цилиндрическую ленточку 7, выполненную шлифованием и доводкой, что обеспечивает требуемую точность диаметра развертки. Фактическая длина резания вспомогательной кромкой равна подаче на зуб  $S_z$ . На рисунке 6, б приведена машинная развертка сборной конструкции. Функцию зуба выполняет нож 1, элементы которого имеют аналогичные названия и выполняют те же функции что и у зуба цельной развертки.

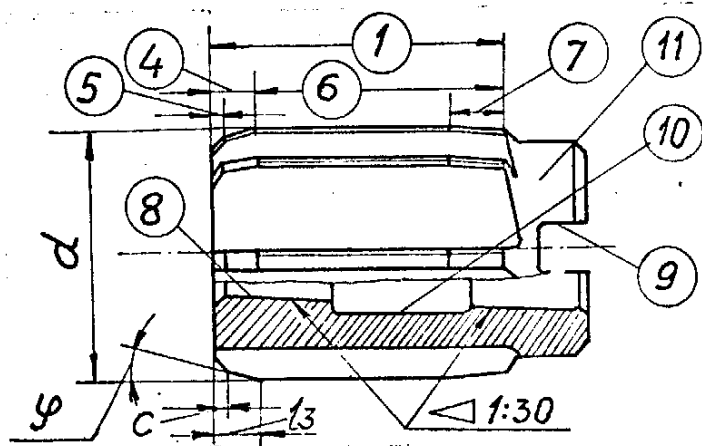
а)



б)



в)



2)

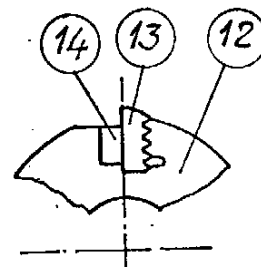
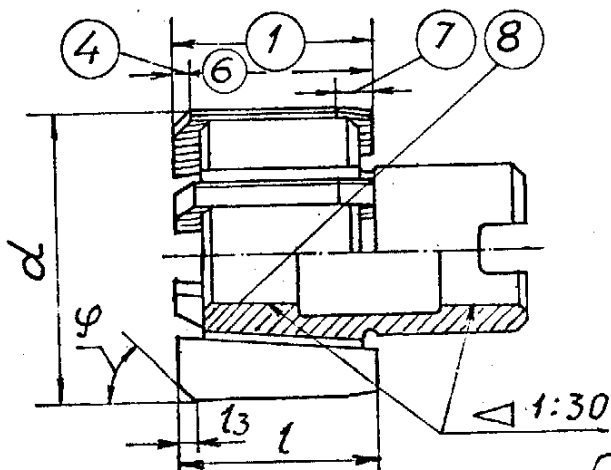


Рис. 5

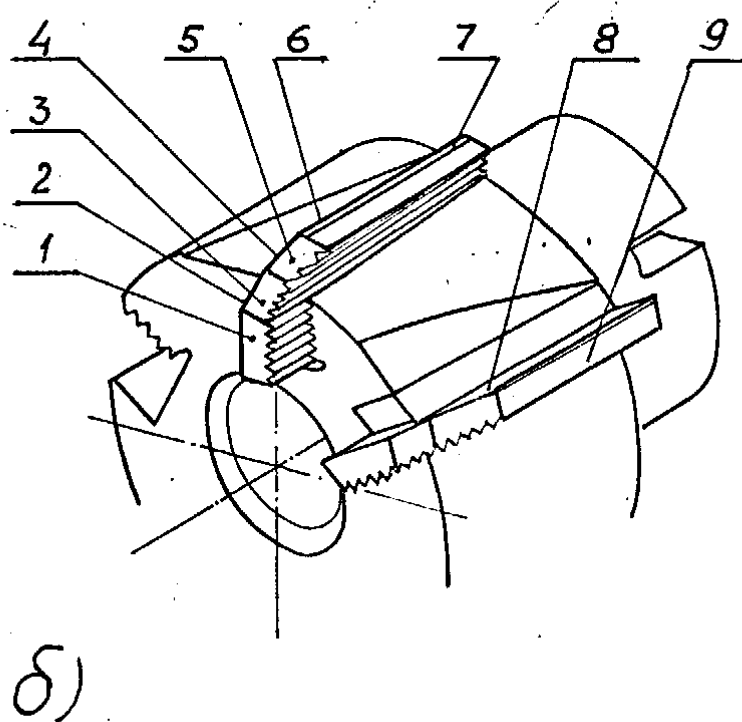
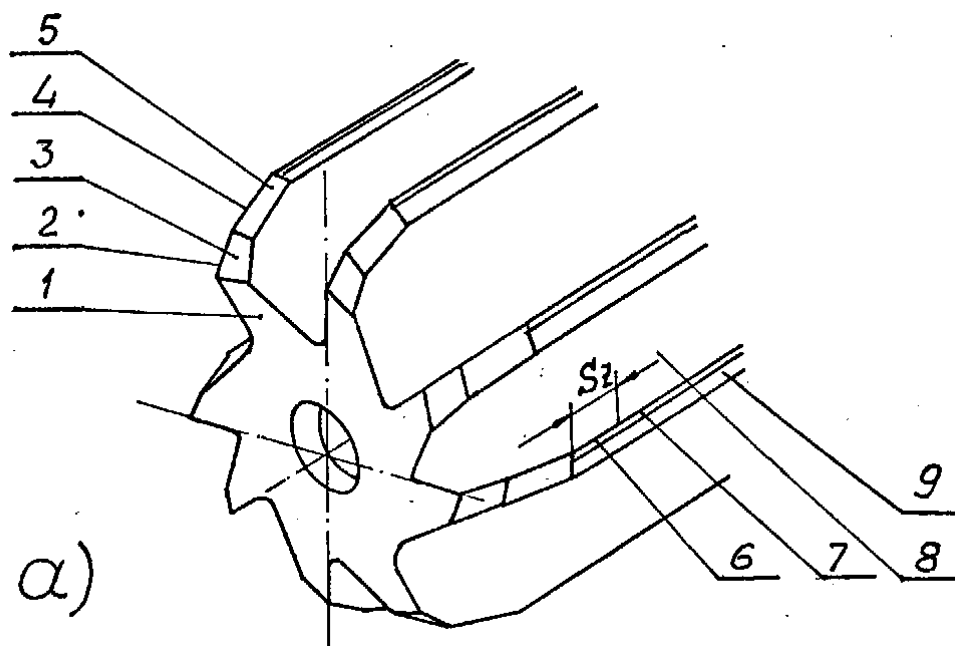


Рис. 6

## Основные виды разверток

Вид разверток	№ ГОСТ	Диаметр d, мм	Рисунок
Ручные цилиндрические	7722-77	1,0-5,5	1,а
		6,0-71,0	1,в
Машинные с цилиндрическим хвостовиком	1672-80	2,0-3,5	1,б; 1,г; 1,д
		4,0-16,0	1,д
Машинные с коническим хвостовиком		5,5-50,0	2,а
Машинные насадные		25,0-50,0	3,а
Машинные удлиненные с цилиндрическим хвостовиком	11172-70	3,0-6,5	1,б
		6,5-10,0	1,д
Машинные удлиненные с коническим хвостовиком		7,0-36,0	2,а
Машинные, оснащенные твердым сплавом с коническим хвостовиком	11175-80	10,0-32,0	2,в
Машинные, оснащенные твердым сплавом, насадные		32,0-50,0	3,б
Машинные с ножами из быстрорежущей стали с коническим хвостовиком	883-80	32,0-50,0	
Машинные с ножами из быстрорежущей стали насадные		40,0-100,0	3,в
Сборные насадные с ножами, оснащенными пластинами из твердого сплава	11176-71	52,0-300,0	4,г
Машинные цельные из твердого сплава с прямым зубом и цилиндрическим хвостовиком	16086-70	1,0-5,5	4,а
		6,0-10,0	3
Машинные цельные из твердого сплава с винтовым зубом и цилиндрическим хвостовиком		3,0-5,5	3,б
		6,0-10,0	-
Машинные цельные из твердого сплава с прямым зубом и коническим хвостовиком	16087-70	6,5-12,0	3, в
Машинные цельные из твердого сплава с винтовым зубом и коническим хвостовиком		6,5-12,0	3,г
Ручные разжимные	3509-71	6,0-50,0	2,г
Машинные разжимные с пластинами быстрорежущей стали	-	6,0-50,0	2,д
Машинные разжимные с пластинами твердого сплава	-	15,0-40,0	2,д

Таблица 6

## Основные размеры разверток

Вид разверток	ГОСТ	Диаметр d, мм	Число зубьев z	Эмпирические формулы расчета размеров				Рис.		
				L	l	l <sub>1</sub> , (l <sub>1</sub> )*	d <sub>1</sub> , (D)*			
1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Ручные с цилиндриче- ским хвостовиком	7722-77	1,0-1,4	5	39d <sup>0.72</sup>	17d <sup>0.75</sup>	18	2	1,а		
		1,5-2,8	4			15d <sup>0.55</sup>	d	1,б		
		3,0-10,0	6	34d <sup>0.6</sup>	18d <sup>0.7</sup>					
		10,5-28,0	8							
		30,0-32,0	10							
		34,0-71,0	12							
Машинные с цилиндри- ческим хвостовиком	1672-80	2,0-3,5	6	35d <sup>0.6</sup>	7d <sup>0.7</sup>	-	d	1,г		
		4,0-9,0				20d <sup>0.45</sup>	10	1,д		
		10,0-13,0								
		14,0-16,0								
Машинные с кониче- ским хвостовиком		5,5-10,0	6	64d <sup>0.43</sup> (42.5d <sup>0.5</sup> )**	10d <sup>0.58</sup> (6d <sup>0.4</sup> )**	65.5	12.065	2,а		
		11,0-15,0	8			80	17.780			
		16,0-22,0				91	23.825			
		24,0-28,0				117.5	31.267			
		30,0-32,0	10							
34,0-50,0		12								
Машинные насадные		25,0-50,0	1,6d <sup>0.5</sup>	5d <sup>0.65</sup>	4d <sup>0.63</sup>	-	0.6d <sup>0.92</sup>	3,а		
Машинные удлиненные с цилиндрическим хвостовиком	11172-70	3,0-5,5	6	47d <sup>0.46</sup>	8,2d	22	d	1,д		
		6,0-7,5				25				
		8,0-10,0				28				
Машинные удлиненные с коническим хвостови- ком		7,0-10,0	6	50d <sup>0.55</sup>	90d <sup>0.26</sup>	65,5	12,065	2,б		
		10,5-14,0	8		25d <sup>0.7</sup>	80	17,780			
		15,0-23,0				99	23,825			
		24,0-30,0	10			117,5	31,267			
		32,0-34,0								
		35,0-36,0	12							
Машинные, оснащенные твердым сплавом с ко- ническим хвостовиком	11175-80	10,0-15,0	4	40d <sup>0.53</sup>	16	65,5	12,065	2,в		
		16,0-22,0	6		18	80	17,780			
		24,0-25,0				22	99		23,825	
		26,0-32,0								
Машинные, оснащенные твердым сплавом, на- садные		32,0-34,0	6	3d <sup>0.75</sup>	32	-	16	3,б		
		35,0	8				19			
		36,0-40,0					22			
		45,0-50,0					10			
Машинные с ножами из быстрорежущей стали с коническим хвостовиком	883-80	32,0-35,0	6	24d <sup>0.7</sup>	d	99	23,825	-		
		36,0-50,0				117,5	31,267			
Машинные с ножами из быстрорежущей стали насадные		40,0-45,0	d <sup>0.5</sup>	6d <sup>0.55</sup>	40	-	16	3,в		
		47,0-55,0			45		19			
		58,0-65,0			36		22			
		68,0-75,0					27			
		78,0-80,0					32			
		85,0-100,0					56		40	



Вид разверток	ГОСТ	Диаметр d, мм	Число зубьев z	Эмпирические формулы расчета размеров				Рис.			
				L	l	l <sub>1</sub> , (l <sub>4</sub> )*	d <sub>1</sub> , (D)*				
Сборные насадные с но- жами, оснащенными пластинами из твердого сплава	11176-71	52,0-55,5	D <sup>0.5</sup>	10,5d <sup>0.4</sup>	25	-	22	3,г			
		58,0-70,0			32		27				
		72,0-80,0					32				
		85,0-100,0					40				
		105,0-145,0					50				
		150,0-225,0			58		60				
		230,0-300,0					80				
Машинные цельные из твердого сплава с пря- мым зубом и цилиндри- ческим хвостовиком	16086-70	1,0-1,4	4	60	12	35	3,0	4,а			
		1,5-2,2					4,0				
		2,5-2,8					5,0				
		3,0-3,4	4 или 5	70	14	22	3,0				
		3,5-3,8					3,5				
		4,0-4,2					4,0				
		4,5-4,8		80	16	25	4,5				
		5,0-5,6					5,0				
		6,0-6,3		90	18		6,0				
		6,5-7,5					7,0				
		8,0-8,5		100	20		8,0				
		9,0-10,0					9,0				
		Машинные цельные из твердого сплава с винто- вым зубом и цилиндри- ческим хвостовиком	16087-70	3,0-3,4	4 или 6	60	12		22	3,0	4,б
				3,5-3,8		70	14			3,5	
4,0-4,2	80			16		4,0					
4,5-4,8						4,5					
5,0-5,5						5,0					
6,0-6,3	90			18		25	6,0				
6,5-7,5							7,0				
8,0-8,5							8,0				
9,0-10,0	100			20		9,0					
Машинные цельные из твердого сплава с пря- мым зубом и коническим хвостовиком	16087-70	6,5-7,5	4 или 6	120	18	65,5	12,065	4,в			
		8,0-9,5		130	20						
		10,0-11,5		140	22						
		12,0		150							
Машинные цельные из твердого сплава с винто- вым зубом и коническим хвостовиком		16087-70	6,5-7,5	4 или 6	120	18	65,5	12,065	4,г		
			8,0-9,5		130	20					
			10,0-11,5		140	22					
			12,0		150						

Примечания:

- \* – размеры D и  $l_4$  относятся к конусу инструментальному Морзе. См. приложение табли-  
ца 17.
- Для второго ряда диаметров.

## 5. Геометрические параметры зуба развертки.

Элементы конструкции и геометрические параметры разверток показаны на рисунке 7.

Развертки машинные с углом  $\varphi = 5^\circ$  или  $\varphi = 15^\circ$  – рисунок 7,а.

Развертки машинные с углом  $\varphi = 45^\circ$  – рисунок 7,б.

Развертки машинные со ступенчатой (кольцевой) режущей частью – рисунок 7,в.

Развертки ручные – рисунок 7,г.

Развертки машинные оснащенные пластинами из твердого сплава – рисунок 7,д.

Размеры рабочих частей и геометрические параметры разверток приведены в таблицах 7-11.

Таблица 7.

Элементы конструкции и геометрические параметры машинных разверток (рис. 7, а)

Размеры в мм.

Размеры в мм.							
d	l <sub>3</sub> для φ		C	f <sub>1</sub>	f	α±2°	
	5°	15°					
2-4	2.0	1.0	-	0.25-0.45	0.10	15°	
4-6				0.4-0.6			
6-8				0.5-0.7	0.15	12°	
8-10	0.6-0.9						
10-17	4.5	2.5	1.0	0.8-1.2	0.20		10°
17-24				1.0-1.4			
24-30				1.2-1.6	0.30		
30-34	6.5	3.5	2.0	1.3-1.8			
34-40				1.5-2.0	0.35		
40-45				1.6-2.1			
45-50				1.8-2.4			

Таблица 8

Параметры обратного конуса у машинных разверток (рис. 7, а)

Размеры в мм.

Размеры в мм.		
d	l <sub>2</sub>	d <sub>2</sub>
Для разверток с цилиндрическим хвостовиком		
2.0-5.0	3	d <sub>факт</sub> -(0.03-0.05)
5.5-16.0	4	d <sub>факт</sub> -(0.04-0.06)
Для разверток с коническим хвостовиком		
5.5-17.0	4	d <sub>факт</sub> -(0.04-0.06)
18.0-28.0		d <sub>факт</sub> -(0.05-0.07)
30.0-35.0	5	
36.0-50.0		
Для разверток насадных		
25.0-35.0	5	d <sub>факт</sub> -(0.05-0.07)
36.0-50.0		d <sub>факт</sub> -(0.07-0.09)

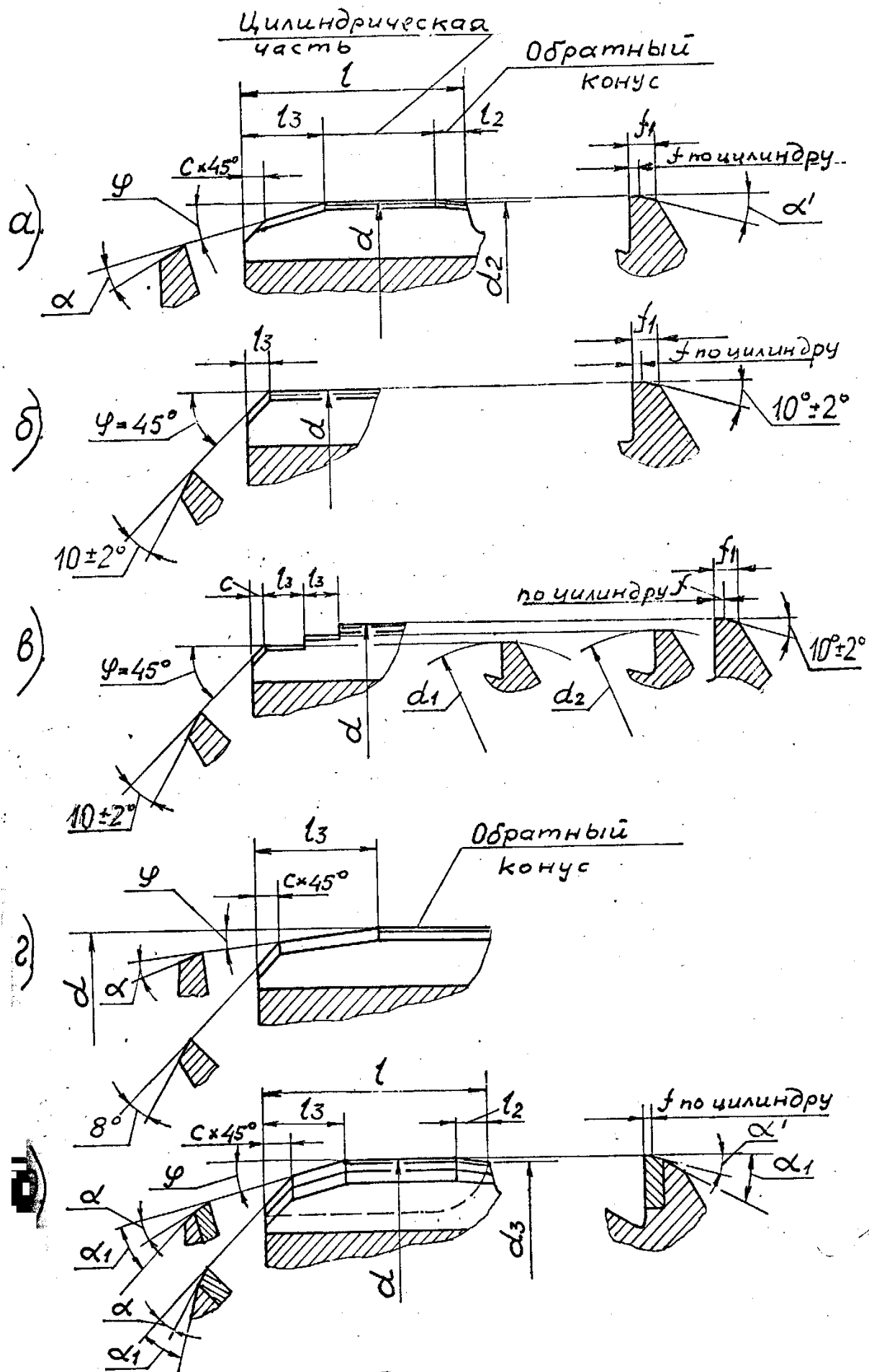


Рис. 7.

Элементы конструкции машинных разверток с углом  $\varphi=45^0$   
(размеры в мм.)

d	$l_3$	f	$f_1$
10-17	1.0	0.20	0.4-1.2
17-24			1.0-1.4
24-30		0.30	1.2-1.6
30-34	1.3-1.8		
34-40	1.5-2.0		
40-45	1.5	0.35	1.6-2.1
45-50			1.8-2.4

Размеры в мм.

d	d <sub>1</sub>		d <sub>2</sub>		l <sub>3</sub>	f	f <sub>1</sub>
	номинал	предельное отклонение.	номинал	предельное отклонение.			
10	d-0.2	-0.030	d-0.5	-0.030	2	0.15	0.6-0.9
10-17		-0.035		-0.035		0.20	0.8-1.2
17-24		-0.045		-0.045	3	0.30	1.0-1.4
24-30							1.2-1.6
30-34		-0.050		-0.050		0.35	1.3-1.8
34-40							1.5-2.0
40-45					1.6-2.1		
45-50						1.8-2.4	

Элементы конструкции и геометрические параметры машинных разверток, оснащенных пластинами из твердого сплава (рис. 7, д).

Размеры в мм.							
d	развертка	l <sub>3</sub> для φ		C	f	α±2°	α <sub>1</sub> ±2°
		5°	15°				
10-15	с кониче- ским хво- стовиком	4.5	2.5	1	0.15- 0.25	15°	25°
15-30							
30-32							
32-34	насадные	6.5	3.5	2	0.20- 0.40	10°	20°
34-40							
40-50							
Для φ=45°							
10-15	с кониче- ским хво- стовиком	1.0		-	0.15- 0.25	15°	25°
15-30							
30-32							
32-34	насадные	1.5		-	0.20- 0.40	10°	20°
34-40							
40-50							

Эмпирические зависимости определения параметров зуба разверток из инструментальных сталей.

Диаметр развертки d, мм		Число зубьев z	Ширина задней грани f <sub>1</sub> , мм	Предель- ное откло- нение ши- рины f <sub>т</sub> , мм	Ширина ци- линдрической ленточки f±0.05 мм	Высота зуба H, мм	Радиус дна ка- навки r, мм					
Ручной	машин- ной											
3.0-6.0	5.5	6	0.14d <sup>0.7</sup>	0.04d <sup>0.7</sup>	0.1	0.22d <sup>0.9</sup>	0,3					
6.3-8.0	6.0-8.0				0.15		0,5					
8.5-10.0	8.5-10.0				0.20							
10.5-20.0	11.0-20.0	8	0.1d <sup>0.75</sup>	0.05d <sup>0.65</sup>	0.04d <sup>0.6</sup>	0.14d	1,0					
21.0-24.0	21.0-24.0					0.11d						
25.0-28.0	25.0-28.0					0.1d	1,2					
30.0-34.0	30.0-34.0	10				0.1d						
35.0-50.0	35.0-50.0	12										
52.0-71.0	-											

Примечания: Машинные развертки с цилиндрическим хвостовиком d=2.0-16.0 имеет число зубьев z=6

## 6. Профиль канавок и окружной шаг зубьев

На рисунке 8 приведены профили канавок:

- а) с прямолинейной спинкой зуба,
- б) криволинейной спинкой зуба, очерченной дугой окружности,
- с) с углом  $\gamma=7^\circ$  как с прямолинейной, так и с криволинейной формой спинки зуба.

На рисунке 8,а показан рекомендуемый для разверток с диаметром d от 3.00 до 20.00 мм, прямолинейный профиль спинки, который обрабатывают угловой фрезой. Профиль с криволинейной спинкой для разверток с d от 21 до 71 мм получают с помощью фасонной острозаточенной или затылованной фрезы. Указанное деление формы канавки в зависимости от диаметра развертки является рекомендательным, но не обязательным. В каждом конкретном случае проектирования следует исходить из наличия инструментов второго порядка, угловых или специальных фасонных фрез. В таблице 12 даны эмпирические зависимости для определения профиля и размера стружечных канавок ручных и машинных разверток. В этой таблице высота H зуба соответствует равномерному окружному шагу ( $\tau=360/z$ ). При неравномерном угловом шаге зубьев высота каждого зуба H подлежит расчету. Производственный опыт показал, что при развертывании отверстий развертками с прямыми зубьями и равномерным окружным шагом на обработанной поверхности образуются продольные риски. Такое же явление наблюдается и при использовании разверток с вин-

товыми зубьями и равномерным окружным шагом. Но в этом случае риски имеют винтовой характер и глубина их существенно ниже. Исследования показали, что неравномерный шаг полностью не снимает риски на обработанной поверхности, но расширяет поле их рассеяния. Выявлено большое значение неравномерного шага зубьев на снижение вибраций, особенно при повышенных режимах развертывания и пониженной жесткости технологической системы. Снижение вибраций существенно повышает качественные параметры поверхности обработанных отверстий. Поэтому все развертки с прямыми зубьями рекомендуется изготавливать с неравномерным окружным шагом, как это показано на рисунке к таблице 13. Фрезерование всех зубьев такой развертки производят одной угловой или фасонной фрезой при переменной высоте зуба по правилу: каждому угловому шагу соответствует расчетная высота зуба. Схемы фрезерования зубьев с прямой и криволинейной спинкой показаны на рисунке 9. В первом случае угол профиля –  $\varepsilon$  выбирают из ряда одноугловых (инструментальных) фрез, с углом  $\varepsilon=60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 100$  и  $105^0$ . Необходимо выбрать такую фрезу, угол которой  $\varepsilon$  (рисунок 9,а) наиболее соответствует другим параметрам развертки. При этом допускается вынужденная коррекция размеров  $H$  и  $f_1$ . Также поступают и при фрезеровании криволинейной спинки фасонными фрезами (рисунок 9,б), которые изготавливают с радиусами  $r_f=15, 20$  и  $25$  мм. На рисунке 9,в показаны шаблон и контршаблон для контроля фасонной фрезы.

## **7. Образование стружечной канавки развертки с прямолинейной спинкой зуба.**

### **7.1 Графическое профилирование стружечной канавки с прямолинейной спинкой зуба.**

Построим зуб развертки: отложим (рис.10) на дуге окружности  $d$  угловой шаг  $\tau=360^0/z$  и отметим точки 1 и 2; от точки 1 отложим высоту зуба  $H$  и проведем окружность радиусом дна канавки  $r_f$ ; от точки 2 отложим хорды длиной  $f_1$  и  $f_T$ , отметим точки 3 и 4 – характеризующие границы поля допуска ширины фаски  $f_1$ . Проведем касательную к окружности  $r_f$ , так чтобы она пересекала дугу окружности  $d$  в точке 5 между точками 3 и 4. Если полученный угол  $\varepsilon$  совпадает с углом из ряда стандартных фрез, или совпадает при переносе точки 5, в пределах участка 3 - 4 то построение закончено. Если ближайшие из ряда фрез имеют углы  $\varepsilon_1$  или  $\varepsilon_2$ , образующие точки 6 и 7, выходящие за пределы участка 3 – 4, то применение стандартных угловых фрез невозможно и необходимо изменить параметры зуба развертки. Таким образом, определение угла  $\varepsilon$  производят графически или аналитически итерационным методом. Аналогично задачу проектирования решают по соответствующей программе с помощью ЭВМ.

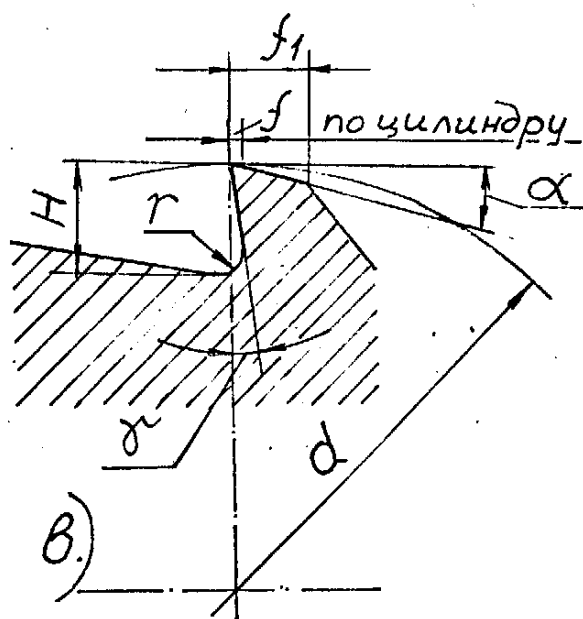
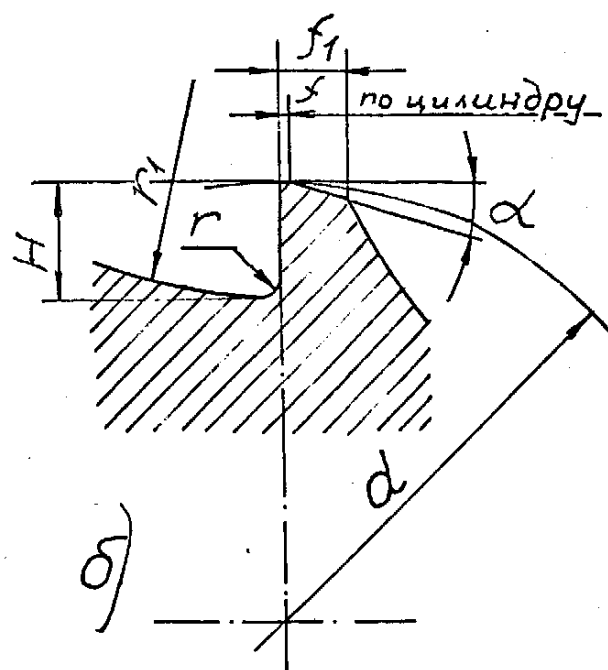
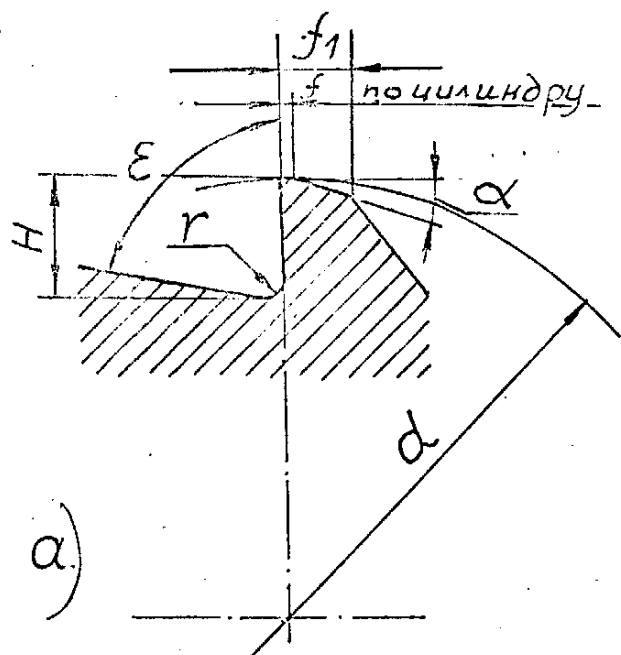
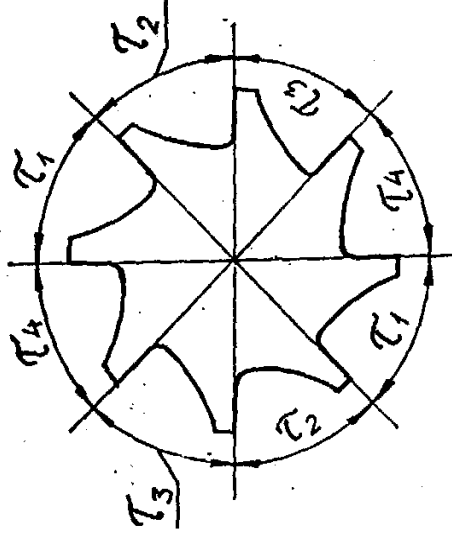
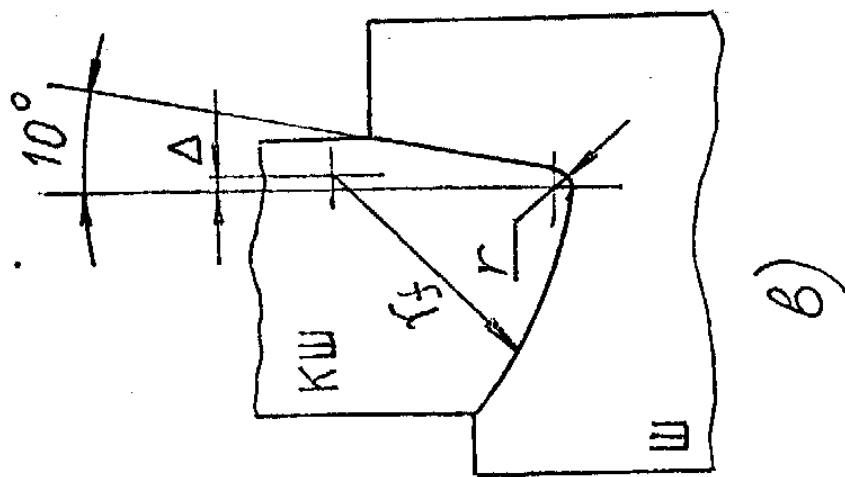
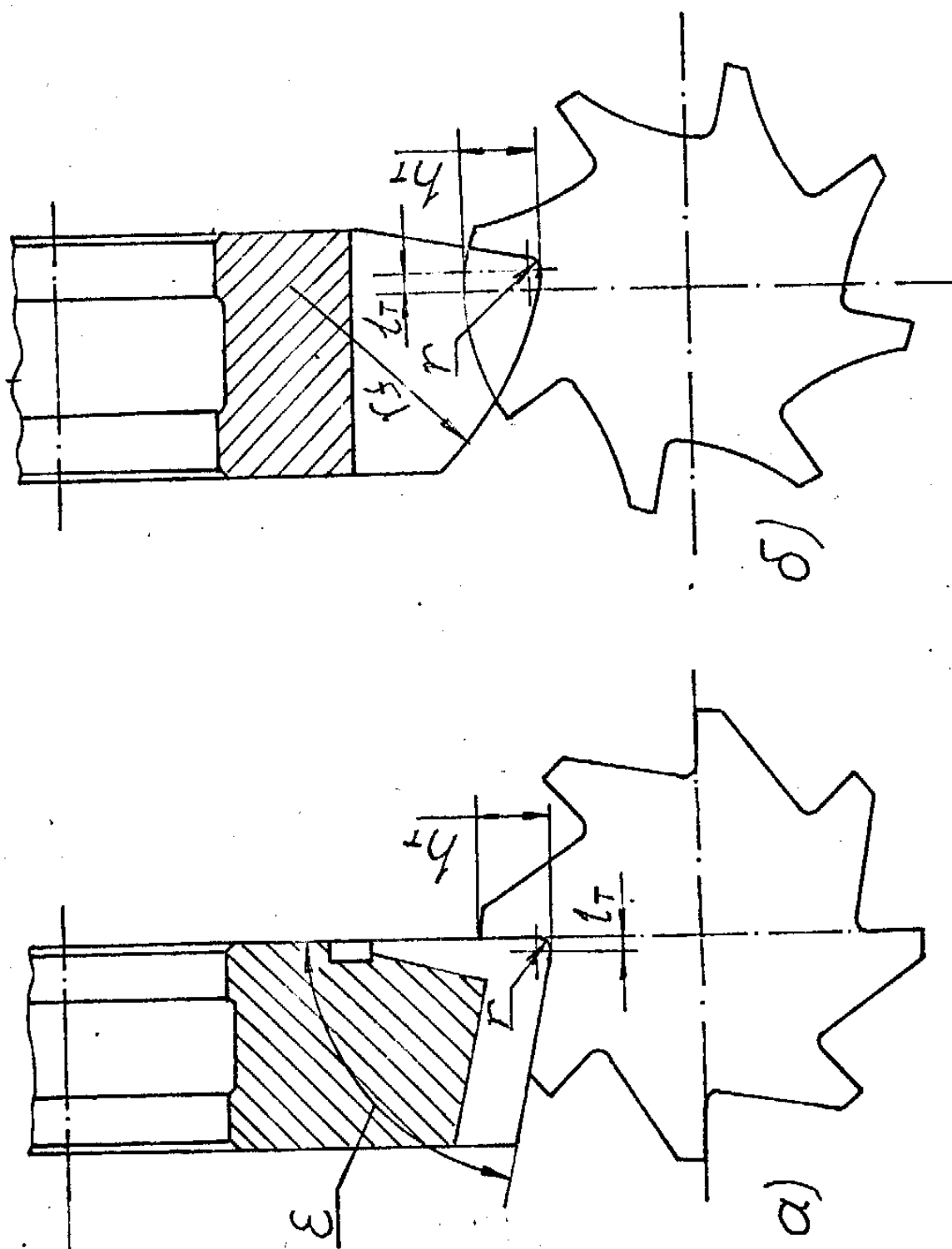


Рис. 8

[illegible]





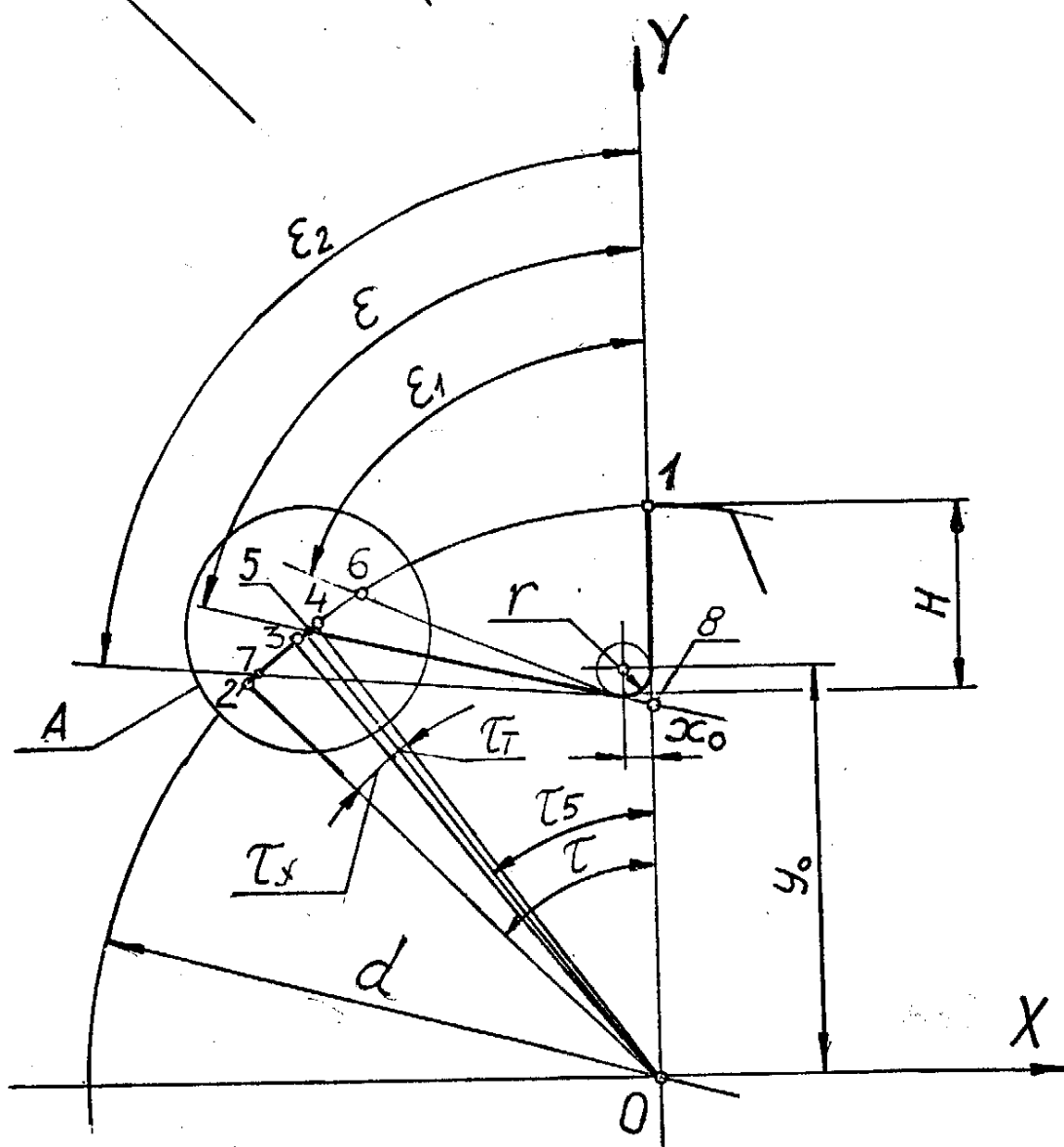
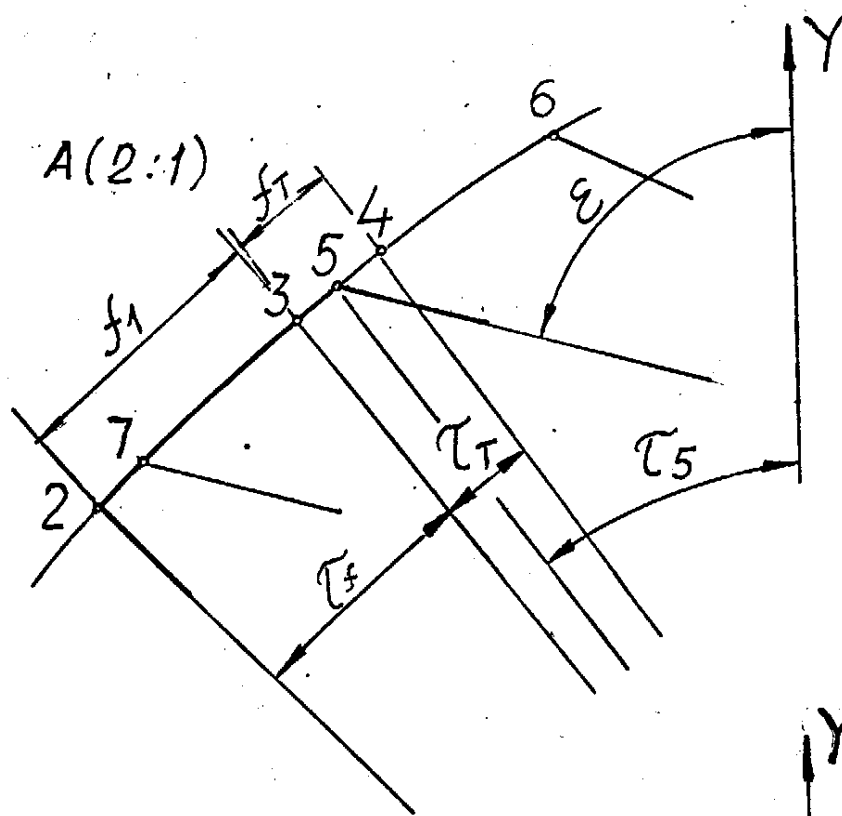


Рис. 10

## 7.2 Аналитический расчет параметров стружечной канавки.

Он состоит из следующих этапов:

Этап 1. Определение угла  $\varepsilon$  (рис. 8,а) или радиуса  $r_1$  (рис. 8,б) при равномерном угловом шаге  $\tau = 360^\circ/z$ .

Этап 2. Расчет высоты зуба  $H_i$ , соответствующей неравномерному углу  $\tau_i$  (см. табл. 13).  
Определение угла канавки при равномерном окружном угловом шаге выполняется следующим образом.

Известные параметры развертки:  $d, z, f_1, f_T, H, \gamma = 0, r$ .

Расчетные формулы (рис. 10):

- угловой шаг  $\tau = 360^\circ/z$ , (1)

- центральный угол фаски  $f_1 - \tau_f = 2\arcsin(f_1/d)$ , (2)

- центральный угол максимального отклонения ширины фаски -  $\tau_T = 2\arcsin(f_T/d)$ , (3)

- координаты центра радиуса скругления дна канавки:

$$\begin{cases} X_0 = -r \\ y_0 = 0.5d - H + r \end{cases} \quad (4)$$

- координаты точки 5 (место А) получим при совместном решении уравнения прямой, касательной окружности радиуса  $r$  и уравнения окружности радиуса  $R=0.5d$

$$\begin{cases} -(y_5 - y_0) \sin \varepsilon - r = (x_5 - x_0) \cos \varepsilon \\ y_5^2 + x_5^2 = R^2 \end{cases} \quad (5)$$

где угол  $\varepsilon$  взят из стандартного ряда значений, перечисленных выше.

Вычислим координату  $y_5$  и угол  $\tau_5$ :

$$y_5 = p + \sqrt{p^2 - q}, \quad (6)$$

где  $p = c \sin \varepsilon \cos \varepsilon$ ,

$$q = (c^2 - R^2) \cos^2 \varepsilon,$$

$$c = x_0 - r / \cos \varepsilon + y_0 \operatorname{tg} \varepsilon,$$

$$\tau_5 = \arccos y_5 / R \quad (7)$$

Удовлетворительное решение соответствует неравенству

$$\tau - \tau_f > \tau_5 > \tau - \tau_f - \tau_T. \quad (8)$$

Если условие (8) не выполняется, следует выбрать другое значение  $\varepsilon$ . Иными словами – точка 5, соответствующая углу  $\tau_5$  (рис.10) и стандартному углу  $\varepsilon$ , должна располагаться в поле допуска на ширину фаски –  $f_T$ . Из рисунка 10 видно, что при угле  $\varepsilon_1$  точка 6 выходит из поля допуска, т. е. имеет место увеличение ширины фаски  $f_1$ , а значит уменьшение площади канавки. При угле  $\varepsilon_2$  имеет место подрез зуба в точке 7.

### **7.3. Расчет высоты зубьев при неравномерном окружном шаге для канавок с прямолинейной спинкой.**

Рассмотрим косоугольный треугольник  $\Delta 5-0-8$  (рис.10). Используя теорему синусов, выразим высоту зуба  $H_i$  через найденный (в п. 7.2) угол  $\varepsilon$  и другие известные параметры:

$$H_i = 0.5d[1 - (\sin(\varepsilon + \tau_f + \tau_T - \tau_i)) / \sin \varepsilon] - r(ctg \varepsilon / 2 - 1), \quad (9)$$

где  $\tau_1, \dots, \tau_i, \dots, \tau_z$  - значения углов из таблицы 13,

$\tau_z$  - последний из углов табл. 13.

## **8. Образование стружечной канавки развертки с криволинейной спинкой зуба.**

Как показано схематически (рис. 9,б) канавку зуба в этом случае получают с помощью фасонной острозаточенной или затылованной фрезы. Профиль фрезы имеет прямолинейный участок, расположенный под углом  $10^0$  к вертикали (рис. 9,в) и участок, очерченный дугой окружности радиуса  $r_f$ . В наборе фрез применены радиусы  $r_f = 15, 20, 25$  мм. Центры этих радиусов имеют смещение  $\Delta$  относительно вертикали. Величина смещения  $\Delta$  обычно выбирается из ряда  $\Delta = 1, 2, 3$  и 4 мм. Прямолинейный и дуговой участки сопрягаются радиусом  $r = 0,5; 1,0; 1,2$  мм. Для получения стружечных канавок используется группа из 9 фрез достаточная для фрезерования разверток с криволинейной спинкой в диапазоне диаметров от 21 до 71 мм.

### **8.1. Расчет параметров стружечной канавки с криволинейной спинкой зуба.**

Этот расчет содержит несколько этапов.

Этап 1. (рис.11). Определение радиуса  $r_{fi}$ , при котором дуга окружности этого радиуса пересекает окружность развертки с минимальным подрезом зуба. Как видно из схемы, рис.11, все три центра радиусов  $r_{fi} = 15, 20, 25$  мм расположены на одной прямой, и при  $r_{f1} = 15$  мм имеет место минимальный подрез.

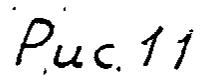


Рис. 11

Алгоритм решения этой задачи следующий: расчетные формулы с (1) по (4) повторяют приведенные для рис.10, в разделе 6.2. Координаты центра  $O_{fi}$  дуги окружности  $r_{fi}$  (здесь  $i$  – текущее значение радиуса):

$$x_{Ofi} = x_o + (r_{fi} - r) \sin 10^\circ, \quad (10)$$

$$y_{Ofi} = y_o + (r_{fi} - r) \cos 10^\circ. \quad (11)$$

Координату  $y_5$  определяют как точку пересечения двух окружностей (наружного радиуса развертки и дуги, образующей спинку зуба) при совместном решении их уравнений:

$$\begin{aligned} x_5^2 + y_5^2 &= R^2, \\ (x_5 - x_0)^2 + (y_5 - y_0)^2 &= r_{f1}^2. \end{aligned} \quad (12)$$

Отсюда находим  $x_5$  и далее  $\tau_5$  по формуле (7). Отметим, что на рис.11 показан частный случай и при иных размерах развертки оптимальным радиусом первого этапа расчетов может оказаться любой из трех значений радиуса  $r_f=15, 20, 25$  мм. Поэтому расчет производят для трех радиусов. Для данного частного случая оптимальной оказалась фреза с радиусом  $r_{f1}=15$  мм.

Этап 2. Коррекция положения центра окружности радиуса  $r_{fi}$  ведем размер  $\Delta=0, 1, 2, 3, 4$  мм (рис. 12, а). Координаты нового центра  $O_f$ :

$$\begin{aligned} x_f &= x_{f1} + \Delta \cos 10^\circ, \\ y_f &= y_{f1} + \Delta \sin 10^\circ. \end{aligned} \quad (13)$$

Координаты точки 5 получим, решив совместно уравнение двух окружностей:

$$\left. \begin{aligned} (x_5 - x_f)^2 + (y_5 - y_f)^2 &= r_{f1}^2, \\ x_5^2 + y_5^2 &= R^2, \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

где  $R=0.5d$ .

Отсюда определяем  $x_5$ ,  $y_5$  и  $\tau_5$ .

В новом положении точка 5 располагается между точками 3 и 4 т.е. в пределах поля допуска на ширину фаски.

Этап 3. Заменяем криволинейный участок спинки зуба прямолинейным отрезком 5-8 (рис.12,б).

Определяем угол  $\varepsilon_f$ :

$$\varepsilon_f = \arctg(x_5 - x_0) / (y_5 - y_0 + r) \quad (15)$$

Этап 4. Расчет высоты зуба  $H_i$  при неравномерном окружном шаге.



Рис. 12

$$\text{Высота зуба: } H_i = 0.5d[1 - (\sin(\varepsilon_f + \tau_f + \tau_T - \tau_i) / \sin \varepsilon_f)] - r / \operatorname{tg} \varepsilon_i \quad (16)$$

где:  $\tau_1, \dots, \tau_i, \dots, \tau_z$  из таблицы 13.

Добротность решения определяется неравенством (8), несоблюдение которого приводит к нежелательным явлениям, указанным ранее.

Технологические параметры установки фасонной фрезы относительно заготовки определяют преобразованием координат, т.е. переходом от системы ХУ к технологической системе координат Х<sub>Т</sub>У<sub>Т</sub>:

$$\begin{aligned} x_{OT} &= x_o \cos 10^\circ + y_o \sin 10^\circ, \\ y_{OT} &= -x_o \sin 10^\circ + y_o \cos 10^\circ, \\ \text{или } l_T &= x_{OT}, \quad h_T = 0.5d - y_{OT} + r \end{aligned} \quad (17)$$

## 9.Развертки сборной конструкции.

По сравнению с цельными и составными сборные развертки имеют ряд преимуществ:

- значительная экономия дорогостоящего инструментального материала, особенно существенная для разверток больших диаметров –  $d=100 \dots 300$  мм
- возможность восстанавливать исходный размер диаметра после затупления
- многократное использование корпуса развертки для запасных комплектов ножей и др.

Однако следует указать на сложность конструкций и меньшую технологичность сборных разверток по сравнению с цельными. Недостатком также является необходимость операции круглого шлифования рабочей части после перестановки ножей или их регулирования. Сборные развертки состоят из корпуса, ножей и элементов крепления ножей – клиньев, эксцентриков, втулок или других фиксирующих деталей. Корпус и клинья изготовляют из сталей марки 40Х (ГОСТ 4543-71) или стали марки 45 (ГОСТ 1050-74). Твердость этих сталей должна составлять HRC 35...45. Ножи, оснащенные твердосплавными пластинами (тип 26, ГОСТ 25425-82), изготовляют из стали марки 40Х или стали марок У7 и У8 (ГОСТ 1435-74) и должны иметь твердость HRC 30...45.

На рисунке 13 и 14 показаны некоторые типичные конструкции сборных разверток.

Конструкция а. Пазы в корпусе 1 и ножи 2 снабжены рифлениями с шагом  $S=1$  мм без уклона вдоль рифлений. Нож с углом клина в  $5^\circ$  повернут так, что его передняя поверхность составляет с осью развертки  $3^\circ$ . Конструкция простая и технологичная – обеспечен свободный выход резца-гребенки при обработке рифлений в пазах корпуса. Недостаток – неопределенное положение ножей в осевом направлении после запрессовки в корпус, что устраняется шлифованием торцев ножей на собранной развертке.



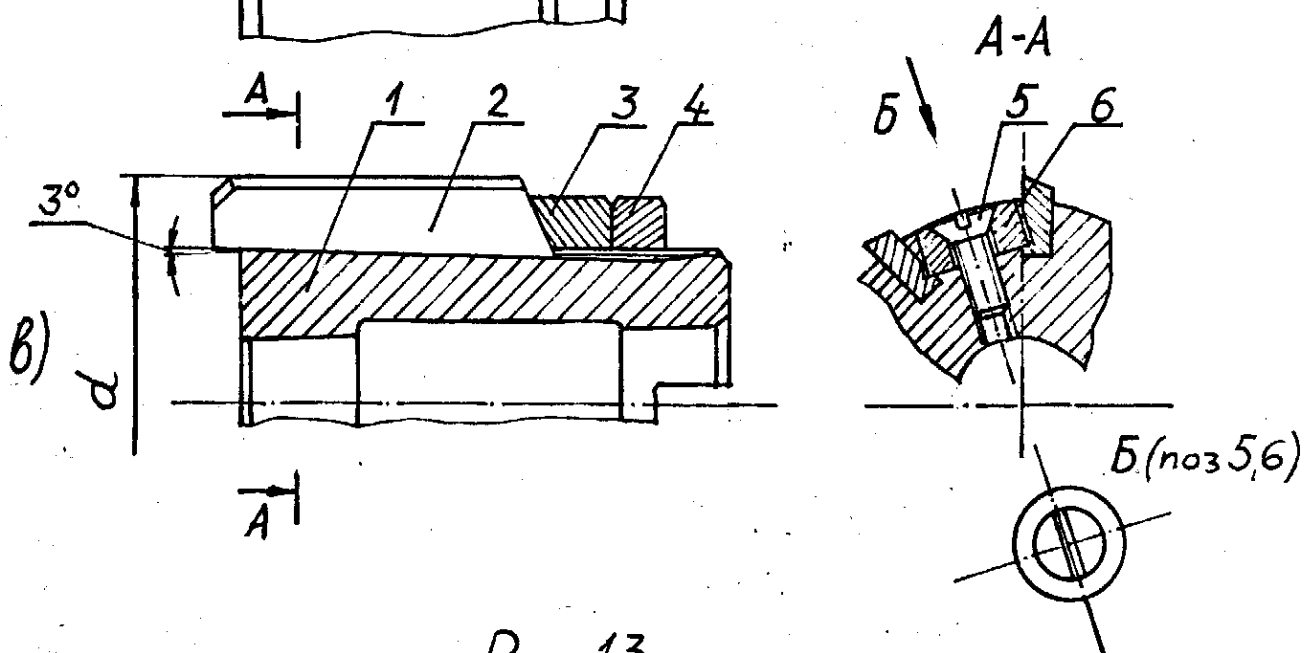
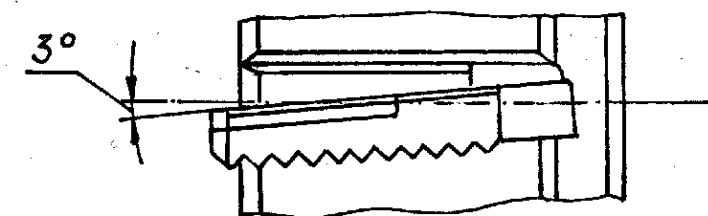
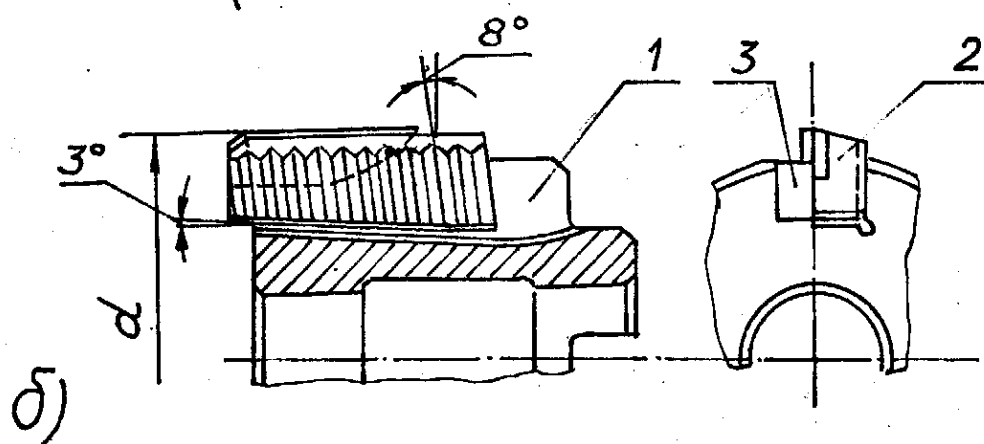
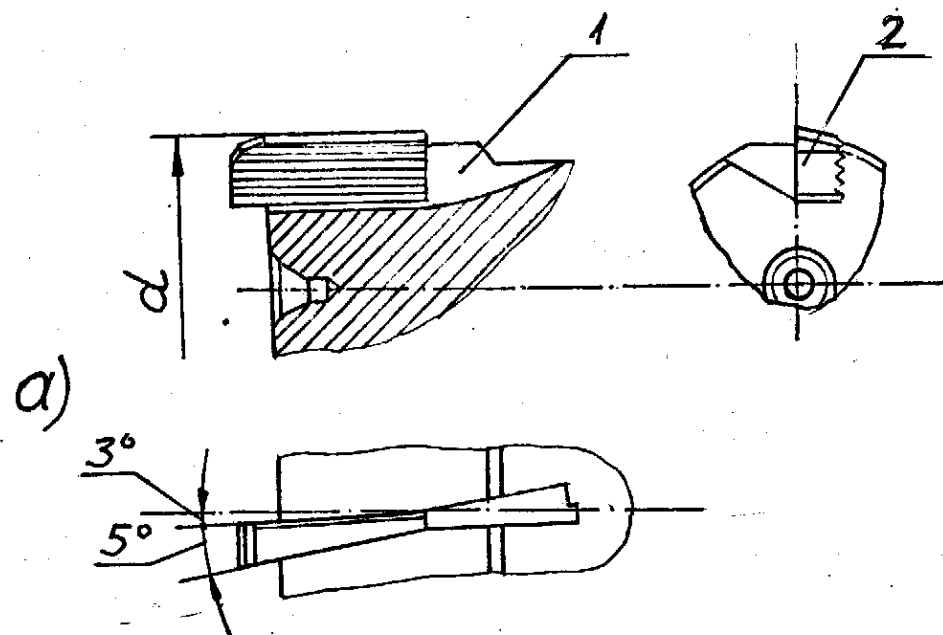


Рис. 13

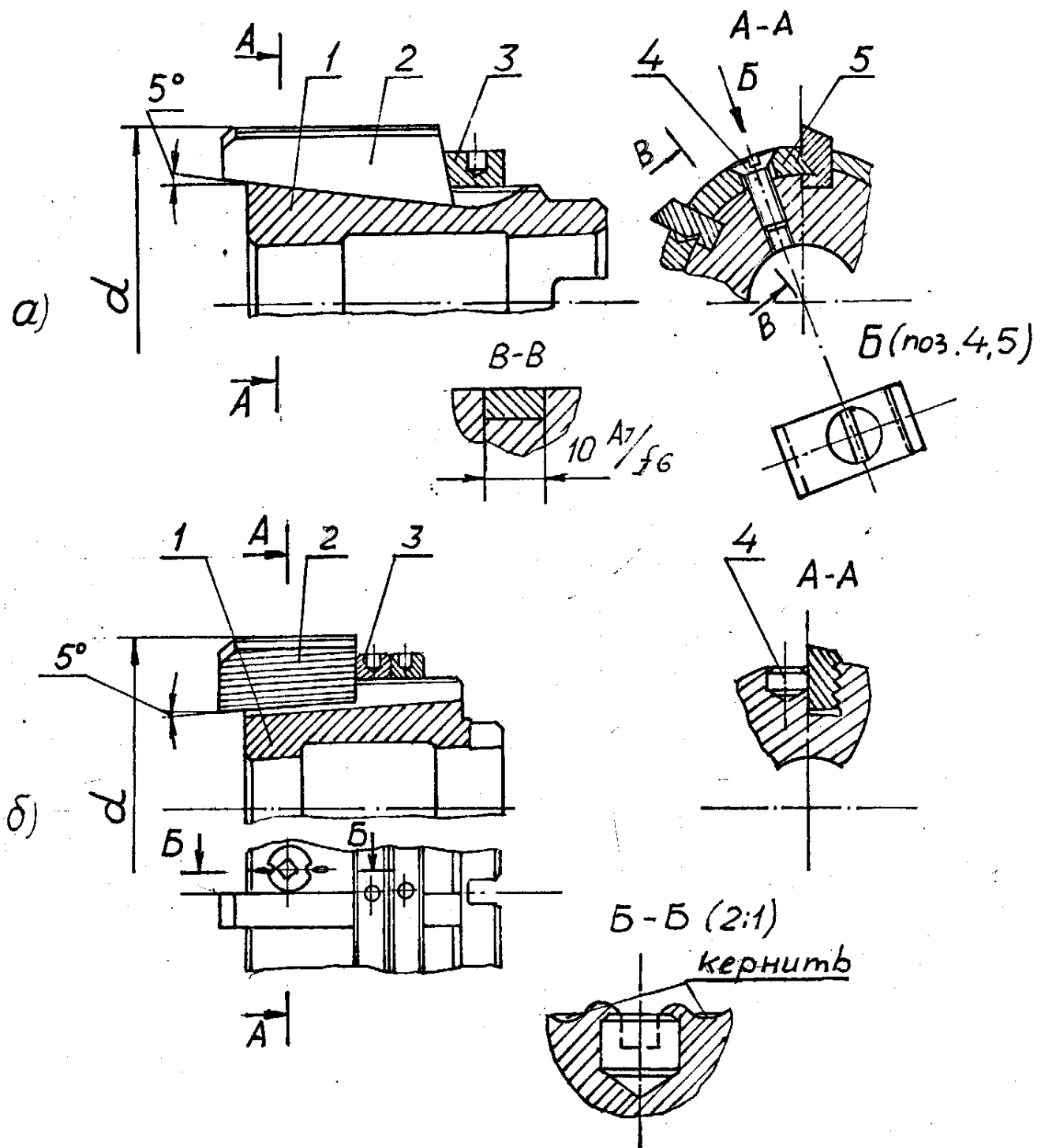


Рис. 14

Конструкция б. Плоский нож 2 и паз корпуса изготовлены с уклоном рифлений в  $8^0$  вдоль их направления и с уклоном в  $3^0$  поперек направления рифлений. Такое расположение рифлений позволяет более тонко регулировать размер диаметра развертки  $d$ . Ножи могут быть изготовлены как из быстрорежущей стали, так и оснащаться твердым сплавом. Нож развернут относительно оси развертки на  $3^0$  и закреплен клином 3 с углом  $5^0$ . К технологическому недостатку конструкции следует отнести обработку рифлений в пазах корпуса в упор, без выхода для резца-гребенки.

Конструкция в. В точно шлифованных пазах корпуса 1 установлен с посадкой H7/f6 гладкие шлифованные ножи. Опорная плоскость ножей составляет угол  $3^0$  с осью развертки. Регулирование и крепление ножей в осевом направлении производится с помощью фиксирующей гайки 3, которая предохранена контргайкой 4. Крепление ножей в радиальном направлении производится винтом 5 через цилиндрическую втулку 6, которая упирается в шлифованные лыски у пары ножей. Достоинство конструкции – компактность, точность пазов, простота регулировки  $d$  после затупления и переточки.

Конструкция (рис. 14,а). Отличается оригинальным способом крепления ножей с помощью винтов 4 и сектора плоского кольца 5.

Конструкция (14,б). Для зажима ножа применен эксцентрик 4, установленный в корпусе и зафиксированный закерниванием (на рисунке показаны наплывы металла, удерживающие эксцентрик после крепления).

На рис.2 показаны две конструкции разжимных разверток. Стандартные ручные развертки (рис. 2,г) предназначенные для отверстий от 6 до 50 мм (за исключением диаметров  $d=29, 31, 37, 39, 41, 43, 47, 49$  мм), и машинные (рис. 2,д), оснащенные пластинами из твердого сплава ( $d=15...40$ мм).

В приложении на рис.18 приведен чертеж стандартной насадной машинной развертки  $d=60$ М7 со вставными ножами из быстрорежущей стали (ГОСТ 883-80, обозначение 2364-0382). Развертка состоит из корпуса, пазы которого наклонены на  $3^0$  относительно оси развертки и имеют продольные рифления, с уклоном в  $5^0$ . Нож 2 (ГОСТ 16602-80) имеет плоскую форму и удерживаются клином 3 с уклоном в  $5^0$ . Конструкция проста, надежна и технологична. Рифления в корпусе обрабатываются на проход с помощью специальных плоских протяжек. Развертка выполнена с равномерным окружным шагом ножей по требованию заказчика.

## **10. Краткие рекомендации по выбору вида развертки и ее геометрических параметров.**

При выборе вида развертки следует учесть:

1. Во всех случаях проектирования изделий приоритет следует отдавать возможности использования стандартной развертки. В том случае, когда конструктор получает задание проектировать нестандартную развертку, следует убедиться, что в задании не допущена ошибка. Необходимо

обратиться к технологу или конструктору изделия и предложить стандартный вариант диаметра развертки. Задание выполняют только после подтверждения.

2. Машинные развертки с цельной рабочей частью из быстрорежущей стали следует применять для обработки отверстий диаметром до 32 мм (в крайних случаях до  $d=50$  мм) в заготовках из углеродистой и легированной стали с пределом прочности 50...100 Мпа и из серого чугуна HB 140...240.

3. Машинные развертки составной конструкции с ножами из быстрорежущей стали диаметром от 32 до 100 мм применяют также для обработки материалов, указанных в п.2.

4. Развертки с монокристаллической твердосплавной рабочей частью диаметром  $d=2...12$  мм целесообразно применять для закаленных сталей с твердостью HRC 52...56, и других труднообрабатываемых материалов. Примером может служить развертывание отверстий под штифты в закаленных деталях штампов, прессформ и других приспособлений.

Таблица 14.

Вид развертки	Диаметр d мм	Угол в плane, в град.	Задние углы в градусах, с предель- ным отклонением $\pm 2^0$		
		$\phi$	Главный $\alpha \pm 2$	Вспомога- тельный $\alpha' \pm 2$	Дополни- тельный $\alpha_1 \pm 2$
Ручная	3 - 6	1...2	15	15	-
	6 - 50		10	10	
	50 - 71		8	8	
Машинная с цельной рабочей частью из быстрорежущей стали	2 - 6	5, 15	15	15	-
	6 - 17		12	10	
	17 - 50		10	8	
	10 - 50	45	10	10	-
Машинная со вставными но- жами из быстрорежущей ста- ли	32 - 100	5, 15, 45	10	12	-
Машинная оснащенная припа- янными пластинами из твер- дого сплава.	10 - 15	5, 15	15	15	25
	15 - 50	45	10	10	20
Машинная сборная с ножами, оснащенными пластинами из твердого сплава.	52 -300	5	8	10	15
		15	6	12	
		45	8	8	

5. Обработку отверстий  $d=100...300$  производят сборными развертками, оснащенными твердым сплавом.

6. В интервале отверстий диаметром от 32 до 100 мм в ГОСТе предусмотрены как быстро-  
режущие, так и твердосплавные развертки (см. табл.5). В этом случае следует учесть, что разверт-  
ки, оснащенные твердым сплавом, повышают производительность операции 2...2.5 раза, но одно-  
временно значительно повышается ее стоимость. Обоснованный выбор возможен только на осно-  
вании строгого экономического анализа.

7. Выбор геометрических параметров разверток можно производить с использованием таблицы 14.

8. В таблице 15 приведены также рекомендации по выбору угла  $\varphi$  в зависимости от свойств инструментального и обрабатываемых материалов, а также вида отверстия.

9. Выбор передних и задних углов для цельных твердосплавных разверток можно производить по данным таблицы 16.

Таблица 15.

Выбор главного угла в плане $\varphi$				
Вид развертки	Материал		Вид отверстия	Угол $\varphi$ , град.
	Развертки	Заготовки		
Ручная	сталь 9ХС	хрупкий и вязкий	сквозное	1 ... 2
Машинная	сталь Р6М5 твердый сплав ВК6М	хрупкий	сквозное	5
		вязкий	сквозное	15
		хрупкий и вязкий	глухое	45

Таблица 16.

Обрабатываемый материал	Передний угол $\gamma$	Задние углы	
		$\alpha$	$\alpha'$
Высокопрочные закаленные стали	$-5^0$	$6^0$	$15^0$
Нержавеющие и жаропрочные стали	$5^0$	$6^0$	$15^0$
Жаропрочные сплавы	$0^0$	$6^0$	$15^0$
Серый чугун НВ 180 - 220	$0^0$	$12^0$	$30^0$
Пластмассы с абразивным наполнителем	$0^0$	$14^0$	$25^0$

## 11. Выбор режима резания и расчет потребности в развертках.

Выбор оптимального режима резания должен отражать большое число конкретных условий операции, которые, в свою очередь, могут изменяться в весьма широких пределах. Поэтому на первом этапе в большинстве случаев режимы резания устанавливаются приблизительно, а затем уточняются на основе анализа результатов пробных проходов.

В условиях же единичного и мелкосерийного производства, когда используются универсальные станки со ступенчатым регулированием режима резания, приходится корректировать выбранный режим еще и по паспортным данным станка, в связи с чем нерационально, а иногда и нет возможности, использовать подробные нормативные справочники или компьютерные программы для выбора режима развертывания. В этих случаях режим резания устанавливается либо на основе экспертной оценки самим рабочим, либо на основе кратких приближенных рекомендаций с последующей оценкой пробных проходов.

Ниже представлены подобные рекомендации, позволяющие только с помощью калькулятора быстро подсчитать наиболее вероятные значения подачи на оборот  $S_0$ , мм/об, и частоты вращения шпинделя станка  $n$ , об/мин, для различных, наиболее распространенных, типов операций развертывания в конструкционных сталях и сером чугуне.

Рекомендации разработаны на основе обобщения нормативных материалов, опубликованных в нашей стране и за рубежом [3]. В результате такого анализа было обнаружено, что рекомен-

дуемые скорости развертывания мало зависят от диаметра развертки и, в основном, определяются необходимым качеством обработанного отверстия, а выбор подачи определяется в значительной мере диаметром развертывания.

Приведенные рекомендации предполагают, что стойкость разверток будет приблизительно соответствовать нормативной стойкости [4]

$$T_H = 2d, \text{ мин} - \text{при обработке сталей}$$

$$T_H = 3d, \text{ мин} - \text{при обработке чугуна, где } d - \text{диаметр развертки в мм.}$$

Если появится необходимость применения другого значения стойкости  $T$ , нужно использовать поправочный коэффициент  $K_T$ , который может быть определен с помощью таблицы 18.

Режимы развертывания могут быть определены для трех наиболее распространенных типов операций развертывания, представленных в таблице 17. Там же приведены значения рекомендуемых припусков под развертывание для этих операций.

Подачу при развертывании можно определить следующим образом:

$$S_0 = K_S K_{HBS} K_{HS}, \text{ мм/об.}$$

Значение коэффициента  $K_S$  для сквозных отверстий, характеризующего обрабатываемый материал и тип операции, приведено в таблице 17, а коэффициентов  $K_{HBS}$  и  $K_{HS}$ , характеризующих, соответственно, влияние твердости обрабатываемого материала и вида инструментального материала на значение подачи – в таблице 19. Для обработки глухих отверстий:

$$K_S = 0.15 + 0.005d, \text{ мм/об} \quad [2].$$

Расчетное значение  $S_0$  необходимо скорректировать по паспортным данным станка в большую сторону.

Частота вращения шпинделя определяется следующим образом:

$$n = \frac{K_V K_M K_{HBV} K_T K_{HV} 10^2}{d}, \text{ об/мин}$$

Значение коэффициента  $K_V$ , характеризующего обрабатываемый материал и тип операции, приведено в таблице 1, коэффициента  $K_M$ , характеризующего группу обрабатываемой стали (для чугуна  $K_M = 1,0$ ) – в таблице 18, а коэффициентов  $K_{HV}$ ,  $K_{HBV}$ ,  $K_T$ , характеризующих, соответственно, инструментальный материал, твердость обрабатываемого материала и выбранную стойкость – в таблице 19.

Подсчитанное значение  $n$  необходимо скорректировать по паспортным данным станка в меньшую сторону.

Технологические ограничения величины скорости главного движения резания для получения заданной шероховатости поверхности и точности отверстия могут быть, в первом приближении, установлены с помощью данных таблицы 20 [4].

Окончательный выбор режима развертывания производится экспертной оценки пробных проходов, выполненных на режимах, установленных с помощью настоящих рекомендаций.

Количество разверток И (в шт), необходимое для обработки программы в N, шт, обработанных отверстий можно подсчитать по формуле: 
$$I = \frac{N}{K_3(i+1)}, \text{шт}$$

где N – заданная программа обработки отверстий; i – количество переточек развертки;

$K_3$  – количество отверстий, обрабатываемые разверткой за период стойкости;  $K_3 = \frac{T}{t_0}, \text{шт}$ ,

где T – нормативный период стойкости развертки, мин;

$t_0$  – время обработки одного отверстия, при работе на нормативных режимах резания;

$t_0 = \frac{L}{nS_0}, \text{мин}$ , где L – длина обрабатываемого отверстия, мм, n – частота вращения шпинделя,

об/мин,  $S_0$  – подача на оборот развертки, мм/об

Таким образом: 
$$I = \frac{NL}{T(i+1)nS_0}, \text{шт}$$

Количество переточек разверток i при работе на рекомендованных выше режимах резания будет примерно соответствовать значениям, приведенным в таблице 21[4].

Таблица 17.

Параметры		Тип операции развертывания		
		Черновое, перед чистовым проходом	Однократное после зенкера для получения отверстия точностью Н9	Чистовое для получения отверстия точностью Н7 или Н8
Припуск на развертывание (на сторону), мм		0,001d+0,08	0,002d+0,1	0,001d+0,03
$K_s$	для стали	0,02d+0,6	0,017d+0,5	0,018d+0,3
	для чугуна	0,04d+1,5	0,03d+1,2	0,024d+1,0
$K_v$	для стали	38	25	13
	для чугуна	45	32	19

Таблица 18.

Группа обрабатываемой стали	$K_M$
Автоматная	1.20
Углеродистая /С 0.6%/	1.00
Хромоникелевая	0.90
Хромистая	0.85
Углеродистая /С 0.6%/, хромомолибденовая, хромованадиевая, инструментальная, хромомолибденованадиевая	0.80
Марганцовистая, хромомарганцовистая, хромокремниевая, никелемолибденовая, хромокремнемарганцовая, хромокремнемарганцовоникелевая, хромоникельмолибденовая, хромомарганцовоникелевая, хромоникельванадиевая, хромоалюминиевая	0.70
Высоколегированная нержавеющая	0.60

Таблица 19

Инструментальный материал	$K$	Обрабатываемый материал	
		сталь	чугун
Быстрорежущая сталь	$K_T$	$\left(\frac{2d}{T}\right)^{0.4}$	$\left(\frac{3d}{T}\right)^{0.3}$
	$K_{HBS}$	1.0	$\left(\frac{190}{HB}\right)^{1.3}$
	$K_{HBV}$	$\left(\frac{750}{\sigma_s}\right)^{0.9}$ или $\left(\frac{215}{HB}\right)^{0.9}$	$\left(\frac{190}{HB}\right)^{1.3}$
	$K_{HS}$	1.0	1.0
	$K_{HV}$	1.0	1.0
Твердый сплав	$K_T$	$\left(\frac{2d}{T}\right)^{0.4}$	$\left(\frac{3d}{T}\right)^{0.3}$
	$K_{HBS}$	1.0	$\left(\frac{190}{HB}\right)^{1.3}$
	$K_{HBV}$	$\left(\frac{750}{\sigma_s}\right)^{0.9}$ или $\left(\frac{215}{HB}\right)^{0.9}$	$\left(\frac{190}{HB}\right)^{1.3}$
	$K_{HS}$	0.6	0.6
	$K_{HV}$	2.0	2.0



Таблица 20

Материал инструмента	Вид операции	Обрабатываемый материал							
		Сталь (СОЖ – эмульсия)			Чугун серый				
		Точность (квалитет)	$R_a, R_z$ мкм	$V_{\max}$ , м/мин	Точность (квалитет)	СОЖ	$R_a, R_z$ мкм	$V_{\max}$ , м/мин	
								HB≤220	HB>220
Быстрорежущая сталь	Чер-новое	11	$R_z \leq 20$	18	10-11	Нет	$R_z \leq 20$	16	12
						Эмуль-сия	$R_z \leq 20$		
	Чистовое	10-11	$R_a \leq 2.5$	12	8-9	Эмуль-сия	$R_a \leq 2.5$	12	8
		9	$R_a \leq 1.25$	10					
		8		4					
		7	$R_a \leq 0.63$	3		Керосин	$R_a \leq 1.25$		
	Твердый сплав	Черновое	10-11	$R_z \leq 20$	30	10-11	нет	$R_z \leq 20$	30
							Эмуль-сия	$R_a = 2.5 - 0.63$	
Керосин							$R_a = 1.25 - 0.32$		
Чистовое		10	$R_a \leq 2.5$	20	8-9	нет	$R_a \leq 1.25$	20	
		9	$R_a \leq 1.25$	15					
		7-8	$R_a \leq 0.63$	10					

Количество переточек разверток  $i$ , шт.

Таблица 21

Тип развертки	Обрабатываемый материал	
	сталь	Чугун
Развертки с режущей частью из быстрорежущей стали	0,25d+3	0,25d+3
Развертки, оснащенные твердым сплавом, хвостовые	7	8
Развертки, оснащенные твердым сплавом, насадные	12	14

## 12. Какие задачи можно решить с помощью нашего учебного пособия?

№п/п	Задача	Параграф, таблица, рисунок
1	Выбрать размеры осевых инструментов для последовательной обработки отверстия заданного качества точности в сплошном материале или отверстия, полученного литьем, ковкой или штамповкой.	Параграф 1. Таблицы 1, 2, 3.
2	Выбрать вид и ГОСТ разверток для получения заданного диаметра и точности отверстия.	Таблица 5. Рисунки 1...4.
3	Установить классификационные признаки заданной развертки.	Параграф 2. Таблица 4.
4	Определить основные параметры развертки по эмпирическим формулам.	Таблица 6, приложение таблица 4..
5	Определить режимы резания, основное технологическое время, количество разверток на условную годовую программу заготовок. Проверить оптимальность выбора вида развертки для заданной обработки.	Параграф 3, таблица 12; параграф 11, таблицы 17...21.
6	Выбрать геометрические параметры зуба развертки.	Параграф 5, рисунок 7, таблицы 22...26.
7	Выбрать форму зуба развертки, параметры неравномерного углового шага, рассчитать высоту зубьев развертки.	Параграфы 6...8, рисунки 10...12, таблица 13. Приложение 3.
8	Установить профиль стружечной канавки графическим или аналитическим методом.	Параграфы 6, 7. Программа расчета.
9	Выполнить рабочий чертеж развертки.	Параграфы 3...9. Приложения 1...5.
10	Вычислить технологические установочные размеры при фрезеровании зубьев развертки.	Параграфы 6 и 7, рисунок 9, формулы 15,16.

### **13. Список литературы.**

1. Малевский Н.П. Классификация режущих инструментов // Технология металлов – 1998.– №1– с.25-32.
2. Высокопроизводительная конструкция зенкеров и разверток и их рациональная эксплуатация / под редакцией М.Н. Ларина. – М: Машгиз, 1960 – 166с.
3. Даниленко Б.Д. Сравнительный анализ нормативов режимов резания // Известия вузов. Машиностроение. – 1993.№2. – с.89-91.
4. Общемашиностроительные нормативы режимов резания, износа, стойкости и расхода инструмента при обработке отверстий зенкерами и развертками. –М.: ВНИИТЭМР. 1987. –118с.
5. Режимы резания металлов: Справочник / Ю.Б. Барановский, Л.А. Брахман, А.И. Гдалевич и др. –М.: НИИТ автопром. 1993.- 456с.

### **Примеры оформления рабочих чертежей некоторых видов разверток.**

На рис. 15, 16, 17, 18 и 19 приведены примеры оформления рабочих чертежей некоторых видов разверток.

На рабочем чертеже необходимо привести все виды, проекции и сечения, которые полностью передают форму и размеры развертки. Кроме того, на поле рабочего чертежа должны быть приведены технические требования (ТТ), которые невозможно или неудобно выразить с помощью условных обозначений, принятых ГОСТом.

Ниже приведены условные обозначения и технические требования для разверток, представленных на рисунках 15-19.

Условное обозначение развертки включает в себя цифровой код по Классификатору Государственных Стандартов (КГС), который присвоен каждому виду (подвиду) развертки и указан в соответствующем ГОСТе, квалитет точности отверстия, который может быть получен при работе данной разверткой и ГОСТ.

Развертка машинная с коническим хвостовиком диаметром  $d = 16\text{мм}$  с углом  $\varphi = 15^\circ$  для отверстия с полем допуска H7 (рис. 15)

Условное обозначение: Развертка 2363-0127 H7 ГОСТ 1672-80.

Технические требования:

1. Материал: рабочей части – сталь марки P6M5 ГОСТ 19265-73  
хвостовика – сталь марки 40X ГОСТ 4543-73
2. Твердость: HRC 62...65 - рабочей части,  
HRC 30...45 - лапки хвостовика
3. На калибрующей (цилиндрической) части допускается обратная конусность не более 0.01 мм. Прямая конусность не допускается.
4. Неуказанные предельные отклонения размеров отверстий H14, валов h14, отверстий  $\pm IT14/2$ .
5. \* Размеры для справок.
6.  $d_{\text{факт}}$  - фактический (измеренный) диаметр развертки на длине цилиндрической части.
7. Остальные ТТ по ГОСТ 1523-81.
8. Маркировать: товарный знак предприятия изготовителя; Ø16; P6M5; 2363-0127 H7.

Развертка машинная, насадная  $d = 50\text{мм}$  с углом  $\varphi = 45^\circ$  для отверстия с полем допуска K7 (рис. 16)

Условное обозначение: Развертка 2363-0706 K7 ГОСТ 1672-80.

Технические требования:

1. Материал – сталь марки Р6М5 ГОСТ 19265-73
2. Твердость: HRC 62...65

Пункты 3, 4, 5, 6, 7 смотри ТТ к рис.15

8. Маркировать: товарный знак предприятия изготовителя; Ø50; Р6М5; 2363-0127 Н7.

Развертка машинная цельная из твердого сплава марки ВК6М с винтовыми зубьями, правая с коническим хвостовиком диаметром  $d = 12\text{мм}$  для отверстия с полем допуска Н7 (рис. 17)

Условное обозначение: Развертка 2363-1923 Н7 ВК6М ГОСТ 16087-70.

Технические требования:

1. Материал: рабочей части – твердый сплав марки ВК6М ГОСТ 3882-74; хвостовика – сталь марки 40Х ГОСТ 4543-73 (твердость лапки хвостовика – HRC 30...45)
2. Рабочая часть и хвостовик соединены пайкой. Припой – латунь марки Л68 ГОСТ 15527-70.

Пункты 3, 4, 5, 6, 7 смотри ТТ к рис.15.

8. Маркировать: товарный знак предприятия изготовителя; Ø16; Р6М5; 2363-0127 Н7.

Развертка машинная, насадная, со вставными ножами из быстрорежущей стали  $d = 60\text{мм}$  с углом  $\varphi = 15^\circ$  для отверстия с полем допуска М7 (рис.18)

Условное обозначение: Развертка 2364-0382 М7 ГОСТ 883-80.

Технические требования:

1. Материал: корпуса (1) и клина (3) – сталь марки 40Х ГОСТ 4543-71  
ножа (2) – сталь марки Р6М5 ГОСТ 19265-73

2. Твердость: ножей – HRC 62...65  
клиньев – HRC 30...40  
корпуса – HRC 35...45

Пункты 3, 4, 5, 6, 7 смотри ТТ к рис.15

8. Маркировать: товарный знак предприятия изготовителя; Ø60; Р6М5; 2364-0382 М7.

Развертка ручная с прямыми зубьями, с цилиндрическим хвостовиком, диаметром  $d = 25\text{мм}$  с углом  $\varphi = 1^\circ$ , для отверстия с полем допуска Н7 (рис. 19)

Условное обозначение: Развертка 2360-0151 Н7 ГОСТ 7722-77.

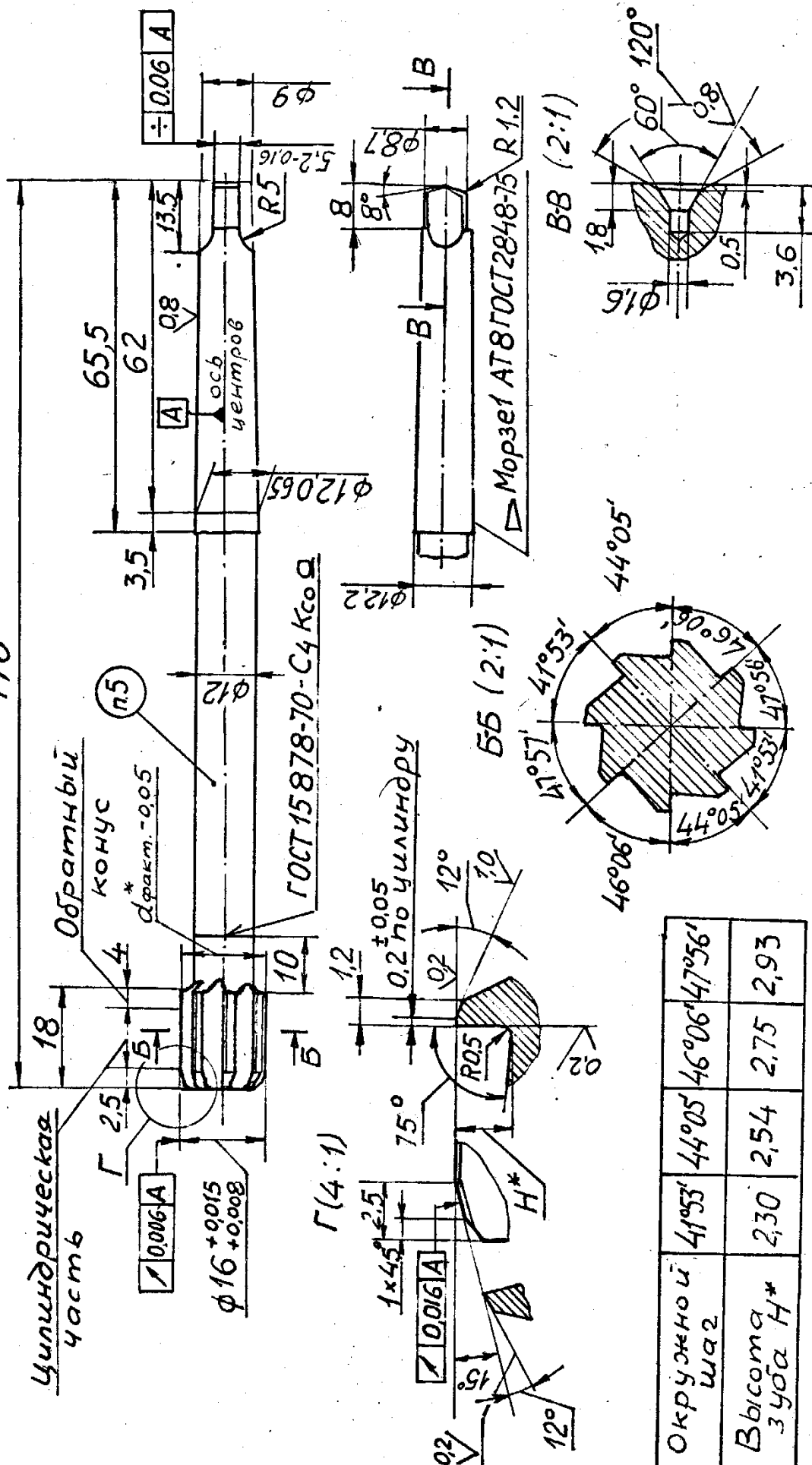
Технические требования:

1. Материал – сталь марки 9ХС ГОСТ 5950-73
2. HRC 61...64

Пункты 3, 4, 5, 6, 7 смотри ТТ к рис.15

8. Маркировать: товарный знак предприятия изготовителя; Ø25; 9ХС; 2360-0151 Н7.

170



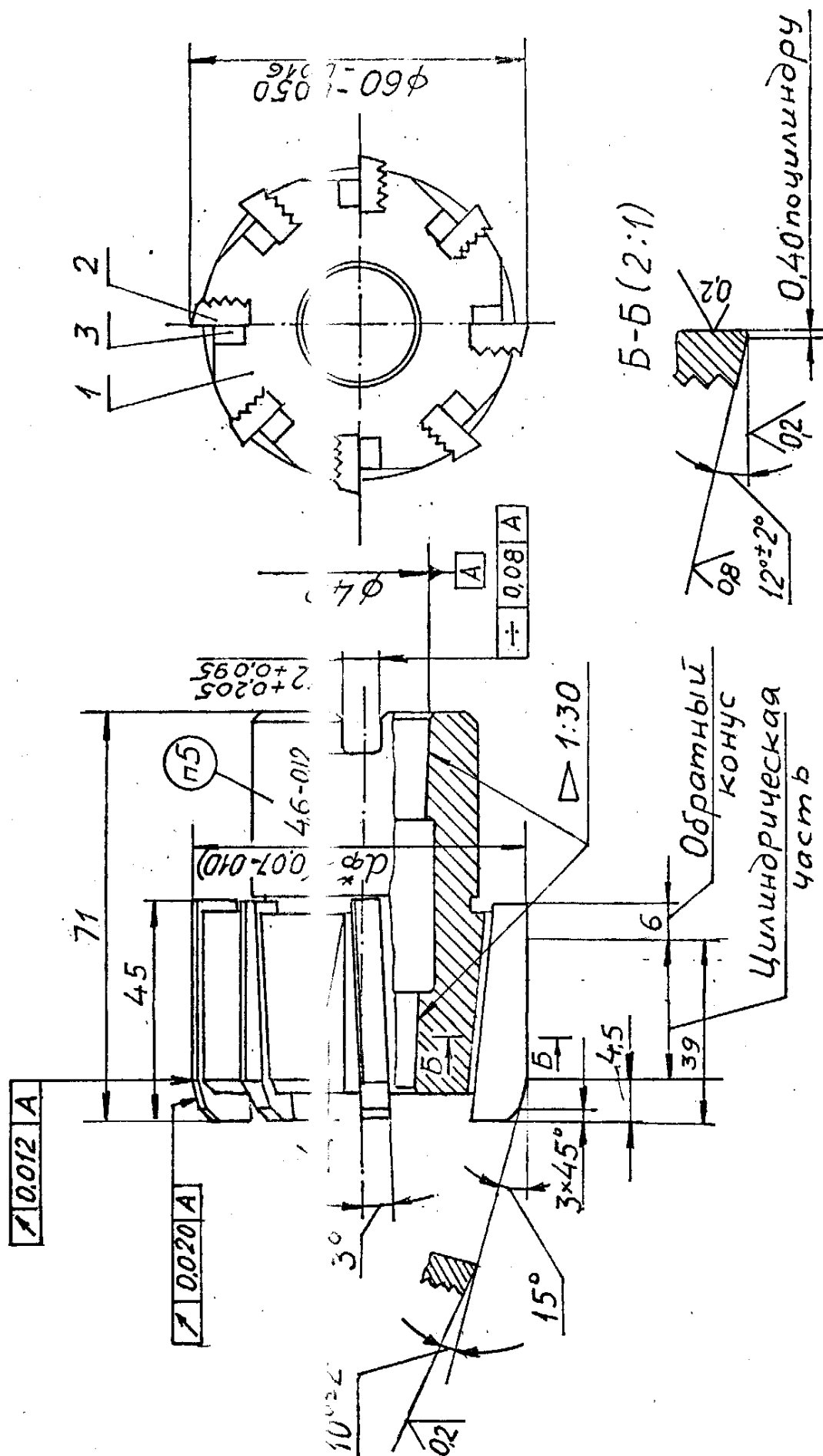
Puc. 15

Окружной шаг	27°33'	28°28'	29°34'	30°30'	31°25'	32°30'
Высота зуба $H^*_{\text{мм}}$	3,37	3,60	3,87	4,10	4,34	4,63

Рис 16

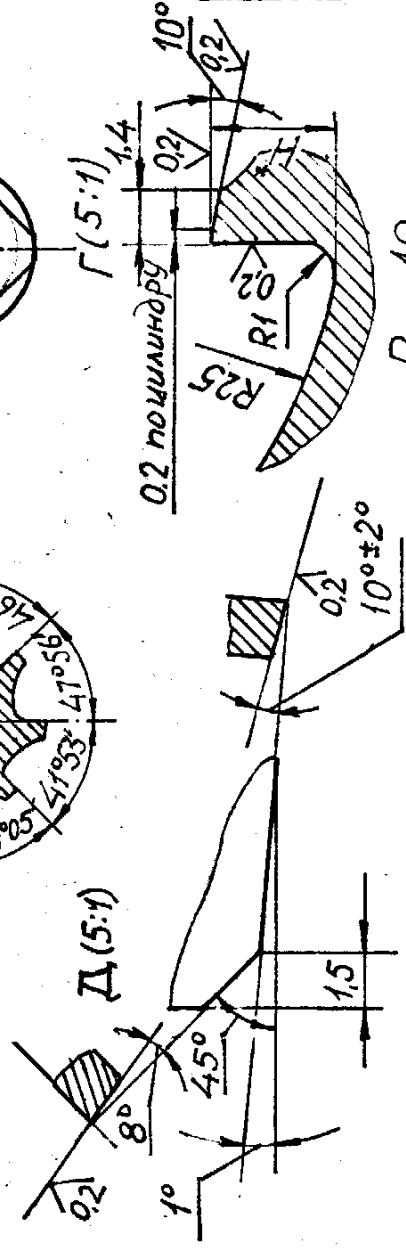
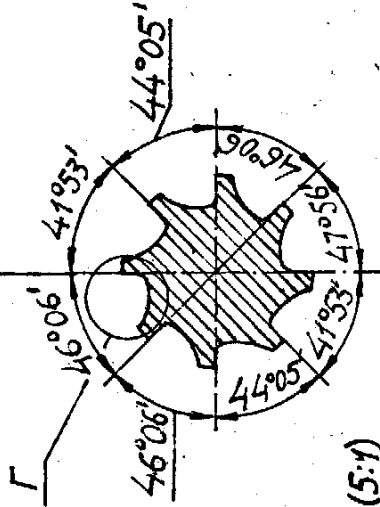
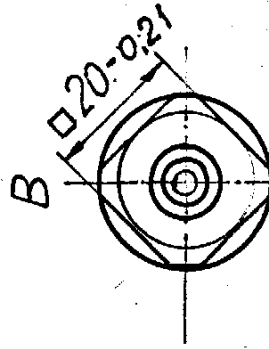
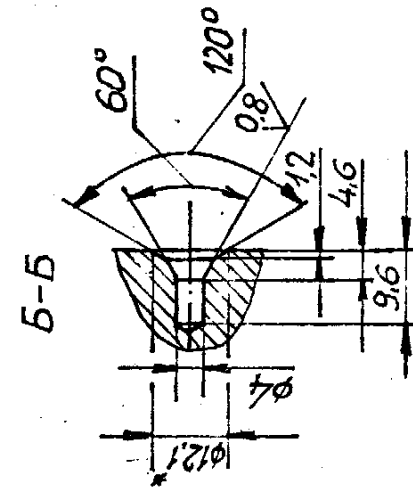
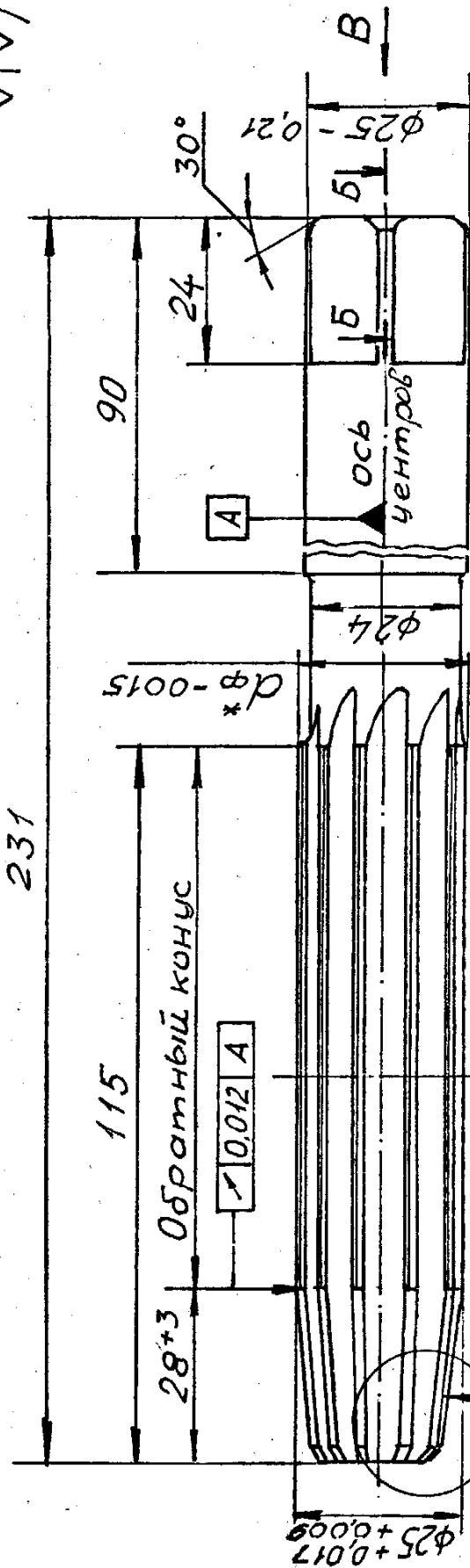






Puc. 18

3,2/√N



Окружной шаг	41°53'	44°05'	46°06'	47°56'
Высота зуба, Н, мм	2,36	2,61	2,83	2,91

Рис. 19

## Приложение 2

В приложении 2 (табл. 22...26) приведены размеры общих стандартных элементов режущих инструментов: конических наружных и внутренних базовых поверхностей, центровых отверстий, рифлений и уклонов ножей и пазов, квадратов хвостовиков.

## Приложение 3

В приложении 3 показаны примеры расчета высоты зубьев для разверток с неравномерным угловым шагом диаметром  $d=16\text{мм}$  и числом зубьев  $z=8$  с прямолинейной спинкой зуба и развертки диаметром  $d=50\text{мм}$  и  $z=12$ . Эти расчеты выполняются по зависимостям, приведенным в разделах 7 и 8.

**Пример 1.** Определить высоты зубьев машинной развертки диаметром  $d=16\text{мм}$  (ГОСТ 1672-80)

Задано:  $d=16\text{мм}$ ,  $z=8$

Из таблицы 12:

$$f_1 = 0,14d^{0,7} = 0,975$$

$$f_T = 0,04d^{0,7} = 0,279$$

$$H = 2,66$$

$$r = 0,5$$

Из алгоритма определим  $\varepsilon$ . (см. §6)

$$\tau = \frac{360^\circ}{z} = 45^\circ$$

$$\tau_f = 2 \arcsin \frac{0,975}{16} = 6,987$$

$$\tau_T = 2 \arcsin \frac{0,279}{16} = 1,994$$

$$x_0 = -r = -0,5$$

$$y_0 = 0,5d - H + r = 5,84$$

$$c = x_0 - \frac{r}{\cos \varepsilon} + y_0 \operatorname{tg} \varepsilon = 19,363$$

$$q = (C^2 + R^2) \cos^2 \varepsilon = 20,82$$

$$p = C \sin \varepsilon \cos \varepsilon = 4,84$$

$$y_5 = p + \sqrt{p^2 - q} = 6,45$$

$$\tau_5 = \arccos \left( \frac{y_5}{R} \right) = 36,27^\circ$$

$$\tau - \tau_f > \tau_5 > \tau - \tau_f - \tau_T \quad (8)$$

$$38,07 > 36,27 > 36,02$$

Неравенство (8) выполнено, при угле  $\varepsilon = 75^\circ$  точка 5 располагается в поле допуска фаски (между точками 3 и 4).

Расчет по формуле (12).

Из таблицы 13  $\tau_1 = 41,883^\circ$

$$\tau_2 = 44,083^\circ$$

$$\tau_3 = 46,01^\circ$$

$$\tau_4 = 47,56^\circ$$

$$H_1 = 0,5d \left[ 1 - \frac{\sin(\varepsilon + \tau_f + \tau_T - \tau_i)}{\sin \varepsilon} \right] - r \left( \operatorname{ctg} \frac{\varepsilon}{2} - 1 \right) =$$

$$= 8 \left[ 1 - \frac{\sin(75 + 6,987 + 1,994 - 41,883)}{\sin 75} \right] - 0,5(\operatorname{ctg} 37,5 - 1) = 2,30$$

$$H_2 = 2,54$$

аналогично  $H_3 = 2,75$

$$H_4 = 2,93$$

**Пример 2.** Определить высоту зубьев машинной насадной развертки  $d=50\text{мм}$  (ГОСТ 1672-80 2363-3551)

Задано:  $d=50\text{мм}$ ,  $z=12$

Из таблицы 12 находим  $f_1=1,88$

$$f_T=0,64$$

$$H=5,0$$

$$r=1,0$$

Этап I. Определение  $r_{f1}$  по условию минимального подреза (графически или по программе CWET)

$$\tau = \frac{360}{z} = 30^\circ$$

$$\tau_f = 2 \arcsin \frac{f_1}{d} = 4,31^\circ$$

$$\tau_T = 2 \arcsin \frac{f_T}{d} = 1,47^\circ$$

$$x_0 = -r = -1,0$$

$$y_0 = 0,5d - H + r = 21,0$$

Минимальный подрез имеет место при  $r_{f1}=15\text{мм}$

Координаты центра  $O_{f1}$  окружности радиуса  $r_{f1}$

$$y_{f1} = (r_{f1} - r) \cos 10^\circ + y_0 = 34,787\text{мм}$$

$$x_{f1} = -(r_{f1} - r) \sin 10^\circ + x_0 = -3,431\text{мм}$$

Уравнение окружности с центром  $O_f$  и радиусом  $R=0,5d$

$$(x^2 + y^2) = R^2 \quad (1)$$

Уравнение окружности с центром  $O_{f1}$  и радиусом  $r_{f1}=15\text{мм}$

$$(x - x_{f1})^2 + (y - y_{f1})^2 = r_{f1}^2 \quad (2)$$

Координаты точки 5 получим при совместном решении уравнений (1) и (2) в такой последовательности:

$$C_1 = \frac{(R^2 - r_{f1}^2 + x_{f1}^2 + y_{f1}^2)}{2y_{f1}} = 23,31$$

$$C_2 = \frac{x_{f1}}{y_{f1}} = -0,0986$$

$$A_1 = \frac{C_1 C_2}{(1 - C_2^2)} = -2,32$$

$$A_2 = \frac{(C_1^2 - r_{f1}^2)}{1 - C_2^2} = -82,45$$

$$x_5 = A_1 - \sqrt{A_1^2 - A_2} = -11,69$$

$$y_5 = C_1 - C_2 x_5 = 22,16$$

$$\tau_5 = \arccos \frac{y_5}{R} = 27,576^\circ$$

Аналогично для радиуса  $r_{f2}=20\text{мм}$  угол  $\tau_6=30,866^\circ$  и для радиуса  $r_{f3}=25\text{мм}$  угол  $\tau_7=32,005^\circ$

Оптимальный угол должен отвечать неравенству:

$$\tau - \tau_f > \tau_0 > \tau - \tau_f - \tau_T \text{ или численно } 25,96^\circ > \tau_0 > 24,22^\circ$$

Угол  $\tau_5$  наиболее соответствует к указанным пределам, поэтому остановимся на фрезе с  $r_f=15\text{мм}$

Этап II. Коррекция положения центра радиуса  $r_f=15\text{мм}$ .

Принимаем  $\Delta = -1\text{мм}$

Координаты нового центра  $O_{f1}$

$$x_f = x_{f1} + \Delta \cos 10^\circ = -2,446\text{мм}$$

$$y_f = y_{f1} + \Delta \sin 10^\circ = 34,961\text{мм}$$

Координаты точки 5 получим решая совместно уравнение двух окружностей

$$(x - x_f)^2 + (y - y_f)^2 = r_{f1}^2,$$

$$x^2 + y^2 = R^2, \text{ откуда } x_5 = 10,75$$

$$y_5 = 22,25$$

$\tau_5 = 25,47^\circ$ , т.е. точка 5 лежит в допуске на ширину фаски.

Этап III. Замена криволинейного участка спинки зуба прямолинейным (рис. \_\_,б) и определение угла  $\varepsilon_f$ .

$$\varepsilon_f = \arctg \frac{x_5 + x_0}{y_5 - y_0 + r} = 79,16^\circ$$

Этап IV. Расчет высоты зубьев  $H_i$

Из таблицы:  $\tau_1 = 27,55^\circ$

$$\tau_2 = 28,53^\circ$$

$$\tau_3 = 29,57^\circ$$

$$\tau_4 = 30,50^\circ$$

$$\tau_5 = 31,42^\circ$$

$$\tau_6 = 32,50^\circ$$

$$\begin{aligned} H_1 &= 0,5d \left[ 1 - \frac{\sin(\varepsilon_f + \tau_f + \tau_T - \tau_i)}{\sin \varepsilon} \right] - \frac{r}{\operatorname{tg} \varepsilon_i} = \\ &= 25 \left[ 1 - \frac{\sin(79,16 + 4,31^\circ + 1,47^\circ - 27,55^\circ)}{\sin 79,16} \right] - 0,19148 = 3,37 \text{ мм} \end{aligned}$$

Аналогично

$$H_2 = 3,60 \text{ мм}$$

$$H_3 = 3,87 \text{ мм}$$

$$H_4 = 4,10 \text{ мм}$$

$$H_5 = 4,34 \text{ мм}$$

$$H_6 = 4,63 \text{ мм}$$

## Приложение 4

В приложении 4 из указателя стандартов за 1996 г приведены в порядке номеров Государственные стандарты на цилиндрические развертки; исключая цилиндрические развертки для обработки мягких сплавов.

№ ГОСТ	
ГОСТ 883 – 80	Развертки машинные со вставными ножами из быстрорежущей стали. Конструкция и размеры.
ГОСТ 1523 – 81	Развертки цилиндрические. Технические требования.
ГОСТ 1672 – 80	Развертки машинные цельные. Конструкция и размеры.
ГОСТ 3509 – 71	Развертки ручные разжимные. Конструкция и размеры.
ГОСТ 5735 - 81	Развертки машинные, оснащенные твердым сплавом. Технические требования.
ГОСТ 7722 – 77	Развертки ручные цилиндрические. Конструкция и размеры.
ГОСТ 11172 – 70	Развертки машинные с удлиненной рабочей частью. Конструкция и размеры.
ГОСТ 11175 – 71	Развертки машинные, оснащенные пластинами из твердого сплава. Конструкция и размеры.
ГОСТ 11176 – 71	Развертки сборные насадные с привернутыми ножами, оснащенными пластинами из твердого сплава. Конструкция и размеры.
ГОСТ 11173 – 76	Развертки с припуском под доводку, оснащенные пластинами из твердого сплава. Допуски.
ГОСТ 13779 – 77	Развертки цилиндрические чистовые доведенные. Допуски на диаметр.
ГОСТ 16086 – 70	Развертки машинные цельные с цилиндрическим хвостовиком из твердого сплава. Типы и основные размеры.
ГОСТ 16087 – 70	Развертки машинные цельные с коническим хвостовиком из твердого сплава. Типы и основные размеры.
ГОСТ 16088 – 70	Развертки машинные цельные из твердого сплава. Технические требования.
ГОСТ 28321 – 89	Развертки машинные насадные со вставными ножами, оснащенными твердосплавными напайваемыми пластинами. Типы, параметры и размеры. – Взамен ГОСТ 11175 – 80.



**Допуски на диаметр цилиндрических разверток**

Таблица 27

Предельные отклонения диаметров чистовых разверток для отверстий полей допусков  
К7, Н7, Н8, Н9.

Номинальный диаметр разверток, мм	Отклонение	Обозначение полей допусков отверстий			
		К7	Н7	Н8	Н9
		Предельное отклонение диаметра разверток, мм			
От 1 до 3	Верхнее	-2	+8	+11	+21
	Нижнее	-6	+4	+6	+12
Св. 3 до 6	Верхнее	+1	+10	+15	+25
	Нижнее	-4	+5	+8	+14
Св. 6 до 10	Верхнее	+2	+12	+18	+30
	Нижнее	-4	+6	+10	+17
Св. 10 до 18	Верхнее	+3	+15	+22	+36
	Нижнее	-4	+8	+12	+20
Св. 18 до 30	Верхнее	+2	+17	+28	+44
	Нижнее	-6	+9	+16	+25
Св. 30 до 50	Верхнее	+3	+21	+33	+52
	Нижнее	-6	+12	+19	+30
Св. 50 до 80	Верхнее	+4	+25	+39	+62
	Нижнее	-7	+14	+22	+36
Св. 80 до 120	Верхнее	+4	+29	+45	+73
	Нижнее	-9	+16	+26	+42

Таблица 27

Предельные отклонения диаметров черновых разверток для отверстий с полем допуска U8.

Номинальный диаметр разверток, мм	Предельное отклонение диаметра разверток, мм	
	Верхнее	Нижнее
От 1 до 3	-20	-25
Св. 3 до 6	-26	-32
Св. 6 до 10	-31	-39
Св. 10 до 18	-37	-46
Св. 18 до 24	-46	-58
Св. 24 до 30	-53	-65
Св. 30 до 40	-66	-80
Св. 40 до 50	-76	-90
Св. 50 до 65	-94	-110
Св. 65 до 80	-109	-125
Св. 80 до 100	-132	-151
Св. 100 до 120	-152	-171

Примечание: предельные отклонения чистовых разверток с иными полями допусков приведены в ГОСТ 13779-77.