

И.А.ФРАЙФЕЛЬД

РАСЧЕТЫ И КОНСТРУКЦИИ
СПЕЦИАЛЬНОГО
МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

И. А. ФРАЙФЕЛЬД
кандидат технических наук, доцент

РАСЧЕТЫ И КОНСТРУКЦИИ СПЕЦИАЛЬНОГО МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

ФАСОННЫЕ РЕЗЦЫ, ФАСОННЫЕ ФРЕЗЫ, ЧЕРВЯЧНЫЕ ФРЕЗЫ
ДЛЯ ЗУБЧАТЫХ ДЕТАЛЕЙ

ВТОРОЕ ИЗДАНИЕ, СТЕРЕОТИПНОЕ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА 1959 ЛЕНИНГРАД

ПРЕДИСЛОВИЕ

Проектирование специального металлорежущего инструмента часто требует сложных и длительных расчетов, а также соблюдения определенного порядка и последовательности при их выполнении.

Поэтому осуществление указанных требований часто является доступным лишь ограниченному числу квалифицированных конструкторов-инструментальщиков. Между тем к проектированию инструмента привлечено значительное число конструкторов, большей частью имеющих опыт проектирования лишь часто применяемых на данном предприятии инструментов, но встречающих серьезные трудности при проектировании нового инструмента.

Это объясняется, с одной стороны, тем, что теоретическое обоснование расчетов часто сложно и требует длительного и систематического изучения. С другой стороны, в технической литературе, посвященной проектированию специального инструмента, расчеты загромождены текстом и математическими выводами, что затрудняет быстрое отыскание нужных формул и последовательное выполнение расчетов. Кроме того, приводится также мало специальных вспомогательных таблиц для ускоренного расчета профилей режущих инструментов.

В производственных условиях конструктору часто предоставляется очень мало времени на проектирование сложного инструмента, а несовершенство методов расчета увеличивает сроки проектирования и подготовки производства.

В настоящей работе сделана попытка упростить работу конструкторов по некоторым группам специального режущего инструмента путем приведения в книге типовых расчетов, таблиц профилей, схем и примеров расчетов. Во всех случаях повторных расчетов по одинаковым формулам схемы расчетов составлены с учетом возможности их выполнения на машино-счетных станциях.

Значительное разнообразие в способах и формулах расчета инструмента, а также в предъявляемых к ним требованиях не позволило применить единую форму расчетных бланков. Поэтому

предложены две основные формы расчетов: одна форма для случая однократного расчета размера по заданным формулам, а вторая — для случая многократного определения размеров по одинаковым формулам с одним лишь переменным параметром, например, при определении координат ряда точек профиля инструмента.

Чтобы облегчить и ускорить отыскание нужных расчетных формул, а также ввиду того, что книга в известной мере носит справочный характер, в ней не приводятся математические выводы для обоснования формул, поэтому интересующиеся ими могут пользоваться соответствующей литературой.

Следует, однако, подчеркнуть, что в книге во многих случаях не удалось сохранить вид формул, порядок расчета и обозначения величин, приведенных в основных литературных источниках.

В некоторых случаях удалось упростить вид расчетных формул, а в других — обобщить их для расчета нескольких типов инструмента.

Кроме того, приведено значительное число новых способов расчета, обоснования которых, ввиду справочного характера книги, не могли быть в ней помещены автором.

Для большей наглядности, в тех случаях, когда это оказалось возможным, формулы записаны так, что каждая из них выражает длину отрезка, обозначенного на фигуре, иллюстрирующей расчет.

Полнота освещения различных конструкций инструмента в книге не одинакова и зависит от степени освещения данного вида инструмента в литературе.

Разработанные автором и впервые опубликованные таблицы, а также новые методы расчета инструмента могут принести пользу инженерно-техническим работникам, занимающимся проектированием инструмента, облегчат и ускорят выполняемые ими расчетно-конструкторские работы.

Все замечания и пожелания читателей по книге просим направлять в адрес издательства.

Автор

Часть первая

ФАСОННЫЕ РЕЗЦЫ

В первой части приведены расчеты и конструкции основных типов фасонных резцов. Конструктивные размеры их представлены в табл. 1—4.

В табл. 1 приведены конструктивные размеры призматических резцов, а в табл. 2—4 — дисковых резцов, отличающихся между собой, главным образом, видом крепления и типом державок к станкам.

В табл. 5 приведены лишь ориентировочные значения передних и задних углов для фасонных резцов, ввиду недостаточности исследования геометрии их режущих элементов.

Для ускорения и упрощения наиболее трудоемкой конструкторской работы — расчетов профилей резцов по передней грани и в нормальном сечении были заново разработаны специальные таблицы коэффициентов, что сводит расчет к выполнению лишь двух вместо 10—15 расчетных операций для каждой точки профиля.

Анализ и сравнение формул для расчета профилей различных типов фасонных резцов и фрез показал, что формулы иногда совпадают, а в других случаях имеют много общего. Так, формулы расчета высот профиля наружных призматических и дисковых фасонных резцов по передней грани одинаковы. Так же совпадают формулы расчета высот профилей по передней грани внутренних дисковых резцов и фасонных фрез с передними углами, а также формулы расчета высоты профиля дисковых резцов в осевой плоскости и фасонных фрез в нормальном сечении. Следует заметить, что задача по определению высоты профиля наружных дисковых резцов в осевом сечении имеет много общего с определением высоты профиля фасонной фрезы или внутреннего фасон-

ного резца по передней грани. Поэтому удалось разработать одну общую расчетную табл. 7 для выполнения всех указанных выше расчетов профилей различных инструментов. Для упрощения расчетов представлена также отдельная табл. 6 для определения высоты профиля фасонных резцов по передней грани. Кроме того, таблицы могут быть использованы для частичного расчета профилей ряда специальных фасонных резцов. При расчете профилей фасонных инструментов обычно ограничиваются нахождением координат крайних и узловых точек профиля, которые определяют размеры угловых и дуговых величин резца. В простейших случаях расчет углов прямолинейных участков и радиусов дуговых участков профиля не встречает затруднений. Однако при наличии на детали различных сочетаний прямых и сопряженных дуг окружностей расчет этих величин на резце часто весьма затруднен. Поэтому в данной части книги приведены формулы для расчета типовых профилей фасонных резцов и фрез для различных видов сопряжений дуг окружностей и прямых. В тех случаях, когда профиль детали является точным, например точные сферические или конические поверхности, обрабатываемые фасонными инструментами, профиль последних задается координатами точек, которые рассчитываются по формулам для узловых точек профиля, как это приведено в примере расчета косо установленного призматического резца.

Сводки формул, порядок и примеры расчетов приведены для всех основных типов фасонных резцов, а формулы для расчетов координат точек профилей резцов — в форме последовательных элементарных расчетов отрезков, определяемых лишь одним ариф-

метическим действием. Такое применение расчетных формул удобно и позволяет вести расчет просто и быстро в виде расчетных таблиц. Чертежи фасонных резцов оформлены как типовые заводские, со всеми размерами и допусками, необходимыми для их изготовления. Лишь на специальные менее часто применяемые резцы даны дополнительно схемы их установки на станках, что обычно не указывалось в заводских чертежах.

Вопросы правильного выбора допусков на профиль фасонных

резцов и их увязки с допусками на фасонные детали в достаточной мере до настоящего времени не были изучены. Следует также отметить, что чаще всего на профиль фасонной детали допуски не указываются. Поэтому на чертежах профилей резцов проставлены допуски по опыту некоторых заводов, применяющих фасонные резцы. Опубликованные в последнее время в литературе способы расчета допусков на профиль фасонных резцов заслуживают внимания, но требуют критической оценки результатов расчета.

Глава I

КОНСТРУКТИВНЫЕ РАЗМЕРЫ ФАСОННЫХ РЕЗЦОВ

§ 1. РЕЗЦЫ ФАСОННЫЕ ПРИЗМАТИЧЕСКИЕ

Конструктивные размеры фасонных резцов принято выбирать в зависимости от наибольшей глубины профиля $t_{\text{макс}}$ обрабатываемой фасонной детали.

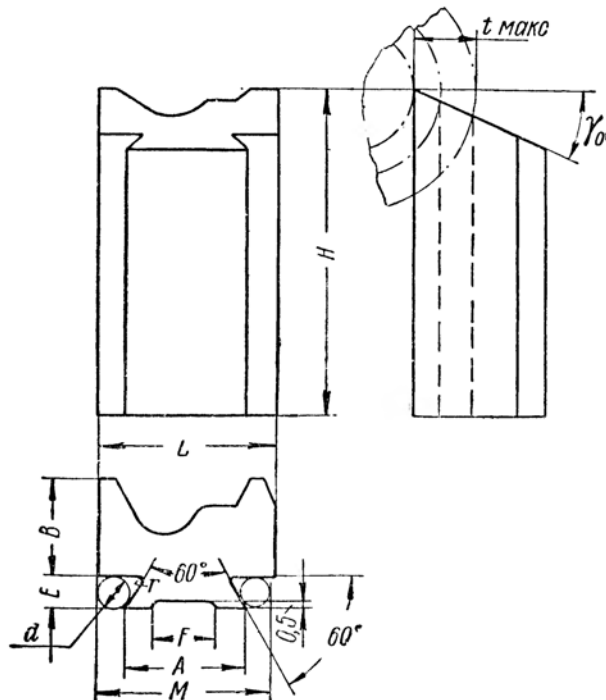


Таблица 1

РЕЗЦЫ ФАСОННЫЕ ПРИЗМАТИЧЕСКИЕ, в мм

Глубина профиля изделия $t_{\text{макс}}$	Размеры резца						Размеры хвостовиков в зависимости от диаметра ролика			
	B	H	E	A	F	r	d	M	d	M
До 4	9	75	4	15	7	0,5	4	21,21	3	18,577
До 6	14	75	6	20	10	0,5	6	29,46	4	24,000
До 10	19	75	6	25	15	0,5	6	34,46		29,000
До 14	25	90	10	30	20	1	10	45,77	6	34,846
До 20	35	90	10	40	25	1	10	55,77	6	44,846
До 28	45	100	15	60	40	1	15	83,66	8	64,536

Примечания:

1. Допускается применение табличных значений размеров резца для меньших значений $t_{\text{макс}}$ (наибольшей глубины профиля детали). Например, для детали с глубиной профиля $t = 7$ мм можно принять габаритные размеры резца по таблице для $t_{\text{макс}}$ до 14 мм.

2. $\gamma_0 = \gamma + \alpha$, где γ — передний угол; α — задний угол резца, выбираемые по табл. 5.

3. При ширине резца L , превышающей $2,5A$, допускается применение хвостовиков большего размера резца по данной таблице.

4. При отсутствии диаметров d роликов, приведенных в таблице, пользуются наличными роликами и размер M рассчитывается по формуле:

$$M = A + d \left(1 + \operatorname{ctg} \frac{\lambda}{2} \right) - 2E \operatorname{ctg} \lambda,$$

где $\lambda = 60^\circ$ по данному чертежу.

Глубина профиля детали представляет собой полуразность диаметров, а именно:

$$t_{\max} = \frac{d_{\max} - d_{\min}}{2} \text{ мм},$$

где $d_{\max}$ и $d_{\min}$ — наибольший и наименьший диаметры точек профиля фасонной поверхности.

Призматические фасонные резцы, как и другие фасонные инструменты, чаще всего изготавливаются из быстрорежущей стали, ввиду значительной стоимости их производства и необходимости обеспечения высокой стойкости резцов. Для экономии быстрорежущей стали они часто выполняются сварными. Режущая часть приваривается в стык или в прямоугольное гнездо стержня из углеродистой или слаболегированной стали, как это выполнено на резцах, приведенных на фиг. 21 и 31. Формы и размеры быстрорежущей части резца зависят от способов сварки и размеров профиля и поэтому в табл. 1 даны лишь конструктивные размеры цельных призматических фасонных резцов. Резцы призматические с пластинками твердых сплавов применяются относительно редко ввиду значительной трудности шлифования их профиля.

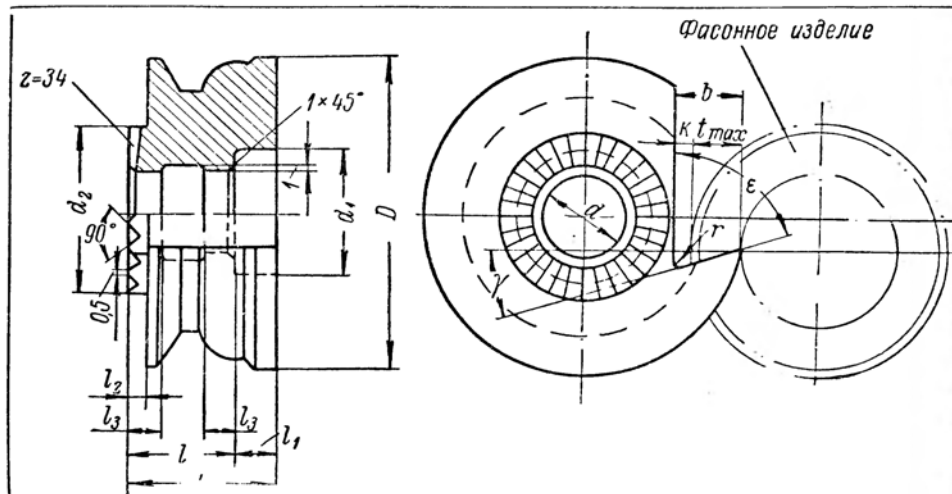
В табл. 1 приводятся конструктивные размеры призматических фасонных резцов.

§ 2. РЕЗЦЫ ФАСОННЫЕ ДИСКОВЫЕ

[4, стр. 53], [6, стр. 54], [16, стр. 51]

Дисковые фасонные резцы, являясь менее жесткими по способу крепления, обычно применяются для обработки изделий с меньшими глубинами профиля, чем призматические фасонные резцы. Дисковые резцы проще в изготовлении и допускают большее число переточек. Они, как правило, изготавливаются цельными из быстрорежущей стали. Для крепления к державкам дисковые резцы выполняются с цилиндрическим, резьбовым или, редко, с коническим отверстием. Дисковые резцы изготавливаются с торцевыми зубчиками или с дополнительными отверстиями, с помощью которых они предохраняются от проворачивания. Дисковые резцы малых диаметров и ширины имеют гладкие торцевые плоскости и удерживаются от проворачивания трением. В табл. 2—4 приводятся конструктивные размеры дисковых фасонных резцов.

РЕЗЦЫ ФАСОННЫЕ ДИСКОВЫЕ С ТОРЦЕВЫМИ РИФЛЯМИ, в мм



Глубина профиля изделия $t_{\max}$	Размеры резца						Размеры рифлей	
	$D (C_5)$	$d (A_3)$	d_1	$b_{\max}$	k	r	d_2	l_2
До 4	30	10	16	7	3	1	—	—
До 6	40	13	20	10	3	1	20	3
До 8	50	16	25	12	4	1	26	3
До 10	60	16	25	14	4	2	32	3
До 12	70	22	34	17	5	2	35	4
До 15	80	22	34	20	5	2	40	4
До 18	90	22	34	23	5	2	45	5
До 21	100	27	40	26	5	2	50	5

Примечания:

1. Допускается применение табличных значений наружных диаметров D для меньших значений $t_{\max}$.

2. Длина l_1 выточки под головку винта выбирается в зависимости от длины изделия в пределах

$$l_1 = \left(\frac{1}{4} \div \frac{1}{2} \right) L.$$

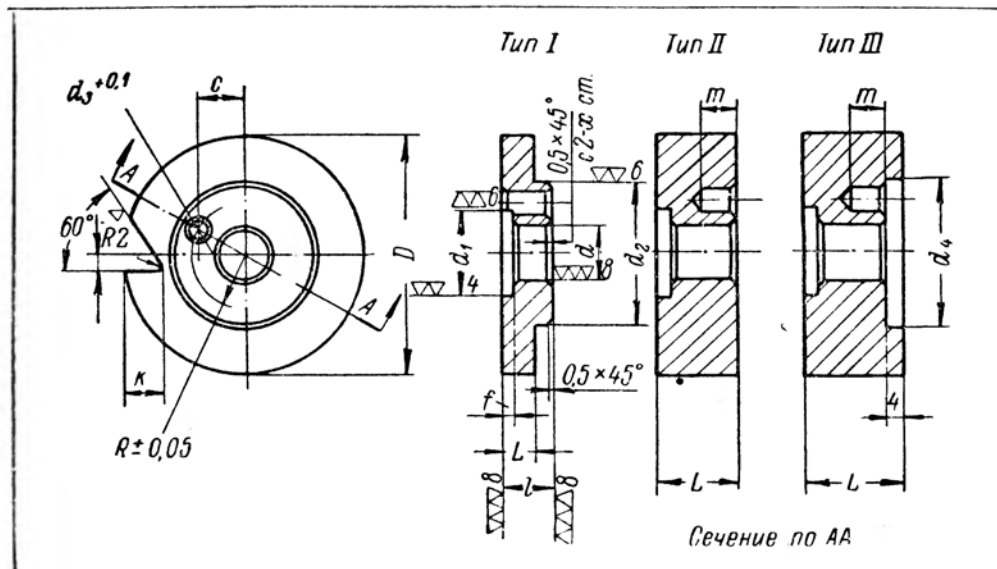
3. Для отверстий длиной $l > 15$ мм длина шлифованных поясков берется $l_3 = 1/4l$.

4. В табл. 2 приведена наибольшая величина $b_{\max}$ для наибольшей допустимой глубины профиля изделия $t_{\max}$. Для меньших значений $t_{\max}$ b определяется по формуле $b = t_{\max} + k$ и округляется до чисел, кратных 0,5 мм. Для внутренних резцов значение k берется несколько меньше табличного значения.

5. Значение угла $\epsilon = 80^\circ$ для резцов с передним углом γ до 15° , и $\epsilon = 70^\circ$ для $\gamma = 15 \div 25^\circ$.

Таблица 3

РЕЗЦЫ ФАСОННЫЕ ДИСКОВЫЕ, АВТОМАТНЫЕ, В ММ



Сечение по AA

Глубина профиля изделия $t_{\max}$	Тип	Размеры резца						Отверстие под палец			l	k	d_4	m	Модель станка	
		L	D	d (A_3)	d_1	d_2	f	d_3 (A_5)	R	c						
До 6	I	до 6	45	10	15	Пере- мен- ный	2,5	4,1	9	8	$\frac{6}{-}$	9	—	—	Бр. Шарп	
	II	св. 6														$\frac{6}{-}$
До 8	I	до 10	52	12	19	32	4	6,2	11	10	$\frac{10}{-}$	10	—	$\frac{-}{8}$	1112	
	II	$10 \div 12$														$\frac{-}{29}$
	—	св. 20													$\frac{-}{29}$	
До 11	I	до 10	68	16	23	42	4	8,2	14	13	$\frac{10}{-}$	13	—	$\frac{-}{8}$	1124	
	II	$10 \div 20$														37
	III	св. 20													1152 „ин- декс 36“	

§ 3. ПЕРЕДНИЕ И ЗАДНИЕ УГЛЫ ФАСОННЫХ РЕЗЦОВ

[2, стр. 48 и 50], [6, стр. 8]

Передние и задние углы для фасонных резцов из быстрорежущей или легированной инструментальной стали задаются в зависимости от обрабатываемого металла и толщины среза—величины подачи. Вследствие того, что фасонные резцы работают с тонкими стружками, задние углы следует задавать большей величины $10\text{--}12^\circ$, что будет способствовать увеличению стойкости резцов. Однако, ввиду отсутствия достаточных экспериментальных данных по оптимальной геометрии фасонных резцов, рекомендуемые в табл. 5 значения углов следует рассматривать как ориентировочные.

Таблица 5

ПЕРЕДНИЕ И ЗАДНИЕ УГЛЫ ФАСОННЫХ РЕЗЦОВ

Обрабатываемый материал	Механические свойства обрабатываемого материала				Передний угол γ°	Задний угол α°
	σ_B в кг/мм ²		H_B			
	свыше	до	свыше	до		
Красная медь, алюминий . .	—	—	—	—	20—25	8—15
Сталь	—	50	—	150	25	
Сталь	50	80	150	235	20—25	
Сталь	80	100	235	290	12—20	
Сталь	100	120	290	350	8—12	
Бронза, свинцовая латунь .	—	—	—	—	0—5	
Чугун	—	—	—	150	15	
Чугун	—	—	150	200	12	
Чугун	—	—	200	250	8	

Примечания:

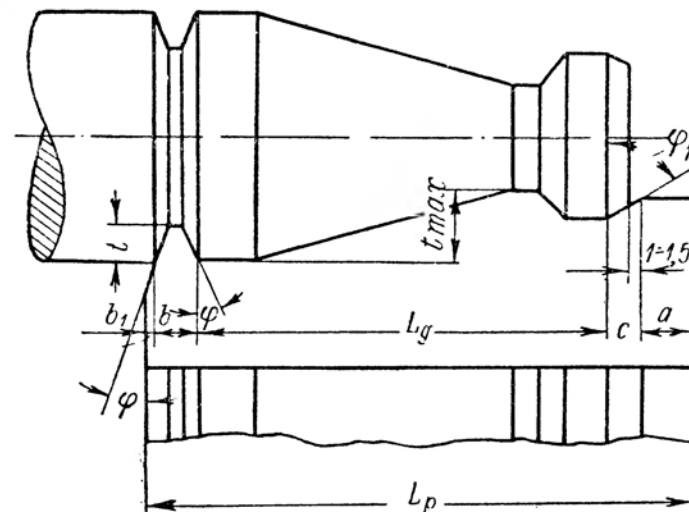
1. Углы α и γ рекомендуется округлять до целых чисел градусов и значений, позволяющих пользоваться табл. 6 и 7 коэффициентом расчета высот профилей резцов, без применения табличных поправок.

2. Передние и задние углы по табл. 5 задаются в плоскости, перпендикулярной оси обрабатываемой фасонной детали.

§ 4. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ РЕЖУЩИЕ КРОМКИ ФАСОННЫХ РЕЗЦОВ

В данном параграфе рассматриваются режущие кромки фасонного резца, осуществляющие подрезку торцевых участков профиля, обработку прямоугольных канавок и фасок изделия.

На фиг. 1 показаны способы оформления режущих кромок крайних участков фасонного резца, производящих обработку фаски и кольцевой канавки под отрезной резец.



Фиг. 1. Дополнительные режущие кромки фасонных резцов.

Размеры режущих кромок выбираются согласно следующим рекомендациям:

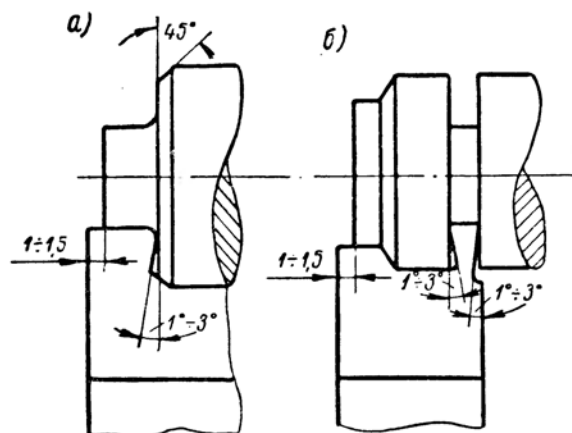
- a — ширина дополнительного упрочняющего лезвия 2—5 мм;
- c — ширина концевой лезвия под подрезку детали 1—3 мм.
- При обработке фаски размер c берется по ширине фаски с перекрытием в 1—1,5 мм;
- ϕ_1 — угол концевой лезвия $15\text{--}20^\circ$, а для снятия фасок $\phi_1 = 30\text{--}45^\circ$;
- t — высота лезвия под отрезку; не должна быть больше наибольшей высоты профиля детали, т. е. $t \leq t_{\max}$;
- b — ширина лезвия под отрезку — должна быть несколько больше или равна ширине режущей кромки отрезного резца;
- b_1 — перекрытие берется равным 0,5—1 мм;
- ϕ — угол лезвия 15° .

Общая длина резца вдоль оси детали определяется по формуле:

$$L_p = L_g + a + c + b + b_1,$$

где L_g — длина фасонной детали (фиг. 1).

На фиг. 2, 3 и 4 приведены способы оформления режущих кромок для обработки торцевых плоскостей и канавок у обычно устанавливаемых резцов.



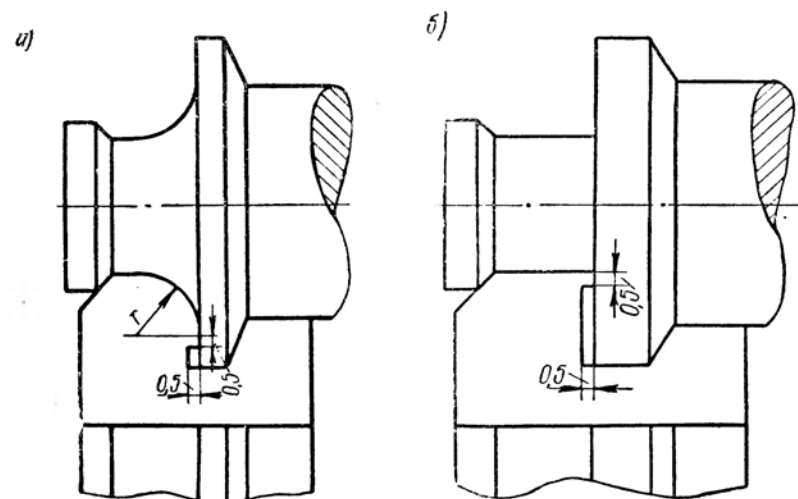
Фиг. 2. Боковое поднутрение резцов.

Предлагаемые виды бокового поднутрения и круговых выточек рекомендуются для случая наличия на фасонной детали торцевых плоскостей или участков с касательной к профилю, перпендикулярных оси детали (фиг. 3).

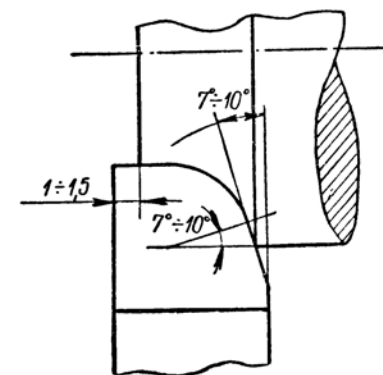
Данные виды поднутрения и выточек применяются лишь на обычно устанавливаемых резцах, т. е. с осью или базовой линией, параллельной оси детали, и только в тех случаях, когда косо устанавливаемые или наклонные резцы применять невозможно или затруднительно.

На фиг. 2, а и б изображено боковое поднутрение для случая обработки торцевой плоскости и образования канавки.

На фиг. 3, а и б изображены круговые выточки на резцах при обработке торцевой плоскости, а также торцевой плоскости, сопряженной с окружностью.



Фиг. 3. Круговые выточки на резцах.



Фиг. 4. Оформление конечного участка дугового профиля резца.

В том случае, если деталь имеет участки профиля, касательные к которым перпендикулярны оси детали, рекомендуется заканчивать участок профиля резца по прямой, касательной к профилю под углом $\varphi = 7 - 10^\circ$. При этом обеспечивается задний угол в нормальном сечении $2^\circ - 2^\circ 30'$ (фиг. 4).

РАСЧЕТ ПРОФИЛЯ ФАСОННЫХ РЕЗЦОВ

§ 5. РАСЧЕТ ВЫСОТ ПРОФИЛЯ РЕЗЦА В ПЛОСКОСТИ ПЕРЕДНЕЙ ГРАНИ

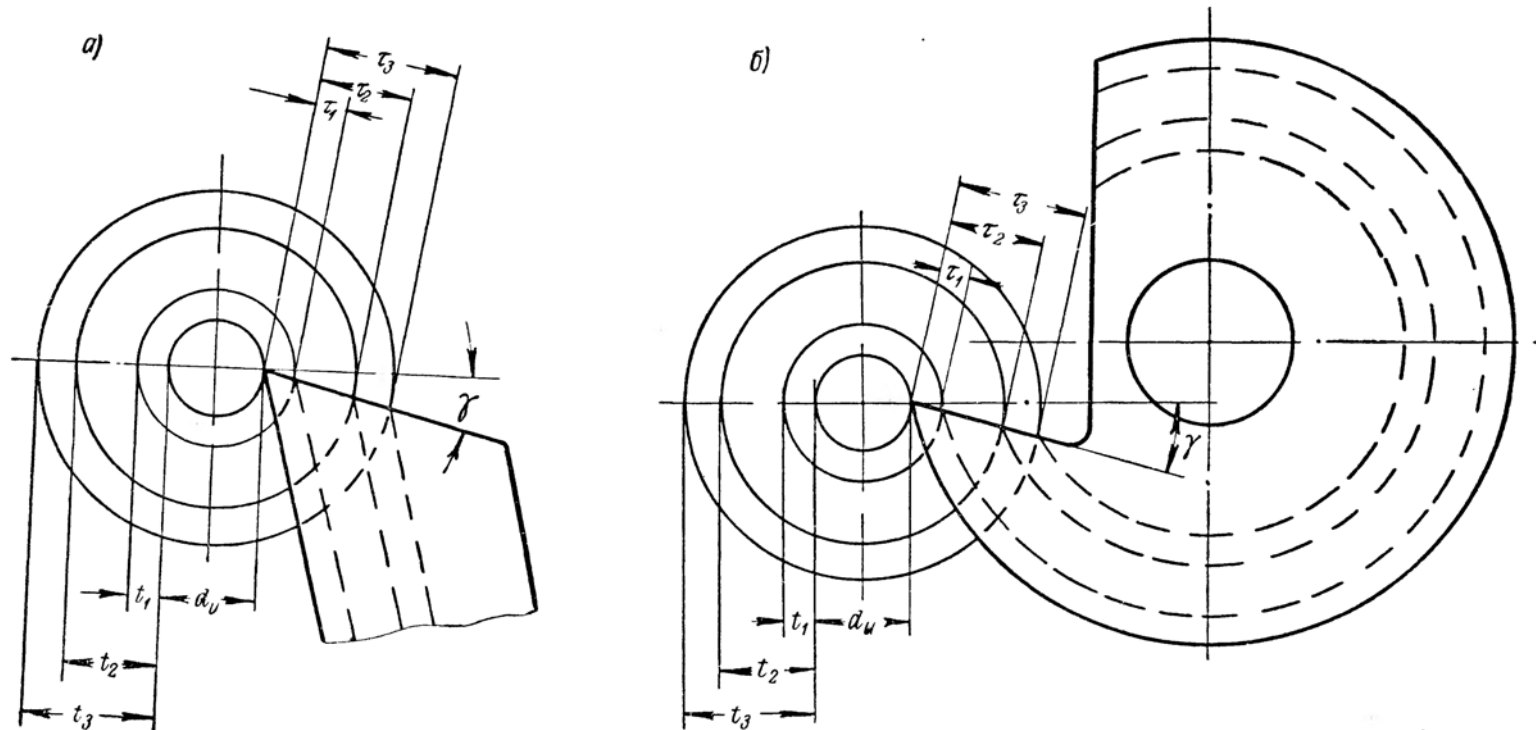
Определение высот профиля по передней грани у призматических, наружных дисковых и стержневых фасонных резцов может быть просто и быстро произведено при помощи табл. 6.

τ_i — соответственная высота профиля резца в плоскости передней грани;

d_u — наименьший диаметр фасонного изделия;

γ — передний угол фасонного резца.

Неточность расчета высоты профиля резца по табл. 6 не превышает $\Delta\tau \leq 0,00025 t$.



Фиг. 5. Расчет коэффициентов высот профиля резца по передней грани.

Табличные коэффициенты K_τ (высоты профиля резца по передней грани) и K_u (высоты профиля изделия) определены по формулам:

$$K_\tau = \frac{\tau_i}{t_i}$$

$$K_u = \frac{d_u}{t_i} = \frac{K_\tau^2 - 1}{1 - K_\tau \cos \gamma},$$

t_i — высота профиля детали в осевой плоскости для рассматриваемой точки профиля (фиг. 5, а и б);

В том случае, если $d_u = 0$ или $\gamma = 0$, высоты профиля изделия в осевой плоскости и резца по передней грани равны между собой ($\tau = t$), то высота переносится с профиля изделия на профиль передней грани резца без изменения.

Отсчет высоты профиля детали в осевой плоскости производится для любой ступени от наименьшего или так называемого базового диаметра детали, а на передней грани — от вершины резца (фиг. 5, а и б).

Размеры профиля резца, параллельные оси детали у обычно устанавливаемых резцов, переносятся с профиля изделия на профиль резца без изменения.

Таблица 6

**КОЭФФИЦИЕНТЫ ВЫСОТ ПРОФИЛЕЙ ФАСОННЫХ РЕЗЦОВ
В ПЛОСКОСТИ ПЕРЕДНЕЙ ГРАНИ**

K_τ	K_H при γ						
	5°	8°	10°	12°	15°	20°	25°
1,0000	0	0	0	0	0	0	0
1,0005	0,303	0,108	0,068	0,047	0,030	0,017	0,011
1,0010	0,712	0,229	0,141	0,096	0,060	0,034	0,022
1,0015	1,299	0,364	0,219	0,147	0,092	0,051	0,033
1,0020	2,209	0,517	0,303	0,201	0,125	0,069	0,044
1,0025	3,808	0,690	0,393	0,258	0,158	0,086	0,055
1,0030	7,360	0,889	0,491	0,318	0,193	0,104	0,066
1,0035	22,030	1,135	0,597	0,380	0,228	0,123	0,077
1,0040	∞	1,389	0,712	0,447	0,265	0,142	0,089
1,0045		1,710	0,838	0,517	0,308	0,161	0,101
1,0050		2,097	0,976	0,591	0,343	0,180	0,112
1,0055		2,574	1,128	0,670	0,383	0,200	0,124
1,0060		3,175	1,296	0,753	0,426	0,220	0,136
1,0065		3,958	1,484	0,842	0,469	0,241	0,149
1,0070		5,017	1,693	0,936	0,514	0,262	0,161
1,0075		6,532	1,929	1,037	0,561	0,283	0,173
1,0080		8,876	2,196	1,145	0,610	0,304	0,186
1,0085		12,985	2,503	1,261	0,660	0,326	0,198
1,0090		22,061	2,857	1,386	0,712	0,349	0,211
1,0095		58,838	3,271	1,510	0,767	0,372	0,224
1,0100		∞	3,761	1,665	0,823	0,395	0,237
1,0105			4,351	1,823	0,882	0,418	0,251
1,0110			5,075	1,994	0,943	0,443	0,264
1,0115			5,982	2,182	1,007	0,467	0,278
1,0120			7,155	2,387	1,074	0,492	0,292
1,0125			8,729	2,614	1,144	0,518	0,305
1,0130			10,952	2,864	1,216	0,544	0,319
1,0135			14,329	3,144	1,292	0,571	0,334

Продолжение табл. 6

K_τ	K_H при γ						
	5°	8°	10°	12°	15°	20°	25°
1,0140			20,073	3,456	1,372	0,598	0,348
1,0145			32,020	3,809	1,456	0,626	0,363
1,0150			71,984	4,210	1,543	0,654	0,377
1,0155			∞	4,669	1,635	0,683	0,392
1,0160				5,201	1,732	0,713	0,407
1,0165				5,822	1,835	0,743	0,423
1,0170				6,564	1,942	0,773	0,438
1,0175				7,457	2,056	0,805	0,454
1,0180				8,556	2,177	0,837	0,469
1,0185				9,941	2,304	0,870	0,485
1,0190				11,741	2,440	0,904	0,502
1,0195				14,175	2,584	0,938	0,518
1,0200				17,649	2,738	0,973	0,535
1,0205				23,011	2,902	1,009	0,551
1,0210				31,613	3,078	1,046	0,568
1,0215				52,887	3,266	1,084	0,586
1,0220				133,690	3,469	1,122	0,603
1,0225				∞	3,687	1,162	0,621
1,0230					3,924	1,202	0,639
1,0235					4,180	1,244	0,657
1,0240					4,460	1,287	0,675
1,0245					4,765	1,330	0,694
1,0250					5,100	1,375	0,713
1,0255					5,470	1,421	0,732
1,0260					5,879	1,468	0,751
1,0265					6,335	1,519	0,771
1,0270					6,846	1,567	0,791
1,0275					7,423	1,618	0,811
1,0280					8,079	1,670	0,831
1,0285					8,833	1,724	0,852

Продолжение табл. 6

K_τ	K_u при γ			K_τ	K_u при γ	
	15°	20°	25°		20°	25°
1,0290	9,706	1,780	0,873	1,0440	4,743	1,671
1,0295	10,731	1,837	0,894	1,0445	4,920	1,705
1,0300	11,950	1,896	0,916	1,0450	5,107	1,739
1,0305	13,424	1,957	0,938	1,0455	5,303	1,774
1,0310	15,244	2,019	0,960	1,0460	5,500	1,810
1,0315	17,545	2,084	0,982	1,0465	5,729	1,846
1,0320	20,549	2,151	1,005	1,0470	5,960	1,883
1,0325	24,635	2,219	1,028	1,0475	6,206	1,921
1,0330	30,517	2,290	1,050	1,0480	6,467	1,959
1,0335	39,710	2,363	1,076	1,0485	6,744	1,998
1,0340	56,109	2,439	1,100	1,0490	7,040	2,037
1,0345	93,643	2,517	1,124	1,0495	7,356	2,078
1,0350	267,170	2,598	1,149	1,0500	7,694	2,119
1,0355	∞	2,682	1,175	1,0505	8,057	2,161
1,0360		2,768	1,200	1,0510	8,447	2,204
1,0365		2,858	1,226	1,0515	8,869	2,247
1,0370		2,951	1,253	1,0520	9,325	2,292
1,0375		3,048	1,280	1,0525	9,820	2,337
1,0380		3,148	1,307	1,0530	10,360	2,383
1,0385		3,253	1,335	1,0535	10,986	2,430
1,0390		3,361	1,363	1,0540	11,598	2,479
1,0395		3,474	1,392	1,0545	12,313	2,528
1,0400		3,592	1,421	1,0550	13,103	2,578
1,0405		3,719	1,450	1,0555	13,991	2,629
1,0410		3,842	1,480	1,0560	14,983	2,681
1,0415		3,975	1,511	1,0565	16,106	2,735
1,0420		4,115	1,542	1,0570	17,384	2,789
1,0425		4,262	1,573	1,0575	18,855	2,845
1,0430		4,415	1,605	1,0580	20,563	2,902
1,0435		4,575	1,638	1,0585	22,572	2,961

Продолжение табл. 6

K_τ	K_u при γ		K_τ	K_u при γ	K_τ	K_u при γ
	20°	25°		25°		25°
1,0590	24,901	3,012	1,0740	5,764	1,0890	14,268
1,0595	27,880	3,082	1,0745	5,905	1,0895	14,869
1,0600	31,487	3,144	1,0750	6,051	1,0900	15,514
1,0605	36,075	3,208	1,0755	6,202	1,0905	16,210
1,0610	42,107	3,273	1,0760	6,359	1,0910	16,962
1,0615	50,393	3,340	1,0765	6,521	1,0915	17,778
1,0620	62,484	3,400	1,0770	6,690	1,0920	18,665
1,0625	81,783	3,480	1,0775	6,865	1,0925	19,633
1,0630	117,48	3,552	1,0780	7,047	1,0930	20,696
1,0635	205,86	3,626	1,0785	7,237	1,0935	21,865
1,0640	792,66	3,701	1,0790	7,434	1,0940	23,160
1,0645	∞	3,779	1,0795	7,639	1,0945	24,600
1,0650		3,859	1,0800	7,854	1,0950	26,213
1,0655		3,941	1,0805	8,078	1,0955	28,030
1,0660		4,025	1,0810	8,311	1,0960	30,093
1,0665		4,112	1,0815	8,556	1,0965	32,457
1,0670		4,201	1,0820	8,812	1,0970	35,191
1,0675		4,292	1,0825	9,080	1,0975	38,391
1,0680		4,386	1,0830	9,361	1,0980	42,185
1,0685		4,483	1,0835	9,657	1,0985	46,758
1,0690		4,582	1,0840	9,968	1,0990	52,376
1,0695		4,685	1,0845	10,295	1,0995	59,442
1,0700		4,790	1,0850	10,640	1,1000	68,600
1,0705		4,898	1,0855	11,005	1,1005	80,942
1,0710		5,011	1,0860	11,391	1,1010	98,474
1,0715		5,127	1,0865	11,799	1,1015	125,343
1,0720		5,246	1,0870	12,232	1,1020	171,718
1,0725		5,369	1,0875	12,693	1,1025	270,930
1,0730		5,497	1,0880	13,184	1,1030	632,848
1,0735		5,628	1,0885	13,708	1,1035	∞

А. Правила пользования табл. 6 для расчета профиля

1. По заданному профилю детали и значениям d_u — наименьшего диаметра детали, t_1 , t_2 , t_3 и т. д. — высот профиля детали (фиг. 5, а и б) рассчитываются отношения: $\frac{d_u}{t_1}$; $\frac{d_u}{t_2}$; $\frac{d_u}{t_3}$ и т. д. При этом расчет данных отношений может ограничиваться первыми тремя знаками после запятой.

2. Для заданного значения переднего угла γ по табл. 6 находят по рассчитанным отношениям ближайшие значения коэффициентов K_u .

3. По значению K_u берется по таблице соответствующее значение коэффициента K_τ .

4. По значениям $K_{\tau 1}$, $K_{\tau 2}$ и т. д. определяются высоты профиля резца по передней грани (фиг. 5, а и б) по формулам:

$$\tau_1 = t_1 K_{\tau 1}; \quad \tau_2 = t_2 K_{\tau 2} \text{ и т. д.}$$

Б. Пример расчета высоты профиля резца по передней грани

1. Дано: $d_u = 32$ мм, $\gamma = 12^\circ$, $t_1 = 5$ мм, $t_2 = 7,5$ мм, $t_3 = 14,09$ мм.

2. Определяем: $\frac{d_u}{t_1} = \frac{32}{5} = 6,4$; $\frac{d_u}{t_2} = \frac{32}{7,5} = 4,22$; $\frac{d_u}{t_3} = \frac{32}{14,09} = 2,27$.

3) По ближайшим значениям K_u таблицы при $\gamma = 12^\circ$ находим значения K_τ ; именно:

$$\begin{aligned} \text{для } K_{u1} &= 6,564 & K_{\tau 1} &= 1,017; \\ \text{„ } K_{u2} &= 4,210 & K_{\tau 2} &= 1,015; \\ \text{„ } K_{u3} &= 2,182 & K_{\tau 3} &= 1,0115. \end{aligned}$$

4) Рассчитываем высоты профиля резца по передней грани:

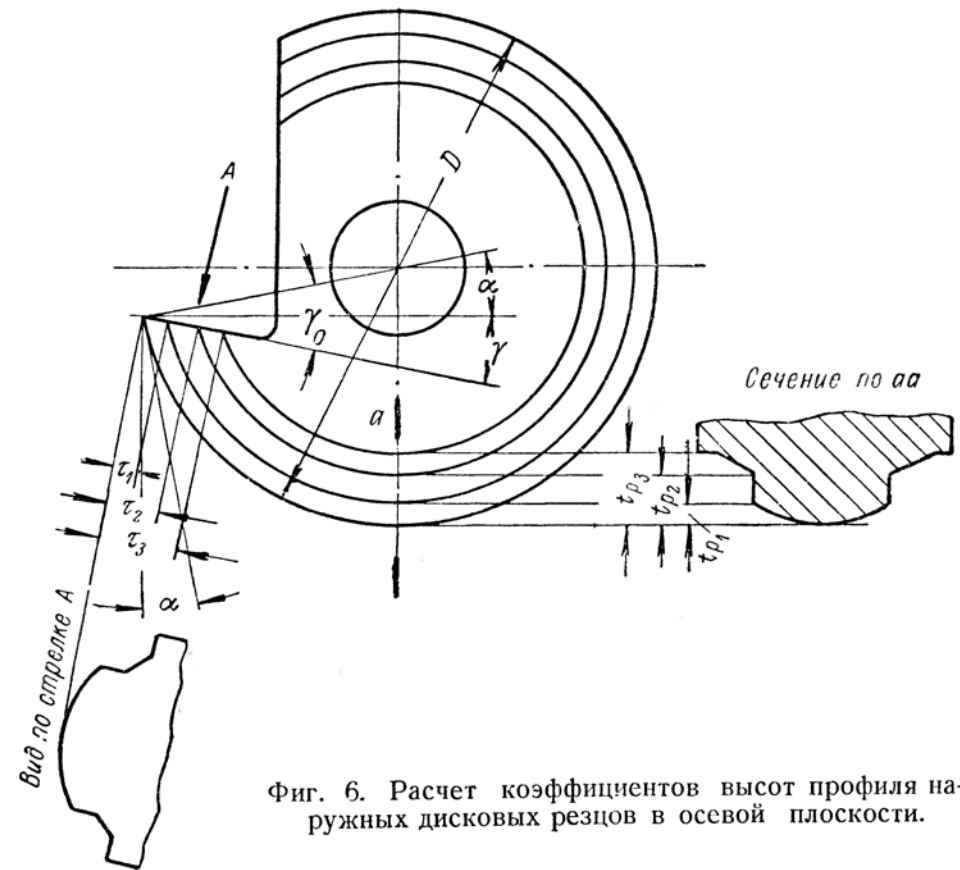
$$\begin{aligned} \tau_1 &= t_1 K_{\tau 1} = 5 \cdot 1,017 = 5,085 \text{ мм}; \\ \tau_2 &= t_2 K_{\tau 2} = 7,5 \cdot 1,015 = 7,613 \text{ мм}; \\ \tau_3 &= t_3 K_{\tau 3} = 14,09 \cdot 1,0115 = 14,25 \text{ мм}. \end{aligned}$$

§ 6. РАСЧЕТ ВЫСОТ ПРОФИЛЯ ДИСКОВЫХ РЕЗЦОВ В ОСЕВОЙ ПЛОСКОСТИ

Для расчета высоты t_p профиля дисковых фасонных резцов в осевой плоскости при известной высоте τ профиля по передней грани (фиг. 6) следует пользоваться табл. 7. Эта же таблица позволяет рассчитывать высоты τ профиля фасонных фрез с передним углом (положительным или отрицательным) по передней грани (фиг. 8) и высоты t_ϕ профиля фрезы в нормальной плоскости к затылочной поверхности (фиг. 9), которые нужно знать для профилирования затыловочных шлифовальных кругов. Кроме того,

табл. 7 дает возможность определить также высоты τ профиля внутренних дисковых резцов (фиг. 7) по передней грани и высоты t_p в осевом сечении.

Следует иметь в виду, что для расчета профилей дисковых резцов в осевом сечении и фасонных фрез в нормальном сечении



Фиг. 6. Расчет коэффициентов высот профиля наружных дисковых резцов в осевой плоскости.

в табл. 7 угол $\gamma_0 = \alpha + \gamma$ (фиг. 6 и 9), где α — задний угол, а γ — передний угол. Для расчета же высот профиля фасонных фрез (с положительным или отрицательным передним углом) и внутренних дисковых резцов в плоскости передней грани γ_0 по табл. 7 соответствует лишь переднему углу γ фрезы или резца.

Коэффициенты табл. 7 определяются отношениями

$$K_t = \frac{t}{\tau}; \quad K_p = \frac{\tau}{D}; \quad K_\phi = \frac{t}{D},$$

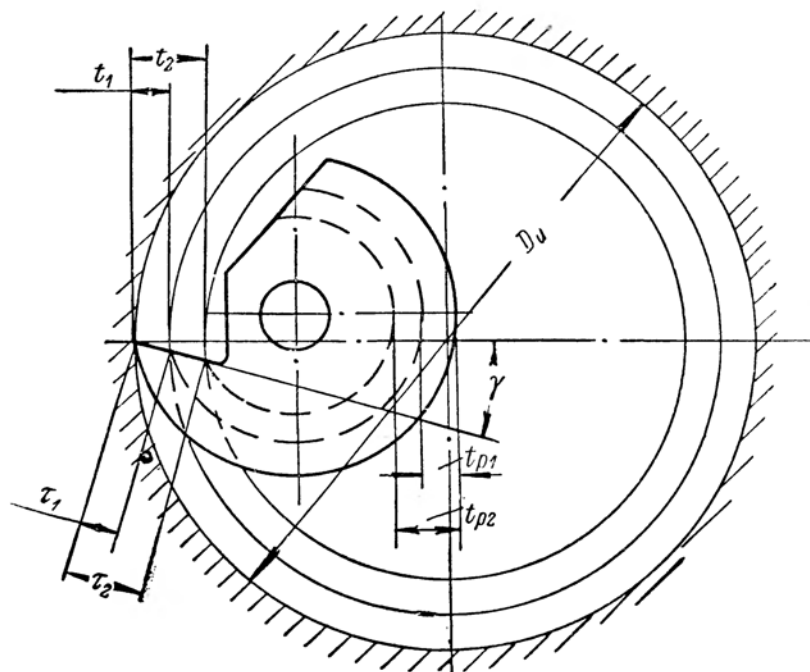
где t — высота профиля резца в осевой плоскости (фиг. 6) или высота профиля фасонного изделия при расчете профиля фасонной фрезы и внутреннего дискового резца по передней грани (фиг. 7 и 8), а также высота профиля фрезы в нормальном сечении (фиг. 9);

τ — высота профиля резца или фрезы по передним граням;
 D — наружный диаметр дискового резца или фрезы, а также
 наибольший диаметр внутренней фасонной детали.

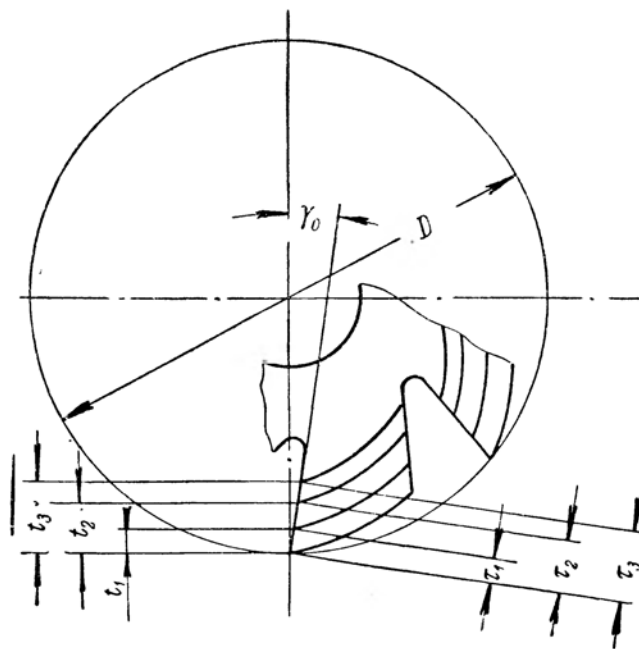
Индекс p при t , τ и D обозначает размер резца, индекс u —
 размер изделия, а индекс ϕ — размер фрезы.

Коэффициенты K_p и K_ϕ рассчитаны по формулам:

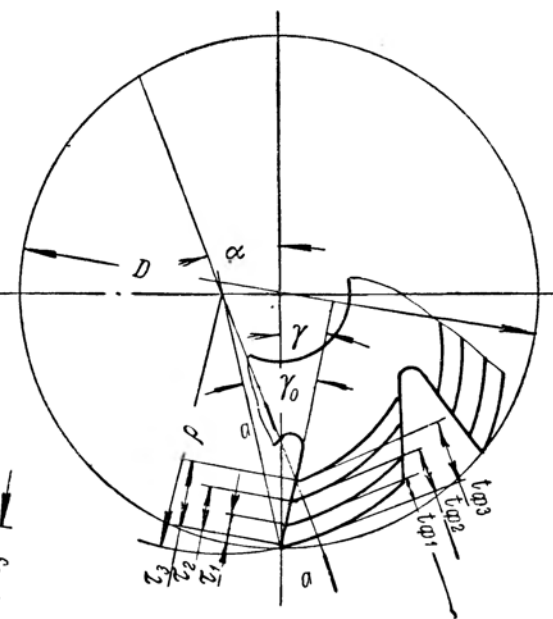
$$K_p = \frac{\cos \gamma_0 - K_t}{1 - K_t^2} \text{ и } K_\phi = K_t K_p.$$



Фиг. 7. Расчет коэффициентов высот профиля внутренних
 дисковых резцов.



Фиг. 8. Расчет коэффициентов высот профиля
 фасонных фрез по передней грани.



Фиг. 9. Упрощенный расчет коэффициентов высот фасонных фрез в нормальной
 плоскости.

Градация углов γ_0 , принятая в таблице, составлена с учетом
 значения у резцов передних углов γ в 5; 8; 10; 12; 15; 20 и 25°
 и задних углов α в 8; 10; 12 и 15°. Однако таблица может быть
 использована также для любых других комбинаций передних и
 задних углов при условии, что их сумма соответствует табличным
 значениям γ_0 .

Для величин углов γ_0 , отличных от табличных значений и не
 составляющих целое число градусов, в табл. 7 даны поправки ΔK
 к коэффициенту K_t , соответствующие изменению K_t при изменении
 угла γ_0 на 1' от табличного значения.

В этом случае допускается пользоваться таблицей для углов γ_0 ,
 отклоняющихся от табличных значений в сторону уменьшения
 угла на 40', а в сторону увеличения угла на 1° 20'.

Отступление от указанных величин изменения угла γ_0 влечет
 за собой снижение точности расчета.

Для значений углов γ_0 , отличных от табличного на число минут,
 равное $\Delta\gamma'$, величина поправки к коэффициенту K_t равна произ-
 ведению $\Delta\gamma \cdot \Delta K$. Если γ_0 больше табличного, то поправка $\Delta\gamma \cdot \Delta K$
 вычитается из значения K_t .

При меньшем значении γ_0 поправка к K_t прибавляется, как
 это выполнено в примерах к табл. 7 (см. стр. 23 и 25).

Предельная возможная неточность расчета высоты профиля
 при использовании целых значений γ_0 по табл. 7 составляет 0,0005 t .
 При использовании поправок ΔK возможная неточность расчета
 в отдельных случаях может достичь величины не более 0,001 t .

При высоте профиля $t \geq 15$ мм рекомендуется элементарная
 упрощенная интерполяция табличных данных, как указано ниже
 в примере, при этом возможная неточность расчета не превы-
 сит 0,00025 t мм.

Таблица 7

Продолжение табл. 7

**КОЭФФИЦИЕНТЫ ВЫСОТ ПРОФИЛЕЙ ДИСКОВЫХ РЕЗЦОВ
В ОСЕВОЙ ПЛОСКОСТИ, ФАСОННЫХ ФРЕЗ И ВНУТРЕННИХ
ДИСКОВЫХ РЕЗЦОВ ПО ПЕРЕДНЕЙ ГРАНИ**

γ_0	K_t	ΔK	K_p	K_ϕ	γ_0	K_t	ΔK	K_p	K_ϕ
5°	0,996	0,000030	0,024	0,024	12°	0,968	0,000094	0,161	0,156
	0,995	34	0,120	0,119		0,967	97	0,172	0,166
	0,994	42	0,183	0,182		0,966	0,000100	0,182	0,176
	0,993	49	0,229	0,227		0,965	103	0,191	0,185
	0,992	52	0,263	0,261		0,964	106	0,200	0,193
						0,963	109	0,209	0,201
8°	0,990	0,000044	0,014	0,013		0,962	113	0,217	0,209
	0,989	49	0,058	0,057		0,961	115	0,224	0,215
	0,988	54	0,095	0,094		0,960	118	0,232	0,222
	0,987	57	0,127	0,125	13°	0,974	0,000063	0,007	0,007
	0,986	61	0,154	0,151		0,973	66	0,026	0,025
	0,985	65	0,177	0,174		0,972	68	0,043	0,042
	0,984	69	0,197	0,194		0,971	71	0,059	0,057
	0,983	75	0,216	0,212		0,970	73	0,074	0,072
	0,982	80	0,232	0,228		0,969	75	0,088	0,085
10°						0,968	78	0,101	0,098
	0,984	0,000055	0,026	0,025		0,967	80	0,114	0,110
	0,983	58	0,054	0,053		0,966	83	0,125	0,121
	0,982	52	0,079	0,077		0,965	86	0,136	0,131
	0,981	66	0,101	0,099		0,964	89	0,147	0,141
	0,980	70	0,121	0,119		0,963	92	0,157	0,151
	0,979	74	0,140	0,137		0,962	95	0,166	0,160
	0,978	76	0,156	0,153		0,961	98	0,175	0,168
	0,977	81	0,172	0,168		0,960	0,000100	0,183	0,176
	0,976	84	0,186	0,181		0,959	103	0,191	0,184
	0,975	87	0,199	0,194		0,958	105	0,199	0,191
	0,974	92	0,211	0,205		0,957	108	0,206	0,198
	0,973	96	0,222	0,216		0,956	111	0,213	0,204
	0,972	0,000100	0,232	0,226		0,955	113	0,220	0,210
12°						0,954	115	0,227	0,216
	0,978	0,000063	0,003	0,003		0,953	118	0,233	0,222
	0,977	66	0,025	0,025	15°	0,965	0,000080	0,013	0,013
	0,976	68	0,045	0,044		0,964	82	0,027	0,026
	0,975	71	0,064	0,062		0,963	85	0,040	0,039
	0,974	74	0,081	0,079		0,962	87	0,053	0,051
	0,973	77	0,097	0,094		0,961	89	0,064	0,062
	0,972	80	0,111	0,108		0,960	91	0,076	0,073
	0,971	83	0,124	0,121		0,959	93	0,086	0,083
	0,970	87	0,138	0,134		0,958	95	0,096	0,092
	0,969	90	0,150	0,145		0,957	97	0,106	0,102

γ_0	K_t	ΔK	K_p	K_ϕ	γ_0	K_t	ΔK	K_p	K_ϕ
15°	0,956	0,000099	0,115	0,110	16°	0,936	0,000141	0,204	0,191
	0,955	0,000101	0,124	0,118		0,935	144	0,209	0,195
	0,954	103	0,133	0,127		0,934	146	0,214	0,199
	0,953	106	0,141	0,134		0,933	148	0,218	0,204
	0,952	109	0,149	0,142		0,932	151	0,223	0,208
	0,951	112	0,156	0,149		0,931	153	0,227	0,211
	0,950	114	0,163	0,155		0,930	155	0,231	0,215
	0,949	117	0,170	0,162		0,929	158	0,236	0,219
	0,948	120	0,177	0,168		0,928	160	0,240	0,222
	0,947	123	0,183	0,174	17°	0,956	0,000088	0,004	0,003
	0,946	126	0,190	0,179		0,955	90	0,015	0,014
	0,945	128	0,196	0,185		0,954	92	0,026	0,025
	0,944	131	0,201	0,190		0,953	93	0,036	0,034
	0,943	134	0,207	0,195		0,952	95	0,046	0,044
	0,942	137	0,212	0,200		0,951	97	0,055	0,053
	0,941	139	0,218	0,205		0,950	98	0,065	0,062
	0,940	142	0,223	0,209		0,949	0,000100	0,074	0,070
	0,939	144	0,228	0,214		0,948	102	0,082	0,078
	0,938	146	0,232	0,218		0,947	104	0,090	0,085
	0,937	148	0,237	0,222		0,946	106	0,098	0,093
16°						0,945	109	0,105	0,100
	0,961	0,000082	0,003	0,003		0,944	112	0,113	0,107
	0,960	84	0,016	0,015		0,943	114	0,120	0,113
	0,959	87	0,028	0,027		0,942	117	0,127	0,120
	0,958	89	0,040	0,038		0,941	119	0,134	0,126
	0,957	91	0,051	0,048		0,940	121	0,140	0,132
	0,956	93	0,061	0,058		0,939	124	0,146	0,137
	0,955	95	0,071	0,068		0,938	126	0,152	0,143
	0,954	97	0,081	0,077		0,937	128	0,158	0,148
	0,953	99	0,090	0,086		0,936	130	0,164	0,153
	0,952	0,000101	0,099	0,094		0,935	132	0,169	0,158
	0,951	103	0,107	0,102		0,934	134	0,175	0,163
	0,950	106	0,116	0,110		0,933	137	0,180	0,168
	0,949	108	0,123	0,117		0,932	139	0,185	0,173
	0,948	111	0,130	0,124		0,931	142	0,190	0,177
	0,947	113	0,138	0,131		0,930	143	0,195	0,181
	0,946	116	0,145	0,137		0,929	146	0,199	0,185
	0,945	119	0,152	0,144		0,928	148	0,204	0,189
	0,944	121	0,159	0,150		0,927	151	0,208	0,193
	0,943	123	0,165	0,155		0,926	154	0,213	0,197
	0,942	126	0,171	0,161		0,925	156	0,217	0,201
	0,941	129	0,177	0,166		0,924	158	0,221	0,204
	0,940	132	0,183	0,172		0,923	161	0,225	0,208
	0,939	135	0,188	0,177		0,922	163	0,229	0,211
	0,938	137	0,194	0,182		0,921	166	0,233	0,214
	0,937	139	0,199	0,186		0,920	169	0,236	0,217
						0,919	171	0,240	0,221

γ_0	K_t	ΔK	K_p	K_ϕ	γ_0	K_t	ΔK	K_p	K_ϕ
18°	0,951	0,000092	0,001	0,001	20°	0,936	0,000106	0,030	0,028
	0,950	94	0,011	0,010		0,935	108	0,037	0,035
	0,949	96	0,021	0,020		0,934	110	0,045	0,042
	0,948	98	0,030	0,029		0,933	112	0,052	0,048
	0,947	0,000100	0,039	0,037		0,932	114	0,059	0,055
	0,946	102	0,048	0,046		0,931	116	0,065	0,061
	0,945	104	0,057	0,054		0,930	118	0,072	0,067
	0,944	106	0,065	0,061		0,929	120	0,078	0,073
	0,943	108	0,073	0,069		0,928	122	0,084	0,078
	0,942	110	0,080	0,076		0,927	124	0,090	0,084
	0,941	112	0,088	0,083		0,926	126	0,096	0,089
	0,940	114	0,095	0,089		0,925	128	0,102	0,094
	0,939	116	0,102	0,096		0,924	130	0,107	0,099
	0,938	118	0,109	0,102		0,923	132	0,113	0,104
	0,937	120	0,115	0,108		0,922	133	0,118	0,109
	0,936	122	0,122	0,114		0,921	135	0,123	0,113
	0,935	124	0,128	0,119		0,920	137	0,128	0,118
	0,934	126	0,134	0,125		0,919	138	0,133	0,122
	0,933	128	0,139	0,130		0,918	140	0,138	0,127
	0,932	130	0,145	0,135		0,917	142	0,143	0,131
	0,931	132	0,151	0,140		0,916	144	0,147	0,135
	0,930	134	0,156	0,145		0,915	146	0,152	0,139
	0,929	137	0,161	0,150		0,914	148	0,156	0,143
	0,928	139	0,166	0,154		0,913	149	0,160	0,146
	0,927	142	0,171	0,159		0,912	151	0,165	0,150
	0,926	144	0,176	0,163		0,911	153	0,169	0,154
	0,925	146	0,180	0,167		0,910	155	0,173	0,157
	0,924	148	0,185	0,171		0,909	157	0,177	0,161
	0,923	151	0,190	0,175		0,908	159	0,181	0,164
	0,922	154	0,194	0,179		0,907	161	0,184	0,167
	0,921	156	0,198	0,182		0,906	164	0,188	0,170
	0,920	158	0,202	0,186		0,905	166	0,192	0,173
	0,919	160	0,206	0,190		0,904	168	0,195	0,177
	0,918	162	0,210	0,193		0,903	171	0,199	0,180
	0,917	164	0,214	0,196		0,902	173	0,202	0,182
	0,916	167	0,218	0,200		0,901	175	0,206	0,185
	0,915	169	0,222	0,203		0,900	177	0,209	0,188
	0,914	171	0,225	0,206		0,899	179	0,212	0,191
	0,913	173	0,229	0,209		0,898	181	0,215	0,193
	0,912	175	0,232	0,212		0,897	183	0,219	0,196
	0,911	177	0,236	0,215		0,896	185	0,222	0,199
	0,910	179	0,239	0,217		0,895	187	0,225	0,201
	0,909	181	0,242	0,220		0,894	188	0,228	0,203
"0"	0,939	0,000100	0,006	0,006		0,893	190	0,231	0,206
	0,938	102	0,014	0,013		0,892	192	0,233	0,208
	0,937	104	0,022	0,021		0,891	194	0,236	0,210
						0,890	197	0,239	0,213
						0,889	200	0,242	0,215

γ_0	K_t	ΔK	K_p	K_ϕ	γ_0	K_t	ΔK	K_p	K_ϕ
20°	0,888	0,000202	0,244	0,217	22°	0,884	0,000187	0,1976	0,1747
	0,887	204	0,247	0,219		0,883	189	0,2006	0,1771
	0,886	206	0,250	0,221		0,882	191	0,2035	0,1794
						0,881	193	0,2063	0,1818
22°	0,927	0,000110	0,0013	0,0012	23°	0,920	0,000115	0,0033	0,0030
	0,926	111	0,0083	0,0077		0,919	117	0,0097	0,0089
	0,925	113	0,0151	0,0140		0,918	119	0,0159	0,0146
	0,924	115	0,0218	0,0201		0,917	121	0,0220	0,0202
	0,923	116	0,0283	0,0261		0,916	122	0,0280	0,0256
	0,922	118	0,0346	0,0319		0,915	124	0,0338	0,0309
	0,921	120	0,0407	0,0375		0,914	126	0,0395	0,0361
	0,920	122	0,0468	0,0430		0,913	128	0,0451	0,0412
	0,919	124	0,0527	0,0484		0,912	130	0,0505	0,0461
	0,918	126	0,0584	0,0536		0,911	132	0,0559	0,0509
	0,917	128	0,0640	0,0587		0,910	133	0,0611	0,0556
	0,916	130	0,0695	0,0637		0,909	134	0,0662	0,0602
	0,915	131	0,0749	0,0685		0,908	136	0,0713	0,0647
	0,914	132	0,0801	0,0732		0,907	137	0,0762	0,0691
	0,913	134	0,0852	0,0778		0,906	139	0,0810	0,0733
	0,912	136	0,0902	0,0823		0,905	141	0,0857	0,0775
	0,911	138	0,0952	0,0867		0,904	143	0,0903	0,0816
	0,910	139	0,1000	0,0910		0,903	145	0,0948	0,0856
	0,909	140	0,1047	0,0952		0,902	146	0,0994	0,0896
	0,908	142	0,1093	0,0992		0,901	147	0,1036	0,0934
	0,907	143	0,1138	0,1032		0,900	148	0,1079	0,0971
	0,906	145	0,1182	0,1071		0,899	150	0,1121	0,1008
	0,905	146	0,1226	0,1109		0,898	151	0,1163	0,1044
	0,904	148	0,1268	0,1147		0,897	153	0,1203	0,1079
	0,903	150	0,1310	0,1183		0,896	155	0,1243	0,1114
	0,902	152	0,1351	0,1214		0,895	157	0,1282	0,1147
	0,901	154	0,1391	0,1254		0,894	158	0,1320	0,1180
	0,900	156	0,1431	0,1288		0,893	160	0,1358	0,1213
	0,899	158	0,1470	0,1321		0,892	162	0,1395	0,1244
	0,898	160	0,1507	0,1354		0,891	164	0,1432	0,1275
	0,897	162	0,1545	0,1386		0,890	165	0,1467	0,1306
	0,896	164	0,1582	0,1417		0,889	167	0,1503	0,1336
	0,895	166	0,1618	0,1448		0,888	169	0,1537	0,1365
	0,894	168	0,1653	0,1478		0,887	171	0,1571	0,1394
	0,893	169	0,1688	0,1507		0,886	173	0,1605	0,1422
	0,892	171	0,1722	0,1536		0,885	174	0,1638	0,1450
	0,891	173	0,1756	0,1564		0,884	176	0,1670	0,1477
	0,890	175	0,1789	0,1592		0,883	177	0,1702	0,1503
	0,889	177	0,1821	0,1619		0,882	179	0,1734	0,1529
	0,888	179	0,1853	0,1646		0,881	180	0,1765	0,1555
	0,887	181	0,1885	0,1672		0,880	182	0,1795	0,1580
	0,886	183	0,1916	0,1697		0,879	184	0,1826	0,1605
	0,885	185	0,1946	0,1722					

Продолжение табл. 7

γ_0	K_t	ΔK	K_p	K_ϕ	γ_0	K_t	ΔK	K_p	K_ϕ
23°	0,878	0,000186	0,1855	0,1629	24°	0,874	0,000183	0,1675	0,1464
	0,877	188	0,1884	0,1653		0,873	185	0,1705	0,1488
	0,876	190	0,1913	0,1676		0,872	187	0,1734	0,1512
	0,875	192	0,1942	0,1699		0,871	189	0,1763	0,1535
	0,874	194	0,1970	0,1721		0,870	191	0,1791	0,1558
	0,873	196	0,1997	0,1743		0,869	193	0,1819	0,1581
	0,872	198	0,2024	0,1765		0,868	194	0,1847	0,1603
						0,867	196	0,1874	0,1625
24°	0,913	0,000120	0,0033	0,0030	25°	0,906	0,000125	0,0017	0,0016
	0,912	121	0,0092	0,0084		0,905	127	0,0072	0,0065
	0,911	123	0,0150	0,0136		0,904	128	0,0126	0,0114
	0,910	124	0,0206	0,0188		0,903	130	0,0179	0,0162
	0,909	125	0,0262	0,0238		0,902	131	0,0231	0,0209
	0,908	127	0,0316	0,0287		0,901	133	0,0282	0,0254
	0,907	128	0,0369	0,0335		0,900	135	0,0332	0,0299
	0,906	130	0,0421	0,0382		0,899	136	0,0381	0,0343
	0,905	132	0,0472	0,0427		0,898	138	0,0429	0,0385
	0,904	134	0,0522	0,0472		0,897	139	0,0476	0,0427
	0,903	136	0,0571	0,0516		0,896	141	0,0523	0,0468
	0,902	138	0,0619	0,0559		0,895	142	0,0568	0,0509
	0,901	140	0,0667	0,0601		0,894	144	0,0613	0,0548
	0,900	142	0,0713	0,0642		0,893	145	0,0657	0,0587
	0,899	143	0,0738	0,0682		0,892	147	0,0700	0,0625
	0,898	145	0,0803	0,0721		0,891	149	0,0743	0,0662
	0,897	147	0,0847	0,0760		0,890	150	0,0784	0,0698
	0,896	148	0,0890	0,0797		0,889	152	0,0825	0,0734
	0,895	150	0,0932	0,0834		0,888	153	0,0866	0,0769
	0,894	151	0,0974	0,0870		0,887	154	0,0905	0,0803
	0,893	152	0,1014	0,0906		0,886	155	0,0945	0,0837
24°	0,892	153	0,1054	0,0941		0,885	157	0,0983	0,0870
	0,891	154	0,1094	0,0975		0,884	159	0,1021	0,0902
	0,890	156	0,1133	0,1008		0,883	160	0,1058	0,0934
	0,889	158	0,1171	0,1041		0,882	162	0,1095	0,0965
	0,888	160	0,1208	0,1073		0,881	163	0,1131	0,0996
	0,887	161	0,1245	0,1104		0,880	164	0,1166	0,1026
	0,886	163	0,1281	0,1135		0,879	166	0,1201	0,1056
	0,885	165	0,1317	0,1165		0,878	168	0,1236	0,1085
	0,884	166	0,1352	0,1195		0,877	169	0,1270	0,1113
	0,883	168	0,1386	0,1224		0,876	171	0,1303	0,1141
	0,882	170	0,1420	0,1253		0,875	173	0,1336	0,1169
	0,881	171	0,1454	0,1281		0,874	174	0,1368	0,1196
	0,880	173	0,1487	0,1308					
	0,879	175	0,1519	0,1336					
	0,878	177	0,1551	0,1362					
	0,877	178	0,1583	0,1388					
	0,876	179	0,1614	0,1414					
	0,875	181	0,1645	0,1439					

Продолжение табл. 7

γ_0	K_t	ΔK	K_p	K_ϕ	γ_0	K_t	ΔK	K_p	K_ϕ
25°	0,873	0,000176	0,1400	0,1222	25°	0,825	0,000263	0,2546	0,2100
	0,872	177	0,1432	0,1249		0,824	265	0,2564	0,2113
	0,871	179	0,1463	0,1274		0,823	268	0,2582	0,2125
	0,870	181	0,1496	0,1299		0,822	270	0,2600	0,2137
	0,869	182	0,1524	0,1324		0,821	272	0,2617	0,2149
	0,868	184	0,1554	0,1349		0,820	274	0,2635	0,2160
	0,867	186	0,1583	0,1373		0,819	277	0,2652	0,2172
	0,866	188	0,1612	0,1396		0,818	280	0,2669	0,2183
	0,865	189	0,1641	0,1419		0,817	282	0,2686	0,2194
	0,864	191	0,1669	0,1442		0,816	284	0,2703	0,2205
	0,863	193	0,1697	0,1464					
	0,862	195	0,1724	0,1486					
	0,861	196	0,1752	0,1508					
	0,860	197	0,1778	0,1529					
25°	0,859	199	0,1805	0,1550	27°	0,890	0,000132	0,0048	0,0043
	0,858	201	0,1831	0,1571		0,889	134	0,0096	0,0085
	0,857	203	0,1857	0,1591		0,888	136	0,0142	0,0126
	0,856	204	0,1882	0,1611		0,887	138	0,0188	0,0167
	0,855	205	0,1908	0,1629		0,886	140	0,0233	0,0206
	0,854	207	0,1932	0,1648		0,885	142	0,0277	0,0245
	0,853	209	0,1957	0,1667		0,884	144	0,0321	0,0283
	0,852	211	0,1981	0,1686		0,883	146	0,0363	0,0321
	0,851	213	0,2005	0,1705		0,882	148	0,0406	0,0358
	0,850	214	0,2029	0,1724		0,881	149	0,0447	0,0394
	0,849	216	0,2053	0,1743		0,880	151	0,0488	0,0429
	0,848	218	0,2076	0,1760		0,879	152	0,0528	0,0464
	0,847	220	0,2099	0,1778		0,878	153	0,0568	0,0498
	0,846	222	0,2121	0,1795		0,877	155	0,0607	0,0532
	0,845	224	0,2144	0,1812		0,876	157	0,0645	0,0565
	0,844	226	0,2166	0,1828		0,875	158	0,0683	0,0598
	0,843	227	0,2188	0,1844		0,874	159	0,0720	0,0630
	0,842	229	0,2210	0,1861		0,873	160	0,0757	0,0661
	0,841	231	0,2231	0,1876		0,872	162	0,0794	0,0692
	0,840	233	0,2252	0,1892		0,871	163	0,0830	0,0722
	0,839	235	0,2273	0,1907		0,870	165	0,0864	0,0752
	0,838	237	0,2294	0,1923		0,869	167	0,0899	0,0781
	0,837	239	0,2315	0,1937		0,868	168	0,0933	0,0810
	0,836	241	0,2335	0,1952		0,867	169	0,0967	0,0838
	0,835	243	0,2355	0,1967		0,866	171	0,1000	0,0866
	0,834	245	0,2375	0,1981		0,865	172	0,1033	0,0893
	0,833	247	0,2395	0,1995		0,864	174	0,1065	0,0920
	0,832	249	0,2414	0,2009		0,863	175	0,1097	0,0947
	0,831	251	0,2434	0,2022		0,862	176	0,1129	0,0973
	0,830	253	0,2453	0,2036		0,861	177	0,1160	0,0999
	0,829	255	0,2472	0,2049		0,860	179	0,1191	0,1024
	0,828	257	0,2491	0,2062		0,859	180	0,1221	0,1049
	0,827	259	0,2509	0,2075		0,858	181	0,1251	0,1073
	0,826	261	0,2528	0,2088		0,857	182	0,1281	0,1097
						0,856	183	0,1310	0,1121
						0,855	184	0,1339	0,1145

γ_0	K_t	ΔK	K_p	K_ϕ	γ_0	K_t	ΔK	K_p	K_ϕ
27°	0,854	0,000185	0,1367	0,1168	28°	0,864	0,000161	0,0747	0,0646
	0,853	187	0,1395	0,1190		0,863	162	0,0782	0,0675
	0,852	188	0,1423	0,1212		0,862	163	0,0815	0,0703
	0,851	190	0,1451	0,1234		0,861	165	0,0849	0,0731
	0,850	192	0,1478	0,1256		0,860	166	0,0881	0,0758
	0,849	194	0,1505	0,1277		0,859	167	0,0914	0,0785
	0,848	196	0,1531	0,1298		0,858	168	0,0946	0,0811
	0,847	198	0,1557	0,1319		0,857	170	0,0977	0,0837
	0,846	199	0,1583	0,1339		0,856	172	0,1008	0,0863
	0,845	201	0,1609	0,1359		0,855	174	0,1039	0,0888
	0,844	203	0,1634	0,1379		0,854	176	0,1069	0,0913
	0,843	204	0,1659	0,1399		0,853	178	0,1099	0,0938
	0,842	205	0,1684	0,1418		0,852	180	0,1129	0,0962
	0,841	206	0,1708	0,1437		0,851	182	0,1158	0,0986
	0,840	208	0,1733	0,1455		0,850	184	0,1187	0,1009
	0,839	209	0,1757	0,1474		0,849	185	0,1216	0,1032
	0,838	210	0,1780	0,1492		0,848	186	0,1244	0,1055
	0,837	211	0,1804	0,1510		0,847	187	0,1272	0,1077
	0,836	213	0,1827	0,1527		0,846	189	0,1300	0,1100
	0,835	215	0,1850	0,1545		0,845	191	0,1327	0,1121
	0,834	217	0,1873	0,1562		0,844	193	0,1354	0,1143
	0,833	219	0,1895	0,1579		0,843	194	0,1381	0,1164
	0,832	221	0,1917	0,1595		0,842	195	0,1407	0,1185
	0,831	223	0,1939	0,1612		0,841	197	0,1433	0,1205
	0,830	225	0,1961	0,1628		0,840	198	0,1459	0,1225
	0,829	226	0,1983	0,1644		0,839	200	0,1484	0,1245
	0,828	227	0,2004	0,1659		0,838	201	0,1503	0,1265
	0,827	228	0,2025	0,1675		0,837	202	0,1535	0,1284
28°	0,882	0,000139	0,0043	0,0038		0,836	204	0,1559	0,1303
	0,881	140	0,0087	0,0077		0,835	206	0,1584	0,1322
	0,880	141	0,0131	0,0115		0,834	208	0,1608	0,1341
	0,879	143	0,0174	0,0153		0,833	210	0,1632	0,1359
	0,878	144	0,0216	0,0190		0,832	211	0,1655	0,1377
	0,877	145	0,0258	0,0226		0,831	213	0,1679	0,1395
	0,876	147	0,0299	0,0262		0,830	214	0,1702	0,1413
	0,875	148	0,0339	0,0298		0,829	216	0,1725	0,1430
	0,874	150	0,0379	0,0332		0,828	217	0,1748	0,1447
	0,873	152	0,0418	0,0365		0,827	218	0,1770	0,1464
	0,872	153	0,0457	0,0398		0,826	220	0,1792	0,1481
	0,871	154	0,0495	0,0431		0,825	222	0,1814	0,1497
	0,870	155	0,0533	0,0463		0,824	224	0,1836	0,1513
	0,869	156	0,0570	0,0495		0,823	225	0,1858	0,1529
	0,868	157	0,0606	0,0526		0,822	227	0,1879	0,1545
	0,867	158	0,0642	0,0557		0,821	228	0,1901	0,1560
	0,866	159	0,0678	0,0587		0,820	229	0,1922	0,1576
	0,865	160	0,0713	0,0617		0,819	231	0,1942	0,1591
						0,818	232	0,1963	0,1606
						0,817	234	0,1983	0,1620

γ_0	K_t	ΔK	K_p	K_ϕ	γ_0	K_t	ΔK	K_p	K_ϕ
28°	0,816	0,000235	0,2004	0,1635	30°	0,821	0,000206	0,1381	0,1134
	0,815	237	0,2024	0,1649		0,820	207	0,1405	0,1152
30°	0,866	0,000147	0,0001	0,0001		0,819	209	0,1428	0,1170
	0,865	148	0,0041	0,0035		0,818	210	0,1451	0,1187
	0,864	150	0,0080	0,0069		0,817	212	0,1474	0,1205
	0,863	151	0,0119	0,0102		0,816	213	0,1497	0,1222
	0,862	152	0,0157	0,0135		0,815	215	0,1520	0,1238
	0,861	154	0,0194	0,0167		0,814	216	0,1542	0,1255
	0,860	155	0,0231	0,0199		0,813	218	0,1564	0,1272
	0,859	156	0,0268	0,0230		0,812	219	0,1586	0,1288
	0,858	157	0,0304	0,0261		0,811	221	0,1608	0,1304
	0,857	159	0,0340	0,0291		0,810	222	0,1629	0,1320
	0,856	160	0,0375	0,0321		0,809	224	0,1650	0,1335
	0,855	162	0,0410	0,0350		0,808	225	0,1671	0,1347
	0,854	163	0,0444	0,0379		0,807	227	0,1692	0,1366
	0,853	165	0,0478	0,0408		0,806	229	0,1713	0,1381
	0,852	166	0,0512	0,0436		0,805	231	0,1734	0,1396
	0,851	168	0,0545	0,0464		0,804	233	0,1754	0,1411
	0,850	169	0,0577	0,0491		0,803	234	0,1774	0,1425
	0,849	170	0,0610	0,0518		0,802	236	0,1794	0,1439
	0,848	172	0,0642	0,0544		0,801	237	0,1814	0,1453
	0,847	173	0,0673	0,0570		0,800	239	0,1834	0,1467
	0,846	174	0,0704	0,0596		0,799	241	0,1853	0,1481
	0,845	175	0,0735	0,0621		0,798	242	0,1872	0,1495
	0,844	176	0,0765	0,0646		0,797	244	0,1891	0,1508
	0,843	177	0,0796	0,0671		0,796	245	0,1911	0,1521
	0,842	179	0,0826	0,0695		0,795	247	0,1930	0,1534
	0,841	180	0,0855	0,0719		0,794	248	0,1949	0,1547
	0,840	181	0,0884	0,0743		0,793	249	0,1968	0,1560
	0,839	182	0,0913	0,0766		0,792	251	0,1986	0,1573
	0,838	183	0,0941	0,0789		0,791	252	0,2004	0,1585
	0,837	184	0,0969	0,0811		0,790	253	0,2022	0,1598
32°	0,836	185	0,0997	0,0834	32°	0,848	0,000157	0,0002	0,0001
	0,835	186	0,1025	0,0856		0,847	158	0,0037	0,0031
	0,834	187	0,1052	0,0877		0,846	159	0,0072	0,0061
	0,833	188	0,1079	0,0899		0,845	160	0,0107	0,0090
	0,832	190	0,1106	0,0920		0,844	161	0,0141	0,0119
	0,831	191	0,1132	0,0941		0,843	163	0,0174	0,0147
	0,830	193	0,1158	0,0961		0,842	164	0,0208	0,0175
	0,829	194	0,1184	0,0981		0,841	165	0,0241	0,0202
	0,828	196	0,1209	0,1001		0,840	166	0,0273	0,0230
	0,827	197	0,1235	0,1021		0,839	168	0,0306	0,0256
	0,826	199	0,1260	0,1041		0,838	169	0,0337	0,0283
	0,825	200	0,1285	0,1060		0,837	170	0,0369	0,0309
	0,824	201	0,1309	0,1079		0,836	172	0,0400	0,0335
	0,823	203	0,1333	0,1097		0,835	173	0,0431	0,0360
	0,822	204	0,1357	0,1116		0,834	174	0,0461	0,0385

γ_0	K_t	ΔK	K_p	K_ϕ	γ_0	K_t	ΔK	K_p	K_ϕ
32°	0,833	0,000175	0,0492	0,0409	32°	0,785	0,000239	0,1643	0,1290
	0,832	176	0,0521	0,0434		0,784	240	0,1662	0,1303
	0,831	177	0,0550	0,0458		0,783	242	0,1681	0,1316
	0,830	178	0,0580	0,0482		0,782	243	0,1700	0,1330
	0,829	180	0,0609	0,0505		0,781	244	0,1719	0,1343
	0,828	181	0,0638	0,0528		0,780	245	0,1738	0,1355
	0,827	183	0,0666	0,0551		0,779	247	0,1756	0,1368
	0,826	184	0,0694	0,0573		0,778	249	0,1775	0,1381
	0,825	185	0,0721	0,0595		0,777	251	0,1793	0,1393
	0,824	186	0,0749	0,0617		0,776	253	0,1811	0,1405
	0,823	187	0,0776	0,0639		0,775	255	0,1829	0,1418
	0,822	188	0,0803	0,0660		0,774	256	0,1847	0,1430
	0,821	190	0,0830	0,0681		0,773	258	0,1865	0,1441
	0,820	191	0,0856	0,0702		0,772	259	0,1882	0,1453
	0,819	192	0,0882	0,0723		0,771	261	0,1899	0,1465
	0,818	193	0,0908	0,0743		0,770	262	0,1917	0,1476
	0,817	194	0,0934	0,0763		0,769	263	0,1934	0,1488
	0,816	195	0,0960	0,0783		0,768	264	0,1952	0,1499
	0,815	197	0,0984	0,0802		0,767	265	0,1969	0,1510
	0,814	198	0,1009	0,0821		0,766	266	0,1985	0,1521
	0,813	199	0,1034	0,0840		0,765	268	0,2002	0,1532
	0,812	201	0,1058	0,0859		0,764	270	0,2019	0,1543
	0,811	202	0,1082	0,0878		0,763	271	0,2035	0,1553
	0,810	203	0,1106	0,0896	33°	0,838	0,000162	0,0023	0,0019
	0,809	205	0,1130	0,0914		0,837	163	0,0056	0,0047
	0,808	206	0,1154	0,0932		0,836	164	0,0089	0,0074
	0,807	207	0,1177	0,0950		0,835	165	0,0121	0,0101
	0,806	208	0,1200	0,0967		0,834	167	0,0153	0,0128
	0,805	209	0,1223	0,0985		0,833	168	0,0185	0,0154
	0,804	210	0,1246	0,1002		0,832	169	0,0217	0,0180
	0,803	211	0,1268	0,1018		0,831	170	0,0248	0,0206
	0,802	212	0,1291	0,1035		0,830	171	0,0279	0,0231
	0,801	214	0,1313	0,1052		0,829	173	0,0309	0,0256
	0,800	215	0,1335	0,1068		0,828	174	0,0339	0,0281
	0,799	216	0,1357	0,1084		0,827	175	0,0369	0,0305
	0,798	218	0,1378	0,1100		0,826	176	0,0399	0,0329
	0,797	219	0,1399	0,1115		0,825	178	0,0428	0,0353
	0,796	220	0,1421	0,1131		0,824	179	0,0457	0,0377
	0,795	222	0,1442	0,1146		0,823	180	0,0486	0,0400
	0,794	223	0,1462	0,1161		0,822	181	0,0514	0,0423
	0,793	225	0,1483	0,1176		0,821	183	0,0542	0,0445
	0,792	227	0,1504	0,1191		0,820	184	0,0570	0,0467
	0,791	229	0,1524	0,1206		0,819	185	0,0597	0,0489
	0,790	230	0,1544	0,1220		0,818	187	0,0625	0,0511
	0,789	231	0,1564	0,1234		0,817	188	0,0652	0,0532
	0,788	233	0,1582	0,1247					
	0,787	235	0,1604	0,1262					
	0,786	237	0,1623	0,1276					

γ_0	K_t	ΔK	K_p	K_ϕ	γ_0	K_t	ΔK	K_p	K_ϕ
33°	0,816	0,000189	0,0679	0,0554	33°	0,768	0,000252	0,1723	0,1323
	0,815	191	0,0705	0,0575		0,767	253	0,1741	0,1335
	0,814	192	0,0731	0,0595		0,766	254	0,1759	0,1347
	0,813	193	0,0757	0,0616		0,765	256	0,1776	0,1359
	0,812	194	0,0783	0,0636		0,764	257	0,1794	0,1370
	0,811	195	0,0808	0,0656		0,763	259	0,1811	0,1382
	0,810	197	0,0834	0,0675		0,762	261	0,1828	0,1393
	0,809	198	0,0856	0,0695		0,761	262	0,1845	0,1404
	0,808	199	0,0884	0,0714		0,760	264	0,1863	0,1415
	0,807	200	0,0908	0,0733		0,759	265	0,1880	0,1426
	0,806	201	0,0932	0,0752		0,758	267	0,1896	0,1437
	0,805	202	0,0957	0,0770		0,757	269	0,1913	0,1448
	0,804	203	0,0981	0,0788		0,756	271	0,1929	0,1459
	0,803	204	0,1004	0,0806		0,755	273	0,1946	0,1469
	0,802	206	0,1028	0,0824		0,754	275	0,1962	0,1480
	0,801	207	0,1051	0,0842		0,753	277	0,1979	0,1490
	0,800	208	0,1074	0,0859		0,752	279	0,1995	0,1500
	0,799	209	0,1097	0,0877		0,751	281	0,2011	0,1510
	0,798	211	0,1120	0,0894		0,750	283	0,2027	0,1520
	0,797	212	0,1142	0,0910		0,749	285	0,2043	0,1530
	0,796	213	0,1165	0,0927		0,748	287	0,2058	0,1540
	0,795	214	0,1187	0,0943		0,747	289	0,2074	0,1549
	0,794	215	0,1209	0,0960	35°	0,819	0,000170	0,0005	0,0004
	0,793	216	0,1231	0,0976		0,818	171	0,0035	0,0028
	0,792	217	0,1252	0,0992		0,817	172	0,0065	0,0053
	0,791	218	0,1274	0,1007		0,816	173	0,0095	0,0077
	0,790	219	0,1295	0,1023		0,815	175	0,0124	0,0101
	0,789	220	0,1316	0,1038		0,814	176	0,0153	0,0124
	0,788	222	0,1337	0,1053		0,813	178	0,0181	0,0148
	0,787	223	0,1358	0,1068		0,812	179	0,0210	0,0171
	0,786	225	0,1378	0,1083		0,811	180	0,0238	0,0193
	0,785	227	0,1398	0,1099		0,810	181	0,0266	0,0216
	0,784	229	0,1419	0,1112		0,809	182	0,0294	0,0238
	0,783	230	0,1439	0,1127		0,808	183	0,0322	0,0260
	0,782	232	0,1459	0,1141		0,807	185	0,0349	0,0281
	0,781	233	0,1479	0,1155		0,806	186	0,0375	0,0303
	0,780	235	0,1498	0,1169		0,805	187	0,0402	0,0324
	0,779	236	0,1518	0,1182		0,804	188	0,0429	0,0345
	0,778	237	0,1537	0,1196		0,803	189	0,0455	0,0365
	0,777	238	0,1556	0,1209		0,802	190	0,0481	0,0386
	0,776	240	0,1575	0,1222		0,801	191	0,0506	0,0406
	0,775	241	0,1594	0,1236		0,800	192	0,0532	0,0426
	0,774	243	0,1613	0,1249		0,799	193	0,0557	0,0445
	0,773	244	0,1632	0,1261		0,798	195	0,0582	0,0465
	0,772	246	0,1650	0,1274		0,797	196	0,0607	0,0484
	0,771	248	0,1669	0,1286		0,796	197	0,0632	0,0503
	0,770	249	0,1687	0,1299					
	0,769	250	0,1705	0,1311					

γ_0	K_t	ΔK	K_p	K_ϕ	γ_0	K_t	ΔK	K_p	K_ϕ
35°	0,795	0,000198	0,0656	0,0522	35°	0,747	0,000257	0,1632	0,1219
	0,794	199	0,0681	0,0540		0,746	259	0,1649	0,1230
	0,793	201	0,0705	0,0559		0,745	261	0,1666	0,1241
	0,792	202	0,0728	0,0577		0,744	262	0,1683	0,1252
	0,791	203	0,0752	0,0595		0,743	263	0,1700	0,1263
	0,790	204	0,0776	0,0613		0,742	265	0,1717	0,1274
	0,789	206	0,0799	0,0630		0,741	266	0,1733	0,1284
	0,788	207	0,0822	0,0648		0,740	268	0,1750	0,1295
	0,787	208	0,0845	0,0665		0,739	269	0,1766	0,1305
	0,786	210	0,0867	0,0682		0,738	271	0,1782	0,1315
	0,785	211	0,0890	0,0699		0,737	272	0,1798	0,1325
	0,784	212	0,0912	0,0715		0,736	274	0,1814	0,1335
	0,783	213	0,0934	0,0732		0,735	275	0,1830	0,1345
	0,782	215	0,0956	0,0748		0,734	277	0,1846	0,1355
	0,781	216	0,0978	0,0764		0,733	278	0,1862	0,1365
	0,780	217	0,1000	0,0780		0,732	280	0,1878	0,1374
	0,779	218	0,1021	0,0796		0,731	282	0,1893	0,1384
	0,778	219	0,1043	0,0812		0,730	284	0,1909	0,1393
	0,777	220	0,1064	0,0827		0,729	286	0,1924	0,1403
	0,776	221	0,1085	0,0842		0,728	288	0,1939	0,1412
	0,775	222	0,1106	0,0857		0,727	290	0,1955	0,1421
	0,774	223	0,1126	0,0872		0,726	291	0,1970	0,1430
	0,773	224	0,1147	0,0886		0,725	293	0,1985	0,1439
	0,772	225	0,1167	0,0901		0,724	294	0,2000	0,1448
	0,771	226	0,1187	0,0915		0,723	296	0,2015	0,1457
	0,770	227	0,1207	0,0930		0,722	298	0,2029	0,1465
	0,769	228	0,1227	0,0944		0,721	300	0,2044	0,1474
	0,768	229	0,1247	0,0958		0,720	302	0,2059	0,1482
	0,767	230	0,1267	0,0972		0,719	304	0,2073	0,1491
	0,766	231	0,1286	0,0985		0,718	306	0,2088	0,1499
	0,765	232	0,1306	0,0999		0,717	308	0,2102	0,1507
	0,764	233	0,1325	0,1012		0,716	310	0,2117	0,1516
	0,763	234	0,1344	0,1025		0,715	312	0,2131	0,1524
	0,762	235	0,1363	0,1038	37°	0,798	0,000180	0,0017	0,0014
	0,761	236	0,1382	0,1051		0,797	181	0,0045	0,0036
	0,760	237	0,1400	0,1064		0,796	182	0,0072	0,0057
	0,759	239	0,1419	0,1077		0,795	183	0,0099	0,0079
	0,758	240	0,1437	0,1090		0,794	184	0,0125	0,0100
	0,757	241	0,1456	0,1102		0,793	185	0,0152	0,0120
	0,756	242	0,1474	0,1114		0,792	187	0,0178	0,0141
	0,755	243	0,1492	0,1126		0,791	188	0,0204	0,0161
	0,754	245	0,1510	0,1139		0,790	189	0,0230	0,0181
	0,753	246	0,1528	0,1150		0,789	190	0,0255	0,0201
	0,752	248	0,1546	0,1162		0,788	191	0,0281	0,0221
	0,751	250	0,1563	0,1174		0,787	192	0,0306	0,0241
	0,750	252	0,1581	0,1185		0,786	193	0,0331	0,0260
	0,749	254	0,1598	0,1197					
	0,748	255	0,1615	0,1208					

γ_0	K_t	ΔK	K_p	K_ϕ	γ_0	K_t	ΔK	K_p	K_ϕ
37°	0,785	0,000194	0,0355	0,0279	37°	0,737	0,000247	0,1349	0,0994
	0,784	196	0,0380	0,0298		0,736	248	0,1367	0,1006
	0,783	197	0,0404	0,0316		0,735	249	0,1384	0,1017
	0,782	198	0,0428	0,0335		0,734	250	0,1401	0,1029
	0,781	199	0,0452	0,0353		0,733	251	0,1419	0,1040
	0,780	200	0,0476	0,0371		0,732	252	0,1436	0,1051
	0,779	201	0,0499	0,0389		0,731	253	0,1453	0,1062
	0,778	202	0,0523	0,0407		0,730	254	0,1469	0,1073
	0,777	203	0,0546	0,0424		0,729	256	0,1486	0,1083
	0,776	204	0,0569	0,0442		0,728	257	0,1503	0,1094
	0,775	205	0,0592	0,0459		0,727	258	0,1519	0,1105
	0,774	207	0,0614	0,0476		0,726	260	0,1536	0,1115
	0,773	208	0,0637	0,0492		0,725	261	0,1552	0,1125
	0,772	209	0,0659	0,0509		0,724	262	0,1569	0,1136
	0,771	210	0,0681	0,0525		0,723	264	0,1585	0,1146
	0,770	211	0,0703	0,0542		0,722	265	0,1601	0,1156
	0,769	212	0,0725	0,0558		0,721	266	0,1617	0,1166
	0,768	213	0,0747	0,0574		0,720	268	0,1633	0,1176
	0,767	214	0,0768	0,0589		0,719	269	0,1649	0,1185
	0,766	215	0,0790	0,0605		0,718	271	0,1664	0,1195
	0,765	216	0,0811	0,0620		0,717	273	0,1680	0,1205
	0,764	217	0,0832	0,0636		0,716	275	0,1696	0,1214
	0,763	218	0,0853	0,0651		0,715	277	0,1711	0,1223
	0,762	219	0,0874	0,0666		0,714	278	0,1727	0,1233
	0,761	220	0,0894	0,0681		0,713	280	0,1742	0,1242
	0,760	221	0,0915	0,0706		0,712	282	0,1757	0,1251
	0,759	223	0,0935	0,0710		0,711	283	0,1772	0,1260
	0,758	224	0,0955	0,0724		0,710	285	0,1787	0,1269
	0,757	225	0,0975	0,0738		0,709	287	0,1802	0,1278
	0,756	226	0,0995	0,0752		0,708	289	0,1817	0,1287
	0,755	228	0,1015	0,0766		0,707	291	0,1832	0,1295
	0,754	229	0,1034	0,0780		0,706	293	0,1847	0,1304
	0,753	230	0,1054	0,0794		0,705	295	0,1862	0,1312
	0,752	231	0,1073	0,0807		0,704	297	0,1876	0,1321
	0,751	232	0,1093	0,0821		0,703	299	0,1891	0,1329
	0,750	233	0,1112	0,0834		0,702	301	0,1905	0,1338
	0,749	234	0,1131	0,0847		0,701	303	0,1920	0,1346
	0,748	235	0,1150	0,0860		0,700	305	0,1934	0,1354
	0,747	236	0,1168	0,0873		0,699	307	0,1948	0,1362
	0,746	237	0,1187	0,0885		0,698	309	0,1962	0,1370
	0,745	238	0,1205	0,0898		0,697	311	0,1977	0,1378
	0,744	240	0,1224	0,0910		0,696	313	0,1991	0,1386
	0,743	241	0,1242	0,0923		0,695	315	0,2005	0,1393
	0,742	242	0,1260	0,0935		0,694	317	0,2019	0,1401
	0,741	243	0,1278	0,0947		0,693	319	0,2032	0,1408
	0,740	244	0,1296	0,0959		0,692	321	0,2046	0,1416
	0,739	245	0,1314	0,0971		0,691	323	0,2060	0,1423
	0,738	246	0,1332	0,0983		0,690	324	0,2074	0,1431

γ_0	K_t	ΔK	K_p	K_ϕ	γ_0	K_t	ΔK	K_p	K_ϕ
37°	0,689	0,000326	0,2087	0,1438	37°	0,680	0,000343	0,2207	0,1501
	0,688	328	0,2101	0,1445		0,679	345	0,2220	0,1507
	0,687	330	0,2114	0,1452		0,678	346	0,2233	0,1514
	0,686	332	0,2128	0,1460		0,677	348	0,2246	0,1520
	0,685	334	0,2141	0,1467		0,676	350	0,2258	0,1527
	0,684	336	0,2154	0,1473		0,675	352	0,2271	0,1533
	0,683	338	0,2167	0,1480		0,674	354	0,2284	0,1539
	0,682	340	0,2181	0,1487		0,673	356	0,2297	0,1546
	0,681	342	0,2194	0,1494					

А. Правила пользования табл. 7 при расчете профиля наружных и внутренних дисковых фасонных резцов в осевой плоскости

1. Для расчета профиля дисковых фасонных резцов в осевой плоскости (фиг. 6, сечение по aa) должны быть известны следующие величины:

$\gamma_0 = \alpha + \gamma$ (где α — задний угол и γ — передний угол резца);
 D — наружный диаметр резца;

τ_1, τ_2, τ_3 и т. д. — высота различных точек (обычно крайних и узловых) профиля резца по передней грани, отсчитываемая от вершины резца, и рассчитанная с помощью табл. 6 или по формулам расчета дисковых резцов, приводимых ниже.

2. Находятся отношения $K_1 = \frac{\tau_1}{D}$, $K_2 = \frac{\tau_2}{D}$, $K_3 = \frac{\tau_3}{D}$ и т. д. с числом знаков, равным числу знаков значений K_p по табл. 7.

По данным отношениям определяются ближайшие значения коэффициентов K_p по табл. 7 для заданного значения γ_0 .

3. По значениям K_{p1}, K_{p2}, K_{p3} и т. д. берутся соответствующие им значения коэффициентов K_t , а именно: K_{t1}, K_{t2}, K_{t3} и т. д.

4. Высоты профиля резца в осевой плоскости определяются по формулам:

$$t_{p1} = \tau_1 K_{t1}; \quad t_{p2} = \tau_2 K_{t2}; \quad t_{p3} = \tau_3 K_{t3} \text{ и т. д.}$$

5. На некоторых автоматах высота установки резца определяется размерами державки, поэтому задний угол α может ока-

заться не равным целому числу градусов. Тогда γ_0 будет выражен не только в градусах, но и в минутах. В этом случае по ближайшему (желательно меньшему) табличному значению γ_0 определяются значения коэффициентов в порядке, изложенном выше и затем находятся значения поправок ΔK соответствующие K_t и высоты профилей резца определяются по формулам:

$$t_{p1} = (K_{t1} - \Delta K_1 \Delta \gamma') \tau_1; \quad t_{p2} = (K_{t2} - \Delta K_2 \Delta \gamma') \tau_2.$$

Если взято ближайшее большее значение γ_0 по таблице, то в формулах перед $\Delta K \Delta \gamma'$ ставится знак $+$.

Пример. Расчет профиля дискового резца в осевой плоскости, когда γ_0 имеет *целое число градусов*.

1) Дано: $\alpha = 8^\circ$; $\gamma = 12^\circ$, следовательно, $\gamma_0 = \alpha + \gamma = 20^\circ$; $D = 75 \text{ мм}$; $\tau_1 = 5,085 \text{ мм}$; $\tau_2 = 7,613 \text{ мм}$; $\tau_3 = 14,25 \text{ мм}$.

2) Находим отношения

$$K_1 = \frac{\tau_1}{D} = \frac{5,085}{75} = 0,068; \quad K_2 = \frac{\tau_2}{D} = \frac{7,613}{75} = 0,102;$$

$$K_3 = \frac{\tau_3}{D} = \frac{14,25}{75} = 0,190.$$

Для угла $\gamma_0 = 20^\circ$ находим по табл. 7 ближайшие значения K_p :

$$K_{p1} = 0,065; \quad K_{p2} = 0,102 \text{ и } K_{p3} = 0,188 \text{ или } 0,192.$$

3) Соответствующие им значения коэффициентов K_t будут:

$$K_{t1} = 0,931; \quad K_{t2} = 0,925.$$

Так как отношение $K_3 = \frac{\tau_3}{D} = 0,190$ близко к средней величине ближайших табличных значений K_{p3} и значение τ_3 велико, то для повышения точности расчета берем соответствующее среднее значение $K_{t3} = 0,9055$.

4) Высоты профиля резца в осевой плоскости будут

$$t_1 = \tau_1 K_{t1} = 5,085 \cdot 0,931 = 4,734 \text{ мм};$$

$$t_2 = \tau_2 K_{t2} = 7,613 \cdot 0,925 = 7,042 \text{ мм};$$

$$t_3 = \tau_3 K_{t3} = 14,25 \cdot 0,9055 = 12,903 \text{ мм}.$$

Пример. Расчет профиля дискового резца в осевой плоскости, когда γ_0 задан в градусах с минутами.

1) Дано: $\alpha = 8^\circ 55'$; $\gamma = 12^\circ$,

тогда

$$\gamma_0 = \alpha + \gamma = 20^\circ 55'; D = 75 \text{ мм}; \tau_1 = 5,085 \text{ мм}; \tau_2 = 7,613 \text{ мм}; \tau_3 = 14,25 \text{ мм}.$$

2) Находим отношения:

$$K_1 = \frac{\tau_1}{D} = \frac{5,085}{75} = 0,068; \quad K_2 = \frac{\tau_2}{D} = \frac{7,613}{75} = 0,102;$$

$$K_3 = \frac{\tau_3}{D} = \frac{14,25}{75} = 0,190.$$

3) Для ближайшего меньшего значения $\gamma_0 = 20^\circ$ находим по табл. 7 ближайшие значения K_p , именно:

$$K_{p1} = 0,065; K_{p2} = 0,102; K_{p3} = 0,188.$$

Соответствующие значения коэффициентов K_t и поправок ΔK на $1'$ изменения γ_0 по табл. 7 будут:

$$K_{t1} = 0,931; K_{t2} = 0,925; K_{t3} = 0,906;$$

$$\Delta K_1 = 0,000116; \Delta K_2 = 0,000128; \Delta K_3 = 0,000164.$$

4) Разность фактического значения угла γ_0 и табличного будет $\Delta\gamma' = 20^\circ 55' - 20^\circ = 55'$.

5) Высоты профиля резца в радиальной плоскости определяются:

$$t_1 = (K_{t1} - \Delta K_1 \cdot \Delta\gamma) \tau_1 = (0,931 - 0,000116 \cdot 55) 5,085 = 4,702 \text{ мм};$$

$$t_2 = (K_{t2} - \Delta K_2 \cdot \Delta\gamma) \tau_2 = (0,925 - 0,000128 \cdot 55) 7,613 = 6,989 \text{ мм};$$

$$t_3 = (K_{t3} - \Delta K_3 \cdot \Delta\gamma) \tau_3 = (0,906 - 0,000165 \cdot 55) 14,25 = 12,782 \text{ мм}.$$

Б. Правила пользования табл. 7 при расчете профиля внутренних дисковых фасонных резцов в плоскости передней грани (фиг. 7)

1. Для расчета профиля внутренних дисковых (или стержневых) фасонных резцов с передним углом в плоскости передней грани должны быть известны следующие величины:

γ — передний угол резца;

D_u — наибольший внутренний диаметр (базовый) фасонной детали;

t_1, t_2 и т. д. — высоты профиля детали в осевой плоскости, отсчитываемые от наибольшего диаметра D_u детали.

2. Находятся отношения $K'_1 = \frac{t_1}{D_u}; K'_2 = \frac{t_2}{D_u}$ и т. д. с числом знаков, равным числу знаков коэффициентов K_ϕ таблицы.

По отношениям K'_1, K'_2, K'_3 и т. д. находятся по табл. 7 ближайшие значения коэффициентов K_ϕ для заданного значения угла γ_0 , равного переднему углу резца γ , так как в этом случае не принимается во внимание величина заднего угла α .

3. По найденным ближайшим табличным значениям $K_{\phi 1}, K_{\phi 2}$ и т. д. берутся соответствующие им коэффициенты K_{t1}, K_{t2}, K_{t3} и т. д.

4. Высоты τ профиля резца по передней грани (фиг. 7) определяются по формулам

$$\tau_1 = \frac{t_1}{K_{t1}}; \quad \tau_2 = \frac{t_2}{K_{t2}}; \quad \tau_3 = \frac{t_3}{K_{t3}} \text{ и т. д.}$$

Пример. Расчет профиля внутреннего дискового фасонного резца по передней грани.

Дано: $\gamma = \gamma_0 = 22^\circ$, $D_u = 82 \text{ мм}$; $t_1 = 2 \text{ мм}$, $t_2 = 3 \text{ мм}$; $t_3 = 5 \text{ мм}$, $t_4 = 7 \text{ мм}$.

Расчет ведется в форме расчетной таблицы.

№ высоты профиля	Высота профиля детали t	Отношения $K' = \frac{t}{D_u}$ ($D_u = 82$)	Для $\gamma_0 = 22^\circ$ ближайшие значения коэффициента K_ϕ	K_t	Высота профиля резца по передней грани $\tau = \frac{t}{K_t}$
1	2	0,0244	0,0261	0,923	2,166
2	3	0,0366	0,0375	0,921	3,257
3	5	0,0610	0,0587	0,917	5,452
4	7	0,0854	0,0867	0,911	7,684

В. Правила пользования табл. 7 при расчете профиля фасонных фрез в плоскости передней грани

1. Для расчета профиля фасонной фрезы в плоскости передней грани (фиг. 8) должны быть известны:

$\gamma = \gamma_0$ — передний угол (положительный или отрицательный);

D — наружный диаметр фрезы;

t_1, t_2, t_3 и т. д. — высоты профиля обрабатываемой фасонной детали, отсчитываемые от наиболее низкой точки профиля (от наружного диаметра фрезы).

2. Находятся отношения $K'_1 = \frac{t_1}{D}$, $K'_2 = \frac{t_2}{D}$, $K'_3 = \frac{t_3}{D}$ и т. д. с числом знаков, равным числу знаков коэффициентов K_ϕ таблицы для заданного значения γ_0 .

3. По найденным ближайшим табличным значениям $K_{\phi 1}$; $K_{\phi 2}$; $K_{\phi 3}$ и т. д. берутся соответствующие им значения коэффициентов K_t , а именно: K_{t1} ; K_{t2} ; K_{t3} и т. д.

4. Высоты профиля фрезы по передней грани (фиг. 8) определяются по формулам: $\tau_1 = \frac{t_1}{K_{t1}}$; $\tau_2 = \frac{t_2}{K_{t2}}$; $\tau_3 = \frac{t_3}{K_{t3}}$ и т. д.

Пример. Расчет профиля фрезы по передней грани.

1) Дано: $\gamma = \gamma_0 = 15^\circ$, $D = 150$ мм, $t_1 = 1,5$ мм, $t_2 = 17$ мм, $t_3 = 31,65$ мм

2) Расчет ведется в форме расчетной таблицы.

№ высоты профиля	Высота профиля детали t	Отношения $K' = \frac{t}{D}$ ($D = 150$)	Для $\gamma_0 = 15^\circ$ ближайшего значения коэффициента K_ϕ	K_t	Высота профиля резца по передней грани $\tau = \frac{t}{K_t}$
1	1,5	0,010	0,013	0,965	1,554
2	17	0,113	0,110	0,956	17,782
3	31,65	0,211	0,2115 (среднее)	0,9395 (интерпо- ляция)	33,688

3) Возможная неточность расчета для размера $t_2 = 17$ мм будет $\Delta_2 = 0,0005 \cdot 17 = 0,009$ мм и для размера $t_3 = 31,65$ мм $\Delta_3 = 0,00025 t_3 = 0,00025 \cdot 31,65 = 0,008$ мм.

Г. Правила пользования табл. 7 при упрощенном расчете профиля затыловочного шлифовального круга¹

1. Расчет рекомендуется применять в тех случаях, когда высота профиля t не превышает 15 мм.

При расчете профиля фасонной фрезы, затылованной шлифованием, в нормальной плоскости, т. е. профиля шлифовального круга

(фиг. 9, сечение по aa) должны быть известны следующие величины:

D — наружный диаметр фрезы;

τ_1 , τ_2 , τ_3 и т. д. — высоты различных точек профиля фрезы по передней грани;

z — число зубцов фрезы;

K — падение затылка;

γ — передний угол фрезы.

2. Определяется величина заднего угла фрезы

$$\operatorname{tg} \alpha \approx \frac{Kz}{\pi D}.$$

3. Находится величина радиуса кривизны затылочной кривой у вершины зуба фрезы

$$\rho = \frac{D}{2 \cos \alpha}.$$

4. Определяется угол γ_0 по формуле

$$\gamma_0 = \gamma + \alpha.$$

5. Рассчитываются отношения

$$K_1 = \frac{\tau_1}{2\rho}; K_2 = \frac{\tau_2}{2\rho}; K_3 = \frac{\tau_3}{2\rho}$$

и т. д. и по ним находят ближайшие значения коэффициентов K_p по табл. 7 для ближайшего меньшего значения γ_0 .

6. По значениям K_{p1} ; K_{p2} и K_{p3} находятся по табл. 7 соответствующие им значения K_{t1} ; K_{t2} ; K_{t3} , ΔK_1 ; ΔK_2 и ΔK_3 .

7. Определяется разность $\Delta \gamma$ (в минутах) между табличным значением γ_0 и фактическим значением.

8. Высоты профиля фрезы определяются по формуле:

$$t = (K_t - \Delta K \Delta \gamma') \tau.$$

Если γ_0 по таблице больше фактического, то в формуле перед $\Delta K \cdot \Delta \gamma'$ ставится знак $+$.

Пример. Расчет профиля нормального сечения затылочной поверхности фасонной фрезы (профиля шлифовального круга).

1) Дано: $\gamma = 15^\circ$; $D = 150$ мм; $z = 10$; $K = 8$ мм; $\tau_1 = 1,554$ мм; $\tau_2 = 17,782$ мм; $\tau_3 = 30,5$ мм.

2) Величина заднего угла фрезы

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{Kz}{\pi D} = \frac{10,8}{3,1416 \cdot 150} = 0,169764; \alpha = 9^\circ 38'.$$

¹ Точный расчет профиля шлифовального круга приведен в § 20.

3) Радиус кривизны затылочной кривой у вершины зуба

$$\rho = \frac{D}{2 \cos \alpha} = \frac{75}{0,985899} = 76,07 \text{ мм.}$$

4) Угол γ_0

$$\gamma_0 = \gamma + \alpha = 15^\circ + 9^\circ 38' = 24^\circ 38'.$$

5) Находятся отношения

$$K_1 = \frac{\tau_1}{2\rho} = \frac{1,554}{152,14} = 0,0102;$$

$$K_2 = \frac{\tau_2}{2\rho} = \frac{17,782}{152,14} = 0,1169;$$

$$K_3 = \frac{\tau_3}{2\rho} = \frac{30,5}{152,14} = 0,2005.$$

6) Для ближайшего меньшего значения угла $\gamma_0 = 24^\circ$ по табл. 7 берем ближайшие значения K_p и по ним находим соответствующие значения K_t и ΔK , которые сводим в таблицу

№ высоты профиля	$K = \frac{\tau}{2\rho}$	K_p	K_t	ΔK
1	0,0102	0,0092	0,912	0,000121
2	0,1169	0,1171	0,889	0,000158
3	0,2005	0,2006	0,862	0,000205

7) Высоты профиля фрезы в нормальной плоскости при угле $\gamma'_1 = 24^\circ 38' - 24^\circ = 38'$ будут;

$$t_{\phi 1} = (K_{t1} - \Delta K_1 \cdot \Delta \gamma'_1) \tau_1 = (0,912 - 0,000121 \cdot 38) 1,554 = 1,410 \text{ мм};$$

$$l_{\phi 2} = (K_{t2} - \Delta K_2 \cdot \Delta \gamma'_1) \tau_2 = (0,889 - 0,000158 \cdot 38) 17,782 = 15,702 \text{ мм};$$

$$t_{\phi 3} = (K_{t3} - \Delta K_3 \cdot \Delta \gamma'_1) \tau_3 = (0,862 - 0,000205 \cdot 38) 30,5 = 26,053 \text{ мм.}$$

§ 7. ЗАМЕНА КРИВЫХ ПРОФИЛЕЙ ФАСОННЫХ РЕЗЦОВ И ФРЕЗ ДУГАМИ ОКРУЖНОСТЕЙ С СОПРЯЖЕННЫМИ ПРЯМЫМИ (ТИПОВЫЕ ПРОФИЛИ 1—9)

[12, стр. 30—31]

Профили фасонных деталей, обычно состоящие из различных комбинаций дуговых и прямолинейных участков, отличаются от профилей фасонных резцов и фрез не только по высоте, но для некоторых типов и по ширине профиля инструмента. Также отличаются координаты промежуточных точек ввиду наличия у инструмента передних и задних углов.

Дуговым участкам профиля детали соответствуют на инструменте кривые, которые обычно заменяются дугами окружностей. Дуговые участки на профиле инструмента, построенные по найденным расчетом крайним и узловым точкам, отличаются от дуговых участков профиля детали величиной радиуса, а также часто и по координатам центра и точек сопряжения с прямолинейными участками. На прямолинейных участках изменяются величины угла профиля.

Приведенные ниже формулы для расчета угловых и дуговых участков профиля на инструменте даны для наиболее часто встречающихся у резцов и особенно у фасонных фрез типовых профилей. Расчет ведется после того, как высота и ширина узловых и крайних точек профиля инструмента найдены и требуется лишь указать размеры углов, радиусов и координат их центров на профиле инструмента.

Замена профиля инструмента дугами окружностей и прямыми вносит искажения в профиль инструмента. Поэтому профили инструментов, назначенные для точной обработки, задаются своими координатами точек с малыми промежутками.

Ниже приводятся способы расчета ряда типовых профилей, состоящих из сочетания прямых и дуг окружностей.

1. Типовой профиль № 1 — угловой (фиг. 10).

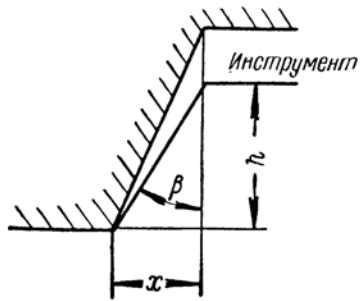
Известные величины профиля инструмента: x — ширина; h — высота профиля.

Угол β определяется по формуле

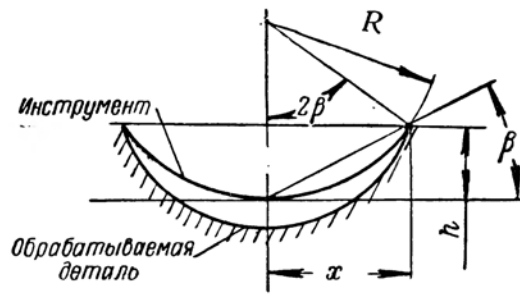
$$\operatorname{tg} \beta = \frac{x}{h}.$$

2. Типовой профиль № 2 — дуговой не симметричный в пределах $1/4$ окружности или симметричный в пределах $1/2$ окружности (фиг. 11).

Обрабатываемая деталь



Фиг. 10. Типовой профиль № 1 — угловой.



Фиг. 11. Типовой профиль № 2 — дуговой.

Заданные величины профиля: x — ширина дугового профиля; h — высота профиля.

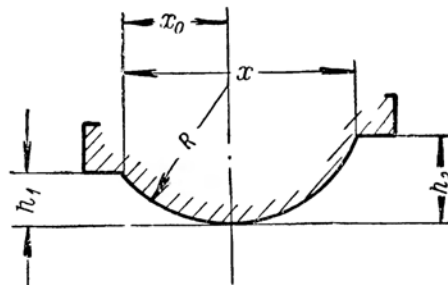
Радиус R дугового профиля находится по формулам:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{h}{x};$$

$$R = \frac{x}{\sin 2\beta},$$

где β — промежуточная расчетная величина.

3. Типовой профиль № 3 — дуговой не симметричный в пределах $1/2$ окружности (фиг. 12).



Фиг. 12. Типовой профиль № 3 — дуговой, несимметричный.

Известные величины профиля инструмента: x — ширина между крайними точками профиля; h_1 — меньшая высота крайней точки профиля и h_2 — большая высота крайней точки профиля.

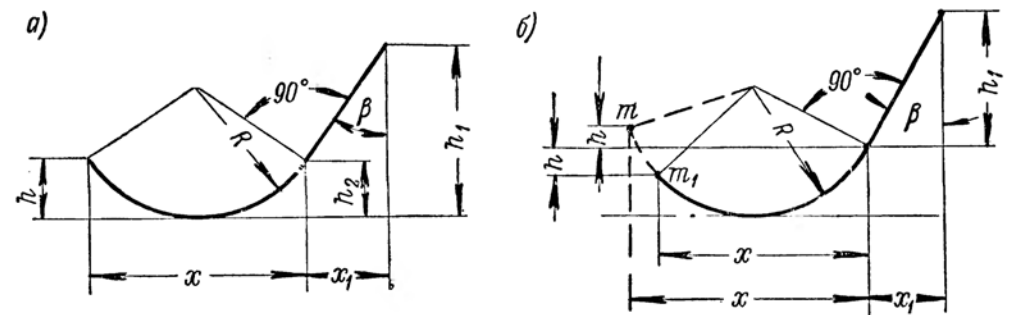
Радиус R дугового профиля и абсцисса x_0 центра окружности до крайней точки с меньшей высотой определяются по следующим формулам:

№ формул	Обозначение искомой величины	Формула
1	β	$\operatorname{tg} \beta = \frac{h_2 - h_1}{x}$
2	A	$A = 2 \sqrt{h_1 \cdot h_2} \cos \beta$
3	R	$R = \frac{h_1 + h_2 - A}{2 \sin^2 \beta}$
4	x_0	$x_0 = \sqrt{h_1 (2R - h_1)}$

Примечания:
 1. Значение абсциссы x_0 на инструменте не совпадает с соответствующим значением абсциссы на профиле детали.
 2. β и A — промежуточные расчетные величины.

4. Типовой профиль № 4а — дуговой с одной сопряженной прямой (фиг. 13, а).

Заданные величины профиля инструмента h , h_1 , h_2 — высоты; x и x_1 — абсциссы.



Фиг. 13. Типовой профиль № 4 — дуговой с сопряженной прямой.

Угол β прямолинейного участка и радиус R дугового участка профиля определяются следующими формулами:

№ формул	Обозначение искомой величины	Формула
1	β	$\operatorname{tg} \beta = \frac{x_1}{h_1 - h_2}$
2	y	$y = \sqrt{2xh \cos \beta - x^2 \sin^2 \beta}$
3	R	$R = \frac{x \cos \beta + h - y}{\cos^2 \beta}$
Примечания: 1. Для случая, когда прямая профиля перпендикулярна базовой линии, т. е. $x_1 = 0$ и соответственно $\beta = 0$, радиус дугового участка определяется по формуле $R = x + h - \sqrt{2xh}$. 2. y — промежуточная расчетная величина.		

5. Типовой профиль № 4б — дуговой с одной сопряженной прямой (фиг. 13, б). Известные величины профиля инструмента: h , h_1 — высоты; x , x_1 — абсциссы.

Угол β прямолинейного участка и радиус R дугового участка находятся по формулам:

№ формул	Обозначение искомой величины	Формула
1	β	$\operatorname{tg} \beta = \frac{x_1}{x_1}$
2	δ	$\operatorname{tg} \delta = \frac{h}{x}$
3	R	$R = \frac{x}{2} \sec \delta \sec (\beta \mp \delta)$
Примечания: 1. Знак минус в формуле (3) соответствует случаю отсчета h от точки m. Знак плюс соответствует отсчету h от точки m_1. 2. Для случая $x_1 = 0$ и $\beta = 0$, т. е. когда прямая профиля перпендикулярна базовой линии, радиус $R = \frac{x}{2} \sec^2 \delta$. 3. Если на чертеже высоты h и h_1 заданы от нижней точки дуги, то R и β определяются по формулам типового профиля 4а. 4. Угол δ — промежуточная расчетная величина.		

6. Типовой профиль № 5 — дуговой с двумя сопряженными прямыми (фиг. 14).

Нижеприведенные формулы рекомендуются для случая, когда высоты h_{∂}^* крайних точек профиля детали больше радиуса R_{∂} , т. е.

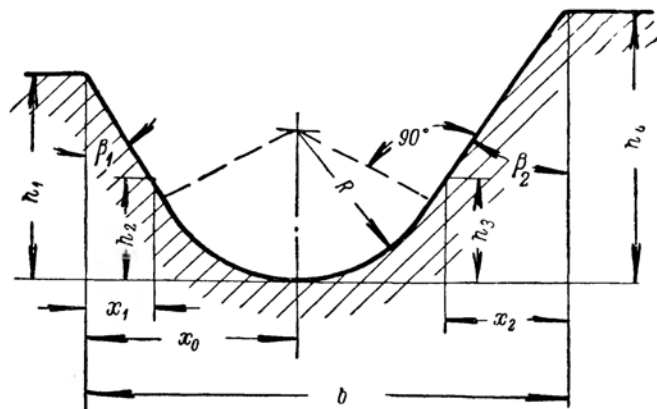
$$h_{1\partial} > R_{\partial} \text{ и } h_{4\partial} > R_{\partial}.$$

Известные величины: h_1 , h_2 , h_3 , h_4 — высоты профиля инструмента; x_1 , x_2 — абсциссы; b — ширина профиля инструмента.

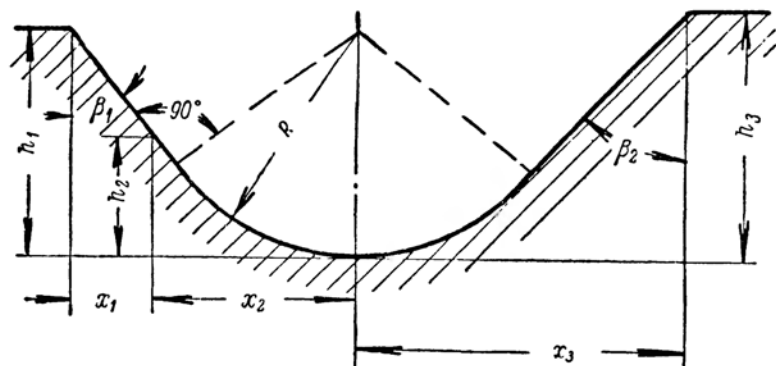
Углы β_1 и β_2 прямолинейных участков, радиус R дугового участка и абсцисса центра x_0 определяются по формулам:

№ формул	Обозначение искомой величины	Формула
1	β_1	$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{x_1}{h_1 - h_2}$
2	β_2	$\operatorname{tg} \beta_2 = \frac{x_2}{h_4 - h_3}$
3	B	$B = b - h_1 \operatorname{tg} \beta_1 - h_4 \operatorname{tg} \beta_2$
4	C	$C = \operatorname{tg} \frac{90^\circ - \beta_1}{2} + \operatorname{tg} \frac{90^\circ - \beta_2}{2}$
5	R	$R = \frac{B}{C}$
6	D	$D = (h_1 - R) \operatorname{tg} \beta_1$
7	E	$E = R \sec \beta_1$
8	x_0	$x_0 = D + E$
Примечания: 1. Абсциссы x_1 и x_2 точек сопряжения прямолинейных участков с дуговым профилем детали не совпадают с абсциссами точек сопряжения заменяющего профиля инструмента. 2. По данным формулам замена прямолинейных участков на профиле инструмента проведена более точно, чем замена дугового участка. 3. Значение абсциссы x_0 на инструменте не совпадает с соответствующей абсциссой на профиле детали. 4. B, C, D и E — промежуточные расчетные величины.		

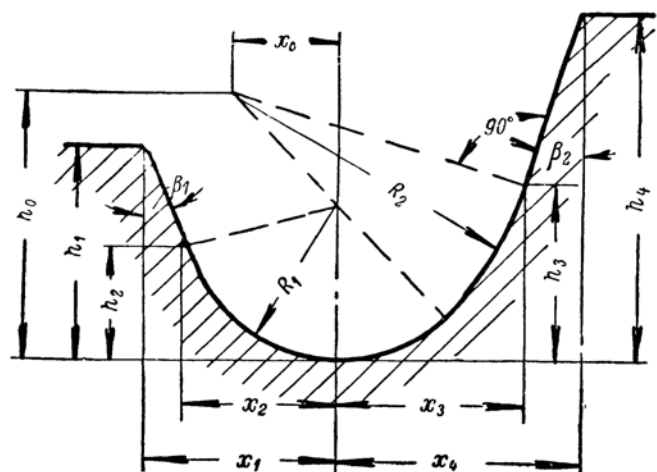
* Индекс ∂ обозначает, что размер относится к профилю детали.



Фиг. 14. Типовой профиль № 5 — дуговой с двумя сопряженными прямыми ($h_{10} > R_{\partial}$).



Фиг. 15. Типовой профиль № 6 — дуговой с двумя сопряженными прямыми ($h_{10} < R_{\partial}$).



Фиг. 16. Типовой профиль № 7 — две сопряженные дуги с двумя сопряженными прямыми.

7. Типовой профиль № 6 — дуговой с двумя сопряженными прямыми (фиг. 15). Нижеприведенные формулы рекомендуются для случая, когда высоты h_{∂} крайних точек профиля детали меньше радиуса R_{∂} профиля детали, т. е. $h_{1\partial} < R_{\partial}$ и $h_{3\partial} < R_{\partial}$. Известные величины профиля инструмента: x_1, x_2, x_3 — абсциссы, h_1, h_2, h_3 — высоты. R, β_1 и β_2 находятся по следующим формулам:

№ формул	Обозначение искомой величины	Формула
1	δ	$\operatorname{tg} \delta = \frac{h_2}{x_2}$
2	R	$R = \frac{x_2}{\sin 2\delta}$
3	λ_1	$\operatorname{tg} \lambda_1 = \frac{R - h_1}{x_1 + x_2}$
4	φ_1	$\cos \varphi_1 = \frac{R \cos \lambda_1}{x_1 + x_2}$
5	β_1	$\beta_1 = \varphi_1 + \lambda_1$
6	λ_2	$\operatorname{tg} \lambda_2 = \frac{R - h_3}{x_3}$
7	φ_2	$\cos \varphi_2 = \frac{R \cos \lambda_2}{x_3}$
8	β_2	$\beta_2 = \varphi_2 + \lambda_2$

Примечания:
 1. Абсциссы точек сопряжения профиля детали не совпадают с абсциссами точек сопряжения профиля инструмента.
 2. По данным формулам замена дугового участка с абсциссой x_2 и прямолинейного с углом β_1 более точная, чем замена остального участка профиля.
 3. $\delta, \lambda_1, \varphi_1, \lambda_2, \varphi_2$ — промежуточные расчетные величины.

8. Типовой профиль № 7 — с двумя сопряженными дугами окружности и двумя сопряженными прямыми (фиг. 16).

Заданные величины профиля инструмента: x_1, x_2, x_3, x_4 — абсциссы; h_1, h_2, h_3, h_4 — высоты.

$R_1, R_2, \beta_1, \beta_2, x_0, h_0$ определяются по следующим формулам:

№ формул	Обозначение искомой величины	Формула
1	β_1	$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{x_1 - x_2}{h_1 - h_2}$
2	A	$A = x_1 - h_1 \operatorname{tg} \beta_1$
3	R_1	$R_1 = A \operatorname{tg} \frac{90 + \beta_1}{2}$
4	μ	$\operatorname{tg} \mu = \pm \frac{R_1 - h_3}{x_3}$
5	K	$K = x_3 \sec \mu$
6	β_2	$\operatorname{tg} \beta_2 = \frac{x_4 - x_3}{h_4 - h_3}$
7	B	$B = K \cos (\beta_2 \mp \mu) - R_1$
8	R_2	$R_2 = \frac{K^2 - R_1^2}{2B}$
9	x_0	$x_0 = R_2 \cos \beta_2 - x_3$
10	h_0	$h_0 = R_2 \sin \beta_2 + h_3$

Примечания:
 1. Верхний знак в формулах для μ и B берется при $R_1 > h_3$, а нижний при $R_1 < h_3$.
 2. A, μ, K и B — промежуточные величины.

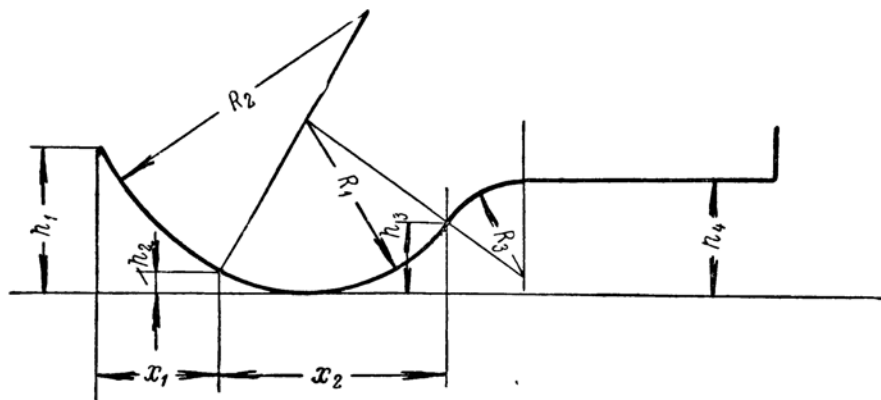
9. Типовой профиль № 8 — с тремя сопряженными дугами окружности (фиг. 17).

Известные величины профиля инструмента; x_1, x_2 — абсциссы; h_1, h_2, h_3, h_4 — высоты.

R_1, R_2 и R_3 — радиусы дуговых участков — определяются по формулам:

№ формул	Обозначение искомой величины	Формула
1	β	$\operatorname{tg} \beta = \frac{h_3 - h_2}{x_2}$
2	A	$A = 2 \sqrt{h_2 h_3} \cdot \cos \beta$
3	R_1	$R_1 = \frac{h_2 + h_3 - A}{2 \sin^2 \beta}$
4	λ	$\sin \lambda = \frac{R_1 - h_2}{R_1}$
5	μ	$\operatorname{tg} \mu = \frac{h_1 - h_2}{x_1}$
6	δ	$\delta = 180^\circ - (\lambda + \mu)$
7	R_2	$R_2 = \frac{x_1}{2} \sec \mu \sec \delta$
8	ϵ	$\sin \epsilon = \frac{R_1 - h_3}{R_1}$
9	R_3	$R_3 = \frac{h_4 - h_3}{1 - \sin \epsilon}$

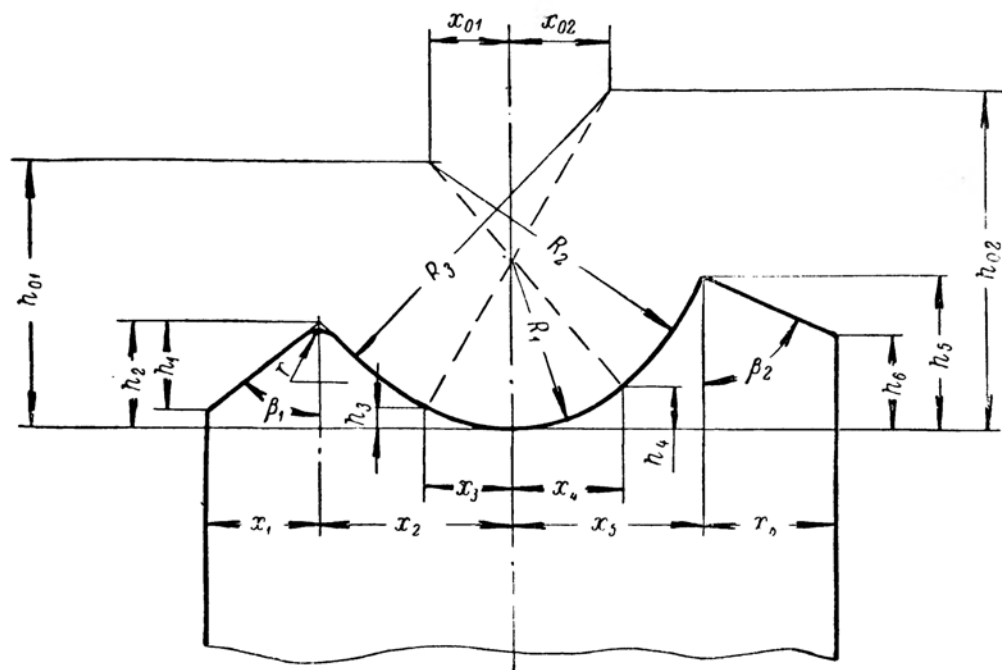
Примечание: $\beta, A, \lambda, \mu, \delta$ — промежуточные расчетные величины.



Фиг. 17. Типовой профиль № 8 — с тремя сопряженными дугами.

10. Типовой профиль № 9 — с четырьмя дуговыми участками и двумя несопряженными прямыми (фиг. 18). Заданные величины профиля инструмента: $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$ — абсциссы; $h_1, h_2, h_3, h_4, h_5, h_6$ — высоты.

Величины $R_1, R_2, R_3, x_{01}, h_{01}, x_{02}, h_{02}, \beta_1, \beta_2, r$ определяются по следующим формулам:



Фиг. 18. Типовой профиль № 9 — с четырьмя дуговыми участками.

№ формул	Обозначение	Формула
1	μ	$\operatorname{tg} \mu = \frac{h_3}{x_3}$
2	R_1	$R_1 = x_3 \operatorname{cosec} 2\mu$
3	λ	$\operatorname{tg} \lambda = \frac{h_2 - h_3}{x_2 - x_3}$
4	R_3	$R_3 = \frac{x_2 - x_3}{2} \sec \lambda \operatorname{cosec} (\lambda - 2\mu)$
5	x_{02}	$x_{02} = R_3 \sin 2\mu - x_3$
6	h_{02}	$h_{02} = R_3 \cos 2\mu + h_3$
7	δ	$\sin \delta = \frac{x_4}{R_1}$
8	λ_1	$\operatorname{tg} \lambda_1 = \frac{h_5 - x_4 \operatorname{tg} \frac{\delta}{2}}{x_5 - x_4}$
9	R_2	$R_2 = \frac{x_5 - x_4}{2} \sec \lambda_1 \operatorname{cosec} (\lambda_1 - \delta)$
10	x_{01}	$x_{01} = R_2 \sin \delta - x_4$
11	h_{01}	$h_{01} = R_2 \cos \delta - h_4$
12	β_1	$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{x_1}{h_1}$
13	β_2	$\operatorname{tg} \beta_2 = \frac{x_6}{h_5 - h_6}$

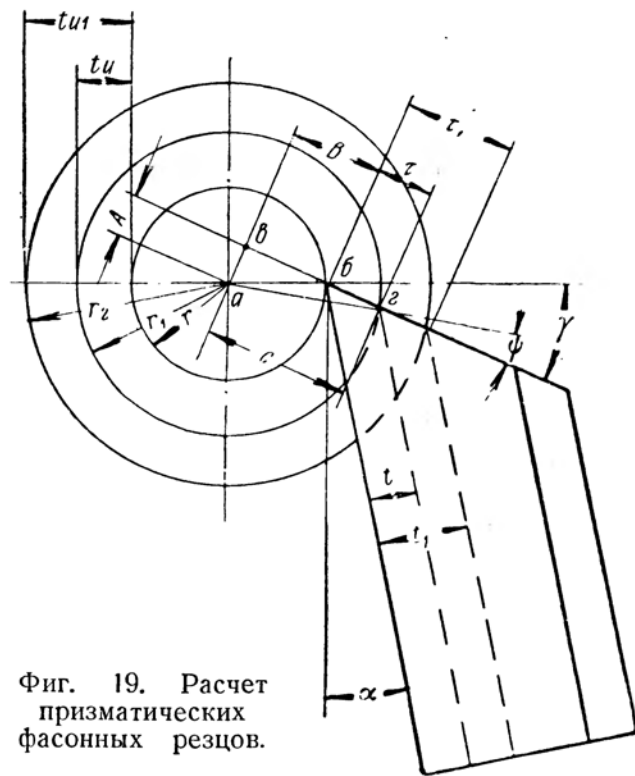
Примечания:
1. Координаты центров окружностей дуговых участков профиля инструмента не совпадают с координатами центров дуг профиля детали.
2. При малом радиусе r — он переносится с профиля детали на профиль фрезы без изменения.
3. μ, λ, δ и λ_1 — промежуточные расчетные величины.

РАСЧЕТ ФАСОННЫХ РЕЗЦОВ С ОБЫЧНОЙ УСТАНОВКОЙ НА СТАНКЕ

§ 8. РАСЧЕТ ПРИЗМАТИЧЕСКИХ ФАСОННЫХ РЕЗЦОВ (Фиг. 19)

А. Выбор конструктивных размеров и порядок расчета

1. Габаритные размеры призматических фасонных резцов выбираются по табл. 1 или по размерам державок для резцов.



Фиг. 19. Расчет призматических фасонных резцов.

2. Передний угол γ и задний угол α выбираются по табл. 5 и задаются на резце у его вершины (наименьшего диаметра профильной части детали) в плоскости, перпендикулярной оси при установке вершины резца на высоте оси обрабатываемой детали.

3. Расчет профиля резца ведется в три приема:

а) определяются высоты τ узловых точек профиля резца в плоскости передней грани резца;

б) рассчитываются высоты t узловых точек резца в нормальном сечении (в плоскости, перпендикулярной ребрам задней грани резца);

в) находятся углы β прямолинейных участков и радиусы R дуговых участков профиля резца по формулам расчета типовых профилей, приведенным в § 7.

4. Для точных криволинейных профилей рекомендуется рассчитывать высоты не только узловых, но и промежуточных точек профиля резца.

5. Все осевые размеры, параллельные оси детали, переносятся с профиля изделия на профиль резца без изменения.

6. Расчет высот τ профиля резца по передней грани производится с помощью табл. 6 и только в отдельных случаях, когда пределы таблицы недостаточны, следует пользоваться формулами, приведенными ниже в п. 8.

Б. Расчет профиля

[1, стр. 34—36], [6, стр. 19—22]

7. Для расчета профиля резца по передней грани (фиг. 19) известны следующие величины:

γ — передний угол;

α — задний угол;

r, r_1, r_2 — радиусы окружностей узловых и конечных точек профиля детали;

t_u, t_{u1}, t_{u2} — высоты профиля изделия, отсчитываемые от базового диаметра $d_u = 2r$;

l_0, l_1, l_2 — расстояние между узловыми точками вдоль оси изделия;

R_u, R_{u1}, R_{u2} — радиусы дуговых участков профиля детали;

a, a_1, a_2 — ординаты центров дуговых участков профиля;

$\beta_{10}, \beta_{20}, \beta_{30}$ — углы между прямолинейными участками профиля и перпендикуляром к оси детали.

Для криволинейных участков с точным профилем дополнительно определяются радиусы окружностей ряда точек профиля изделия в плоскости перпендикулярной оси, и соответственно осевые размеры.

8. Сводка формул и порядок расчета высоты τ профиля призматического резца по передней грани для одного участка с радиусами узловых точек r и r_1 (фиг. 19):

№ формул	Наименование искомой величины	Обозначение	Формула
1	Отрезок $\bar{av}$	A	$A = r \sin \gamma$
2	Отрезок $\bar{bv}$	B	$B = r \cos \gamma$
3	Угол agv	ψ	$\sin \psi = \frac{A}{r_1}$
4	Отрезок $\bar{vg}$	C	$C = r_1 \cos \psi$
5	Высота профиля резца по передней грани	τ	$\tau = C - B$

9. Расчет последующих высот τ_1 , τ_2 и т. д. для других участков профиля производится аналогично при постоянстве значений A и B , найденных расчетом в п. 8.

Для значений r_2 , r_3 и т. д. в последующих расчетах следует определить лишь ψ , C и τ .

10. Расчет высот t , t_1 и т. д. профиля призматического резца в нормальном сечении производится по формулам:

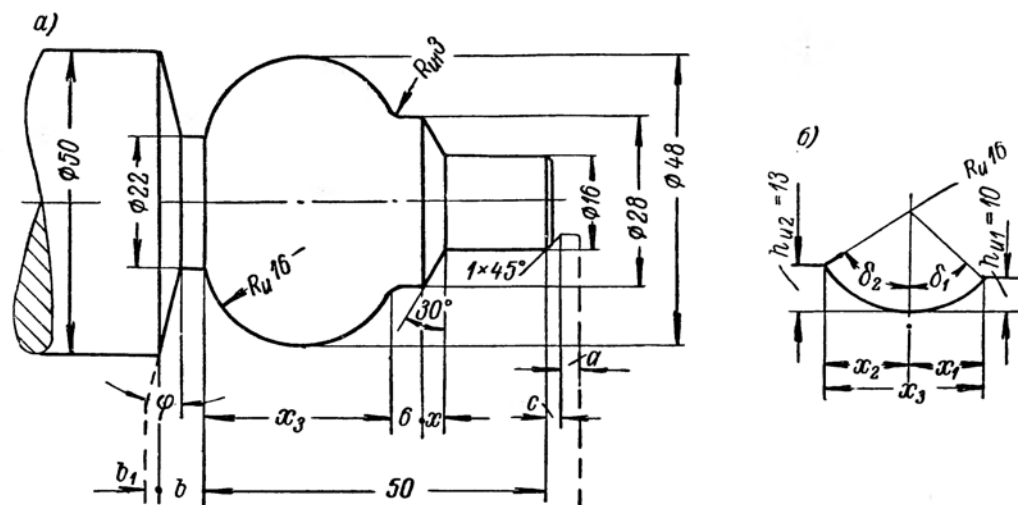
$$\gamma_0 = \alpha + \gamma; \quad t_1 = \tau_1 \cos \gamma_0;$$

$$t_2 = \tau_2 \cos \gamma_0 \text{ и т. д.}$$

11. Расчет углов прямолинейных участков профиля и радиусов заменяющих окружностей криволинейных участков производится по формулам, приведенным выше (см. типовые профили, фиг. 10—18).

В. Пример расчета

12. На фиг. 20 заданы профиль и размеры фасонного изделия, обрабатываемого из пруткового материала $\varnothing 50$ мм. Материал детали — сталь с пределом прочности $\sigma_B = 85$ кг/мм². Деталь обрабатывается призматическим резцом с подготовкой под последующую отрезку.



Фиг. 20. Профиль детали.

13. Согласно указаниям к фиг. 1, дополнительные режущие кромки под отрезку и подрезку будут иметь размеры:

$$b_1 = 0,5 \text{ мм}; \quad b = 7 \text{ мм}; \quad \varphi = 15^\circ; \quad c = 2,5 \text{ мм}; \quad a = 4 \text{ мм}.$$

Общая ширина резца будет:

$$L_p = L_\partial + a + c + b + b_1 = 50 + 4 + 2,5 + 7 + 0,5 = 64 \text{ мм}.$$

Наибольшая глубина профиля детали равна

$$t_{\max} = \frac{48 - 16}{2} = 16 \text{ мм}.$$

Габаритные размеры резца находим по табл. 1 для $t_{\max} = 20$ мм.

14. Передний угол γ и задний угол α выбираем по табл. 5 для стали с $\sigma_B = 80 - 100$ кг/мм².

$$\gamma = 15^\circ; \quad \alpha = 12^\circ.$$

15. Радиусы окружностей узловых точек профиля детали, согласно фиг. 19 и 20, будут:

$$r = 8 \text{ мм}; \quad r_1 = 11 \text{ мм}; \quad r_2 = 14 \text{ мм}; \quad r_3 = 24 \text{ мм}.$$

Базовый диаметр детали $d_u = 16$ мм.

Радиусы дуговых участков: $R_u = 16$ мм и $R_{u1} = 3$ мм. Угол конического профиля $\beta_\partial = 30^\circ$.

16. Расчет высот профиля призматического резца по передней грани ведем с помощью табл. 6 в порядке, указанном в „Правилах пользования таблицей“:

$$\text{для } t_{u1} = r_1 - r = 11 - 8 = 3 \text{ мм};$$

$$K_{u1} = \frac{d_u}{t_{u1}} = \frac{16}{3} = 5,333,$$

$$\text{для } t_{u2} = r_2 - r = 14 - 8 = 6 \text{ мм};$$

$$K_{u2} = \frac{d_u}{t_{u2}} = \frac{16}{6} = 2,666,$$

$$\text{для } t_{u3} = r_3 - r = 24 - 8 = 16 \text{ мм};$$

$$K_{u3} = \frac{d_u}{t_{u3}} = \frac{16}{16} = 1,0.$$

17. По ближайшим значениям K_u табл. 6 при $\gamma = 15^\circ$ находим значения K_τ :

$$\text{для } K_{u1} = 5,333$$

$$K_{\tau_1} = 1,0255;$$

$$\text{для } K_{u2} = 2,666$$

$$K_{\tau_2} = 1,0195;$$

$$\text{для } K_{u3} = 1,0$$

$$K_{\tau_3} = 1,0115.$$

18. Рассчитываем высоты профиля резца по передней грани

$$\tau_1 = t_{u1} K_{\tau_1} = 3 \cdot 1,0255 = 3,077 \text{ мм};$$

$$\tau_2 = t_{u2} K_{\tau_2} = 6 \cdot 1,0195 = 6,117 \text{ мм};$$

$$\tau_3 = t_{u3} K_{\tau_3} = 16 \cdot 1,0115 = 16,184 \text{ мм}.$$

19. Рассчитываем высоты профиля резца в нормальном сечении по формулам п. 10 (стр. 32)

$$\gamma_0 = \alpha + \gamma = 15^\circ + 12^\circ = 27^\circ;$$

$$t_1 = \tau_1 \cos \gamma_0 = 3,077 \cdot 0,891007 = 2,742 \text{ мм};$$

$$t_2 = \tau_2 \cos \gamma_0 = 6,117 \cdot 0,891007 = 5,450 \text{ мм};$$

$$t_3 = \tau_3 \cos \gamma_0 = 16,184 \cdot 0,891007 = 14,420 \text{ мм}.$$

20. Для расчета угла профиля резца, соответствующего углу профиля детали в 30° , определяем ширину углового участка детали вдоль оси (фиг. 20):

$$x = t_{u2} \operatorname{tg} 30^\circ = 6 \cdot 0,577350 = 3,464 \text{ мм}.$$

Согласно типовому профилю № 1 (фиг. 10) угол соответствующего участка профиля призматического резца будет:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{x}{h} = \frac{x}{t_2} = \frac{3,464}{5,45} = 0,635596;$$

$$\beta = 32^\circ 26'.$$

21. Чтобы определить радиус дугового участка профиля резца, рассчитываем ширину x_3 дугового участка профиля детали вдоль ее оси (фиг. 20, б)

$$\cos \delta_1 = \frac{R_u - h_{u1}}{R_u} = \frac{16 - 10}{16} = \frac{6}{16} = 0,375;$$

$$\cos \delta_2 = \frac{R_u - h_{u2}}{R_u} = \frac{16 - 13}{16} = \frac{3}{16} = 0,1875;$$

$$x_3 = x_1 + x_2 = R_u (\sin \delta_1 + \sin \delta_2);$$

$$x_3 = 16 (0,92702 + 0,98226) = 30,548 \text{ мм}.$$

Согласно фиг. 12 и формулам для определения радиуса дугового участка, а также считая известными:

$$h_1 = t_3 - t_2 = 14,42 - 5,45 = 8,97 \text{ мм};$$

$$h_2 = t_3 - t_1 = 14,42 - 2,742 = 11,672 \text{ мм}$$

и полагая $x_3 = x = 30,548 \text{ мм}$, находим радиус R профиля резца и абсциссу x_0 центра заменяющей окружности по формулам типового профиля № 3:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{h_2 - h_1}{x} = \frac{11,672 - 8,97}{30,548} = 0,088451;$$

$$A = 2 \sqrt{h_1 h_2} \cos \beta = 2 \sqrt{11,672 \cdot 8,97} \cdot 0,99611 = 20,3847 \text{ мм};$$

$$R = \frac{h_1 + h_2 - A}{2 \sin^2 \beta} = \frac{11,672 + 8,97 - 20,3847}{2 \cdot 0,088122^2} = 16,567 \text{ мм};$$

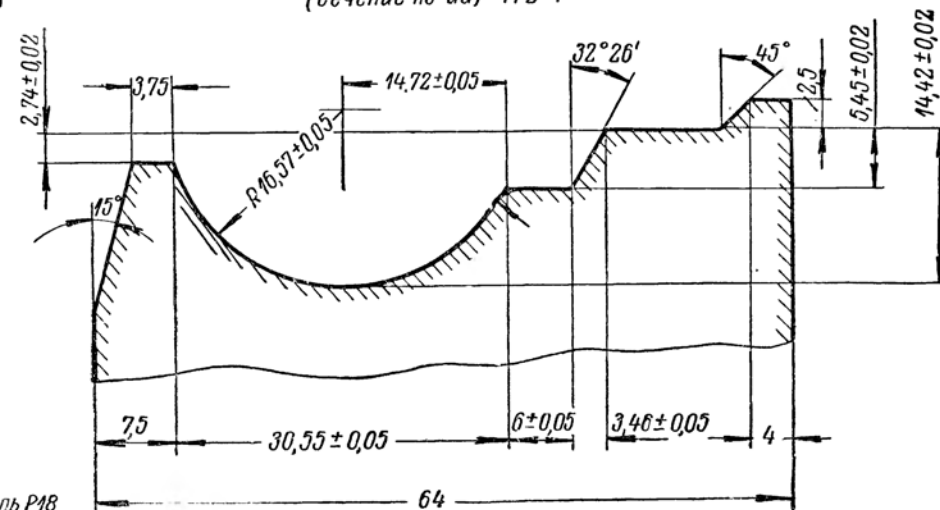
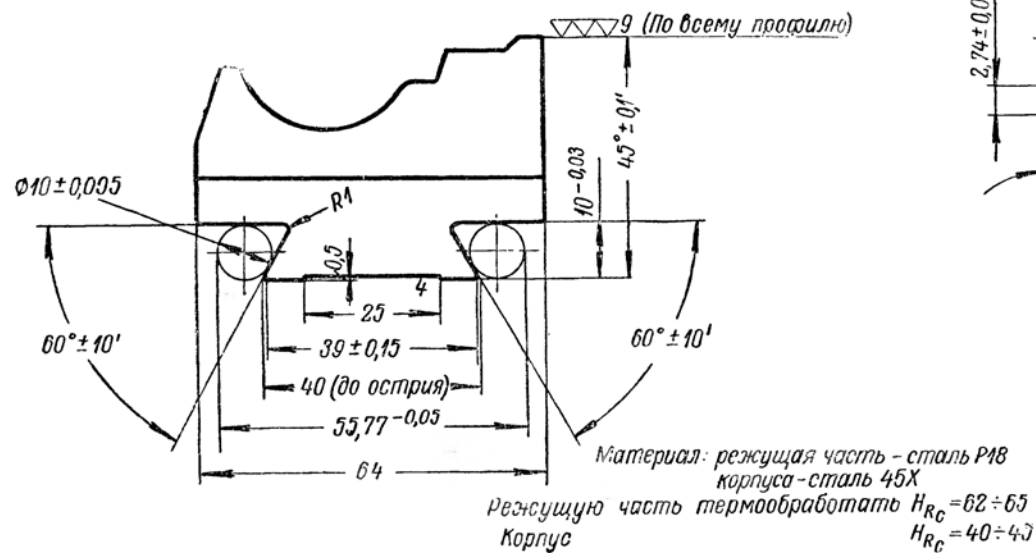
$$x_0 = \sqrt{h_1 (2R - h_1)} = \sqrt{8,97 (2 \cdot 16,567 - 8,97)} = 14,722 \text{ мм}.$$

22. Размеры фасочной кромки и радиуса $R_{u1} = 3 \text{ мм}$ ввиду малости этих величин берутся с профиля детали. Осевые размеры профиля детали переносим на профиль резца без изменений.

На фиг. 21 изображен чертеж и профиль призматического резца для заданной фасонной детали.

Клеймить
индекс резца
P18
 $\alpha - 12^\circ$ $\gamma_0 - 27^\circ$

Профиль резца
(Сечение по аа) М2-1



Фиг. 21. Резец фасонный призматический.

§ 9. РАСЧЕТ ДИСКОВЫХ (НАРУЖНЫХ) ФАСОННЫХ РЕЗЦОВ

А. Выбор конструктивных размеров

1. Габаритные размеры дисковых фасонных резцов выбираются по табл. 2, 3 и 4 или по размерам державок и типу станка, предназначенных для обработки фасонных деталей.

2. Передний угол γ и задний угол α выбираются по табл. 5 и задаются на резце у его вершины в плоскости, перпендикулярной оси, при установке вершины резца на высоте оси изделия (фиг. 22). Высота установки h , т. е. превышение оси резца над центром станка, и высота H заточки — расстояние от оси резца до передней грани определяются по формулам:

$$h = R \sin \alpha$$

и

$$H = R \sin (\alpha + \gamma),$$

где R — радиус наибольшей окружности резца.

3. Расчет профиля резца ведется в три приема:

а) рассчитываются высоты τ узловых точек профиля резца в плоскости передней грани;

б) определяются высоты t узловых точек резца в осевой плоскости;

в) рассчитываются углы β прямолинейных участков и радиусы R дуговых участков профиля резца.

4. Для точных криволинейных профилей рекомендуется найти высоты не только узловых, но и промежуточных точек осевого сечения резца, задаваемых координатами точек и рассчитываемых по формулам для узловых точек.

5. Все осевые размеры переносятся с профиля изделия на профиль резца без изменений.

Б. Расчет профиля

[1, стр. 26—33], [6; стр. 32—34]

6. Для расчета профиля резца по передней грани считаются известными размеры фасонной детали и резца, указанные в п. 7 расчета призматических резцов (стр. 31).

7. Расчет высот τ профиля дискового резца по передней грани производится по формулам расчета призматического резца по передней грани, согласно пп. 6, 8, 9 § 8 или по табл. 6.

8. Для расчета высот t профиля дискового резца в осевом сечении считаются дополнительно известными радиус наружной окружности резца R и высоты профиля по передней грани τ , τ_2 и т. д.

9. Расчет высот t профиля осевого сечения дискового резца производится с помощью табл. 7, согласно указаниям в пояснениях к таблице, и только в отдельных случаях, когда пределы таблицы недостаточны, следует пользоваться формулами, приведенными ниже в п. 10.

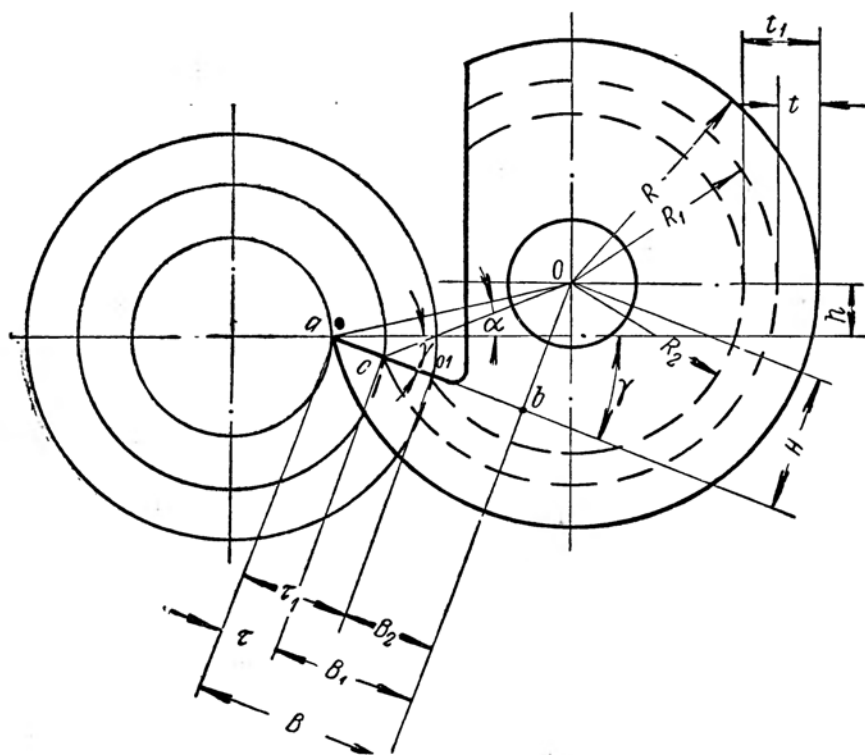
10. Сводка формул и порядок расчета высот t осевого сечения дискового резца (фиг. 22):

№ формул	Наименование расчетной величины	Обозначения	Формула
1	Высота установки резца	h	$h = R \sin \alpha$
2	Угол передней заточки резца *	γ_0	$\gamma_0 = \alpha + \gamma$
3	Высота заточки резца	H	$H = R \sin \gamma_0$
4	Отрезок $\overline{ab}$	B	$B = R \cos \gamma_0$
5	Отрезок $\overline{cb}$	B_1	$B_1 = B - \tau$
6	Угол bco	γ_{01}	$\operatorname{tg} \gamma_{01} = \frac{H}{B_1}$
7	Радиус окружности резца, проходящий через узловую точку C	R_1	$R_1 = H \operatorname{cosec} \gamma_{01}$
8	Высота профиля осевого сечения резца	t	$t = R - R_1$

* γ_0 — угол между передней гранью и радиусом, проведенным через вершину резца.

11. Расчет последующих высот t_1 , t_2 и т. д. для других участков профиля производится аналогично при постоянстве значений H и B , найденных расчетом по формулам п. 10. Для значений высот t_1 , t_2 и т. д. в последующих расчетах следует определить лишь γ_{02} , γ_{03} , R_2 , R_3 и т. д.

12. Расчет углов прямолинейных участков профиля и радиусов заменяющих окружностей криволинейных участков производится по формулам, приведенным в § 7.



Фиг. 22. Расчет наружного дискового резца.

В. Пример расчета

13. На фиг. 23 заданы профиль и размеры фасонной детали, обрабатываемой на автомате типа 1152 из пруткового материала $\varnothing 34$ мм. Материал детали — сталь с пределом прочности $\sigma_s = 85$ кг/мм². Деталь обрабатывается автоматным дисковым резцом с подготовкой под последующую отрезку.

14. Дополнительные режущие кромки дискового резца под отрезку и подрезку приняты согласно размерам фиг. 1 и примечаниям к ним. Тогда общая ширина резца $L = 32$ мм.

Наибольшая глубина профиля детали, согласно фиг. 23, будет

$$t_{\max} = \frac{34 - 18}{2} = 8 \text{ мм.}$$

Выбираем габаритные размеры резца по табл. 3 для станка автомата типа 1152 при ширине $L > 20$ мм, тип III. Тогда наружный диаметр резца будет $D = 68$ мм.

15. Передний угол γ и задний угол α выбираем по табл. 5 для стали $\sigma_s = 85$ кг/мм²:

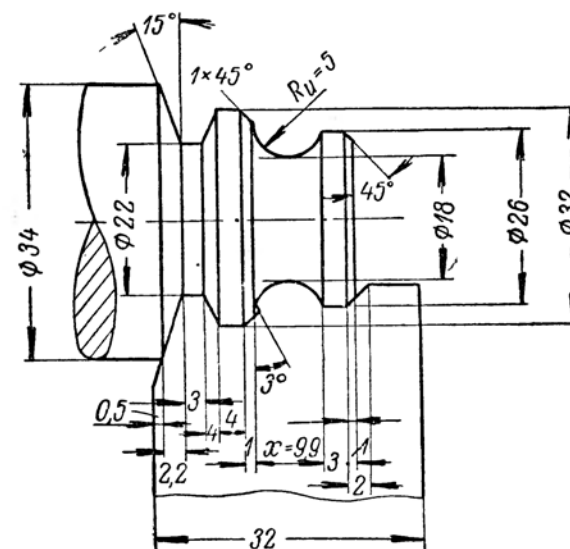
$$\gamma = 12^\circ; \quad \alpha = 10^\circ,$$

и следовательно, $\gamma_0 = \alpha + \gamma = 22^\circ$. Тогда высота установки резца на станке будет

$$h = R \sin \alpha = 34 \sin 10^\circ = 5,90 \text{ мм};$$

высота заточки резца

$$H = R \sin (\alpha + \gamma) = 34 \sin 22^\circ = 12,74 \text{ мм.}$$



Фиг. 23. Профиль детали.

16. Согласно размерам на чертеже детали (фиг. 23) радиусы окружностей узловых точек профиля изделия в порядке их возрастания будут:

$$r_u = 9 \text{ мм}; \quad r_{u1} = 11 \text{ мм}; \quad r_{u2} = 13 \text{ мм}; \quad r_{u3} = 16 \text{ мм}; \\ r_{u4} = 17 \text{ мм.}$$

Так как наименьший (базовый) диаметр изделия $d_u = 18$ мм, то высоты узловых точек профиля изделия

$$t_{u1} = 11 - 9 = 2 \text{ мм}; \quad t_{u2} = 13 - 9 = 4 \text{ мм}; \quad t_{u3} = 16 - 9 = 7 \text{ мм}; \\ t_{u4} = 17 - 9 = 8 \text{ мм.}$$

17. Расчет высот профиля дискового резца по передней грани ведем с помощью табл. 6 для $\gamma = 12^\circ$ в порядке, указанном в „Правилах пользования таблицей“ и примере.

Расчет высот t_p профиля дискового резца в осевой плоскости производится с помощью табл. 7 для $\gamma_0 = \alpha + \gamma = 22^\circ$, согласно указаниям в пояснениях и примере пользования табл. 7 для расчета профиля дискового резца в осевой плоскости.

Последовательность расчета и результат представлены в следующей расчетной таблице:

По табл. 6 для $\gamma = 12^\circ$						По табл. 7 для $\gamma_0 = 22^\circ$			
№ ступени	Высота профиля изделия t_u	Отношение $\frac{d_u}{t_u}$	Ближайшее значение по таблице K_u	Соответствующее значение по таблице K_c	Высота профиля резца по передней грани $\tau = t_u K_c$	Отношения $\frac{\tau}{D}$	Ближайшее значение коэффициентов K_p	Соответствующие значения коэффициентов K_t	Высота профиля резца в осевой плоскости $t_p = \tau K_t$
1	2	9,0	8,556	1,0180	2,036	0,0299	0,0283	0,923	1,879
2	4	4,5	4,669	1,0155	4,062	0,0597	0,0584	0,918	3,729
3	7	2,571	2,614	1,0125	7,088	0,1042	0,1047	0,909	6,443

Примечания:
 1. $d_u = 18$ мм и $D = 68$ мм.
 2. Размеры t_u , τ и t_p даны в мм.
 3. Номера ступеней соответствуют индексам высот профиля, в порядке возрастания радиусов r_u детали, как указано выше в п. 4.
 4. Для высоты профиля детали $t_{u4} = 8$ мм расчет соответствующей высоты t_{p4} профиля резца не производится, ввиду того, что угол $\varphi = 15^\circ$ переносится с профиля детали на профиль резца без изменения и искажение высоты профиля резца не учитывается.

18. Расчет угла β прямолинейного участка производим согласно фиг. 10 по формуле $\operatorname{tg} \beta = \frac{x}{h}$. Точным углом на профиле изделия является угол β_u с $x_1 = 4$ мм (фиг. 23). Тогда согласно размерам на чертеже (фиг. 25) осевого профиля резца угол β определяется

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{x_1}{t_{p3} - t_{p1}} = \frac{4}{6,443 - 1,879} = 0,876424; \quad \beta = 41^\circ 14'.$$

Остальные угловые величины ввиду их невысокой точности переносим с профиля изделия на профиль резца без изменения.

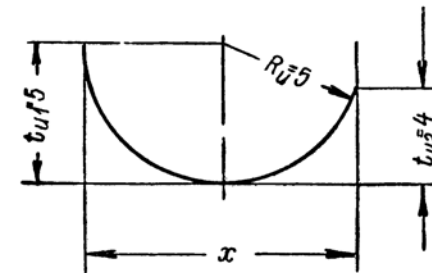
19. Расчет радиуса дуговой части профиля резца производим по типовому профилю № 4а (фиг. 13, а) для случая $x_1 = 0$ (см. примечание 1), для чего определяем в соответствии с размерами профиля детали (фиг. 23) размер $x = 9,9$ мм. Из схемы на фиг. 24 следует, что дуговой участок радиуса R_u с одной стороны является касательным к плоскости, перпендикулярной оси детали, и имеет высоту $t_{u1} = 5$ мм, а с другой стороны крайняя точка дугового участка имеет высоту

$$t_{u2} = (26 - 18) 0,5 = 4 \text{ мм.}$$

Тогда, руководствуясь схемой, получим

$$x = R_u + \sqrt{t_{u1}^2 - (R_u - t_{u2})^2} = 5 + \sqrt{5^2 - 1} = 9,90 \text{ мм.}$$

Размеру $t_{u2} = 4$ мм изделия соответствует размер $t_{p2} = 3,729$ мм на профиле резца (см. табл. п. 17).



Фиг. 24. Расчет ширины профиля детали.

Тогда радиус заменяющей окружности профиля резца определится по формуле типового профиля № 4а

$$R = x + h - \sqrt{2xh} = x + t_{p2} - \sqrt{2xt_{p2}};$$

$$R = 9,90 + 3,729 - \sqrt{2 \cdot 9,90 \cdot 3,729} = 5,036 \text{ мм.}$$

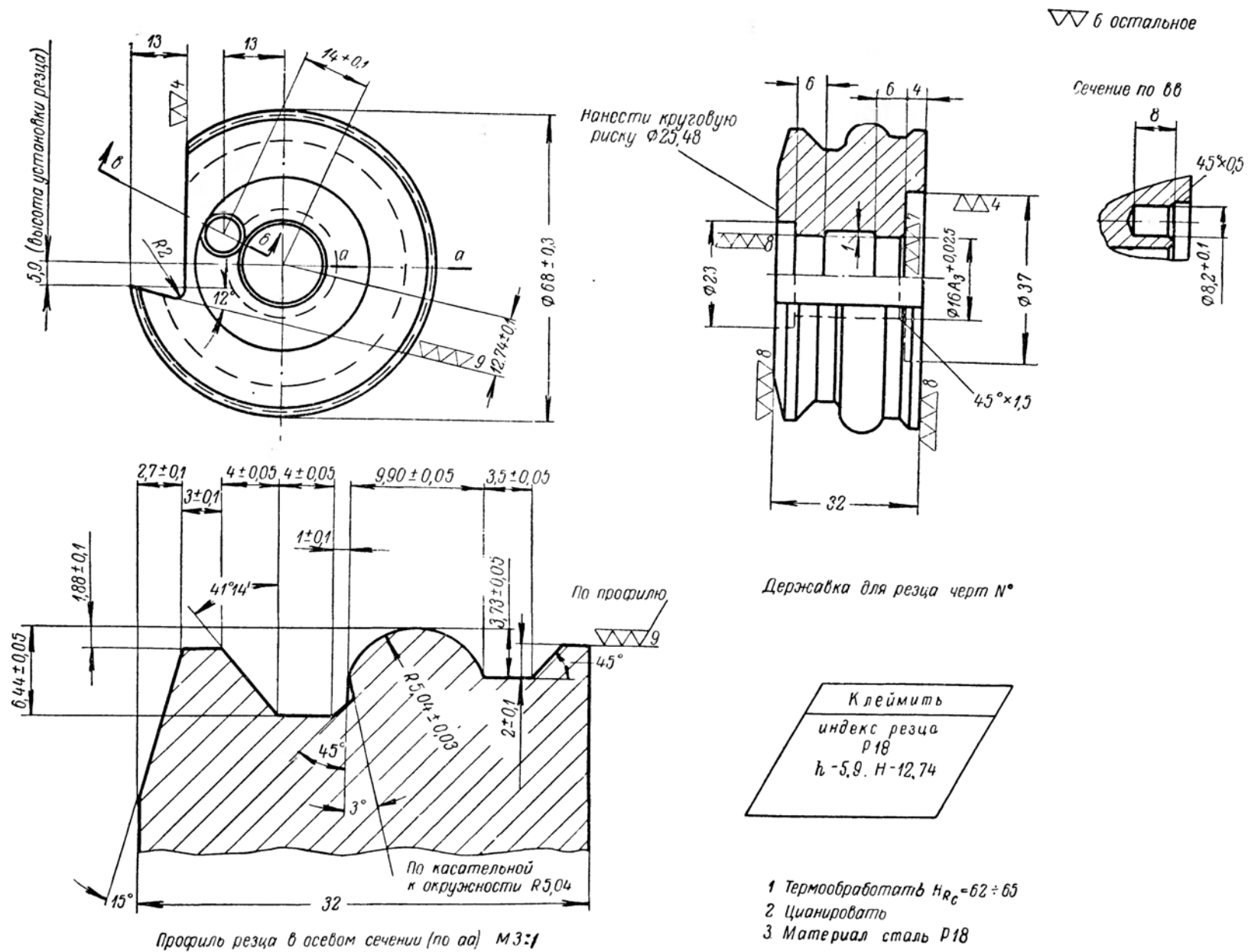
На фиг. 25 изображен чертеж и профиль дискового фасонного резца для заданной детали (фиг. 23).

§ 10. РАСЧЕТ ДИСКОВЫХ ВНУТРЕННИХ ФАСОННЫХ РЕЗЦОВ

А. Выбор конструктивных размеров

1. Наружный диаметр и конструктивные размеры дискового резца выбираются по табл. 2 или 3, в зависимости от высоты профиля детали. Однако размер наружного диаметра следует проверить на прохождение резца в отверстие фасонной детали. Максимально допустимый диаметр D_p внутреннего дискового резца не должен превышать $D_p \leq 0,8d_{\min}$, где $d_{\min}$ — наименьший диаметр отверстия детали под фасонную расточку.

2. Выбор углов резца и порядок расчета профиля производятся, как указано в расчете наружных дисковых резцов, согласно пп. 2, 3, 4 и 5 § 9.



Фиг. 2б. Резец фасонный дисковый.

Б. Расчет профиля

[1, стр. 33—34], [6, стр. 34—35]

3. Расчет высот τ профиля внутреннего дискового резца в плоскости передней грани производится с помощью табл. 7. Только в отдельных случаях, когда пределы таблицы недостаточны по значениям γ_0 или коэффициентам, следует пользоваться приведенными ниже в п. 5 формулами.

4. Для расчета высот τ профиля резца в плоскости передней грани считаются известными размеры фасонной детали и резца, согласно указаниям в п. 7 § 8.

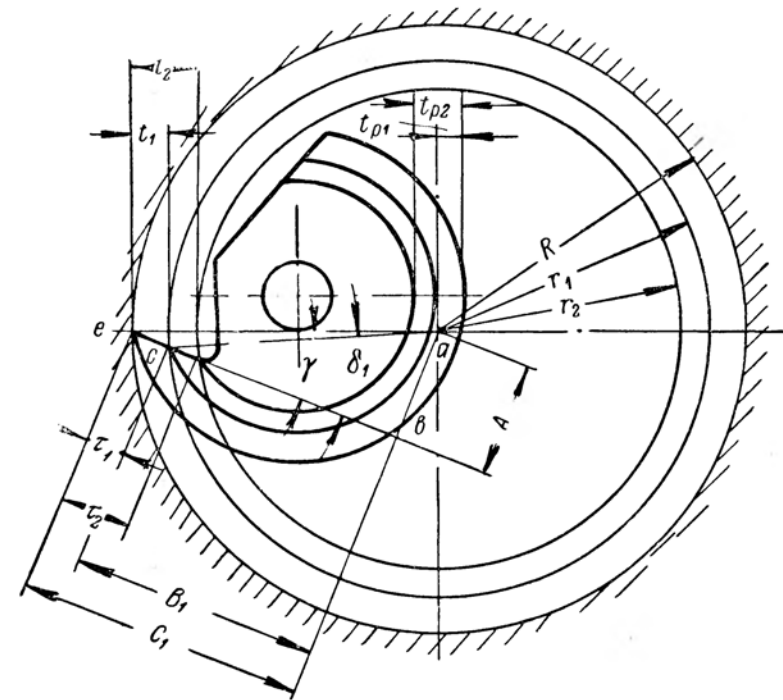
5. Сводка формул и порядок расчета высот τ профиля внутреннего дискового резца в плоскости передней грани (фиг. 26):

№ формул	Наименование расчетной величины	Обозначение	Формула
1	Отрезок $\overline{av}$	A	$A = R \sin \gamma$
2	Угол $асв$	δ_1	$\sin \delta_1 = \frac{A}{r_1}$
3	Отрезок $\overline{вс}$	B_1	$B_1 = r_1 \cos \delta_1$
4	Отрезок $\overline{ве}$	C_1	$C_1 = R \cos \gamma$
5	Высота профиля резца по передней грани	τ_1	$\tau_1 = C_1 - B_1$

Все последующие высоты τ_2, τ_3 и т. д. рассчитываются по аналогичным формулам.

6. Расчет высот t_{p1}, t_{p2} и т. д. профиля осевого сечения дискового резца производится с помощью табл. 7, согласно указаниям, приведенным в п. 4 правил пользования таблицей. В тех случаях, когда пределы таблицы недостаточны по значениям γ_0 и коэффициентам, следует пользоваться формулами п. 10 (стр. 35) расчета наружных дисковых резцов. Последующие расчеты производятся согласно указаниям пп. 11 и 12 расчета указанных резцов.

7. Чтобы гарантировать прохождение дискового резца в отверстии детали на резце создают дополнительный скос, размеры которого определяются графическим построением, как это указано на фиг. 27.



Фиг. 26. Расчет внутреннего дискового резца.

В. Пример расчета

8. На фиг. 27 приведены профиль и размеры фасонной детали из стали с пределом прочности $\sigma_b = 90 \text{ кг/мм}^2$, обрабатываемой на токарном станке.

9. Наибольшая глубина профиля детали, согласно фиг. 27, будет $t_{\text{макс}} = 7 \text{ мм}$. Выбираем габаритные размеры резца по табл. 2, где для $t_{\text{макс}}$ до 8 мм наружный диаметр резца равен $D_p = 50 \text{ мм}$. Максимально допустимый диаметр резца из условия возможности расположения его в отверстии детали будет

$$D_p \leq 0,8d_{\text{мин}} = 0,8 \cdot 55 = 44 \text{ мм}.$$

Округляем диаметр резца до 45 мм. Остальные размеры резца берем по табл. 2 для $D = 40 \text{ мм}$.

10. Передний угол γ и задний угол α выбираем по табл. 5 для стали $\sigma_b = 90 \text{ кг/мм}^2$:

$$\gamma = 15^\circ, \alpha = 10^\circ,$$

тогда

$$\gamma_0 = \alpha + \gamma = 25^\circ.$$

Превышение оси резца при его установке на станке будет

$$h = R \sin \alpha = 22,5 \cdot \sin 10^\circ = 3,9 \text{ мм.}$$

Высота заточки резца равна

$$H = R \sin (\alpha + \gamma) = 22,5 \cdot \sin 25^\circ = 9,51 \text{ мм.}$$

11. Высоты профиля детали отсчитываются от наибольшей окружности, диаметр которой является базовым. Согласно фиг. 27, эти высоты равны: $t_1 = 3 \text{ мм}$ и $t_2 = 7 \text{ мм}$.

12. Расчет высот τ профиля резца по передней грани ведется с помощью табл. 7, согласно указаниям в правилах пользования таблицей (§ 6, стр. 23).

Расчет производим в форме расчетной таблицы, полагая $\gamma_0 = \gamma = 15^\circ$.

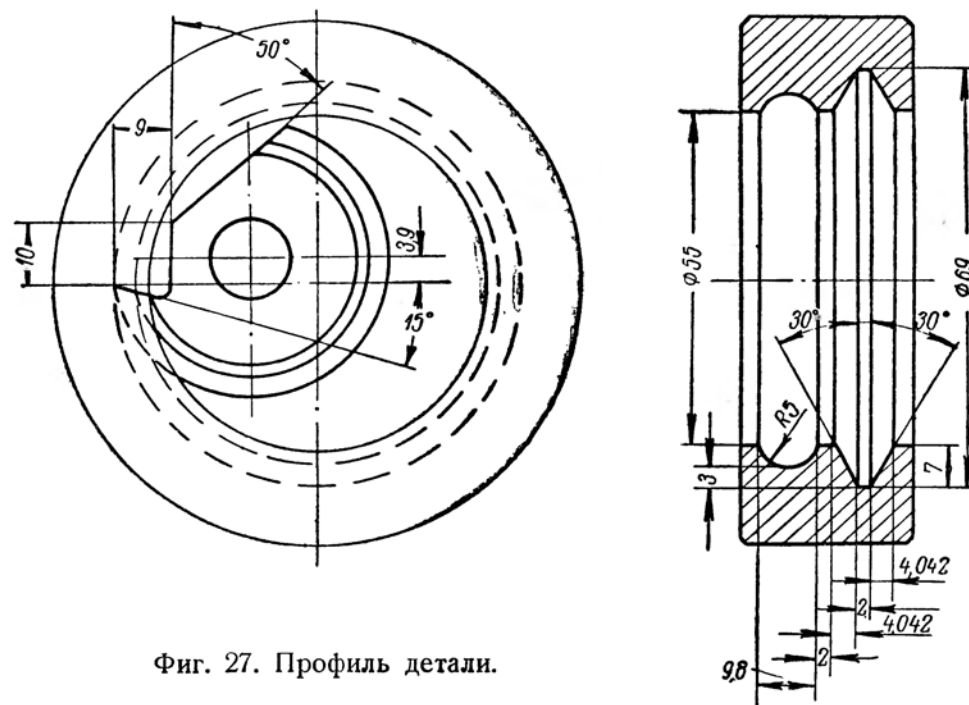
№ высоты профиля	Высота профиля детали t	Отношения $\frac{t}{D_u}$ ($D_u^* = 69$)	Для $\gamma_0 = 15^\circ$ ближайшее значение коэффициента K_ϕ	Соответ- ствующее значение коэффициента K_t	Высоты профиля резца по передней грани $\tau = \frac{t}{K_t}$
1	3	0,044	0,039	0,963	2,889
2	7	0,102	0,102	0,957	6,699

* D_u — базовый диаметр фасонной детали.

13. Расчет высот t_p профиля дискового резца в осевом сечении ведется с помощью табл. 7 для $\gamma_0 = \gamma + \alpha = 15^\circ + 10^\circ = 25^\circ$, согласно указаниям в пояснениях и примере (стр. 22) пользования табл. 7. Расчет выполняем в форме расчетной таблицы

№ высоты профиля	Высота по передней грани τ	Отношения $\frac{\tau}{D_p}$ ($D_p^* = 45$)	Для $\gamma_0 = 25^\circ$ ближайшее значение коэффициента K_p	Соответ- ствующее значение коэффициента K_t	Высоты про- филя резца в осевом сечении $t_p = \tau K_t$
1	2,889	0,0642	0,0657	0,893	2,580
2	6,699	0,1489	0,1496	0,870	5,982

* D_p — наружный диаметр резца.



Фиг. 27. Профиль детали.

14. Расчет углов прямолинейных участков (фиг. 10) производится по формуле $\operatorname{tg} \beta = \frac{x}{h}$. Тогда согласно размерам чертежа детали на фиг. 27 и значению $h = t_p = 5,982 \text{ мм}$, угол β определится:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{x}{h} = \frac{4,042}{5,982} = 0,67569; \beta = 34^\circ 3'.$$

15. Расчет радиуса дуговой части профиля резца ведется по формулам расчета типового профиля № 2 (фиг. 11). Согласно размерам профиля детали (фиг. 27)

$$x = \frac{9,8}{2} = 4,9 \text{ мм,}$$

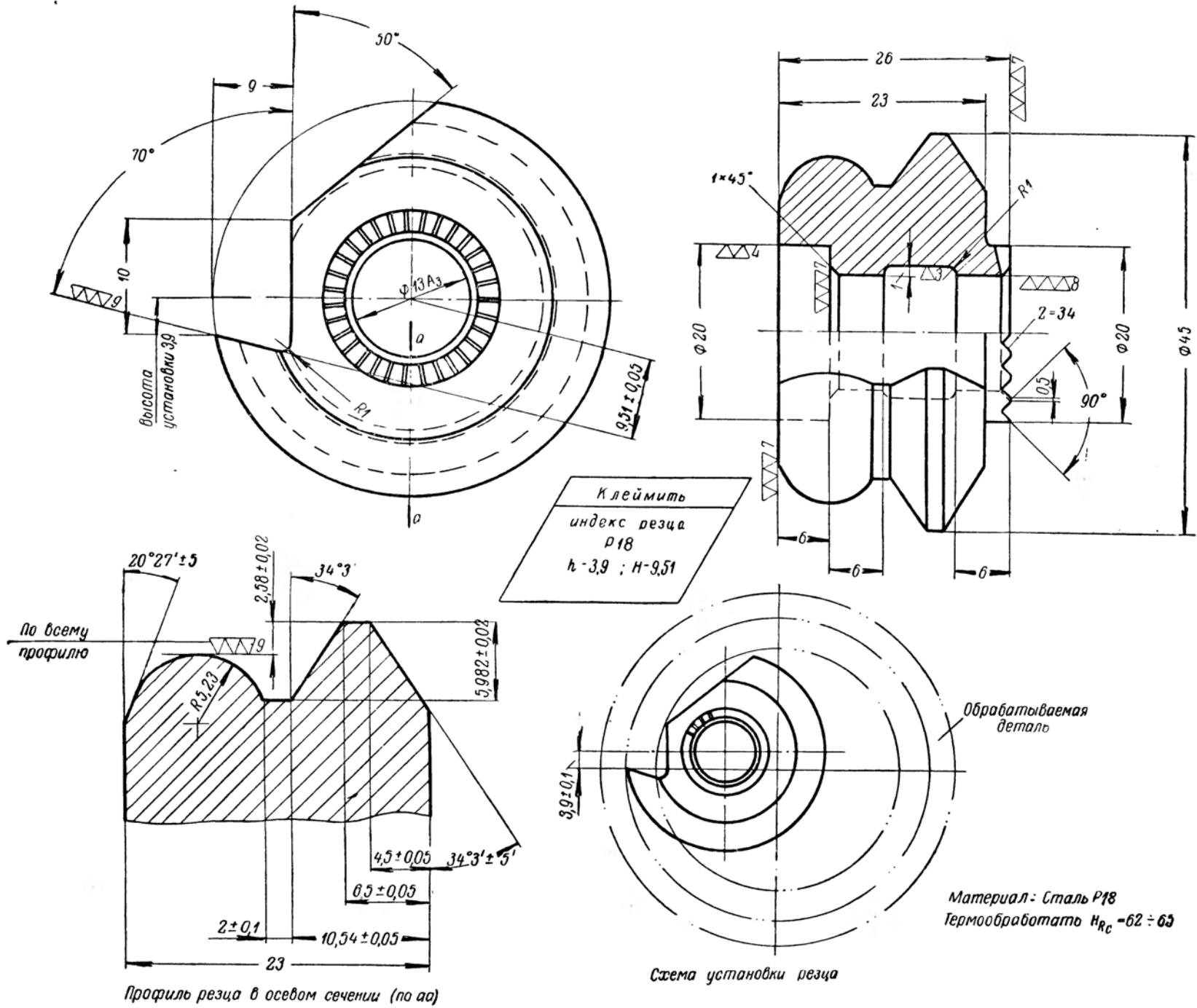
а высота дугового участка профиля резца

$$h = t_{p2} - t_{p1} = 5,982 - 2,580 = 3,402 \text{ мм.}$$

Радиус дугового участка профиля резца определится (фиг. 11):

$$\operatorname{tg} \beta_0 = \frac{h}{x} = \frac{3,402}{4,9} = 0,69428;$$

$$\beta_0 = 34^\circ 46';$$



Фиг. 28. Резец фасонный дисковый, внутренний.

$$\sin 2\beta_0 = \sin 69^\circ 32' = 0,98694;$$

$$R = \frac{x}{\sin 2\beta_0} = \frac{4,9}{0,98694} = 5,230 \text{ мм.}$$

16. Профиль дугового участка резца продлеваем за пределы рабочего участка по касательной прямой (фиг. 28, сечение по aa) через последнюю точку рабочего дугового участка профиля под углом λ к торцевой плоскости резца.

Угол λ определится

$$\lambda = 90^\circ - 2\beta_0 = 90^\circ - 69^\circ 32' = 20^\circ 27'.$$

С обоих торцов резца принимаем перекрытие по 0,5 мм на сторону, тогда общая ширина рабочей части резца согласно размерам детали фиг. 27 будет

$$L = 9,8 + 2 + 4,042 + 2 + 4,042 + 2 \cdot 0,5 = 23 \text{ мм.}$$

Размеры дополнительного среза для расположения резца в отверстии детали определяем из графического построения фиг. 27. При этом, согласно примечанию 4 к табл. 2,

$$b = t_{\text{макс}} + K = 7 + 2 = 9 \text{ мм,}$$

где b — расстояние от вершины резца до плоскости, ограничивающей переднюю грань.

17. Чертеж резца и размеры профиля приведены на фиг. 28.

Глава IV

РАСЧЕТ ФАСОННЫХ РЕЗЦОВ С ОСОБЫМИ УСТАНОВКАМИ НА СТАНКЕ

§ 11. РАСЧЕТ ПРИЗМАТИЧЕСКИХ ФАСОННЫХ РЕЗЦОВ, ПОВЕРНУТЫХ В ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ

А. Выбор конструктивных размеров

1. Резцы, повернутые в горизонтальной плоскости, применяются для фасонных деталей с профилем, имеющим прямолинейные участки и касательные к криволинейным участкам, перпендикулярные оси детали или расположенные под углом, близким к 90° . При этом профиль детали должен быть открытым, т. е. прямые, проведенные через любые его точки и перпендикулярные базовой линии резца, должны пересекать профиль только один раз.

Эти резцы применяются также и в том случае, если необходимо уменьшить глубину их профиля. Конструкция и заточка таких резцов не отличаются от обычных фасонных резцов.

2. За базовую линию при расчете и установке резца принимается линия, проведенная через вершину резца и параллельная задней плоскости хвостовой части резца.

Угол φ между базовой линией и осью изделия (фиг. 29) берется в пределах от 15° до 30° .

Рекомендуется большие значения угла φ выбирать при более глубоком профиле фасонной детали. При этом следует соблюсти условия, чтобы профиль оставался открытым.

3. Габаритные размеры резцов берутся по табл. 1 или по размерам державки, или по размерам и типу станка.

4. Передний угол γ и задний угол α берутся по табл. 5 и задаются на резце у его вершины в плоскости, перпендикулярной базовой линии резца.

5. Расчет профиля резца ведется в четыре приема:

а) рассчитываются высоты τ узловых точек (сопряжения или пересечения) профиля в плоскости передней грани резца;

б) находятся расстояния x между узловыми точками профиля резца, т. е. ширины профиля вдоль базовой линии резца;

в) определяются высоты t узловых точек резца в плоскости нормального сечения, т. е. в плоскости, перпендикулярной ребрам задней поверхности резца;

г) рассчитываются углы β прямолинейных участков и радиусы R дуговых участков профиля резца.

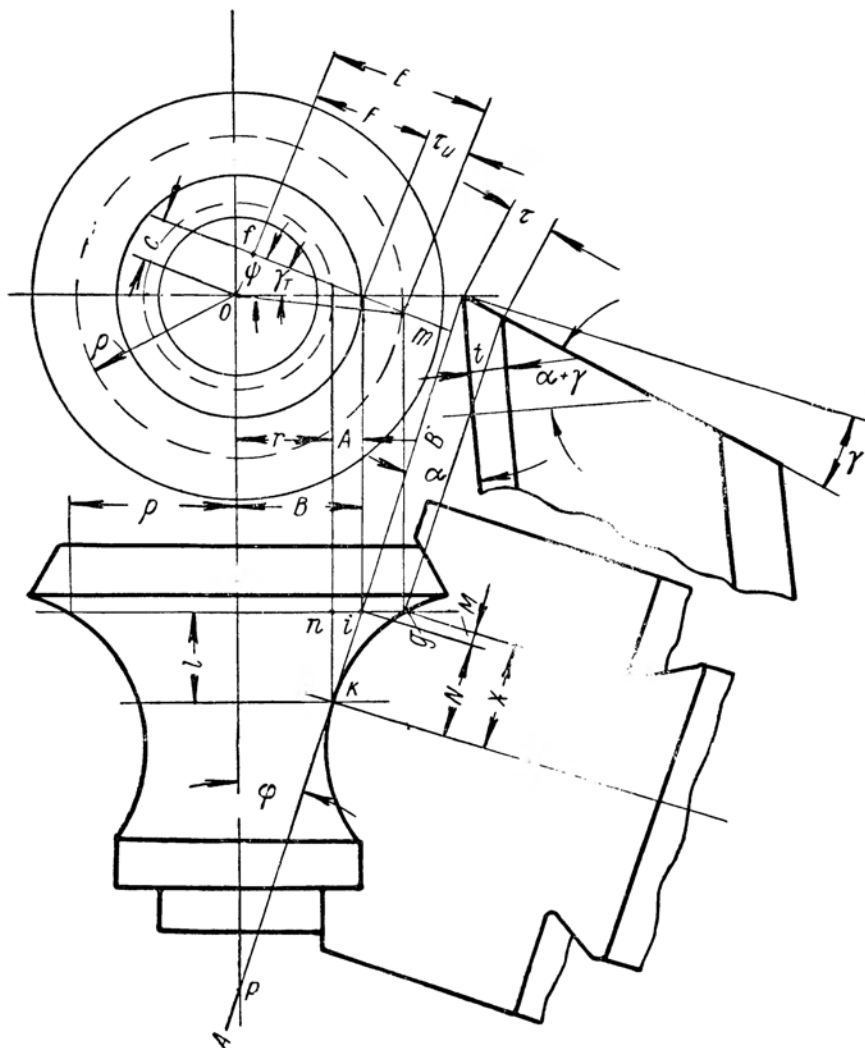
6. Для точных криволинейных профилей рекомендуется рассчитывать высоты и ширины не только узловых точек, но и других

промежуточных точек профиля нормального сечения резца, задаваемых координатами.

Б. Расчет профиля

[1, стр. 62—64]

7. Для расчета профиля резца по передней грани считаются известными размеры фасонного изделия и резцы, указанные в п. 7 § 8.



Фиг. 29. Расчет призматических фасонных резцов, повернутых в горизонтальной плоскости.

Ниже дается сводка формул и порядок расчета высот τ профиля резца по передней грани в направлении, перпендикулярном базовой линии резца относительно точки g с радиусом ρ и расстоянием l от вершины резца (фиг. 29).

№ формул	Наименование расчетной величины	Обозначение	Формула
1	Передний угол резца в плоскости, перпендикулярной оси детали	γ_T	$\operatorname{tg} \gamma_T = \operatorname{tg} \gamma \cos \varphi$
2	Отрезок $\overline{ni}$	A	$A = l \operatorname{tg} \varphi$
3	Отрезок $\overline{oi}$	B	$B = r \pm A$
4	Отрезок $\overline{of}$	C	$C = B \sin \gamma_T$
5	Угол omf	ψ	$\sin \psi = \frac{C}{\rho}$
6	Отрезок $\overline{fm}$	E	$E = \rho \cos \psi$
7	Отрезок $\overline{fi}$	F	$F = B \cos \gamma_T$
8	Отрезок $\overline{im}$ (высота профиля резца по передней грани и в плоскости, перпендикулярной оси детали)	τ_u	$\tau_u = E - F$
9	Постоянный коэффициент	η	$\eta = \frac{\cos \gamma_T \cos \varphi}{\cos \gamma}$
10	Высота профиля резца по передней грани (в плоскости, перпендикулярной базовой линии)	τ	$\tau = \tau_u \eta$

Примечания:

1. В формуле (3) значение r — величина постоянная при расчете высот любых точек резца и соответствует радиусу окружности детали, совпадающей с вершиной резца (точка k , фиг. 29). Через данную точку проведена базовая линия AB отсчета высот τ профиля резца.

Знак минус перед значением A в формуле (3) ставится для точек профиля, расположенных от вершины резца в сторону точки пересечения базовой линии AB с осью детали, знак плюс ставится для точек противоположной стороны.

2. Последующие значения τ_1, τ_2 и т. д. для других точек профиля рассчитываются аналогично при постоянных значениях γ_T и φ .

8. Размеры профиля резца, параллельные базовой линии, отличаются от осевых размеров детали и рассчитываются по следующим формулам:

№ формул	Наименование расчетной величины	Обозначение	Формула
1	Проекция отрезка $\overline{ig}$ на базовую линию резца	M	$M = \tau_u \cos \gamma_T \sin \varphi$
2	Отрезок $\overline{ki}$	N	$N = l \sec \varphi$
3	Расстояние точки g от плоскости, проходящей через вершину резца, перпендикулярной базовой линии	x	$x = N \pm M$

Примечания:
 1. В формуле (1) τ_u рассчитана по выражению (8) предыдущего расчета.
 2. В формуле (3) знак минус ставится для узловых точек, расположенных от вершины k резца в сторону точки пересечения базовой линии AB с осью детали, а знак плюс — для точек противоположной стороны.

9. Расчет высот t , t_1 , t_2 и т. д. в плоскости, перпендикулярной ребрам задней поверхности резца, производится по формулам п. 10 (стр. 32) расчета призматических резцов. Однако для сокращения общего числа расчетов высоты τ профиля по передней грани не рассчитываются по приведенной выше формуле (10) (см. стр. 43), а высоты t , t_1 , t_2 и т. д. профиля резца определяются непосредственно по значениям τ_u . Для этого вместо коэффициента η принимается коэффициент

$$K = \eta \cos \gamma_0 = \frac{\cos \gamma_T \cos \varphi \cos \gamma_0}{\cos \gamma},$$

где $\gamma_0 = \gamma + \alpha$.

Значения коэффициента η и высоты τ , приведенные в п. 7 настоящего расчета, используются в дальнейшем при расчете профиля дискового резца, повернутого в горизонтальной плоскости.

Тогда высоты t профиля резца в плоскости, перпендикулярной ребрам задней поверхности, определяются по формулам вида:

$$t = \tau_u \cdot K$$

В. Пример расчета

10. На фиг. 30, а заданы профиль и размеры детали с точной сферической поверхностью. Материал детали — легированная сталь с пределом прочности $\sigma_b = 105 \text{ кг/мм}^2$. Ввиду неблагоприятных

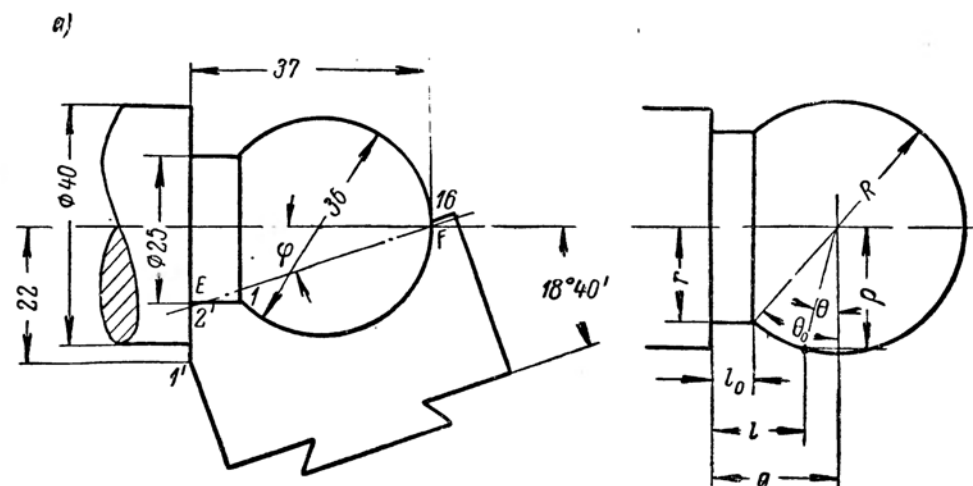
условий резания у обычного призматического резца вблизи оси сферической поверхности и у торцевой плоскости детали, выбираем тип резца с базой крепления и установкой под углом φ к оси детали.

11. Передний угол γ и задний угол α выбираем по табл. 5 для стали $\sigma_b = 105 \text{ кг/мм}^2$, именно: $\gamma = 10^\circ$ и $\alpha = 12^\circ$ и задаем их на резце в плоскости, перпендикулярной базовой линии $\overline{EF}$ резца. Угол заточки резца тогда будет $\gamma_0 = \gamma + \alpha = 10^\circ + 12^\circ = 22^\circ$.

12. Базовую линию $\overline{EF}$ резца располагаем таким образом, чтобы она проходила через вершину E резца (фиг. 30, а), расположенную на диаметре детали $d_u = 25 \text{ мм}$.

Для обработки участка сферической поверхности вблизи оси (фиг. 30, а) необходимо, чтобы точка F режущей кромки резца совпала в момент окончания обработки с соответствующей точкой F детали. Данное условие возможно выполнить лишь в том случае, если базовая линия пройдет через точку F сферической поверхности, лежащей на оси детали. В противном случае точка F режущей кромки будет расположена ниже оси детали и участок сферы вблизи оси не будет обработан. Таким образом, угол φ между базовой линией и осью детали, как видно из фиг. 30, а, будет:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{25}{2.37} = 0,33783; \varphi = 18^\circ 40'.$$



Фиг. 30. Профиль и размеры детали.

13. Вследствие высокой точности сферической части поверхности детали дуговую часть профиля разбиваем на ряд участков вдоль оси и находим расчетом их радиусы ρ , которые, как видно

из фиг. 30, б, определяются по формулам:

$$\sin \theta = \frac{a-l}{R} \text{ и } \rho = R \cos \theta.$$

Размер l_0 при известном $r = 12,5 \text{ мм}$ (фиг. 30, а) определится следующим образом:

$$\cos \theta_0 = \frac{r}{R} = \frac{12,5}{18} = 0,69444; \sin \theta_0 = 0,71954;$$

$$a = 37 - R = 19 \text{ мм}; l_0 = a - R \sin \theta_0 = 19 - 18 \cdot 0,71954 = 6,05 \text{ мм}.$$

Расстояние между точками дуговой части профиля берем равным 3 мм, а для крайних и частично средних точек сферической поверхности задаемся более близкими расстояниями.

Заметим, что при выборе расстояний между точками профиля целесообразно использовать свойства симметрии, так как это ускоряет расчет.

Тогда значения ρ определяются в форме расчетной таблицы по формулам, приведенным в п. 13.

№ точек	l	$a-l$	$\sin \theta = \frac{a-l}{R}$	$\cos \theta$	$\rho = R \cos \theta$
1	6,05	12,95	0,71954	0,69444	12,5
2	9	10	0,55555	0,83147	14,966
3	12	7	0,38889	0,92130	16,583
4	15	4	0,22222	0,97500	17,550
5	18	1	0,05555	0,99846	17,972
6	19	0	0	1,0	18,0
7	20	-1	0,05555	0,99846	17,972
8	23	-4	0,22222	0,97500	17,550
9	26	-7	0,38889	0,92130	16,583
10	29	-10	0,55555	0,83147	14,966
11	32	-13	0,72222	0,69165	12,450
12	35	-16	0,88888	0,45813	8,246
13	36	-17	0,94444	0,32868	5,916
14	36,5	-17,5	0,97222	0,23406	4,213
15	36,8	-17,8	0,98889	0,14863	2,675
16	37	-18	1,0	0	0

14. Расчет высот τ_u профиля резца по передней грани в направлении, перпендикулярном оси детали, производится по формулам (1) ÷ (8) п. 7. Расчет высот t профиля резца в нормальном сечении выполняется по формулам п. 9 расчета этих резцов.

Вычисляем постоянные величины:

а) передний угол γ_T резца в плоскости, перпендикулярной оси детали.

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \gamma_T &= \operatorname{tg} \gamma \cos \varphi = \operatorname{tg} 10^\circ \cos 18^\circ 40' = \\ &= 0,17633 \cdot 0,94740 = 0,16706, \end{aligned}$$

тогда $\gamma_T = 9^\circ 29'$,

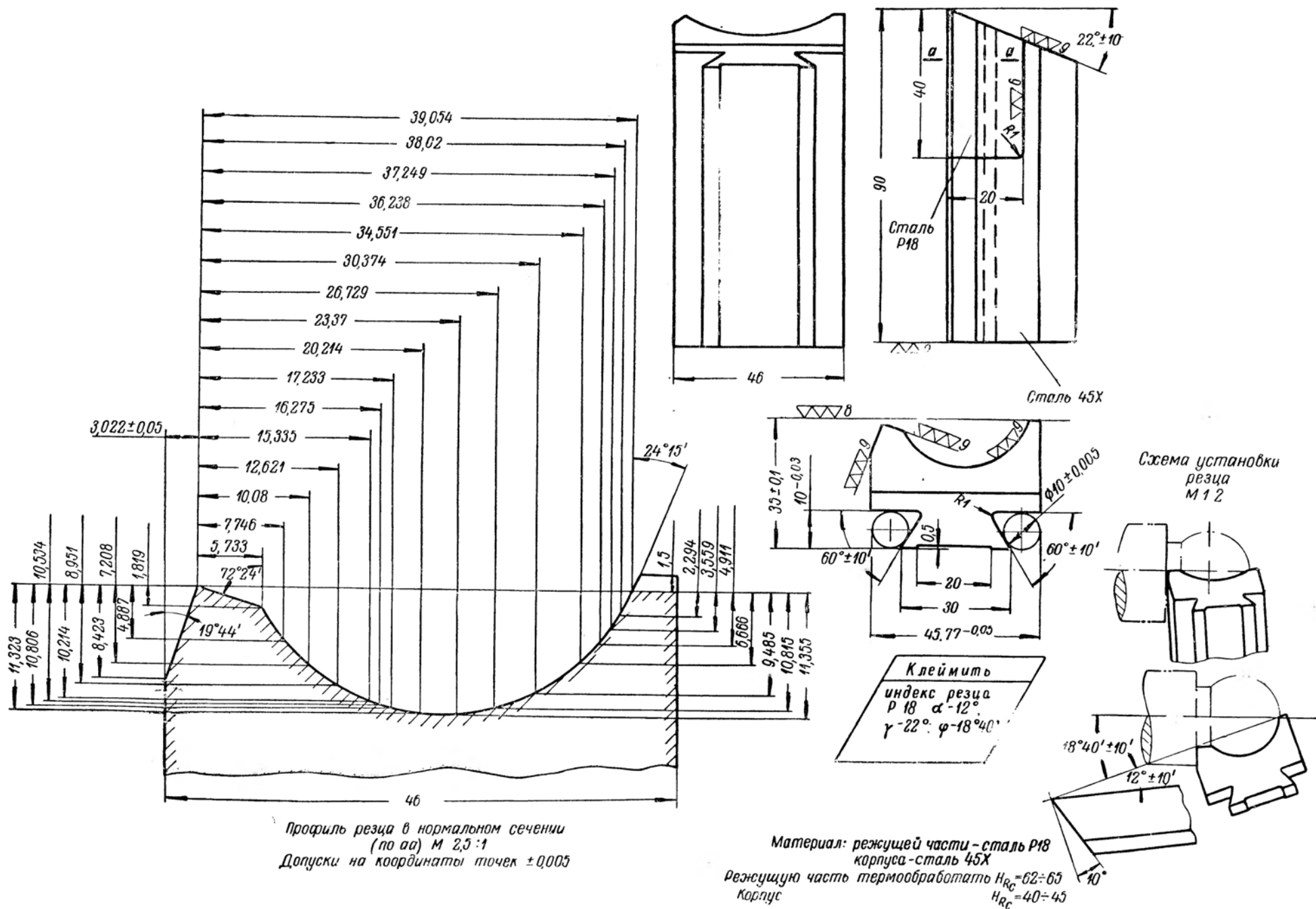
б) постоянный коэффициент K

$$K = \frac{\cos \gamma_T \cos \varphi \cos \gamma_0}{\cos \gamma} = \frac{0,98633 \cdot 0,94740 \cdot 0,92718}{0,98481} = 0,87976.$$

Расчет высот τ_u и t производится в форме расчетной таблицы по формулам п. 7 для каждой точки профиля детали, определяемой координатами l и ρ , приведенными в расчетной таблице п. 13.

№ точек профиля	Ширина	$A = l \operatorname{tg} \varphi$ ($\operatorname{tg} \varphi = 0,33783$)	$B = r - A$ ($r = 12,5$)	$c = B \sin \gamma_T$ ($\sin \gamma_T = 0,16478$)	Радиусы точек детали ρ	$\sin \psi = \frac{c}{\rho}$	$\cos \psi$	$E = \rho \cos \psi$	$F = B \cos \gamma_T$ ($\cos \gamma_T = 0,98633$)	$\tau_u = E - F$	$t = K \tau_u$ ($K = 0,87976$)
1'	0	0	12,5	2,060	22,0	0,09364	0,99560	21,903	12,329	9,574	8,423
1	6,05	2,044	10,456	1,723	12,500	0,13784	0,99045	12,381	10,313	2,068	1,819
2	9	3,041	9,459	1,559	14,966	0,10417	0,99456	14,885	9,330	5,555	4,887
3	12	4,054	8,446	1,392	16,583	0,08394	0,99647	16,524	8,331	8,193	7,208
4	15	5,067	7,433	1,225	17,550	0,07180	0,99742	17,505	7,331	10,174	8,951
5	18	6,081	6,419	1,058	17,972	0,05887	0,99826	17,941	6,331	11,610	10,214
6	19	6,419	6,081	1,002	18,000	0,05666	0,99839	17,971	5,998	11,973	10,534
7	20	6,757	5,743	0,946	17,972	0,05264	0,99861	17,947	5,664	12,283	10,806
8	23	7,77	4,730	0,779	17,550	0,04439	0,99914	17,535	4,665	12,870	11,323
9	26	8,784	3,716	0,612	16,583	0,03691	0,99932	16,572	3,665	12,907	11,355
10	29	9,797	2,703	0,445	14,966	0,02973	0,99956	14,959	2,666	12,293	10,815
11	32	10,811	1,689	0,278	12,450	0,02233	0,99975	12,447	1,666	10,781	9,485
12	35	11,824	0,676	0,111	8,246	0,01346	0,99991	8,245	0,667	7,578	6,666
13	36	12,162	0,338	0,056	5,916	0,009465	0,99995	5,916	0,333	5,583	4,911
14	36,5	12,331	0,169	0,028	4,213	0,006647	0,99998	4,213	0,167	4,046	3,559
15	36,8	12,432	0,068	0,011	2,675	0,004112	0,999991	2,675	0,067	2,608	2,294
16	37	12,5	0	0	0	0	1	0	0	0	0

▽▽▽7 остальное



Фиг. 31. Резец фасонный призматический, повернутый в горизонтальной плоскости.

15. Расстояния между принятыми точками профиля призматического резца вдоль его базовой линии определяются по формулам п. 8 (стр. 44).

Расчет ведется в форме расчетной таблицы

№ точек профиля	τ_u	$M = \tau_u \cos \gamma_T \times \sin \varphi$ ($\cos \gamma_T \sin \varphi = 0,31568$)	l	$N = l \sec \varphi$ ($\sec \varphi = 1,05552$)	$x = N - M$
1'	9,574	3,022	0	0	-3,022
1	2,068	0,653	6,05	6,386	5,733
2	5,555	1,754	9	9,500	7,746
3	8,193	2,586	12	12,666	10,080
4	10,174	3,212	15	15,833	12,621
5	11,610	3,665	18	19,000	15,335
6	11,973	3,780	19	20,055	16,275
7	12,283	3,877	20	21,110	17,233
8	12,870	4,063	23	24,277	20,214
9	12,907	4,074	26	27,444	23,370
10	12,293	3,881	29	30,610	26,729
11	10,781	3,403	32	33,777	30,374
12	7,578	2,392	35	36,943	34,551
13	5,583	1,762	36	38,000	36,238
14	4,046	1,277	36,5	38,526	37,249
15	2,608	0,823	36,8	38,843	38,02
16	0	0	37	39,054	39,054

Общая ширина призматического резца с учетом длины дополнительного крайнего упрочняющего лезвия резца приблизительно в 4 мм будет

$$L = x_1 + x_{16} + 4 = 3,022 + 39,054 + 4 \approx 46 \text{ мм.}$$

16. Расчет углов прямолинейных участков $\overline{1'2'}$ и $\overline{2'1}$ с базовой линией резца производится по формулам расчета типового профиля № 1 (фиг. 10). Для этого по значениям высот t и абсцисс x профиля резца, приведенным в пп. 14 и 15 данного расчета, найдем значения углов профиля резца (фиг. 30 и 31):

Для участка $\overline{1'2'}$

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{x}{h} = \frac{x}{t} = \frac{3,022}{8,423} = 0,35878;$$

$$\beta_1 = 19^\circ 44'.$$

Для участка $\overline{2'1}$

$$\operatorname{tg} \beta_2 = \frac{x}{h} = \frac{x_1}{t} = \frac{5,733}{1,819} = 3,1517;$$

$$\beta_2 = 72^\circ 24'.$$

Участок профиля выше конечной 16-й точки, расположенной на оси детали, продолжаем по прямой касательной, угол которой приближенно определится

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{x_{16} - x_{15}}{t_{15}} = \frac{39,054 - 38,02}{2,294} = 0,45074;$$

$$\beta = 24^\circ 15'.$$

Ввиду высокой точности сферической части детали, профиль резца для данного участка задаем координатами точек t и x (фиг. 31).

17. Согласно величинам t таблицы (п. 14), наибольшая глубина профиля резца будет $t_{\max} = 11,355 \text{ мм}$. Для близкого значения $t_{\max} = 14 \text{ мм}$ по табл. 1 выбираем конструктивные и габаритные размеры резца.

На фиг. 31 даны чертеж, профиль и схема установки призматического резца по выполненному расчету.

§ 12. РАСЧЕТ ДИСКОВЫХ ФАСОННЫХ РЕЗЦОВ, ПОВЕРНУТЫХ В ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ

А. Выбор конструктивных размеров и расчет профиля

[1, стр. 55—62], [4, стр. 35—36], [6, стр. 35—40]

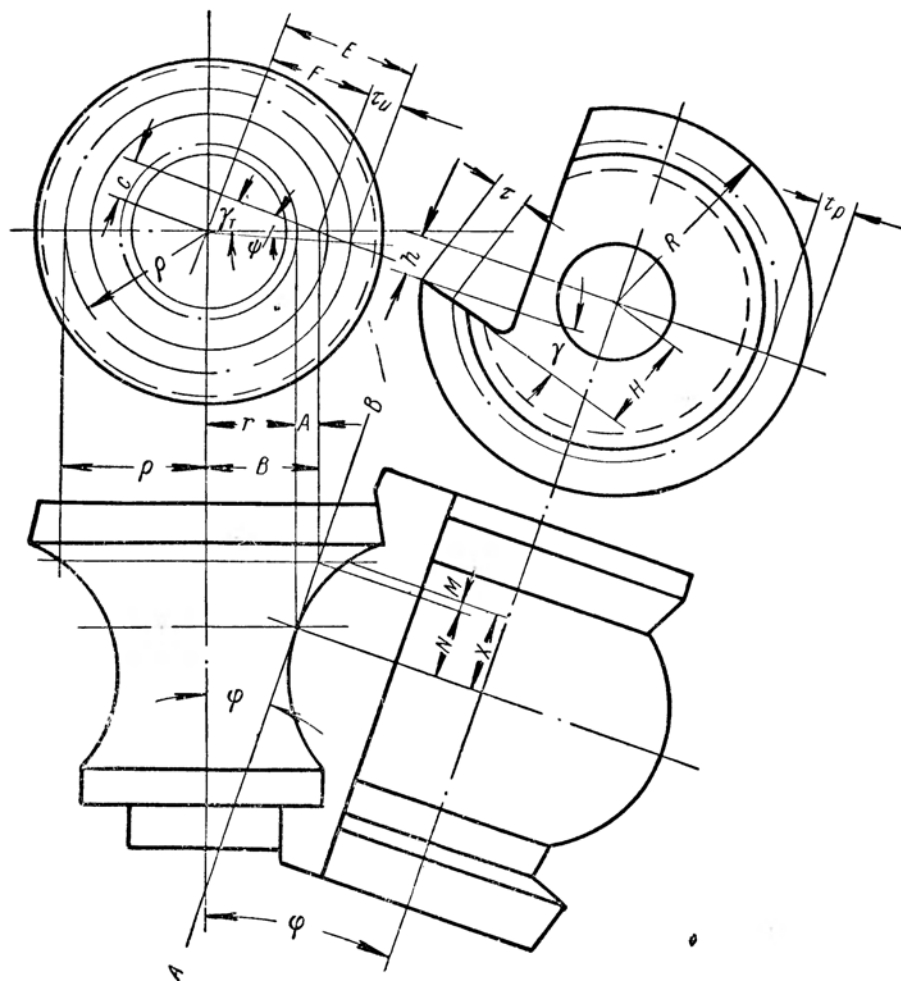
1. Область применения данных резцов указана в предыдущем параграфе. Выбор значений φ , γ и α , расчет высот τ профиля резца по передней грани, расчет осевых расстояний x узловых и промежуточных точек профиля определяются и ведутся по формулам для расчета призматических резцов, повернутых в горизонтальной плоскости, согласно пп. 1, 2, 4, 5, 6, 7 и 8 указанного расчета. На фиг. 32 обозначения промежуточных расчетных величин и формулы для определения высоты те же, что для призматических фасонных резцов с наклонной базовой линией.

3. Габаритные размеры резцов берутся по табл. 2, 3 и 4 или по размерам державки и типу станка, на котором обрабатывается фасонная деталь.

α — задний угол резца.

6. Расчет углов прямолинейных участков и радиусов заменяющих окружностей криволинейных участков производится по формулам типовых профилей № 1—9 § 7.

7. На фиг 33,а изображены профиль и размеры фасонной детали, обрабатываемой из пруткового материала $\varnothing 42$ мм на токарно-револьверном станке. Деталь подготовлена под отрезку.



4. Высоты H заточки и h установки резца рассчитываются так же как у обычных дисковых резцов с осью, параллельной оси детали

The technical drawing shows three views of a mechanical component:

- Front View (Top Left):** Shows a stepped cylindrical profile. Dimensions include overall width 36, inner width 34, and various step widths (24, 14, 9, 4). A fillet radius R40 is indicated at the bottom transition.
- Side View (Bottom Left):** Shows the profile from the side, highlighting a 20° taper angle and a 45° chamfer. It also indicates diameters $\phi 42$, $\phi 30$, $\phi 35$, and $\phi 40$.
- Cross-section (Right):** A detailed view of the internal features, showing a central hole with diameter $\phi 15$. It includes labels for different sections (a, b, c), angles (20°, α), and distances (t_{max} , r_2 , K). The material is specified as "В остальное" (In the rest).

Материал детали — сталь с пределом прочности $\sigma_b = 55 \text{ кг/мм}^2$. Ввиду наличия на детали торцевой плоскости, неблагоприятной для обработки дисковым резцом обычной конструкции, выбираем тип дискового резца с повернутой осью.

8. Угол установки оси резца относительно оси детали берем $\varphi = 20^\circ$.

9. Наибольшая глубина t профиля детали в направлении, перпендикулярном оси резца, согласно фиг. 33 б, приближенно определится

$$t_{\max} = (a + b + c) \sin 20^\circ + h \cos 20^\circ = \\ = (4 + 5 + 5) 0,34202 + 5 \cdot 0,93969 = 9,5 \text{ мм.}$$

Габаритные размеры резца находятся по табл. 2 для глубины $t_{\max}$ до 10 мм. Для данной глубины наружный диаметр будет $D = 60 \text{ мм.}$

10. Передний угол γ и задний угол α выбираем по табл. 5 для стали с пределом прочности $\sigma_b = 55 \text{ кг/мм}^2$; $\gamma = 20^\circ$ и $\alpha = 12^\circ$, задаем их на резце в плоскости, перпендикулярной оси резца. Тогда

$$\gamma_0 = \alpha + \gamma = 20^\circ + 12^\circ = 32^\circ.$$

Высота установки резца будет:

$$h = R \sin \alpha = 30 \sin 12^\circ = 30 \cdot 0,20791 = 6,24 \text{ мм.}$$

Высота заточки резца

$$H = R \sin \gamma_0 = 30 \sin 32^\circ = 30 \cdot 0,52992 = 15,90 \text{ мм.}$$

11. Базовую линию EF (фиг. 33, а) проводим под углом 20° к оси детали через точку E — вершины резца, соответствующую диаметру детали $d_u = 30 \text{ мм.}$

Согласно размерам на чертеже детали, радиусы окружностей узловых точек профиля детали в порядке расположения их вдоль оси от точки E будут: $r = 15 \text{ мм}$; $r_1 = 20 \text{ мм}$; $r_2 = 7,5 \text{ мм}$; $r_3 = 4,55 \text{ мм}$. Соответствующие им ширины вдоль оси детали от базовой точки E будут: $l_1 = 4 \text{ мм}$; $l_2 = 9 \text{ мм}$; $l_3 = 14 \text{ мм}$; $l_4 = 24 \text{ мм}$; $l_5 = 34 \text{ мм}$; $l_6 = 36 \text{ мм}$.

12. Расчет высот τ профиля дискового резца по передней грани в направлении, перпендикулярном оси резца, производим по формулам п. 7 § 11. Вычисляем постоянные величины:

а) передний угол γ_T резца в плоскости, перпендикулярной оси детали, будет:

$$\operatorname{tg} \gamma_T = \operatorname{tg} \gamma \cos \varphi = 0,36397 \cdot 0,93969 = 0,34202;$$

$$\gamma_T = 18^\circ 53'; \sin \gamma_T = 0,32364; \cos \gamma_T = 0,94618.$$

б) постоянный коэффициент

$$\eta = \frac{\cos \gamma_T \cos \varphi}{\cos \gamma} = \frac{\cos 18^\circ 53' \cos 20^\circ}{\cos 20^\circ} = 0,94618;$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg} 20^\circ = 0,36397.$$

13. Расчет высот τ производим в форме расчетной таблицы для каждой узловой точки профиля резца, обозначенной соответствующим номером (фиг. 33, а).

№ точек профиля	Ширина l	$A = l \operatorname{tg} \varphi$ ($\operatorname{tg} \varphi = 0,36397$)	$B = r + A$ ($r = 15$)	$C = B \sin \gamma_T$ ($\sin \gamma_T = 0,32364$)	Радиус детали ρ	$\sin \psi = \frac{c}{\rho}$	$\cos \psi$	$E = \rho \cos \psi$	$F = B \cos \gamma_T$ ($\cos \gamma_T = 0,94618$)	$\tau_u = E - F$	$\tau = \frac{\tau_u \eta}{(\eta = 0,94618)}$
2'	0	0	15	4,855	22	0,22066	0,97535	21,458	14,193	7,265	6,874
2	4	—1,456	13,544	4,383	15	0,29220	0,95635	14,345	12,815	1,530	1,448
3	9	—3,276	11,724	3,794	20	0,18970	0,98184	19,637	11,093	8,544	8,084
4	14	—5,096	9,904	3,205	20	0,16025	0,98707	19,741	9,371	10,370	9,812
5	24	—8,735	6,265	2,028	7,5	0,2804	0,96274	7,221	5,928	1,293	1,223
6	34	—12,375	2,625	0,850	7,5	0,11333	0,99355	7,452	2,484	4,968	4,701
7	36	—13,103	1,897	0,614	4,55	0,13494	0,99085	4,508	1,795	2,713	2,567

14. Расчет высот t профиля дискового резца в осевой плоскости производим с помощью табл. 7 для угла $\gamma_0 = 32^\circ$ и наружного диаметра резца $D = 60 \text{ мм}$. Расчеты представляем в виде таблицы.

№ точек профиля	Высота по передней грани τ	Отношения $\frac{\tau}{D}$	Ближайшее значение по таблице K_p	Соответствующее значение K_t по таблице	Высота профиля резца $t = \tau K_t$
2'	6,874	0,1146	0,1154	0,808	5,554
2	1,448	0,0241	0,0241	0,841	1,218
3	8,084	0,1347	0,1357	0,799	6,459
4	9,812	0,1635	0,1643	0,785	7,702
5	1,223	0,0204	0,0208	0,842	1,030
6	4,701	0,0784	0,0776	0,823	3,869
7	2,567	0,0428	0,0431	0,835	2,143

15. Расстояния между узловыми точками профиля резца вдоль его оси определяются по формулам п. 8 § 11. Расчеты представляем в виде расчетной таблицы.

№ точек профиля	τ_u	$M = \tau_u \cos \gamma_T \times \sin \varphi$ ($\sin \varphi \cos \gamma_T = 0,32361$)	l	$N = l \sec \varphi$ ($\sec \varphi = 1,06418$)	$x = N - M$
2'	7,265	2,351	0	0	-2,351
2	1,530	0,495	4	4,257	3,762
3	8,544	2,765	9	9,578	6,813
4	10,370	3,356	14	14,899	11,543
5	1,293	0,418	24	25,540	25,122
6	4,968	1,608	34	36,182	34,574
7	2,713	0,878	36	38,105	37,227

Примечание. Для значения x перед значением M взят знак — в соответствии с примечанием к сводке формул (стр. 44)

Общая длина рабочей части резца будет (фиг. 33, а)

$$l_p = 2,351 + 37,227 \approx 39,5 \text{ мм.}$$

Перекрытие крайнего лезвия, ширина дополнительного лезвия и торцевые зубчики определяют общую длину резца

$$L = 39,5 + 0,5 + 3 + 3 = 46 \text{ мм.}$$

16. Расчет углов прямолинейных участков с осью резца, соответствующих прямолинейным участкам обрабатываемой детали, производим по формулам расчета типового профиля № 1 (фиг. 10). Однако для удобства задания углов на чертеже находим угол $\delta_0 = 90^\circ - \beta$. В этом случае по значениям высоты t и ширины x профиля резца по таблицам пп. 14 и 15 данного расчета найдем табличным расчетом значения углов профиля резца (фиг. 34)

Обозначение прямолинейного участка профиля	h			x			$\text{tg } \delta_0 = \frac{h}{x}$	δ_0
	формула	действие	результат в мм	формула	действие	результат в мм		
2'-1	$h = t'_2$		5,554	$x = x'_2$		2,351	2,3624	67°3'30"
1-2	$h = t_2$		1,218	$x = x_2$		3,762	0,32376	17°56'20"
2-3	$h = t_3 - t_2$	6,459 - 1,218	5,241	$x = x_3 - x_2$	6,813 - 3,762	3,051	1,7177	59°47'40"
3-4	$h = t_4 - t_3$	7,702 - 6,459	1,243	$x = x_4 - x_3$	11,543 - 6,813	4,73	0,26279	14°43'30"
5-6	$h = t_6 - t_5$	3,869 - 1,03	2,839	$x = x_6 - x_5$	34,574 - 25,122	9,452	0,30035	16°43'
6-7	$h = t_6 - t_7$	3,869 - 2,143	1,726	$x = x_7 - x_6$	37,227 - 34,574	2,653	0,65058	33°2'50"

17. Расчет дугового участка осевого профиля резца, соответствующий участку 4—5 (фиг. 33, а) детали, ведем по формулам типового профиля № 46 (фиг. 13, б). Тогда, согласно пп. 14 и 15 данного расчета, получим

$$h = t_4 - t_5 = 7,702 - 1,03 = 6,672 \text{ мм;}$$

$$x = x_5 - x_4 = 25,122 - 11,543 = 13,579 \text{ мм.}$$

По формулам типового профиля 46

$$\text{tg } \delta = \frac{h}{x} = \frac{6,672}{13,579} = 0,49135; \quad \delta = 26^\circ 10'.$$

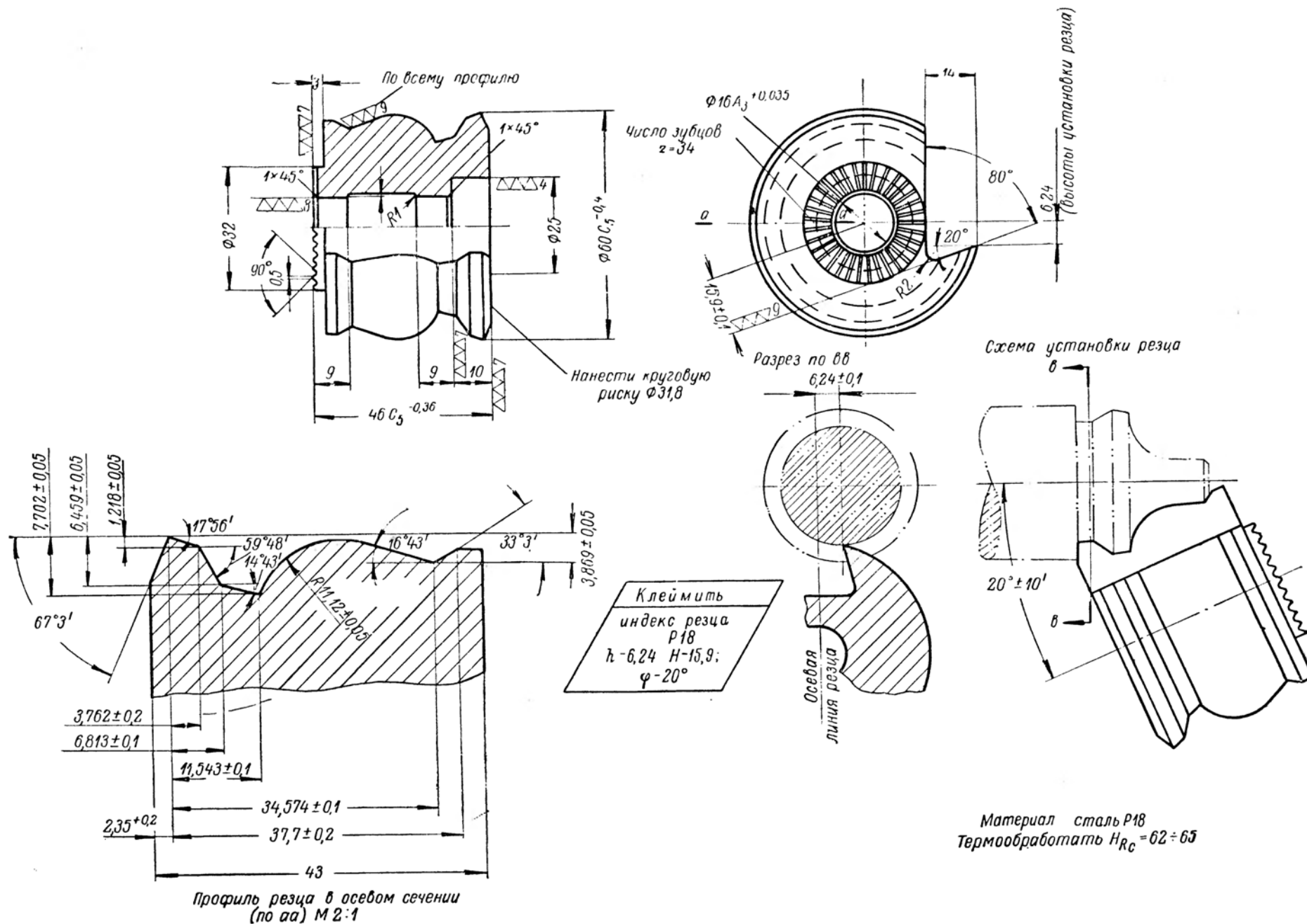
На участке 5—6 (фиг. 33, а) угол профиля резца, приведенный в таблице данного расчета, равен $\delta_0 = 16^\circ 43'$. При этом β , согласно фиг. 13, б, будет

$$\beta = 90^\circ - \delta_0 = 90^\circ - 16^\circ 43' = 73^\circ 17'.$$

Тогда радиус дугового участка профиля определится:

$$R = \frac{x}{2} \sec \delta \sec (\beta - \delta) = \frac{13,579}{2} \sec 26^\circ 10' \sec 47^\circ 7' = 6,7895 \cdot 1,1142 \cdot 1,4695 = 11,12 \text{ мм.}$$

18. Чертеж профиля осевого сечения резца, а также схема его установки приведены на фиг. 34.



Фиг. 34. Дискový фасонный резец, повернутый в горизонтальной плоскости.

§ 13. РАСЧЕТ ПРИЗМАТИЧЕСКИХ ФАСОННЫХ РЕЗЦОВ С БОКОВЫМ НАКЛОНОМ КОРПУСА

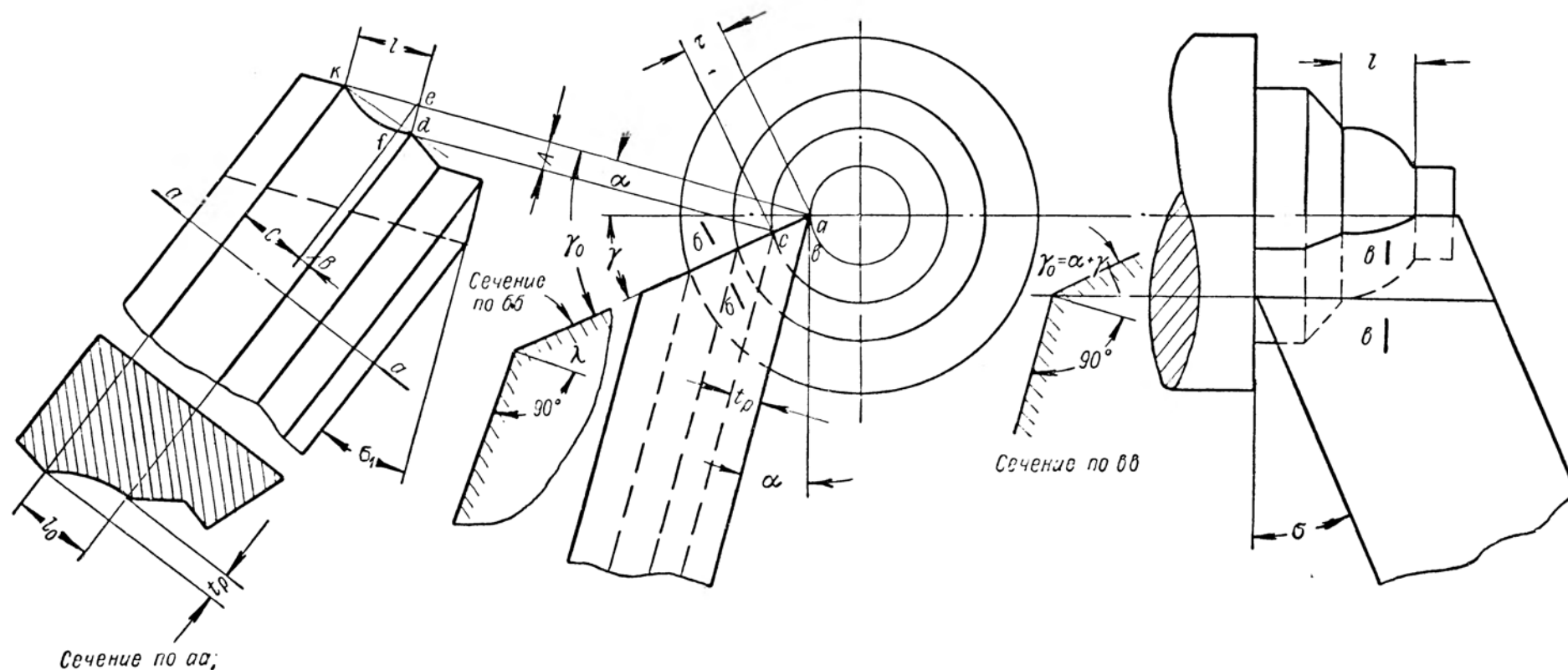
А. Выбор конструктивных размеров и расчет профиля (фиг. 35)

[4, стр. 36—38], [6, стр. 27—31]

1. Назначение и область применения призматических резцов с боковым наклоном корпуса в вертикальной плоскости те же, что и резцов призматических, повернутых в горизонтальной плоскости согласно п. 1 расчета этих резцов (стр. 42)

2. Габаритные размеры, передние и задние углы, расчет высоты профиля резца по передней грани в плоскости, перпендикулярной оси фасонного изделия, ведется по формулам, указанным в пп. 1, 2, 4, 6, 7, 8 и 9 расчета обыкновенных призматических фасонных резцов с передним углом (стр. 31—32)

3. Для дальнейшего расчета дополнительно требуется величина угла σ бокового наклона корпуса резца к плоскости, перпендикулярной оси изделия (фиг. 35), который задается в пределах $\sigma = 10—15^\circ$.



Фиг. 35. Расчет призматических фасонных резцов с боковым наклоном корпуса.

№ формул	Наименование расчетной величины	Обозначение	Формула
1	Передний угол заточки в плоскости, перпендикулярной оси изделия	γ_0	$\gamma_0 = \alpha + \gamma$
2	Высота профиля резца в нормальном сечении (отрезок $\overline{cb}$)	t_p	$t_p = \tau \cos \gamma_0$
3	Угол наклона корпуса резца в плоскости, параллельной ребрам задней грани и оси детали	σ_1	$\operatorname{tg} \sigma_1 = \operatorname{tg} \sigma \cos \alpha$
4	Постоянный коэффициент	k	$k = \sin \gamma \sin \sigma_1$
5	Отрезок $\overline{fd}$	B	$B = k\tau$
6	Отрезок $\overline{kf}$	C	$C = l \cdot \cos \sigma_1$
7	Ширина участка профиля резца в нормальном сечении	l_0	$l_0 = B + C$
8	Угол заточки резца в плоскости, перпендикулярной ребрам боковой грани (сечение по bb , фиг. 35)	λ	$\operatorname{tg} \lambda = \operatorname{tg} \sigma \cos \gamma$

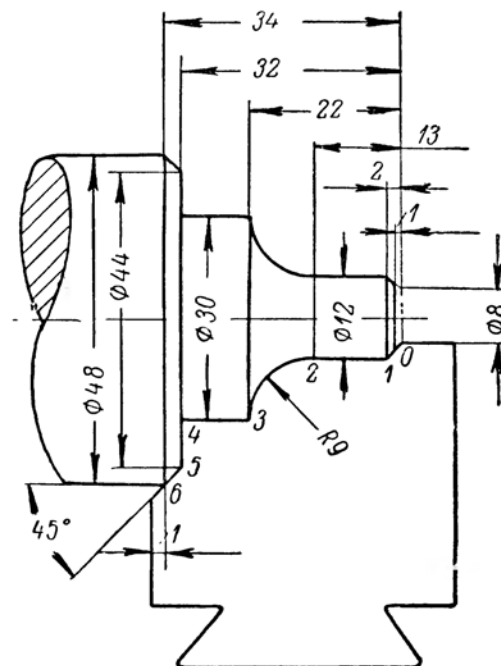
5. На фиг. 36 заданы профиль и размеры фасонной детали из стали с пределом прочности $\sigma_b = 85 \text{ кг/мм}^2$. Ввиду наличия на детали участков профиля, перпендикулярных оси, применяем призматический резец с боковым наклоном корпуса.

6. Наибольшая глубина профиля детали, согласно фиг. 36, равна $t_{\max} = \frac{48-8}{2} = 20 \text{ мм.}$

Габаритные и конструктивные размеры резца выбираем по табл. 1 для $t_{\max} = 20$ мм.

8. Согласно обозначениям на фиг. 19 и размерам детали по фиг. 36, радиусы окружностей узловых точек профиля детали будут $r=4$ мм; $r_1=6$ мм; $r_2=15$ мм; $r_3=22$ мм; $r_4=24$ мм. Наименьший, т. е. базовый диаметр детали $d_u=8$ мм. Радиус дугового участка $R=9$ мм. Углы конических участков профиля $\beta=45^\circ$.

9. Расчет высот профиля призматического резца по передней грани в направлении, перпендикулярном оси детали, ведем с помощью табл. 6 в порядке, указанном в правилах пользования таблицей для $\gamma = 15^\circ$. Результаты расчета представляем в форме таблицы.



Фиг. 36. Профиль и размеры детали

№ ступени	Радиусы детали r_l	Высота профиля детали $t_u = r_l - r$ ($r = 4$)	Отношение $\frac{d_u}{t_u}$ ($d_u = 8$)	Ближнее значение K_u по табл. 6	Соответствующее значение K_t по табл. 6	Высота профиля резца по передней грани $\tau = t_u K_\tau$
1—2	6	2	4,0	3,924	1,023	2,046
3—4	15	11	0,727	0,712	1,009	11,099
5	22	18	0,445	0,426	1,006	18,008
6	24	20	0,40	0,383	1,0055	20,120

10. Задаемся углом бокового наклона призматического резца (в вертикальной плоскости) $\sigma = 12^\circ$.

11. Значение угла σ_1 бокового наклона в плоскости, параллельной оси детали и ребрам задней грани, определится

$$\begin{aligned}\operatorname{tg} \sigma_1 &= \operatorname{tg} \sigma \cos \alpha = \operatorname{tg} 12^\circ \cos 10^\circ = 0,21256 \cdot 0,98481 = 0,20933; \\ \sigma_1 &= 11^\circ 49' .\end{aligned}$$

Угол $\gamma_0 = \alpha + \gamma = 10^\circ + 15^\circ = 25^\circ$.

Тогда значение постоянного коэффициента

$$k = \sin \gamma_0 \sin \sigma_1 = 0,42262 \cdot 0,20488 = 0,08659.$$

Расчет высоты t_p и ширины l_0 профиля резца в нормальном сечении ведем в форме расчетной таблицы.

№ ступени	Высота профиля по передней грани τ	Высота профиля в нормальном сечении $t_p = \tau \cos \gamma_0$ ($\cos \gamma_0 = 0,90631$)	Промежуточные расчетные величины			Ширина профиля резца $l_0 = B + C$
			$B = k\tau$ ($k = 0,08659$)	ширина профиля детали l	$C = l \cos \sigma_1$ ($\cos \sigma_1 = 0,97878$)	
1	2,046	1,854	0,177	2	1,958	2,135
2	2,046	1,854	0,177	13	12,724	12,901
3	11,099	10,059	0,961	22	21,533	22,494
4	11,099	10,059	0,961	32	31,321	32,282
5	18,108	16,411	1,568	32	31,321	32,889
6	20,120	18,235	1,742	34	33,279	35,02

Угол заточки резца в плоскости, перпендикулярной ребру боковой грани резца (сечение по $бб$, фиг. 37), будет

$$\begin{aligned}\operatorname{tg} \lambda &= \operatorname{tg} \sigma \cos \gamma = \operatorname{tg} 12^\circ \cos 15^\circ = 0,21256 \cdot 0,96593 = 0,20532; \\ \lambda &= 11^\circ 36' .\end{aligned}$$

12. Габаритные и конструктивные размеры резца выбираем по табл. 1 для $l_{\max}$ до 20 мм. Ширина резца будет равна наибольшей ширине рабочей части профиля резца $l_0 = 35,02$ мм, величине перекрытия у большого диаметра детали в 1 мм и ширине упрочняющего лезвия в 3 мм. Тогда общая ширина резца $L = 40$ мм.

13. Радиус дуговой части профиля резца определится по формулам расчета типового профиля № 2 (фиг. 11). Согласно таблице п. 11 будет:

$$\begin{aligned}x &= l_{03} - l_{02} = 22,494 - 12,901 = 9,593 \text{ мм}; \\ h &= t_{p3} - t_{p2} = 10,059 - 1,854 = 8,205 \text{ мм}.\end{aligned}$$

Тогда радиус дуговой части профиля определится

$$\operatorname{tg} \beta_0 = \frac{h}{x} = \frac{8,205}{9,593} = 0,85531,$$

откуда

$$\beta_0 = 40^\circ 32' \text{ и } 2\beta_0 = 81^\circ 5';$$

$$R = \frac{x}{\sin 2\beta_0} = \frac{9,593}{0,98791} = 9,71 \text{ мм}.$$

14. Величины углов прямолинейных участков определяются по формулам расчета типового профиля № 1 (фиг. 10). Согласно таблице п. 11 данного расчета будет:

для участка 1:

$$x = l_{01} = 2,135; \quad h = t_{p1} = 1,854 \text{ мм},$$

тогда

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{x}{h} = \frac{2,135}{1,854} = 1,1515; \quad \beta_1 = 49^\circ 2',$$

для участка 4—5:

$$x = l_{05} - l_{04} = 32,889 - 32,282 = 0,607 \text{ мм};$$

$$h = t_{p5} - t_{p4} = 16,411 - 10,059 = 6,352 \text{ мм};$$

$$\operatorname{tg} \beta_2 = \frac{x}{h} = \frac{0,607}{6,352} = 0,09556; \quad \beta_2 = 5^\circ 27'.$$

Для участка 5—6:

$$x = l_{06} - l_{05} = 35,02 - 32,889 = 2,131;$$

$$h = t_{p6} - t_{p5} = 18,235 - 16,411 = 1,824;$$

$$\operatorname{tg} \beta_3 = \frac{x}{h} = \frac{2,131}{1,824} = 1,1683; \quad \beta_3 = 49^\circ 26'.$$

15. На фиг. 37 представлены чертеж и схема установки призматического фасонного резца с боковым наклоном корпуса.

§ 14. РАСЧЕТ ТАНГЕНЦИАЛЬНЫХ ФАСОННЫХ РЕЗЦОВ

А. Выбор конструктивных размеров.

1. Данные резцы применяются для длинных и нежестких фасонных деталей и неглубоких профилей. Максимальная допустимая глубина профиля детали не должна превышать $0,12D$ — наибольшего диаметра фасонной поверхности. В противном случае передний угол в процессе резания будет изменяться в слишком широких пределах.

Профиль резца не зависит от диаметров изделия, а только от высот t_u профиля изделия, и поэтому один резец может применяться для любых диаметров изделия с постоянным профилем.

2. Габаритные размеры тангенциальных фасонных резцов выбираются по табл. 1 призматических фасонных резцов.

3. Задний угол α в плоскости, перпендикулярной оси детали, в конечный момент резания рекомендуется задавать в пределах $3—12^\circ$. При наличии участков профиля изделия, касательная к которым составляет с осью детали угол, близкий к 90° , и если передний угол $\gamma \leq 30^\circ$, то задний угол α берется равным $10—12^\circ$. В остальных случаях α берется равным $3—9^\circ$.

Передний угол у тангенциальных резцов в процессе резания изменяется относительно в широких пределах, а именно, от γ_1 до $\gamma = \gamma_1 + \gamma_2$.

Здесь угол γ_1 соответствует начальному моменту, а угол γ — конечному моменту работы резца.

Передний угол γ_1 обычно принимается равным $3—5^\circ$.

Угол γ_2 зависит от глубины профиля фасонной детали и определяется (с округлением до целого числа градусов) по формуле:

$$\cos \gamma_2 = \frac{d_u}{D},$$

где d_u — наименьший,

D — наибольший диаметры фасонного изделия.

Передний угол заточки в плоскости, перпендикулярной оси обрабатываемой детали, определяется по формуле

$$\gamma_0 = \gamma + \alpha.$$

Если передний угол γ , полученный по приведенному расчету, превышает на $15—20^\circ$ величины передних углов, рекомендованных в табл. 5, то следует применить другой тип фасонного резца.

4. Угол λ наклона передней грани резца, измеренный в плоскости, параллельной оси детали и направлению подачи резца, задается в пределах от 15 до 45° . При этом для больших глубин и малых длин профиля угол λ берется большим.

Продольный наклон на угол λ передней грани осуществляется таким образом, чтобы наиболее высокая точка передней грани резца была расположена со стороны торца обрабатываемой детали так, чтобы вначале обрабатывалась его концевая часть.

Б. Расчет профиля

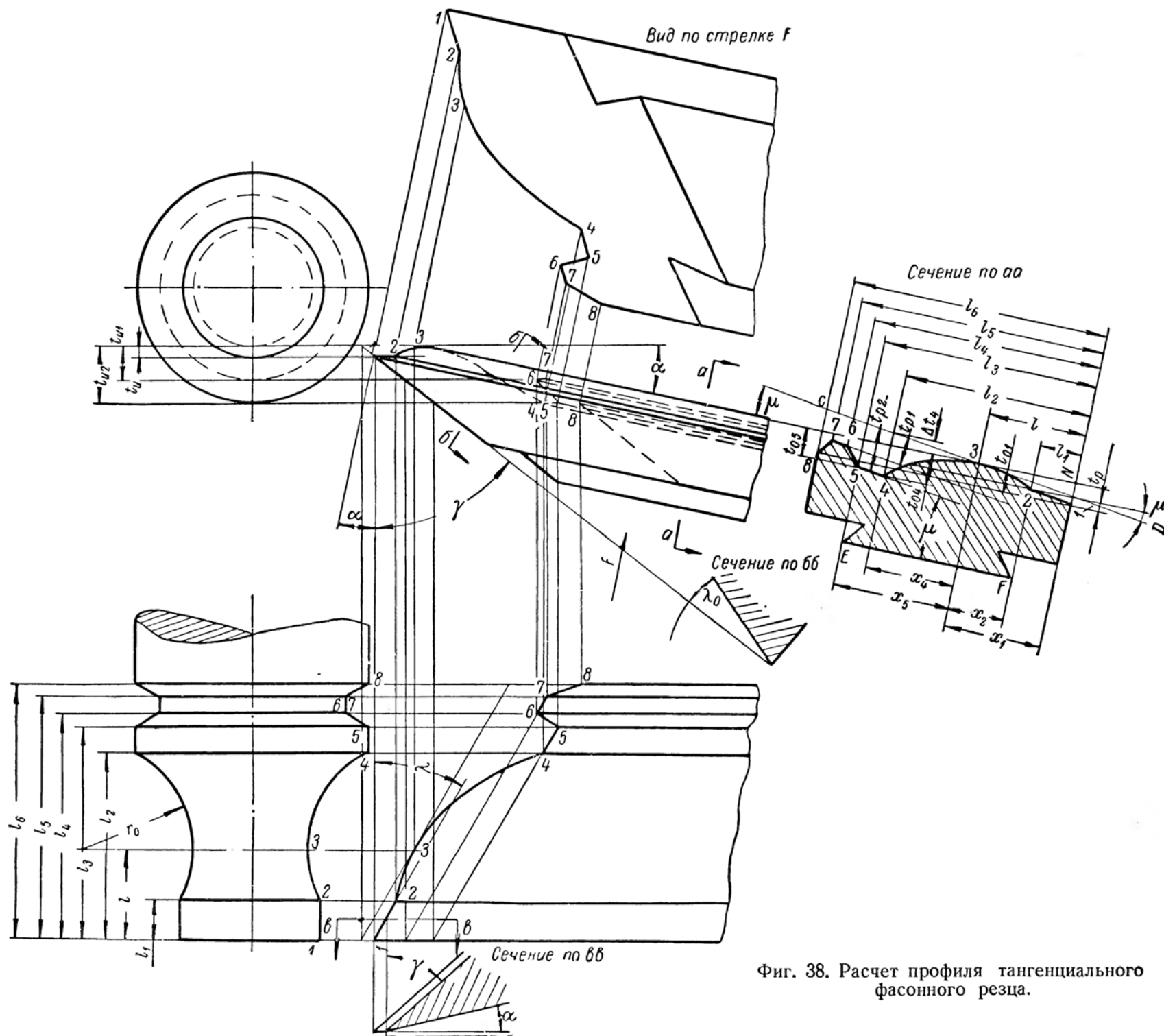
[1, стр. 72—76], [6, стр. 22—26]

5. Для расчета профиля резца (фиг. 38) считаются известными размеры изделия и резца, указанные в п. 7 расчета призматических резцов (стр. 31). Дополнительно задается угол λ и определяются углы α и γ , согласно пп. 3 и 4 данного параграфа. На фиг. 38 показано графическое построение профиля резца, служащее обоснованием приводимого ниже расчета.

6. Сводка формул и порядок расчета высот t_0 профиля резца в плоскости, перпендикулярной ребрам задней грани:

№ формул	Наименование расчетной величины	Обозначение	Формула
1	Постоянный коэффициент	K	$K = \cos(\alpha + \gamma) \sec \gamma$
2	Высота профиля резца в плоскости, перпендикулярной ребрам задней грани, отсчитываемая от линии $\overline{CD}^*$	t_p	$t_p = K \cdot t_u$
3	Угол между плоскостью хвостовика ($\overline{EF}$) и линией профиля резца $\overline{CD}$	μ	$\operatorname{tg} \mu = \operatorname{tg} \lambda \sin \alpha$
4	Угол бокового наклона передней грани в сечении bb	λ_0	$\operatorname{tg} \lambda_0 = \operatorname{tg} \lambda \cos \gamma$
5	Высота профиля резца, отсчитываемая от прямой $\overline{MN}$, параллельной прямой $\overline{EF}$, проведенной через точку (3), наиболее близко расположенной к оси детали. x — расстояние от указанной точки (3) до рассматриваемой. вдоль прямой $\overline{MN}$	t_0	$t_0 = t_p \pm x \operatorname{tg} \mu$

* Линия $\overline{CD}$ является линией, параллельной участкам профиля резца, которые соответствуют режущим кромкам, обрабатывающим цилиндрические участки детали.



Фиг. 38. Расчет профиля тангенциального фасонного резца.

7. Расчет последующих высот t_{01} , t_{02} и т. д. для других участков профиля производится аналогично при постоянстве значений K и μ .

8. Размеры узловых точек вдоль оси изделия l_1 , l_2 , l_3 и т. д. (ширины) переносятся с профиля изделия без изменения и откладываются параллельно плоскости $\overline{EF}$ (сечение по aa) хвостовой части резца.

9. Все участки профиля резца в нормальном сечении (сечение по aa), обрабатывающие цилиндрические (1—2; 4—5; 6—7) участки профиля на изделии, расположены под углом μ к основанию (EF) резца.

10. Высоты t_p , t_{p1} , t_{p2} и т. д. профиля резца в плоскости, перпендикулярной ребрам задней грани (сечение по aa), отсчитываются от базовой линии (CD), проведенной через наивысшую точку профиля резца под углом μ к основанию (EF), по перпендикуляру к указанному основанию $\overline{EF}$.

11. Значения t_0 , отсчитываемые от прямой $\overline{MN}$, проходящей через вершину профиля резца (сечение по aa), для каждой узловой точки профиля различны, а значения t_p — постоянны для участков профиля детали, параллельных ее оси.

В. Пример расчета

12. На фиг. 39 заданы профиль и размеры фасонной детали из стали с пределом прочности $\sigma_v = 40 \text{ кг/мм}^2$.

Наибольшая глубина профиля $t_{\max} = \frac{64 - 49}{2} = 7,5 \text{ мм}$.

Тогда отношение

$$\frac{t_{\max}}{D_{\max}} = \frac{7,5}{64} = 0,117 < 0,12$$

не превышает для тангенциальных резцов рекомендуемого отношения наибольшей глубины профиля к наибольшему диаметру детали.

13. Определяем передний угол γ_0 заточки, для чего сначала вычисляем угол γ_2

$$\cos \gamma_2 = \frac{d_{\min}}{D_{\max}} = \frac{49}{64} = 0,7750; \quad \gamma_2 = 39^\circ 11'.$$

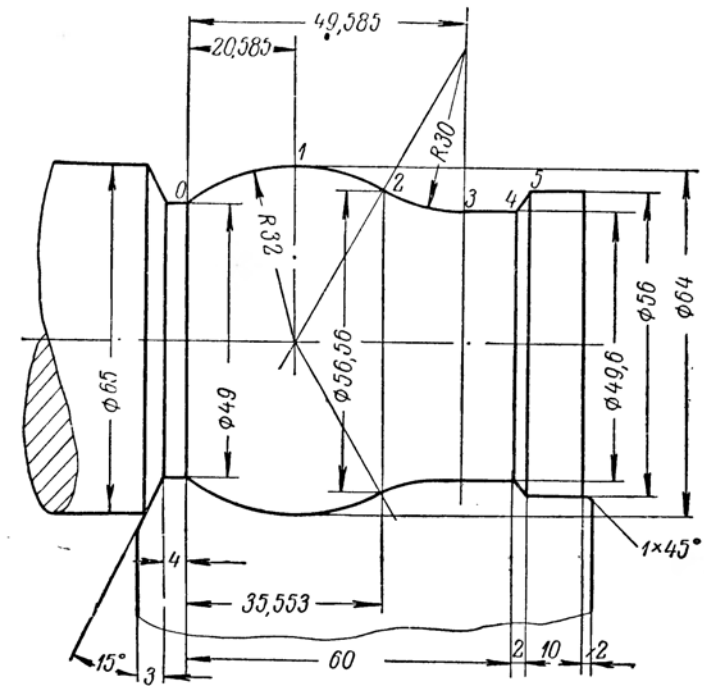
Задаемся передним углом $\gamma_1 = 3^\circ$ — в начальный момент резания, тогда передний угол в конечный момент резания будет

$$\gamma = \gamma_1 + \gamma_2 \approx 42^\circ.$$

Принимаем задний угол в конечный момент резания резца $\alpha = 3^\circ$.

Тогда передний угол заточки в плоскости, перпендикулярной оси детали, будет

$$\gamma_0 = \gamma + \alpha = 42^\circ + 3^\circ = 45^\circ.$$



Фиг. 39. Профиль и размеры детали.

14. Угол наклона режущей кромки резца (обрабатывающей цилиндрические участки) ввиду значительной длины детали берем $\lambda = 15^\circ$.

15. Согласно обозначениям на фиг. 19 и размерам детали по фиг. 39, радиусы окружностей узловых точек профиля детали будут:

$$r = 24,5 \text{ мм}; \quad r_1 = 32 \text{ мм}; \quad r_2 = 28,28 \text{ мм}; \quad r_3 = 24,8 \text{ мм};$$

$$r_4 = 28 \text{ мм}.$$

16. Постоянные величины определяются по формулам (1), (3) и (4) п. 6 данного расчета

$$K = \frac{\cos(\alpha + \gamma)}{\cos \gamma} = \frac{\cos(3^\circ + 42^\circ)}{\cos 42^\circ} = \frac{0,70711}{0,74314} = 0,95151;$$

$$\operatorname{tg} \mu = \operatorname{tg} \lambda \sin \alpha = \operatorname{tg} 15^\circ \sin 3^\circ = 0,26795 \cdot 0,052336 = 0,014023;$$

$$\mu = 0^\circ 48';$$

$$\operatorname{tg} \lambda_0 = \operatorname{tg} \lambda \cos \gamma = \operatorname{tg} 15^\circ \cdot \cos 42^\circ = 0,26795 \cdot 0,74315 = 0,19913;$$

$$\lambda_0 = 11^\circ 16'.$$

17. Расчет высот t_0 профиля в плоскости aa , перпендикулярной ребрам задней грани резца (сечение по aa , фиг. 38), производим по формулам (2) и (5) п. 6 расчета тангенциальных резцов в форме расчетной таблицы:

№ ступени	Радиусы детали r_i	Высота профиля детали $t_u = r_i - r$ ($r = 24,5$)	Высота профиля резца $t_p = K t_u$ ($K = 0,95151$)	Расстояние от заданной точки до вершины вдоль оси детали x	Расстояние между линиями MN и CD (сечение по aa , фиг. 38) $\Delta t = x \operatorname{tg} \mu$ ($\operatorname{tg} \mu = 0,014023$)	Общая высота профиля резца $t_0 = t_p + \Delta t$
1	32,0	7,5	7,136	20,585	0,289	7,425
2	28,28	3,78	3,597	35,553	0,499	4,096
3	24,80	0,30	0,285	49,585	0,695	0,98
4	24,80	0,30	3,330	62	0,869	4,199
5	28,0	3,50	0,285	60	0,841	1,126

18. Радиусы дуговых участков профиля резца определяются по формулам (1) ÷ (3), (8) и (9) расчета типового профиля № 8 (фиг. 17). Согласно обозначению размеров типового профиля № 8, профилю детали (фиг. 39) и расчетной таблице п. 17 данного примера, имеем:

$$h_2 = t_{01} = 7,425 \text{ мм};$$

$$x_2 = 35,553 \text{ мм};$$

$$h_3 = t_{01} - t_{02} = 7,425 - 4,096 = 3,329 \text{ мм};$$

$$h_4 = t_{01} - t_{03} = 7,425 - 0,98 = 6,445 \text{ мм}.$$

Тогда радиусы профиля резца в нормальном сечении определяются, согласно формулам расчета типового профиля № 8, в следующем порядке:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{h_2 - h_3}{x_2} = \frac{7,425 - 3,329}{35,553} = 0,11521;$$

$$\sin \beta = 0,11446; \quad \cos \beta = 0,99343;$$

$$A = 2 \sqrt{h_2 \cdot h_3} \cos \beta = 2 \sqrt{7,425 \cdot 3,329} \cdot 0,99343 = 9,8779;$$

$$R_1 = \frac{h_2 + h_3 - A}{2 \sin^2 \beta} = \frac{7,425 + 3,329 - 9,8779}{2 \cdot 0,11446^2} = 33,436 \text{ мм};$$

$$\sin \varepsilon = \frac{R_1 - h_3}{R_1} = \frac{33,436 - 3,329}{33,436} = 0,900436;$$

$$R_3 = \frac{h_4 - h_3}{1 - \sin \varepsilon} = \frac{6,445 - 3,329}{1 - 0,900436} = 31,296 \text{ мм}.$$

19. Габаритные и конструктивные размеры тангенциального резца выбираем по табл. 1 для наибольшей глубины профиля резца $t_{\max}$ до 10 мм, так как наибольшая расчетная величина $t_{\max} = 7,136 \text{ мм}$. Ширину резца L берем равной длине детали с учетом перекрытия и длины лезвия под отрезку детали, т. е. $L = 81 \text{ мм}$ (фиг. 39). Согласно примечанию 3 к табл. 1, находим размеры хвостовой части резца по размерам резца для $t_{\max}$ до 20 мм.

20. На фиг. 40 представлены чертеж и схема установки тангенциального фасонного резца, согласно приведенному расчету.

§ 15. РАСЧЕТ ТОРЦЕВЫХ ФАСОННЫХ РЕЗЦОВ

А. Выбор конструктивных размеров

1. Данные резцы применяются для обработки точением торцевых фасонных поверхностей (фиг. 41), главным образом, трапецевидного или полукруглого профиля и выполняются они в виде стержневых, призматических и дисковых резцов.

При малом диаметре обрабатываемой детали и при трапецевидном (угловом) профиле наибольший допустимый диаметр D дискового резца из условия вхождения конуса резца в конус детали определяется по формуле

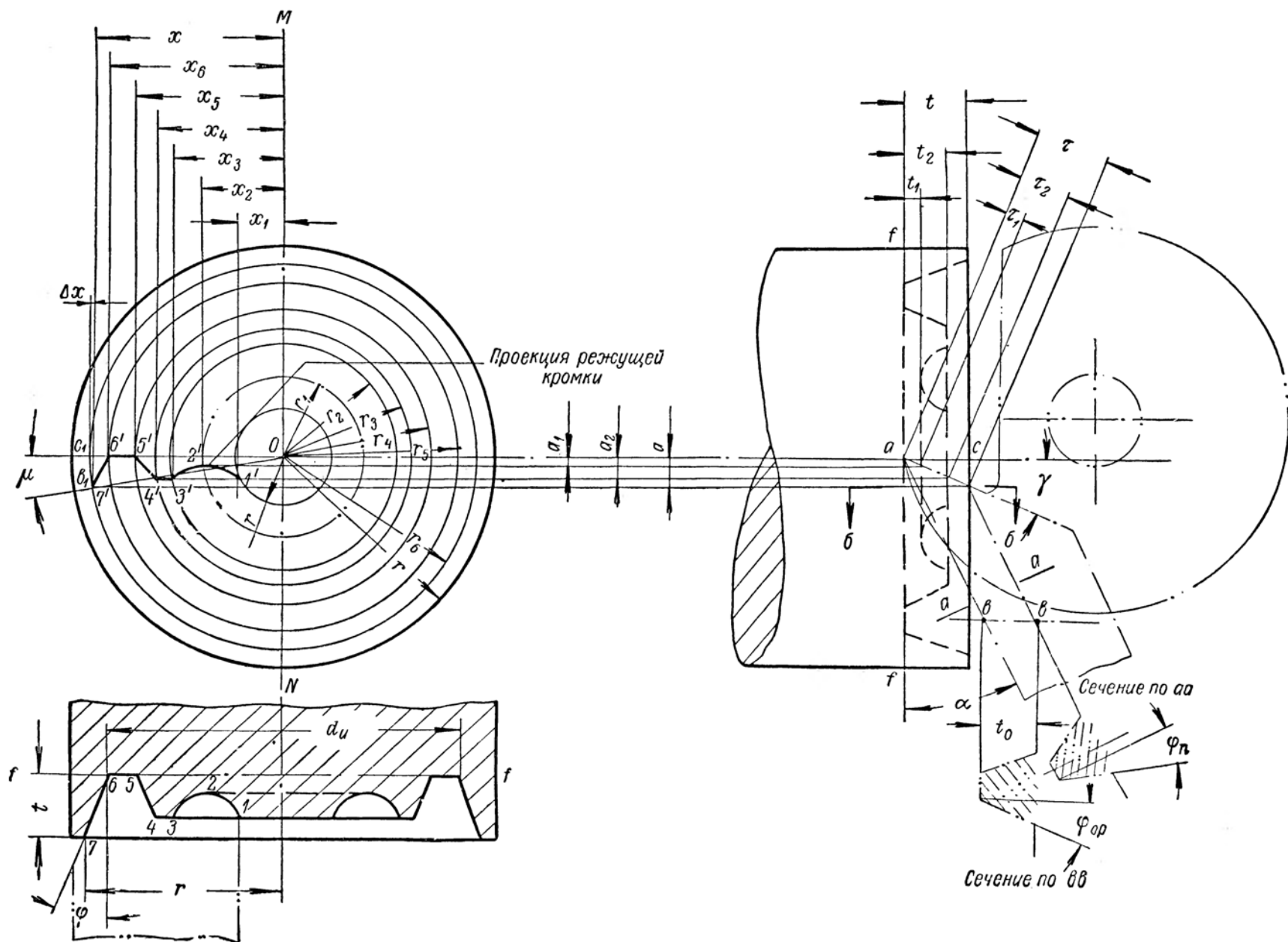
$$D \leq d_u \operatorname{tg} \varphi,$$

где d_u — наименьший диаметр конического участка поверхности детали;

φ — угол между образующей конуса и осью детали.

Чтобы задние грани призматических резцов для торцевых фасонных поверхностей не задевали поверхности детали, должно быть соблюдено условие:

$$\frac{l}{r} \leq \operatorname{tg} \alpha \sin 2\alpha_0,$$



Фиг. 41. Расчет торцевых фасонных резцов.

где $\operatorname{tg} \alpha_0 = \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \varphi$.

Здесь t — наибольшая глубина профиля детали;

r — наибольший радиус фасонной поверхности детали;

α — вершинный задний угол резца;

α_0 — задний угол резца в плоскости, перпендикулярной оси детали.

При малых значениях угла φ допустимые глубины профиля также малы. Например, при $\varphi = 10^\circ$, $\alpha = 12^\circ$, $t \leq 0,16r$.

Внутренние цилиндрические поверхности фасонными резцами, установленными обычным способом по фиг. 41, обработать невозможно.

2. Конструктивные размеры резцов, передние и задние углы и высота установки и заточки выбираются как указано в расчетах призматических и дисковых резцов обычной конструкции.

Б. Расчет профиля

[6. стр. 40—41]

3. Для расчета профиля резцов по передней грани считаются известными следующие размеры профиля детали и резца:

Наименование расчетной величины	Обозначение
Передний угол в плоскости, параллельной оси детали и перпендикулярной базовой линии ff	γ
Радиусы окружностей узловых точек профиля детали	r, r_1, r_2 и т. д.
Радиусы и ординаты центров дуговых участков профиля	r_0, r_{01}, r_{02}
Углы прямолинейных участков профиля с осью	φ_1, φ_2 и т. д.
Высота профиля детали	$t_1, t_2 \dots, t$

4. Расчет высоты τ и ширины x профиля резца по передней грани (фиг. 41) производится по следующим формулам:

№ формул	Наименование расчетной величины	Обозначение	Формула
1	Отрезок $\overline{bc}$	a	$a = t \operatorname{tg} \gamma$
2	Угол $\angle c_1 o v_1$	μ	$\sin \mu = \frac{a}{r}$
3	Расстояние $\overline{oc_1}$ точки профиля резца до вертикальной осевой плоскости MN	x	$x = r \cos \mu$
4	Отклонение точки профиля резца от радиального размера детали	Δx	$\Delta x = r - x$
5	Отрезок $\overline{ab}$	τ	$\tau = t \sec \gamma$

Расчет других высот τ и размеров x узловых точек профиля производится аналогично.

5. В тех случаях, когда отклонение Δx точки профиля резца от радиального размера для точки с наибольшим размером τ не превосходит допуска на радиус r детали, ширина (осевые размеры) профиля резца переносится с торцевого профиля детали на профиль резца без изменения. В этом случае значение x определяется лишь для одной точки с наибольшим радиусом r детали, а для других точек x не рассчитывается.

6. Высоты t_p профиля дискового торцевого резца в осевом сечении определяются по формулам для дисковых резцов обычной конструкции (стр. 35) или по первому примеру пользования табл. 7.

7. Высоты t_p профиля призматических резцов в нормальном сечении определяются формулами расчета призматических фасонных резцов обычной конструкции (п. 10, § 8).

8. Проставляемые на чертежах призматических или стержневых фасонных резцов высоты t_0 профиля резца в плоскости vv , параллельной оси детали (фиг. 41) и перпендикулярной базовой плоскости ff резца, рассчитываются по формуле

$$t_0 = t(1 - \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \gamma).$$

Угол φ_{0p} углового участка профиля в плоскости vv определяется по формуле

$$\operatorname{ctg} \varphi_{0p} = \operatorname{ctg} \varphi (1 - \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \gamma),$$

где φ — угол профиля детали.

Высота профиля в этой плоскости может быть также определена по формуле

$$t_0 = t \operatorname{tg} \varphi \operatorname{ctg} \varphi_{0p}.$$

Угол φ_n углового участка профиля в плоскости aa нормального сечения призматического резца определяется по формуле

$$\operatorname{tg} \varphi_n = \operatorname{tg} \varphi \cos \gamma \sec (\alpha + \gamma).$$

Проекция углового участка режущей кромки на основную плоскость резца имеет угол, равный φ .

Примечание. Углы φ_{0p} и φ_n рассчитываются по приведенным формулам лишь в тех случаях, когда Δx , определяемый в п. 4 расчета, лежит в пределах допуска на профиль; в противном случае расчет ведется по формулам типового профиля № 1 (фиг. 10). При этом, если деталь имеет симметричный угловой профиль, то на резце будет получен угловой профиль несимметричный.

9. Конструктивные размеры торцевых резцов определяются в том же порядке, как и для фасонных резцов обычного типа.

В. Пример расчета

10. На фиг. 42 приведены чертеж и размеры зубчикового торцевого профиля диска паротурбины из стали с пределом прочности $\sigma_B = 105 \text{ кг/мм}^2$. Зубчиковый профиль обрабатывается стержневым (призматическим) фасонным резцом.

11. Передний угол γ и задний угол α выбираем по табл. 5 для $\sigma_B = 105 \text{ кг/мм}^2$, т. е.

$$\gamma = 10^\circ; \alpha = 10^\circ.$$

12. Определяем возможность применения стержневого резца (призматического типа) из условия отсутствия касания задней грани обработанной поверхности детали. Согласно фиг. 42, наибольшая глубина профиля детали $t = 2,25 \text{ мм}$, наименьший радиус детали $r = 100 \text{ мм}$ и $\varphi = 30^\circ$.

Тогда на основании формул, приведенных в п. 1, будет:

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg} 10^\circ \operatorname{tg} 30^\circ = 0,101804,$$

откуда

$$\alpha_0 = 5^\circ 48' 50''; 2\alpha_0 = 11^\circ 37' 40''; \sin 2\alpha_0 = 0,20155;$$

$$\operatorname{tg} \alpha \sin 2\alpha_0 = 0,0355;$$

$$\frac{t}{r} = \frac{2,25}{100} = 0,0225.$$

Из сопоставления видно, что $\frac{t}{r} < \operatorname{tg} \alpha \sin 2\alpha_0$ и, следовательно, призматический резец с выбранными углами можно применить.

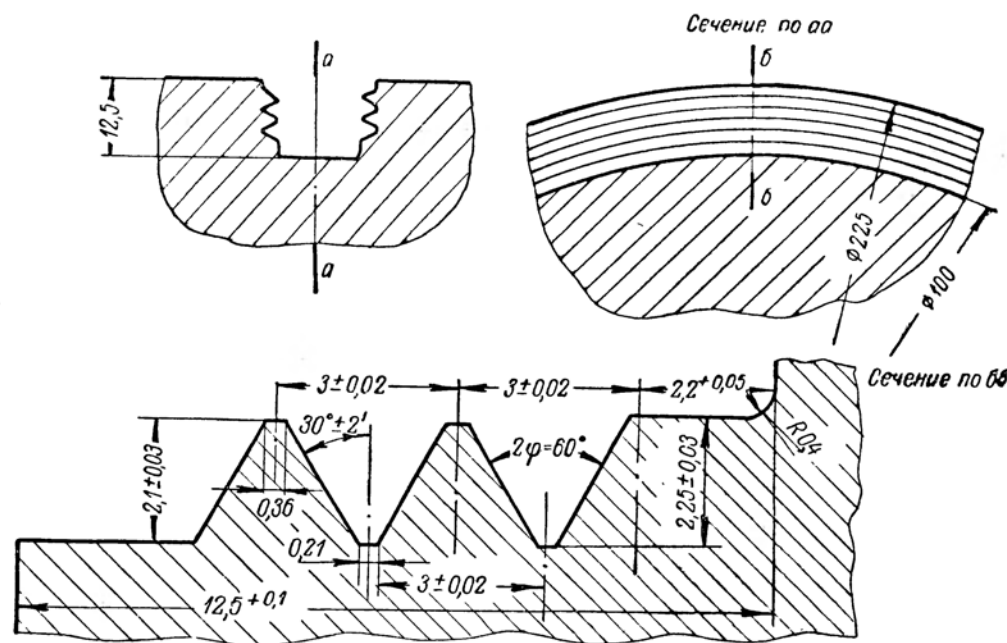
13. Определяем размер x для $r = 100 \text{ мм}$ и $t = 2,25$ по формулам стр. 62:

$$a = t \operatorname{tg} \gamma = 2,25 \cdot \operatorname{tg} 10^\circ = 0,3967 \text{ мм};$$

$$\sin \mu = \frac{a}{r} = \frac{0,3967}{100} = 0,003967;$$

$$x = r \cos \mu = 100 \cdot 0,999992 = 99,9992 \text{ мм};$$

$$\Delta x = 100 - 99,9992 = 0,0008 \text{ мм}.$$



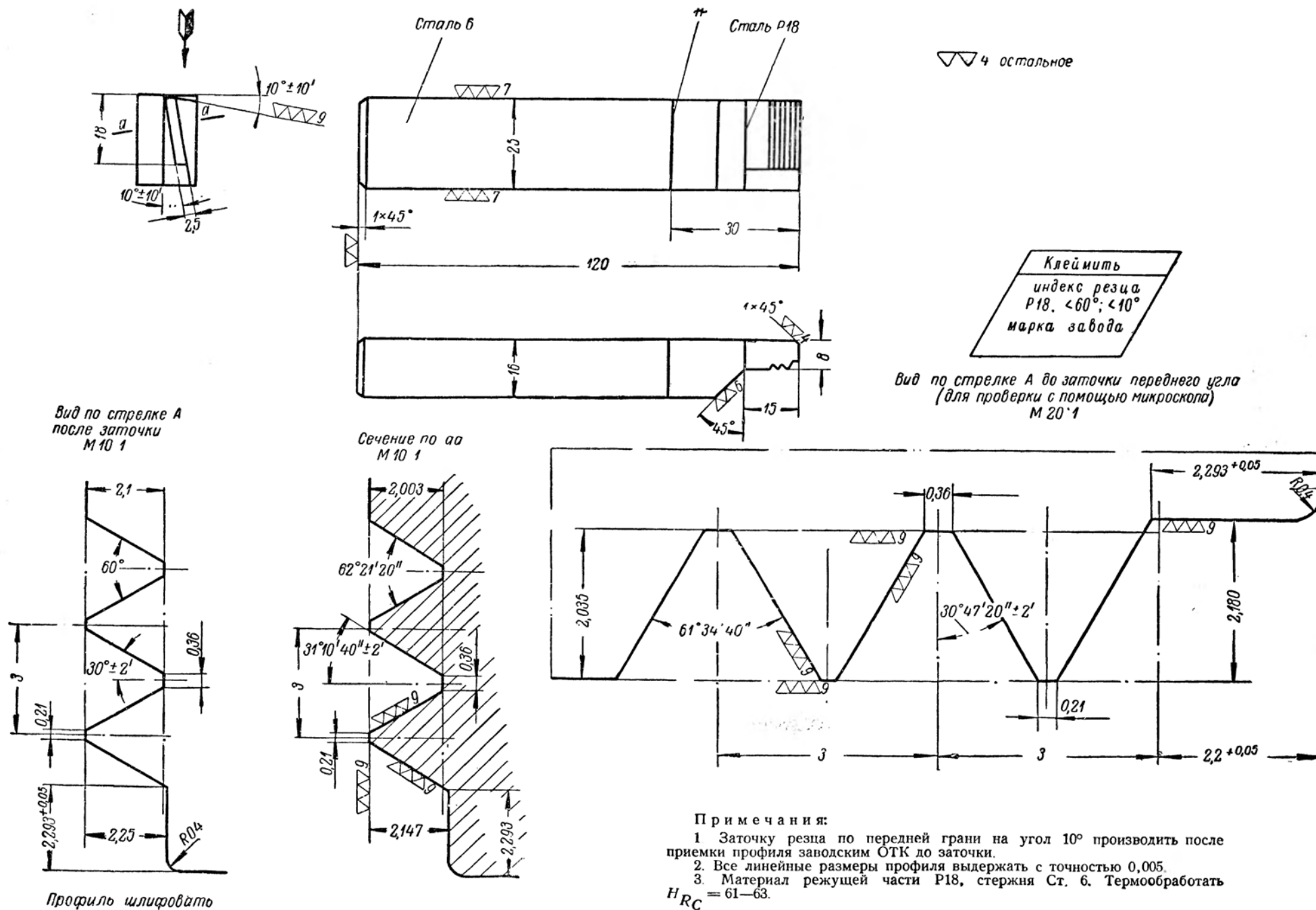
Фиг. 42. Торцевый профиль диска паровой турбины.

Таким образом, величина отклонения весьма мала, поэтому все расчеты ведем без учета значений Δx .

14. Рассчитываем высоты профиля резца в плоскости передней грани для высот профиля детали $t_1 = 2,1 \text{ мм}$ и $t = 2,25 \text{ мм}$

$$\tau_1 = t_1 \sec \gamma = 2,1 \cdot 1,01543 = 2,132 \text{ мм};$$

$$\tau = t \sec \gamma = 2,25 \cdot 1,01543 = 2,285 \text{ мм}.$$



Фиг. 43. Резец профильный торцевый левый.

15. Высоты t_p профиля резца в нормальном сечении (по aa , фиг. 43) определяются по формулам (п. 10 § 8) расчета призматических резцов, а именно:

$$t_{p1} = \tau_1 \cos (\alpha + \gamma) = 2,132 \cdot \cos 20^\circ = 2,003 \text{ мм};$$

$$t_p = \tau \cos (\alpha + \gamma) = 2,285 \cdot \cos 20^\circ = 2,147 \text{ мм}.$$

16. Определяем угол профиля резца в плоскости, параллельной опорной плоскости:

$$\operatorname{ctg} \varphi_{0p} = \operatorname{ctg} \varphi (1 - \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \gamma) = \operatorname{ctg} 30^\circ (1 - \operatorname{tg} 10^\circ \operatorname{tg} 10^\circ) = 1,67820;$$

$$\varphi_{0p} = 30^\circ 47' 20'';$$

$$2\varphi_{0p} = 61^\circ 34' 40''.$$

17. Высоты профиля резца в плоскости, параллельной опорной плоскости, будут:

$$t_{01} = t_1 \operatorname{tg} \varphi \operatorname{ctg} \varphi_{0p} = 2,1 \cdot 0,57735 \cdot 1,67820 = 2,035 \text{ мм};$$

$$t_0 = t \operatorname{tg} \varphi \cos \varphi_{0p} = 2,25 \cdot 0,57735 \cdot 1,6782 = 2,180 \text{ мм}.$$

18. Угол профиля резца в нормальном сечении определится по формуле:

$$\operatorname{tg} \varphi_n = \operatorname{tg} \varphi \cos \gamma \sec (\alpha + \gamma) = \operatorname{tg} 30^\circ \cdot \cos 10^\circ \cdot \sec 20^\circ = 0,60507;$$

$$\varphi_n = 31^\circ 10' 40''; 2\varphi_n = 62^\circ 21' 20''.$$

Для измерения профиля на инструментальном микроскопе на чертеже резца указываются угол и высота проекции профиля на опорную плоскость, которые совпадают с заданным профилем детали.

19. Ширина профиля резца ввиду малости Δx переносится с профиля детали на профиль резца без изменения. Все другие размеры резца выбираются конструктивно.

20. На фиг. 43 представлен чертеж резца и его профили в различных сечениях.

Часть вторая

ФАСОННЫЕ ФРЕЗЫ

В данной части книги приведены необходимые расчетные формулы, таблицы конструктивных размеров и профилей, а также примеры расчетов с рабочими чертежами всех основных типов фасонных фрез, применяемых в отечественном машиностроительном производстве.

Нормализационные таблицы конструктивных размеров фасонных фрез приводятся впервые и даны вне зависимости от типа и характера кривой профиля детали.

Приведены два конструктивных типа цельных фасонных фрез, два конструктивных типа фасонных фрез с припаянными ножами и конструкции пальцевых фрез.

Цельные фрезы, по сравнению с фасонными фрезами со вставными припаянными ножами, обладают тем преимуществом, что при одинаковой высоте профиля наружные диаметры их меньше. Они проще и менее трудоемки в изготовлении.

Пальцевые фасонные фрезы ввиду сравнительно их малого диаметра применяются цельной конструкции. В настоящее время на ряде заводов используют фасонные дисковые и пальцевые фрезы с наружным диаметром свыше 80 мм с наплавными зубцами. Однако конструирование таких фрез еще недостаточно обосновано и поэтому не даны рекомендации по их проектированию.

В гл. V, а также в примечаниях к таблицам приведены необходимые данные для выбора и конструктивного выполнения фасонных фрез.

Табл. 19 содержит ординаты точек профиля нормального сечения зуба фрезы, затылованной шлифованием. При помощи таблицы можно построить профили накатных роликов для правки затыловочных шлифовальных кругов, что значительно упрощает затылование шлифованием фасонных фрез. При постоянном применении в производстве фасонных фрез одного профиля рекомендуется задавать на чертеже фрезы координаты профиля нормального сечения зуба (шлифовального круга).

В табл. 21 приведены единичные полярные координаты, упрощающие расчет профиля дисковой модульной фрезы и позволяющие выбрать равномерный по высоте ряд точек, а также построить профили эвольвентных кулаков и копиров.

При расчете фасонных фрез с передним углом используется табл. 7. Для замены рассчитанных профилей фрез дугами окружности и прямыми применяются формулы расчета типовых профилей, приведенные в § 7.

В данной части книги все трудоемкие расчеты выполнены в виде расчетных таблиц.

КОНСТРУКТИВНЫЕ РАЗМЕРЫ ФАСОННЫХ ФРЕЗ

§ 16. КОНСТРУКТИВНЫЕ РАЗМЕРЫ ЦЕЛЬНЫХ ЗАТЫЛОВАННЫХ ФРЕЗ

[9, стр. 111—117], [11, стр. 32—40]

Конструктивные размеры цельных фасонных фрез представлены двумя таблицами.

Насадные фасонные фрезы отличаются между собой тем, что первый тип (табл. 8) выполнен со стружечной канавкой, параллельной оси, а второй тип (табл. 9) — с усиленной ступицей и имеет форму (в плоскости, параллельной оси) трапеции или в виде сочетания дуг с прямыми. Последний тип фрезы дает возможность применять меньшие наружные диаметры по сравнению с цельными фрезами, имеющими прямые канавки.

Выбор конструктивных размеров наружного диаметра, числа зубцов, диаметра отверстия, глубины и угла стружечной канавки и других элементов цельных затылованных фрез производится по табл. 8 и 9 в зависимости от наибольшей глубины h_0 профиля обрабатываемой детали и с учетом примечаний к указанным таблицам.

Если необходимо выбрать меньший наружный диаметр фрезы, то следует пользоваться табл. 9. В тех случаях, когда форма детали, станок или приспособление требуют большего наружного диаметра фрезы, их конструктивные размеры будут отличными от размеров фрез по табл. 9. При этом рекомендуется пользоваться фрезами по табл. 11—14.

При проектировании цельных фасонных фрез с увеличенным наружным диаметром по сравнению с диаметром по табл. 8 и 9 для заданной высоты h_0 профиля детали выбор конструктивных размеров производится в следующем порядке.

Число зубцов фрезы возрастает пропорционально увеличению наружного диаметра и округляется до ближайшего четного числа. Диаметр отверстия d берется по таблице для фрезы соответствующего наружного диаметра.

Высота h профиля фрезы, глубина H стружечной канавки, падение затылка K и другие размеры зуба фрезы принимаются по таблице для фрезы с заданной глубиной h_0 профиля детали.

Если необходимо выбрать увеличенный наружный диаметр фрезы, то рекомендуется пользоваться конструкциями по табл. 8, 11 и 14.

Проверочный расчет выбранной конструкции фрезы по типу табл. 9 производится по нижеприведенным формулам. При этом считаются известными:

D — наружный диаметр фрезы;

z — число зубцов; α — задний угол;

h — высота профиля фрезы;

r — радиус закругления стружечной канавки

Падение затылка шлифованной части зуба

$$K = \frac{\pi D \operatorname{tg} \alpha}{z}.$$

Падение затылка нешлифованной части зуба

$$K_1 = (1,2 \div 1,4) K.$$

Глубина стружечной канавки

$$H = h + \frac{K_1 + K_2}{2} + r.$$

Число зубцов ориентировочно может быть проверено для фрез с прямой стружечной канавкой по формуле:

$$z = (1,8 \div 2,2) \frac{D}{H},$$

а для фрез с усиленной формой зуба:

$$z = (2,2 \div 2,8) \frac{D}{H}.$$

Здесь меньшие коэффициенты рекомендуется брать для малых диаметров, а большие — для больших диаметров фрез.

Дно стружечной канавки фрезы с усиленной ступицей (табл. 9) следует очерчивать прямыми линиями и в редких случаях вогнутыми дугами окружности, располагая их таким образом (фиг. 44, б), чтобы любая точка дуги отстояла от режущей кромки на расстоянии

$$H_2 \geq K + r + (1 \div 4) \text{ мм},$$

где K — падение затылка;

r — радиус закругления дна стружечной канавки.

ФРЕЗЫ ФАСОННЫЕ ЗАТЫЛОВАННЫЕ, ЦЕЛЬНЫЕ
КОНСТРУКТИВНЫЕ РАЗМЕРЫ. в мм

Наибольшая высота профиля детали h_0		D (B_7)	d (A)		d_1		h		H	Число зубцов z	K	K_1	C	ε	r
свыше	до		при ширине B		при ширине B		свыше	до							
			до 40	свыше 40	до 40	свыше 40									
—	3	60	22	27	23	28	—	4	8	14	2	3	7	30°	0,75
3	5	70	27	27	28	28	4	6	11	12	3	4	9	30°	1,0
5	7	80	27	32	28	34	6	8	14	10	4	5	12	25°	1,5
7	9	90	32	32	34	34	8	10	17	10	4,5	6	15	25°	1,5
9	11	100	32	32	34	34	10	12	20	10	5	7	16	25°	2
11	13	110	32	32	34	34	12	14	23	10	6	9	16	25°	2
13	15	120	32	40	34	42	14	16	27	10	6,5	9	17	25°	2,5
15	17	130	40	40	42	42	16	18	29	10	7	10	18	25°	2,5
17	19	140	40	40	42	42	18	20	32	10	7,5	11	19	25°	3
19	21	150	40	50	42	52	20	22	34	10	8	12	20	25°	3
21	23	160	40	50	42	52	22	24	37	10	8,5	13	22	25°	3

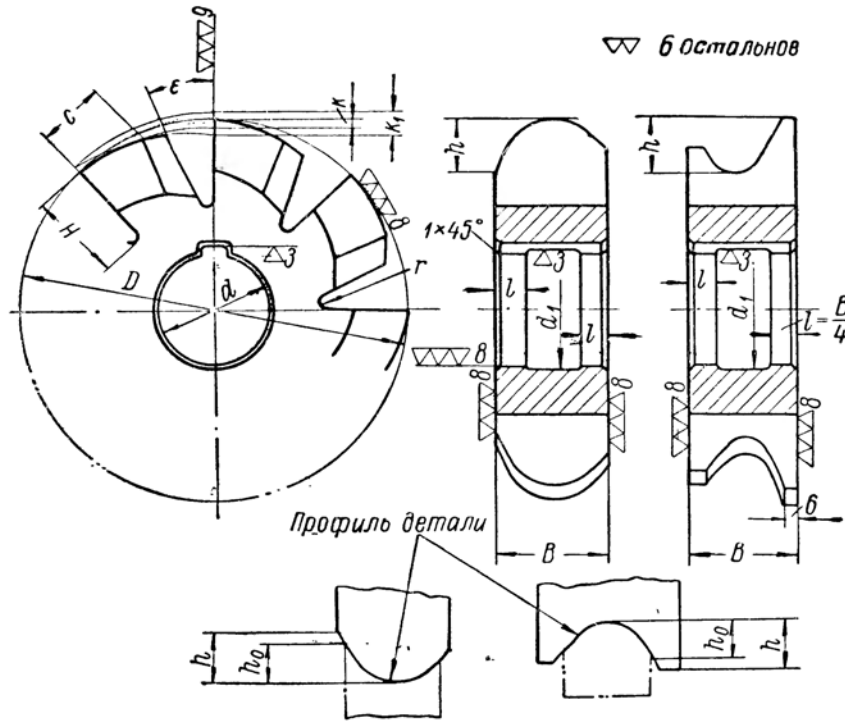
Примечания: 1. Ширину фрезы B рекомендуется выбирать из следующего ряда: 10; 12; 14; 15; 16; 18; 20; 22; 24; 25; 26; 28; 30; 32; 34; 35; 36; 38; 40 и далее через 5 мм.

2. Размеры шпоночного паза по ГОСТ 4020—48 (табл. 18).

3. Размер h_0 — ориентировочный. Габаритные размеры фрезы окончательно уточняются по размеру h .

4. Для диаметров $D > 100$ мм рекомендуется применять фрезы с припаянными ножами.

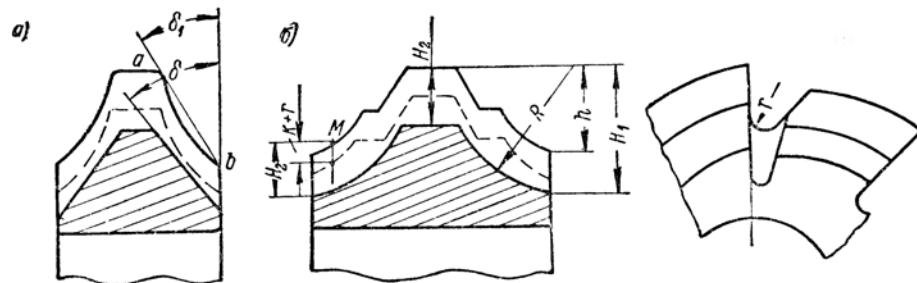
▽ б Остальных



Наибольшая глубина H_1 стружечной канавки (фиг. 44, б) определяется по формуле:

$$H_1 \geq h + K + r,$$

где h — высота профиля фрезы.



Фиг. 44. Профиль впадины стружечной канавки фрезы с усиленной ступицей.

Наклонные участки дна стружечной канавки проводятся по прямой, приблизительно параллельной прямой $\overline{ab}$, проходящей через крайние точки профиля. Угол δ наклона прямой дна канавки берется $\delta \geq \delta_1$ конструктивно (фиг. 44, а).

Радиус R дугового участка берется равным радиусу фрезы, обрабатывающей стружечную канавку. Кривая дна стружечной канавки определяется графическим построением и располагается по передней грани фрезы ниже пунктирной линии (фиг. 44, б), которая имеет профиль, идентичный профилю режущей кромки, и смещена от нее к оси фрезы на величину $K + r$. Кривую дна впадины следует располагать возможно ближе к пунктирной линии.

Таблица 9

**ФРЕЗЫ ФАСОННЫЕ ЗАТЫЛОВАННЫЕ, ЦЕЛЬНЫЕ
С УСИЛЕННОЙ СТУПЦЕЙ
КОНСТРУКТИВНЫЕ РАЗМЕРЫ, в мм**

Наибольшая высота про- филя детали h_0		D (B_7)	d (A)	Наибольшая высота про- филя фрезы h		Число зубцов z	K	K_1	C	H	H_1	H_2	d_1	r	
свыше	до			свыше	до										
—	3	50	16	—	4	14	2,5	3	5,5	8	—	—	17	1,25	
3	4	55	22	4	5		3	3,5	6	9,5	—	—	23		
4 5	5 6	60 65		5 6	6 7		3,5 4	4 5	7,5 8,5	7,5 8,5	11 12,5	6 7			
6 7 8 9	7 8 9 10	70 75 80 85	27	7 8 9 10	8 9 10 11	12	4 4,5 5 5	5 5,5 6 6	9 9,5 10 11	9,5 10,5 11,5 12,5	13,5 15 16,5 17,5	8 9 9 9	28	1,5	
10 11 12,5 14	11 12,5 14 16	90 95 100 105		11 12 13,5 15	12 13,5 15 17		5,5 5,5 6 6,5	6,5 6,5 7 7,5	11,5 12 13 13,5	14 15,5 17 19	19,5 21 23 25,5	10 10 11 11			34
16 18 20 22	18 20 22 25	110 115 120 130	32	17 19 21 23	19 21 23 26		10	6,5 7 7,5 8	7,5 8,5 9 10	17 17,5 18,5 20	21 23 25,5 28,5	27,5 30 33 36,5	12 13 14 15		
25 28 31 34	28 31 34 37	140 150 160 170		40	26 29 32 35	29 32 35 38		9 9,5 10 11	11 12 12,5 13	21,5 23 25 26	32 35 38 41	41 44,5 48 52	16 17 18 19	42	3

Примечания:

1. Размер h фрезы рассчитывается по размеру h_0 детали и с учетом ширины B фрезы.

2. h_0 дано как ориентировочное значение; окончательно размеры фрезы выбираются по значению h .

3. Размеры шпоночных пазов по ГОСТ 4020—48 (табл. 18).

4. Материал фрезы — сталь P18, P9 и легированные инструментальные стали.

5. Термообработка $HRC = 61 - 65$.

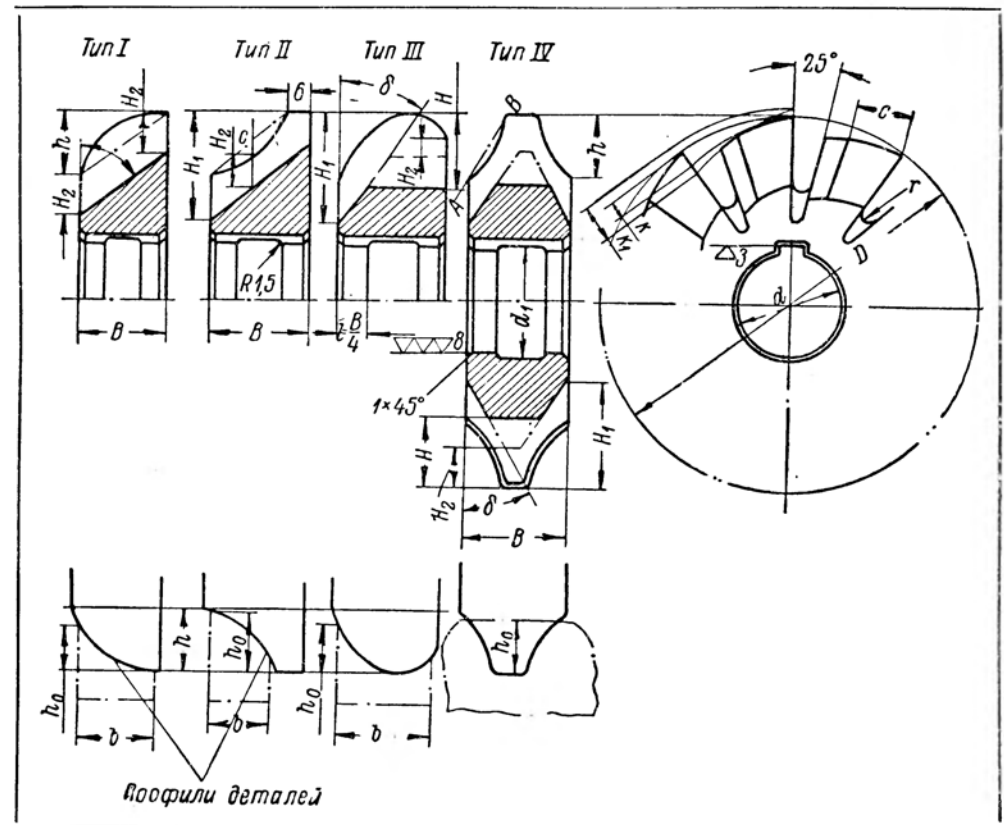
6. Ширину B фрез типов I, III и IV следует рассчитывать по формуле $B = b + 2$ мм, где b — ширина профиля детали. Ширину фрез типа II следует рассчитывать по формуле $B = b + 8$ мм.

7. Усиление ступицы можно проектировать при глубине канавки H или H_2 (по линии, изображенной пунктиром).

При глубине H заточку фрезы производят в один прием, а при глубине H_2 — в два или три приема.

8. Для вогнутых фрез типа II основание канавки располагается так, чтобы ближайшая к ней точка профиля (C) была на расстоянии не менее значения H_2 по таблице.

Выбор ширины B фрез — см. п. 1 примечаний к табл. 8.



§ 17. КОНСТРУКТИВНЫЕ РАЗМЕРЫ ФРЕЗ С ПРИПАЯННЫМИ НОЖАМИ

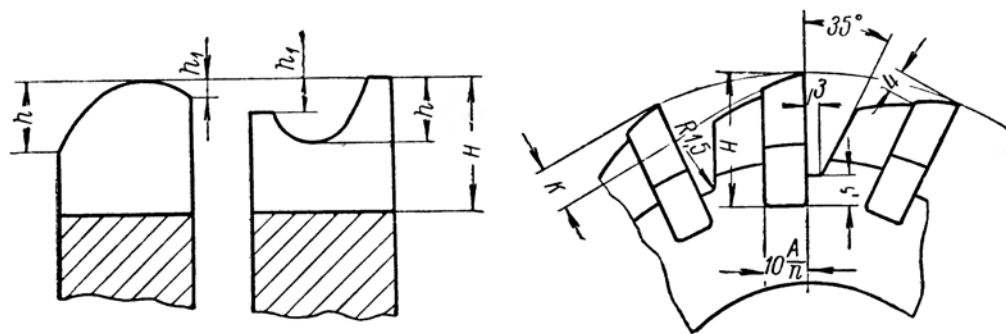
На отечественных заводах применяются главным образом два типа фасонных фрез с припаянными ножами.

Первый тип фрез (табл. 11, 12 и 13) имеет в сечении, перпендикулярном оси фрезы, нож прямоугольной формы и крепится в мерный паз корпуса. Второй тип (табл. 14) имеет клиновидную форму ножа, который крепится в открытом гнезде с помощью двух конических штифтов.

С конструктивной стороны, так же как и со стороны технологии их изготовления, преимущества одной конструкции перед другой в достаточной мере не выявлены и поэтому обе разновидности фрез применяются с одинаковым успехом на различных заводах.

Диаметры фрез с ножом прямоугольного сечения несколько больше диаметров фрез с клиновидной формой ножа. Технология изготовления ножей прямоугольного сечения несколько проще технологии изготовления ножей клиновидной формы. Пластины прямоугольного сечения обычно подгоняются под паз в корпусе.

Фасонные фрезы с припаянными ножами проектируются как с прямыми, так и с наклонными стружечными канавками. Первые применяются для случаев, когда разность высот крайних точек профиля незначительна (табл. 11). Вторые — для случая значительного перепада высот крайних точек профиля (табл. 12, 13). Наклоном канавки достигаются более прочные как зуб, так и ступица фрезы, при этом может быть применена пластинка быстрорежущей стали меньших размеров.



Фиг. 45. Конструкция фрез с припаянными ножами.

Выбор конструктивных размеров фасонных фрез с припаянными ножами или с припаянными ножами и штифтовым креплением производится в зависимости от высоты профиля обрабатываемой детали по табл. 11—14, с учетом примечаний к этим таблицам.

В тех случаях, когда необходимо выбрать больший наружный диаметр фрезы, чем указано в табл. 11—13, следует руководствоваться указаниями, приведенными в § 16 (стр. 67).

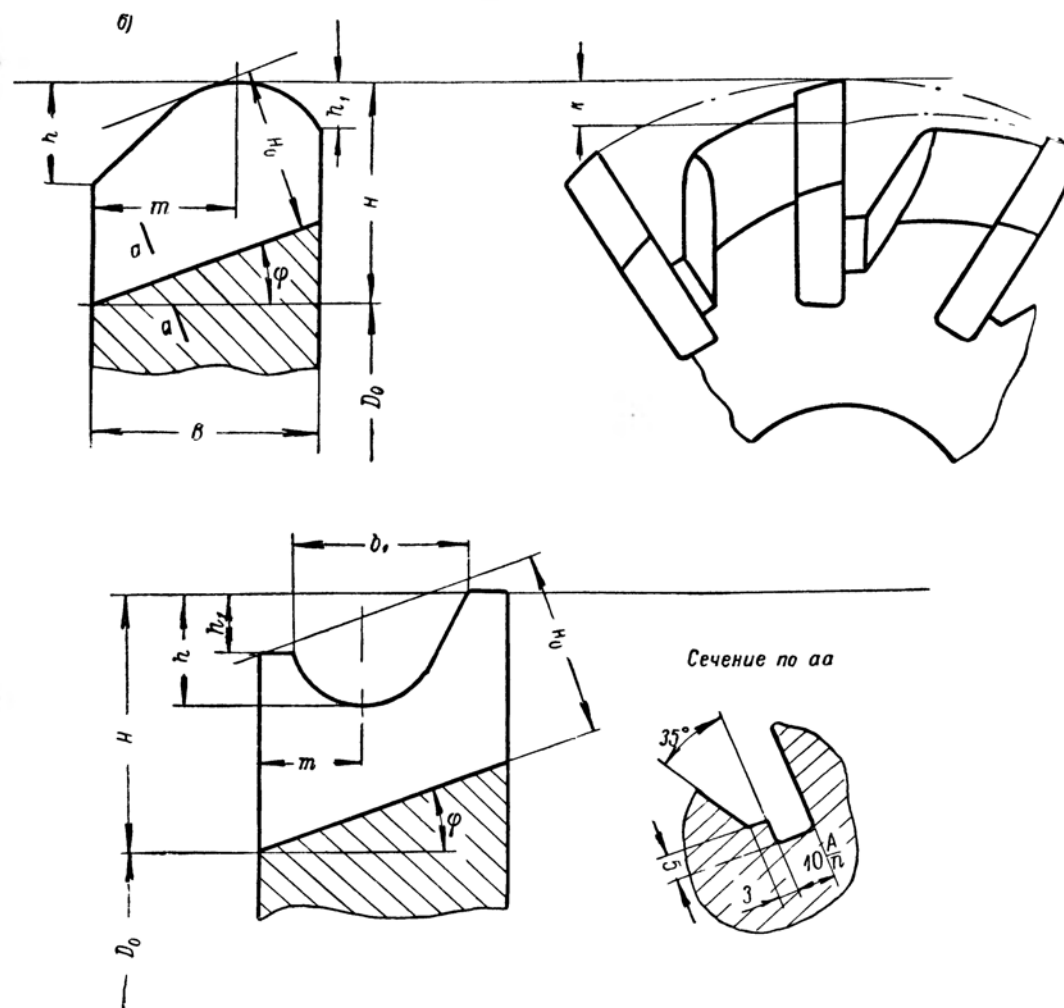
Высота ножа фрез с прямыми канавками по табл. 11 определяется по формуле $H = h + K + 7 \text{ мм}$ (фиг. 45). Глубина паза под нож от дна стружечной канавки, являющаяся базой для крепления ножа при его затыловании (в особенности до пайки), берется равной 5 мм. Диаметр корпуса берется на 8 мм меньше наружного диаметра фрезы. Корпус можно изготовлять без затылования, при этом его диаметр должен быть меньше наружного диаметра фрезы на $\frac{4}{3}K$, где K — падение затылка. Остальные размеры указаны на фиг. 45.

Если разность высот h и h_1 между крайними точками рабочего участка профиля фрезы значительная, то применяются фрезы по типу приведенных в табл. 12 и 13 с наклонным дном стружечной канавки. При этом, если значение h_1 — высоты крайней точки профиля фрезы — меньше, чем указано в табл. 12, или больше, чем

указано в табл. 13, то следует применять фрезы с прямыми канавками по табл. 11.

Расчет угла φ наклона дна стружечной канавки и высот H и H_0 ножа производится согласно фиг. 46. При этом считаются известными следующие величины:

- h — наибольшая высота профиля фрезы;
- h_1 — меньшая высота крайней точки профиля фрезы;
- B — ширина фрезы;
- b_1 — ширина профиля фрезы;
- K — падение затылка;
- m — расстояние от наиболее высокой (или низкой) точки профиля фрезы до торца с наибольшей глубиной канавки H .



Фиг. 46. Расчет размеров зуба фрезы с наклонной стружечной канавкой.

Тогда для фрезы с вогнутым профилем (фиг. 46, а) искомые размеры определяются по формулам:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{h_1}{b_1};$$

$$H = h + K + m \operatorname{tg} \varphi + 8 \text{ мм};$$

$$H_0 = (H - h_1) \cos \varphi.$$

Для фрезы с выпуклым профилем (фиг. 46, б) размеры определяются по формулам:

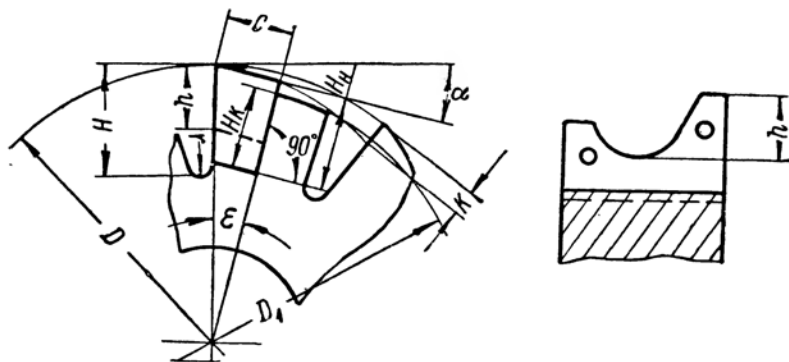
$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{h - h_1}{B};$$

$$H = h_1 + K + B \operatorname{tg} \varphi + 7 \text{ мм};$$

$$H_0 \approx H \cos \varphi - m \sin \varphi.$$

Угол φ округляется до чисел, кратных 5° . Наименьший диаметр корпуса (фиг. 46) по пазам $D_0 = D - 2H$, где D — диаметр фрезы.

Глубина паза корпуса фрезы под нож берется равной 5 мм. Разность между наружным диаметром фрезы и корпуса берется 8 мм. Остальные размеры указаны на фиг. 46.



Фиг. 47. Расчет размеров зуба фрезы со штифтовым креплением.

Для расчета размеров ножа и корпуса фрез по типу, приведенному в табл. 14, предполагаются известными следующие величины (фиг. 47):

D — наружный диаметр фрезы;

α — задний угол фрезы;

z — число зубцов фрезы;

r — радиус закругления дна стружечной канавки;

h — наибольшая высота профиля фрезы.

Расчет размеров ножа и корпуса выполняется по следующим формулам:

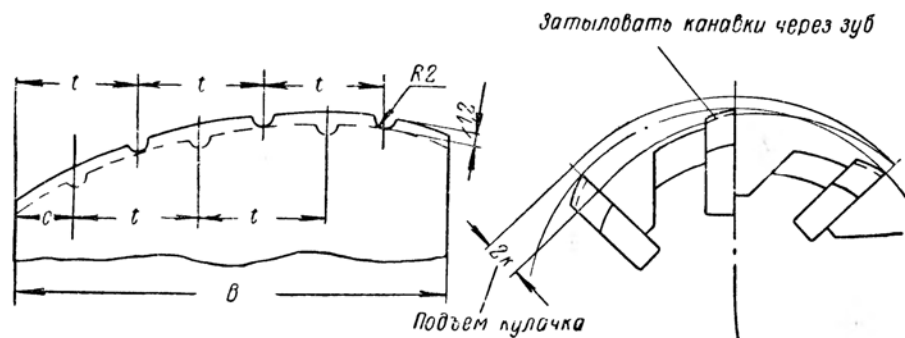
№ формул	Наименование расчетной величины	Обозначение	Формула
1	Угол ножа	ϵ	$\epsilon = \frac{120 \div 130^\circ}{z}$
2	Падение затылка	K	$K = \frac{\pi D \operatorname{tg} \alpha}{z}$
3	Толщина ножа	C	$C = \frac{D}{2} \sin \epsilon$
4	Высота ножа по задней плоскости	H_n	$H_n = h + (6 \div 7) \text{ мм}$
5	Наружный диаметр незатылованного корпуса	D_1	$D_1 = D - \frac{4}{3} K$
6	Глубина гнезда корпуса под нож	H_k	$H_k = H_n + \frac{D_1}{2} - \frac{D}{2} \cos \epsilon$
7	Глубина стружечной канавки	H	$H = h + K + r$

Размеры и положение штифтов определяются по табл. 14 с учетом примечаний к ней.

При применении конструкции фрезы с припаянными ножами и штифтовым креплением по табл. 14, но с большим диаметром, чем указано в таблице, соответственно увеличивается число зубцов фрезы, как указано в § 16. Все другие размеры определяются расчетом по формулам, приведенным выше. Размеры отверстия берутся по табл. 14 для принятого наружного диаметра D фрезы.

Число и размеры стружколомательных канавок определяются по табл. 10.

**ФРЕЗЫ ФАСОННЫЕ.
ЧИСЛО И РАЗМЕРЫ СТРУЖКОЛОМАТЕЛЬНЫХ КАНАВОК**



Ширина фрезы <i>B</i>	Шаг <i>t</i>	<i>C</i>	Число стружколо- мательных канавок	Ширина фрезы <i>B</i>	Шаг <i>t</i>	<i>C</i>	Число стружколо- мательных канавок
40	16	8	2	85	19	9	4
45	18	9	2	90	20	10	4
50	20	10	2	95	21	11	4
55	22	11	2	100	22	12	4
60	24	12	2	105	24	12	4
65	19	8	3	110	24	12	4
70	20	10	3	115	21	11	5
75	21	12	3	120	22	11	5
80	24	12	3				

Примечания:

1. Стружколомательные канавки располагаются в шахматном порядке и затыловываются через 1 зуб при четном числе зубцов фрезы.
2. затылование стружколомательных канавок осуществляется кулачком с подъемом, равным $2K$, где K — падение затылка зубцов фрезы.

Кроме рассмотренных выше фасонных фрез с припаянными ножами, на некоторых заводах применяются фрезы с запрессованными ножами. Запрессовка ножей в фрезерованный паз корпуса фрезы осуществляется после термической обработки и окончательного шлифования ножей.¹

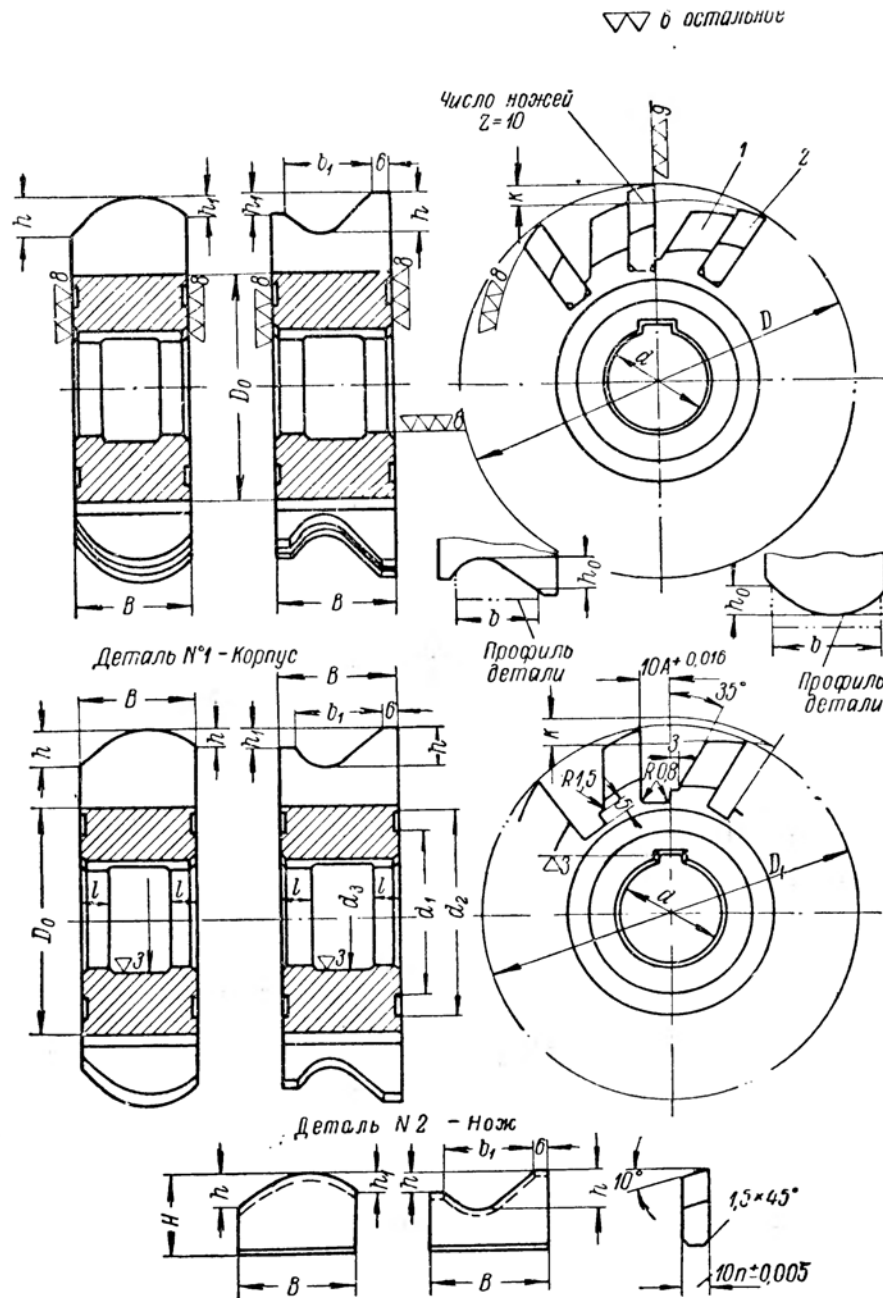
Данные конструкции фрез со вставными ножами выполняются главным образом в виде дисковых, угловых и других типов нормализованных фрез. Некоторые типы фасонных фрез также применяются с запрессованными ножами. Например, резьбовые затылованные фрезы изготавливаются подобной конструкции. Конструктивные особенности этих фрез заключаются в том, что в корпусе фрезеруется клиновидный паз с весьма малым углом в $30' \pm 15'$, куда запрессовывается клиновидный нож с углом в $1^\circ \pm 10'$. Несколько увеличенный угол клина ножа создает большой натяг у наружной окружности корпуса при его запрессовании. Кроме того, основание паза корпуса выполняется с несколько меньшей шириной, чем у ножа, что обеспечивает необходимый натяг и прочность крепления ножа. Так, для резьбовых фрез ширина паза (корпуса) у его основания была принята равной $7,95^{+0,02}_{-0,01}$ мм, а на ноже ширина тонкой части клина принята равной $8_{-0,01}$ мм. При этом глубина паза корпуса принята равной 8 мм, а высота ножа 12 мм.

В остальном конструкция этих фрез в значительной части аналогична фасонным фрезам с припаянными ножами, изображенным на фиг. 45.

Фасонные фрезы с запрессованными ножами в настоящее время имеют еще ограниченное применение. Однако разработка опытных конструкций этих фрез, в частности с симметричным профилем, позволит установить новые области их применения.

¹ См. Н. С. Егоров, Конструкция и технология изготовления режущих инструментов с запрессованными ножами из быстрорежущей стали. Информационно-технический листок ЛДНТП. № 33. 1956.

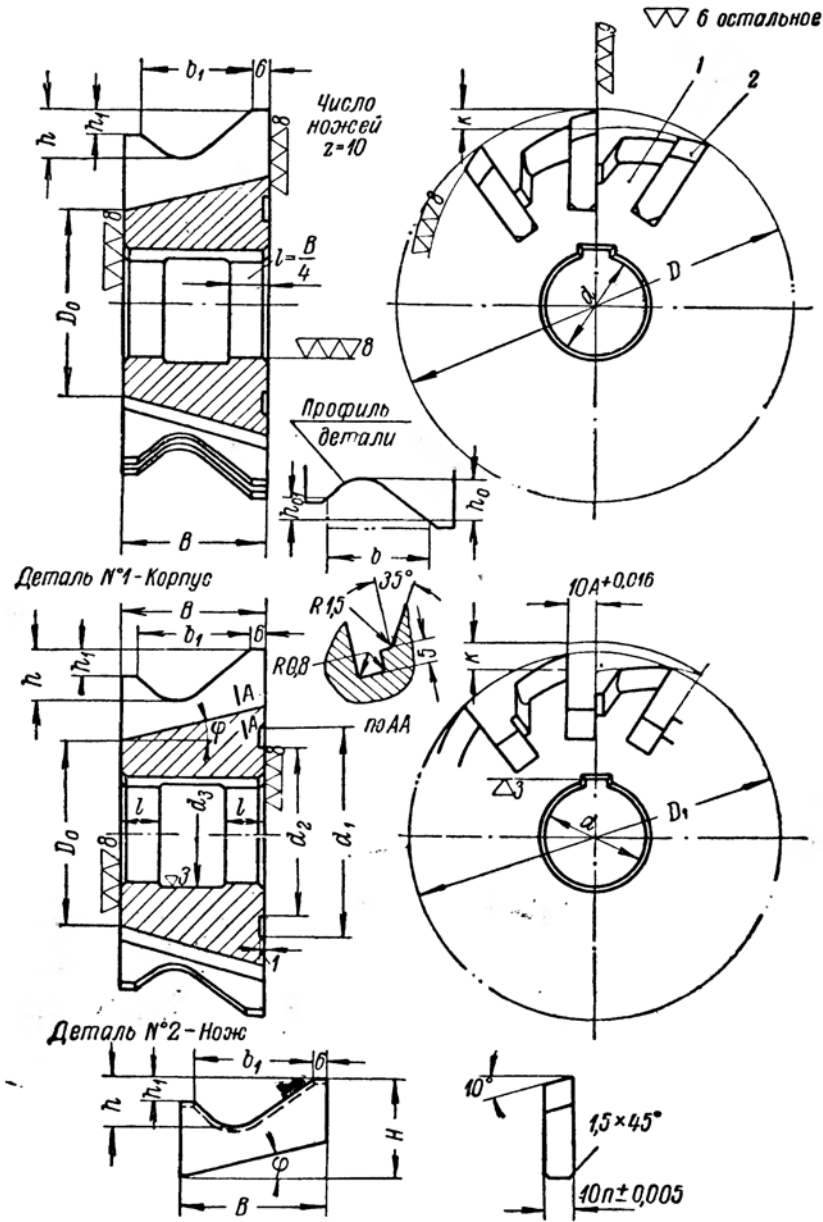
ФРЕЗЫ ФАСОННЫЕ С ПРИПАЯННЫМИ НОЖАМИ, ВЫПУКЛЫЕ И ВОГНУТЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ РАЗМЕРЫ, в мм



Наибольшая высота про- филя де- тали h_0		D (B_7)	d для фрез с шири- ной B		h		K	Корпус								Нож
								D_1	D_0	a_1 для фрез с шири- ной B		a_2 для фрез с шири- ной B		a_3 для фрез с шири- ной B		H
										до 40	свыше 40	до 40	свыше 40	до 40	свыше 40	
свыше	до		до 40	свыше 40	свыше	до				до 40	свыше 40	до 40	свыше 40	до 40	свыше 40	
0	5	110	32	32	0	6	6	102	72	50	50	70	70	34	34	19
5	8	120	32	32	6	9	6,5	112	74	50	50	70	70	34	34	23
8	11	130	32	32	9	12	7	122	78	50	50	70	70	34	34	26
11	14	140	40	40	12	15	7,5	132	80	60	60	80	80	42	42	30
14	17	150	40	40	15	18	8	142	84	60	60	80	80	42	42	33
17	20	160	40	40	18	21	8,5	152	86	60	60	80	80	42	42	37
20	23	170	40	50	21	24	9	162	90	60	70	80	90	42	52	40
23	26	180	40	50	24	27	9,5	172	92	60	70	80	90	42	52	44
26	29	190	40	50	27	30	10	182	96	60	70	80	90	42	52	47
29	32	200	50	50	30	33	11	192	100	70	70	90	90	52	52	50

Примечания:

1. Материал ножа — сталь Р9 и Р18 ГОСТ 5952. Материал корпуса сталь 45Х.
2. Ножи термообработать. Твердость ножей $H_{RC} = 63-65$.
3. Ножи припаять припоем ГПФ-II, толщина припоя не более 0,02 мм.
4. Допускается отступление от толщины (10 мм) ножа и паза. При этом должна быть сохранена лишь посадка $\frac{A}{H}$.
5. Ширину B выпуклой фрезы следует рассчитывать по формуле $B = b + 2$ мм и округлять до ближайшего значения ширины рекомендуемого ряда: $B = 10; 12; 14; 15; 16; 18; 20; 22; 24; 25; 26; 28; 30; 32; 34; 35; 36; 38; 40$ и далее через 5 мм. Для вогнутых фрез размер b_1 следует рассчитывать по формуле $b_1 = b + 2$ мм, а размер $B = b_1 + 13$ мм и округлять до ближайшего большего значения указанного выше ряда.
6. Размеры h и h_1 рассчитываются по заданному профилю детали и размерам B для выпуклых и b_1 для вогнутых фрез.
7. Выбор конструкции фрезы с прямой или наклонной канавкой уточняется согласно примечанию 4 табл. 12 и 13.
8. Размеры шпоночных пазов по ГОСТ 4020—48 (табл. 18).



Габаритные размеры профиля детали					D (B ₇)	B (B ₅)		d (A)	h		h ₁	K	φ	Корпус					Нож		
h ₀		h ₀₁	b			свыше	до		свыше	до				свыше	до	D ₁ (B ₇)	D ₀	d ₁	d ₂	d ₃	H
свыше	до	свыше	свыше	до																	
—	5	4	—	14	110	—	26	32	—	6	3	6,5	15°	102	58	50	70	34	26		
				14	20		26	32					10°								
5	8	5	14	18	120	26	30	32	6	9	4	7	20°	112	62	50	70	34	29		
			18	22		30	35													15°	
			22	28		35	40													10°	
8	11	6	16	22	130	28	35	32	9	12	5	7,5	20°	122	64	50	70	34	33		
			22	28		35	40													15°	
11	14	7	16	24	140	28	35	40	12	15	6	8	20°	132	66	60	80	42	37		
			24	34		35	45													15°	
14	17	8	16	26	150	28	38	40	15	18	7	8,5	20°	142	68	60	80	42	41		
			26	38		38	50													15°	
17	20	9	16	22	160	28	35	40	18	21	8	9	25°	152	68	60	80	42	46		
			22	30		35	45													20°	
			30	42		45	55													15°	

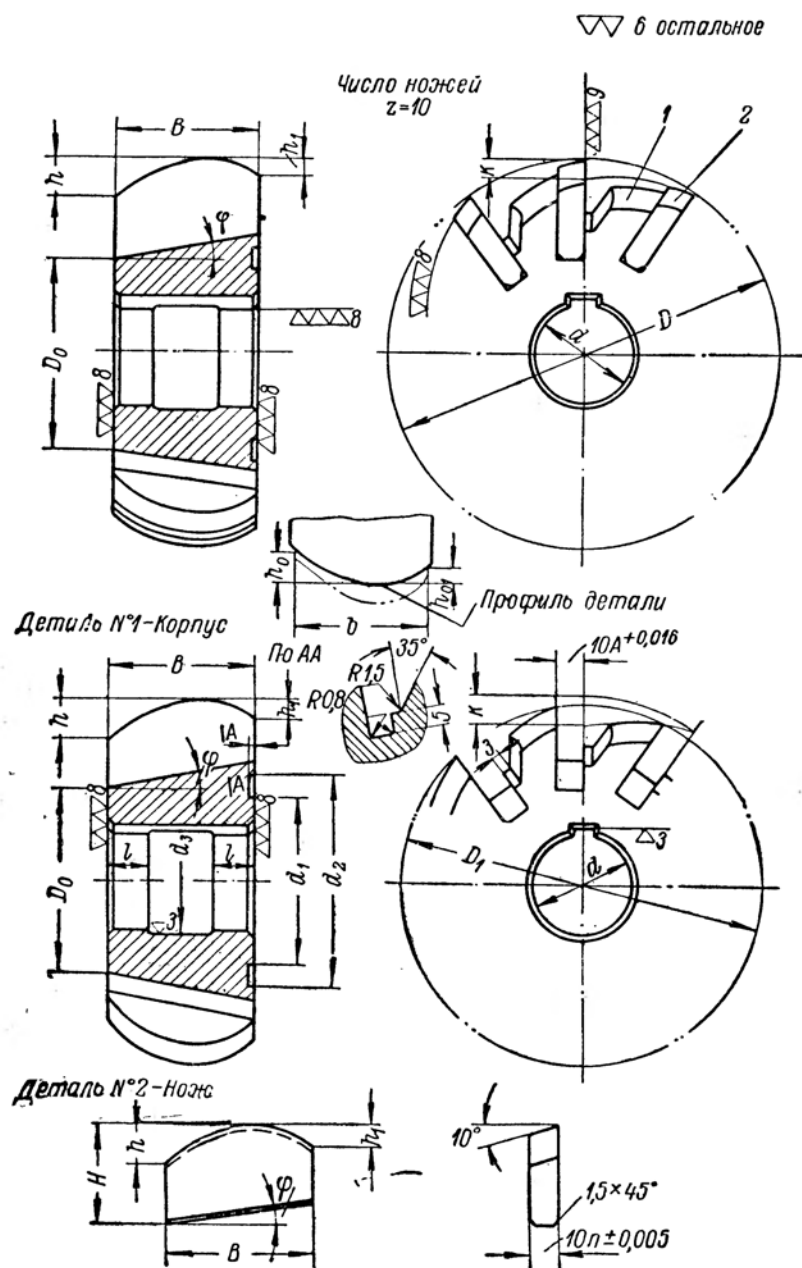
Габаритные размеры профиля детали					$D (B_7)$	$B (B_5)$		$d (A)$	h		h_1	K	φ	Корпус					Нож		
h_0		h_{01}	b			свыше	до		свыше	до	свыше			до	свыше	$D_1 (B_7)$	D_0	d_1	d_2	d_3	H
свыше	до	свыше	свыше	до																	
20	23	9	16 22 22 30 30 42	170	28 35 35 45 45 55	40	21	24	8	9,5	25° 20° 15°	162	70	60	80	42	50				
23	26	10	18 24 24 32 32 45	180	30 35 35 45 45 60	40	24	27	9	10	25° 20° 15°	172	70	60	80	42	55				
26	29	10	18 24 24 32 32 45	190	30 35 35 45 45 60	40	27	30	9	11	25° 20° 15°	182	72	60	80	42	59				
29	32	10	18 24 24 32 32 45	200	30 35 35 45 45 60	50	30	34	11	11	25° 20° 15°	192	74	70	90	52	63				
32	36	11	22 26 26 35 35 50	210	35 38 38 50 50 65	50	34	38	11	12	25° 20° 15°	202	76	70	90	52	67				
36	40	11	22 26 26 35 35 50	220	35 40 40 50 50 65	50	38	42	12	12	25° 20° 15°	212	76	70	90	52	72				
40	44	11	22 26 26 35 35 50	230	35 40 40 50 50 65	50	42	46	14	13	25° 20° 15°	222	78	70	90	52	76				
44	48	12	22 28 28 38 38 54	240	35 40 40 50 50 65	50	46	50	14	13	25° 20° 15°	232	78	70	90	52	81				
48	53	12	22 28 28 38 38 54	250	35 40 40 50 50 65	50	50	55	14	14	25° 20° 15°	242	78	70	90	52	86				
53	58	12	28 38 38 54	260	40 50 50 65	50	55	60	14	14	20° 15°	252	78	70	90	52	91				

Примечания:

- См. пп. 1, 2, 3, 4 и 8 примечаний к табл. 11.
- Размер B фрезы следует рассчитывать по формуле $B = b_1 + 11$ мм (где $b_1 = b + 2$) и округлять до ближайшего из рекомендуемого ряда $b = 18; 20; 22; 24; 26; 28; 30; 32; 35; 38; 40$ и далее через 5 мм.
- Размеры h и h_1 рассчитываются по заданному профилю детали и ширине b_1 профиля фрезы.
- Для профилей деталей с размером h_{01} меньше табличного применять фрезы по табл. 11.

**ФРЕЗЫ ФАСОННЫЕ С ПРИПАЯННЫМИ НОЖАМИ,
ВЫПУКЛЫЕ УЗКИЕ, С НАКЛОННОЙ СТРУЖЕЧНОЙ КАНАВКОЙ
КОНСТРУКТИВНЫЕ РАЗМЕРЫ, в мм**

Габаритные размеры профиля детали						$D (B_7)$	$B (B_5)$		$d (A)$	h		h_1	K	φ	Корпус					Нож	
h_0		h_{01}	b		свыше		до	свыше		до	свыше				до	$D_1 (B_7)$	D_0	d_1	d_2	d_3	H
свыше	до		свыше	до																	
—	5	2,5	—	16,5	110	—	18	32	—	6	3	6	15°	102	63	50	70	34	23,5		
			16,5	36		18	38						10°								
5	8	3	12,5	18,5	120	16	20	32	6	9	4	6,5	20°	112	67	50	70	34	26,5		
			18,5	28,5		22	30						15°								
			28,5	36		30	38						10°								
8	11	4	14,5	18,5	130	18	20	32	9	12	5	7	25°	122	68	50	70	34	31		
			18,5	26,5		20	28						20°								
			26,5	36		28	38						15°								
11	14	5	16,5	18,5	140	18	20	40	12	15	6	7,5	30°	132	70	60	80	42	35		
			18,5	24,5		22	26						25°								
			24,5	33		28	35						20°								
			33	36		35	38						15°								
14	17	6	18,5	22,5	150	22	24	40	15	18	7	8	30°	142	73	60	80	42	38,5		
			22,5	30,5		26	32						25°								
			30,5	36		35	38						20°								



Габаритные размеры профиля детали					$D (B_T)$	$B (B_6)$		d (A)	h		h_1	K	φ	Корпус					Нож
h_0		h_{01}	b			свыше	до		свыше	до				$D_1 (B_T)$	D_0	d_1	d_2	d_3	H
свыше	до		свыше	до															
17	20	7	20,5	22,5	160	22	24	40	18	21	8	8,5	35°	152	75	60	80	42	42,5
			22,5	28,5		26	30						30°						
			28,5	36		32	38						25°						
20	23	7	22,5	26,5	170	26	28	40	21	24	8	9	35°	162	78	60	80	42	46
			26,5	33		30	35						30°						
			33	36		35	38						25°						
23	26	8	22,5	24,5	180	26	28	40	24	27	9	9,5	40°	172	82	60	80	42	49
			24,5	30,5		30	32						35°						
			30,5	36		35	38						30°						
26	29	8	24,5	28,5	190	28	30	40	27	30	9	10	40°	182	84	60	80	42	53
			28,5	33		32	35						35°						
			33	36		35	38						30°						
29	32	8	24,5	28,5	200	28	30	50	30	33	9	11	40°	192	88	70	90	52	56
			28,5	33		32	35						35°						
			33	36		35	38						30°						

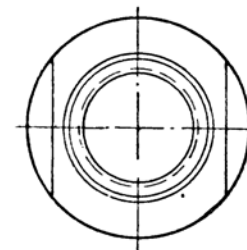
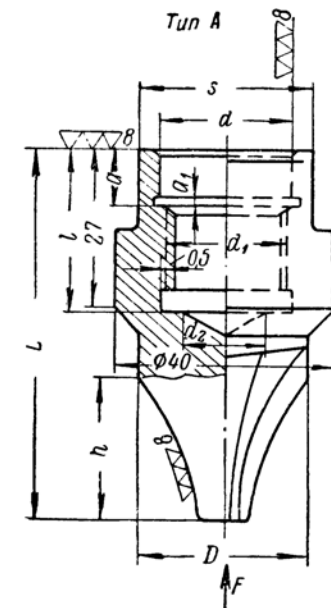
Примечания:

- См. пп. 1, 2, 3, 4 и 8 примечаний к табл. 11.
- Ширину фрез рекомендуется выбирать из ряда: 10; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 24; 25; 26; 28; 30; 32; 34; 35; 36; 38; 40.
- Размер B ширины фрезы рекомендуется рассчитывать по формуле $B = b + 2$ мм (где b — ширина профиля детали) и округлять до ближайшей ширины приведенного ряда.
- Для профилей деталей с размерами h_{01} , превышающими табличные значения, применять фрезы по табл. 11.
- Размеры h и h_1 рассчитываются по заданному профилю детали и ширине B фрезы.
- Размер h_0 ориентировочный. Габаритные размеры фрезы окончательно выбираются по размеру h_1 , который определяется профилем детали и размером B .

ФРЕЗЫ ФАСОННЫЕ ПАЛЬЦЕВЫЕ ЧИСТОВЫЕ. КОНСТРУКТИВНЫЕ РАЗМЕРЫ, В ММ

Размеры обрабатываемой детали			Тип	Общие размеры фрезы								Размеры посадочных мест хвостовой части															
наибольшая высота профиля h_0	свыше	до		D		наибольшая высота профиля фрезы h	L	число зубцов фрезы z	h_1	h_2	подъем кулачка K	α	d (A)		резьба метрическая d_1	D_1 (C)		l	l_1	S (B ₄)		m	n	a	a_1		
				свыше	до								ном.	откл.		ном.	откл.			ном.	откл.						
22	28	10—12	A	25	40	24	30	70	2	6	2	6	18°	25	+0,023	M22	18	—	—	30	4	32	—0,17	15	—	10	2
			B	40	45				4	7	2,5	6	60°														
28	33	13—15	A	35	40			70	2	6	2	6	18°														
				40	45	30	36			7	2,5	6															
				45	55			80	4	8	3	6															
33	40	16—18	B	40	50	36	44	80		7	2,5	6															
				50	65			90		9	3,5	7															
				50	65			90		9	3,5	5															
40	48	20—22	B	65	72	44	52		6	12	3,5	6															
				72	80			105		12	4	7															
48	58	24—26	B	55	65			105		10	3,5	5															
				65	72	52	63			12	3,5	6															
				72	100			115	14	4,5	7																
58	68	28—30		72	108	63	74	130	15	5	7																
68	79	33—36	B	72	108	74	86		8	15	5	6															
				108	120			150		16	5	6															
79	92	39—42		90	108			150		15	5	6															
				108	128	86	100	160		16	5	6															
				128	160			170	19	6,5	7																
92	110	45—50		115	128	100	120	180	16	6	6																
				128	170			190	21	7	7																

Примечания: 1. Материал—сталь P18 или P9 по ГОСТ 5952—51. Термообработка $H_{RC} 62-65$. 2. Торцевые размеры зубцов—см. табл. 16. 3. Формулы расчета K — см. Косозатылованные фрезы.



Сечение по aa

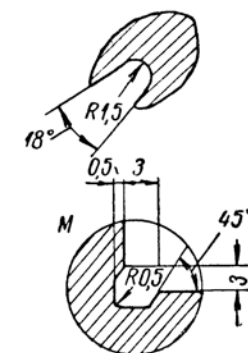
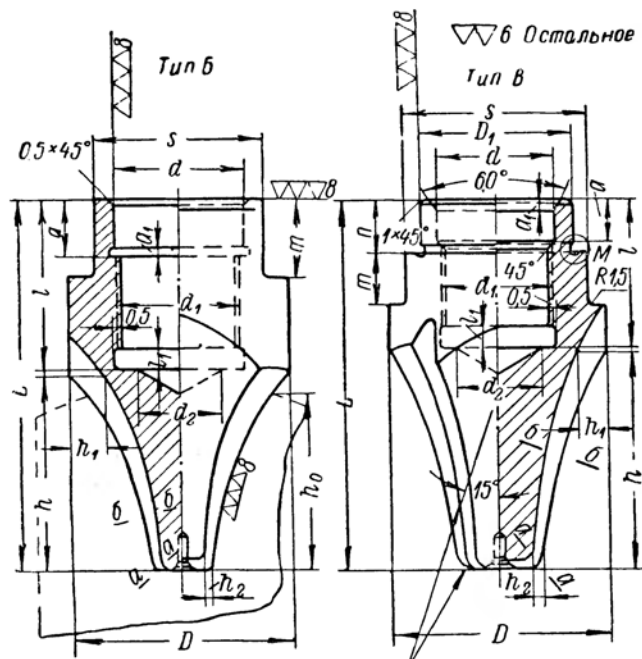
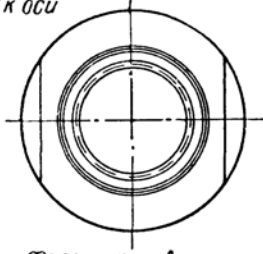
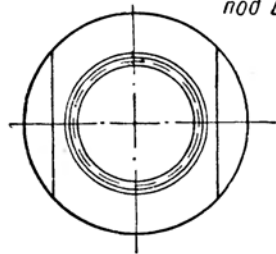


Таблица 16

**ФРЕЗЫ ПАЛЬЦЕВЫЕ ДЛЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЕС
С ЭВОЛЬВЕНТНЫМ ПРОФИЛЕМ. РАЗМЕРЫ ТОРЦЕВЫХ ЗУБЦОВ
И ВЫТОЧЕК**

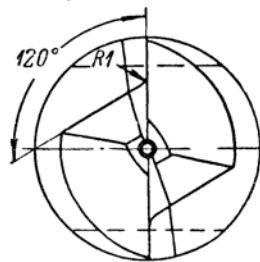


Затыловать кулачком с подъем κ
под $\angle 15^\circ$ к оси



Фреза тип А

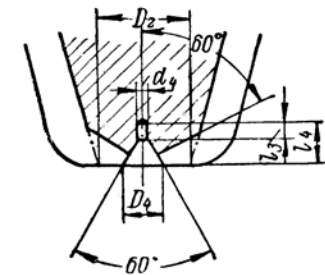
Сечения по бб



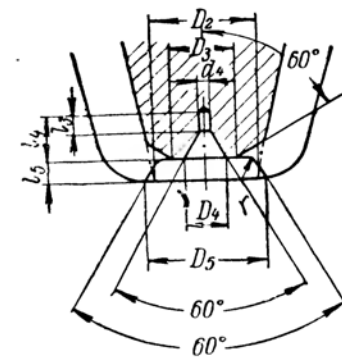
Вид по стрелке F

Модуль	Тип	D_2	D_3	D_4	D_5	d_4	l_3	l_4	l_5	r
10	А	4—5								
11										
12		4—6	—	5	—	0.7	1	4.7	—	—
13										
14										
15		5—7								
16	Б	5—7	3		8					0.5
18		6—7	4		9					
20		7—8	3—5		8—10					
22		8—12	3—7	2.5	8—13	1	1.2	2.5	4	
24		8—18	3—6		8—13					
26		8—14	7—9		9—15					1
28		9—16	5—9		9—16					
30		10—18	5—10		10—18					
33		11—20	5—12		11—20					1.5
36		13—22	6—14		13—22					
39		15—24	7—14	4	14—22	1.5	1.8	4	5	
42		16—25	8—14		15—22					
45		21—29	9—15		17—24					
50		25—33	11—16		19—26				6	

Примечание. Меньшие размеры D_2 , D_3 , D_4 относятся к пальцевым фрезам, предназначенным для колес с большим числом зубцов, большие — к пальцевым фрезам для колес с меньшим числом зубцов.



Тип А



Тип Б

§ 19. РАЗМЕРЫ ОТВЕРСТИЙ ФРЕЗ И ДОПУСКИ

В табл. 17 и 18 приводятся необходимые сведения о размерах отверстий и шпоночных пазов фрез, а также допуски на размеры фасонных затылованных фрез.

Таблица 17

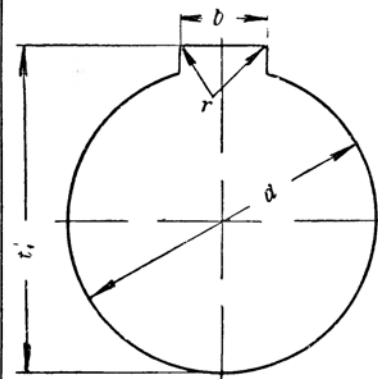
ДОПУСТИМЫЕ ОТКЛОНЕНИЯ РАЗМЕРОВ ФАСОННЫХ ЗАТЫЛОВАННЫХ ФРЕЗ

Наименование размеров фрезы	Обозначение	Размеры фрез в мм	Допустимое отклонение в мм
Наружный диаметр фрезы . . .	D	Для всех размеров	по B_7
Ширина фрезы	B	То же	по C_5
Диаметр отверстия	d	"	по A
Диаметр внутренней выточки . .	d_1	"	по A_9
Длина посадочной части отверстия	l	"	по A_9
Глубина стружечной канавки . .	H	"	по A_7
Радиус закругления дна стружечной канавки	r	"	по B_9
Ширина продольного шпоночного паза	b	"	по X_5
Глубина продольного шпоночного паза	t'_1	"	по A_7
Радиальное биение режущих кромок	—	$D < 100$	0,03
	—	$D \geq 100$	0,04
Торцевое биение	—	$D < 100$	0,02
	—	$D \geq 100$	0,03
Радиальность передней грани зуба	—	$H < 10$	0,04
	—	$H_{св. 10 \text{ до } 20}$	0,06
	—	$H_{св. 20 \text{ до } 30}$	0,09
	—	$H_{св. 30}$	0,12
Длина по хорде шлифованной части затылочной поверхности зуба	C	Для всех размеров	по B_9

Таблица 18

РАЗМЕРЫ ОТВЕРСТИЙ И ШПОНОЧНЫХ ПАЗОВ ФРЕЗ

(номинальные размеры по ГОСТ 4020—48)



$d \text{ (A)}$		$b \text{ (X}_5\text{)}$		$t_1' \text{ (A}_7\text{)}$		r
НОМ.	ОТКЛ.	НОМ.	ОТКЛ.	НОМ.	ОТКЛ.	
8	+0,016	2	$\left\{ \begin{array}{l} +0,06 \\ +0,18 \end{array} \right.$	8,9	+0,36	0,2
10	+0,016	3	$\left\{ \begin{array}{l} +0,06 \\ +0,18 \end{array} \right.$	11,5	+0,36	0,3
13	+0,019	3	$\left\{ \begin{array}{l} +0,06 \\ +0,18 \end{array} \right.$	14,6	+0,36	0,4
16	+0,019	4	$\left\{ \begin{array}{l} +0,08 \\ +0,24 \end{array} \right.$	17,7	+0,43	0,5
22	+0,023	6	$\left\{ \begin{array}{l} +0,08 \\ +0,24 \end{array} \right.$	24,1	+0,52	0,5
27	+0,023	6	$\left\{ \begin{array}{l} +0,08 \\ +0,24 \end{array} \right.$	29,4	+0,52	0,8
32	+0,027	8	$\left\{ \begin{array}{l} +0,10 \\ +0,30 \end{array} \right.$	34,8	+0,62	0,8
40	+0,027	10	$\left\{ \begin{array}{l} +0,10 \\ +0,30 \end{array} \right.$	43,5	+0,62	1,0
50	+0,027	12	$\left\{ \begin{array}{l} +0,12 \\ +0,36 \end{array} \right.$	53,5	+0,74	1,0
60	+0,030	14	$\left\{ \begin{array}{l} +0,12 \\ +0,36 \end{array} \right.$	64,2	+0,74	1,2
70	+0,030	16	$\left\{ \begin{array}{l} +0,12 \\ +0,36 \end{array} \right.$	75	+0,74	1,5
80	+0,030	18	$\left\{ \begin{array}{l} +0,12 \\ +0,36 \end{array} \right.$	85,5	+0,87	1,5
100	+0,035	24	$\left\{ \begin{array}{l} +0,14 \\ +0,42 \end{array} \right.$	106	+0,87	2,0

РАСЧЕТ ФАСОННЫХ ФРЕЗ

§ 20. ТАБЛИЧНЫЙ РАСЧЕТ ПРОФИЛЯ
ЗАТЫЛОВОЧНЫХ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ

[12, стр. 29—30], [13, стр. 218—221]

А. Назначение и способы расчета

Шлифовальные круги для затылования фасонных фрез имеют в осевом сечении профиль, совпадающий с профилем нормального сечения затылочной поверхности зубцов указанных фрез. При этом профиль нормального сечения затылочной поверхности зубца фрезы отличается от профиля фрезы по передней грани и должен рассчитываться по формулам или с помощью табл. 19. Рассмотренный раньше (§ 6) приближенный расчет профиля нормального сечения фасонной фрезы основан на приближенной замене дугой окружности затылочной кривой, являющейся эквидистантной кривой к архимедовой спирали. Ниже дается точный способ расчета координат точек профиля круга. Приведенная для этого таблица ординат точек профиля круга необходима при выполнении расчетов по причине трансцендентности уравнений, выражающих зависимость между ординатами профиля шлифовального круга и затылуемой фрезы. Кроме того, с помощью табл. 19 возможно упростить и ускорить расчеты. Рекомендуется в чертежах фасонных фрез, затылуемых шлифованием, указывать как профиль фрезы в плоскости передней грани, так и профиль нормального сечения затылочной поверхности для правильного профилирования шлифовальных затыловочных кругов.

Для расчета высот профиля затыловочного шлифовального круга предполагаются заданными размеры осевого профиля фасонной фрезы с передним углом или профиля по передней грани для фрез без переднего угла.

По табл. 19 следует также вести расчеты для определения профилей закаленных накатных роликов для правки шлифовальных кругов. Профилирование незакаленных накатных роликов с глубиной профиля до 30 мм рекомендуется производить автоматическим способом [12].

В таблице ρ — расстояние от оси фрезы до заданной точки профиля в относительных величинах, т. е. при

$$a = \frac{Kz}{2\pi} = 1,$$

где K — падение затылка;

z — число зубцов фрезы.

В таблице значение y — расстояние точки осевого профиля шлифовального круга до его оси (в относительных величинах); φ — угол (в радианах), соответствующий межосевому расстоянию и рассчитываемый, как указано в правилах пользования таблицей; c — отношения табличных разностей $\frac{\Delta y}{\Delta \rho}$.

Значения y и ρ рассчитаны по формулам:

$$y = A \sqrt{1 + (\varphi - \theta)^2}; \quad \rho = A \operatorname{cosec} \theta,$$

где θ — произвольный параметр;

$$A = \frac{\varphi - \theta}{\operatorname{ctg} \theta + \varphi - \theta}.$$

Для получения действительных значений y и ρ нужно табличные значения помножить на $a = \frac{Kz}{2\pi}$.

Величины y и ρ рассчитаны для ряда значений угла $\theta = 0,034 \div 0,232$ через каждые 0,006 радиана при $\varphi = 8,5 \div 10,5$ радиан, что соответствует практическим предельным значениям высот профилей, диаметров фрез и шлифовальных кругов.

Осевые размеры профиля нормального сечения фрезы (осевого профиля шлифовального круга) переносятся без изменения с профиля фрезы по передней грани.

Таблица действительна лишь для фрез, затылуемых с помощью кулачков по архимедовой спирали.

Диаметр шлифовального круга влияет незначительно на его профиль. Поэтому в тех случаях, когда по расчету значение φ получается меньше 8,5, расчеты ординат ρ и y ведутся по таблице для $\varphi = 8,5$, а в тех случаях, когда значение φ получается больше 10,5, то ординаты определяются по таблице для $\varphi = 10,5$.

Б. Правила и пример пользования табл. 19

Для пользования таблицей должны быть известны следующие величины:

R_ϕ — радиус наружной окружности фасонной фрезы;

R_k — радиус наружной окружности шлифовального круга;

$r_\phi = R_\phi - \tau$ — радиус наименьшей окружности фрезы по профилю;

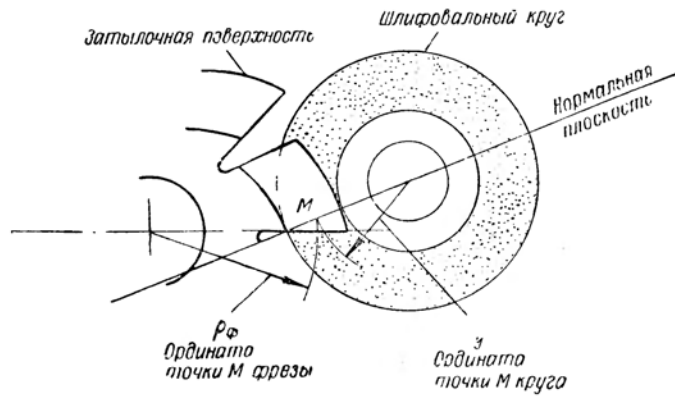
τ — наибольшая высота профиля фрезы;

K — падение затылка фрезы на один окружной шаг;

z — число зубцов фрезы;

$\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4$ — высоты профиля фрезы в радиальной (осевой) плоскости.

ОРИНАТЫ ПРОФИЛЕЙ НОРМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ ФАСОННЫХ
ФРЕЗ ИЛИ ПРОФИЛЕЙ ОСЕВЫХ СЕЧЕНИЙ ЗАТЫЛОВОЧНЫХ
ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ



$\varphi = 8,5$			$\varphi = 8,5$		
ордината точки профиля фрезы	ордината точки профиля круга	отношение разностей ординат	ордината точки профиля фрезы	ордината точки профиля круга	отношение разностей ординат
p	y	c	p	y	c
6,5771	1,9059	0,988	2,9251	5,4627	0,938
6,3254	2,1547	0,987	2,8766	5,5082	—
6,0923	2,3848	0,986	$\varphi = 9$		
5,8758	2,5981	0,985			
5,6745	2,7964	0,984			
5,4868	2,9811	0,983			
5,3113	3,1536	0,981			
5,1469	3,3151	0,980			
			p	y	c
4,9924	3,4665	0,979	6,8747	2,1083	0,989
4,8472	3,6088	0,978	6,6005	2,3795	0,988
4,7103	3,7427	0,977	6,3474	2,6296	0,987
4,5811	3,8689	0,976	6,1130	2,8609	0,986
4,4590	3,9881	0,974	5,8958	3,0751	0,985
4,3433	4,1007	0,973	5,6936	3,2743	0,984
4,2337	4,2074	0,972	5,5051	3,4599	0,983
4,1296	4,3085	0,970	5,3288	3,6333	0,982
			5,1636	3,7954	0,981
4,0306	4,4045	0,969	5,0085	3,9475	0,979
3,9364	4,4957	0,967	4,8626	4,0904	0,978
3,8466	4,5825	0,965	4,7261	4,2249	0,977
3,7610	4,6652	0,964	4,5954	4,3516	0,976
3,6792	4,7440	0,962	4,4728	4,4713	0,975
3,6010	4,8192	0,961	4,3567	4,5844	0,973
3,5264	4,8909	0,959	4,2466	4,6915	0,972
3,4548	4,9595	0,957			
			4,1421	4,7930	0,971
3,3861	5,0252	0,955	4,0428	4,8894	0,969
3,3203	5,0881	0,954	3,9482	4,9810	0,967
3,2571	5,1484	0,952	3,8581	5,0681	0,965
3,1963	5,2062	0,950	3,7722	5,1511	0,964
3,1379	5,2617	0,948	3,6901	5,2302	0,962
3,0817	5,3150	0,946	3,6117	5,3056	0,960
3,0276	5,3661	0,944			
2,9754	5,4153	0,942			

$\varphi = 9$			$\varphi = 10$		
ордината точки профиля фрезы	ордината точки профиля круга	отношение разностей ординат	ордината точки профиля фрезы	ордината точки профиля круга	отношение разностей ординат
p	y	c	p	y	c
3,5367	5,3777	0,959	7,4474	2,5357	0,991
3,4648	5,4466	0,957	7,1272	2,8528	0,989
3,3959	5,5126	0,955	6,8336	3,1435	0,989
3,3298	5,5757	0,953	6,5631	3,4108	0,988
3,2664	5,6362	0,951	6,3138	3,6571	0,987
3,2054	5,6942	0,949	6,0828	3,8850	0,986
3,1468	5,7499	0,948	5,8685	4,0965	0,985
3,0904	5,8033	0,946	5,6664	4,2927	0,984
3,0360	5,8547	0,944	5,4826	4,4765	0,983
2,9837	5,9041	0,940	5,3083	4,6477	0,982
2,9333	5,9515	—	5,1450	4,8081	0,980
			4,9915	4,9586	0,979
			4,8471	5,1000	0,978
			4,7111	5,2330	0,977
			4,5826	5,3585	0,975
			4,4610	5,4770	0,974
			4,3460	5,5891	0,973
			4,2369	5,6953	0,971
			4,1332	5,7960	0,970
			4,0346	5,8916	0,969
			3,9408	5,9824	0,967
			3,8514	6,0689	0,965
			3,7662	6,1512	0,964
			3,6847	6,2297	0,962
			3,6067	6,3047	0,960
			3,5322	6,3763	0,959
			3,4608	6,4448	0,957
			3,3923	6,5103	0,955
			3,3266	6,5730	0,953
			3,2635	6,6332	0,951
			3,2029	6,6908	0,949
			3,1446	6,7462	0,948
			3,0885	6,7994	0,944
			3,0344	6,8504	—
			$\varphi = 10,5$		
			p	y	c
			7,7229	2,7601	0,991
			7,3794	3,1006	0,990
			7,0653	3,4118	0,989
			6,7768	3,6971	0,989
			6,5115	3,9595	0,988
			6,2663	4,2016	0,987
			6,0392	4,4258	0,986
			5,8281	4,6339	0,985
			5,6314	4,8276	0,984
			5,4479	5,0082	0,983
			5,2760	5,1770	0,981
			5,1148	5,3352	0,980
			4,9634	5,4836	0,979

$\varphi = 10,5$			$\varphi = 10,5$		
ордината точки профиля фрезы	ордината точки профиля круга	отношение разностей ординат	ордината точки профиля фрезы	ордината точки профиля круга	отношение разностей ординат
ρ	y	c	ρ	y	c
4,8209	5,6232	0,978	3,6710	6,7404	0,962
4,6865	5,7546	0,976	3,5938	6,8147	0,960
4,5595	5,8786	0,975	3,5199	6,8856	0,958
4,4394	5,9957	0,974	3,4491	6,9535	0,957
4,3257	6,1065	0,972	3,3812	7,0184	0,955
4,2177	6,2115	0,971	3,3160	7,0807	0,953
4,1151	6,3111	0,970	3,2534	7,1403	0,951
4,0176	6,4057	0,968	3,1933	7,1975	0,949
3,9247	6,4956	0,966	3,1354	7,2524	0,945
3,8363	6,5811	0,965	3,0797	7,3050	—
3,7518	6,6626	0,964			

Расстояния крайних и узловых точек профиля до оси фрезы вычисляются по формулам

$$\rho_{i\phi} = R_{\phi} - \tau_i \text{ или } \rho_{i\phi} = r_{\phi} + \tau_i.$$

Коэффициент, характеризующий архимедову спираль зуба фрезы, определяется по формуле

$$a = \frac{Kz}{2\pi} = \frac{Kz}{6,2832}.$$

Относительное межосевое расстояние определяется по формуле

$$\varphi = \frac{R_{\phi} + R_k - \tau}{a}.$$

По таблице находится ближайшее значение φ , которое принимается для расчета профиля.

Рассчитываются относительные ординаты точек фрезы по формуле

$$\rho_i = \frac{\rho_{i\phi}}{a}.$$

Для вычисленного значения φ и полученных значений ρ_i находятся по таблице ближайшие большие значения ρ , а по ним значения y и c .

Находятся разности по формуле $\Delta\rho = \rho - \rho_i$, где ρ_i — получено расчетом, а ρ — ближайшее большее по таблице.

Определяются значения относительной ординаты y_i профиля круга для заданного значения ρ_i по формуле

$$y_i = y + c_i \Delta\rho.$$

Определяются ординаты точек профиля круга, отсчитываемые от его оси

$$y_{ik} = ay_i.$$

Определяются высоты профиля круга по формуле

$$t = y_{ik} - y_{ik \text{ мин}} \text{ или } t = y_{i \text{ макс}} - y_{ik},$$

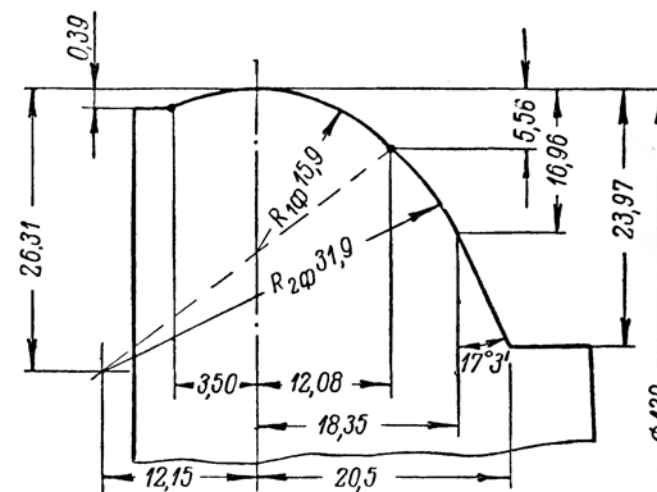
где $y_{k \text{ мин}}$ — минимальная ордината точки профиля круга, соответствующая наружному диаметру фрезы;

$y_{k \text{ макс}}$ — максимальная ордината точки профиля круга, для точки фрезы радиуса r_{ϕ} .

Пример. Согласно обозначениям, приведенным в правилах пользования таблицей, размеры фрезы и шлифовального круга (в мм) характеризуются следующими величинами:

R_{ϕ}	R_k	τ	K	z
65	60	23,97	6	12

На фиг. 48 приведены размеры осевого профиля фрезы. Высоты профиля, согласно фиг. 48, характеризуются следующими величинами: $\tau = 0,390$; 16,96; 23,97; 5,56.



Фиг. 48. Размеры осевого профиля фрезы.

Расстояния точек профиля фрезы до оси согласно правилам пользования таблицей будут:

$$\rho_{1\phi} = R_{\phi} - \tau_1 = 65 - 0,39 = 64,61 \text{ мм};$$

$$\rho_{2\phi} = R_{\phi} - \tau_2 = 65 - 16,96 = 48,04 \text{ мм и т. д.}$$

Коэффициент, характеризующий архимедову спираль, равен:

$$a = \frac{Kz}{6,2832} = \frac{6 \cdot 12}{6,2832} = 11,459 \text{ мм.}$$

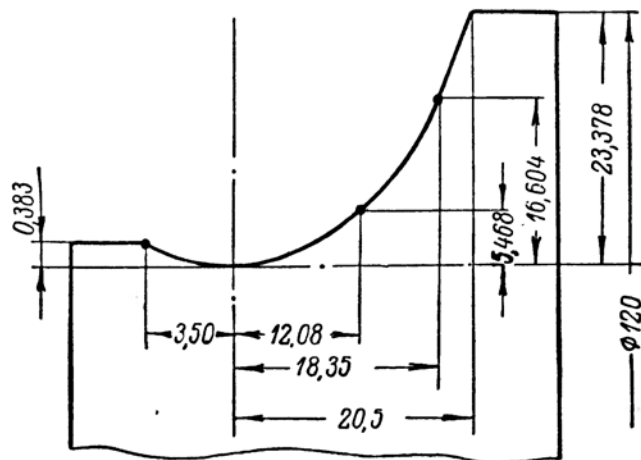
Относительное межосевое расстояние будет

$$\varphi = \frac{R_{\phi} + R_k - \tau}{a} = \frac{65 + 60 - 23,97}{11,459} = 8,81.$$

Принимаем по таблице ближайшее значение $\varphi = 9,0$.

Относительные ординаты точек профиля фрезы будут

$$\rho_1 = \frac{\rho_{1\phi}}{a} = \frac{64,61}{11,4591} = 5,6383 \text{ и т. д.}$$



Фиг. 49. Координаты профиля шлифовального круга.

Для полученных значений $\varphi = 9$ и ρ_1 по таблице находим ближайшие большие значения ρ , а по ним значения u и c :

для $\rho_1 = 5,6383$ по таблице имеем:

$$\rho_{1m} = 5,6936;$$

$$u_{1m} = 3,2743;$$

$$c_1 = 0,984.$$

Разности ординат профиля фрезы и ближайшего табличного значения будут:

$$\Delta\rho_1 = \rho_{1m} - \rho_1 = 5,6936 - 5,6383 = 0,0553 \text{ и т. д.}$$

Относительные ординаты u_i точек профиля круга для заданного значения ρ_i

$$u_i = u_{1m} + c_1 \Delta\rho_1 = 3,2743 + 0,984 \cdot 0,0553 = 3,3287 \text{ и т. д.}$$

Ординаты точек профиля круга

$$u_{1k} = a u_1 = 11,459 \cdot 3,3287 = 38,144 \text{ и т. д.}$$

Высоты профиля круга

$$t_1 = u_{1k} - u_{k \min} = 38,144 - 37,761 = 0,383 \text{ мм и т. д.,}$$

где $u_{k \min} = 37,761$ мм рассчитана для точки профиля круга

$$\rho_{\phi} = R_{\phi} = 65 \text{ мм.}$$

Все промежуточные расчеты и окончательные размеры представлены в виде расчетной таблицы:

№ точек профиля	1	2	3	4	5
Высоты профиля в осевой плоскости τ	0,390	16,96	23,97	5,56	0
Ординаты точек профиля фрезы $\rho_{\phi} = R_{\phi} - \tau$	64,61	48,04	41,03	59,44	65
Относительные ординаты $\rho_1 = \frac{\rho_{\phi}}{a}$	5,6383	4,1923	3,5806	5,1871	5,6723
Ближайшие большие значения ρ по таблице	5,6936	4,2466	3,6117	5,3288	5,6936
Соответствующие табличные значения u	3,2743	4,6915	5,3056	3,6333	3,2743
Табличные отношения разностей c	0,984	0,972	0,960	0,982	0,984
Значения разности $\Delta\rho = \rho - \rho_1$	0,0553	0,0543	0,0311	0,1417	0,0213
Значения произведения $c\Delta\rho$	0,0544	0,0528	0,0299	0,1392	0,0210
Относительные ординаты профиля круга $u_i = u + c\Delta\rho$	3,3287	4,7443	5,3355	3,7725	3,2953
Ординаты профиля шлифовального круга $u_k = u_i \cdot a$. .	38,144	54,365	61,139	43,229	37,761
Высота профиля круга $t = u_k - u_{k \min}$	0,383	16,604	23,378	5,468	0

Координаты узловых точек профиля шлифовального круга для профиля фрезы по фиг. 48, согласно данным расчетной таблицы, изображены на фиг. 49. Замена профиля дугами и прямыми выполняются по данным, приведенным в § 7.

§ 21. РАСЧЕТ ФАСОННОЙ ФРЕЗЫ ДЛЯ КОСОЙ ТУРБИННОЙ ЛОПАТКИ

А. Расчет размеров профиля фрезы для внутренней поверхности лопатки

1. В общем машиностроении наибольшее применение получили фасонные фрезы для фрезерования турбинных лопаток. Наиболее характерным типом фасонной фрезы, требующей значительных расчетов, является фреза для обработки косых турбинных лопаток.

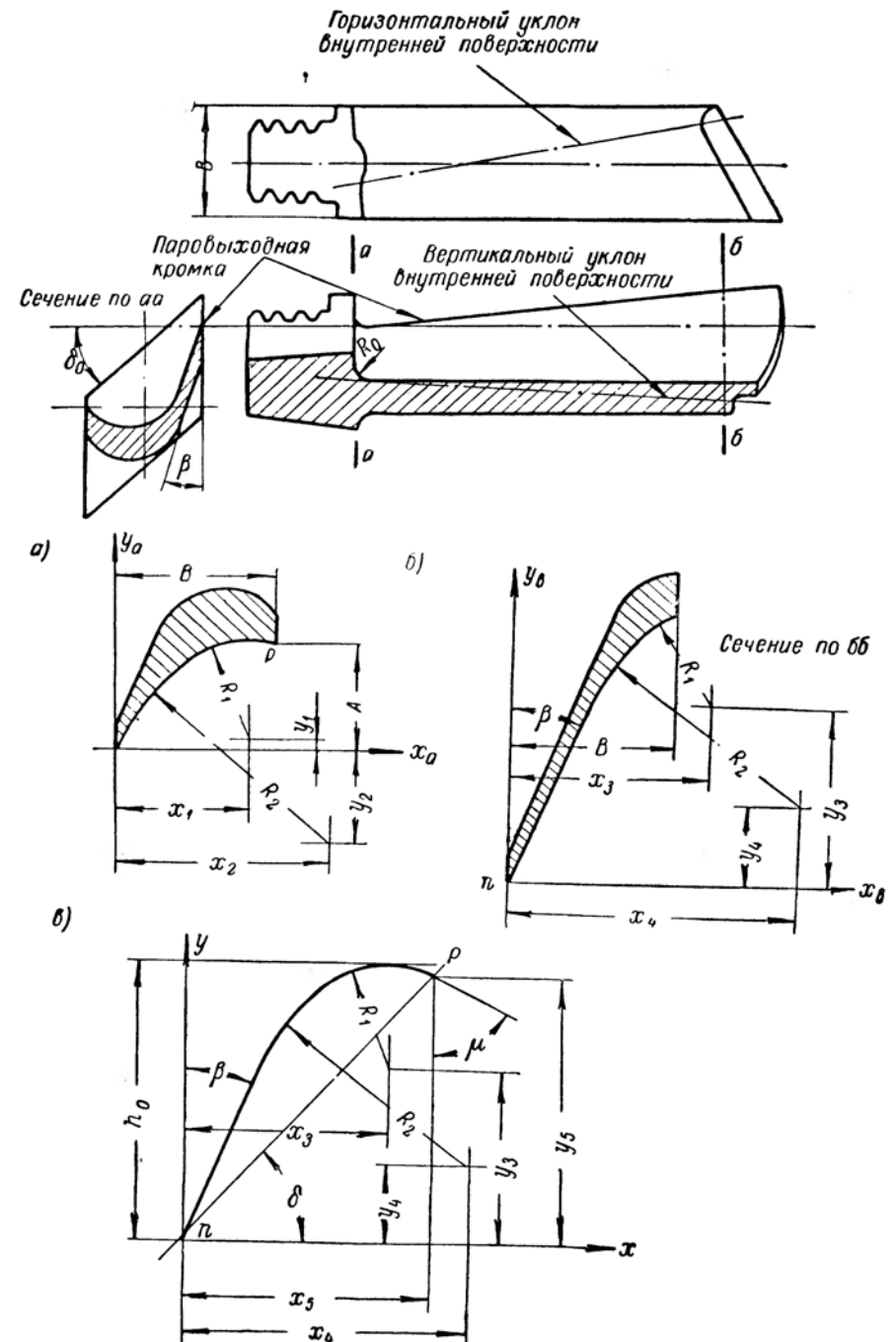
На фиг. 50 представлен чертеж косоугольной турбинной лопатки, рабочая часть которой имеет внутреннюю и наружную фасонные линейчатые поверхности, прямолинейные образующие которых наклонены под некоторым углом к оси лопатки и имеют горизонтальные и вертикальные уклоны, показанные на чертеже. Внутренняя и наружная поверхности этой лопатки обрабатываются фасонными фрезами, которым сообщается подача, направленная под заданным углом к оси лопатки.

2. На фиг. 50, а и б приведены два крайних профильных сечения по aa и bb внутренней поверхности лопатки, профиль которой состоит из двух сопряженных дуг с радиусами R_1 и R_2 и касательной прямой под углом β к боковой плоскости лопатки. Ширина профилей в каждом сечении равна B — ширине лопатки. На профилях сечений (фиг. 50, а и б) заданы также координаты центров $x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3$ и x_4, y_4 дуг окружностей и координаты крайней точки p (A и B) с началом координат, расположенным на паровых кромках.

3. Ввиду наличия уклонов на косоугольной лопатке и общности профилей во всех сечениях профиль сечения по aa лопатки является продолжением профиля сечения по bb . Поэтому профиль фрезы будет шире и выше каждого из указанных сечений. Для определения профиля фрезы на фиг. 50, в профили двух сечений (aa и bb) лопатки совмещены. Начало координат n совмещенных профилей совпадает с началом координат n сечения по bb (фиг. 50, б). Поэтому координаты центров дуговых участков совмещенных профилей совпадают с координатами крайнего головного сечения по bb лопатки. Крайняя точка p совмещенного профиля совпадает с крайней точкой p (сечение по aa). В этом случае координаты x_5 и y_5 крайней точки p совмещенного профиля определяются по формулам

$$x_5 = x_3 - x_1 + B;$$

$$y_5 = y_3 - y_1 + A.$$

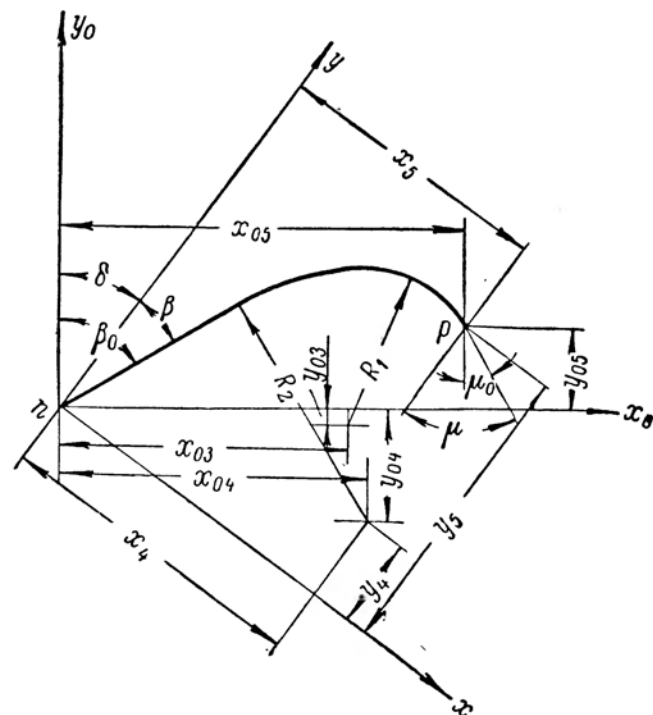


Фиг. 50. Турбинная лопатка с профилями крайних сечений.

Для построения шаблонов потребуется определение угла μ касательной к другой части профиля в крайней точке p (фиг. 50, в), который находится по формуле

$$\sin \mu = \frac{y_5 - y_3}{R_1}.$$

4. Наибольшая высота профиля лопатки (фиг. 50, в) равна $h_0 = y_3 + R_1$. При данной высоте профиля, являющейся, как правило, большой, соответственно требуется и большой наружный



Фиг. 51. Расчет координат точек профиля в повернутом положении.

диаметр фрезы. Ввиду необходимости создания малой галтели у хвостовой части лопатки, где фреза заканчивает обработку лопатки, наружный диаметр фрезы должен иметь минимально допустимую величину. Это достигается уменьшением высоты профиля детали h_0 путем поворота профиля по часовой стрелке вокруг точки n (фиг. 51). Как известно, при малых значениях угла β на прямолинейном участке фрезы получают малые задние углы в нормальном сечении, поэтому поворот профиля также увеличивает задние углы на крутых участках профиля.

5. Наиболее целесообразный угол поворота профиля для получения минимальной высоты профиля образуется тогда, когда крайние точки n и p профиля располагаются на прямой, параллельной оси фрезы. В этом случае угол поворота δ (фиг. 50, в) определяется по формуле $\operatorname{tg} \delta = \frac{y_5}{x_5}$. Однако угол поворота δ не должен превышать значения $\delta \leq \mu - 10^\circ$, где μ — угол касательной к профилю в точке p . Это обеспечивает необходимый задний угол у точки p режущей кромки фрезы.

Из условия выбора наиболее рациональных технологических баз угол δ часто берется несколько меньше расчетного,

6. Поворот профиля вокруг точки n на угол δ изменяет размеры координат центров дуговых участков, крайних точек и углов профиля, которые рассчитываются по общей для любых точек профиля формуле (фиг. 51),

$$x_0 = y \sin \delta + x \cos \delta;$$

$$y_0 = y \cos \delta - x \sin \delta,$$

соответственно чему координаты центра x_{04} и y_{04} дуги окружности радиуса R_2 определяются по формулам (фиг. 51)

$$x_{04} = y_4 \sin \delta + x_4 \cos \delta;$$

$$y_{04} = y_4 \cos \delta - x_4 \sin \delta.$$

Так же определяются координаты крайней точки p профиля

$$x_{05} = y_5 \sin \delta + x_5 \cos \delta;$$

$$y_{05} = y_5 \cos \delta - x_5 \sin \delta.$$

Аналогично находятся координаты центров других окружностей. При этом следует значения заданных координат в системе $x-y$ проставлять в приведенные формулы со своими знаками. Значения расчетных координат точек в новой системе (x_0-y_0) также имеют положительный или отрицательный знаки.

7. Угол прямолинейного участка профиля с плоскостью, перпендикулярной оси фрезы (ось y), определится по формуле (фиг. 51)

$$\beta_0 = \beta + \delta.$$

Соответственно угол μ касательной к профилю в конечной точке p будет:

$$\mu_0 = \mu - \delta.$$

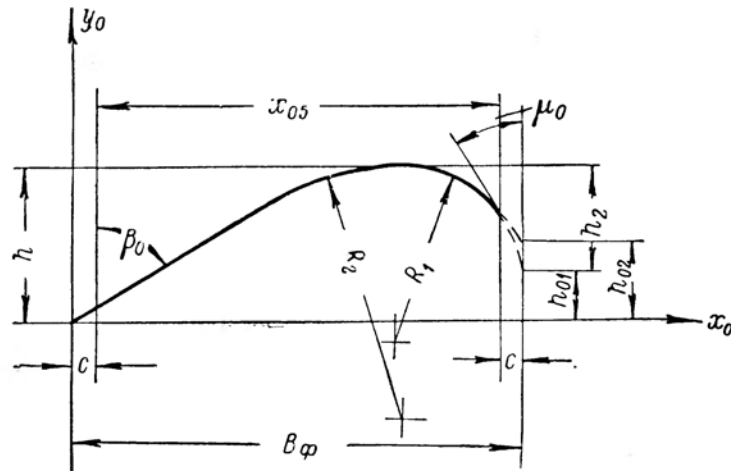
8. Для обеспечения обработки всего профиля детали профиль фрезы проектируется с перекрытием $c = 1$ мм по ширине профиля с каждой стороны (фиг. 52). Тогда ширина B_ϕ рабочего участка профиля фрезы определится по формуле

$$B_\phi = x_{05} + 2c.$$

Если угол β_0 или μ_0 меньше 20° , то перекрытие $c = 0,5 - 0,75$ мм.

Профиль фрезы для прямолинейного участка продолжается по прямой, а для дугового участка по дуге того же радиуса.

В том случае, когда угол μ_0 касательной в точке p меньше 20° , то продолжение профиля с дуговым участком на величину перекрытия следует производить по касательной прямой с углом μ_0 .



Фиг. 52. Расчет ширины и высоты повернутого профиля фрезы.

9. Окончательные размеры профиля фрезы с учетом перекрытия c определяются по следующим формулам (фиг. 52).

Наибольшая высота h профиля фрезы будет:

при $x_{04} > x_{03}$

$$h = R_1 + y_{03} + c \cdot \operatorname{ctg} \beta_0;$$

при $x_{03} > x_{04}$

$$h = R_2 + y_{04} + c \cdot \operatorname{ctg} \beta_0.$$

Здесь y_{03} и y_{04} проставляются со своими знаками.

Высота крайней точки p' профиля фрезы определится при перекрытии c по касательной

$$h_{02} = y_{05} - c \cdot \operatorname{ctg} \mu_0 + c \cdot \operatorname{ctg} \beta_0;$$

при перекрытии c по дуге:

$$\cos \lambda = \cos \mu_0 + \frac{c}{R_1};$$

$$h_{01} = R \cdot \sin \lambda + c \cdot \operatorname{ctg} \beta_0 + y_{03}.$$

Дополнительная высота h_2

$$h_2 = h - h_{01}.$$

10. Шаблон для контроля профиля фрезы проектируется исходя из следующих положений: все шаблоны для проверки профиля лопатки в разных сечениях и шаблон для фрезы согласуются между собой посредством рабочего эталонного шаблона. Поэтому проектируются несколько шаблонов, а именно:

а) эталон, имеющий выпуклую форму и полный профиль, охватывающий все сечения в неразвернутой форме и применяемый только для контроля рабочих эталонов;

б) рабочий эталон или „копия эталона“ и „накидка“, служащие для проверки всех рабочих шаблонов;

в) шаблон для фрезы согласуется с „копией эталона“ при помощи угольника с углом δ — поворота профиля.

11. Конструктивные размеры фасонных фрез для турбинных лопаток выбираются по табл. 8—14 или рассчитываются по формулам, приведенным в гл. V.

Б. Пример расчета

12. Косая турбинная лопатка (фиг. 50), согласно обозначениям размеров лопатки и профилей двух крайних сечений по aa и bb , имеет следующие размеры:

Обозначение	Величина в мм	Обозначение	Величина в мм
B	$30_{-0,05}$	x_1	24,703
A	20,632	y_1	2,125
β	$22^\circ 30'$	x_3	37,743
δ_0	$43^\circ 28' 30''$	y_3	32,609
R_1	19,25	x_4	53,922
R_2	44,25	y_4	14,55

13. Координаты x_5 , y_5 и угол μ крайней точки профиля (по фиг. 50, в) определяются по формулам п. 3 (стр. 85—86)

$$x_5 = x_3 - x_1 + B = 37,743 - 24,703 + 30,0 = 43,04 \text{ мм};$$

$$y_5 = y_3 - y_1 + A = 32,609 - 2,125 + 20,632 = 51,116 \text{ мм};$$

$$\sin \mu = \frac{y_5 - y_3}{R_1} = \frac{51,116 - 32,609}{19,25} = 0,961395;$$

$$\mu = 74^\circ 2'.$$

14. Так как при фрезеровании внутренней поверхности лопатки за базовую плоскость принимается плоскость хвостовика (фиг. 50), то поворот профиля производим на угол $\delta = \delta_0 = 43^\circ 28' 30''$,

Условие п. 5 $\delta < \mu - 10^\circ = 74^\circ 2' - 10^\circ = 64^\circ 2'$, как видно, будет соблюдено.

15. Согласно формулам п. 6 и обозначениям на фиг. 51, значения координат центров дуговых участков и крайней точки повернутого профиля находятся с помощью следующей расчетной таблицы.

Постоянные размеры следующие:

$$\delta = 43^\circ 28' 30''; \sin \delta = 0,688038; \cos \delta = 0,725675.$$

Углы прямолинейного участка и касательной, согласно п. 7 расчета, будут

$$\beta_0 = \beta + \delta = 22^\circ 30' + 43^\circ 28' = 65^\circ 58';$$

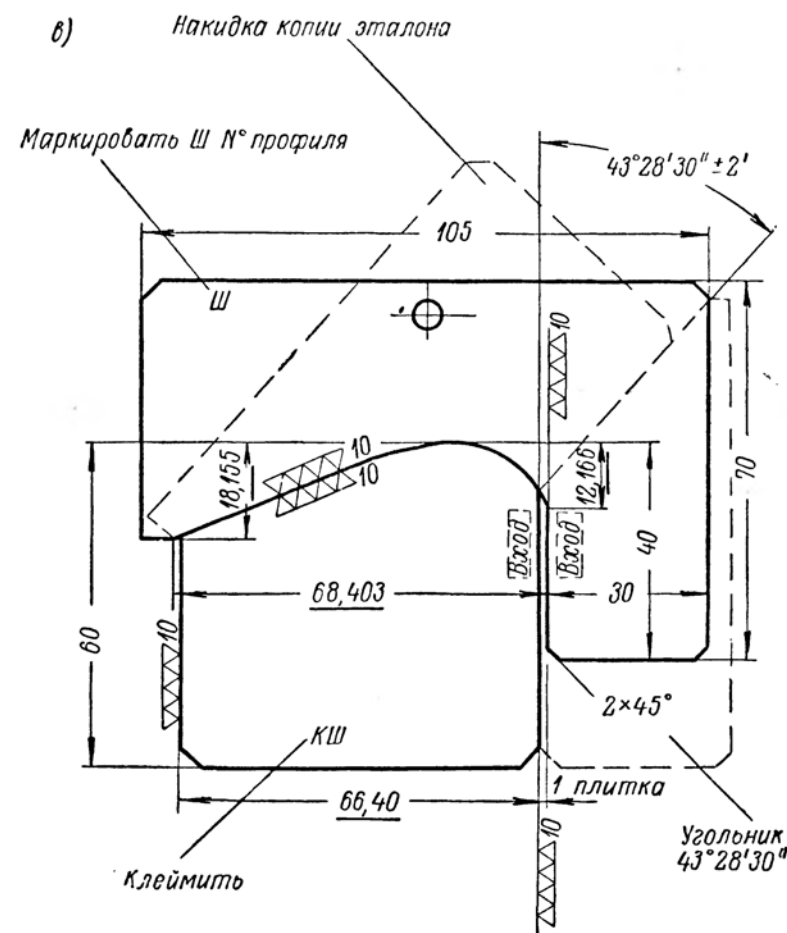
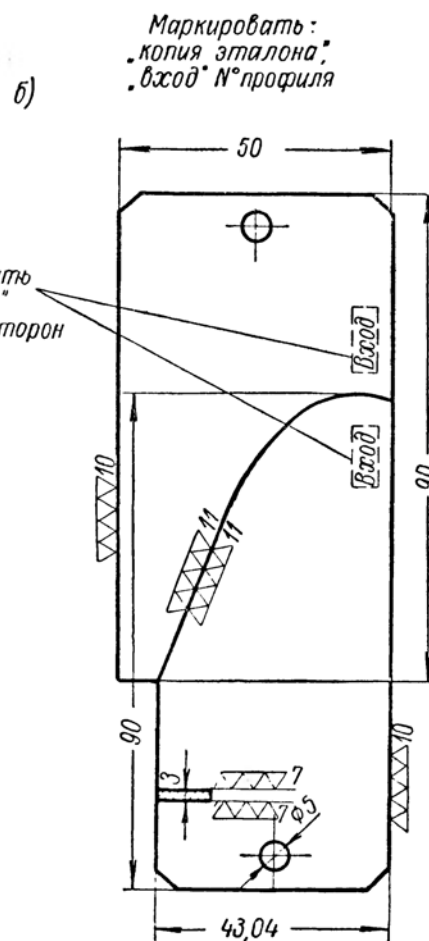
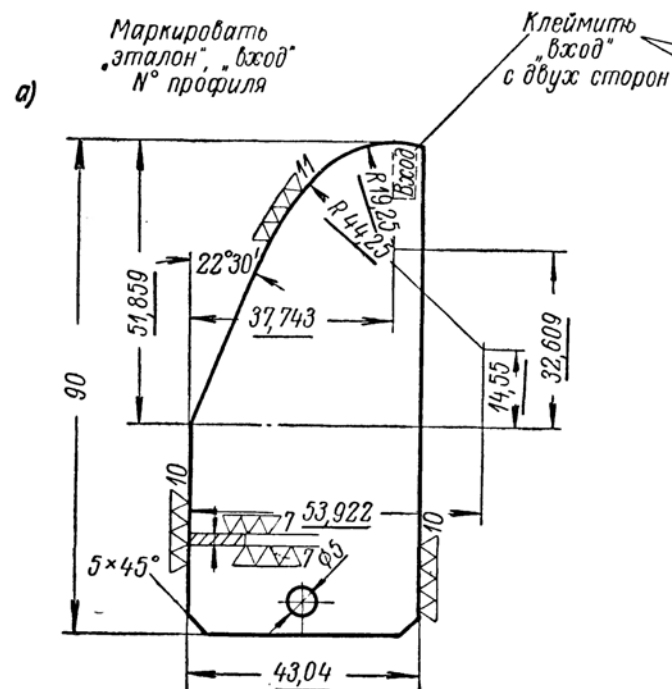
$$\mu_0 = \mu - \delta = 74^\circ 2' - 43^\circ 28' = 30^\circ 34'.$$

№ индексов координат	Заданные координаты		Расчетные промежуточные величины				Искомые координаты	
	y	x	$a_1 = y \sin \delta$	$b_1 = x \cos \delta$	$a_2 = y \cos \delta$	$b_2 = x \sin \delta$	$x_0 = a_1 + b_1$	$y_0 = a_2 - b_2$
3	32,609	37,745	22,435	27,389	23,664	25,969	49,825	-2,305
4	14,550	53,922	10,011	39,130	10,559	37,100	49,141	-26,541
5	51,116	43,040	35,170	31,233	37,094	29,613	66,403	7,479

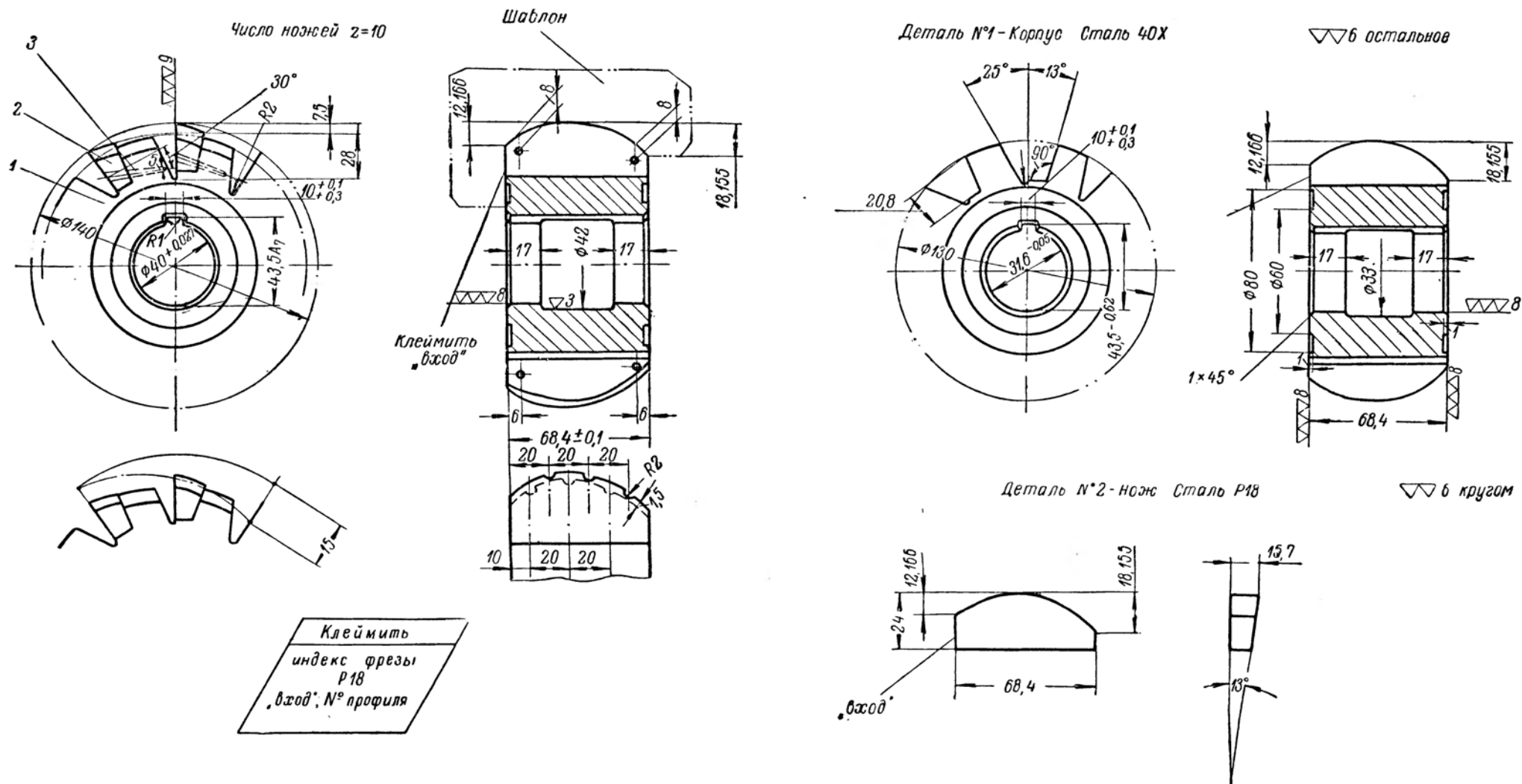
▽ 6 остальное

Примечания:

1. Подчеркнутые размеры выдержать $\pm 0,01$.
2. КШ фрезы проверить накидкой копии эталона с помощью угольника.
3. Шаблон фрезы проверить КШ и плиткой 1 мм.
4. Накидку копии эталона проверять эталоном.
5. Эталон хранится в лаборатории завода.
6. Материал Ст. 20. Цементировать и калить $H_{RC} = 56-60$.



Фиг. 53. Эталоны и шаблоны профиля фрезы.



Примечания:

1. Основные размеры по нормали (табл. 14).
2. Профиль фрезы проверять шаблоном (фиг. 53, в), прикладывая его к стороне „входа“
3. Ножи фрезы термообработать. Твердость ножей $H_{RC} = 63 - 65$
4. Ножи паять припоем ГПФ-П
5. Толщина слоя припоя не должна превышать 0,02 мм.
6. Биение режущих кромок относительно оси не более 0,04

7. Отклонение радиальности передней грани не более 0,09.
8. Биение торцов не более 0,03.
9. Отверстие под конические штифты в ноже и корпусе обработать совместно
10. Выступающие концы штифтов удалить.
11. Затыловать стружколомательные канавки через 1 зуб, располагая их в шахматном порядке. Подъем затыловочного кулачка 15 мм.
12. Размеры корпуса и ножа даны без припуска на обработку (за исключением отверстия).

Фиг. 54. Фреза фасонная для косой турбинной лопатки.

16. Размер перекрытия берем $c = 1$ мм. Тогда ширина профиля фрезы (фиг. 52) будет

$$B_{\phi} = x_{05} + 2c = 66,40 + 2 = 68,40 \text{ мм.}$$

Наибольшая высота профиля фрезы определится по формуле п. 9 данного расчета при условии $x_{03} > x_{04}$, так как $49,825 > 49,141$ мм.

$$h = R_2 + y_{04} + c \cdot \operatorname{ctg} \beta_0 = 44,25 - 26,541 + 0,446 = 18,155 \text{ мм.}$$

Высота крайней точки профиля при перекрытии по дуге радиуса R_1 будет

$$\cos \lambda = \cos \mu_0 + \frac{c}{R_1} = 0,861161 + \frac{1}{19,25} = 0,913109;$$

$$\lambda = 24^{\circ}3'40''; \quad \sin \lambda = 0,407711;$$

$$h_{01} = R_1 \cdot \sin \lambda + c \cdot \operatorname{ctg} \beta_0 + y_{03} = 19,25 \cdot 0,406711 + 0,446 - 2,305 = 5,989 \text{ мм};$$

$$h_2 = h_1 - h_{01} = 18,155 - 5,989 = 12,166.$$

17. На фиг. 53 приведены чертежи эталонов и шаблона для фрезы по размерам, найденным расчетом.

На фиг. 54 приведен чертеж фасонной фрезы с припаянными ножами и штифтовым креплением. Для рассчитанной высоты профиля $h = 18,155$ мм выбираем по табл. 14 фрезу для высоты профиля $h = 15-18$ мм. Незначительное превышение h на 0,155 мм по сравнению с фактической высотой профиля фрезы практически не имеет значения; при этом выбран меньший диаметр фрезы, т. е. $D = 140$ мм. Остальные размеры фрезы взяты по табл. 14 для выбранного диаметра. Размеры стружколомательных канавок взяты по табл. 10 для ширины фрезы $B = 70$ мм.

§ 22. РАСЧЕТ КОСОЗАТЫЛОВАННОЙ ФАСОННОЙ ФРЕЗЫ

А. Назначение и расчетные формулы

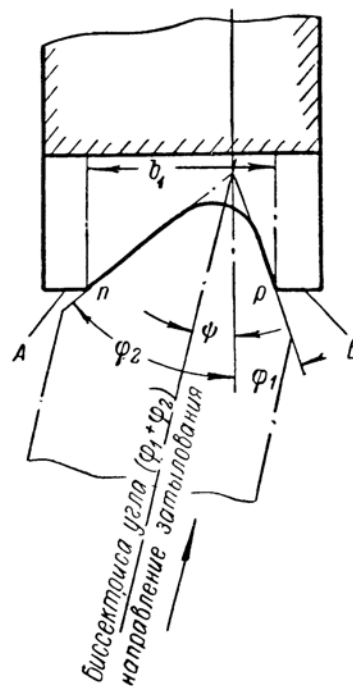
[9, стр. 104—111], [11, стр. 40—49]

1. Применение косого затылования обусловлено наличием у фасонных фрез участков режущей кромки, где задние углы в нормальном сечении при обычном радиальном затыловании получаются недостаточными или вовсе отсутствуют. Малые задние углы получаются на прямолинейных и криволинейных участках профиля, если касательная к этим участкам профиля составляет угол с осью фрезы больше $80^{\circ} \div 83^{\circ}$.

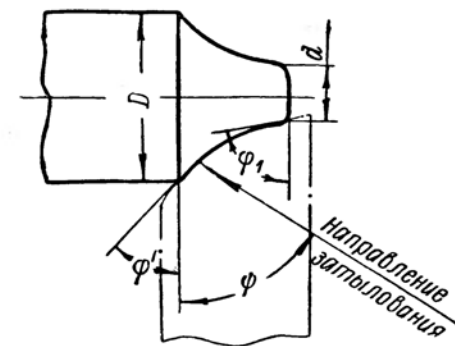
Применение косого затылования устраняет указанный недостаток, вследствие чего стойкость фрез и чистота фрезерованной поверхности повышаются.

2. Для фрез, у которых касательные к профилю составляют углы с осью в пределах от 0 до $\pm 83^{\circ}$, и профиль открытый,¹ угол ψ между направлением затылования и перпендикуляром к оси фрезы выбирается так, чтобы задние углы в нормальном сечении в двух конечных точках рабочего участка профильной режущей кромки были равны между собой. Это условие обеспечивается тем, что направление косого затылования совпадает с биссектрисой угла между касательными к профилю в указанных двух конечных точках (фиг. 55).

3. Согласно фиг. 55, угол ψ между перпендикуляром к оси фрезы и направлением косого затылования определяется по формуле



Фиг. 55. Косое затылование фасонных фрез.



Фиг. 56. Косое затылование пальцевых фрез.

$$\psi = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2},$$

где φ_1 — угол касательной в правой крайней точке p профиля;
 φ_2 — угол касательной в левой крайней точке n профиля.

¹ Под открытым профилем подразумевается профиль, который пересекает любые прямые, параллельные заданному направлению, например, направлению затылования, только один раз.

Подъем кулачка для косого затылования определяется по формуле

$$K = \frac{\pi D \operatorname{tg} \alpha_n}{z \sin (\psi + \varphi_1)},$$

где D — наружный диаметр фрезы:

α_n — задний угол в нормальном сечении (α_n берется равным $1-4^\circ$);

z — число зубцов фрезы.

При использовании кулачков, применяемых для радиально-затылованных фрез, задний угол α_n должен проверяться по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha_n = \frac{Kz \sin (\psi + \varphi_1)}{\pi D}.$$

4. Чтобы наибольшая ширина b_1 (фиг. 55) профиля рабочего участка фрезы не изменялась после переточки фрезы, следует нерабочие участки A и B зуба затыловать с тем же кулачком и под тем же углом ψ , как и при затыловании профильной части фрезы.

5. Пальцевые фасонные фрезы по типу фрез, приведенных в табл. 15, затылуются под углом $10-15^\circ$ к оси фрезы, т. е. $\psi = 75-80^\circ$. Известно, что при радиальном затыловании этих фрез их диаметры при переточке уменьшаются. При осевом затыловании ($\psi = 90^\circ$) получаются незначительные задние углы у малого диаметра фрезы, но при переточке по передней грани диаметры и профиль не изменяются. Переточка косозатылованных фрез, затылуемых под углом $\psi = 75-80^\circ$, сопровождается небольшим изменением диаметра фрез.

6. Величина заднего угла у пальцевых фрез определяется по формуле п. 3 данного расчета. При этом следует величину α_n проверять у малого диаметра фрезы при угле касательной к профилю, равном φ_1 , и у большого диаметра D фрезы при соответствующем значении угла φ' (фиг. 56).

Торцевые зубцы пальцевых фрез затылуются в осевом направлении ($\psi = 90^\circ$). В этом случае задний угол определится по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha_n = \frac{Kz}{\pi D}.$$

Б. Пример расчета

7. На фиг. 57 представлены размеры профиля спинки турбинной лопатки. По технологическому процессу требуется профиль и паровыходную кромку (на ширине $2,5$ мм) обработать одной

фасонной фрезой. Кроме того, для уменьшения галтели у хвостовой части лопатки следует выбрать возможно малый наружный диаметр фрезы.

8. Чтобы уменьшить высоту профиля и, следовательно, наружный диаметр фрезы, следует повернуть профиль по часовой стрелке так, чтобы точки p и n расположились на одной горизонтальной прямой. Тогда угол δ поворота профиля, как видно из фиг. 57, определится

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{16,089 + 2,5}{27} =$$

$$= 0,688481;$$

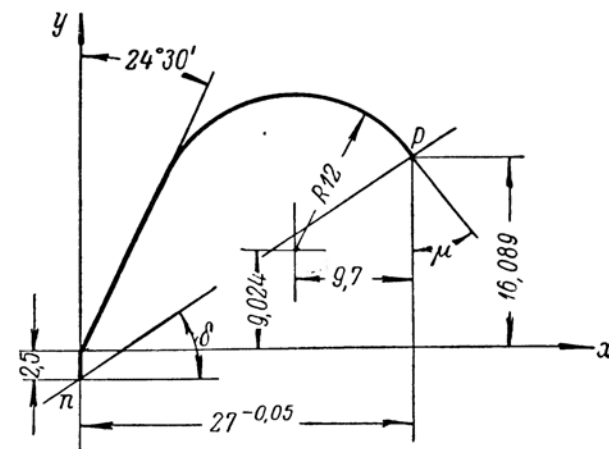
$$\text{тогда } \delta = 34^\circ 33'.$$

Угол μ касательной в точке p определится

$$\cos \mu = \frac{9,7}{12} =$$

$$= 0,808333,$$

$$\text{тогда } \mu = 36^\circ 4'.$$



9. Осуществляя поворот профиля вокруг точки n и располагая координаты аналогично фиг. 51, найдем сначала координаты центра дугового участка и крайней точки профиля в системе unx

$$x_1 = 27 - 9,7 = 17,3 \text{ мм};$$

$$y_1 = 9,024 + 2,5 = 11,524 \text{ мм};$$

$$x_2 = 27 \text{ мм};$$

$$y_2 = 16,089 + 2,5 = 18,589 \text{ мм}.$$

10. Согласно формулам п. 6. § 21 определяем координаты центра и крайней точки p в новой системе координат x_0y_0 повернутой на угол δ (фиг. 51) в форме расчетной таблицы

Заданные координаты			Промежуточные расчетные величины				Искомые координаты	
№ точек	y	x	$a_1 = y \sin \delta$	$b_1 = x \cos \delta$	$a_2 = y \cos \delta$	$b_2 = x \sin \delta$	$x_0 = a_1 + b_1$	$y_0 = a_2 - b_2$
1	11,524	17,3	6,535	14,249	9,492	9,811	20,784	-0,319
2	18,589	27	10,542	22,239	15,311	15,311	32,781	0

Постоянные размеры профиля следующие:

$$\delta = 34^\circ 33'; \quad \sin \delta = 0,567085; \quad \cos \delta = 0,823659$$

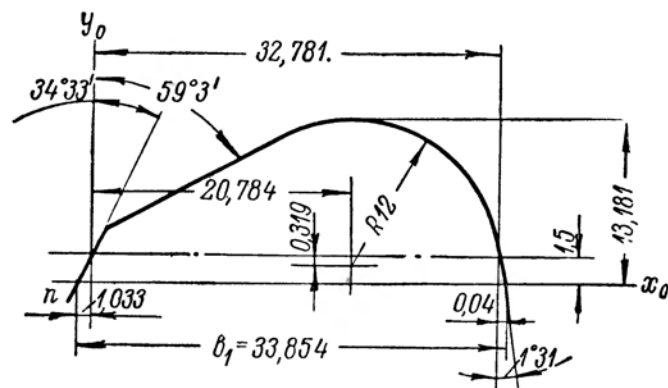
11. Углы касательных в крайних точках профиля, согласно формулам п. 7 § 21, будут

$$\beta_0 = \beta + \delta = 24^\circ 30' + 34^\circ 33' = 59^\circ 3';$$

$$\mu_0 = \mu - \delta = 36^\circ 4' - 34^\circ 33' = 1^\circ 31'.$$

Угол между прямолинейной выходной кромкой профиля и осью y координат будет равен $\delta = 34^\circ 33'$.

На фиг. 58 представлены размеры повернутого профиля.



Фиг. 59. Повернутый профиль.

12. Вследствие малости угла μ_0 (касательной к конечной точке профиля) перекрытие рабочего участка даем не в ширину профиля, а в высоту на 1,5 мм (фиг. 59). В этом случае ширина b_1 профиля фрезы с учетом перекрытия будет

$$b_1 = x_{02} + 1,5 \operatorname{tg} 34^\circ 33' + 1,5 \operatorname{tg} 1^\circ 31' = \\ = 32,781 + 1,033 + 0,04 = 33,854 \text{ мм.}$$

13. Ввиду небольшой величины угла $\mu_0 = 1^\circ 31'$ задние углы на этом участке профиля фрезы при радиальном затыловании недопустимо малы, поэтому применяется косое затылование.

Согласно формуле п. 3 данного расчета, угол ψ между направлением затылования и перпендикуляром к оси фрезы будет

$$\psi = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2} = \frac{34^\circ 33' - 1^\circ 31'}{2} = 16^\circ 31'.$$

Принимаем $\psi = 16^\circ 30'$.

Наибольшая высота профиля фрезы, согласно фиг. 59, будет

$$h = R + y_{01} + c = 12 - 0,319 + 1,5 = 13,181 \text{ мм.}$$

По данной высоте профиля принимаем тип и размеры фрезы с припаянными ножами по табл. 11. Тогда диаметр фрезы $D = 140$ мм, падение затылка $K = 7,5$ мм и число зубцов $z = 10$.

14. Величина заднего угла α_n в нормальном сечении на крайних участках профиля режущей кромки фрезы проверяется по формуле п. 3 данного расчета

$$\operatorname{tg} \alpha_n = \frac{Kz \sin (\psi + \varphi_1)}{\pi D} = \frac{7,5 \cdot 10 \sin (16^\circ 31' + 1^\circ 31')}{3,142 \cdot 140};$$

$$\operatorname{tg} \alpha_n = 0,052737; \quad \alpha_n = 3^\circ 1'.$$

Полученная величина заднего угла в нормальном сечении достаточна.

15. Шаблон для профиля фрезы проектируется по принципу построения шаблонов (фиг. 53) фрезы для косой турбинной лопатки. В данном случае эталон строится по размерам, приведенным на фиг. 59. По копии эталона изготавливается контр-шаблон, а по нему шаблон фрезы.

16. На фиг. 58 представлен чертеж косозатылованной фасонной фрезы, конструктивные размеры которой взяты по табл. 11.

§ 23. РАСЧЕТ ФАСОННОЙ ФРЕЗЫ С ПЕРЕДНИМ УГЛОМ

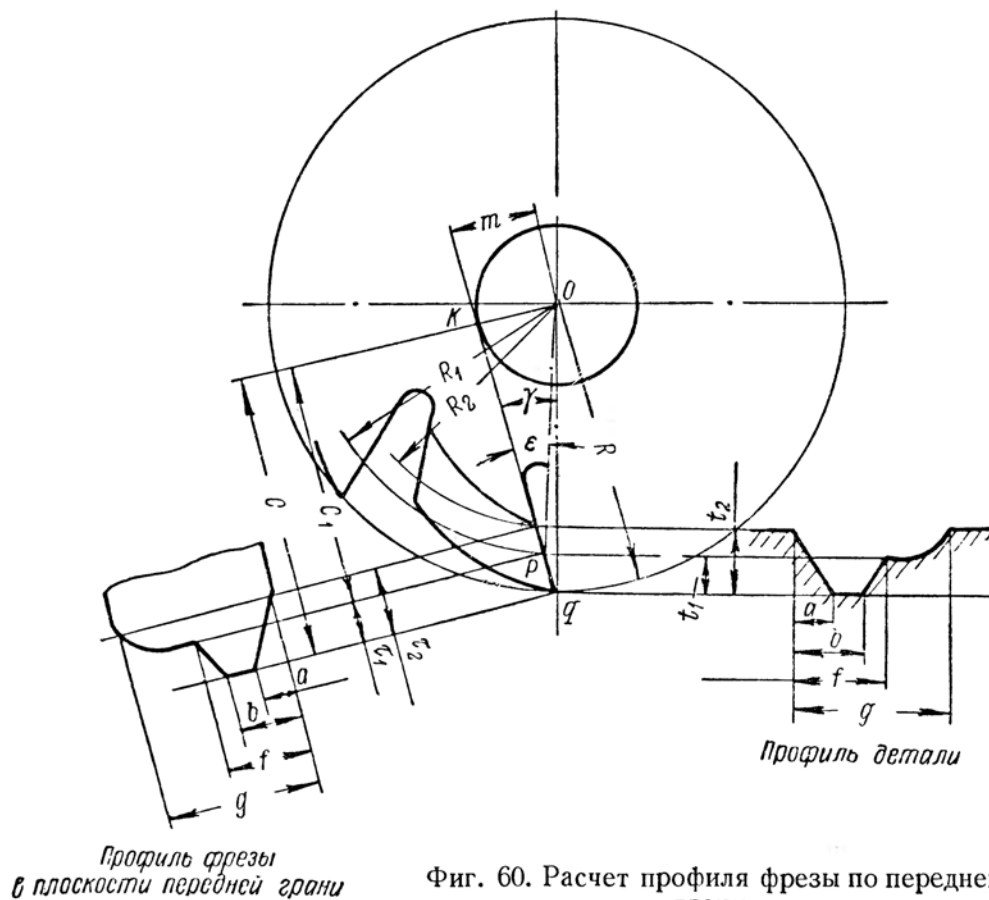
[9, стр. 118—120], [11, стр. 52—57]

А. Назначение и расчетные формулы

1. Фасонные фрезы с передним углом имеют преимущества перед фасонными фрезами без переднего угла в увеличении стойкости, плавности работы и уменьшении усилия резания. Для некоторых сталей, в частности, жаропрочных, применение фрез без положительного переднего угла недопустимо, так как при этом они имеют весьма низкую стойкость. Однако фасонные фрезы с передним углом требуют для контроля профиля по передней грани шаблонов, отличных от шаблонов профиля детали. Кроме того, необходим дополнительный контроль переднего угла фрезы после переточек.

2. Для фрез из быстрорежущей или легированной инструментальной стали рекомендуются следующие величины передних углов:

Обрабатываемый материал	Передний угол	Допустимые отклонения
Сталь $\sigma_B < 60 \text{ кг/мм}^2$	20°	$\pm 5'$
Сталь $\sigma_B = 60-100 \text{ кг/мм}^2$ Чугун $H_B < 150$	15°	$\pm 8'$
Сталь $\sigma_B > 100 \text{ кг/мм}^2$ Сталь жаропрочная Чугун $H_B > 150$	10°	$\pm 12'$



Фиг. 60. Расчет профиля фрезы по передней грани.

Приведенные допустимые отклонения переднего угла соответствуют неточности высоты профиля $\Delta\tau \approx \pm (0,0006 - 0,001) \tau$, где τ — высота профиля фрезы в мм. При этом коэффициент 0,0006 относится к малым, а 0,001 — к большим передним углам.

3. Для расчета высоты профиля фрезы по передней грани следует пользоваться табл. 7, как указано в правилах пользования таблицей и в примере (п. В). Если пределы высот и углов, приведенных в табл. 7, недостаточны для расчета, следует пользоваться нижеприведенными формулами.

4. Для расчета высоты профиля фрезы по передней грани полагаются известными следующие размеры (фиг. 60):

γ — отрицательный или положительный передний угол фрезы;

R — радиус наружной окружности фрезы;

t_1, t_2 и т. д. — высоты крайних, узловых или промежуточных точек профиля детали;

a, b и т. д. — размеры профиля детали, параллельные оси фрезы.

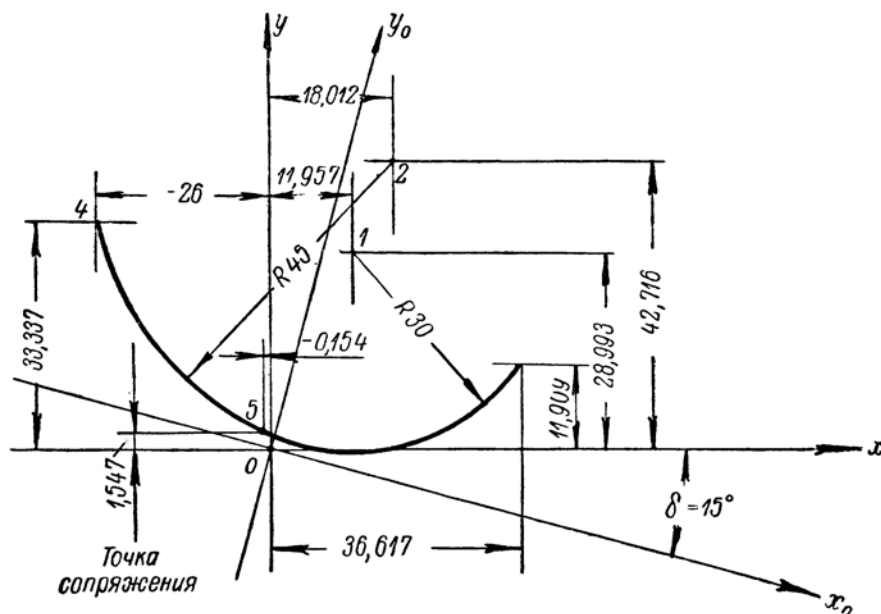
5. Расчет высоты τ профиля фрезы в плоскости передней грани производится по следующим формулам (фиг. 60):

№ формул	Наименование расчетной величины	Обозначение	Формула
1	Радиус точки фрезы для рассчитываемой высоты (отрезок $\overline{OP}$)	R_1	$R_1 = R - t_1$
2	Расстояние от оси фрезы до передней грани (отрезок $\overline{OK}$)	m	$m = R \sin \gamma$
3	Вспомогательный угол OPK	ϵ	$\sin \epsilon = \frac{m}{R_1}$
4	Отрезок $\overline{KP}$	C_1	$C_1 = R_1 \cos \epsilon$
5	Отрезок $\overline{Kq}$	C	$C = R \cos \gamma$
6	Высота профиля фрезы по передней грани	τ_1	$\tau_1 = C - C_1$

6. Ширина профиля a, b, f, g (фиг. 60) переносится с профиля детали на профиль фрезы без изменения.

8. Профиль фрезы по передней грани задается как координатами точек, так и отрезками прямых и дуг окружностей. В последнем случае расчет углов прямолинейных участков и дуг окружностей производится по расчету типовых профилей № 1—9 (фиг. 10—18).

9. На фиг. 61 представлен чертеж профиля внутренней поверхности турбинной лопатки из жаропрочной стали. Профиль состоит из двух сопряженных дуг окружности радиусов $R_1 = 30$ и $R_2 = 45$ мм. На чертеже заданы координаты центров и крайних точек профиля относительно системы координат xoy .



10. Для уменьшения высоты профиля, а следовательно, и диаметра фрезы следует профиль повернуть против часовой стрелки. Угол δ поворота профиля из условия рационального

11. Формулы перехода от системы координат y_0x_0 к системе x_0y_0 аналогичны формулам п. 6 расчета фасонных фрез для косых турбинных лопаток (фиг. 51), однако в данном случае поворот системы x_0y_0 произведен в противоположном направлении. В этом случае формулы перехода будут

$$y_0 = x \sin \delta + y \cos \delta.$$

Постоянные величины: $\delta = 15^\circ$; $\sin \delta = 0,258819$; $\cos \delta = 0,965926$.

Заданные координаты			Промежуточные расчетные величины				Искомые координаты	
№ точек	x	y	$a_1 = x \cos \delta$	$b_1 = y \sin \delta$	$a_2 = x \sin \delta$	$b_2 = y \cos \delta$	$x_0 = a_1 - b_1$	$y_0 = a_2 + b_2$
1	11,957	28,993	11,550	7,504	3,095	28,005	4,046	31,10
2	18,012	42,716	17,398	11,056	4,662	41,260	6,342	45,922
3	36,617	11,909	35,369	3,082	9,477	11,503	32,287	20,980
4	-26,0	33,337	-25,114	8,628	-6,729	32,201	-33,742	25,472
5	-0,154	1,547	-0,149	0,400	-0,040	1,494	-0,549	1,454

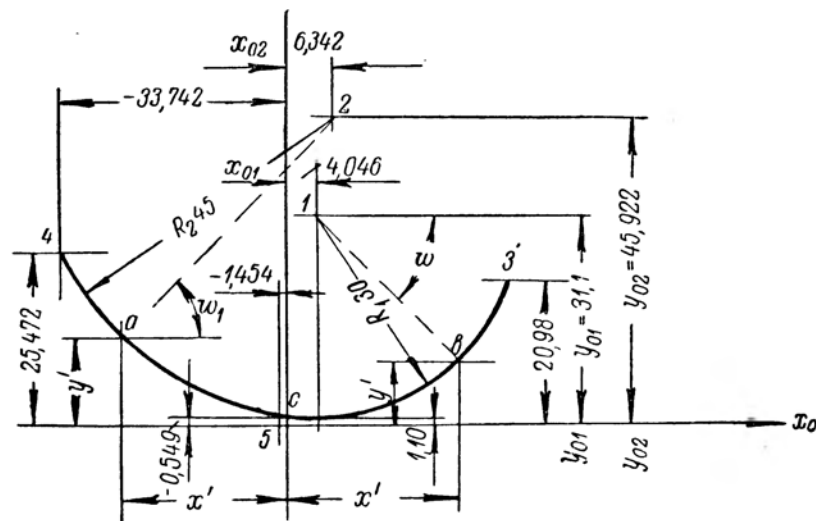
На фиг. 62 представлен профиль в системе x_0y_0 , согласно расчету.

$$x'_{03} = x_{03} + c = 32,287 + 1,013 = 33,3 \text{ мм};$$

$$x'_{04} = x_{04} + c_1 = -33,742 - 1,258 = -35,0 \text{ мм.}$$

Перекрытие осуществляем продолжением дуг окружностей.

13. По координатам крайних точек и точки сопряжения могут быть найдены соответствующие высоты профиля фрезы по передней грани. По высотам крайних точек по формулам типового профиля № 8 (фиг. 17) рассчитываются два радиуса заменяющих окружностей. Однако требование высокой точности вызывает необходимость задавать профиль фрезы координатами точек, расположенными через каждые 5 мм по ширине профиля. Поэтому пред-



Фиг. 62. Повернутый профиль фрезы.

варительно следует определить координаты дуговых участков профиля, задавая абсциссы x_0 через 5 мм.

14. На фиг. 62 показаны координаты x' и y' произвольных точек a и b . Если задать значение x' , то y' определится через углы ω или ω_1

$$\cos \omega = \frac{x' - x_{01}}{R_1}; \quad \cos \omega_1 = \frac{x' - x_{02}}{R_2}.$$

Ординаты y' определяются

$$y'_1 = y_{01} - R_1 \sin \omega; \quad y' = y_{02} - R_2 \sin \omega.$$

В приведенных формулах нужно учитывать знаки координат.

Как видно из фиг. 62, наиболее низкая точка c профиля детали будет иметь координаты

$$x_c = 4,046 \text{ мм};$$

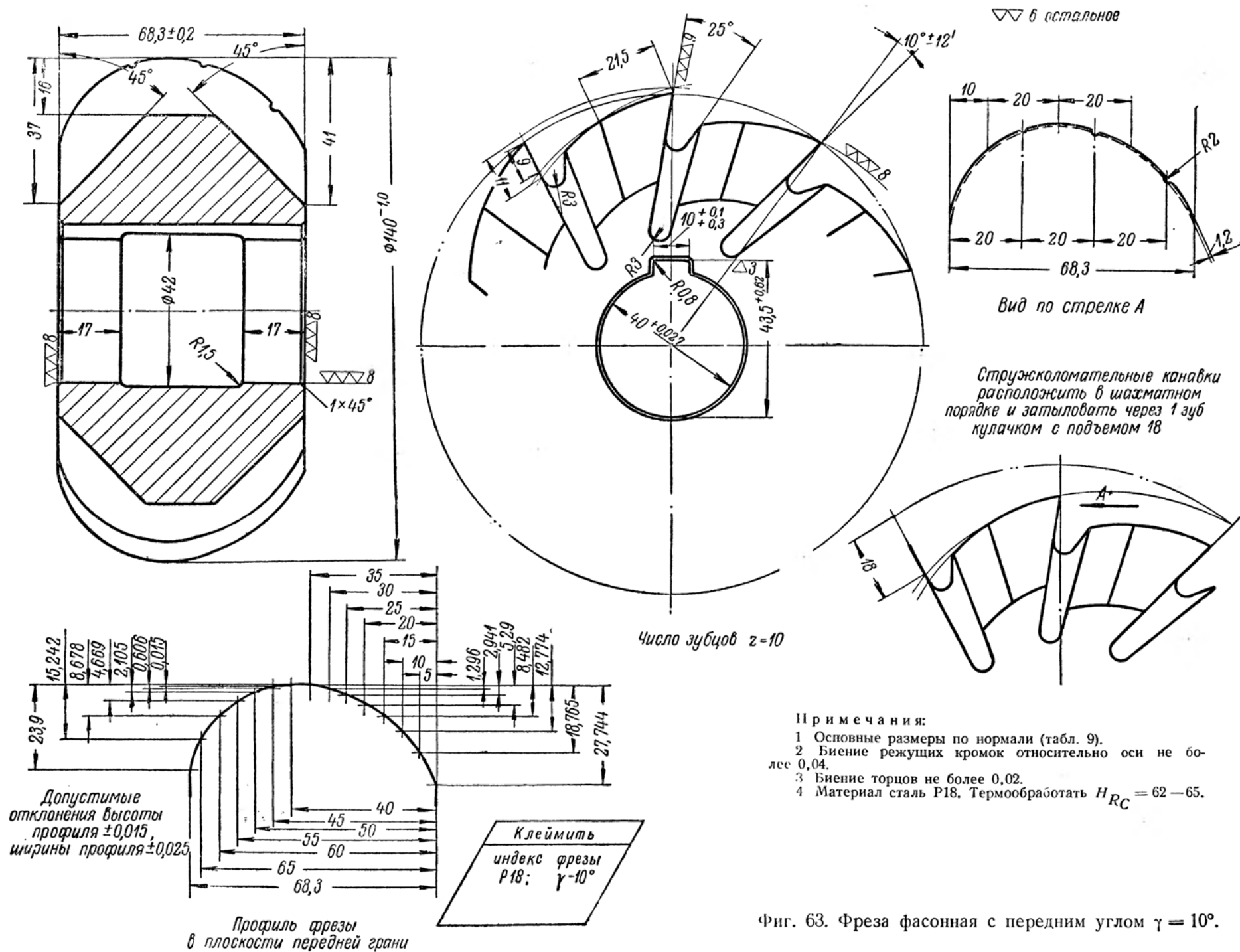
$$y_c = y_{01} - R_1 = 31,1 - 30 = 1,1 \text{ мм}.$$

Тогда высоты профиля детали, отсчитываемые от наиболее низкой точки профиля, определяются по формулам

$$t = y' - y_c = y' - 1,1 \text{ мм}.$$

15. Задавая абсциссы x' точек дугового профиля через 5 мм, определим ординаты y' и высоты профиля t детали по формулам, приведенным в п. 14 данного примера расчета. Определение указанных величин выполняется в виде расчетной таблицы:

№ точек	Дуговой участок	x'	$x' - x_{01}$ ($x_{01} = 0,046$)	$\cos \omega = \frac{x' - x_{01}}{R_1}$ ($1 : R_1 = 0,03333$)	$\sin \omega$	$R_1 \sin \omega$ ($R_1 = 30$)	$y' = y_{01} - R_1 \sin \omega$ ($y_{01} = 31,1$)	$t = y' - y_c$ ($y_c = 1,1$)
1	$R_1 = 30$	33,3	29,254	0,975132	0,221643	6,649	24,451	23,351
2		30	25,954	0,865132	0,501553	15,047	16,053	14,953
3		25	20,954	0,698466	0,715659	21,470	9,630	8,530
4		20	15,954	0,531800	0,846864	25,406	5,694	4,594
5		15	10,954	0,365133	0,930950	27,929	3,171	2,071
6		10	5,954	0,198466	0,980108	29,403	1,697	0,597
7		5	0,954	0,031800	0,999494	29,985	1,115	0,015
8		4,046	0	0	1	30,0	1,100	0
		x'	$x' - x_{02}$ ($x_{02} = 6,342$)	$\cos \omega_1 = \frac{x' - x_{02}}{R_2}$ ($1 : R_2 = 0,022222$)	$\sin \omega_1$	$R_2 \sin \omega_1$ ($R_2 = 45$)	$y' = y_{02} - R_2 \sin \omega_1$ ($y_{02} = 45,922$)	$t = y' - y_c$ ($y_c = 1,1$)
9	$R_2 = 45$	-5	-11,342	0,252044	0,967716	43,547	2,375	1,275
10		-10	-16,342	0,363155	0,931726	41,928	3,994	2,894
11		-15	-21,342	0,474266	0,880385	39,617	6,305	5,205
12		-20	-26,342	0,585377	0,810752	36,484	9,438	8,338
13		-25	-31,342	0,696488	0,717560	32,290	13,632	12,532
14		-30	-36,342	0,807599	0,589745	26,539	19,383	18,283
15		-35	-41,342	0,918710	0,394922	17,771	28,151	27,051



16. Наибольшая высота t профиля с учетом перекрытия согласно таблице п. 15 данного расчета будет $t_{\max} = 27,051$. Для данной высоты профиля выбираем по табл. 9 фрезу с диаметром $D = 140$ мм. Применение цельной фрезы обусловлено необходимостью использования фрезы с возможно малым наружным диаметром. Передний угол $\gamma = 10^\circ$ берем согласно приведенной в п. 2 таблице передних углов фрез для жаропрочной стали.

17. Расчет высот профиля фрезы в плоскости передней грани производим с помощью табл. 7 (стр. 16) для переднего угла $\gamma = \gamma_0 = 10^\circ$ и диаметра фрезы $D = 140$ мм в порядке, указанном в п. В правил и примере пользования таблицей. Определение высот профиля фрезы по передней грани производим в форме расчетной таблицы:

№ высоты профиля	Высота профиля детали t	Отношения t/D (1 : $D = 0,007\ 143$)	Для $\gamma = 10^\circ$ ближайшее значение коэффициента K_ϕ	Соответствующие значения коэффициента K_t	$\tau = \frac{t}{K_t}$
1	23,351	0,167	0,168	0,977	23,900
2	14,953	0,107	0,099	0,981	15,242
3	8,530	0,061	0,053	0,983	8,678
4	4,594	0,033	0,025	0,984	4,669
5	2,071	0,015	0,025	0,984	2,105
6	0,597	0,004	0,025	0,984	0,606
7	0,015	0,000	0,025	0,984	0,015
8	0	0	—	—	0
9	1,275	0,009	0,025	0,984	1,296
10	2,894	0,021	0,025	0,984	2,941
11	5,205	0,037	0,025	0,984	5,290
12	8,338	0,060	0,053	0,983	8,482
13	12,532	0,089	0,099	0,981	12,774
14	18,283	0,131	0,137	0,979	18,675
15	27,051	0,193	0,194	0,975	27,744

18. Значения абсцисс x' , принятые в п. 15 данного расчета, переносятся на профиль фрезы без изменения и проставляются на чертеже фрезы (фиг. 63) от одной базы, т. е. от торца фрезы для каждой точки.

19. Габаритные и конструктивные размеры фрезы берутся по табл. 9 для высоты профиля фрезы $h = 27,7$ мм. Оформление ступицы производится по типу фрезы IV. Размеры профиля стружечной канавки находятся графическим построением, как указано на стр. 68 расчета и выбора конструктивных размеров фасонных фрез. Стружколомательные канавки выбираются по табл. 10. Чертеж фрезы приведен на фиг. 63.

§ 24. РАСЧЕТ ФАСОННОЙ СОСТАВНОЙ ФРЕЗЫ СО СМЕЩЕННЫМИ ЗУБЦАМИ

[11, стр. 91—97]

А. Назначение и выбор размеров торцевых кулачков

1. Фасонные составные фрезы со смещенными зубцами, как и фасонные фрезы с винтовыми зубцами, обеспечивают плавную работу с меньшим максимальным усилием фрезерования и позволяют фрезеровать с более высокими режимами резания. Изготовление и заточка таких фрез проще, чем фрез с винтовыми зубцами.

2. Составные фрезы чаще всего делаются из двух частей. Однако для деталей с широким профилем число частей может быть и более двух. Плоскость разъема этих фрез рекомендуется располагать на участках профиля, где касательная к профилю параллельна оси фрезы. Для обеспечения перекрытия режущих кромок у места стыка частей фрез на последних делаются торцевые кулачковые выступы.

3. При сборке фрезы (для фрезерования) передняя грань зубца первой половины фрезы располагается на середине между зубцами второй половины. Для затылования и заточки зубцов передние грани совмещаются в одну плоскость. Одна из частей фрезы снабжается двумя шпоночными канавками, которые используются для заточки, затылования и посадки на фрезерную оправку.

4. Для удобства расположения торцевых кулачковых выступов число зубцов фрезы должно быть четным. Число торцевых кулачков при этом будет равно половине числа зубцов фрезы. Для возможности совмещения передних граней зубцов угловые промежутки впадин между кулачками сделаны больше угловых размеров кулачковых выступов (фиг. 64) так, чтобы на переточку фрезы до конца выступа было приблизительно $\frac{2}{3}$ толщины зуба. При этом смещение зубцов получается несколько меньше половины окружного шага.

Ось симметрии
шпоночного паза

Таблица 20

Число зубцов фрезы z	Число кулачковых выступов n	Угол кулачкового выступа $\epsilon_k \pm 15'$	Угол впадины $\epsilon_{вп}$	Угол между осями шпоноч- ных канавок $\delta \pm 15'$	Угол между передними гранями сме- женных зубцов μ
6	3	32°	88°	147°	27°
8	4	25°	65°	109°	19°
10	5	20°	52°	87°	15°
12	6	17°	43°	72°	12°
14	7	$14^\circ 40'$	$36^\circ 50'$	$61^\circ 30'$	10°
16	8	13°	32°	$53^\circ 30'$	$8^\circ 30'$

1. Углы рассчитаны по формулам

$$\delta \approx \frac{900^\circ}{z} - 3^\circ; \epsilon_K = \frac{1080^\circ}{z} - \delta - 1^\circ; \epsilon_{\text{вн}} = \frac{720^\circ}{z} - \epsilon_K; \mu = \delta - \frac{720^\circ}{z}.$$

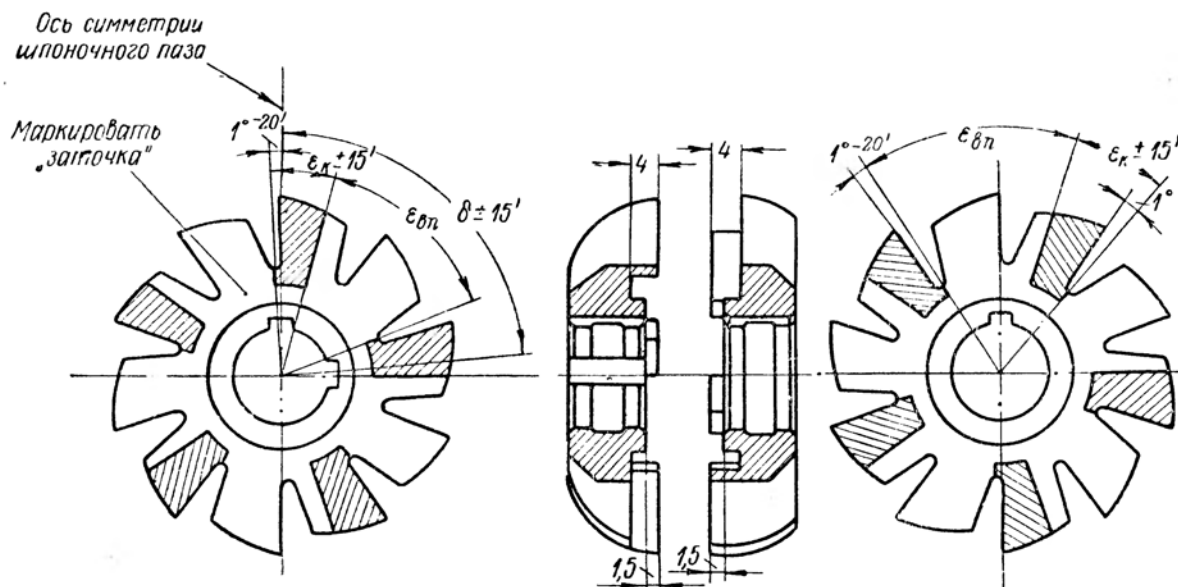
2. Вторая шпоночная канавка на одной половине фрезы, используемая при затывании и заточке зубцов, маркируется „заточка“. Размеры шпоночных канавок

Б. Пример расчета

6. На фиг. 65 представлен чертеж вогнутого профиля детали. Размеры профиля фрезы отличаются от профиля детали на величину перекрытия C , которое задается на продолжении прямой профиля. Размер перекрытия $C = 1$ мм с каждой стороны. Размеры профиля фрезы, обозначенные буквами, необходимо дополнительно определить, именно:

$$B = 61,5 + 2C = 61,5 + 2 = 63,5 \text{ мм};$$

$$P = C \cdot \operatorname{ctg} 27^{\circ} 10' = 1,949 \text{ мм};$$



Фиг. 64. Торцевые кулачковые выступы составных фасонных фрез.

$$a = 10,121 + 1,949 = 12,07 \text{ мм};$$

$$f = 5,083 - P = 5,083 - 1,949 = 3,134 \text{ мм};$$

$$\cos \mu = \frac{26,68}{33,3} = 0,801201; \quad \mu = 36^{\circ}45';$$

$$m = C \cdot \operatorname{ctg} \mu = 1,339; \quad b = R \sin \mu - m - f = \\ = 33,3 \cdot 0,598402 - 1,339 - 3,134 = 15,454 \text{ мм};$$

$$h = R - f = 33,3 - 3,134 = 30,166 \text{ мм};$$

$$h_1 = h - b = 30,166 - 15,454 = 14,712 \text{ мм};$$

$$B_1 = 26,68 + C = 26,68 + 1 = 27,68 \text{ мм};$$

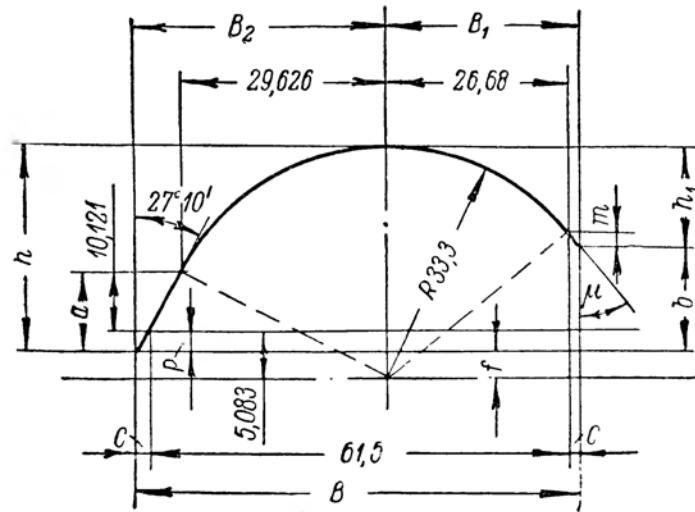
$$B_2 = B - B_1 = 63,5 - 27,68 = 35,82 \text{ мм.}$$

7. Габаритные и конструктивные размеры составной фрезы выбираются по табл. 9 для высоты профиля фрезы $h = 30,166$ мм. В целях уменьшения диаметра фрезы габаритные и конструктивные размеры выбираются по таблице для диапазона высот профиля фрезы 26—29 мм. Тогда диаметр фрезы будет $D = 140$ мм и число зубцов $z = 10$.

8. Угловые размеры торцевых кулачковых выступов и впадин, а также их число берем из табл. 20. Высоты кулачковых выступов берем по размерам, приведенным на фиг. 64.

9. Плоскость разреза составной фрезы располагаем так, чтобы она проходила через наивысшую точку профиля; в этом случае

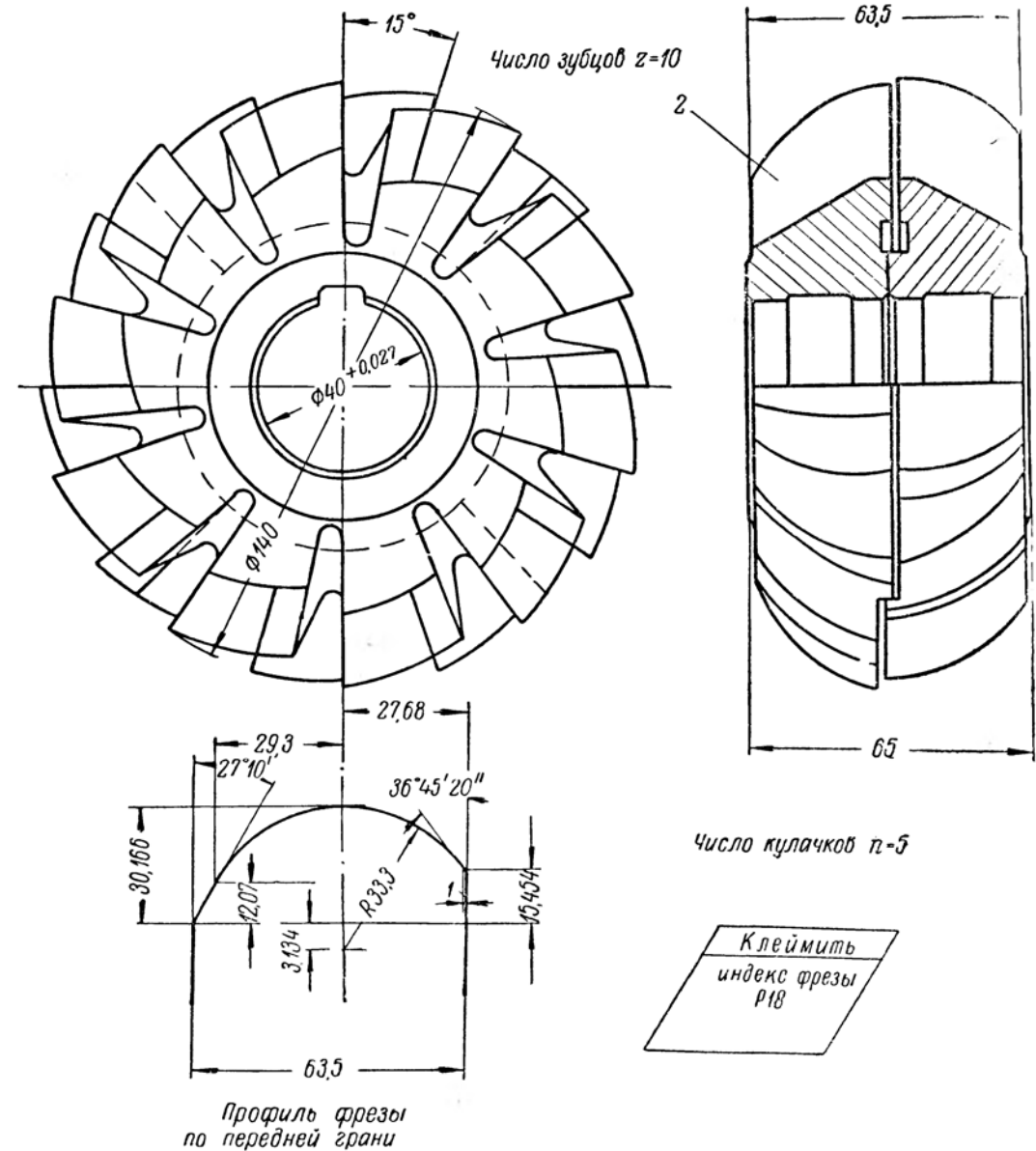
Общая ширина фрезы округляется до $B_0 = 65$ мм и соответственно ширина по торцам ступицы $B_{01} = 28,5$ мм и $B_{02} = 36,5$ мм.



10. Продольный профиль дна стружечных канавок выполняем в форме наклонной канавки по типу I табл. 9

$$\operatorname{tg} \delta_1 = \frac{B_1}{h_1} = \frac{27,68}{14,712} = 1,8804; \quad \delta_1 \approx 60^\circ.$$
$$\operatorname{tg} \delta_2 = \frac{B_2}{h_2} = \frac{35,82}{30,166} = 1,1872; \quad \delta_2 \approx 50^\circ.$$
$$H_1 = h + \frac{K + K_1}{2} + r = 14,712 + \frac{9 + 11}{2} + 3 \approx 28 \text{ мм}$$

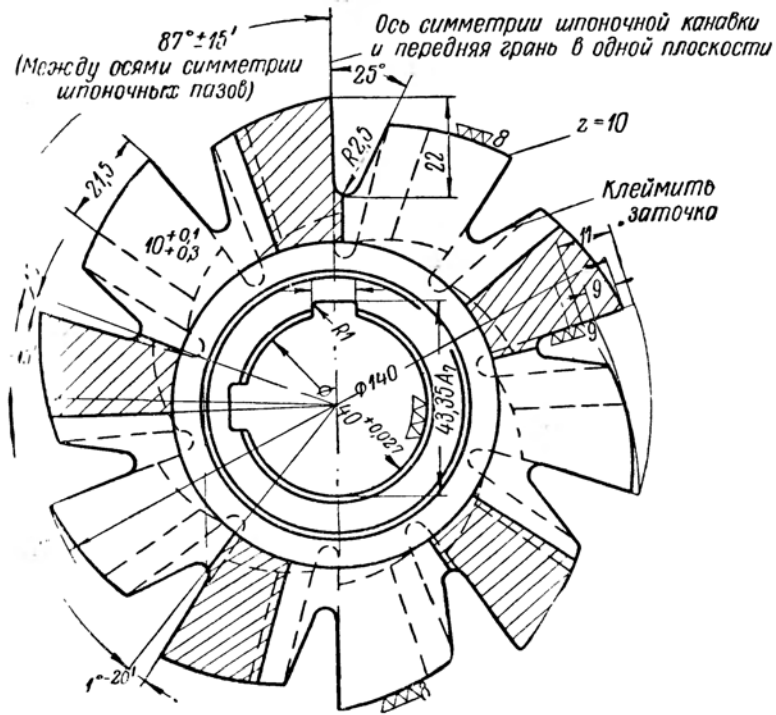
11. На фиг. 66 представлены чертежи правой и левой фрезы, а также фрезы в собранном виде для фрезерования.



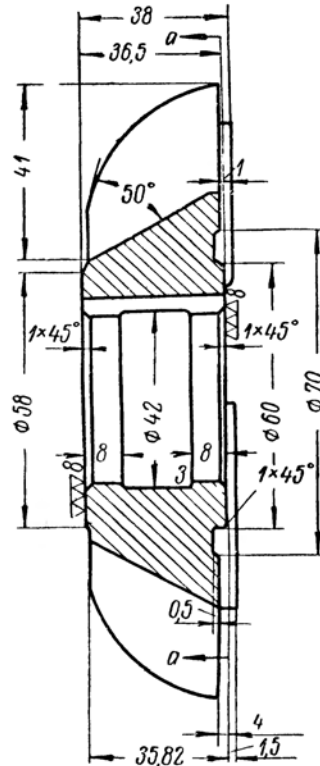
Фиг. 66. Фреза фасонная состав

▽ в остальных

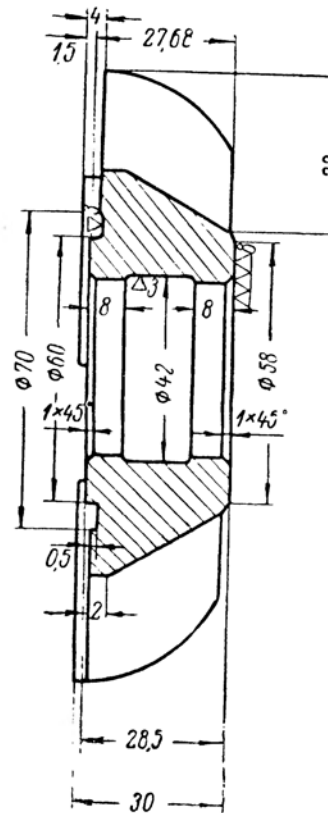
Разрез по аа



Число кулачков
n=5

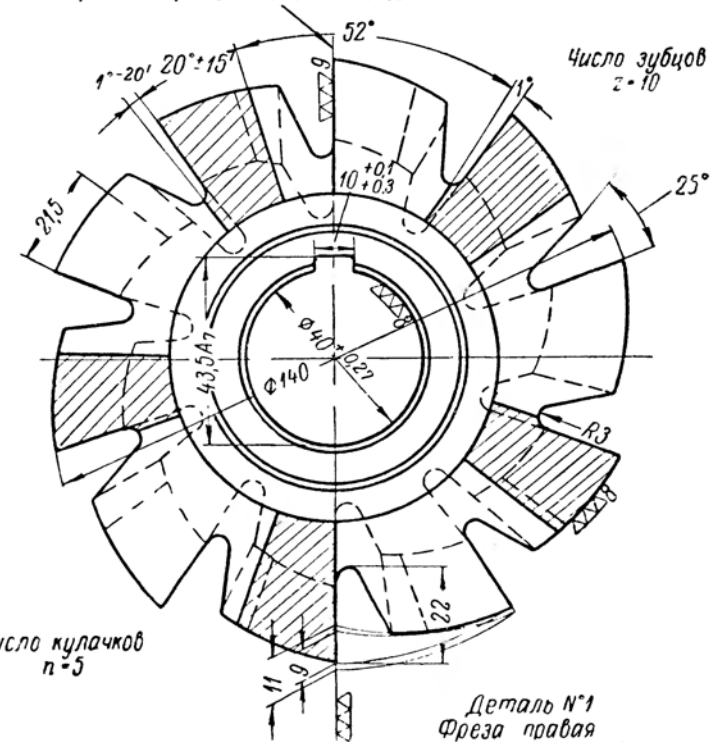


Деталь №2
Фреза левая
Материал: сталь P9
Калить $H_{RC} = 62 \div 65$



▽ в остальных

Ось симметрии шпоночной канавки
и передняя грань в одной плоскости



Деталь №1
Фреза правая
Материал: сталь P9
Калить $H_{RC} = 62 \div 65$

Примечания:

1. Профиль фрезы согласовать с шаблоном.
2. Технические условия на изготовление по нормам (стр. 80).

3. Затылование, шлифование и заточку зубцов производить в собранном виде на общей оправке.

4. Материал сталь P9. Термообработать $H_{RC} = 62 - 65$.

§ 25. ПРИМЕР РАСЧЕТА ФАСОННОЙ ФРЕЗЫ С ПРОФИЛЕМ НОРМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ (ЗАТЫЛОВОЧНОГО ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА)

[12, стр. 29—31]

1. На фиг. 67 представлен осевой профиль выпуклой фасонной фрезы, рассчитанный по профилю детали с учетом перекрытия по ширине по 1 мм с каждой стороны. Передний угол фрезы равен нулю, поэтому профиль расположен в плоскости передней грани.

2. Ввиду значительной разницы в высотах крайних точек профиля фрезы, именно $h_1 = 25,174$ мм и $h_2 = 10,133$ мм, выбирают конструкцию фасонной фрезы с наклонной стружечной канавкой с припаянными ножами по типу фрез табл. 13.

Тогда основные размеры фрезы согласно табл. 13 для диапазона высот профиля $h_1 = 24—27$ мм будут: диаметр фрезы $D = 180$ мм, число зубцов $z = 10$, падение затылка $K = 9,5$ мм.

3. Профилирование накатного ролика для правки шлифовального затыловочного круга или построение профиля шаблона для его контроля производится по профилю нормального к затыловочной поверхности сечения зуба фасонной фрезы. Профиль нормального сечения фрезы, осевые профили шлифовального круга и накатного ролика — тождественны.

4. Расчет профиля фрезы в нормальном сечении производится с помощью табл. 19, как указано в правилах и примере пользования таблицей.

5. Для расчета профиля нормального сечения полагаем известными основные размеры фрезы, указанные в п. 2 данного примера, и диаметр шлифовального круга $D_k = 90$ мм.

6. Согласно формуле (стр. 83) правил пользования табл. 19, коэффициент a будет

$$a = \frac{Kz}{2\pi} = \frac{9,5 \cdot 10}{6,2832} = 15,12 \text{ мм.}$$

Относительное межосевое расстояние φ фрезы и круга, (стр. 83), будет

$$\varphi = \frac{R_\phi + R_k - \tau}{a} = \frac{90 + 45 - 25,174}{15,12} = 7,25.$$

Ближайшее значение φ по таблице равно $\varphi = 8,5$, которое принимаем при расчете профиля. Согласно размерам профиля

детали (фиг. 67), высота крайних и узловой точек будет $\tau = 25,174$; 3,766 и 10,133.

7. Расчет профиля нормального сечения производим аналогично примеру, приведенному на стр. 84.

Расчет ведется в форме расчетной таблицы.

Наименование расчетной величины	Обозначение и формулы	Расчет			
Высота профиля в осевой плоскости	τ	25,174	3,766	10,133	0
Ординаты точек профиля фрезы	$\rho_\phi = R_\phi - \tau$	64,826	86,234	79,867	90
Относительные ординаты	$\rho_1 = \rho_\phi : a$	4,2874	5,7033	5,2822	5,9523
Ближайшие большие значения ρ по табл. 19	ρ	4,3433	5,8758	5,3113	6,0923
Соответствующие табличные значения y	y	4,1007	2,5981	3,1536	2,3848
Табличные отношения разностей	c	0,973	0,985	0,981	0,986
Значения разности	$\Delta\rho = \rho - \rho_1$	0,0559	0,1725	0,0291	0,140
Значения произведения	$c \cdot \Delta\rho$	0,0544	0,1699	0,0285	0,138
Относительные ординаты профиля круга	$y_i = y + c\Delta\rho$	4,1551	2,7680	3,1821	2,5228
Ординаты профиля шлифовального круга	$y_k = ay_i$	62,825	41,852	48,113	38,145
Высота профиля круга	$t = y_k - y_{мин}$	24,68	3,707	9,968	0

На фиг. 68 указаны высоты, согласно данным расчетной таблицы.

8. По найденным расчетом координатам крайних точек и точки сопряжения определяются радиусы заменяющих профиль окружностей по формулам типового профиля № 8 (фиг. 17), который включает три искомых радиуса окружности. В нашем случае требуется определить лишь два радиуса. Согласно обозначениям

размеров на типовом профиле, размеры профиля (фиг. 68) нормального сечения будут

$$\begin{aligned}h_1 &= t_1 = 24,68 \text{ мм}; \\h_2 &= t_2 = 3,707 \text{ мм}; \\h_3 &= t_3 = 9,968 \text{ мм}; \\x_1 &= 14,312 \text{ мм}; \\x_2 &= 42 - 14,312 = 27,688 \text{ мм}.\end{aligned}$$

9. Согласно первым семи формулам расчета типового профиля № 8 определяем размеры радиусов R_1 и R_2 заменяющих окружностей. Расчет размеров выполняем в виде расчетной таблицы.

№ формул	Обозначение	Формула	Заданные и постоянные размеры	Расчет	Результат
1	β	$\operatorname{tg} \beta = \frac{h_3 - h_2}{x_2}$	$\begin{aligned}h_3 &= 9,968 \\h_2 &= 3,707 \\x_2 &= 27,688\end{aligned}$	$\operatorname{tg} \beta = \frac{9,968 - 3,707}{27,688}$	$0,226126$ $12^\circ 44' 30''$
2	A	$A = 2\sqrt{h_2 h_3 \cos \beta}$	$\cos \beta = 0,975374$	$A = 2\sqrt{3,707 \cdot 9,968 \cdot 0,975374}$	11,858
3	R_1	$R_1 = \frac{h_2 + h_3 - A}{2 \sin^2 \beta}$	$\sin \beta = 0,220556$	$R_1 = \frac{3,707 + 9,968 - 11,858}{2 \cdot 0,220556^2}$	18,676
4	λ	$\sin \lambda = \frac{R_1 - h_2}{R_1}$	—	$\sin \lambda = \frac{18,676 - 3,707}{18,676}$	0,80151
5	μ	$\operatorname{tg} \mu = \frac{h_1 - h_2}{x_1}$	$\begin{aligned}h_1 &= 24,68 \\x_1 &= 14,312\end{aligned}$	$\operatorname{tg} \mu = \frac{24,68 - 3,707}{14,312}$	1,46541
6	δ	$\delta = 180^\circ - (\lambda + \mu)$	$\begin{aligned}\lambda &= 53^\circ 16' 30'' \\ \mu &= 55^\circ 41' 30''\end{aligned}$	$\delta = 180^\circ - (53^\circ 16' 30'' + 55^\circ 41' 30'')$	$71^\circ 2'$
7	R_2	$R_2 = \frac{x_1}{2 \cos \mu \cos \delta}$	$\begin{aligned}\cos \mu &= 0,563646 \\ \cos \delta &= 0,325018\end{aligned}$	$R_2 = \frac{14,312}{2 \cdot 0,563646 \cdot 0,325018}$	39,062

Примечание. Линейные величины в мм.

Дополнительно рассчитываем абсциссы l_1 и l_2 центров окружностей R_1 и R_2 непосредственно из чертежа профиля нормального сечения (фиг. 68). Согласно чертежу

$$\begin{aligned}l_1 &= R_1 \cos \lambda + x_1 = 18,676 \cdot 0,59798 + 14,312 = 25,48 \text{ мм}; \\l_2 &= R_2 \cos \lambda + x_1 = 39,062 \cdot 0,59798 + 14,312 = 37,67 \text{ мм}.\end{aligned}$$

Здесь угол λ определен по формуле (4) таблицы.

На фиг. 68 представлен чертеж профиля нормального сечения зуба фрезы (осевого профиля шлифовального круга) с найденными расчетом размерами.

10. Принятая по табл. 13 конструкция фрезы требует дополнительного расчета размера ножа, так как в таблице отсутствует ширина фрезы $B = 42$ мм. Расчет размеров ножа выполняется по формулам (стр. 71) расчета конструктивных размеров фасонных фрез с припаянными ножами. Согласно обозначениям размеров на фиг. 46, б и размерам профиля (фиг. 67), размеры ножа и гнезда корпуса определяются

$$\begin{aligned}\operatorname{tg} \varphi &= \frac{h - h_1}{B} = \\&= \frac{25,17 - 10,133}{42} = \\&= 0,35812;\end{aligned}$$

$\varphi = 19^\circ 42'$; округляем до $\varphi = 20^\circ$.

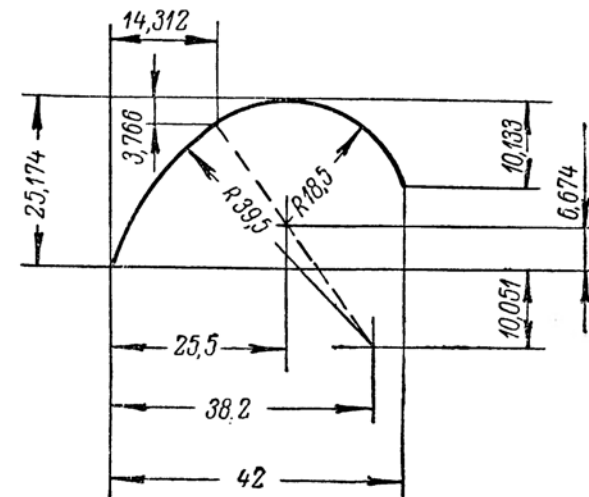
$$H = h_1 + K + B \operatorname{tg} \varphi + 7 = 10,133 + 9,5 + 42 \cdot 0,36397 + 7 \approx 42 \text{ мм};$$

$$H_0 = H \cos \varphi - m \sin \varphi = 42 \cdot 0,93969 - 25,5 \cdot 0,34202 \approx 31 \text{ мм};$$

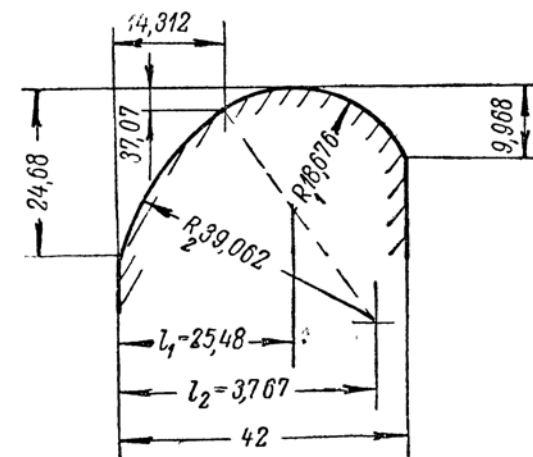
$$D_0 = D_k - 2H = 172 - 2 \cdot 42 = 88 \text{ мм}.$$

Остальные размеры фрезы выбираются по табл. 13 для $h = 25,17$ мм.

11. Чертеж фрезы с профилями осевого и нормального сечения представлен на фиг. 69.



Фиг. 67. Профиль фрезы по передней грани.



Фиг. 68. Профиль фрезы в нормальной плоскости.

ФРЕЗЫ ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС И ЧЕРВЯКОВ

§ 26. РАСЧЕТ ПОЛЯРНЫХ КООРДИНАТ ЭВОЛЬВЕНТЫ

А. Общие замечания

1. Приведенная ниже табл. 21 служит для упрощения расчета координат точек эвольвентных профилей, а также для выбора наиболее целесообразного ряда точек эвольвенты и последующего расчета прямоугольных координат точек профиля дисковых и пальцевых модульных фрез. Она может быть также использована для расчета точек эвольвентных кулаков, копиров и в других случаях.

2. Полярные координаты точек эвольвенты рассчитаны при радиусе основной окружности r_0 , равном единице.

3. Ряд значений единичного радиуса вектора ρ эвольвенты принят в таблице с разностью $\Delta\rho$ соседних значений $\Delta\rho = 0,002$, что в абсолютных величинах составляет $\Delta\rho_k = 0,002r_0$ радиуса основной окружности. В этом случае при диаметре основной окружности $d_0 = 1000$ мм разность $\Delta\rho_k = 1$ мм.

4. Для меньших значений r_0 следует пользоваться таблицей с интервалами 1, 2, 3 и т. д. значений ρ в зависимости от выбранного числа точек профиля.

5. Расчет значений угла давления α и полярного угла δ для точек профиля произведен по формулам

$$\sec \alpha = \rho; \quad \delta = \operatorname{inv} \alpha.$$

Б. Правила и пример пользования табл. 21

6. По заданным размерам: радиуса наружной окружности шестерни R_e , радиуса окружности впадин R_i , радиуса основной окружности r_0 и модуля m определяются предельные значения единичных радиусов-векторов по формулам

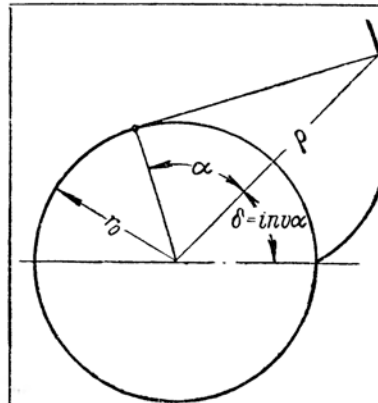
$$\rho_e = \frac{R_e + 0,2m}{r_0}; \quad \rho_i = \frac{R_i + 0,2m}{r_0}.$$

В тех случаях, когда $\rho_i < 1$, в последующих расчетах принимают его равным единице.

7. Задаемся числом p_0 точек рассчитываемого профиля, которые обычно берутся в пределах $p_0 = 8 - 25$ в зависимости от требуемой точности профиля. Определяем разность $\Delta\rho$ соседних единичных радиусов-векторов по формуле

$$\Delta\rho = \frac{\rho_e - \rho_i}{p_0 - 1}.$$

Таблица 21

ЕДИНИЧНЫЕ ПОЛЯРНЫЕ
КООРДИНАТЫ ЭВОЛЬВЕНТЫ(при радиусе основной окружности $r_0 = 1$)

№ точек	Радиус-вектор точки эвольвенты ρ	Угол давления α	Полярный угол δ	№ точек	Радиус-вектор точки эвольвенты ρ	Угол давления α	Полярный угол δ
1	1,002014	3°38'	18"	25	1,050081	17°46'	35'32"
2	1,004001	5°7'	49"	26	1,052060	18°6'	37'38"
3	1,006011	6°16'	1'30"	27	1,054083	18°26'	39'49"
4	1,008022	7°14'	2'19"	28	1,056044	18°45'	41'57"
5	1,010035	8°5'	3'15"	29	1,058045	19°4'	44'11"
6	1,012003	8°50'	4'14"	30	1,060087	19°23'	46'30"
7	1,014004	9°32'	5'20"	31	1,062058	19°41'	48'46"
8	1,016005	10°11'	6'31"	32	1,064065	19°59'	51'6"
9	1,018032	10°48'	7'47"	33	1,066110	20°17'	53'32"
10	1,020006	11°22'	9'5"	34	1,068075	20°34'	55'53"
11	1,022026	11°55'	10'29"	35	1,070073	20°51'	58'19"
12	1,024016	12°26'	11'56"	36	1,072106	21°8'	1° 0'49"
13	1,026029	12°56'	13'27"	37	1,074049	21°24'	1° 3'14"
14	1,028057	13°25'	15'3"	38	1,076024	21°40'	1° 5'44"
15	1,030019	13°52'	16'28"	39	1,078029	21°56'	1° 8'17"
16	1,032052	14°19'	18'20"	40	1,080065	22°12'	1°10'55"
17	1,034077	14°45'	20'5"	41	1,082002	22°27'	1°13'27"
18	1,036006	15°9'	21'47"	42	1,084098	22°43'	1°16'13"
19	1,038078	15°34'	23'41"	43	1,086092	22°58'	1°18'53"
20	1,040040	15°57'	25'31"	44	1,088115	23°13'	1°21'36"
21	1,042055	16°20'	27'27"	45	1,090028	23°27'	1°24'12"
22	1,044035	16°42'	29'22"	46	1,092105	23°42'	1°27'24"
23	1,046065	17°4'	31'24"	47	1,094070	23°56'	1°29'48"
24	1,048050	17°25'	33'25"	48	1,096060	24°10'	1°30'35"

№ точек	Радиус- вектор точки эвольвенты ρ	Угол давления α	Полярный угол δ	№ точек	Радиус- вектор точки эвольвенты ρ	Угол давления α	Полярный угол δ
49	1,098076	24°24'	1°35'26"	89	1,178109	31°55'	3°46'12"
50	1,100118	24°38'	1°38'21"	90	1,180037	32°4'	3°49'42"
51	1,102036	24°51'	1°41'6"	91	1,182197	32°14'	3°53'40"
52	1,104128	25°5'	1°44'8"	92	1,184155	32°23'	3°57'16"
53	1,106094	25°18'	1°47'1"	93	1,186129	32°32'	4°0'54"
54	1,108082	25°31'	1°49'57"	94	1,188117	32°41'	4°4'35"
55	1,110094	25°44'	1°52'56"	95	1,190120	32°50'	4°8'19"
56	1,112129	25°57'	1°55'59"	96	1,192138	32°59'	4°12'5"
57	1,114028	26°9'	1°58'51"	97	1,194171	33°8'	4°15'53"
58	1,116108	26°22'	2°2'1"	98	1,196219	33°17'	4°19'45"
59	1,118050	26°34'	2°5'0"	99	1,198053	33°25'	4°23'13"
60	1,120011	26°46'	2°8'1"	100	1,200130	33°34'	4°27'9"
61	1,122160	26°59'	2°11'22"	101	1,202223	33°43'	4°31'8"
62	1,124165	27°11'	2°14'29"	102	1,204096	33°51'	4°34'43"
63	1,126021	27°22'	2°17'25"	103	1,206218	34°0'	4°38'47"
64	1,128066	27°34'	2°20'44"	104	1,208118	34°8'	4°42'27"
65	1,130132	27°46'	2°23'58"	105	1,210030	34°16'	4°46'8"
66	1,132045	27°57'	2°27'2"	106	1,212196	34°25'	4°50'21"
67	1,134153	28°9'	2°30'27"	107	1,214135	34°33'	4°54'5"
68	1,136104	28°20'	2°33'37"	108	1,216087	34°41'	4°57'50"
69	1,138073	28°31'	2°36'50"	109	1,218052	34°49'	5°1'47"
70	1,140061	28°42'	2°40'7"	110	1,220030	34°57'	5°5'40"
71	1,142067	28°53'	2°43'26"	111	1,222020	35°5'	5°9'36"
72	1,144093	29°4'	2°46'48"	112	1,224024	35°13'	5°13'33"
73	1,146137	29°15'	2°50'14"	113	1,226042	35°21'	5°17'34"
74	1,148012	29°25'	2°53'23"	114	1,228072	35°29'	5°21'37"
75	1,150093	29°36'	2°56'55"	115	1,230116	35°37'	5°25'42"
76	1,152001	29°46'	3°0'10"	116	1,232174	35°45'	5°29'49"
77	1,154119	29°57'	3°3'47"	117	1,234245	35°53'	5°33'59"
78	1,156062	30°7'	3°7'8"	118	1,236068	36°0'	5°37'39"
79	1,158021	30°17'	3°10'31"	119	1,238165	36°8'	5°42'26"
80	1,160195	30°28'	3°14'18"	120	1,240011	36°15'	5°45'38"
81	1,162188	30°38'	3°17'47"	121	1,242134	36°23'	5°50'0"
82	1,164199	30°48'	3°21'18"	122	1,244003	36°30'	5°53'49"
83	1,166022	30°57'	3°24'32"	123	1,246152	36°38'	5°58'13"
84	1,168065	31°7'	3°28'9"	124	1,248044	36°45'	6°2'6"
85	1,170124	31°17'	3°31'49"	125	1,250220	36°53'	6°6'34"
86	1,172201	31°27'	3°35'32"	126	1,252136	37°0'	6°10'31"
87	1,174085	31°36'	3°38'55"	127	1,254062	37°7'	6°14'30"
88	1,176195	31°46'	3°42'43"	128	1,256000	37°14'	6°18'32"

№ точек	Радиус- вектор точки эвольвенты ρ	Угол давления α	Полярный угол δ	№ точек	Радиус- вектор точки эвольвенты ρ	Угол давления α	Полярный угол δ
129	1,258229	37°22'	6°23'10"	169	1,338297	41°39'	9°18'32"
130	1,260191	37°29'	6°27'18"	170	1,340032	41°44'	9°22'31"
131	1,262165	37°36'	6°31'25"	171	1,342123	41°50'	9°27'18"
132	1,264150	37°43'	6°35'35"	172	1,344225	41°56'	9°32'7"
133	1,266146	37°50'	6°39'49"	173	1,346338	42°2'	9°36'59"
134	1,268154	37°57'	6°44'2"	174	1,348107	42°7'	9°41'3"
135	1,270174	38°4'	6°48'18"	175	1,350240	42°13'	9°45'58"
136	1,272205	38°11'	6°52'38"	176	1,352025	42°18'	9°50'7"
137	1,274248	38°18'	6°56'58"	177	1,354178	42°24'	9°55'6"
138	1,276009	38°24'	7°00'43"	178	1,356342	42°30'	10°0'8"
139	1,278074	38°31'	7°5'9"	179	1,358153	42°35'	10°4'19"
140	1,280152	38°38'	7°9'35"	180	1,360337	42°41'	10°9'25"
141	1,282241	38°45'	7°14'1"	181	1,362166	42°46'	10°13'40"
142	1,284042	38°51'	7°17'58"	182	1,364002	42°51'	10°17'58"
143	1,286154	38°58'	7°22'30"	183	1,366216	42°57'	10°23'10"
144	1,288278	39°5'	7°27'7"	184	1,368070	43°2'	10°27'30"
145	1,290109	39°11'	7°30'45"	185	1,370305	43°8'	10°32'45"
146	1,292256	39°18'	7°35'47"	186	1,372176	43°13'	10°37'9"
147	1,294107	39°24'	7°39'48"	187	1,374055	43°18'	10°41'33"
148	1,296278	39°31'	7°44'33"	188	1,376321	43°24'	10°46'55"
149	1,298149	39°37'	7°48'38"	189	1,378218	43°29'	10°51'23"
150	1,300029	39°43'	7°52'46"	190	1,380123	43°34'	10°55'55"
151	1,302234	39°50'	7°57'36"	191	1,382037	43°39'	11°0'28"
152	1,304135	39°56'	8°1'48"	192	1,384344	43°45'	11°5'56"
153	1,306045	40°2'	8°6'1"	193	1,386275	43°50'	11°10'32"
154	1,308286	40°9'	8°10'59"	194	1,388215	43°55'	11°15'8"
155	1,310217	40°15'	8°15'17"	195	1,390164	44°0'	11°19'47"
156	1,312158	40°21'	8°19'34"	196	1,392120	44°5'	11°24'29"
157	1,314108	40°27'	8°23'56"	197	1,394086	44°10'	11°29'11"
158	1,316068	40°33'	8°28'18"	198	1,396059	44°15'	11°33'35"
159	1,318039	40°39'	8°32'42"	199	1,398042	44°20'	11°38'39"
160	1,320019	40°45'	8°37'8"	200	1,400033	44°25'	11°43'33"
161	1,322009	40°51'	8°41'37"	201	1,402032	44°30'	11°48'17"
162	1,324009	40°57'	8°46'7"	202	1,404040	44°35'	11°53'6"
163	1,326019	41°3'	8°50'39"	203	1,406057	44°40'	11°57'58"
164	1,328040	41°9'	8°55'13"	204	1,408083	44°45'	12°2'54"
165	1,330071	41°15'	8°59'50"	205	1,410118	44°50'	12°7'47"
166	1,332112	41°21'	9°4'28"	206	1,412161	44°55'	12°12'45"
167	1,334163	41°27'	9°9'7"	207	1,414214	45°0'	12°17'43"
168	1,336225	41°33'	9°13'49"	208	1,416275	45°5'	12°22'45"

№ точек	Радиус-вектор точки эвольвенты ρ	Угол давления α	Полярный угол δ	№ точек	Радиус-вектор точки эвольвенты ρ	Угол давления α	Полярный угол δ
209	1,418345	45°10'	12°27'47"	249	1,498353	48°8'	15°47'56"
210	1,420008	45°14'	12°31'52"	250	1,500302	48°12'	15°52'56"
211	1,422095	45°19'	12°36'56"	251	1,502258	48°16'	15°57'56"
212	1,424191	45°24'	12°42'4"	252	1,504221	48°20'	16°3'0"
213	1,426296	45°29'	12°47'14"	253	1,506191	48°24'	16°8'2"
214	1,428110	45°34'	12°52'27"	254	1,508169	48°28'	16°13'8"
215	1,430109	45°38'	12°56'35"	255	1,510154	48°32'	16°18'12"
216	1,432240	45°43'	13°1'52"	256	1,512146	48°36'	16°23'23"
217	1,434380	45°48'	13°7'6"	257	1,514145	48°40'	16°28'31"
218	1,436100	45°52'	13°11'23"	258	1,516152	48°44'	16°33'43"
219	1,438257	45°57'	13°16'39"	259	1,518163	48°48'	16°38'54"
220	1,440425	46°2'	13°22'2"	260	1,520188	48°52'	16°44'10"
221	1,442165	46°6'	13°26'21"	261	1,522217	48°56'	16°49'23"
222	1,444350	46°11'	13°31'45"	262	1,524253	49°0'	16°54'41"
223	1,446104	46°15'	13°36'6"	263	1,526297	49°4'	16°59'58"
224	1,448306	46°20'	13°41'35"	264	1,528349	49°8'	17°5'19"
225	1,450075	46°24'	13°46'0"	265	1,530408	49°12'	17°10'41"
226	1,452295	46°29'	13°51'31"	266	1,532475	49°16'	17°16'2"
227	1,454077	46°33'	13°55'58"	267	1,534030	49°19'	17°20'6"
228	1,456315	46°38'	14°1'33"	268	1,536110	49°23'	17°25'33"
229	1,458112	46°42'	14°6'2"	269	1,538198	49°27'	17°31'0"
230	1,460368	46°47'	14°11'43"	270	1,540294	49°31'	17°36'27"
231	1,462179	46°51'	14°16'14"	271	1,542397	49°35'	17°41'58"
232	1,464453	46°56'	14°21'58"	272	1,544509	49°39'	17°47'29"
233	1,466279	47°0'	14°26'31"	273	1,546097	49°42'	17°51'39"
234	1,468112	47°4'	14°31'10"	274	1,548223	49°46'	17°57'12"
235	1,470412	47°9'	14°36'56"	275	1,550356	49°50'	18°2'50"
236	1,472260	47°13'	14°41'37"	276	1,552497	49°54'	18°8'27"
237	1,474114	47°17'	14°46'17"	277	1,554103	49°57'	18°12'43"
238	1,476442	47°22'	14°52'10"	278	1,556263	50°1'	18°18'21"
239	1,478311	47°26'	14°56'52"	279	1,558427	50°5'	18°24'4"
240	1,480187	47°30'	15°1'39"	280	1,560055	50°8'	18°28'21"
241	1,482070	47°34'	15°6'27"	281	1,562232	50°12"	18°34'6"
242	1,484433	47°39'	15°12'25"	282	1,564418	50°16"	18°39'52"
243	1,486332	47°43'	15°17'14"	283	1,566033	50°19"	18°44'17"
244	1,488237	47°47'	15°22'6"	284	1,568263	50°23"	18°50'4"
245	1,490149	47°51'	15°26'56"	285	1,570472	50°27"	18°55'56"
246	1,492068	47°55'	15°31'52"	286	1,572134	50°30"	19°0'21"
247	1,494477	48°0'	15°38'0"	287	1,574357	50°34"	19°6'12"
248	1,496411	48°4'	15°42'58"	288	1,576030	50°37"	19°10'39"

№ точек	Радиус-вектор точки эвольвенты ρ	Угол давления α	Полярный угол δ	№ точек	Радиус-вектор точки эвольвенты ρ	Угол давления α	Полярный угол δ
289	1,578268	50°41'	19°16'37"	295	1,590158	51°2'	19°48'19"
290	1,580515	50°45'	19°22'35"	296	1,592450	51°6'	19°54'27"
291	1,582205	50°48'	19°27'4"	297	1,594175	51°9'	19°59'2"
292	1,584467	50°52'	19°33'8"	298	1,596482	51°13'	20°5'14"
293	1,586169	50°55'	19°37'39"	299	1,598219	51°16'	20°9'54"
294	1,588445	50°59'	19°43'45"	300	1,600542	51°20'	20°16'8"

Наименьший условный радиус-вектор $\rho_{\min}$ будет равен $\rho_{\min} = 1 + \Delta\rho$, который округляем до ближайшего большего табличного значения ρ . В этом случае номер точки по таблице, соответствующий значению округленного ρ , указывает, через какое количество точек таблицы следует взять все последующие радиусы-векторы для соблюдения расчетного интервала $\Delta\rho$.

Например, если номер точки по таблице для $\rho_{\min}$ будет равен 6, то номера последующих радиусов-векторов будут кратными 6 и равны 12; 18; 24; 30; 36 и т. д. до ближайшего большего значения ρ_e .

По данным номерам точек таблицы берутся соответствующие значения единичных полярных координат ρ и δ .

Действительные радиусы-векторы определяются по формуле

$$\rho_k = \rho r_0.$$

Расчет прямоугольных координат точек профиля фрезы относительно оси симметрии впадины шестерни производится по формулам (1), (4) (5) ÷ (8) п. 3 § 27.

Пример. Заданы следующие размеры зубчатого колеса: $R_e = 204$ мм; $R_i = 177,6$ мм; $r_0 = 180,421$ мм; $m = 12$ мм.

Рассчитываем предельные значения единичных радиусов-векторов ρ :

$$\rho_e = \frac{R_e + 0,2m}{r_0} = \frac{204 + 0,2 \cdot 12}{180,421} = 1,14405;$$

$$\rho_i = \frac{R_i + 0,2m}{r_0} = \frac{177,6 + 0,2 \cdot 12}{180,421} = 0,99766.$$

Округляем $\rho_i = 1$.

Задаемся расстоянием между точками профиля по высоте, равным $\Delta t = 2$ мм. Тогда общее число точек при высоте зуба $h = R_e - R_i = 26,4$ будет:

$$\rho_0 = \frac{h}{\Delta t} + 1 = \frac{26,4}{2} + 1 \approx 14.$$

Разность $\Delta \rho$ величин соседних единичных радиусов векторов

$$\Delta \rho = \frac{\rho_e - \rho_i}{\rho_0 - 1} = \frac{1,14405 - 1,0}{14 - 1} = 0,01108.$$

Наименьший условный радиус вектор $\rho_{\min}$

$$\rho_{\min} = 1 + \Delta \rho = 1 + 0,01108 = 1,01108.$$

Округляем значение $\rho_{\min}$ до ближайшего большего табличного значения $\rho = 1,012003$, номер точки которого равен 6.

Последующие значения ρ берутся по номерам точек, кратным 6, именно: 6; 12; 18; 24 и т. д. до $\rho = 1,144$.

Тогда полярные координаты точек ρ , δ и ρ_k будут характеризоваться следующей таблицей:

№ точек по таблице	ρ	ρ_k	δ
0	1	180,421	0
6	1,012003	182,597	0°4'14"
12	1,024016	184,754	0°11'56"
18	1,036016	186,919	0°21'47"
24	1,048050	189,090	0°33'25'
30	1,060087	191,262	0°46'30"
36	1,072106	193,430	1°0'49"
42	1,084098	195,594	1°16'13"
48	1,096060	197,752	1°30'35"
54	1,108082	199,921	1°49'57"
60	1,120011	202,074	2°8'1"
66	1,132045	204,245	2°27'2"
72	1,144093	206,418	2°46'48"

Остальные расчеты ведем по формулам (1), (4), (5) ÷ (8) п. 3 § 27.

§ 27. РАСЧЕТ ДИСКОВОЙ МОДУЛЬНОЙ ФРЕЗЫ ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПРЯМОЗУБЫХ ШЕСТЕРЕН

[3, стр. 142—150], [10, стр. 75—107]

А. Назначение и расчетные формулы

1. Данные фрезы используются при нарезании эвольвентных шестерен в тех случаях, когда дисковые модульные фрезы из стандартного набора не удовлетворяют требованиям точности, а применение червячных фрез по каким-либо причинам исключено. Ниже приведенные расчеты позволяют точно определить профиль, как для шестерен нормального зацепления, так и скорректированных шестерен.

2. Для расчета профиля фасонной фрезы должны быть известны следующие размеры зубчатого колеса:

m — модуль;

z — число зубцов;

α_0 — угол давления;

ξ — коэффициент смещения (коррекции);

$D_e = 2R_e$ — диаметр окружности выступов;

$D_i = 2R_i$ — диаметр окружности впадин;

f — коэффициент высоты головки;

C — радиальный зазор;

Δs — обязательное утонение зуба.

Тогда радиус основной окружности рассчитывается по формуле

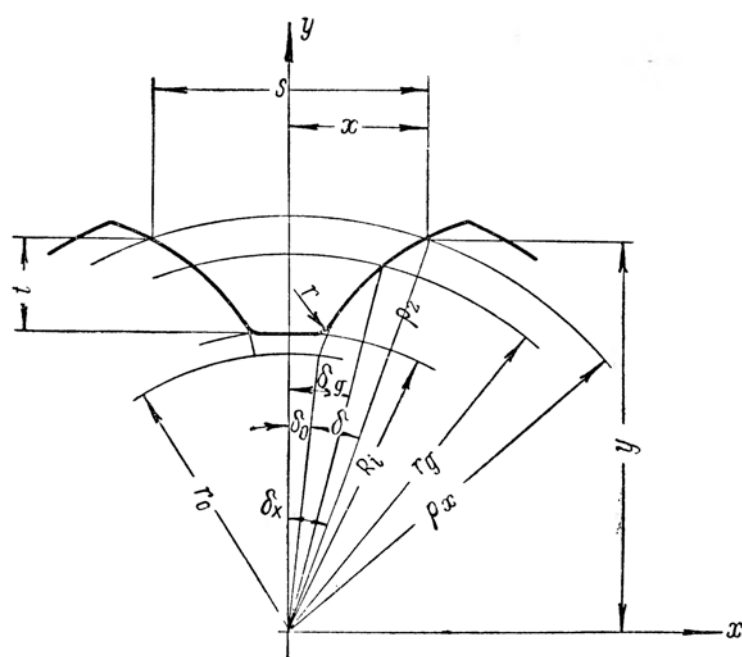
$$r_0 = \frac{mz}{2} \cos \alpha_0.$$

В тех случаях, когда важно определить размеры переходного закругления у заданной шестерни, должны быть дополнительно известны основные размеры сцепляющегося с ней колеса.

3. Построение профиля фрезы осуществляется двумя способами: заданием координат точек профиля эвольвенты, т. е. высоты t и ширины S (фиг. 70), определяемых расчетным путем, или заданием заменяющей эвольвентный профиль окружности.

Расчет координат точек профиля фрезы производится с помощью табл. 21. В тех же случаях, когда таблица является недостаточной по пределам значений ρ , следует пользоваться нижеприведенными формулами.

Для расчета предварительно следует задать ряд значений ρ_x радиусов-векторов точек эвольвентного профиля шестерни. Ниже приводятся формулы для расчета одной точки для заданного значения ρ_x .



Фиг. 70. Расчет эвольвентного профиля дисковой модульной фрезы.

4. Для получения более прочного зуба у шестерни рекомендуется радиус закругления у его основания выбирать по размерам переходной кривой, описываемой сопряженной шестерней. Однако в большинстве случаев размеры радиуса закругления у основания зуба задают по размерам переходной кривой при зацеплении данной шестерни с рейкой.

В случае узкой впадины между зубцами корригированной шестерни приходится несколько уменьшать радиус закругления у основания зуба.

Радиусы закругления у вершины зуба рекомендуется рассчитывать по формуле

$$r = Km,$$

где K — коэффициенты, приведенные в табл. 22.

Таблица 22

КОЭФФИЦИЕНТЫ ПЕРЕХОДНЫХ ЗАКРУГЛЕНИЙ ЗУБЦОВ

Число зубцов z шестерни	Коэффициенты K при	
	$\alpha_0 = 15^\circ, C = 0,16 m$	$\alpha_0 = 20^\circ, C = 0,2 m$
12—13	0,35	0,30
14—16	0,35	0,25
17—20	0,30	0,20
21—26	0,20	0,20
27— ∞	0,16	0,20

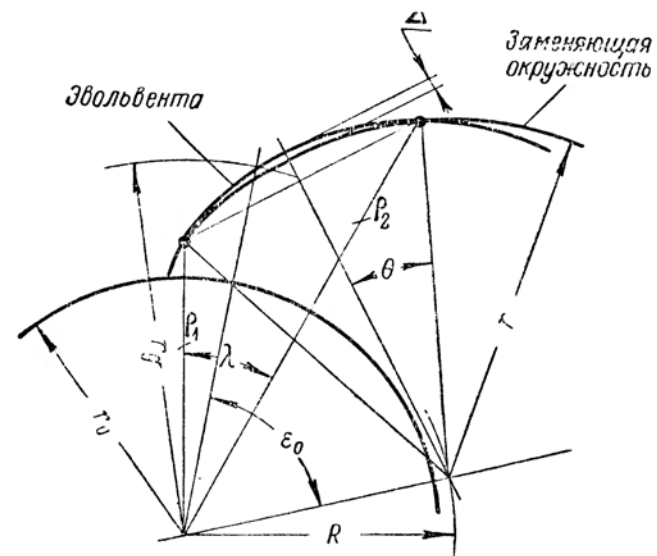
Здесь C — коэффициент радиального зазора.

Профиль ножки зуба шестерни, у которой диаметр основной окружности больше диаметра окружности впадин, очерчивается, как правило, по радиальной прямой.

5. Когда профиль модульной фрезы (по условиям изготовления шаблона и затыловочного резца) целесообразно задавать по дуге окружности, заменяющей эвольвентный профиль, то расчет радиуса r заменяющей окружности и R радиуса центра окружности (фиг. 71) производится по приведенным ниже формулам. При выполнении расчета предварительно задаются двумя крайними радиусами-векторами $\rho'_1 = R_i + C$ и $\rho' = R_e$ эвольвентного профиля шестерни, через точки которых проходит дуга заменяющей окружности.

№ формул	Обозначение промежуточной величины	Формула
1	δ_∂	$\delta_\partial = \frac{\pi}{2z} - \frac{2\xi \operatorname{tg} \alpha_0}{z} + \frac{\Delta S}{m.z}$
2	δ_0	$\delta_0 = \delta_\partial - \operatorname{inv} \alpha_0$
3	α_x	$\cos \alpha_x = \frac{r_0}{\rho_x}$
4	δ_x	$\delta_x = \delta_0 + \operatorname{inv} \alpha_x = \delta_0 + \delta$
5	x	$x = \rho_x \sin \delta_x$
6	y	$y = \rho_x \cos \delta_x$
7	S	$S = 2x$
8	t	$t = y - R_f$

№ формул	Обозначение	Формула	Примечание
1	ρ_1	$\rho_1 = \frac{R_i + C}{r_0}$	ρ_1 — округляется до ближайшего значения табл. 21. Здесь C — радиальный зазор
2	ρ_2	$\rho_2 = \frac{R_e}{r_0}$	ρ_2 — округляется до ближайшего меньшего значения табл. 21
3	δ_1	По табл. 21	Соответствует округленному значению ρ_1
4	δ_2	По табл. 21	Соответствует округленному значению ρ_2
5	λ	$\lambda = \delta_2 - \delta_1$	
6	θ	$\theta \operatorname{cosec} \theta = \frac{\frac{2}{\rho_2} - \frac{2}{\rho_1}}{2\sqrt{\frac{2}{\rho_1} + \frac{2}{\rho_2} - 2\rho_1\rho_2 \cos \lambda}}$	θ — см приложение 1
7	r'	$r' = \frac{\frac{2}{\rho_2} - \frac{2}{\rho_1}}{4\theta}$	θ — в радианах r' — радиус заменяющей окружности в относительных величинах
8	r	$r = r' r_0$	
9	β	$\operatorname{ctg} \beta = \frac{\rho_2}{\rho_1} \operatorname{cosec} \lambda - \operatorname{ctg} \lambda$	
10	φ	$\varphi = \beta + \theta$	
11	ε	$\operatorname{ctg} \varepsilon = \frac{\rho_2}{r'} \sec \varphi - \operatorname{tg} \varphi$	
12	R	$R = r \cos \varphi \operatorname{cosec} \varepsilon$	R — радиус центра окружности радиуса r
13	ε_0	$\varepsilon_0 = \varepsilon + \lambda - \delta_0$	$\delta_0 = \operatorname{inv} \alpha_0$



Фиг. 71. Расчет окружности, заменяющей эвольвентный профиль.

6. Расчет радиуса заменяющей окружности по приведенным формулам дает наивыгоднейшую окружность с наименьшими отклонениями от эвольвенты.

Наибольшая величина отклонения Δ окружности от эвольвенты (фиг. 71) определяются по следующим формулам:

№ формул	Обозначение	Формула
1	μ	$\cos \mu = \frac{r_0}{R}$
2	μ_0	$\mu_0 = \mu + \varepsilon + \delta_2$
3	L	$L = r_0 \mu_0$
4	n	$n = r_0 \operatorname{tg} \mu$
5	Δ	$\Delta = L - (n + r)$

Здесь δ_2 и ϵ определяются по формулам (4) и (11) предыдущего расчета (стр. 110).

Б. Пример расчета

7. Заданы следующие размеры обрабатываемой шестерни (обозначения согласно п. 2 данного расчета):

$$m = 9 \text{ мм}; \quad z = 20; \quad \alpha_0 = 20^\circ; \quad \xi = 0,449;$$

$$D_e = 2R_e = 204 \text{ мм}; \quad D_i = 2R_i = 171,6 \text{ мм}; \quad f = 0,8,$$

$$C = 1,8 \text{ мм}; \quad \Delta S = 0,16 \text{ мм}.$$

Радиус основной окружности шестерни будет

$$r_0 = \frac{mz}{2} \cos \alpha_0 = \frac{9 \cdot 20}{2} \cos 20^\circ = 84,572 \text{ мм}.$$

8. Расчет координат точек профиля фрезы производится с помощью табл. 21. Угловая ширина δ_∂ впадины по дуге делительной окружности рассчитывается по формуле (1) п. 3 (стр. 109)

$$\delta_\partial = \frac{\pi}{2z} - \frac{2\xi \operatorname{tg} \alpha_0}{z} + \frac{\Delta S_\partial}{mz} =$$

$$= \frac{3,1416}{2 \cdot 20} - \frac{2 \cdot 0,449 \cdot 0,36397}{20} + \frac{0,16}{20,9}$$

$$\delta_\partial = 0,063087 \text{ рад.};$$

$$\delta_\partial^2 = 3^\circ 35' 28''.$$

Угловая ширина профиля зуба по дуге основной окружности определяется по формуле (2) п. 3 расчета

$$\delta_0 = \delta_\partial - \operatorname{inv} \alpha_0 = 3^\circ 35' 28'' -$$

$$- 51' 15'' = 2^\circ 44' 13''.$$

Единичные радиусы-векторы ρ_e наружной окружности и ρ_i наименьшей окружности шестерни определяются согласно формулам, приведенным в правилах пользования табл. 21.

$$\rho_e = \frac{R_e + 0,2m}{r_0} = \frac{102 + 0,2 \cdot 9}{84,572} =$$

$$= 1,227366;$$

$$\rho_i = \frac{R_i + 0,2m}{r_0} = \frac{85,8 + 0,2 \cdot 9}{84,572} =$$

$$= 1,03580.$$

Высота профиля зуба равна $h = R_e - R_i = 102 - 85,8 = 16,2 \text{ мм}$. В этом случае, располагая точки на профиле через 1 мм по высоте, число точек p_0 профиля будет $p_0 = 16$.

Изменение единичных радиусов-векторов будет

$$\Delta \rho = \frac{\rho_e - \rho_i}{p_0 - 1} = \frac{1,22736 - 1,03580}{16 - 1} = 0,0128.$$

Округляем значение $\Delta \rho$ до ближайшего четного числа тысячных долей значения $\Delta \rho$, именно: $\Delta \rho = 0,014$. В этом случае $\rho = 1,014$ соответствует значению ρ для точки № 7 табл. 21.

Принимая первое значение ρ по табл. 21, равное $\rho_1 = 1 + 2\Delta \rho = 1,028$, как ближайшее к ρ_i значению, замечаем, что $\rho_1 = 1,028057$ соответствует точке № 14 таблицы. Все последующие значения определяются, если взять номера точек таблицы, кратные 7, именно № 14; 21; 28; 35 и т. д. до № 119. В этом случае раз-

№ точек по табл. 21	ρ	δ	$\delta_v = \delta_0 + \delta$ ($\delta_0 = 2^\circ 44' 13''$)	$\sin \delta_x$	$\cos \delta_x$	$\rho_x = \rho r_0$ ($r_0 = 84,572$)	$x = \rho_x \sin \delta_x$	$y = \rho_x \cos \delta_x$	$S = 2x$	$t = y - R_i$ ($R_i = 85,8$)
14	1,028057	15'3"	2°59'26"	0,052172	0,998631	86,914	4,534	86,795	9,068	0,995
21	1,042055	27'27"	3°11'40"	0,055725	0,998446	88,097	4,910	87,960	9,820	2,160
28	1,056054	41'57"	3°26'10"	0,059936	0,998202	89,281	5,351	89,120	10,702	3,320
35	1,070073	58'19"	3°42'32"	0,064687	0,997906	90,466	5,851	90,277	11,702	4,477
42	1,084098	1°16'13"	4°0'26"	0,069882	0,997555	91,652	6,405	91,428	12,810	5,628
49	1,098076	1°35'26"	4°19'29"	0,075457	0,997149	92,834	6,995	92,569	13,990	6,769
56	1,112129	1°55'59"	4°40'12"	0,081416	0,996680	94,022	7,655	93,740	15,310	7,940
63	1,12602	2°17'25"	5°1'38"	0,087628	0,996108	95,196	8,342	94,825	16,684	9,025
70	1,14006	2°40'7"	5°24'20"	0,094204	0,995552	96,383	9,080	95,954	18,160	10,154
77	1,154119	3°3'47"	5°48'	0,101056	0,994880	97,572	9,860	97,072	19,720	11,27
84	1,16865	3°28'9"	6°12'22"	0,107105	0,994139	98,751	10,466	98,172	20,932	12,372
91	1,182197	3°53'40"	6°37'53"	0,115481	0,993309	99,945	11,542	99,276	23,084	13,476
98	1,196219	4°19'45"	7°3'58"	0,123014	0,992404	101,131	12,441	100,363	24,882	14,563
105	1,210030	4°46'8"	7°30'21"	0,130627	0,991431	102,293	13,252	101,421	26,504	15,621
112	1,224024	5°13'33"	7°57'46"	0,138528	0,990358	103,481	14,335	102,483	28,670	16,683
119	1,238165	5°42'26"	8°26'39"	0,146845	0,989159	104,677	15,371	103,542	30,742	17,742

ность соседних значений ρ , взятых по таблице по указанным номерам, будет постоянной величиной и равной $\Delta\rho \approx 0,014$. По принятым значениям ρ берутся соответствующие им значения δ — полярных углов точек эвольвенты. Дальнейшие расчеты точек ведутся по формулам (4) ÷ ÷ (8) п. 3 расчета координат эвольвентного профиля. Расчет выполняется в форме расчетной таблицы (см. стр. 111).

Радиус закругления вершины профиля зуба фрезы рассчитываем с помощью таблицы 22

$$r = 0,2m = 0,2 \cdot 9 = 1,8 \text{ мм.}$$

9. Наибольшая высота t профиля фрезы $t = 17,742 \text{ мм}$ и наибольшая ширина $S = 30,742 \text{ мм}$, поэтому ширину фрезы берем равной $B = 32 \text{ мм}$, а габаритные и конструктивные размеры — по табл. 9 для высоты профиля фрезы $h = t \approx 18 \text{ мм}$. Этой высоте профиля будет соответствовать фреза с наружным диаметром $D = 110 \text{ мм}$. Остальные размеры фрезы берутся по табл. 9. Размеры ступицы задаются с учетом возможности затачивания фрезы в одну установку.

На фиг. 72 представлен чертеж дисковой модульной фрезы с профилем, заданным координатами точек, согласно расчету.

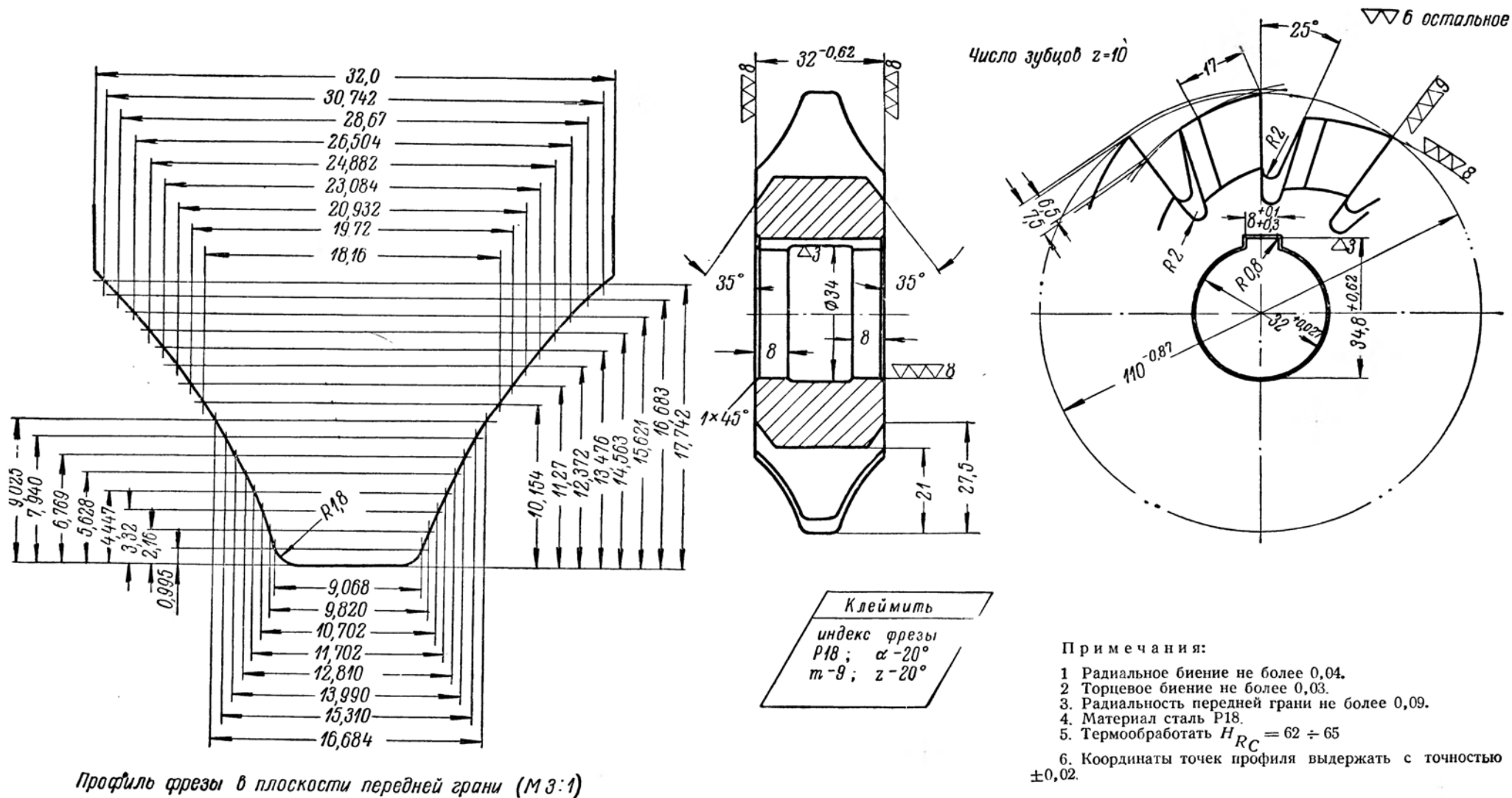
В. Пример расчета радиуса заменяющей (эвольвентный профиль) окружности

10. Для шестерни с размерами, приведенными в предыдущем примере, наивыгоднейший радиус r и полярные координаты R и ϵ_0 центра заменяющей эвольвентный профиль окружности определяются по формулам п. 5 данного параграфа. Расчет представлен в форме расчетной таблицы:

11. Расчет наибольшего отклонения Δ заменяющей окружности от эвольвенты произво-

№ формул	Обозначение	Формула	Расчет	Результат
1	ρ_1	$\rho_1 = \frac{R_t + c}{r_0}$	$\rho_1 = \frac{85,8 + 1,8}{84,572}$	1,03580
2	ρ_2	$\rho_2 = \frac{R_e}{r_0}$	$\rho_2 = \frac{182}{84,572}$	1,23827
3	δ_1	Для округленного до $\rho_1 = 1,028057$	$\delta_1 = 15'3''$	.
4	δ_2	Для округленного до $\rho_2 = 1,23817$	$\delta_2 = 5^\circ 42' 26''$	
5	λ	$\lambda = \delta_2 - \delta_1$	$\lambda = 5^\circ 42' 26'' - 15'3''$	$5^\circ 27' 23''$
6	θ	$\theta \operatorname{cosec} \theta = \frac{\rho_2^2 - \rho_1^2}{2 \sqrt{\rho_1^2 + \rho_2^2 - 2\rho_1\rho_2 \cos \lambda}}$	$\frac{1,23817^2 - 1,02806^2}{2 \sqrt{1,02806^2 + 1,23817^2 - 2 \cdot 1,02806 \cdot 1,23817 \cdot 0,995469}}$	$\frac{1,008976}{\theta} = 13^\circ 15' 20''$
7	r'	$r' = \frac{\rho_2^2 - \rho_1^2}{4\theta}$	$r' = \frac{1,23817^2 - 1,02806^2}{4 \cdot 0,23140}$	0,514431
8	r	$r = r' r_0$	$r = 0,514431 \cdot 84,572$	43,506
9	β	$\operatorname{ctg} \beta = \frac{\rho_2}{\rho_1} \operatorname{cosec} \lambda - \operatorname{ctg} \lambda$	$\operatorname{ctg} \beta = \frac{1,23817}{1,028057} \cdot 10,5165 - 10,4690$	$\frac{2,18694}{\beta} = 24^\circ 34' 20''$
10	φ	$\varphi = \lambda + \beta$	$\varphi = 24^\circ 34' 20'' + 13^\circ 15' 20''$	$37^\circ 49' 40''$
11	ϵ	$\operatorname{ctg} \epsilon = \frac{\rho_2}{r'} \sec \varphi - \operatorname{tg} \varphi$	$\operatorname{ctg} \epsilon = \frac{1,23817}{0,514431} \cdot 1,26605 - 0,776456$	$\frac{2,27076}{\epsilon} = 23^\circ 46'$
12	R	$R = r \cos \varphi \operatorname{cosec} \epsilon$	$R = 43,506 \cdot 0,789858 \cdot 2,48131$	85,267
13	ϵ_0	$\epsilon_0 = \epsilon + \lambda + \delta_0$	$\epsilon_0 = 23^\circ 46' + 5^\circ 27' 23'' - 51' 15''$	$28^\circ 22' 8''$

Примечание. $\theta \operatorname{cosec} \theta$ находятся по приложению 1, а δ_1 и δ_2 по табл. 21.



Фиг. 72. Фреза дисковая модульная для прямозубой шестерни, $m = 9$ и $z = 20$.

дится по формулам п. 6 данного параграфа. Расчеты выполняются в форме таблицы

№ формул	Обозначение	Формула	Расчет	Результат
1	μ	$\cos \mu = \frac{r_0}{R}$	$\cos \mu = \frac{84,572}{85,267}$	0,991849 $\mu = 7^\circ 13' 10''$
2	μ_0	$\mu_0 = \mu + \varepsilon + \delta_2$	$\mu_0 = 7^\circ 19' 10'' + 23^\circ 46' + 5^\circ 42' 26''$	$36^\circ 47' 36'' = 0,642165 \text{ рад.}$
3	L	$L = r_0 \mu_0$	$L = 84,572 \cdot 0,642165$	54,309
4	n	$n = r_0 \operatorname{tg} \mu$	$n = 84,572 \cdot 0,128448$	10,863
5	Δ	$\Delta = L - (n+r)$	$\Delta = 54,309 - (10,863 + 43,506)$	-0,06

§ 28. РАСЧЕТ ДИСКОВОЙ ФАСОННОЙ ФРЕЗЫ ДЛЯ АРХИМЕДОВА ЧЕРВЯКА

[3, стр. 189—197], [5, стр. 246—249], [13, стр. 221—225]

А. Общие замечания и формулы

1. Дисковые фрезы для обработки червяков устанавливаются на станке так, чтобы между осями червяка и фрезы был угол скрещивания β , равный углу подъема средней винтовой линии нарезки червяка.

В нижеприведенных расчетах фрез для червяков учитывается указанный угол β установки, и линия кратчайшего расстояния между осями совпадает с линией симметрии профиля фрезы.

2. Архимедов червяк характеризуется тем, что в осевой плоскости он имеет прямолинейный профиль, а в сечении плоскостью, перпендикулярной его оси, — архимедову спираль. Линия контакта между поверхностью червяка и поверхностью вращения, проходящей через режущие кромки фрезы, является неплоской кривой и поэтому профиль фрезы не совпадает ни с одним из профилей плоских сечений червяка. Форма поверхности вращения, проходя-

щей через режущие кромки фрезы, может быть представлена как огибающая поверхность, полученная от вращения червяка вокруг оси фрезы.

3. Схема расположения червяка и фрезы показана на фиг. 73.

Нижеприведенные формулы для расчета координат точек осевого профиля фрезы (поверхности вращения) предполагают расположение прямоугольных систем координат $x_k y_k z_k$ так, как изображено на фиг. 73. При этом ось x_k совпадает с осью фрезы, а ось y_k совпадает с осью симметрии профиля фрезы.

На фиг. 74 представлено осевое сечение профиля фрезы и расположение системы координат $x_k o y_k$.

Рассчитываются координаты x_k и y_k ряда точек профиля и по ним определяются высота t и ширина S профиля.

4. Для расчета координат точек профиля фрезы предполагаются известными следующие размеры червяка:

m — модуль;

n — число заходов;

$D_e = 2R_e$ — наружный диаметр;

$d_d = 2r_d$ — делительный диаметр;

$D_i = 2R_i$ — внутренний диаметр;

α — угол давления;

β — угол подъема средней винтовой линии;

S_d — осевая толщина витка.

Дополнительно рассчитываются

а) высота витка червяка $h_0 = \frac{D_e - D_i}{2}$;

б) высота профиля фрезы $h = h_0 + 0,2m$;

в) ширина впадины червяка на делительном цилиндре

$$W_d = \pi m - S_d.$$

г) винтовой параметр $p = \frac{\pi m n}{2\pi} = \frac{mn}{2}$;

д) диаметр фрезы $D = 2R_\phi$ берется из табл. 8—14 конструктивных размеров фрезы по высоте профиля фрезы h ;

е) межосевое расстояние l между фрезой и червяком $l = \frac{D + D_i}{2}$.

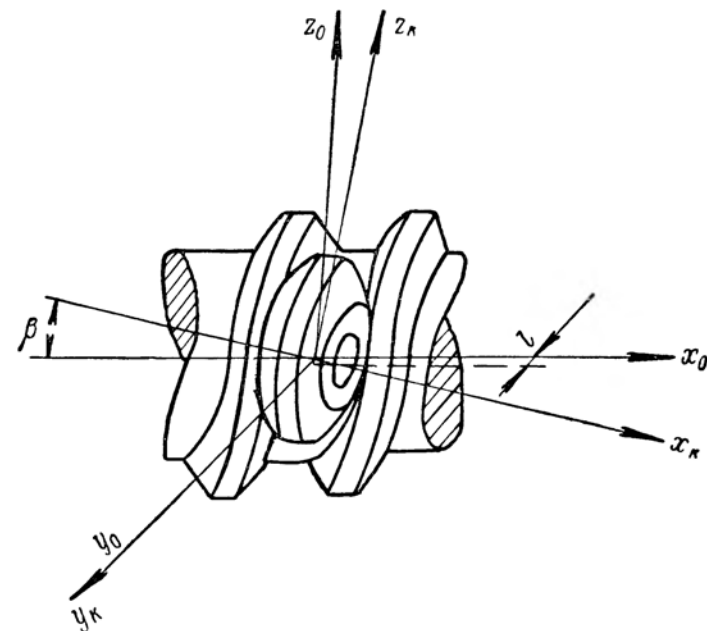
5. Координаты точек профиля фрезы определяются по параметрическим уравнениям, выраженным через угловой параметр θ , которому дается число значений, равное числу искомых точек профиля. Поэтому предварительно рассчитываются постоянные коэффициенты этих уравнений по следующим формулам:

№ формул	Обозначение	Формула	№ формул	Обозначение	Формула
1	K_1	$K_1 = \sec^2 \alpha$	6	K_5	$K_5 = (l \operatorname{ctg} \beta - p) \operatorname{tg} \alpha$
2	K_2	$K_2 = l + p \operatorname{ctg} \beta$	7	K_6	$K_6 = pb$
3	b	$b = \frac{W_{\partial}}{2} - r_{\partial} \operatorname{tg} \alpha$	8	K_7	$K_7 = p^2$
4	K_3	$K_3 = b \operatorname{tg} \alpha$	9	K_8	$K_8 = pl \cdot \operatorname{ctg} \beta$
5	K_4	$K_4 = p \operatorname{tg} \alpha$			

6. Расчет координат x_K , y_K , S и t профиля фрезы (фиг. 74) производится по нижееледующим параметрическим формулам:

№ формул	Обозначение	Формула	№ формул	Обозначение	Формула
1	A	$A = K_1 \cos \theta$	8	y_1	$y_1 = y_0 - l$
2	B	$B = (K_3 + K_4 \theta) \times \cos \theta + K_5 \sin \theta - K_2$	9	z_1	$z_1 = x_0 \sin \beta + z_0 \cos \beta$
3	D	$D = K_8 \cos \theta - (K_6 + K_7 \cdot \theta) \sin \theta$	10	θ_1	$\operatorname{tg} \theta_1 = \frac{z_1}{y_1}$
4	y	$y = \frac{-B - \sqrt{B^2 - 4AD}}{2A}$	11	x_K	$x_K = x_0 \cos \beta - z_0 \sin \beta$
5	x_0	$x_0 = y \operatorname{tg} \alpha + b + p\theta$	12	y_K	$y_K = y_1 \sec \theta_1$
6	y_0	$y_0 = y \cos \theta$	13	t	$t = R_{\phi} + y_K$
7	z_0	$z_0 = y \sin \theta$	14	S	$S = 2x_K$

7. В данных формулах угловой параметр θ является произвольной величиной. Однако при неудачном его выборе рассчитанные точки профиля могут оказаться вне рабочего участка профиля фрезы. Поэтому сначала следует произвести расчет двух значений y'_1 и y'_2 по формуле (4) п. 6 данного расчета, задаваясь $\theta = 0$ и $\theta = -6^\circ$.



Фиг. 73. Схема расположения червяка и фрезы.

Величина y в уравнениях является радиусом-вектором винтовой поверхности червяка, который должен лежать в пределах рабочего участка витка червяка. Число p_0 рассчитываемых точек профиля обычно берут от 8 до 15.

Расстояние между выбранными точками по высоте будет $f = \frac{h}{p_0}$, где h — высота профиля витка червяка; p_0 — число точек.

Приращение углового параметра θ в градусах при изменении высоты t профиля на величину f приближенно может быть определено по формуле

$$\Delta \theta^\circ = \frac{6f}{y'_1 - y'_2}.$$

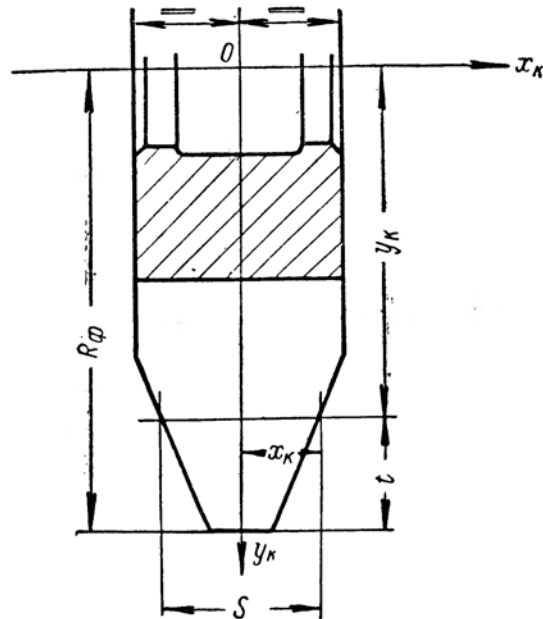
Округлив $\Delta \theta$ до чисел, кратных $10'$ (желательно до $1/2^\circ$), последовательно ведут расчет для ряда значений $\theta = \Delta \theta$; $2\Delta \theta$; $3\Delta \theta$ и т. д. При этом наименьшее (отрицательное) значение θ будет

$\theta_{\min} = \frac{R_i - y_1'}{f} \cdot \Delta\theta$, а наибольшее значение θ (положительное)

$$\theta_{\max} = \frac{R_e - y_1'}{f} \cdot \Delta\theta,$$

где y_1' определено для значения $\theta = 0$.

8. Формулы п. 6 приведены для предварительных расчетов. Для табличного расчета следует пользоваться формулами, позволяющими выполнять лишь одно арифметическое действие. Особенно это необходимо для расчетных работ на машиносчетных станциях.



Фиг. 74. Задание координат и точек профиля фрезы.

9. Для удобства выполнения расчетных работ в таблице на стр. 118 дается цифровое обозначение арифметического действия. В графе „Цифровое обозначение действия“ слово „табл.“ обозначает использование тригонометрической таблицы. Цифры без скобок обозначают номера строк, а арифметический знак (+, — и т. д.) обозначает арифметическое действие над числами одного столбца. Числовые величины в скобках являются коэффициентами. В расчетной таблице для справок приведена также графа „Алгебраическое обозначение действия“.

Формулы, приведенные в графе „Алгебраическое обозначение действия“, найдены из формул п. 6 (стр. 115) для выполнения одного лишь арифметического действия. В тех случаях, когда навыки расчетов по „Цифровому обозначению действия“ будут усвоены, графа „Алгебраическое обозначение действия“ может не задаваться.

10. Конструктивные размеры фрез выбираются по табл. 8—14 с учетом примечаний к ним и по § 16 и 17.

Б. Пример расчета

11. Даны следующие размеры архимедова червяка, обозначенные согласно п. 4 данного расчета.

Обозначение	m	n	D_e	$d_d = 2r_d$	$D_t = 2r_t$	α	β	S_d
Размер в мм	10	4	120	100	76	20°	21°48'5"	15,41

Дополнительные размеры червяка определяются расчетом:
высота витка червяка

$$h_0 = 2,2m = 2,2 \cdot 10 = 22 \text{ мм};$$

высота профиля дисковой фрезы

$$h = 2,4m = 2,4 \cdot 10 = 24 \text{ мм};$$

ширина впадины червяка на делительном цилиндре

$$W_d = \pi m - S_d = 3,142 \cdot 10 - 15,41 = 16,01 \text{ мм};$$

винтовой параметр

$$p = \frac{mn}{2} = \frac{10 \cdot 4}{2} = 20 \text{ мм};$$

диаметр D фрезы берется по табл. 9 для $h = 24 \text{ мм}$

$$D = 2R_\phi = 130 \text{ мм};$$

межосевое расстояние между осями червяка и фрезы

$$l = \frac{D + D_t}{2} = \frac{130 + 76}{2} = 103 \text{ мм}.$$

12. Постоянные коэффициенты определяются в виде расчетной таблицы

№ формул	Обозначение	Формула	Действие	Результат
1	K_1	$K_1 = \sec^2 \alpha$	$K_1 = 1,06418^2$	1,13248
2	K_2	$K_2 = l + p \operatorname{ctg} \beta$	$K_2 = 103 + 20 \cdot 2,5$	153
3	b	$b = \frac{W_0}{2} - r_0 \operatorname{tg} \alpha$	$b = \frac{1601}{2} - 50 \cdot 0,36397$	-10,194
4	K_3	$K_3 = b \operatorname{tg} \alpha$	$K_3 = -10,194 \cdot 0,36397$	-3,7103
5	K_4	$K_4 = p \operatorname{tg} \alpha$	$K_4 = 20 \cdot 0,36397$	7,2794
6	K_5	$K_5 = (l \operatorname{ctg} \beta - p) \operatorname{tg} \alpha$	$K_5 = (103 \cdot 2,5 - 20) \cdot 0,36397$	86,443
7	K_6	$K_6 = pb$	$K_6 = -20 \cdot 10,194$	-203,88
8	K_7	$K_7 = p^2$	$K_7 = 20^2$	400
9	K_8	$K_8 = pl \cdot \operatorname{ctg} \beta$	$K_8 = 20 \cdot 103 \cdot 2,5$	5150

13. Предельные значения параметра θ определяются согласно п. 7 данного расчета.

Число точек p_0 профиля фрезы берем равным $p_0 = 10$.

Расстояние между точками по высоте профиля равно

$$f = \frac{h_0}{p_0} = \frac{22}{10} = 2,2 \text{ мм.}$$

Значение радиуса-вектора червяка у при $\theta = 0$ и $\theta = -6^\circ$ определяется по формулам (1) ÷ (4) п. 6 данного расчета.

При $\theta = 0$

$$A = K_1 = 1,13248;$$

$$B = K_3 - K_2 = -3,7103 - 153 = -156,7103;$$

$$D = K_8 = 5150,$$

$$y'_1 = \frac{-B - \sqrt{B^2 - 4AD}}{2A} =$$

$$= \frac{156,7103 - \sqrt{156,7103^2 - 4 \cdot 1,13248 \cdot 5150}}{2 \cdot 1,13248} = 53,711 \text{ мм.}$$

При $\theta = -6^\circ$

$$A = K_1 \cos \theta = 1,13248 \cdot 0,994522 = 1,12628;$$

$$B = (K_3 + K_4 \theta) \cos \theta + K_5 \sin \theta - K_2 = \\ = (-3,7103 - 7,2794 \cdot 0,10472) \cdot 0,994522 - \\ - 86,443 \cdot 0,104528 - 153 = -166,4838;$$

$$D = K_8 \cos \theta - (K_6 + K_7 \theta) \sin \theta = 5150 \cdot 0,994522 + \\ + (-203,88 - 400 \cdot 0,10472) \cdot 0,104528 = 5096,098;$$

$$y'_2 = \frac{-B - \sqrt{B^2 - 4AD}}{2A} =$$

$$= \frac{166,4838 - \sqrt{166,4838^2 - 4 \cdot 1,12628 \cdot 5096,098}}{2 \cdot 1,12628};$$

$$y'_2 = 43,285 \text{ мм.}$$

Приращение углового параметра в зависимости от величины изменения высоты профиля $f = 2,2 \text{ мм}$ будет

$$\Delta \theta^\circ = \frac{6f}{y'_1 - y'_2} = \frac{6 \cdot 2,2}{53,711 - 43,285} = 1,25^\circ = 1^\circ 15'.$$

Отрицательное значение θ :

$$\theta_{\min} = \frac{R_i - y'_1}{f} \Delta \theta = \frac{38 - 53,71}{2,2} \cdot 1,25 \approx 9^\circ.$$

Наибольшее положительное значение θ :

$$\theta_{\max} = \frac{R_e - y'_1}{f} \Delta \theta = \frac{60 - 53,71}{2,2} \cdot 1,25 \approx 3^\circ.$$

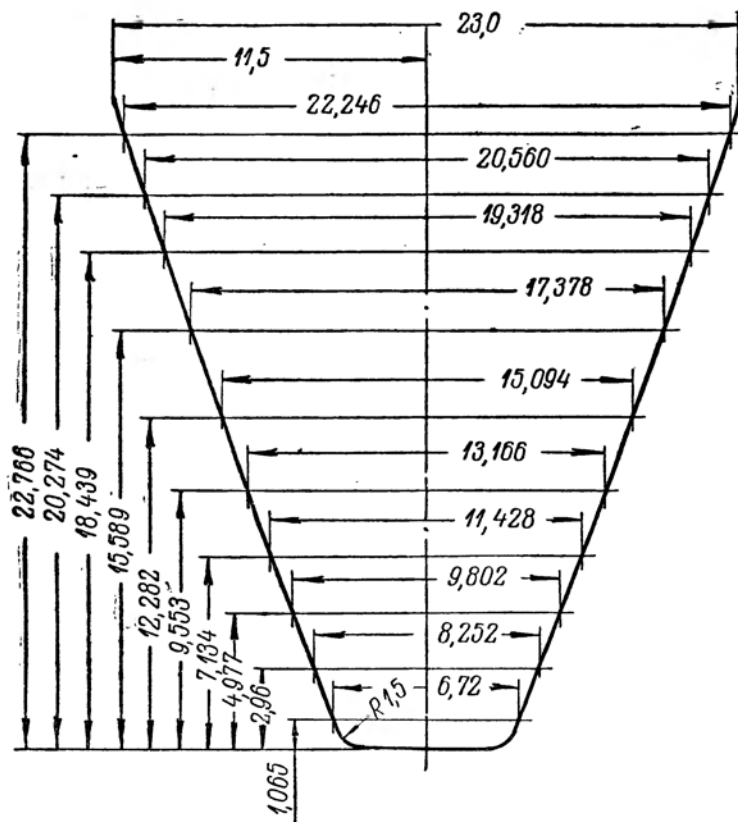
Принимаем $\Delta \theta \approx 1^\circ 30'$ и тогда ряд значений θ будет:

$$\theta = -9^\circ; -7^\circ 30'; -6^\circ; -4^\circ 30'; -3^\circ; -1^\circ 30'; \\ 0^\circ; +1^\circ; +1^\circ 30'; +2^\circ.$$

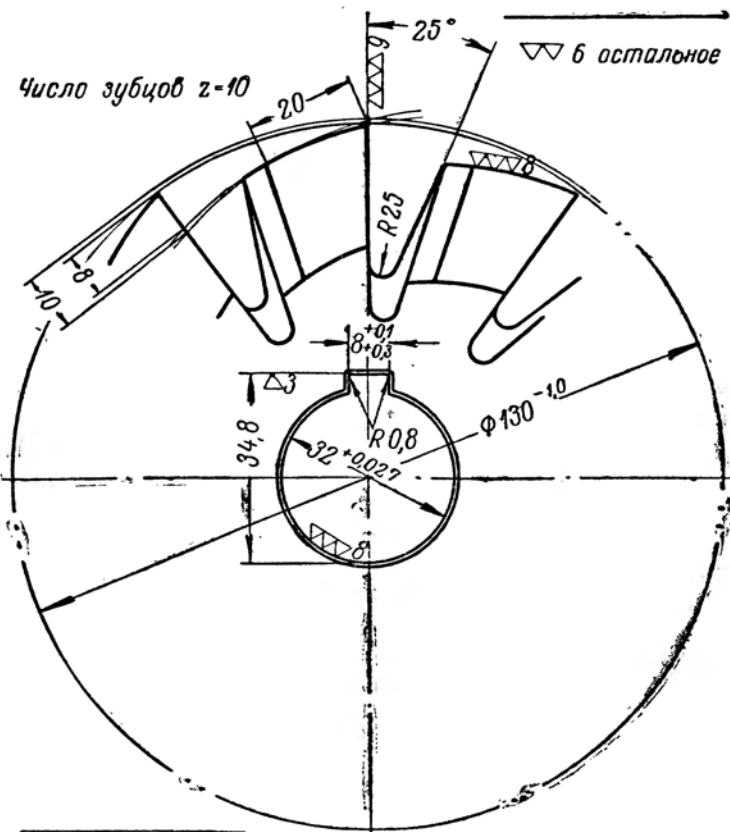
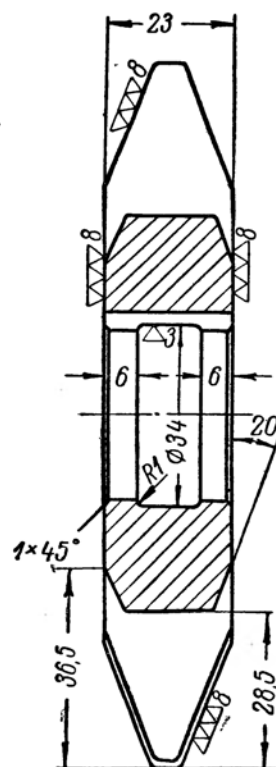
Интервалы между положительными значениями углов θ обычно приходится уменьшать, так как интервалы высот f при одинаковых $\Delta \theta$ больше при положительных, чем при отрицательных значениях θ .

Для удобства расчета рекомендуется определение y'_1 и y'_2 производить по той же таблице, которая дается ниже для расчета координат точек профиля фрезы.

№ строк	Алгебраическое обозначение действия	Цифровое обозначение действия	№ точек									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	θ°	Табл.	2°	1°30'	1°	0°	—1°30'	—3°	—4°30'	—6°	—7°30'	—9°
2	$a_2 = \theta$ рад.	Табл.	0,034907	0,026180	0,017453	0	—0,02618	—0,05236	—0,078540	—0,10472	—0,13090	—0,15708
3	$a_3 = \sin \theta$	Табл.	0,034899	0,026177	0,017452	0	—0,026177	—0,052336	—0,078459	—0,104528	—0,130526	—0,156434
4	$a_4 = \cos \theta$	Табл.	0,999391	0,999657	0,999848	1	0,999657	0,99863	0,996917	0,994522	0,991445	0,987688
5	$a_5 = K_1 a_4$	$(1,13248) \times 4$	1,13179	1,13209	1,13231	1,13248	1,13209	1,13093	1,12900	1,12628	1,12279	1,11854
6	$a_6 = K_4 a_2$	$(7,2794) \times 2$	0,25410	0,19057	0,12705	0	—0,19057	—0,38115	—0,57172	—0,7623	—0,95287	—1,14345
7	$a_7 = a_6 + K_3$	$6 - (3,7103)$	—3,4562	—3,5197	—3,5833	—3,7103	—3,9009	—4,09145	—4,2820	—4,4726	—4,66317	—4,85375
8	$a_8 = a_7 a_4$	4×7	—3,4541	—3,5185	—3,5827	—3,7103	—3,8996	—4,08584	—4,2688	—4,44811	—4,62328	—4,79399
9	$a_9 = K_5 a_3$	$3 \times (86,443)$	3,01677	2,2628	1,5086	0	—2,2628	—4,52408	—6,7822	—9,03571	—11,28306	—13,52262
10	$a_{10} = a_8 +$ $+ a_9 - K_2$	$8 + 9 - (153)$	—153,473	—154,256	—1,55,074	—156,7103	—159,162	—161,6099	—164,0510	—166,4838	—168,9063	—171,3166
11	$a_{11} = K_8 a_4$	$(5150) \times 4$	5146,864	5148,233	5149,217	5150,0	5148,233	5142,945	5134,1235	121,788	5105,942	5086,693
12	$a_{12} = K_7 a_2$	$(400) \times 2$	13,9628	10,472	6,9813	0	—10,472	—20,944	—31,416	—41,888	—52,360	—62,832
13	$a_{13} = a_{12} + K_6$	$12 - (203,88)$	—189,917	—193,408	—196,8987	—203,88	—214,352	—224,824	—235,296	—245,768	—256,240	—266,712
14	$a_{14} = a_{13} a_3$	13×3	—6,6279	—5,0628	—3,4363	0	5,6111	11,7664	18,4611	25,6896	33,4460	41,7228
15	$a_{15} = a_{11} - a_{14}$	$11 - 14$	5153,492	5153,296	5152,653	5150,0	5142,622	5131,179	5115,662	5096,098	5072,496	5044,87
16	$a_{16} = a_5 a_{15}$	5×15	5832,671	5833,995	5834,401	5832,372	5821,911	5803,004	5775,582	5739,633	5695,348	5642,889
17	$a_{17} = 4a_{16}$	$(4) \times 16$	23330,68	2333,598	23337,60	23329,09	23287,64	23212,02	23102,328	22958,53	22781,39	22571,56
18	$a_{18} = a_{10}^2$	10×10	23543,01	23794,914	24047,80	24558,12	25332,54	26117,76	26912,731	27716,86	28529,34	29349,38
19	$a_{19} = a_{18} - a_{17}$	$18 - 17$	212,325	458,934	710,193	1229,03	2044,90	2905,74	3810,40	4758,33	5747,95	6777,82
20	$a_{20} = \sqrt{a_{19}}$	$\sqrt{19}$	14,5713	21,423	26,6494	35,058	45,221	53,905	61,728	68,981	75,815	82,328
21	$a_{21} = 2a_5$	$(2) \times 5$	2,26358	2,26418	2,26462	2,26496	2,26418	2,26186	2,25800	2,25256	2,24558	2,23708
22	$a_{22} = -a_{10} -$ $- a_{20}$	$-10 - 20$	138,866	132,833	128,425	121,652	113,941	107,705	102,323	97,503	93,091	88,989
23	$a_{23} = a_{22} : a_{21}$	$22 : 21$	61,347	58,667	56,709	53,711	50,323	47,618	45,316	43,285	41,455	39,779
24	$a_{24} = p \cdot a_2$	$(20) \times 2$	0,69814	0,52360	0,34906	0	—0,52360	1,0472	—1,5708	—2,0944	—2,6180	—3,1416
25	$a_{25} = a_{23} \operatorname{tg} \alpha$	$(0,36397) \times 23$	22,3285	21,3530	20,6404	19,5492	18,3161	17,3315	16,4937	15,7544	15,0884	14,4784
26	$a_{26} = a_{24} +$ $+ a_{25} + b$	$24 + 25 -$ $-(10,191)$	12,8356	11,6056	10,7985	9,3582	7,6015	6,0933	4,7319	3,4690	2,2794	1,1458
27	$a_{27} = a_{23} \cdot a_4$	23×4	61,3096	58,6469	56,7004	53,711	50,3057	47,5528	45,1763	43,0479	41,1004	39,2892
28	$a_{28} = a_{23} \cdot a_3$	23×3	2,1409	1,5357	0,9897	0	—1,3173	—2,4921	—3,5554	—4,5245	—5,4110	—6,2228
29	$a_{29} = a_{26} \sin \beta$	$(0,37139) \times 26$	4,7670	4,3399	4,0105	3,4755	2,8231	2,2630	1,7574	1,2884	0,8465	0,4255
30	$a_{30} = a_{28} \cos \beta$	$(0,92848) \times 28$	1,9878	1,4259	0,9189	0	—1,2231	—2,3139	—3,3011	—4,2009	—5,0240	—5,7777
31	$a_{31} = a_{29} + a_{30}$	$29 + 30$	6,7548	5,7658	4,9294	3,4755	1,6000	—0,0509	—1,5437	—2,9125	—4,1775	—5,3522
32	$a_{32} = a_{21} - l$	$27 - (103)$	—41,6904	—44,3531	—46,2996	—49,289	—52,6943	—55,4472	—57,8237	—59,9521	—61,8996	—63,7108
33	$\operatorname{tg} \theta_1 = a_{31} : a_{32}$	$31 : 32$	—0,162022	—0,129997	—0,106467	—0,070513	0,030364	+0,000918	0,038106	0,048580	0,067488	0,084008
34	$a_{34} = \sec \theta_1$	Табл.	1,01304	1,00841	1,00565	1,00248	1,00046	1,00000	1,00073	1,00118	1,00227	1,00352
35	$a_{35} = a_{26} \cos \beta$	$(0,92848) \times 26$	11,9177	10,8498	10,0262	8,6889	7,0578	5,6575	4,3935	3,2209	2,1164	1,0639
36	$a_{36} = a_{28} \sin \beta$	$(0,37139) \times 28$	0,7951	0,5703	0,3676	0	—0,4992	—0,9255	—1,3204	—1,6804	—2,0096	—2,3111
37	$x_K = a_{35} - a_{36}$	$35 - 36$	11,123	10,280	9,659	8,689	7,547	6,583	5,714	4,901	4,126	3,375
38	$y_K = a_{32} \cdot a_{34}$	32×34	—42,234	—44,726	—46,561	—49,411	—52,718	—55,447	—57,866	—60,023	62,040	63,935
39	$t = R_\phi + y_K$	$(65) + 38$	22,766	20,274	18,439	15,589	12,282	9,553	7,134	4,977	2,960	1,065
40	$s = 2x_K$	$(2) \times 37$	22,246	20,56	19,318	17,378	15,094	13,166	11,428	9,802	8,252	6,720



Профиль фрезы по передней грани (М5 1)



Клеймить
индекс фрезы
Р18. β-21°48'

- Примечания:
1. Основные размеры по нормали (табл. 9).
 2. Биение режущих кромок относительно оси не более 0,04.
 3. Биение торцов не более 0,03.

4. Фреза затачивается в одну установку по прямой параллельной оси.
5. Материал сталь Р9. Термообработать $H_{RC} = 62 - 65$.
6. Допустимые отклонения размеров профиля $\pm 0,02$.

Фиг. 75. Фреза фасонная дисковая для архимедова червяка.

14. Расчетная таблица для определения координат t и S точек профиля фрезы для архимедова червяка представлена в форме, удобной для выполнения работы на машиносчетной станции. Построение таблицы выполнено согласно пояснениям, приведенным в п. 9 расчета.

На фиг. 75 представлен профиль, заданный координатами точек, согласно расчету. Конструктивные размеры фрезы взяты по табл. 9 для высоты профиля $h = 24$ мм.

§. 29 РАСЧЕТ ДИСКОВОЙ ФАСОННОЙ ФРЕЗЫ ДЛЯ ЭВОЛЬВЕНТНОГО ЧЕРВЯКА

[3, стр. 198—203], [5, стр. 236—241], [13, стр. 221—223]

А. Характеристика червяка и расчетные формулы

1. Эвольвентный червяк характеризуется тем, что он имеет в плоскости, касательной к основному цилиндру червяка, прямолинейный профиль, совпадающий с касательной к винтовой линии на основном цилиндре. В плоскости, перпендикулярной оси червяка, последний имеет эвольвентный профиль. Линия контакта между поверхностью червяка и поверхностью вращения, проходящей через режущие кромки фрезы, является в общем случае неплоской кривой, и поэтому профиль фрезы не совпадает ни с одним из профилей плоских сечений червяка. Однако, в некоторых случаях, например, при установке оси фрезы параллельно оси червяка, линия контакта является прямой при конусной фрезе, но при этом увеличиваются размеры переходного закругления у основания витка червяка.

2. Установка фрезы относительно червяка, схема расположения червяка и фрезы и осей координат профиля фрезы указаны на фиг. 73 и 74, а пояснения приведены в пп. 1 и 3 § 28.

3. Расчет дисковых фрез для эвольвентных винтовых шестерен производится по тем же формулам, что и для эвольвентных червяков. Однако постоянные величины, определяющие размеры винтовых шестерен, несколько отличаются от задаваемых размеров червяка. Поэтому требуются дополнительные расчеты для определения размеров, связанных с расчетом фрезы. Задание размеров шестерен приведено в примере расчета пальцевой фрезы для эвольвентной винтовой шестерни.

4. Для расчета координат точек профиля фрезы должны быть известны следующие размеры червяка.

m — модуль (осевой);

n — число заходов;

$D_e = 2R_e$ — наружный диаметр;

$d_\partial = 2r_\partial$ — делительный диаметр;

$D_i = 2r_i$ — внутренний диаметр;

α_{on} — угол давления в нормальной плоскости;

β — угол подъема на делительном цилиндре.

Дополнительно рассчитываются:

а) высота витка червяка $h_0 = \frac{D_e - D_i}{2}$;

б) высота профиля фрезы $h = h_0 + 0,2m$;

в) осевая ширина впадины на делительном цилиндре $W_{oc} = \frac{\pi m}{2}$;

г) угол давления в торцевой плоскости $\text{tg } \alpha_{os} = \frac{\text{tg } \alpha_{on}}{\sin \beta}$;

д) диаметр основного цилиндра $d_0 = 2r_0 = d_\partial \cos \alpha_{os}$;

е) угол подъема винтовой линии на основном цилиндре

$$\text{tg } \alpha = \frac{mn}{d_0};$$

ж) параметр винта $p = \frac{S}{2\pi} = \frac{mn}{2}$, где S — шаг захода нарезки;

з) диаметр $D = 2R_\phi$ фрезы выбирается из табл. 8—14, в зависимости от высоты h профиля фрезы;

и) межосевое расстояние l между фрезой и червяком $l = \frac{D + D_i}{2}$.

5. Координаты точек профиля фрезы определяются по параметрическим уравнениям, выраженным через угловой параметр θ , которому дается число значений, равное числу искомых точек профиля. Поэтому предварительно рассчитываются постоянные коэффициенты этих уравнений по следующим формулам:

№ формул	Обозначение	Формула
1	K_1	$K_1 = r_0 \cos^2 \alpha + l \text{ctg } \beta \sin \alpha \cos \alpha$
2	K_2	$K_2 = (l + p \text{ctg } \beta) \cos^2 \alpha$
3	b	$b = -p \left[\pi \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{2n} \right) + \text{inv } \alpha_{os} \right]$
4	K_3	$K_3 = b \sin \alpha \cos \alpha$
5	K_4	$K_4 = p \sin \alpha \cos \alpha$

Примечание. $\text{inv } \alpha_{os} = \text{tg } \alpha_{os} - \alpha_{os}$ может быть найдена расчетом или взята по специальным таблицам $\text{inv } \alpha$.

6. Расчет координат точек x_k и y_k , S и t профиля фрезы (фиг. 74) производится по следующим формулам, выраженным через параметр θ :

№ формул	Обозначение	Формула
1	y	$y = -K_1 \operatorname{tg} \theta + K_2 \sec \theta - K_3 - K_4 \theta$
2	x_0	$x_0 = y \operatorname{tg} \alpha + b + p\theta$
3	y_0	$y_0 = y \cos \theta + r_0 \sin \theta$
4	z_0	$z_0 = y \sin \theta - r_0 \cos \theta$
5	y_1	$y_1 = y_0 - l$
6	x_k	$x_k = x_0 \cos \beta - z_0 \sin \beta$
7	z_1	$z_1 = x_0 \sin \beta + z_0 \cos \beta$
8	θ_1	$\operatorname{tg} \theta_1 = z_1 : y_1$
9	y_k	$y_k = y_1 \sec \theta_1$
10	t	$t = R_{\phi} - y_k$
11	S	$S = 2x_k$

7. Число точек профиля берется обычно в пределах от 8 до 15. Для определения значений углового параметра θ , который должен соответствовать рабочему участку профиля фрезы, рассчитываются два значения y_0 по формулам (1) и (3) п. 6 данного расчета для значений θ , лежащих в пределах $\theta = 35-55^\circ$.

Определение пробных значений y_0 может быть также выполнено по формулам (1) ÷ (10) и (15) ÷ (19) расчетной таблицы, приведенной ниже в примере (см. стр. 124).

Значение y_0 является радиусом-вектором червяка и его размер должен лежать в пределах $\frac{D_e}{2} > y_0 > \frac{D_l}{2}$. Расстояние f по высоте между точками профиля определяется по формуле

$$f = \frac{h_0}{p_0},$$

где h_0 — высота профиля витка червяка;

p_0 — число точек.

По найденным значениям y_{01} и y_{02} при заданных θ_1 и θ_2 определяется приращение угла $\Delta\theta$ при изменении высоты профиля на величину f , а именно:

$$\Delta\theta^\circ = \frac{\theta_2^\circ - \theta_1^\circ}{y_{01} - y_{02}} f.$$

Округлив $\Delta\theta^\circ$ до чисел, кратных $20'$ или $30'$, последовательно вести расчет для ряда значений $\theta_1' = \theta_{\min} + \Delta\theta$; $\theta_2' = \theta_{\min} + 2\Delta\theta$ и т. д.

$\theta_{\min}$ приближенно определяется по формуле

$$\theta_{\min} = \theta_1 - \frac{R_e - y_{01}}{f} \Delta\theta, \text{ в долях градусов.}$$

Максимальное значение θ будет

$$\theta_{\max} = \theta_{\min} + (p_0 - 1) \Delta\theta.$$

8. Оформление расчетной таблицы координат точек профиля дисковой фрезы для эвольвентного червяка и выбор конструктивных размеров выполняются в соответствии с указаниями в пп. 8, 9, 10 и 14 расчета дисковых фасонных фрез для архимедова червяка и примера расчета их профиля (§ 28).

Б. Пример расчета

9. Даны следующие размеры эвольвентного червяка, обозначенные согласно указаниям п. 4 данного расчета.

Обозначение	m	n	D_e	$d_{\partial} = 2r_{\partial}$	$D_l = 2r_l$	α_{on}	β
Размер в мм	10	4	120	100	76	20°	$21^\circ 48' 5''$

Дополнительно рассчитываются следующие размеры червяка:

а) высота витка червяка

$$h_0 = \frac{D_e - D_t}{2} = \frac{120 - 76}{2} = 22 \text{ мм};$$

б) высота профиля фрезы

$$h = h_0 + 0,2m = 22 + 2 = 24 \text{ мм};$$

в) осевая ширина впадины на делительном цилиндре

$$W_{oc} = \frac{\pi m}{2} = \frac{3,1416 \cdot 10}{2} = 15,071 \text{ мм};$$

г) угол давления в торцевой плоскости

$$\operatorname{tg} \alpha_{0s} = \frac{\operatorname{tg} \alpha_{0n}}{\sin \beta} = \frac{0,363970}{0,371390} = 0,980021;$$

$$\alpha_{0s} = 44^\circ 25' 19'';$$

д) диаметр и радиус основного цилиндра

$$d_0 = d_\partial \cos \alpha_{0s} = 100 \cdot 0,714205 = 71,4205 \text{ мм};$$

$$r_0 = 35,7102 \text{ мм};$$

е) угол подъема винтовой линии на основном цилиндре

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{mn}{d_0} = \frac{10 \cdot 4}{71,4205} = 0,560063; \alpha = 29^\circ 15' 6'';$$

ж) параметр винта

$$p = \frac{S}{2\pi} = \frac{mn}{2} = \frac{10 \cdot 4}{2} = 20 \text{ мм}.$$

10. Из условий обработки червяка требуется увеличение межосевого расстояния, что достигается выбором большого диаметра фрезы по табл. 11 для высоты профиля $h_1 = 24\text{—}27 \text{ мм}$. В этом случае наружный диаметр фрезы будет $D = 180 \text{ мм}$. Межосевое расстояние между фрезой и червяком

$$l = \frac{D + D_t}{2} = \frac{180 + 76}{2} = 128 \text{ мм}.$$

11. Постоянные коэффициенты определяем в форме расчетной таблицы, приведенной ниже.

12. Предельные значения углового параметра θ определяются согласно указаниям п. 7 данного расчета.

№ формул	Обозначение	Формула	Действие	Результат
1	K_1	$K_1 = r_0 \cos^2 \alpha + l \operatorname{ctg} \beta \sin \alpha \cos \alpha$	$K_1 = 35,7102 \cdot 0,872451^2 + 128 \cdot 2,5 \cdot 0,488702 \times 0,872451$	163,6194
2	K_2	$K_2 = (l + p \cdot \operatorname{ctg} \beta) \times \cos^2 \alpha$	$K_2 = (128 + 20 \cdot 2,5) \times 0,872451^2$	135,4884
3	b	$b = -p \left[\pi \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{2n} \right) + \operatorname{inv} \alpha_{0s} \right]$	$b = -20 \left[3,1416 \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{2 \cdot 4} \right) + 0,20472 \right]$	-27,6566
4	K_3	$K_3 = b \sin \alpha \cos \alpha$	$K_3 = -27,6566 \cdot 0,488702 \times 0,872451$	-11,79192
5	K_4	$K_4 = p \sin \alpha \cos \alpha$	$K_4 = 20 \cdot 0,488702 \cdot 0,872451$	8,52738

Число точек профиля фрезы берется равным $p_0 = 10$. Расстояние между точками по высоте профиля равно

$$f = \frac{h}{p_0} = \frac{24}{10} = 2,4 \text{ мм}.$$

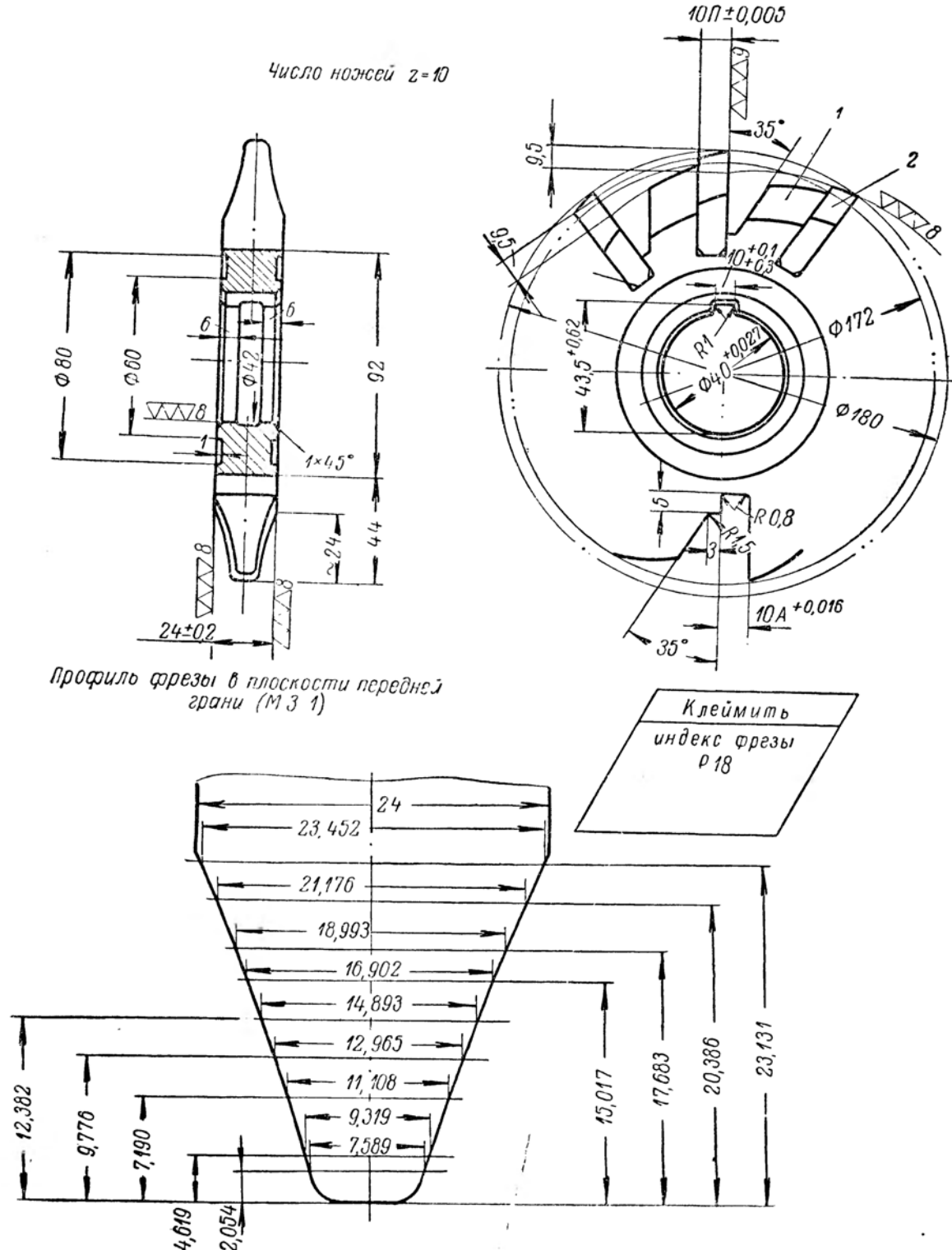
Для двух произвольно взятых значений $\theta_1 = 41^\circ$ и $\theta_2 = 50^\circ$ рассчитываем радиусы-векторы y_0 червяка

$$\begin{aligned} y'_1 &= -K_1 \operatorname{tg} \theta_1 + K_2 \sec \theta_1 - K_3 - K_4 \theta_1 = \\ &= -163,619 \cdot 0,869287 + 135,488 \cdot 1,320501 + \\ &+ 11,79192 - 8,52738 \cdot 0,715585 = 42,9809 \text{ мм}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_{01} &= y'_1 \cos \theta_1 + r_0 \sin \theta_1 = 42,9809 \cdot 0,75471 + \\ &+ 35,7102 \cdot 0,656059 = 55,8661 \text{ мм}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y'_2 &= -K_1 \operatorname{tg} \theta_2 + K_2 \sec \theta_2 - K_3 - K_4 \theta_2 = \\ &= -163,619 \cdot 1,19175 + 135,488 \cdot 1,55572 + \\ &+ 11,79192 - 8,52738 \cdot 0,872665 = 20,1389; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_{02} &= y'_2 \cos \theta_2 + r_0 \sin \theta_2 = 20,1389 \cdot 0,642788 + \\ &+ 35,7102 \cdot 0,766044 = 40,3007 \text{ мм}. \end{aligned}$$



Фиг. 76. Фреза фасонная с припаянными ножами для эвольвентного червяка.

Как видно, значения y_{01} и y_{02} лежат в пределах от $\frac{D_e}{2} = 60$ до $\frac{D_i}{2} = 38$ мм, следовательно, они определяют точки, лежащие на рабочем участке профиля фрезы. Согласно формулам п. 7 данного расчета изменение углового параметра θ на величину изменения высоты профиля $f = 2,4$ мм будет

$$\Delta\theta^\circ = \frac{(\theta_2^\circ - \theta_1^\circ)}{y_{01} - y_{02}} f = \frac{(50 - 41) 2,4}{55,86 - 40,3} \approx 1,4^\circ = 1^\circ 24';$$

округляем значение $\Delta\theta$ до $\Delta\theta = 1^\circ 30'$.

Минимальное значение θ определится

$$\theta_{\min} = \theta_1 - \frac{R_e - y_{01}}{f} \Delta\theta = 41 - \frac{60 - 55,86}{2,4} 1,5 \approx 38,3^\circ,$$

округляем до $\theta_{\min} = 38^\circ$.

Максимальное значение θ определится

$$\theta_{\max} = \theta_{\min} + (p_0 - 1) \Delta\theta = 38 + (10 - 1) \cdot 1,5 = 51,30'.$$

Таким образом, ряд значений θ будет

$\theta = 38^\circ; 39^\circ 30'; 41^\circ; 42^\circ 30'; 44^\circ; 45^\circ 30'; 47^\circ; 48^\circ 30'; 50^\circ$ и $51^\circ 30'$.

13. По уравнениям п. 6 составляем формулы для расчетов с одним арифметическим действием профиля дисковой фрезы для эвольвентного червяка. По принятым значениям θ расчет выполняется в форме расчетной таблицы, составленной по аналогии с расчетной таблицей профиля фрезы для архимедова червяка (стр. 124).

Конструктивные размеры фрезы выбираем по табл. 11. Чертежи фрезы и профиля приведены на фиг. 76.

Примечания к фиг. 76:

1. Основные размеры по нормали (табл. 11)
2. Профиль фрезы проверять шаблоном.
3. Материал ножа сталь Р18, корпуса сталь 45Х. Ножи фрезы термообработать $H_{RC} = 63-65$.
4. Ножи пригнать к пазам по плотной посадки $\left(\frac{A}{\Pi}\right)$ и паять припоём ГПФ-II.
5. Толщина слоя припоя не должна превышать 0,02 мм.
6. Биение режущих кромок относительно оси не более 0,04.
7. Отклонение радиальности передней грани не более 0,02.
8. Биение торцов не более 0,03.
9. Дополнительно клеймить № профиля.
10. Допустимые отклонения размеров профиля $\pm 0,015$.

№ строк	Алгебраические обозначения	Цифровое обозначение действия	№ точек									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	θ°	—	38°	$39^\circ 30'$	41°	$42^\circ 30'$	44°	$45^\circ 30'$	47°	$48^\circ 30'$	50°	$51^\circ 30'$
2	$a_2 = \theta$ рад.	Табл.	0,663225	0,689405	0,715585	0,741765	0,767945	0,794125	0,820305	0,846485	0,872665	0,898845
3	$a_3 = \operatorname{tg} \theta$	Табл.	0,781286	0,824336	0,869287	0,916331	0,965689	1,017607	1,07237	1,13029	1,19175	1,25717
4	$a_4 = K_1 a_3$	$(163,619) \times 3$	127,8332	134,8770	142,2319	149,9292	158,0051	166,4998	175,4604	184,9369	194,9929	205,6969
5	$a_5 = K_4 a_2$	$(8,52738) \times 2$	5,6556	5,8788	6,1021	6,3253	6,5486	6,7718	6,9951	7,2183	7,4415	7,6648
6	$a_6 = a_4 + a_5$	$4 + 5$	133,4888	140,7558	148,3340	156,2545	164,5537	173,2716	182,4555	192,1552	202,4344	213,3617
7	$a_7 = \sec \theta$	Табл.	1,26902	1,29597	1,322501	1,35634	1,39016	1,42672	1,46628	1,50916	1,55572	1,603639
8	$a_8 = K_2 a_7$	$(135,488) \times 7$	171,9370	175,5884	179,5230	183,7678	188,3500	193,3034	198,6633	204,4731	210,7814	217,6466
9	$a_9 = a_8 + K_3$	$(11,79192) + 8$	183,7289	187,3803	191,3149	195,5597	200,1419	205,0953	210,4552	216,2650	222,5733	229,4385
10	$a_{10} = a_9 - a_6$	$9 - 6$	50,2401	46,6245	42,9809	39,3052	35,5882	31,8237	27,9997	24,1098	20,1389	16,0768
11	$a_{11} = a_{10} \operatorname{tg} \alpha$	$(0,560063) \times 10$	28,1376	26,1127	24,0720	22,0134	19,9316	17,8233	15,6816	13,5030	11,2791	9,0040
12	$a_{12} = p a_2$	$(20) \times 2$	13,2645	13,7881	14,3117	14,8353	15,3589	15,8825	16,4061	16,9297	17,4533	17,9769
13	$a_{13} = a_{11} + a_{12}$	$11 + 12$	41,4021	39,9008	38,3837	36,8487	35,2905	33,7058	32,0877	30,4327	28,7324	26,9809
14	$a_{14} = a_{13} + b$	$13 - (27,6566)$	13,7455	12,2442	10,7271	9,1921	7,6339	6,0492	4,4311	2,7761	1,0758	-0,6757
15	$a_{15} = \cos \theta$	Табл.	0,788011	0,771625	0,75471	0,737277	0,71934	0,700909	0,681998	0,66262	0,642788	0,622515
16	$a_{16} = a_{10} \cdot a_{15}$	10×15	39,5898	35,9766	32,4381	28,9788	25,6000	22,3055	19,0957	15,9756	12,945	10,0080
17	$a_{17} = \sin \theta$	Табл.	0,615661	0,636078	0,656059	0,67559	0,694658	0,71325	0,731354	0,748956	0,766044	0,782608
18	$a_{18} = r_0 \cdot a_{17}$	$(35,7102) \times 17$	21,9854	22,7130	23,4280	24,1255	24,8064	25,4703	26,1170	26,7454	27,3557	27,9471
19	$a_{19} = a_{16} + a_{18}$	$16 + 18$	61,5752	58,6896	55,8661	53,1043	50,4064	47,7758	45,2127	42,7210	40,3007	38,0271
20	$a_{20} = a_{10} a_{17}$	10×17	30,9309	29,6568	28,1980	26,5542	24,7217	22,6983	20,4777	18,0572	15,4273	12,5818
21	$a_{21} = r_0 a_{15}$	$(35,7102) \times 15$	28,1400	27,5549	26,9508	26,3283	25,6878	25,0296	24,3543	23,6623	22,9541	22,2301
22	$a_{22} = a_{20} - a_{21}$	$20 - 21$	2,7909	2,1019	1,2472	0,2259	-0,9661	-2,3313	-3,8766	-5,6051	-7,5268	-9,6483
23	$a_{23} = a_{19} - l$	$19 - (128)$	-66,4248	-69,3104	-72,1339	-74,8957	-77,5936	-80,2249	-82,7873	-85,2790	-87,6993	-89,9729
24	$a_{24} = a_{14} \cos \beta$	$(0,92848) \times 14$	12,7624	11,3685	9,9599	8,5347	7,0879	5,6166	4,1142	2,5776	0,9989	-0,6274
25	$a_{25} = a_{22} \sin \beta$	$(0,37139) \times 22$	1,0365	0,7806	0,4632	0,0839	-0,3588	-0,8658	-1,4397	-2,0817	-2,7954	-3,5833
26	$x_K = a_{24} - a_{25}$	$24 - 25$	11,7259	10,5879	9,4967	8,4508	7,4467	6,4824	5,5539	4,6593	3,7943	2,9559
27	$a_{27} = a_{14} \sin \beta$	$(0,37139) \times 14$	5,1049	4,5474	3,9839	3,4139	2,8352	2,2466	1,6457	1,0310	0,3995	-0,2509
28	$a_{28} = a_{22} \cos \beta$	$(0,92848) \times 22$	2,5913	1,9516	1,1580	0,2097	-0,8970	-2,1646	-3,5993	-5,2042	-6,9885	-8,9583
29	$a_{29} = a_{27} + a_{28}$	$27 + 28$	7,6962	6,4990	5,1419	3,6236	1,9382	0,0820	-1,9536	-4,1832	-6,5890	-9,2092
30	$\operatorname{tg} \theta_1 = a_{29} : a_{23}$	$29 : 23$	-0,115863	-0,093767	-0,071283	-0,048382	-0,024661	-0,001022	0,0023598	0,048936	0,075132	0,102355
31	$a_{31} = \sec \theta_1$	Табл.	1,00669	1,004387	1,002538	1,001169	1,000305	1,000001	1,000279	1,001198	1,002819	1,00523
32	$y_K = a_{23} \sec \theta_1$	23×31	-0,66,8692	-69,6145	-72,3170	-74,9833	-77,6176	-80,2243	-82,8104	-85,3812	87,9465	-90,4435
33	$t = R_\phi - y_K$	$(90) + 32$	23,1308	20,3855	17,6830	15,0167	12,3824	9,7757	7,1896	4,6188	2,0535	-0,4435
34	$s = 2x_K$	$(2) \times 26$	23,4518	21,1758	18,9934	16,9016	14,8934	12,9648	11,1078	9,3186	7,5886	5,9118

§ 30. РАСЧЕТ ПАЛЬЦЕВОЙ ФАСОННОЙ ФРЕЗЫ ДЛЯ ЭВОЛЬВЕНТНОЙ ВИНТОВОЙ ШЕСТЕРНИ

[3. стр. 158—165 и 217—222], [5, стр. 231—236],
[13, стр. 221—223]

А. Общие замечания и формулы

1. Винтовая и косозубая шестерня, как и эвольвентный червяк, имеет боковую форму зуба в виде эвольвентной винтовой поверхности.

Поверхность вращения, образованная режущими кромками пальцевой фрезы, так же, как и дисковой фрезы, не касается эвольвентной винтовой поверхности по плоской кривой. Пальцевая фреза устанавливается так, чтобы ее ось была строго перпендикулярна и пересекала ось шестерни.

2. Для расчета координат точек профиля пальцевой фрезы должны быть известны следующие размеры косозубой шестерни:

m_s — модуль (торцевой);

z — число зубцов;

$D_e = 2R_e$ — наружный диаметр;

$D_i = 2R_i$ — внутренний диаметр;

d_∂ — диаметр делительной окружности;

α_{os} — угол давления (торцевой);

β_∂ — угол наклона зуба на делительном цилиндре;

ξ — коэффициент смещения;

c — радиальный зазор;

Δs_∂ — утонение зуба по делительной окружности.

Дополнительно рассчитываются:

а) диаметр основного цилиндра

$$d_0 = 2r_0 = d_\partial \cos \alpha_{os};$$

б) половина угловой ширины впадины (в радианах) по делительной окружности в торцевой плоскости

$$\delta_\partial = \frac{\pi}{2z} - \frac{2\xi \operatorname{tg} \alpha_{os}}{c} + \frac{\Delta s_\partial}{m_s z}.$$

Для некорригированного (нормального) зацепления $\xi = 0$;

в) угол подъема винтовой линии зуба на основном цилиндре

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\operatorname{ctg} \beta_\partial}{\cos \alpha_{os}};$$

г) винтовой параметр

$$p = r_0 \operatorname{ctg} \beta_\partial;$$

д) если заданы модуль m_n и угол давления α_{on} в нормальном сечении зуба шестерни, то торцевые размеры пересчитываются по следующим формулам:

торцевой модуль

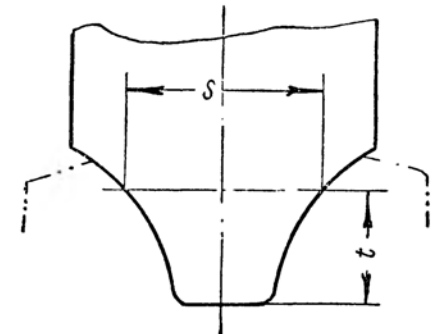
$$m_s = \frac{m_n}{\cos \beta_\partial};$$

торцевой угол давления

$$\operatorname{tg} \alpha_{os} = \frac{\operatorname{tg} \alpha_{on}}{\cos \beta_\partial}.$$

3. Координаты точек профиля фрезы определяются по параметрическим уравнениям, выраженным через угловой параметр θ , которому дается число значений, равное числу искомых точек профиля. Постоянные коэффициенты этих уравнений рассчитываются по следующим формулам:

№ формул	Обозначение	Формула
1	K_1	$K_1 = r_0 \cos^2 \alpha$
2	K_2	$K_2 = r_0 \sin^2 \alpha$
3	b	$b = -p (\delta_\partial - \operatorname{inv} \alpha_{os})$
4	K_3	$K_3 = b \sin \alpha \cos \alpha$



Фиг. 77. Задание координат точек профиля пальцевой фрезы.

4. Расчет координат точек t и s профиля фрезы (фиг. 77) производится по следующим формулам, выраженным через параметр θ :

№ формул	Обозначение	Формула
1	y	$y = -K_1 \operatorname{tg} \theta - K_2^{\theta} - K_3$
2	x_0	$x_0 = y \operatorname{tg} \theta + b + p^{\theta}$
3	y_0	$y_0 = y \cos \theta + r_0 \sin \theta$
4	x_K	$x_K = r_0 \cos \theta - y \sin \theta$
5	θ_1	$\operatorname{tg} \theta_1 = \frac{x_0}{y_0}$
6	y_K	$y_K = y_0 \sec \theta_1$
7	t	$t = x_K - R_i$
8	s	$s = 2y_K$

5. Число точек p_0 профиля берется обычно в пределах от 8 до 15. Для определения значения углового параметра θ , который должен соответствовать рабочему участку профиля фрезы, рекомендуются следующие приближенные формулы:

$$\cos \alpha_e = \frac{r_0}{R_e + 0,2m};$$

Для углов α_e до 30° наибольшее значение углового параметра θ будет

$$\theta_e \approx \alpha_e + \delta_\theta;$$

для углов α_e свыше 30°

$$\theta_e \approx \operatorname{tg} \alpha_e + \delta_\theta \text{ рад.},$$

наименьшее значение параметра θ_i приближенно будет

$$\cos \theta_i = \frac{r_0}{R_i + 0,2m}.$$

Ряд значений θ следует выбрать таким образом, чтобы разность соседних значений $\sec \theta$ была величиной постоянной. В этом случае расстояния между ординатами точек по высоте профиля будет

достаточно близко к постоянной величине. Для этого следует определить величину изменения $\sec \theta$ для соседних значений

$$\Delta \sec \theta = \frac{\sec \theta_e - \sec \theta_i}{p_0 - 1},$$

где p_0 — число точек профиля.

Ряд значений $\sec \theta$ будет

$$\sec \theta_1 = \sec \theta_i;$$

$$\sec \theta_2 = \sec \theta_i + \Delta \sec \theta;$$

$$\sec \theta_3 = \sec \theta_i + 2\Delta \sec \theta \text{ и т. д.}$$

$$\sec \theta_e = \sec \theta_i + (p_0 - 1)\Delta \sec \theta.$$

6. Для выполнения расчетных работ по формулам п. 4 данного расчета составляются формулы, позволяющие выполнить лишь одно арифметическое действие. В таблице приведенного ниже примера расчета это действие имеет также цифровое обозначение, поясненное в пп. 8 и 9 (§ 28). Ниже приводятся расчетные формулы, составленные по уравнениям п. 4 данного расчета.

№ строк	Формула	№ строк	Формула	№ строк	Формула
1	$a_1 = 0^\circ$	9	$a_9 = p a_2$	17	$a_{17} = r_0 a_{12}$
2	$c_2 = \theta_{pad}$	10	$a_{10} = a_8 + a_9$	18	$a_{18} = a_7 a_{14}$
3	$a_3 = \operatorname{tg} \theta$	11	$a_{11} = a_{10} + b$	19	$x_K = a_{17} - a_{18}$
4	$a_4 = K_1 \operatorname{tg} \theta$	12	$a_{12} = \cos \theta$	20	$\operatorname{tg} \theta_1 = a_{11} : a_{16}$
5	$a_5 = K_2^{\theta}$	13	$a_{13} = a_7 a_{12}$	21	$a_{21} = \sec \theta_1$
6	$c_6 = a_4 + a_5$	14	$a_{14} = \sin \theta$	22	$a_{22} = y_K = a_{16} a_{21}$
7	$a_7 = -K_3 - a_6$	15	$a_{15} = r_0 a_{14}$	23	$a_{23} = t = x_K - R_i$
8	$a_8 = a_7 \operatorname{tg} \alpha$	16	$a_{16} = a_{13} + a_{15}$	24	$a_{24} = 2y_K = S$

7. Конструктивные размеры фрез выбираются по табл. 15 и 16. Косое затылование этих фрез выполняется согласно данным, приведенным в § 22.

Габаритные размеры фрезы выбираются по наибольшей высоте t и ширине s профиля фрезы.

Б. Пример расчета

8. Даны следующие размеры эвольвентной винтовой шестерни, обозначенные согласно указаниям в п. 2 данного расчета.

Обозначение	m_s	z	$D_e = 2R_e$	$D_l = 2R_l$	$d_\theta = 2r_\theta$	α_{os}	β_θ	ξ	c
Размер	20	40	840	752	800	20°	30°	0	4

Дополнительно рассчитываются следующие размеры шестерни:

а) диаметр основного цилиндра

$$d_o = d_\theta \cos \alpha_{os} = 800 \cdot 0,939693 = 751,76 \text{ мм}, \quad r_o = 375,88 \text{ мм},$$

б) половина угловой ширины впадины

$$\delta_\theta = \frac{\pi}{2z} - \frac{2\xi \operatorname{tg} \alpha_{os}}{z} = \frac{3,1416}{2 \cdot 40} = 0,03927, \quad \delta_\theta = 2^\circ 15';$$

в) угол подъема винтовой линии на основном цилиндре

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\operatorname{ctg} \beta_\theta}{\cos \alpha_{os}} = \frac{1,732051}{0,939693} = 1,84321, \quad \alpha = 61^\circ 31';$$

г) винтовой параметр

$$p = r_\theta \operatorname{ctg} \beta_\theta = 400 \cdot 1,732051 = 692,8204 \text{ мм}.$$

9. Постоянные коэффициенты рассчитываются по формулам п. 3 данного расчета в форме следующей расчетной таблицы:

№ формул	Обозначение	Формула	Действие	Результат
1	K_1	$K_1 = r_o \cos^2 \alpha$	$K_1 = 375,88 \cdot 0,476903^2$	85,488
2	K_2	$K_2 = r_o \sin^2 \alpha$	$K_2 = 375,88 \cdot 0,878956^2$	290,391
3	b	$b = -p (\delta_\theta - \operatorname{inv} \alpha_{os})$	$b = -692,8204 (0,0927 - 0,014904)$	-16,881
4	K_3	$K_3 = b \sin \alpha \cos \alpha$	$K_3 = -16,881 \cdot 0,878956 \times 0,476903$	-7,0761

10. Расстояние f между точками профиля по высоте берется равным $f = 4 \text{ мм}$, тогда общее число точек $p_o = 10$. Предельные значения параметра θ определяются по формулам п. 5 данного расчета

$$\cos \alpha_e = \frac{r_o}{R_e + 0,2m} = \frac{375,88}{440 + 0,2 \cdot 20} = 0,886509, \quad \alpha_e = 27^\circ 34'.$$

Наибольшее значение параметра $\theta = \theta_e$ будет

$$\theta_e = \alpha_e + \delta_\theta = 27^\circ 34' + 2^\circ 15' \approx 29^\circ 50'.$$

Наименьшее значение параметра θ будет

$$\cos \theta_l = \frac{r_o}{R_l + 0,2m} = \frac{375,88}{376 + 0,2 \cdot 20} = 0,98915; \quad \theta_l = 8^\circ 27'.$$

Принимаем предельные значения θ

$$\theta = 5^\circ \div 30^\circ.$$

Соответственно изменение значения $\sec \theta$ на каждую точку будет

$$\Delta \sec \theta = \frac{\sec \theta_e - \sec \theta_l}{p_o - 1} = \frac{1,1547 - 1,0038}{9} = 0,0168.$$

Тогда ряд значений θ определится:

$$\sec \theta_1 = \sec \theta_l = 1,0038, \quad \theta_1 = 5^\circ;$$

$$\sec \theta_2 = \sec \theta_l + \Delta \sec \theta = 1,0038 + 2 \cdot 0,0168 = 1,0374,$$

$$\theta_2 \approx 10^\circ \text{ и т. д. до } \theta_{10} = 30^\circ.$$

11. Расчетные работы выполняем по формулам п. 6 данного расчета. Цифровое обозначение арифметического действия пояснено в пп. 8 и 9 § 28. Ниже приводится расчетная таблица профиля пальцевой фрезы для эвольвентной винтовой шестерни.

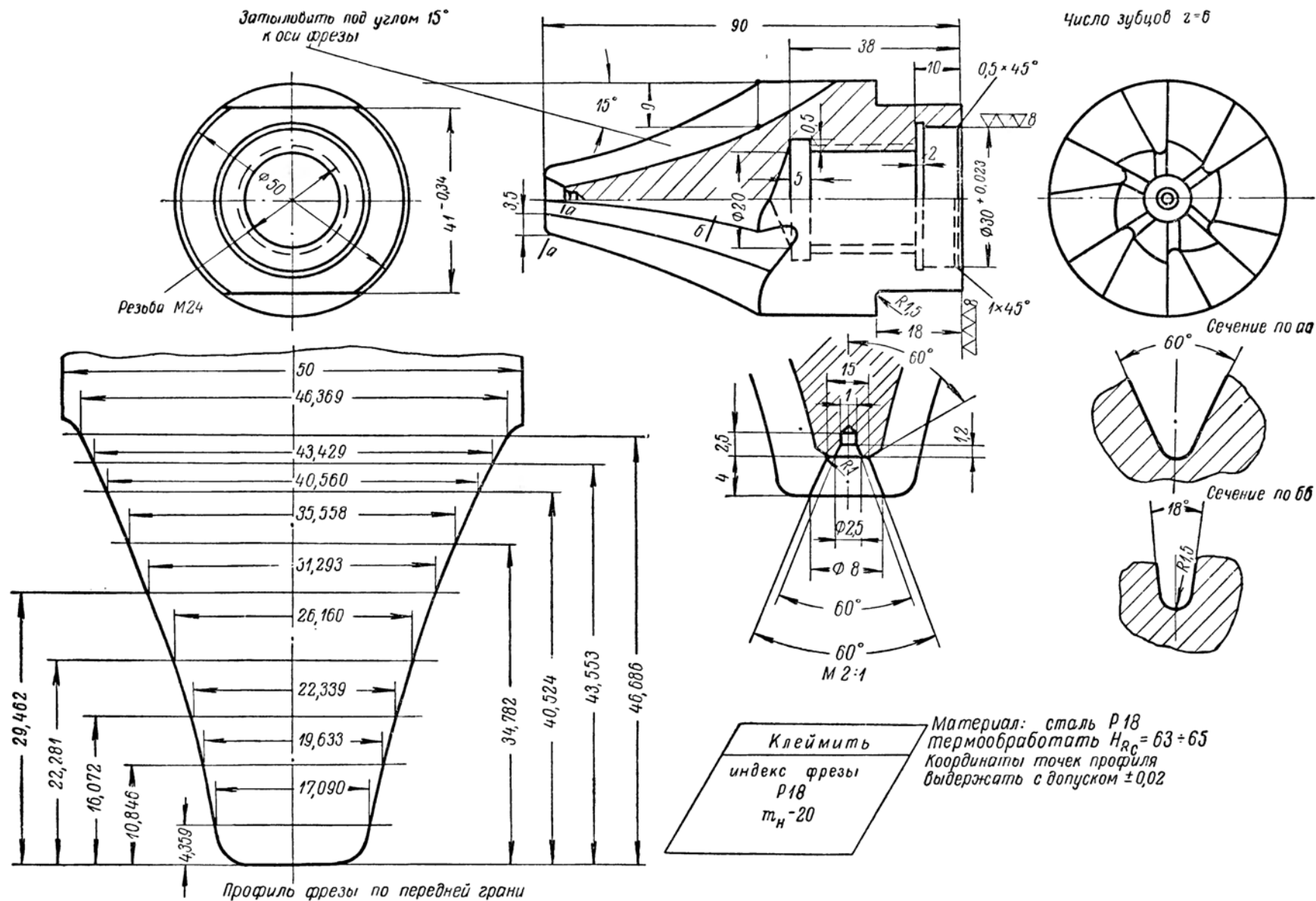
12. Радиус закругления r вершины профиля вычисляем, пользуясь таблицей на стр. 109 п. 4 расчета дисковых модульных фрез для цилиндрических шестерен. Тогда для $z = 40$ и $\alpha_0 = 20^\circ$ получим $r = 0,2$, $m = 0,2 \cdot 20 = 4 \text{ мм}$.

13. Конструктивные размеры пальцевой фрезы выбираются по табл. 15 для габарита профиля, согласно наибольшей высоте профиля $t = 46,686 \text{ мм}$ и наибольшей ширине профиля $S = 46,369 \text{ мм}$. Фреза берется для высоты профиля детали $h_0 = 40-48 \text{ мм} \varnothing 50 \text{ мм}$ тип Б. Торцевые размеры фрезы находятся по табл. 16 для модуля $m = 20 \text{ мм}$.

На фиг. 78 представлен чертеж пальцевой фрезы, согласно расчету, а также профиль режущих кромок фрезы в осевой плоскости, согласно расчетной таблице.

№ строк	Алгебраическое обозначение действия	Цифровое обозначение действия	№ точек									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	θ°	—	5°	10°	15°	18°	21°	24°	26°	28°	29°	30°
2	$a_2 = \theta$ рад.	—	0,087266	0,174523	0,261800	0,314159	0,366519	0,418879	0,453786	0,488692	0,506146	0,523590
3	$a_3 = \operatorname{tg} \theta$	—	0,087489	0,176327	0,267949	0,324920	0,383864	0,445229	0,487733	0,531709	0,554309	0,577350
4	$a_4 = K_1 a_3$	$(85,4888) \times 3$	7,4793	15,0740	22,9066	27,7770	32,8161	38,0621	41,6957	45,4552	47,3872	49,3570
5	$a_5 = K_2 a_2$	$(290,3912) \times 2$	25,3413	50,6797	76,0244	91,2290	106,4339	121,6388	131,7755	141,9119	146,9803	152,0483
6	$a_6 = a_4 + a_5$	$4+5$	32,8206	65,7537	98,9310	119,0060	139,2500	159,7009	173,4712	187,3671	194,3675	201,4053
7	$a_7 = -K_3 - a_6$	$(7,0761) - 6$	-25,7445	-58,6776	-91,8549	-111,9299	-132,1739	-152,6248	-166,3951	-180,2910	-187,2914	-194,3292
8	$a_8 = a_7 \operatorname{tg} \alpha$	$(1,84321) \times 7$	-47,4525	-108,1551	-169,3049	-206,3103	-243,6243	-281,3196	-306,7011	-332,3142	-345,2174	-358,1895
9	$a_9 = p a_2$	$(692,8204) \times 2$	60,4597	120,9131	181,3804	217,6558	253,9318	290,2079	314,3922	338,5758	350,6683	362,7594
10	$a_{10} = a_8 + a_9$	$8+9$	13,0072	12,7580	12,0755	11,3455	10,3075	8,9083	7,6911	6,2616	5,4509	4,5699
11	$a_{11} = a_{10} + b$	$10+(-16,881)$	-3,8738	-4,1230	-4,8055	-5,5355	-6,5735	-7,9727	-9,1899	-10,6194	-11,4301	-12,3111
12	$a_{12} = \cos \theta$	Табл.	0,996195	0,984808	0,965926	0,951057	0,933580	0,913545	0,898794	0,882948	0,87462	0,866025
13	$a_{13} = a_7 a_{12}$	7×12	-25,6465	-57,7862	-88,7250	-106,4517	-123,3949	-139,4296	-149,5549	-159,1876	-163,8088	-168,2939
14	$a_{14} = \sin \theta$	Табл.	0,087156	0,173648	0,258819	0,309017	0,358368	0,406737	0,438371	0,469472	0,48481	0,50000
15	$a_{15} = r_0 a_{14}$	$(375,88) \times 14$	32,7602	65,2708	97,2849	116,1533	134,7034	152,8843	164,7749	176,4651	182,2304	187,9400
16	$a_{16} = a_{13} + a_{15}$	$13+15$	7,1137	7,4846	8,5599	9,7016	11,3085	13,4547	15,2200	17,2775	18,4216	19,6461
17	$a_{17} = r_0 a_{12}$	$(375,88) \times 12$	74,4498	370,1696	363,0725	357,4833	350,9141	343,3833	337,8387	331,8825	328,7522	325,5215
18	$a_{18} = a_7 a_{14}$	7×14	-2,2438	-10,1892	-23,7738	-34,5882	-47,3669	-62,0782	-72,9428	-84,6416	-90,8007	-97,1646
19	$x_K = a_{17} - a_{18}$	$17-18$	376,6936	380,3588	386,8461	392,0715	398,2810	405,4615	410,7815	416,5241	419,5529	422,6861
20	$\operatorname{tg} \theta_1 = a_{11} : a_{16}$	$11 : 16$	-0,544555	-0,550865	-0,561396	-0,570556	-0,581288	-0,592559	-0,603804	-0,614638	-0,626472	-0,626643
21	$a_{21} = \sec \theta_1$	Табл.	1,13865	1,141685	1,14680	1,151325	1,156670	1,162890	1,168150	1,173787	1,17855	1,180110
22	$y_K = a_{16} a_{21}$	16×21	8,1000	8,5451	9,8165	11,1697	13,0802	15,6463	17,7792	20,2801	21,7143	23,185
23	$t = x_K - R_i$	$19 - (376)$	0,6936	4,3588	10,8461	16,0715	22,2810	29,4615	34,7815	40,5241	43,5529	46,686
24	$S = 2y_K$	$(2) \times 22$	16,2000	17,0902	19,633	22,3394	26,1604	31,2926	35,5584	40,5602	43,4286	46,369

▽ в остальное



Фиг. 78. Фреза пальцевая для эвольвентной винтовой шестерни.

Часть третья

ЧЕРВЯЧНЫЕ ФРЕЗЫ ДЛЯ ЗУБЧАТЫХ ДЕТАЛЕЙ

В данной части книги приведены расчеты различных типов червячных фрез для зубчатых деталей, за исключением зуборезных червячных фрез для эвольвентных зубчатых колес. Рассмотрены расчеты четырех групп червячных фрез: червячные шлицевые фрезы классического обкаточного типа, червячные шлицевые фрезы с удлиненным зубом, червячные фрезы постоянной установки и червячные фрезы для звездочек (цепных колес). Особое внимание уделено разработке специальных таблиц профилей шлицевых червячных фрез, расчет которых особенно трудоемок.

Разработанные ранее таблицы профилей шлицевых червячных фрез оказались недостаточно точными и распространялись на небольшой диапазон глубин шлицевых канавок.

Кроме того, анализ точности замены теоретического профиля дугой окружности для глубоких шлицевых канавок показал наличие большой погрешности. При этом было установлено, что при глубинах профиля свыше $0,20$ радиуса R (начальной окружности валика) замена профиля дугой одной окружности для средних и больших диаметров валиков дает неудовлетворительную точность. Поэтому табл. 24 разработана для трех градаций глубин до $0,12R$, свыше $0,12R$ до $0,16R$ и свыше $0,16R$ до $0,2R$, где приведены оптимальные радиусы заменяющих окружностей. Для глубоких шлицев в настоящее время профиль непосредственно задается координатами точек, расчет которых упрощен благодаря приведенной ниже табл. 25.

Червячные фрезы с большим углом подъема средней винтовой линии и глубокой канавкой, спрофилированные по профилю рейки, дают неточность профиля, выходящую за пределы размера обрабатываемой детали, поэтому для данного случая приведены формулы и пример для точного расчета профиля фрезы.

Фрезы червячные постоянной установки значительно проще в изготовлении и проектировании обкаточных червячных фрез. Однако опыт их проектирования и изготовления мало распространен и поэтому они еще не имеют значительного применения. Способ расчета и изготовления червячных шлицевых фрез постоянной установки, описанный в литературе, весьма усложнен. Однако внимательный анализ показал возможность применения более простых способов расчета. Способ, пример расчета и схема затылования червячных шлицевых фрез постоянной установки приведены в гл. XII.

Вопрос о расчете червячных фрез для звездочек в настоящее время, несмотря на значительную давность их применения, слабо освещен. Тем не менее, червячные фрезы имеют значительное распространение. Формулы и примеры расчетов червячных фрез даны для двух типов звездочек с профилем головки по прямой и ножки по дуге окружности и дуговыми профилями ножки и головки.

Расчеты этих фрез приводятся впервые.

ЧЕРВЯЧНЫЕ ШЛИЦЕВЫЕ ФРЕЗЫ

§ 31. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ И ПОРЯДОК РАСЧЕТА

Червячные фрезы для червячных валов или червячные шлицевые фрезы применяются для обработки крупносерийном или периодически повторяющемся производстве многошпоночных валиков постоянного размера, при этом одна фреза пригодна для фрезерования деталей лишь одного размера. Такие фрезы работают по методу обкатки на станках с червячным станком общего или специального назначения. При этом фреза имеет профиль совпадающий с профилем зубчатой рейки, вращающейся с валиком как с зубчатым колесом.

Червячные фрезы для многошпоночных валиков и других зубчатых деталей с прямолинейным профилем проектируются и применяются нескольких разновидностей:

а) червячные шлицевые фрезы без усиков для многошпоночных валиков, центрируемых по наружному диаметру или по шпоночным выступам и имеющих широкие допуски на внутренний диаметр;

б) червячные шлицевые фрезы с усиками для многошпоночных валиков с различными допусками и под шлифование валиков, где необходимо перенести переходные закругления ниже окружности впадин валика;

в) червячные шлицевые фрезы с удлиненным зубом и постоянной установкой. Область применения рассматриваются ниже.

Для расчета червячных фрез для многошпоночных валиков с параллельными сторонами шпонок должны быть известны следующие размеры и формы многошпоночного валика (фиг. 79):

$$D_e = 2R_e \text{ — наружный диаметр валика;}$$

$$d_i = 2r_i \text{ — внутренний диаметр валика;}$$

b — ширина шпоночного выступа;
 c — ширина фаски или радиус;
 f — высота переходного закругления;
 a_1 — ширина переходного закругления;
 n — число шлицов.

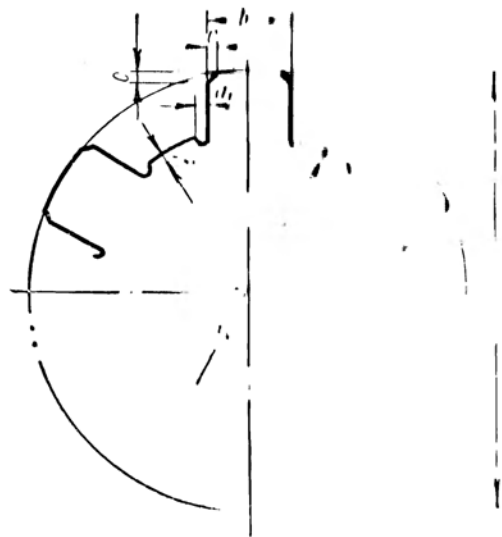
Для расчета червячных фрез для шлицевых валиков с треугольным профилем зуба должны быть известны следующие размеры валика (фиг. 80):

$$D_e = 2R_e \text{ — наружный диаметр валика;}$$

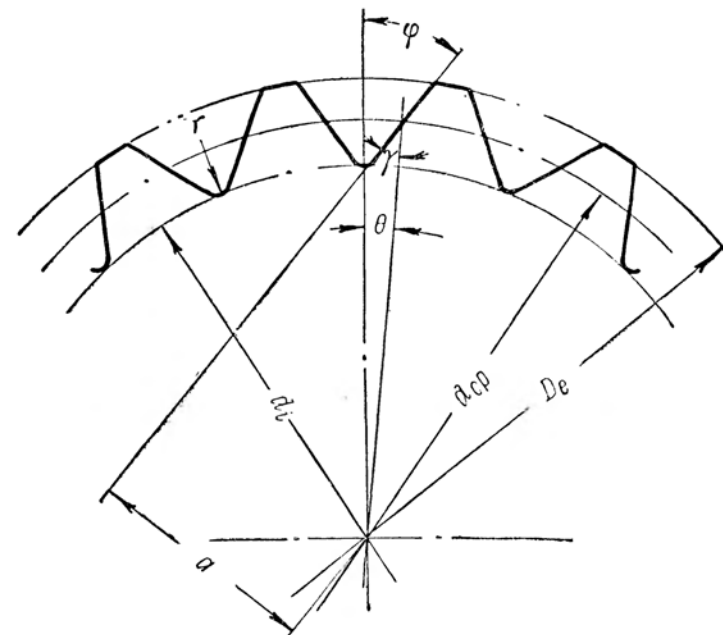
$$d_i = 2r_i \text{ — внутренний диаметр валика;}$$

$$d_{cp} = 2R_{cp} \text{ — средний диаметр;}$$

φ — половина угла впадины;
 r — радиус дна впадины;
 n — число шлицов.



Фиг. 79. Многошпоночный валик с параллельными сторонами шпонок.



Фиг. 80. Многошпоночный валик с треугольным профилем.

Дополнительно рассчитывается расстояние a от оси шлицевого валика до продолжения прямолинейного участка профиля (по перпендикуляру). Для шлицевого валика с параллельными сторонами шпонок (фиг. 79) $a = \frac{b}{2}$, а для шлицевого валика с треугольными шлицами (фиг. 80) $a = R_{cp} \cdot \sin \left(\varphi - \frac{90^\circ}{n} \right)$.

За расчетные размеры валика при определении размеров профиля и толщины зуба фрезы следует принять средние размеры от предельных размеров валика.

Угловой параметр γ , характеризующий профиль детали, определяется по формуле

$$\sin \gamma = \frac{a}{R},$$

где R — радиус начальной окружности валика.

Расчет червячной шлицевой фрезы выполняется в следующей последовательности:

а) рассчитывается радиус R начальной окружности валика по формулам табл. 23;

б) выбирается по табл. 24 или рассчитывается профиль нарезки червячной фрезы в нормальной плоскости (по передней грани);

в) выполняется контрольное графическое построение профиля детали по найденному профилю фрезы, т. е. строится так называемая обратная обкатка;

г) рассчитываются размеры зуба фрезы в нормальном сечении;

д) выбираются по табл. 26 или рассчитываются габаритные и конструктивные размеры червячной фрезы;

е) рассчитываются другие элементы червячной фрезы;

ж) выбираются по табл. 27 и 28 допуски на размеры червячной фрезы.

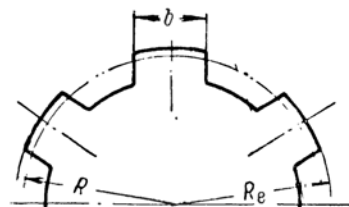
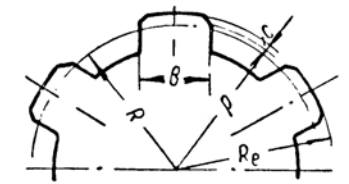
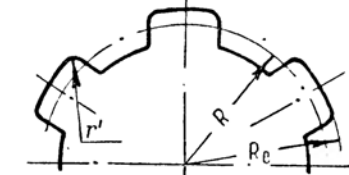
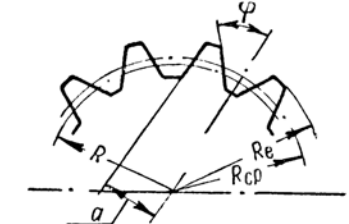
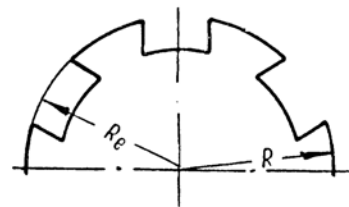
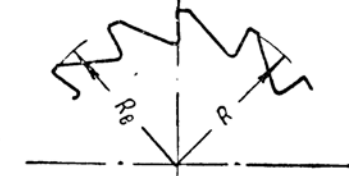
§ 32. ВЫБОР РАДИУСА НАЧАЛЬНОЙ ОКРУЖНОСТИ ЗУБЧАТЫХ ДЕТАЛЕЙ

[9, стр. 82—82], [14, стр. 69—76 и 84—89]

При нарезании зубчатых деталей с прямолинейным профилем зуба по методу обкатки необходимо в первую очередь определить радиус начальной окружности изделия.

В табл. 23 приводятся формулы для расчета радиуса начальной окружности зубчатых деталей с прямолинейным профилем. На эскизах указаны вид и обозначены основные размеры профиля детали.

ФОРМУЛЫ ДЛЯ РАСЧЕТА РАДИУСА НАЧАЛЬНОЙ ОКРУЖНОСТИ

Тип детали	Наименование детали	Эскиз	Формула
I	Многошпоночный валик с параллельными сторонами шпоночного выступа		$R = \sqrt{R_e^2 - 0,75 \left(\frac{b}{2} \right)^2}$
II	Многошпоночный валик с параллельными сторонами выступа и с фаской c		$R = \sqrt{p^2 - 0,75 \left(\frac{b}{2} \right)^2}$ $p = R_e - c;$
III	Многошпоночный валик с параллельными сторонами выступа с радиусом закругления r'		$R = R_e - r'$
IV	Многошпоночный валик с треугольными шлицами		1) $R_i \leq R \leq R_{cp}$ $a = R_{cp} \cdot \sin \left(\varphi - \frac{90^\circ}{n} \right)$ $R_{мин} = \sqrt{R_e^2 - 0,75a^2};$ 2) $R \geq R_{мин}$
V	Многошпоночные диски или валики с параллельными сторонами впадины		$R = R_e$
VI	Храповые и подобные колеса		$R = R_e$

Примечания к табл. 23:

1. Округление значения R допускается в большую сторону.
2. Для детали тип IV R выбирается по 1-й формуле и проверяется по 2-й.
3. В таблице приведен минимально допустимый радиус начальной окружности. При необходимости увеличения задних углов фрезы в нормальном сечении следует R увеличить; при этом размеры переходных кривых на детали возрастут.
4. При расчете радиуса R начальной окружности допускается применение номинальных размеров валика (без учета допусков) и последующее округление в большую сторону до десятых долей миллиметра. Однако окончательно принятый радиус R начальной окружности должен фигурировать в качестве постоянной величины во всех последующих расчетах.

§ 33. ТАБЛИЧНЫЙ РАСЧЕТ ПРОФИЛЯ ЧЕРВЯЧНЫХ ШЛИЦЕВЫХ ФРЕЗ ПО ДУГЕ ОКРУЖНОСТИ

Расчет профиля червячной шлицевой фрезы представляет весьма трудоемкую задачу. Поэтому для упрощения и ускорения расчета профиля червячных шлицевых фрез, имеющих профиль зубчатой рейки, целесообразно воспользоваться табличным методом расчета, границы применения которого указаны ниже.

Приводимая табл. 24 содержит профили червячных шлицевых фрез, заданных в форме дуги окружности, заменяющей теоретический профиль.

Наибольшая глубина h профиля детали при этом не превышает $0,2R$, где R — радиус начальной окружности валика. Расчет профиля шлицевых фрез по дуге заменяющей окружности произведен по формулам, приведенным на стр. 144 и 146.

Для более глубоких шлицев ($h > 0,2R$) рекомендуется табл. 25, используемая для расчета профиля шлицевой фрезы по координатам точек.

А. Правила пользования табл. 24

1. Находим радиус R начальной окружности зубчатого изделия, согласно формулам табл. 23.

2. Определяем $\sin \gamma = \frac{a}{R} = \frac{b}{2R}$, где b — ширина шпоночного выступа; a — расстояние (по перпендикуляру) от оси валика до прямой профиля изделия.

3. По таблице отыскиваем ближайшее меньшее значение $\sin \gamma$, после чего уточняем величину радиуса R по принятому $\sin \gamma$, а именно:

$$R = \frac{b}{2 \sin \gamma},$$

где b — средняя величина предельных размеров.

Все последующие расчеты фрезы (например, профиля, шага и др.) производятся по уточненному значению R .

4. Определяем возможность пользования таблицей по глубине h шпоночного паза и абсолютной величине допуска Δ на ширину шпоночного выступа, для чего проверяются неравенства:

$$h \leq 0,2R \quad \text{и} \quad \Delta \geq 3R\Delta\rho,$$

где $h = R - r_i$ — для шлицевых фрез без усиков и $h = R - r_i + f$ — для шлицевых фрез с усиками.

Здесь R — радиус начальной окружности изделия; r_i — радиус окружности впадин; $\Delta\rho$ — номинальный размер отклонения профиля по табл. 24; f — глубина переходного закругления ниже окружности впадин.

Попутно определяется, какими столбцами значений r , x_a , y_a по табл. 24 следует пользоваться, т. е. для $h \leq 0,12R$, для $h = (0,12 \div 0,16)R$ или для $h = (0,16 \div 0,2)R$.

5. Все размеры профиля находим, помножая величину уточненного радиуса начальной окружности R на размеры, указанные в таблице для принятого значения $\sin \gamma$.

Б. Пример пользования табл. 24

1. Дан многошпоночный валик следующих размеров:

$D = 60$ мм — диаметр наружной окружности;

$d_i = 50$ мм — диаметр окружности впадин;

$b = 14_{-0,09}^{+0,05}$ мм — ширина шпоночного выступа;

$R = 29$ мм — радиус начальной окружности;

$n = 6$ — число шлицев.

2. Определяем $\sin \gamma$

$$\sin \gamma = \frac{b}{2R} = \frac{14 - 0,07}{2 \cdot 29} = 0,240173.$$

Ближайшее меньшее значение $\sin \gamma$ по таблице будет

$$\sin \gamma = 0,239098.$$

3. Уточняем размер радиуса начальной окружности

$$R = \frac{b}{2 \sin \gamma} = \frac{13,93}{2 \cdot 0,239098} = 29,13 \text{ мм}.$$

4. Глубина шпоночного паза будет

$$h = R - r_i = 29,13 - 25 = 4,13 \text{ мм}.$$

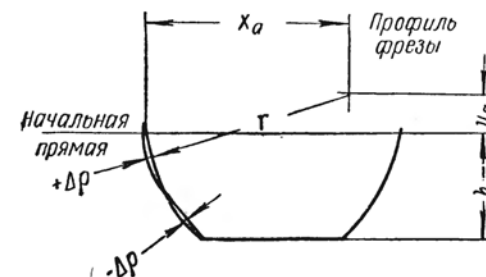
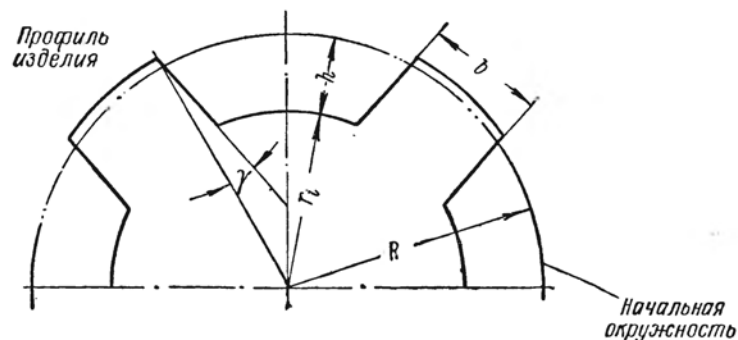
Тогда

$$\frac{h}{R} = \frac{4,13}{29,13} = 0,142.$$

Как видно, соблюдено условие $h \leq 0,16R$.

По заданию величина допуска на размер b будет $\Delta = 0,04$ мм. Согласно таблице для значения $\sin \gamma = 0,239098$ и для $h = (0,12 \div 0,16)R$ отклонение профиля — $\Delta\rho = 0,00040$. Тогда $3R\Delta\rho = 3 \cdot 29,13 \cdot 0,0004 = 0,035$ мм, т. е. условие $\Delta \geq 3R\Delta\rho$ также соблюдено. Следовательно, как по допуску Δ , так и по глубине h таблица пригодна для нашего случая по столбцам $h = (0,12 - 0,16)R$.

ПРОФИЛИ ЧЕРВЯЧНЫХ ШЛИЦЕВЫХ ФРЕЗ. РАДИУСЫ И КООРДИНАТЫ ЦЕНТРОВ ЗАМЕНЯЮЩИХ ОКРУЖНОСТЕЙ



$\sin \gamma$	Для глубины канавок шлицевых валиков											
	$h \leq 0,12R$				$h = (0,12—0,16) R$				$h = (0,16—0,2) R$			
	y_a	x_a	r	Δp	y_a	x_a	r	Δp	y_a	x_a	r	Δp
0,087156	0,059928	0,421663	0,4259	$\pm 0,00031$	0,076706	0,489527	0,4955	$\pm 0,00052$	0,090903	0,541118	0,5487	$\pm 0,0075$
0,090053	0,060991	0,422521	0,4269		0,077868	0,490255	0,4964		0,092172	0,541917	0,5497	
0,092950	0,062051	0,423478	0,4280		0,079061	0,491077	0,4974		0,093445	0,542714	0,5507	
0,095846	0,063137	0,424430	0,4291		0,080269	0,491894	0,4984		0,094748	0,543503	0,5517	
0,098741	0,064212	0,425280	0,4301		0,081453	0,492611	0,4993		0,096054	0,544290	0,5527	
0,101635	0,065307	0,426226	0,4312		0,082669	0,493423	0,5003		0,097365	0,545072	0,5537	
0,104528	0,066426	0,427166	0,4323		0,083889	0,494231	0,5013		0,098679	0,545852	0,5547	
0,107421	0,067529	0,428107	0,4334		0,085112	0,495037	0,5023		0,099997	0,546629	0,5557	
0,110313	0,068657	0,429041	0,4345		0,086381	0,495934	0,5034		0,101363	0,547496	0,5568	
0,113203	0,069806	0,430072	0,4357		0,087624	0,496731	0,5044		0,102714	0,548262	0,5578	
0,116093	0,070944	0,431000	0,4368	$\pm 0,00028$	0,088872	0,497525	0,5054	$\pm 0,00048$	0,104070	0,549024	0,5588	$\pm 0,00068$
0,118982	0,072086	0,431926	0,4379		0,090152	0,498412	0,5065		0,105448	0,549881	0,5599	
0,121869	0,073249	0,432947	0,4391		0,091420	0,499198	0,5075		0,106811	0,550636	0,5609	
0,1247 6	0,074438	0,433962	0,4403		0,092709	0,500079	0,5086		0,108178	0,551389	0,5619	
0,127642	0,075594	0,434879	0,4414		0,094027	0,500952	0,5097		0,109575	0,552133	0,5629	
0,130526	0,076793	0,435887	0,4426	$\pm 0,00028$	0,095337	0,501824	0,5108	$\pm 0,00048$	0,110996	0,552970	0,5640	$\pm 0,00068$
0,133410	0,077997	0,436892	0,4438		0,096652	0,502693	0,5119		0,112421	0,553805	0,5651	
0,136292	0,079206	0,437894	0,4450		0,097982	0,503556	0,5130		0,113850	0,554635	0,5662	

$\sin \gamma$	Для глубины канавок шлицевых валиков											
	$h \leq 0,12R$				$h = (0,12-0,16) R$				$h = (0,16-0,2) R$			
	y_a	x_a	r	Δp	y_a	x_a	r	Δp	y_a	x_a	r	Δp
0,139173	0,080438	0,438991	0,4463	$\pm 0,00028$	0,099318	0,504415	0,5141	$\pm 0,00046$	0,115284	0,555463	0,5673	$\pm 0,00068$
0,142053	0,081679	0,439983	0,4475		0,100677	0,505369	0,5153		0,116721	0,556287	0,5684	
0,144932	0,082924	0,440971	0,4487		0,102021	0,506222	0,5164		0,118189	0,557101	0,5695	
0,147809	0,084172	0,442058	0,4500		0,103414	0,507164	0,5176		0,119662	0,557912	0,5706	
0,150686	0,085427	0,443039	0,4512		0,104767	0,508010	0,5187		0,121139	0,558718	0,5717	
0,153561	0,086707	0,444115	0,4525		0,106169	0,508944	0,5199		0,122620	0,559521	0,5728	
0,156434	0,088014	0,445183	0,4538		0,107576	0,509875	0,5211		0,124155	0,560412	0,5740	
0,159307	0,089305	0,446252	0,4551	$\pm 0,00025$	0,109000	0,510799	0,5223	$\pm 0,00044$	0,125644	0,561207	0,5751	$\pm 0,00065$
0,162178	0,090623	0,447313	0,4564		0,110384	0,511628	0,5234		0,127166	0,561992	0,5762	
0,165048	0,091925	0,448374	0,4577		0,111851	0,512640	0,5247		0,128713	0,562871	0,5774	
0,167916	0,093254	0,449427	0,4590		0,113278	0,513555	0,5259		0,130266	0,563745	0,5786	
0,170783	0,094588	0,450477	0,4603		0,114734	0,514461	0,5271		0,131823	0,564616	0,5798	
0,173648	0,095949	0,451620	0,4617		0,116217	0,515461	0,5284		0,133385	0,565481	0,5810	
0,176512	0,097317	0,452657	0,4630		0,117682	0,516359	0,5296		0,134951	0,566344	0,5822	
0,179375	0,098689	0,453793	0,4644		0,119176	0,517351	0,5309		0,136522	0,567201	0,5834	
0,182236	0,100178	0,454905	0,4658		0,120639	0,518244	0,5321		0,138125	0,568048	0,5846	
0,185095	0,101475	0,455944	0,4671		0,122155	0,519224	0,5334		0,139733	0,568890	0,5858	
0,187953	0,102887	0,457063	0,4685		0,123688	0,520197	0,5347		0,141345	0,569729	0,5870	
0,190809	0,104306	0,458177	0,4699		0,125228	0,521166	0,5360		0,142987	0,570659	0,5883	
0,193664	0,105730	0,459288	0,4713		0,126760	0,522133	0,5373		0,144608	0,571488	0,5895	
0,196517	0,107228	0,460480	0,4728		0,128309	0,523094	0,5386		0,146263	0,572306	0,5907	
0,199368	0,108664	0,461582	0,4742		0,129901	0,524143	0,5400		0,147947	0,573215	0,5920	
0,202218	0,110107	0,462679	0,4756		0,131462	0,525094	0,5413		0,149636	0,574120	0,5933	
0,205065	0,111602	0,463864	0,4771		0,133077	0,526131	0,5427		0,151330	0,575020	0,5946	
0,207912	0,113125	0,465038	0,4786		0,134662	0,527070	0,5440		0,153030	0,575915	0,5959	
0,210756	0,114609	0,466116	0,4800	$\pm 0,00023$	0,136288	0,528097	0,5454	$\pm 0,00040$	0,154734	0,576806	0,5972	$\pm 0,00060$
0,213599	0,116123	0,467288	0,4815		0,137921	0,529120	0,5468		0,156444	0,577691	0,5985	
0,216440	0,117666	0,468448	0,4830		0,139573	0,530135	0,5482		0,158159	0,578572	0,5998	
0,219279	0,119216	0,469604	0,4845		0,141217	0,531148	0,5496		0,159907	0,579441	0,6011	

$\sin \gamma$	Для глубины канавок шлицевых валиков											
	$h \leq 0,12R$				$h = (0,12—0,16) R$				$h = (0,16—0,2) R$			
	y_a	x_a	r	$\Delta\rho$	y_a	x_a	r	$\Delta\rho$	y_a	x_a	r	$\Delta\rho$
0,222116	0,120772	0,470755	0,4860	$\pm 0,00023$	0,142880	0,532151	0,5510	$\pm 0,00040$	0,161659	0,580303	0,6024	$\pm 0,00060$
0,224951	0,122335	0,471901	0,4875		0,144549	0,533152	0,5524		0,163445	0,581258	0,6038	
0,227784	0,123930	0,473139	0,4891		0,146223	0,534147	0,5538		0,165209	0,582110	0,6051	
0,230616	0,125529	0,474269	0,4906		0,147956	0,535226	0,5553		0,167005	0,583054	0,6065	
0,233445	0,127137	0,475497	0,4922		0,149643	0,536211	0,5567		0,168806	0,583993	0,6079	
0,236273	0,128750	0,476616	0,4937		0,151388	0,537279	0,5582		0,170613	0,584926	0,6093	
0,239098	0,130395	0,477827	0,4953		0,153099	0,538250	0,5596		0,172454	0,585846	0,6107	
0,241922	0,132048	0,479033	0,4969		0,154856	0,539307	0,5611		0,174301	0,586758	0,6121	
0,244743	0,133707	0,480234	0,4985		0,156633	0,540356	0,5626		0,176153	0,587667	0,6135	
0,247563	0,135397	0,481422	0,5001		0,158403	0,541403	0,5641		0,178011	0,588569	0,6149	
0,250380	0,137071	0,482612	0,5017		0,160192	0,542440	0,5656		0,179875	0,589467	0,6163	
0,253195	0,138775	0,483790	0,5033		0,161988	0,543472	0,5671		0,181743	0,590358	0,6177	
0,256008	0,140514	0,485058	0,5050		0,163844	0,544587	0,5687		0,183647	0,591340	0,6192	
0,258819	0,142233	0,486224	0,5066		0,165653	0,545607	0,5702		0,185586	0,592306	0,6207	
0,261628	0,143987	0,487480	0,5083		0,167523	0,546709	0,5718		0,187530	0,593266	0,6222	
0,264434	0,145720	0,488635	0,5099	$\pm 0,00020$	0,169357	0,547714	0,5733	$\pm 0,00036$	0,189481	0,594221	0,6237	$\pm 0,00055$
0,267238	0,147513	0,489872	0,5116		0,171240	0,548805	0,5749		0,191438	0,595169	0,6252	
0,270040	0,149313	0,491103	0,5133		0,173161	0,549885	0,5765		0,193401	0,596111	0,6267	
0,272840	0,151097	0,492336	0,5150		0,175041	0,550963	0,5781		0,195370	0,597048	0,6282	
0,275637	0,152912	0,493555	0,5167		0,176958	0,552031	0,5797		0,197344	0,597978	0,6297	
0,278432	0,154759	0,494761	0,5184		0,178881	0,553092	0,5813		0,199325	0,598901	0,6312	
0,281225	0,156620	0,496063	0,5202		0,180811	0,554147	0,5829		0,201340	0,599810	0,6327	
0,284015	0,158458	0,497263	0,5219		0,182748	0,555197	0,5845		0,203394	0,600806	0,6343	
0,286803	0,160328	0,498449	0,5236		0,184750	0,556325	0,5862		0,205454	0,601795	0,6359	
0,289589	0,162236	0,499724	0,5254		0,186701	0,557361	0,5878		0,207520	0,602778	0,6375	
0,292372	0,164153	0,500993	0,5272		0,188731	0,558472	0,5895		0,209593	0,603755	0,6391	
0,295152	0,166046	0,502159	0,5289		0,190695	0,559495	0,5911		0,211673	0,604724	0,6407	

$\sin \gamma$	Для глубины канавок шлицевых валиков											
	$h \leq 0,12R$				$h = (0,12-0,16) R$				$h = (0,16-0,2) R$			
	y_a	x_a	r	$\Delta\rho$	y_a	x_a	r	$\Delta\rho$	y_a	x_a	r	$\Delta\rho$
0,297930	0,167979	0,503414	0,5307	0,00020 +	0,192739	0,560592	0,5928	0,00036 +	0,213758	0,605687	0,6423	0,00055 +
0,300706	0,169944	0,504654	0,5325		0,194790	0,561682	0,5945		0,215850	0,606643	0,6439	
0,303479	0,171925	0,505990	0,5344		0,196834	0,562770	0,5962		0,217978	0,607582	0,6455	
0,306249	0,173906	0,507215	0,5362		0,198900	0,563847	0,5979		0,220146	0,608608	0,6472	
0,309017	0,175895	0,508434	0,5380		0,200973	0,564916	0,5996		0,222321	0,609627	0,6489	

Примечания:
 1. Таблица предназначена для расчета координат x_a и y_a центра и радиуса, заменяющей окружности профиля червячных фрез (зубчатой рейки) для многошпоночных валиков и других зубчатых изделий с прямолинейным профилем.
 2. Глубина h отсчитывается от начальной окружности до окружности впадин: $h = R - r_f$.
 Для червячной фрезы с усиками за глубину h принимается расстояние от начальной окружности до основания переходного закругления.
 Для червячных фрез допустима большая глубина h в зависимости от требуемой точности предварительной обработки.
 3. Таблица имеет три градации радиусов и координат центров. Первая для малых глубин $h \leq 0,12R$, вторая для средних глубин $h = (0,12-0,16) R$, а третья для

больших глубин $h = (0,16-0,2) R$. При этом неточность замены профиля дугой окружности, как видно из таблицы, для малых глубин меньше чем для больших глубин.
 4. Все приведенные размеры в таблице относятся к радиусу R начальной окружности, равному единице.
 5. В таблице приведены наивыгоднейшие радиусы и координаты центров заменяющих окружностей, имеющие наименьшие отклонения $\Delta\rho$ от теоретического профиля для глубин
 $h = 0,12R$; $h = 0,16R$ и $h = 0,2R$.
 6. Отклонение окружности, заменяющей кривую профиля фрезы, $+\Delta\rho$ утолщает шпоночный выступ и имеет знак $+$ (плюс), а отклонение $-\Delta\rho$ подрезает его и обозначается знаком $-$ (минус).

5. Величины радиуса и координаты центра заменяющей окружности будут

$$\begin{aligned} y_a &= 0,153099 \cdot 29,13 = 4,46 \text{ мм;} \\ x_a &= 0,538250 \cdot 29,13 = 15,679 \text{ мм;} \\ r_a &= 0,5596 \cdot 29,13 = 16,301 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Отклонение заменяющей окружности от теоретического профиля будет:

$$\Delta\rho = \pm 0,0004 \cdot 29,13 = \pm 0,012 \text{ мм.}$$

§ 34. ТАБЛИЧНЫЙ РАСЧЕТ КООРДИНАТ ТОЧЕК ПРОФИЛЯ ШЛИЦЕВЫХ ЧЕРВЯЧНЫХ ФРЕЗ

Замена теоретического профиля дугой окружности для деталей с глубиной канавки $h > 0,2R$ дает, как правило, большие отклонения, превышающие допуск на ширину шпоночного выступа. Для таких зубчатых изделий, а также многошпоночных валиков с абсолютной величиной допуска Δ на ширину b шпоночного выступа меньшей, чем величина $3R\Delta\rho$, следует профиль фрезы задавать координатами точек. Здесь $\Delta\rho$ — номинальный размер отклонения профиля по табл. 24, а R — начальный радиус.

В связи с этим и составлена табл. 25, в которой даны соответствующие коэффициенты K_1 , K_2 , K_3 и K_4 для расчета координат точек профиля червячных фрез.

Значения указанных коэффициентов рассчитаны по формулам, определяющим профили шлицевых червячных фрез, именно:

$$y = R \sin^2 \alpha - a \sin \alpha = RK_2 - aK_1;$$

$$x = R(\alpha - \sin \alpha \cos \alpha) + a \cos \alpha - R\gamma = RK_3 + aK_4 - R\gamma,$$

где R — радиус начальной окружности шлицевого вала;
 α — произвольный угловой параметр.

Этот угол для точки профиля, расположенной на начальной прямой, будет равен углу γ . Он задается в радианах и определяется по формуле (стр. 132).

Коэффициенты K_1 , K_2 , K_3 и K_4 рассчитаны для таких значений параметра α , при которых ордината y возрастает приблизительно на постоянную величину.

Для расчета координат x и y профиля фрезы для шлицевого валика с параллельными шлицами следует сначала рассчитать $\sin \gamma$ и по нему найти ближайшее большее значение коэффициента K_1

КОЭФФИЦИЕНТЫ ДЛЯ РАСЧЕТА КООРДИНАТ (x, y) ТОЧЕК ПРОФИЛЯ ШЛИЦЕВЫХ ЧЕРВЯЧНЫХ ФРЕЗ

№ строк	Коэффициенты для расчета координат				№ строк	Коэффициенты для расчета координат			
	у		х			у		х	
	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄		K ₁	K ₂	K ₃	K ₄
1	0,100043	0,010009	0,000670	0,994983	26	0,509917	0,260015	0,096447	0,860223
2	0,141429	0,020002	0,001898	0,989948	27	0,519602	0,269986	0,102433	0,854408
3	0,173219	0,030005	0,003497	0,984883	28	0,529138	0,279987	0,108591	0,848536
4	0,200033	0,040013	0,005402	0,979789	29	0,538526	0,290010	0,114920	0,842609
5	0,223628	0,050009	0,007570	0,974675	30	0,547725	0,300003	0,121384	0,836658
6	0,244978	0,060014	0,009984	0,969529	31	0,556779	0,310003	0,128008	0,830661
7	0,264574	0,070000	0,012617	0,964365	32	0,565687	0,320002	0,134789	0,824620
8	0,282853	0,080006	0,015465	0,959163	33	0,574450	0,329993	0,141722	0,818540
9	0,300012	0,090007	0,018513	0,953935	34	0,583108	0,340015	0,148835	0,812395
10	0,316247	0,100012	0,021755	0,948677	35	0,591622	0,350017	0,156095	0,806215
11	0,331658	0,109997	0,025175	0,943400	36	0,599994	0,359993	0,163495	0,800005
12	0,346435	0,120017	0,028787	0,938074	37	0,608300	0,370029	0,171105	0,793707
13	0,360585	0,130022	0,032568	0,932726	38	0,616425	0,379980	0,178814	0,787413
14	0,374157	0,139993	0,036508	0,927365	39	0,624486	0,389983	0,186727	0,781036
15	0,387337	0,150030	0,040640	0,921938	40	0,632480	0,400031	0,194846	0,774577
16	0,400038	0,160030	0,044924	0,916499	41	0,640296	0,409979	0,203054	0,768128
17	0,412310	0,170000	0,049355	0,911044	42	0,648083	0,420012	0,211504	0,761570
18	0,424243	0,179982	0,053954	0,905548	43	0,655730	0,429982	0,220075	0,754996
19	0,435886	0,189997	0,058724	0,900002	44	0,663310	0,439980	0,228848	0,748345
20	0,447239	0,200023	0,063659	0,894415	45	0,670822	0,450002	0,237829	0,741618
21	0,458262	0,210004	0,068728	0,888817	46	0,678231	0,459997	0,246956	0,734849
22	0,469043	0,220001	0,073960	0,883175	47	0,685571	0,470008	0,256289	0,728005
23	0,479585	0,230002	0,079349	0,877495	48	0,692808	0,479983	0,265776	0,721122
24	0,489890	0,239992	0,084885	0,871784	49	0,700010	0,490014	0,275511	0,714133
25	0,500000	0,250000	0,090586	0,866025	50	0,707107	0,500000	0,285398	0,707107

табл. 25. Затем, пользуясь последующими коэффициентами, расчет координат производить по формулам стр. 137.

Крайние координаты рабочего участка профиля определяются для значения $y=h$, где h — глубина шпоночного паза изделия. При расчете профиля фрезы для шлицевого валика с треугольными шлицами крайние координаты определяются значением

$$y=h_2 \text{ и } y=-h_n,$$

где h_2 — высота головки, равная $h_2=R_e-R$;

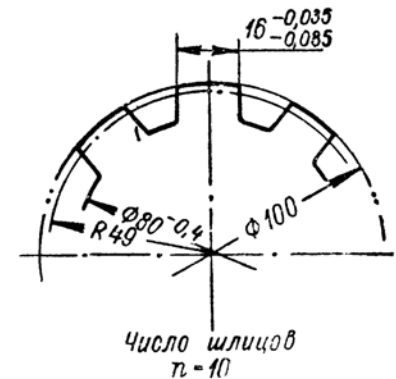
h_n — высота ножки равная, $h_n=R-r_i$.

Здесь R — радиус начальной окружности; R_e — радиус наружной окружности; r_i — радиус внутренней окружности валика.

Если после расчета первых двух значений y их разность окажется малой и число точек на профиле будет излишне большим, то для расчета координат выбираются номера строк коэффициентов через одну-две или три строки в зависимости от требуемой частоты точек.

Для иллюстрации порядка расчета координат профиля фрезы при помощи табл. 25 приводятся два примера.

Пример 1. На фиг. 81 показан шлицевой валик с параллельными сторонами шпоночного выступа, размеры которого следующие:



Фиг. 81. Многошпоночный валик с параллельными сторонами шпонок.

$D_e=100$ мм — наружный диаметр;
 $d_i=80$ мм — диаметр окружности впадин;
 $b=16_{-0,085}^{+0,035}$ мм — ширина шпоночного выступа;
 $n=10$ — число шлицов;
 $R=49$ мм — радиус начальной окружности;

$$h=R-\frac{d_i}{2}=9 \text{ мм} — \text{глубина шпоночного паза.}$$

Рассчитаем угол γ

$$\sin \gamma = \frac{a}{R} = \frac{16 - 0,06}{2 \cdot 49} = \frac{15,94}{98} = 0,162653.$$

Здесь 0,06 — среднее значение допустимого отклонения на ширину шпоночного выступа

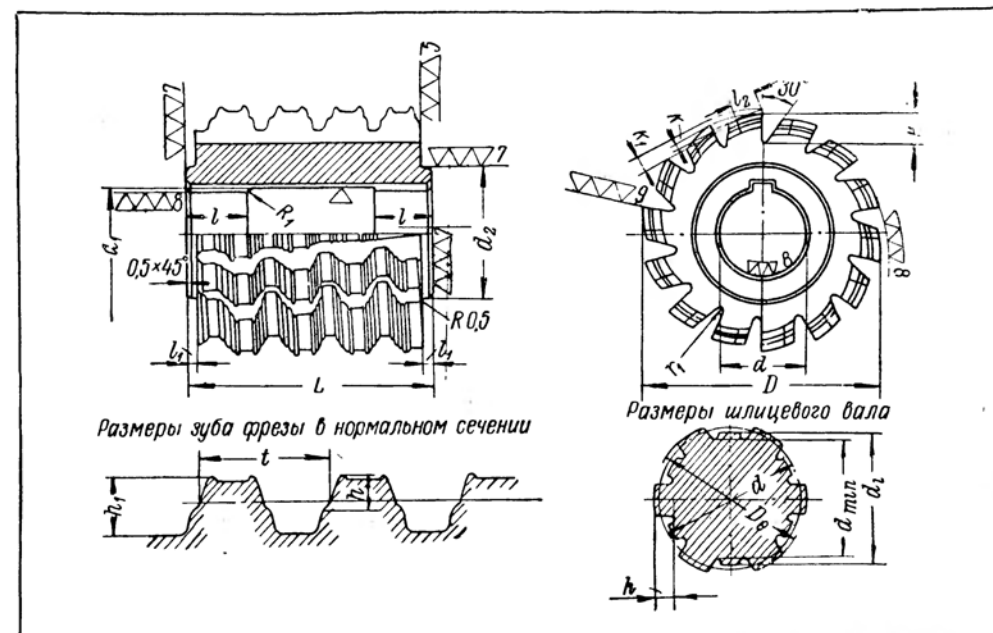
$$\gamma = 9^\circ 21' 40'' \text{ или } \gamma = 0,163382 \text{ рад.}$$

ФРЕЗЫ ЧЕРВЯЧНЫЕ ШЛИЦЕВЫЕ. КОНСТРУКТИВНЫЕ РАЗМЕРЫ

D (B ₇)	L (B ₇)	d	Наибольший шаг нарезки t	Для глубоких шлицов					Для мелких шлицов					K	K ₁	d ₁	d ₂	l	l ₁	r ₁
				h наибольшая	h ₁ (B ₇)	H (B ₇)	число зубцов z	l ₂	h наибольшая	h ₁ (B ₇)	H (B ₇)	число зубцов z	l ₂							
55	45	27	13	2,5	4	7	14	6	—	—	—	—	—	2	2,5	28	40	14	3,5	1
60	50	27	15	3	4,5	7,5	14	6,5	—	—	—	—	—	2	3	28	42	15	3,5	1
65	55	32	17,5	3,5	5,5	9	14	7	—	—	—	—	—	2	3	33	45	16	3,5	1
70	60	32	19	4	6	10,5	14	7,5	—	—	—	—	—	2,5	4	33	50	17	3,5	1
75	65	32	21	4,5	6,5	11	14	8	—	—	—	—	—	2,5	4	33	50	18	3,5	1
80	70	32	23	5	7,5	12	12	9	4,5	7	12	14	9	2,5	4	33	50	20	3,5	1
85	80	32	26	5,5	8	13	12	10	4,5	7	12	14	9,5	3	4,5	33	50	21	3,5	1,5
90	90	32	29	6,5	9	14	12	11	4,5	7	12	14	10	3	4,5	33	50	22	4	1,5
95	95	32	32	7,5	10	16	12	12	5	7,5	13	14	10,5	3,5	4,5	33	50	24	4	1,5
100	95	32	35	8,5	11	17	12	13	5	7,5	13	14	11	3,5	5	33	50	25	4	1,5
110	100	32	38	9,5	12	19	12	14	6	7,5	15	14	12	4	6	33	50	28	4	2
120	110	40	41	11	14	21	12	15	6,5	9,5	16	14	13	4,5	6	42	60	30	4	2
130	120	40	45	11	15	24	12	16	7	10,5	19	14	14	5	8	42	60	32	4	2
140	130	40	50	11	15	24	12	18	7	11	20	14	15	5	8	42	60	35	4	2
150	135	40	56	11	15	25	12	20	7	11	21	14	17	5,5	8	42	60	38	4	3
160	145	40	63	11	15	26	12	22	7,5	11,5	22	14	18	6,5	10	42	60	40	5	3

Примечания:

1. Таблица включает размеры фрез с усиками и без усиков.
2. Высота рабочего участка профиля определена по размерам валика $D_e - d_{\min}$. Для фрез без усиков $d_{\min} = d_t$.
3. Допускается незатылованная (фрезерованная) поверхность дна впадины, при этом $h_1 = H - 1$.
4. Размеры шпоночных канавок по ГОСТ 4020-48 (табл. 18).
5. Шаг фрезы определяется по формуле $t = \frac{\pi d}{n}$, где d — диаметр начальной окружности валика; n — число шлицов.
6. Наружный диаметр фрезы выбирается по большему его значению для заданных t или h .



Допуски на элементы червячных шлицевых фрез не должны превышать величин, приведенных в табл. 27 и 28.

Отклонение шага винтовой стружечной канавки допускается в пределах $\pm 0,5\%$ от его номинальной величины.

Допуск на наружный диаметр, длину, глубину стружечной канавки и высоту профиля (h_1) по B₇ ОСТ 1015.

Диаметр отверстия у фрез класса А выполняется в пределах 1-го класса точности ОСТ 1011 (A₁), у фрез класса Б в пределах 2-го класса ОСТ 1012 (A).

Овальность, конусность и смещение осей посадочных поверхностей отверстия должны быть в пределах допуска на отверстие.

Допуски на элементы профиля фрезы определяются точностью контрольных образцов (эталонов), нарезаемых испытуемой фрезой. Элементы профиля фрезы считаются в пределах допуска, если нарезанные пробные образцы удовлетворяют следующим требованиям:

- а) размеры и допуски на контрольные образцы шлицевого валика должны соответствовать чертежу пробного образца;
- б) смещение боковых сторон шлицов от оси симметрии не должно превышать половины допуска на ширину шпоночного выступа контрольного образца;
- в) прямолинейность сторон должна быть в пределах допуска на ширину шпоночного выступа контрольного образца;
- г) эксцентричность внутреннего диаметра не должна превышать $\frac{2}{3}$ допуска на внутренний диаметр образца.

ДОПУСКИ ШАГА НАРЕЗКИ И ТОЛЩИНЫ ЗУБА ФРЕЗЫ

Наименование контролируемого элемента	Класс точности фрезы	Допускаемые отклонения в мм			
		при шаге до 10 мм	при шаге свыше 10 до 20 мм	при шаге свыше 20 до 30 мм	при шаге свыше 30 мм
Шаг осевой	A	$\pm 0,008$	$\pm 0,010$	$\pm 0,012$	$\pm 0,015$
	B	$\pm 0,015$	$\pm 0,020$	$\pm 0,025$	$\pm 0,030$
Суммарная ошибка на длине трех шагов	A	$\pm 0,015$	$\pm 0,020$	$\pm 0,025$	$\pm 0,030$
	B	$\pm 0,030$	$\pm 0,040$	$\pm 0,050$	$\pm 0,060$
Толщина зуба	A ¹	$-0,010$	$-0,015$	$-0,020$	$-0,030$
	B ²	$\pm 0,015$	$\pm 0,020$	$\pm 0,020$	$\pm 0,025$
Допустимая разность расстояний от вершины зубцов до оси фрезы (конусность)	A	0,015	0,020	0,025	0,030
	B	0,025	0,030	0,035	0,045

¹ Допуски на толщину зуба назначены только для фрез, нарезающих валики, центрируемые по внутреннему диаметру d_i .

² Допуски назначены также для фрез, нарезающих валики, центрируемые по D_e и b .

ДОПУСКИ НА БИЕНИЕ, ОКРУЖНОЙ ШАГ И РАДИАЛЬНОСТЬ ПЕРЕДНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ЗУБЦОВ ФРЕЗЫ

Наименование контролируемого элемента	Класс точности фрезы	Допускаемые отклонения в мм			
		при диаметре фрезы до 60 мм	при диаметре фрезы свыше 60 до 80 мм	при диаметре фрезы свыше 80 до 100 мм	при диаметре фрезы свыше 100 мм
Биеение радиальное по буртам	A	0,015	0,020	0,020	0,020
	B	0,020	0,025	0,030	0,030
Биеение опорных торцев (у наружного диаметра бурта)	A	0,010	0,010	0,015	0,015
	B	0,015	0,015	0,020	0,020
Биеение радиальное по наружному диаметру фрезы	A	0,020	0,025	0,030	0,035
	B	0,030	0,040	0,050	0,060
Неравномерность окружного шага	A	0,050	0,070	0,085	0,100
	B	0,070	0,085	0,100	0,120
Радиальность передней поверхности зубцов	A	0,030	0,040	0,050	0,060
	B	0,050	0,060	0,080	0,100

РАСЧЕТ ЧЕРВЯЧНЫХ ШЛИЦЕВЫХ ФРЕЗ

§ 36. СПОСОБЫ АНАЛИТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА

Точность профиля рассчитываемой червячной шлицевой фрезы в первую очередь зависит от требуемой точности изготавливаемого многошпоночного валика. На точность профилирования червячных шлицевых фрез также существенно влияют глубина профиля валика и угол подъема винтовой нарезки фрезы. При этом чем больше глубина профиля и угол подъема нарезки, тем точнее должны быть методы расчета. Кроме того, следует иметь в виду возможности инструментального производства при изготовлении и контроле профиля червячных шлицевых фрез.

В связи с изложенным рекомендуется применять три способа расчета профиля червячных шлицевых фрез:

1) Расчет координат точек профиля червячной фрезы по профилю зубчатой рейки. В этом случае размеры профиля задаются координатами (шириной и высотой) ряда точек, определяемых расчетом по табл. 25.

Такой способ расчета следует применять, во-первых, при наличии условий для изготовления шаблонов для червячных фрез по координатам точек, и, во-вторых, если угол ω подъема винтовой нарезки и высота h профиля относительно малы, а зависимость между ними характеризуется приближенной эмпирической формулой $\omega_0 \leq \frac{34}{h}$, где ω в градусах, а h в мм.

2) Расчет наивыгоднейшей заменяющей окружности при теоретическом профиле по рейке. В этом случае профиль задается радиусом r заменяющей окружности и координатами центра x_a и y_a , которые находятся по табл. 24 или определяются расчетом.

Замена теоретического профиля дугой одной окружности рекомендуется для глубин h профиля валика, не превышающих $h \leq 0,2R$. Для больших значений h следует профиль задать координатами точек по расчету, рекомендованному в п. 1, при этом зависимость между ω и h сохраняет тот же вид, что в п. 1.

3) Расчет координат точек профиля червячной фрезы по точному способу. В этом случае размеры профиля задаются координатами ряда точек, определяемых расчетом.

Этот способ применим для червячных фрез с большим углом ω подъема винтовой нарезки и высотой h профиля, когда зависимость

между ними характеризуется неравенством $\omega > \frac{34}{h}$. Кроме того, должны существовать условия для изготовления шаблонов по координатам точек.

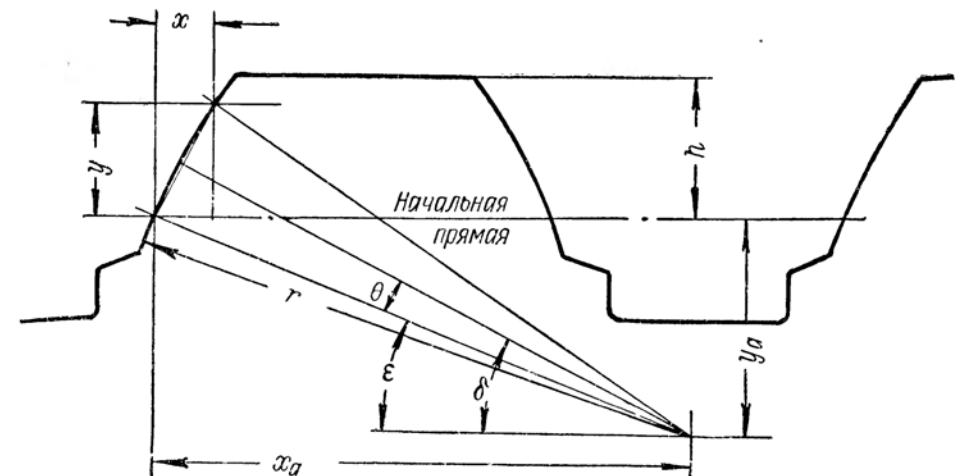
Профиль червячной фрезы для многошпоночных валиков с треугольным профилем, как правило, задается дугой окружности и реже задается координатами точек.

Кроме основных расчетов профилей, дополнительным расчетом фрез с профилем по дуге окружности определяется отклонение дугового профиля от теоретического профиля фрезы.

Во всех расчетах профиля фрезы следует пользоваться табл. 24 и 25 и лишь в том случае, когда размеры заданного валика не соответствуют области применения таблиц, следует применять приводимые ниже формулы для расчета профиля.

§ 37. ФОРМУЛЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ПРОФИЛЯ ПО ДУГЕ ОКРУЖНОСТИ И НЕТОЧНОСТИ ЗАМЕНЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ КРИВОЙ

Порядок и формулы расчета профиля червячной фрезы для многошпоночного валика с плоскопараллельными сторонами шпонок по дуге оптимальной (наиболее близкой к кривой) окружности при условиях, указанных для второго расчета § 36, определяются следующей расчетной таблицей (фиг. 86):



Фиг. 86. Расчет дугового профиля червячной фрезы для многошпоночного валика с параллельными сторонами шпонок.

№ формул	Наименование расчетного размера	Обозначение	Формула	Примечание
1	Угловой параметр, соответствующий наружной точке профиля	α_1	$\cos \alpha_1 = \sqrt{\left(\frac{R_e}{R}\right)^2 - \sin^2 \gamma}$	Допускается округление α до целых минут при этом уточняются $\sin \alpha$ и $\cos \alpha$
2	Угловой параметр, соответствующий точке профиля на внутренней окружности валика	α_2	$\cos \alpha_2 = \sqrt{\left(\frac{R_i}{R}\right)^2 - \sin^2 \gamma}$	
3	Абсцисса точки, соответствующая α_1	x_1	$x_1 = a_1 - \gamma - \cos \alpha_1 \times (\sin \alpha_1 - \sin \gamma)$	α_1, α_2 и γ в радианах
4	Абсцисса точки, соответствующая α_2	x_2	$x_2 = a_2 - \gamma - \cos \alpha_2 \times (\sin \alpha_2 - \sin \gamma)$	
5	Ордината точки, соответствующая α_1	y_1	$y_1 = \sin \alpha_1 (\sin \alpha_1 - \sin \gamma)$	γ определяется по формуле § 31 стр. 132
6	Ордината точки, соответствующая α_2	y_2	$y_2 = \sin \alpha_2 (\sin \alpha_2 - \sin \gamma)$	
7	Общая абсцисса профиля	x	$x = x_2 - x_1$	Значения x_1 и y_1 проставляются со знаками, полученными по формулам (3) и (5)
8	Общая ордината профиля	y	$y = y_2 - y_1$	

№ формул	Наименование расчетного размера	Обозначение	Формула	Примечание
9	Первый вспомогательный угол	δ	$\operatorname{tg} \delta = \frac{x}{y}$	θ находится по таблице $\theta \operatorname{cosec} \theta$ приложения I
10	Второй вспомогательный угол	θ	$\theta \operatorname{cosec} \theta = \frac{2(\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2) - (\alpha_2 - \alpha_1) \sin \gamma}{x \operatorname{cosec} \delta}$	
11	Радиус оптимальной заменяющей окружности при $R=1$	r_1	$r_1 = 0,5x \operatorname{cosec} \delta \operatorname{cosec} \theta$	
12	Третий вспомогательный угол	ϵ	$\epsilon = \delta - \theta$	
13	Четвертый вспомогательный угол	ϵ_a	$\sin \epsilon_a = \sin \epsilon - \frac{y_1}{r_1}$	y_1 проставляется со знаком, полученным по формуле (5)
14	Радиус оптимальной заменяющей окружности	r	$r = r_1 \cdot R$	
15	Абсцисса центра окружности радиуса r	x_a	$x_a = r \cos \epsilon_a$	
16	Ордината центра окружности радиуса r	y_a	$y_a = r \sin \epsilon_a$	

Координаты точек, определяемые формулами (3) ÷ (8), соответствуют их значениям при радиусе R начальной окружности, равном единице.

Приведенные формулы для расчета радиуса r определяют наивыгоднейшую его величину и получены из условия равенства длин дуг теоретической кривой и заменяющей окружности.

Формулы и порядок расчета отклонений заменяющей окружности от теоретического профиля фрезы по зубчатой рейке (фиг. 88) определяются следующей таблицей:

№ формул	Наименование расчетного размера	Обозначение	Формула	Примечание
1	Приближенное значение параметра α , соответствующее максимальному отклонению окружности от профиля рейки	b	$b = \frac{R\gamma + x_a}{2 \left(R + \frac{y_a}{3} \right)}$	Значения координат x_a и y_a проставляются с их знаками. Здесь y_a проставляется со знаком минус. α_{M1} , α_{M2} и γ в радианах
2		c	$c = \frac{y_a}{R + \frac{y_a}{3}}$	
3		α_{M1}	$\alpha_{M1} = b - \sqrt{b^2 + c}$	
4		α_{M2}	$\alpha_{M2} = b + \sqrt{b^2 + c}$	
5	Точные значения α_{M1} и α_{M2}	α_{M1}	$R^{\alpha_{M1}} - y_a \operatorname{ctg} \alpha_{M1} - (R\gamma + x_a) = 0$	Расчет повторяется путем попыток до получения значения, равного нулю
6		α_{M2}	$R^{\alpha_{M2}} - y_a \operatorname{ctg} \alpha_{M2} - (R\gamma + x_a) = 0$	
7	Радиусы-векторы точек максимальных отклонений	ρ_{M1}	$\rho_{M1} = R (\sin \alpha_{M1} - \sin \gamma) - \frac{y_a}{\sin \alpha_{M1}}$	
8		ρ_{M2}	$\rho_{M2} = R (\sin \alpha_{M2} - \sin \gamma) - \frac{y_a}{\sin \alpha_{M2}}$	
9	Максимальные отклонения заменяющей окружности от теоретического профиля	$\Delta\rho_1$	$\Delta\rho_1 = \rho_{M1} - r$	r — радиус заменяющей окружности $\Delta\rho_1$ и $\Delta\rho_2$ обычно имеют разные знаки
10		$\Delta\rho_2$	$\Delta\rho_2 = \rho_{M2} - r$	

§ 38. ФОРМУЛЫ ДЛЯ ТОЧНОГО РАСЧЕТА КООРДИНАТ ТОЧЕК ПРОФИЛЯ ФРЕЗЫ И РАЗМЕРЫ ЗУБА В НОРМАЛЬНОМ СЕЧЕНИИ

В данном параграфе приводятся формулы и порядок расчета координат точек профиля шлицевой червячной фрезы по точному способу.

Область применения этого способа расчета указана в § 36.

Для расчета полагаются известными следующие размеры:

R — радиус начальной окружности детали;

a — расстояние прямой профиля детали до центра начальной окружности;

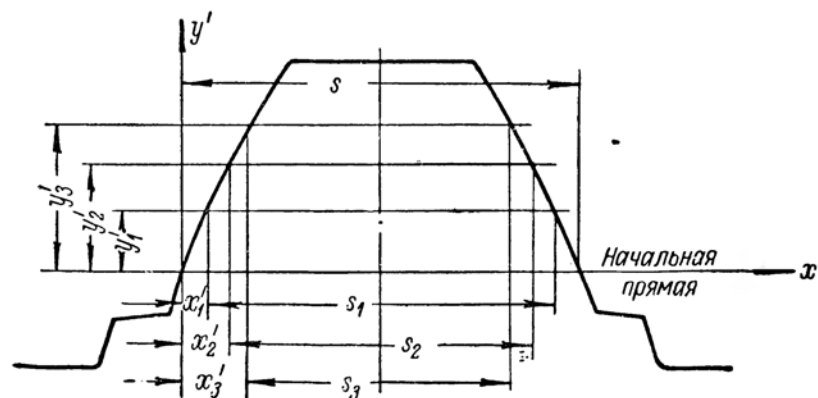
h — высота профиля детали до начальной прямой;

R_{eu} — радиус наружной окружности фрезы;

ω — угол подъема начальной винтовой линии фрезы и угол наклона винтовой стружечной канавки;

t_0 — шаг нарезки фрезы по оси;

f — расстояние по высоте профиля детали между соседними рассчитываемыми точками, которое задается в пределах 0,5—1,5 мм.



Фиг. 89. Расчет координат точек профиля фрезы.

Координаты точек (фиг. 89) рассчитываются по следующим формулам:

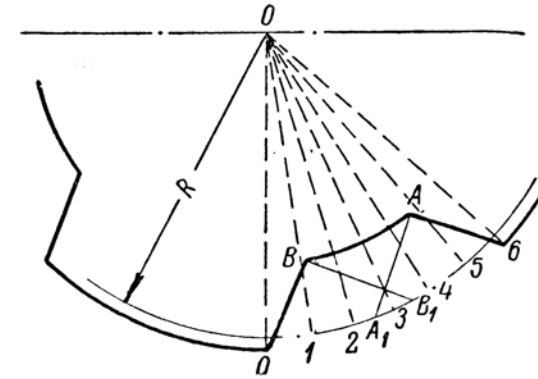
№ формул	Наименование расчетного размера	Обозначение	Формула	Примечание
1	Постоянный параметр прямолинейного профиля детали	γ	$\sin \gamma = \frac{a}{R}$	Для параллельных шлицов $a = \frac{b}{2}$
2	Винтовой параметр нарезки фрезы	p	$p = \frac{t_0}{2\pi}$	
3	Радиус начального цилиндра фрезы	ρ	$\rho = R_{eu} - h$	
4	Винтовой параметр стружечной канавки	p_k	$p_k = p \operatorname{ctg} \omega$	
5	Радиус-вектор точки профиля детали	ρ_i	$\rho_i = R - Nf$	N — порядковый номер точки рассчитываемой координаты $N = 1, 2, 3$ и т. д.
6	Угловой параметр	α	$\cos \alpha = \sqrt{\left(\frac{\rho_i}{R}\right)^2 - \sin^2 \gamma}$	
7	Координаты образующей кривой винтовой поверхности основного червячка фрезы	a_1	$a_1 = R \sin \alpha (\sin \alpha - \sin \gamma)$	
8		b_1	$b_1 = a_1 \operatorname{ctg} \alpha$	α и γ в радианах. ρ определяется по формуле (3)
9		x	$x = R (\alpha - \gamma) \sec \omega - b_1 \cos \omega$	
10		y	$y = \rho + a_1$	
11		z	$z = b_1 \sin \omega$	
12	Второй угловой параметр	λ	$\operatorname{tg} \lambda = \frac{z}{y}$	
13	Третий угловой параметр	φ	$\varphi = \frac{x - \rho \lambda}{\rho_k + p}$	λ и φ в радианах
14	Линейный параметр	m	$m = \sqrt{y^2 + z^2}$	x' и y' отсчитываются от начальной прямой фрезы
15	Координаты точки профиля фрезы	y'	$y' = m \cos \varphi - \rho$	
16		x'	$x' = \rho_k \varphi \cos \omega + p \sin \varphi \sin \omega$	
17	Толщины профиля зубца фрезы	S_i	$S_i = S - 2x'$	S — см. ниже формула (2)

Формулы и порядок расчета размеров зуба червячной фрезы в нормальном сечении (по передней грани, фиг. 90) при различных способах расчета профиля определяются следующей таблицей:

№ формул	Наименование расчетного размера	Обозначение	Формула	Примечание
1	Половина центрального угла впадины шлицевого валика	θ	$\theta = \frac{180^\circ}{n} - \gamma$ $\theta^{**} = \varphi - \gamma$	n — число шлицов. θ и γ — в град.
2	Толщина зуба фрезы по начальной прямой	S	$S = 0,034906 R \cdot \theta^\circ$	R — радиус начальной окружности вала
3	Высота профиля фрезы до начальной прямой	h	$h = R - r_i$	
4	Высота профиля фрезы до верхних площадок усиков (для фрез с усиками)	h_2	$h_2 = h + f$ $f = (0,2 \div 0,25) h$	f — глубина переходного закругления берется по чертежу валика
5	Высота зуба до начала фасочной кромки	h_3	$h_3 = R_e - r_i - c$	
6	Полная высота профиля зуба	h_1^*	$h_1 = R_e - r_i + l + (1 \div 4) \text{ мм}$	Для фрез, затылованных по впадине
			$h_1 = H - (1 \div 2) \text{ мм}$	Для фрезерованных впадин H — глубина стружечной канавки
7	Шаг нарезки фрезы по нормали	t_n	$t_n = \frac{2\pi R}{n}$	
8	Ширина канавки между зубцами	l	$l = t_n - S - (2 \div 3) \text{ мм}$	

§ 39. ГРАФИЧЕСКОЕ ПОСТРОЕНИЕ ПРОФИЛЯ ИНСТРУМЕНТА И ОБРАТНАЯ ОБКАТКА

Данный способ основан на принципе фиксирования на бумаге последовательных положений профиля изделия при перекачивании его начальной окружности по неподвижной начальной прямой инструмента. При этом образуется семейство профилей изделия, огибающая которых и является профилем инструмента.



Фиг. 91. Профиль впадины детали.

Графический способ рекомендуется во всех случаях построения или проверки профиля инструмента, полученного расчетным путем. Построение профиля зубчатой рейки (червячной фрезы) для многошпоночного валика производится следующим образом. Профиль изделия вычерчивается на бумаге в масштабе (от 10:1 до 100:1), который зависит от точности профиля и допускаемых размеров чертежа (фиг. 91). Затем проводим начальную окружность изделия радиусом R . Из крайних точек прямолинейных участков профиля изделия A и B проводим нормали (перпендикуляры) к ним до пересечения с начальной окружностью в точках A_1 и B_1 .

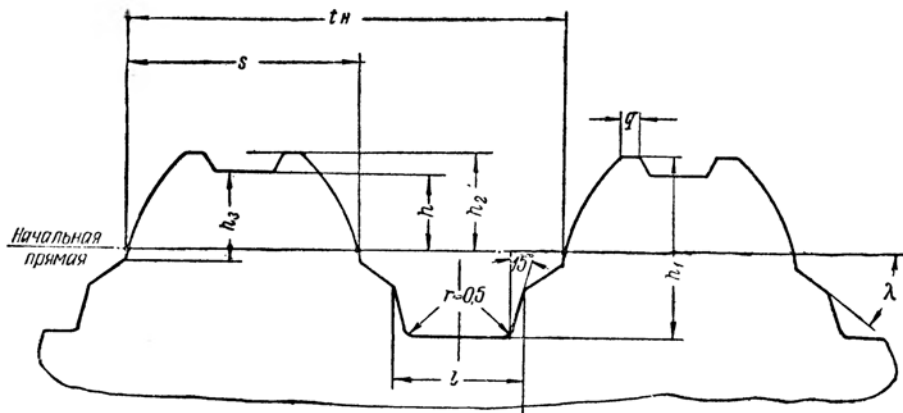
Если дуга $\widehat{OB_1} < \widehat{O6}$ — дуги начальной окружности, расположенной во впадине, то в этом случае дуга $\widehat{O6}$ делится на ряд равных отрезков, каждый из которых берется равным $(\frac{1}{15} - \frac{1}{20})R$, а именно: $\widehat{O1-12-23}$ и т. д. Если точки A_1 и B_1 расположены за пределами профиля впадины изделия, то дуга $\widehat{A_1B_1}$ делится на ряд равных отрезков, не превышающих $(\frac{1}{15} - \frac{1}{20})R$. Затем центр начальной окружности соединяют прямыми (лучами) $\widehat{O1}$, $\widehat{O2}$, $\widehat{O3}$ и т. д. с точками начальной окружности 0 , 1 , 2 и т. д.

№ формул	Наименование расчетного размера	Обозначение	Формула	Примечание
9	Ширина площадки устика	q	$q \approx 0,07S - 0,2 \text{ мм}$	Округляется до чисел, кратных 0,1 мм. Не допускается $q < 0,3 \text{ мм}$
10	Угол λ между начальной прямой фрезы и режущей кромкой для снятия фаски	ϵ	$\sin \epsilon = \frac{S - 2c}{D_e}$	c — ширина фаски валика
11		ρ_c	$\rho_c = R_e - \frac{c}{2}$	R_e — радиус наружной окружности валика
12		λ	$\sin \lambda = \frac{\sqrt{\rho_c^2 - R_e^2 \sin^2(45^\circ + \epsilon)}}{R}$	

* Полная высота профиля фрезы валика с треугольными шлицами определяется по формуле

$$h_1 = R_e - r_f + (0,5 \div 1) \text{ мм}$$

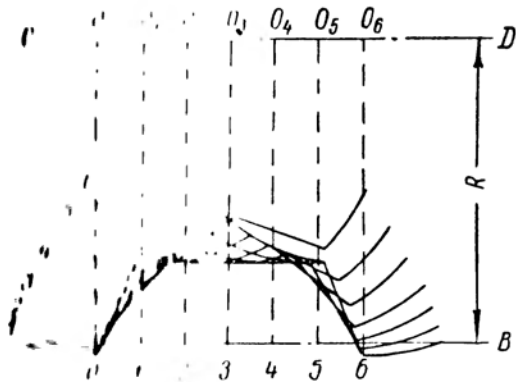
** Для валиков с треугольными шлицами.



Фиг. 90. Расчет размеров зуба червячной фрезы в нормальном сечении.

На отдельном листе чертят начальную прямую $\overline{AB}$ и параллельную ей $\overline{CD}$ на расстоянии, равном R .

На начальной прямой $\overline{AB}$ откладывают одинаковые отрезки $\overline{O_1-1-2-3}$ и т. д., равные соответствующим хордам начальной окружности (фиг. 91). Из точек $O, 1, 2, 3$ и т. д. восстанавливают перпендикуляры $\overline{OO_1}, \overline{1O_1}, \overline{2O_2}$ и т. д. до пересечения с прямой $\overline{CD}$ в точках O_1, O_2, O_3 и т. д.



Фиг. 91. Прямая обкатка профиля детали.

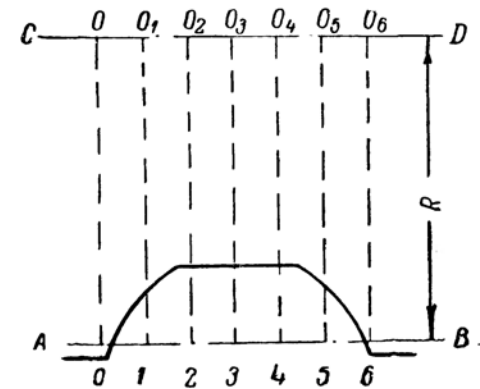
Затем чертеж на кальке (фиг. 92) накладывается на чертеж на бумаге (фиг. 91) так, чтобы прямая $\overline{OO}$ на кальке совместились с прямой $\overline{OO}$ на бумаге, после чего профиль изделия копируется на кальку. Совмещая последовательно прямые $\overline{1O}$ с $\overline{1O_1}$ и $\overline{2O}$ с $\overline{2O_2}$ и т. д. и копируя на кальку профили изделия, получают профиль инструмента, как огибающую профилей изделия (фиг. 92).

В случае большого масштаба построения не рекомендуется вычерчивать всю длину прямых $\overline{OO}, \overline{O_1O_1}$ и т. д. на чертеже изделия и $\overline{OO}, \overline{1O_1}, \overline{2O_2}$ и т. д. на чертеже инструмента. При этом совмещаются точки $O, 1, 2$ и т. д. на бумаге и кальке и соответствующие им отрезки прямых, взятые наиболее удобной длины.

Для контроля правильности полученного профиля инструмента расчетом или графическим построением строится так называемая обратная обкатка, т. е. по профилю инструмента находится профиль зубчатого изделия изложенным выше способом построения огибающей.

Построение обратной обкатки производится следующим образом. На листе бумаги (фиг. 93) вычерчивают профиль инструмента. Для сравнимости он взят по фиг. 92 и вычерчен в том же масштабе, в каком был получен профиль инструмента при прямой обкатке. Соответственно располагается начальная прямая $\overline{AB}$ и ей параллельная $\overline{CD}$ на расстоянии R . Толщину профиля зуба инструмента по начальной прямой $\overline{AB}$ делят на ряд одинаковых отрезков, не превышающих $(1/15 \div 1/20) R$, т. е. $\overline{O_1-1-2-3}$ и т. д.

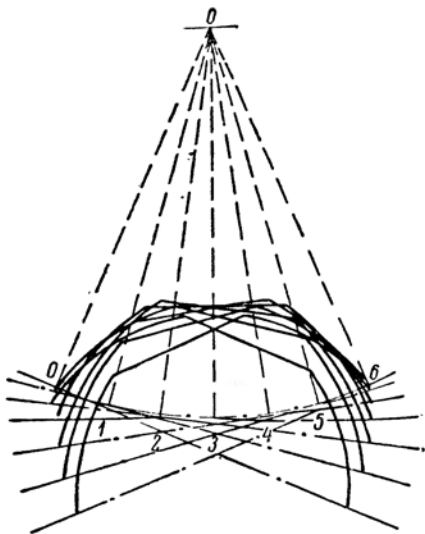
Из точек $O, 1, 2, 3$ и т. д. проводят перпендикуляры к начальной прямой до пересечения с прямой $\overline{CD}$ в точках O, O_1, O_2 и т. д. Затем на листе кальки (фиг. 94) вычерчивают в том же масштабе начальную окружность радиусом R . На начальной окружности откладывают хорды, равные отрезкам на начальной прямой $\overline{O_1-1-2-3}$ и т. д., столько раз, сколько отрезков на профиле инструмента (фиг. 93), и соединяют центр окружности O с точками $O, 1, 2, 3$ и т. д. прямыми. Совмещая прямую $\overline{OO}$ на бумаге (фиг. 93) с прямой $\overline{OO}$ на кальке (фиг. 94), копируют на кальку профиль инструмента; затем, совмещая прямые $\overline{O_11}$ с $\overline{O_11}$, $\overline{O_22}$ с $\overline{O_22}$ и т. д., копируют последовательные положения профиля инструмента. Огибающая семейства профилей инструмента и является профилем изделия. Для сверки отклонения профиля изделия, полученного обратной обкаткой, от заданного следует наложить профиль изделия по фиг. 94 на заданный профиль по фиг. 91.



Фиг. 93. Профиль червячной фрезы.

Обратной обкаткой мы можем обнаружить неточности нашего построения, в частности неточность от замены полученной кривой профиля инструмента дугой окружности.

Обратной обкаткой можно также определить те участки профиля изделия, которые не соответствуют ранее заданным, например, участки с переходными кривыми, подрезанные и др.



Фиг. 94. Обратная обкатка профиля фрезы.

При расчете координат точек профиля по формулам выполняется лишь, как правило, контрольная обратная обкатка для выявления грубых ошибок расчета и определения размеров переходных кривых.

§ 40. РАСЧЕТ КОНСТРУКТИВНЫХ РАЗМЕРОВ ЧЕРВЯЧНЫХ ФРЕЗ

[13, стр. 195÷204]

Габаритные размеры фрезы и размеры зубцов выбираются по табл. 26 конструктивных размеров червячных шлицевых фрез в зависимости от шага t и высоты h профиля детали.

Дополнительно рассчитываются:

ω — угол подъема начальной винтовой линии фрезы;

t_0 — осевой шаг фрезы;

T — шаг винтовой стружечной канавки.

Для определения угла подъема рассчитывается начальный диаметр $D_{н.у}$ фрезы по формуле

$$D_{н.у} = D - 2h - \frac{K}{2},$$

где D — наружный диаметр фрезы;

h — высота профиля фрезы до начальной прямой;

K — падение затылка — берется по табл. 26.

Угол подъема начальной винтовой линии фрезы будет

$$\sin \omega = \frac{t_n}{\pi D_{н.у}}.$$

Шаг t_0 фрезы по оси

$$t_0 = t_n \sec \omega.$$

Шаг винтовой стружечной канавки

$$T = t_0 \operatorname{ctg}^2 \omega.$$

При необходимости выбора размеров фрезы, отличных от размеров по табл. 26, ведется проверочный расчет падения затылка и глубины стружечной канавки по формулам

$$K = \frac{\pi D \operatorname{tg} \alpha}{z},$$

где α — задний угол фрезы, $\alpha = 8 - 12^\circ$;

z — число зубцов фрезы.

Второе падение затылка для шлифованных фрез будет

$$K_1 = (1,2 \div 1,3) K.$$

Глубина стружечной канавки:

для шлифованных фрез

$$H = h_1 + \frac{K + K_1}{2} + r_1;$$

для нешлифованных фрез

$$H = h_1 + K + r_1,$$

где r_1 — радиус закругления канавки.

Если необходимо выбрать по табл. 26 фрезу для высоты профиля h с диаметром, отличным от рекомендуемого, следует изменить число зубцов пропорционально измененному наружному диаметру фрезы, как это указано в расчете фасонных фрез (см. гл. V, стр. 67).

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ЧЕРВЯЧНЫХ ШЛИЦЕВЫХ ФРЕЗ

§ 41. ПРИМЕР РАСЧЕТА ЧЕРВЯЧНОЙ ФРЕЗЫ
ДЛЯ МНОГОШПОНОЧНОГО ВАЛИКА (БЕЗ УСИКОВ)

Заданы следующие размеры многошпоночного валика:

наружный диаметр валика $D_e = 2R_e = 72_{-0,15} \text{ мм}$;

внутренний диаметр валика $d_i = 2r_i = 62_{-0,2} \text{ мм}$;

ширина шпоночного выступа $b = 12_{-0,06} \text{ мм}$;

ширина фаски $c = 0,4 \text{ мм}$;

число шлицов $n = 8$.

Расчетная ширина шпоночного выступа будет:

$$b^* = 0,5 (12 + 11,94) = 11,97 \text{ мм.}$$

Радиус R начальной окружности валика (табл. 23, второй тип) будет:

$$\rho = R_e - c = 36 - 0,4 = 35,6 \text{ мм};$$

$$R = \sqrt{\rho^2 - 0,75 \left(\frac{b}{2}\right)^2} = \sqrt{35,6^2 - 0,75 \left(\frac{12}{2}\right)^2} = 35,218 \text{ мм.}$$

Определяем возможность пользования табл. 24 для расчета профиля червячной фрезы по дуге заменяющей окружности (см. стр. 133).

$$\sin \gamma = \frac{b}{2R} = \frac{11,97}{2 \cdot 35,218} = 0,169941.$$

Ближайшее меньшее значение $\sin \gamma$ по таблице будет

$$\sin \gamma = 0,167916,$$

тогда

$$\gamma = 9^\circ 40'.$$

Уточняем размер радиуса R начальной окружности

$$R = \frac{b}{2 \sin \gamma} = \frac{11,97}{2 \cdot 0,167916} = 35,643 \text{ мм.}$$

Глубина шпоночного паза до начальной окружности будет

$$h = R - r_i = 35,643 - 31 = 4,643 \text{ мм.}$$

$$\text{Отношение } \frac{h}{R} = \frac{4,643}{35,643} = 0,1302.$$

Условие $h < 0,16R$ соблюдено и по высоте h профиля таблица может быть использована.

Абсолютная величина допуска на ширину шпоночного выступа равна $\Delta = 0,06 \text{ мм}$. Согласно таблице для значения $\sin \gamma = 0,167916$ и для $h = (0,12 \div 0,16) R$ отклонение дуги окружности от теоретического профиля будет

$$\Delta \rho = 0,00044.$$

Тогда

$$3R\Delta\rho = 3 \cdot 35,643 \cdot 0,00044 = 0,047 \text{ мм.}$$

Таким образом, условие $\Delta \geq 3R\Delta\rho$ также соблюдено. Следовательно, пользоваться таблицей для определения радиуса r и координат центра x_a и y_a , заменяющей окружности для принятых значений $\sin \gamma$ и h , возможно.

Умножая принятые значения по таблице на R , получаем искомый радиус и координаты центра, именно:

$$y_a = 0,113278 \cdot 35,643 = 4,038 \text{ мм};$$

$$x_a = 0,513555 \cdot 35,643 = 18,305 \text{ мм};$$

$$r = 0,5259 \cdot 35,643 = 18,745 \text{ мм.}$$

Отклонение заменяющей окружности от теоретического профиля будет

$$\Delta \rho = \pm 0,00044 \cdot 35,643 = \pm 0,016 \text{ мм.}$$

Расчет размеров зуба червячной фрезы в нормальном сечении производится по формулам § 38 (стр. 147) в форме расчетной таблицы (стр. 152).

Контроль расчета профиля производится графическим построением обратной обкатки, согласно § 39.

Габаритные и конструктивные размеры фрезы выбираются по табл. 26 для высоты профиля $h = 5 \text{ мм}$ по графе „Для мелких шлицов“ и для шага t до 32 мм. В этом случае наружный диаметр фрезы $D = 95 \text{ мм}$, а падение затылка $K = 3,5 \text{ мм}$.

Начальный диаметр фрезы определится по формуле

$$D_{ну} = D - 2h - \frac{K}{2} = 95 - 2 \cdot 4,643 - \frac{3,5}{2} = 84,96 \text{ мм.}$$

Угол подъема начальной винтовой линии будет

$$\sin \omega = \frac{t_{ну}}{\pi D_{ну}} = \frac{27,994}{3,1416 \cdot 84,96} = 0,104881;$$

$$\omega = 6^\circ 1'.$$

№ формул	Обозначение расчетного размера	Формула	Расчет	Результат	Примечание
1	θ	$\theta^\circ = \frac{180^\circ}{n} - \gamma^\circ$	$\theta = \frac{180^\circ}{8} - 9^\circ 40'$	$12^\circ 50' = 12,833^\circ$	см. стр. 151 $\gamma = 9^\circ 40'$
2	S	$S = 0,034906 R \theta^\circ$	$S = 0,034906 \cdot 35,643 \times 12,833$	15,966	
3	h	$h = R - r_i$	$h = 35,643 - 31$	4,643	
4	h_2	$h_2 = h + f$	—	—	Фреза без усиков
5	h_1	$h_1 = R_e - r_i + f + (1 \div 4)$	$h_1 = 36 - 31 + 2,5$	7,5	
6	t_n	$t_n = \frac{2\pi R}{n}$	$t_n = \frac{2 \cdot 3,1416 \cdot 35,643}{8}$	27,994	
7	l	$l = t_n - S - (2 \div 3) \text{ мм}$	$l \approx 28 - 15,97 - 2$	10	
8	ϵ	$\sin \epsilon = \frac{S - 2c}{D_e}$	$\sin \epsilon = \frac{15,966 - 2 \cdot 0,4}{72}$	0,21063 $\epsilon = 12^\circ 10'$	
9	ρ_c	$\rho_c = R_e - \frac{c}{2}$	$\rho_c = 36 - 0,2$	35,8	
10	λ	$\sin \lambda = \frac{\sqrt{\rho_c^2 - R_e^2 \sin^2(45^\circ + \epsilon)}}{R}$	$\sin \lambda = \frac{\sqrt{35,8^2 - (36 \cdot \sin 57^\circ 10')^2}}{35,643}$	0,537104 $\lambda = 32^\circ 30'$	округляем до $\lambda = 30^\circ$

Шаг червячной фрезы по оси

$$t_0 = t_n \sec \omega = 27,994 \cdot 1,005539 = 28,149 \text{ мм.}$$

Шаг винтовой стружечной канавки

$$T = t_0 \operatorname{ctg}^2 \omega = 28,149 \cdot 9,4834^2 = 2532 \text{ мм.}$$

Остальные размеры фрезы выбираются по табл. 26 для высоты профиля $h = 5 \text{ мм}$ по графе „Для мелких шлицов“ при $D = 95 \text{ мм}$.

Допуски на основные размеры берутся по табл. 27 и 28 для шлифованных чистовых фрез класса А.

На фиг. 95 представлен чертеж с профилем и техническими требованиями червячной шлицевой фрезы (без усиков).

§ 42. ПРИМЕР РАСЧЕТА ЧЕРВЯЧНОЙ ФРЕЗЫ ДЛЯ ВАЛИКА С ТРЕУГОЛЬНЫМИ ШЛИЦАМИ

Согласно обозначениям на фиг. 80 и § 31 многошпоночный валик с треугольными шлицами имеет следующие размеры:

$$\begin{aligned} D_e &= 2R_e = 40_{-0,4}^{+0,35}; \\ d_i &= 2r_i = 35,95_{-0,1}; \\ d_{cp} &= 2R_{cp} = 38,368 \pm 0,05; \\ \varphi &= 30^\circ \\ r &= 0,4 \text{ мм}; \\ n &= 36. \end{aligned}$$

Расстояние a прямой профиля до оси валика рассчитывается по формуле

$$a = R_{cp} \sin \left(\varphi + \frac{90^\circ}{n} \right) = 19,184 \sin \left(30^\circ - \frac{90^\circ}{36} \right) = 8,79 \text{ мм.}$$

Определяем минимально допустимый радиус начальной окружности (табл. 23, тип. IV) валика

$$R = \sqrt{R_e^2 - 0,75a^2} = \sqrt{20^2 - 0,75 \cdot 8,79^2} = 18,5 \text{ мм.}$$

Согласно рекомендациям табл. 23, радиус начальной окружности должен быть выбран в пределах $r_i < R \leq R_{cp}$, что и соблюдено для данного примера, так как $17,98 < 18,5 < 19,184 \text{ мм}$.

Радиус наружной окружности валика с учетом допуска будет $R_e = 19,8 \text{ мм}$. Радиус окружности впадин $r_i = 17,98 \text{ мм}$.

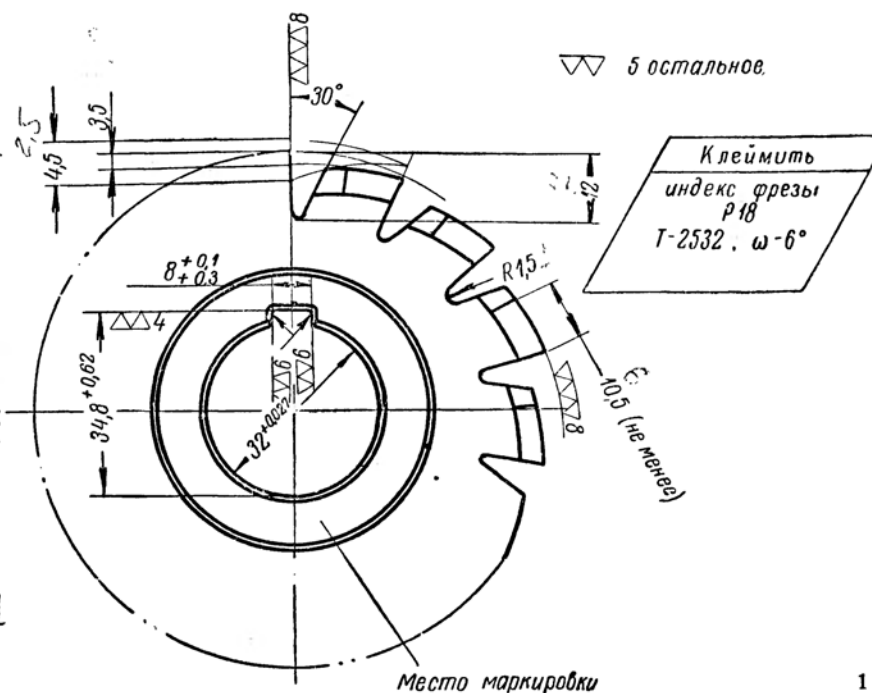
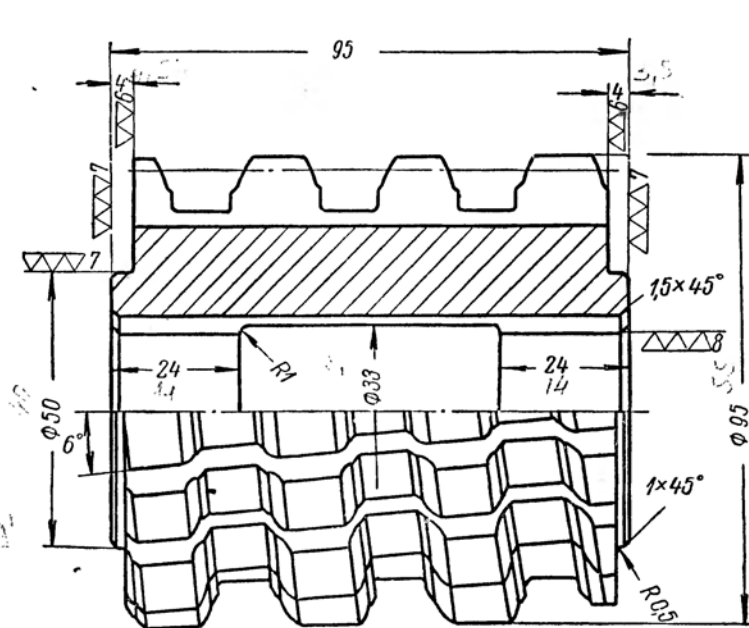
Угол γ , характеризующий прямую профиля шлица валика, будет

$$\sin \gamma = \frac{a}{R} = \frac{8,79}{18,5} = 0,475135; \gamma = 28^\circ 22'$$

или

$$\gamma = 0,495092 \text{ рад.}$$

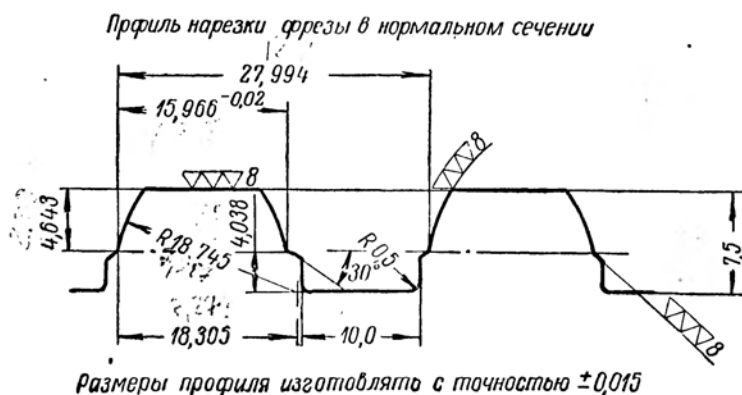
Расчет радиуса r и координат центра x_a и y_a (фиг. 87) окружности, заменяющей теоретический профиль, согласно формулам § 37 (стр. 145), выполняется в виде расчетной таблицы:



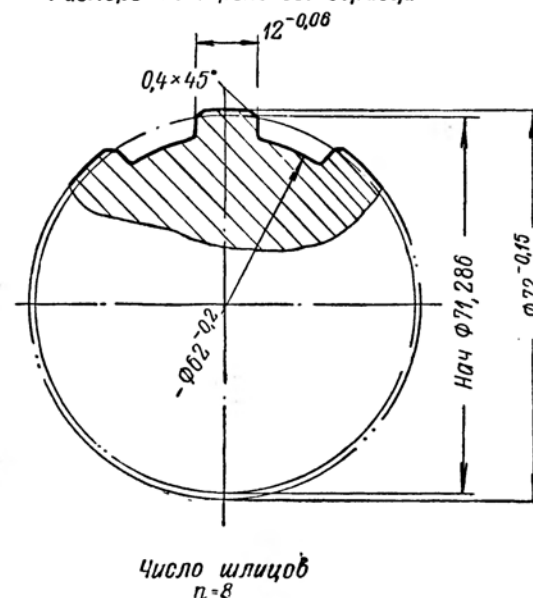
Данные для изготовления	
Направление нарезки	Правое
Число заходов	1
Шаг по оси	28,149
Число винтовых канавок	14
Направление винтовых канавок	Левое
Шаг винтовых канавок	2532

Технические требования

1. Крайние зубцы толщиной при вершине менее $\frac{1}{2}$ полной толщины удалить
2. Предельное отклонение осевого шага $\pm 0,012$
3. Предельная накопленная ошибка шага на длине трех шагов $\pm 0,025$
4. Предельное колебание окружного шага передних поверхностей зубцов 0,085
5. Допуск на радиальность передней поверхности зубцов (только в сторону поднутрения) Не более 0,05
6. Радиальное биение по наружному диаметру Не более 0,03
7. Предельная разность расстояний от вершины зубцов, расположенных вдоль стружечной канавки, до оси фрезы 0,025
8. Радиальное биение по буртикам Не более 0,02
9. Торцевое биение по буртикам Не более 0,015
10. Отклонение шага винтовых канавок ± 10
11. Материал Сталь P18
12. Термообработать $H_{RC} 62-65$



Размеры контрольного образца



Фиг. 95. Фреза червячная шлицевая (с дугвым профилем).

№ формул	Обозначение расчетного размера	Формула	Расчет	Результат
1	α_1	$\cos \alpha_1 = \sqrt{\left(\frac{R_e}{R}\right)^2 - \sin^2 \gamma}$	$\cos \alpha_1 = \sqrt{\left(\frac{19,8}{18,5}\right)^2 - 0,475135^2}$	$0,95882$ $\alpha_1 = 16'30''$
2	α_2	$\cos \alpha_2 = \sqrt{\left(\frac{r_i}{R}\right)^2 - \sin^2 \gamma}$	$\cos \alpha_2 = \sqrt{\left(\frac{17,98}{18,5}\right)^2 - 0,475135^2}$	$0,84912$ $\alpha_2 = 31'53''$
3	x_1	$x_1 = \alpha_1 - \gamma - \frac{\cos \alpha_1}{\sin \alpha_1 - \sin \gamma} \times$	$x_1 = 0,287979 - 0,495092 -$ $- 0,958820 (0,284015 - 0,475135)$	$-0,23863$
4	x_2	$x_2 = \alpha_2 - \gamma - \frac{\cos \alpha_2}{\sin \alpha_2 - \sin \gamma} \times$	$x_2 = 0,556469 - 0,495092 -$ $- 0,849125 (0,528191 - 0,475135)$	$-0,16396$
5	y_1	$y_1 = \sin \alpha_1 \times$ $\times (\sin \alpha_1 - \sin \gamma)$	$y_1 = 0,284015 (0,284015 -$ $- 0,475135)$	$-0,054281$
6	y_2	$y_2 = \sin \alpha_2 \times$ $\times (\sin \alpha_2 - \sin \gamma)$	$y_2 = 0,528191 (0,528191 -$ $- 0,475135)$	$0,028024$
7	x	$x = x_2 - x_1$	$x = 0,016326 + 0,023863$	$0,040189$
8	y	$y = y_2 - y_1$	$y = 0,028024 + 0,054281$	$0,082305$
9	δ	$\operatorname{tg} \delta = \frac{x}{y}$	$\operatorname{tg} \delta = \frac{0,040189}{0,082305}$	$0,488294$ $\delta = 26^\circ 1'33''$
10	θ^*	$\theta \operatorname{cosec} \theta = \frac{2 (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)}{x \operatorname{cosec} \delta - \frac{(\alpha_2 - \alpha_1) \sin \gamma}{x \operatorname{cosec} \delta}}$	$\theta \operatorname{cosec} \theta = \frac{2 (0,958820 - 0,849125)}{0,040189 \cdot 2,27906 - (0,556469 - 0,287979) 0,475135}$ $\frac{0,109695}{0,040189 \cdot 2,27906}$	$1,002489$ $\theta = 6^\circ 59'40''$

№ формул	Обозначение расчетного размера	Формула	Расчет	Результат
11	r_1	$r_1 = 0,5 \cdot x \operatorname{cosec} \delta \operatorname{cosec} \theta$	$r_1 = 0,5 \cdot 0,040189 \cdot 2,27906 \cdot 8,21199$	$0,376081$
12	ϵ	$\epsilon = \delta - \theta$	$\epsilon = 26^\circ 1'33'' - 6^\circ 59'40''$	$19^\circ 1'53''$
13	ϵ_a	$\sin \epsilon_a = \sin \epsilon - \frac{y_1}{r_1}$	$\sin \epsilon_a = 0,326087 + \frac{0,054281}{0,376081}$	$0,470413$ $\epsilon_a = 28^\circ 3'40''$
14	r	$r = r_1 R$	$r = 0,376081 \cdot 18,5$	$6,957$
15	x_a	$x_a = r \cos \epsilon_a$	$x_a = 6,957 \cdot 0,882446$	$6,139$
16	y_a	$y_a = r \sin \epsilon_a$	$y_a = 6,957 \cdot 0,470413$	$3,273$
* Значения $\theta \operatorname{cosec} \theta$ см. приложение 1.				

Расчет размеров зуба червячной фрезы в нормальном сечении выполняется по формулам 1, 2, 3, 6 и 7 § 38 (стр. 147) в форме расчетной таблицы:

№ формул	Обозначение	Формула	Расчет	Результат
1	θ	$\theta = \varphi - \gamma$	$\theta = 30^\circ - 28^\circ 22'$	$1^\circ 38' = 1,6333^\circ$
2	S	$S = 0,034906 R \theta$	$S = 0,034906 \cdot 18,5 \times$ $\times 1,6333$	$1,055$
3	h	$h = R - r_i$	$h = 18,5 - 17,98$	$0,52$
4	t_n	$t_n = \frac{2\pi R}{n}$	$t_n = \frac{2 \cdot 3,1416 \cdot 18,5}{36}$	$3,228$
5	h_1	$h_1 = R_e - r_i + 0,7$	$h_1 \approx 19,8 - 17,98 + 0,7$	$2,50$

Для большей гарантии посадки валика в шлицевое отверстие увеличиваем высоту головки h до 0,6 мм. Из геометрического построения дугового профиля фрезы и толщины зуба S по начальной прямой радиус r_0 закругления вершины профиля фрезы определится по формулам

$$A = y_a + h = 3,273 + 0,60 = 3,873 \text{ мм};$$

$$B = x_a - \frac{S}{2} = 6,139 - \frac{1,055}{2} = 5,611 \text{ мм};$$

$$r_0 = \frac{r^2 - (A^2 + B^2)}{2(r - A)} = \frac{6,957^2 - (3,873^2 + 5,611^2)}{2(6,957 - 3,873)} = 0,40.$$

Контроль расчета профиля производится графическим построением обратной обкатки по § 39. Габаритные и конструктивные размеры фрезы выбираются по табл. 26 для $h_1 = 2,5$ мм, что соответствует наружному диаметру фрезы $D = 55$ мм и падению затылка $K = 2$ мм.

Начальный диаметр фрезы определится по формуле

$$D_{ни} = D - 2h - \frac{K}{2} = 55 - 2 \cdot 0,6 - \frac{2}{2} = 52,8 \text{ мм}.$$

Угол подъема начальной винтовой линии

$$\sin \omega = \frac{t_n}{\pi D_{ни}} = \frac{3,228}{3,1416 \cdot 52,8} = 0,019460;$$

$$\omega = 1^\circ 7'.$$

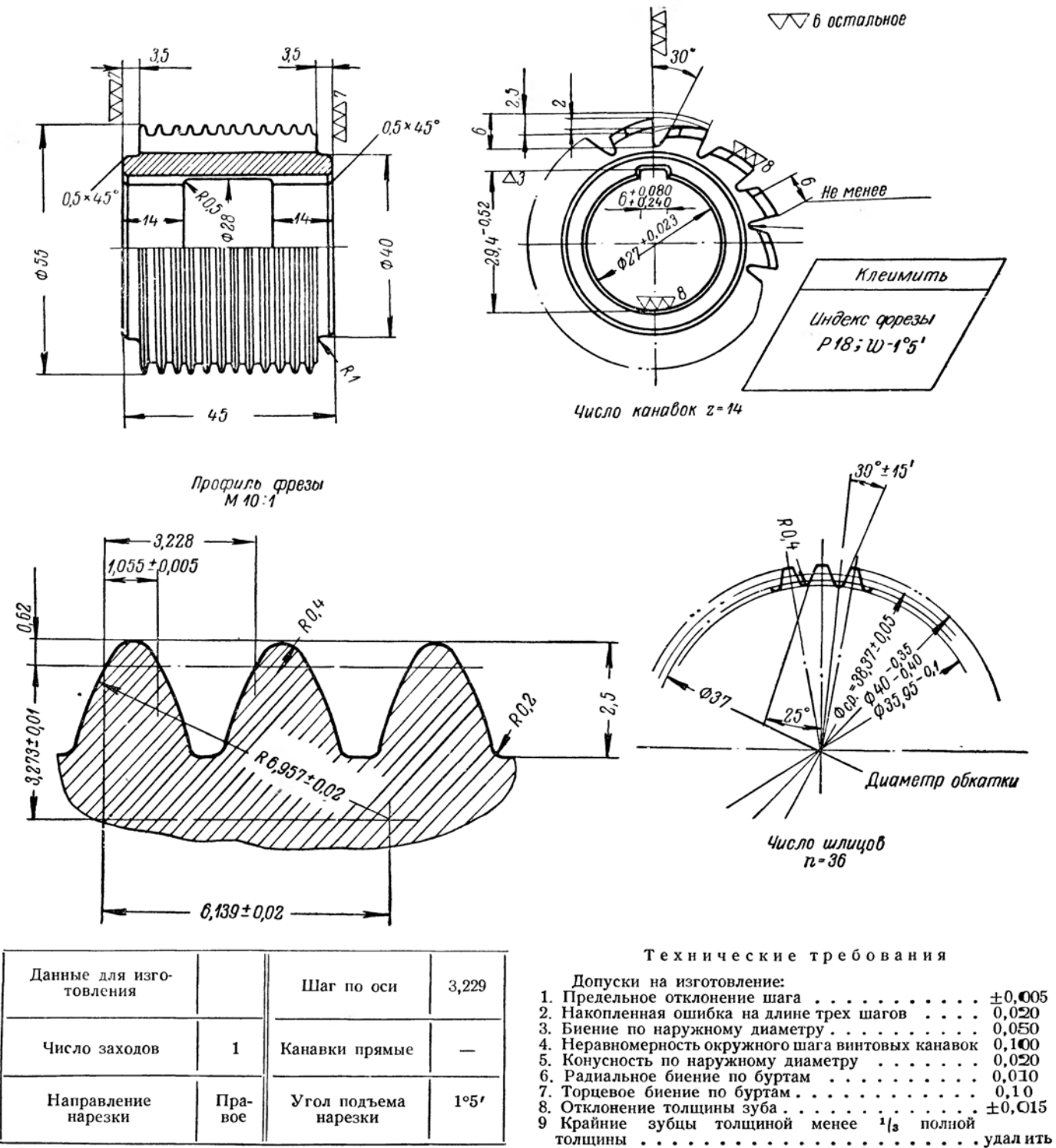
Шаг червячной фрезы по оси будет:

$$t_0 = \frac{t_n}{\cos \omega} = \frac{3,298}{0,999811} = 3,227 \text{ мм}.$$

Шаг винтовой стружечной канавки будет

$$T = t_0 \operatorname{ctg}^2 \omega = 3,227 \cdot 51,38^2 = 8519 \text{ мм}.$$

Ввиду малости угла подъема и большой величины шага T канавки для стружек выполняются прямыми. Остальные размеры фрезы и допуски берутся по табл. 26, 27 и 28. На фиг. 96 представлен чертеж с профилем червячной фрезы для валика с треугольными шлицами.



Фиг. 96. Фреза червячная для многшпоночного валика с треугольными шлицами.

§ 43. ПРИМЕР РАСЧЕТА ЧЕРВЯЧНОЙ ФРЕЗЫ ПО ТОЧНОМУ СПОСОБУ

Заданы следующие размеры многошпоночного валика с параллельными сторонами шпонок, согласно обозначениям фиг. 79 и § 31.

$$D_e = 2R_e = 125_{-0,105}^{+0,065} \text{ мм}; d_i = 2r_i = 112_{-0,4} \text{ мм};$$

$$b = 18_{-0,09}^{+0,05} \text{ мм};$$

$$c = 0,5 \text{ мм};$$

число шлицов $n = 10$.

Расчетная ширина b шпоночного выступа будет

$$b = \frac{17,95 + 17,91}{2} = 17,93 \text{ мм}.$$

Радиус начальной окружности валика (табл. 23, тип II) будет

$$\rho = 62,5 - 0,5 = 62 \text{ мм};$$

№ формул	Обозначение	Формула	Расчет	Результат
1	θ	$\theta = \frac{180^\circ}{n} - \gamma$	$\theta = \frac{180^\circ}{10} - 8^\circ 22'$	$9^\circ 38' = 9,63215^\circ$
2	S	$S = 0,034906 R \theta^\circ$	$S = 0,034906 \cdot 61,6 \times 9,63215$	20,711
3	h	$h = R - r_i$	$h = 61,6 - 56$	5,6
4	h_1	$h_1 = R_e - r_i + 3$	$h_1 = 62,5 - 56 + 3$	9,5
5	t_n	$t_n = \frac{2\pi R}{n}$	$t_n = \frac{2 \cdot 3,1416 \cdot 61,6}{10}$	38,704
6	l	$l = t_n - S - 2$	$l = 38,7 - 20,7 - 2$	16
7	ε	$\sin \varepsilon = \frac{S - 2c}{D_e}$	$\sin \varepsilon = \frac{20,711 - 2 \cdot 0,5}{125}$	0,157688 $\varepsilon = 9^\circ 4'$
8	ρ_c	$\rho_c = R_e - \frac{c}{2}$	$\rho_c = 62,5 - \frac{0,5}{2}$	62,25
9	λ	$\sin \lambda = \frac{\sqrt{\rho_c - R_e^2 \sin^2 (45^\circ + \varepsilon)}}{R}$	$\sin \lambda = \frac{\sqrt{62,25^2 - 62,5^2 \sin^2 (45^\circ + 9^\circ 4')}}{61,6}$	0,58848 $\lambda = 36^\circ$; округляем до $\lambda = 35^\circ$

$$R = \sqrt{\rho^2 - 0,75 \left(\frac{b}{2}\right)^2} = \sqrt{62^2 - 0,75 \left(\frac{18}{2}\right)^2} = 61,508 \text{ мм}$$

или, округляя, $R = 61,6 \text{ мм}$.

Постоянный параметр прямолинейного профиля детали будет

$$\sin \gamma = \frac{b}{R} = \frac{17,93}{2 \cdot 61,6} = 0,145553; \gamma = 8^\circ 22'.$$

Расчет размеров зуба червячной фрезы в нормальном сечении выполняется по формулам и обозначениям § 38 (фиг. 90) в виде расчетной таблицы, приведенной выше.

Наибольшая высота профиля детали будет

$$h' = R_e - r_i = 62,5 - 56 = 6,5 \text{ мм}.$$

Габаритные и конструктивные размеры червячной шлицевой фрезы выбираются для шага фрезы $t_n = 38,704 \text{ мм}$ и для высоты профиля $h' = 6,5 \text{ мм}$ по табл. 26 по графе „Для мелких шлицов“.

В этом случае наружный диаметр фрезы по таблице будет

$$D_e = 120 \text{ мм}.$$

Радиус начальной окружности фрезы

$$\rho = R_{eu} - h = 60 - 5,6 = 54,4 \text{ мм}.$$

Угол подъема начальной винтовой линии

$$\sin \omega = \frac{t_n}{2\pi\rho} = \frac{38,704}{2 \cdot 3,1416 \cdot 54,4} = 0,113203, \omega = 6^\circ 30'.$$

Для определения способа расчета профиля (см. § 36) необходимо вычислить величину отношения $\frac{34}{h} = \frac{34}{5,6} = 6,07^\circ$ и полученный результат сравнить с величиной угла подъема нарезки фрезы. Так как $\omega = 6^\circ 30' > 6,07^\circ$, то здесь следует применить точный метод расчета профиля.

Расстояние f между точками по высоте профиля шлицевого валика принимаем равным $f \approx 0,8 \text{ мм}$. Данным значениям f на профиле детали будет соответствовать высота на профиле фрезы приблизительно на 25–40% больше. Тогда среднее расстояние между точками по высоте профиля фрезы

$$f' = 1,35f \approx 1,1 \text{ мм}.$$

Общее число точек, координаты которых следует рассчитать, будет

$$\rho_0 = \frac{h}{f'} = \frac{5,6}{1,1} = 5. \text{ Следовательно, расчет координат ведем для пяти точек.}$$

Расчет координат точек профиля выполняем по формулам § 38. Предварительно, по формулам (1) ÷ (4) рассчитываем постоянные величины, а затем по формулам (5) ÷ (17) определяем координаты y' и S_i пяти точек профиля в нормальной плоскости нарезки фрезы.

Ниже в расчетной таблице формулы (5) ÷ (17) преобразованы в элементарные формулы, позволяющие выполнять лишь одно арифметическое действие. Кроме алгебраического обозначения арифметического действия приведено и цифровое обозначение действия. Назначение цифрового обозначения указано в расчете фасонных фрез для архимедовых червяков, § 28 (стр. 116).

Постоянные величины определяются по формулам (2) и (4) § 38 в следующем порядке:

$$\rho = \frac{t_0}{2\pi} = \frac{38,954}{2 \cdot 3,1416} = 6,2;$$

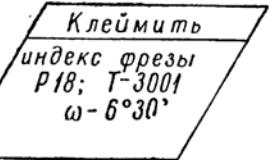
$$\rho_k = \rho' \operatorname{ctg} \omega = 54,4 \cdot 8,77689 = 477,463;$$

$$\rho_k + \rho = 477,463 + 6,2 = 483,663.$$

Ниже приводится расчет координат точек профиля червячной шлицевой фрезы, выполненной по точному способу.

На фиг. 97 представлен чертеж червячной шлицевой фрезы с профилем, заданным координатами точек, рассчитанным по точному способу. Расчет шагов фрезы t_0 и T выполняется аналогично расчетам предыдущих примеров. Допуски на размеры червячной фрезы приняты по табл. 27 и 28.

№ строк	Алгебраическое обозначение действия	Цифровое обозначение действия	№ точек				
			1	2	3	4	5
1	$a_1 = Nf$		0,8	1,6	2,4	3,2	4,0
2	$a_2 = R - a_1$	(61,6) — 1	60,8	60,0	59,2	58,4	57,6
3	$a_3 = a_2 : R$	2 : (61,6)	0,987013	0,974026	0,961039	0,948052	0,935065
4	$a_4 = a_3^2$	3×3	0,974195	0,948727	0,923596	0,898803	0,874347
5	$a_5 = a_4 - \sin^2 \gamma$	4 — (0,0211804)	0,953015	0,927547	0,902416	0,877623	0,853167
6	$a_6 = \cos \alpha$	$\sqrt{5}$	0,976225	0,962573	0,949956	0,936815	0,923670
7	$a_7 = \sin \alpha$	По таблице	0,216771	0,271020	0,312381	0,349844	0,383176
8	$a_8 = a_7 - \sin \gamma$	7 — (0,145535)	0,071236	0,125485	0,166846	0,204309	0,237621
9	$a_9 = a_7 \cdot a_8$	7×8	0,015442	0,034009	0,052120	0,071476	0,091051
10	$a_{10} = Ra_9$	(61,6) $\times 9$	0,951227	2,09495	3,21059	4,40302	5,60874
11	$a_{11} = \operatorname{ctg} \alpha$	По таблице	4,50348	3,55166	3,04102	2,67779	2,41058
12	$a_{12} = a_{10} a_{11}$	10×11	4,28383	7,44056	9,76347	11,7904	13,5203
13	$a_{13} = \alpha^\circ$	По таблице	12°31'10"	15°43'30"	18°12'10"	20°28'40"	22°31'50"
14	$a_{14} = \alpha$ рад	По таблице	0,218506	0,274453	0,317699	0,357405	0,393232
15	$a_{15} = a_{14} - \gamma$	14 — (0,14605)	0,072456	0,128403	0,171649	0,211355	0,247182
16	$a_{16} = a_{15} R \sec \omega$	(61,9986) $\times 15$	4,49217	7,96081	10,64200	13,1037	15,3249
17	$a_{17} = a_{12} \cos \omega$	(0,993572) $\times 12$	4,25629	7,39273	9,70071	11,7146	13,4334
18	$a_{18} = a_{16} - a_{17}$	16 — 17	0,23588	0,56808	0,94129	1,3891	1,8915
19	$a_{19} = \rho' + a_{10}$	(54,4) + 10	55,3512	56,4950	57,6106	58,8030	60,0087
20	$a_{20} = a_{12} \sin \omega$	(0,113203) $\times 12$	0,48494	0,84229	1,1053	1,3347	1,5305
21	$a_{21} = \operatorname{tg} \lambda$	20 : 19	0,008761	0,014909	0,019186	0,022698	0,025505
22	$a_{22} = \lambda^\circ$	По таблице	0°30'7"	0°51'15"	1°5'57"	1°18'1"	1°27'40"
23	$a_{23} = \lambda$ рад	По таблице	0,008761	0,014908	0,019183	0,022694	0,025401
24	$a_{24} = a_{23} \rho$	(6,2) $\times 23$	0,054318	0,092430	0,118935	0,140703	0,157486
25	$a_{25} = a_{18} - a_{24}$	18 — 24	0,18156	0,47565	0,82235	1,2481	1,7340
26	$a_{26} = \varphi$ рад	25 : (483,663)	0,000375	0,000983	0,001700	0,002581	0,003585
27	$a_{27} = \varphi^\circ$	По таблице	0°1'17"	0°3'23"	5'51"	8'52"	12'19"
28	$a_{28} = a_{19}^2$	19 $\times$ 19	3063,755	3191,685	3318,981	3457,793	3601,044
29	$a_{29} = a_{20}^2$	20 $\times$ 20	0,23517	0,70945	1,2216	1,7812	2,1420
30	$a_{30} = a_{28} + a_{29}$	28 + 29	3063,990	3192,394	3320,203	3459,574	3603,186
31	$a_{31} = \sqrt{a_{30}}$	$\sqrt{30}$	55,3533	56,5013	57,6212	58,8181	60,0260
32	$a_{32} = \rho_k a_{26}$	(477,463) $\times 26$	0,179049	0,469346	0,811687	1,23233	1,71170
33	$a_{33} = a_{32} \cos \omega$	(0,993572) $\times 32$	0,177898	0,466329	0,806469	1,22441	1,70070
34	$a_{34} = \sin \varphi$	По таблице	0,000375	0,000983	0,001700	0,002581	0,003585
35	$a_{35} = \rho a_{34}$	(6,2) $\times 34$	0,002314	0,006102	0,010551	0,015991	0,022213
36	$a_{36} = a_{35} \sin \omega$	(0,113203) $\times 35$	0,000262	0,000691	0,001194	0,001810	0,002515
37	$a_{37} = \cos \varphi$	По таблице	0,999999	0,999995	0,999998	0,999997	0,999993
38	$a_{38} = a_{31} \cdot a_{37}$	31 $\times$ 37	55,35329	56,50127	57,62110	58,81790	60,0256
39	$y' = a_{38} - \rho'$	38 — (54,4)	0,953	2,101	3,221	4,418	5,625
40	$x' = a_{33} + a_{36}$	33 + 36	0,178160	0,467020	0,807563	1,22622	1,70322
41	$a_{41} = 2x'$	(2) $\times$ 40	0,356320	0,934040	1,61513	2,4524	3,4064
42	$S_i = S - a_{41}$	(20,711) — 41	20,355	19,777	19,096	18,259	17,305



Данные для изготовления:	
Направление нарезки	Правое
Число заходов	1
Шаг по оси	38,954
Число винтовых канавок	14
Направление винтовой канавки	Левое
Шаг винтовых канавок	3001

1. Крайние зубцы толщиной при вершине менее $1/2$ полной толщины	удалить
2. Предельное отклонение осевого шага	$\pm 0,015$
3. Предельная накопленная ошибка шага по длине трех шагов	$\pm 0,03$
4. Предельное колебание окружного шага передних поверхностей зубцов	0,10
5. Допуск на радиальность передней поверхности зубьев (только в сторону поднутрения)	Не более 0,06
6. Радиальное биение по наружному диаметру	Не более 0,035
7. Допустимая разность расстояний от вершины зубцов, расположенных вдоль стружечной канавки, до оси фрезы	0,03
8. Отклонения координат точек профиля	Не более $\pm 0,015$
9. Радиальное биение по буртикам	Не более 0,02
10. Торцевое биение по буртикам	Не более 0,015
11. Отклонение шага винтовых канавок	± 15
12. Материал	Сталь P18
13. Термообработать	$H_{RC} = 62-64$

Technical drawing of a spherical part with the following dimensions and features:

- Top horizontal dimension: $18 \begin{smallmatrix} -0,055 \\ -0,09 \end{smallmatrix}$
- Top-left chamfer: $0,5 \times 45^\circ$
- Center horizontal dimension: $\varnothing 112 \begin{smallmatrix} -0,4 \end{smallmatrix}$
- Right vertical dimension (total): $\varnothing 123,2$
- Right vertical dimension (lower part): $125 \begin{smallmatrix} -0,065 \end{smallmatrix}$
- Label for the lower vertical dimension: Начальный диаметр

Число шлицов $n=10$

Фиг. 97. Фреза червячная шлицевая (с координатным профилем).

§ 44. ПРИМЕР РАСЧЕТА ХВОСТОВОЙ ЧЕРВЯЧНОЙ ШЛИЦЕВОЙ ФРЕЗЫ

Заданы следующие размеры многошпоночного валика с параллельными сторонами шпонок с обозначениями, приведенными на фиг. 79:

$$D_e = 2R_e = 22_{-0,1} \text{ мм};$$

$$d_i = 2r_i = 18_{-0,3} \text{ мм};$$

$$b = 5_{-0,06}^{+0,02} \text{ мм};$$

$$c = 0,5 \text{ мм}; f = 0,6 \text{ мм}; a_1 = 1 \text{ мм};$$

$$\text{Число шлицов } n = 6.$$

Расчетная ширина b шпоночного выступа

$$b = \frac{4,98 + 4,94}{2} = 4,96 \text{ мм}.$$

Расчетный внутренний диаметр валика

$$d_i = 18 - \frac{0,2}{2} = 17,9 \text{ мм}.$$

По формулам табл. 20 для валика типа II рассчитываем минимально допустимый радиус начальной окружности валика

$$\rho = R_e - c = 11 - 0,5 = 10,5 \text{ мм};$$

$$R = \sqrt{\rho^2 - 0,75 \left(\frac{b}{2}\right)^2} = \sqrt{10,5^2 - 0,75 \left(\frac{4,96}{2}\right)^2} = 10,25 \text{ мм}.$$

Глубина шпоночного паза до начальной окружности будет

$$h = R - r_i = 10,25 - 8,95 = 1,3 \text{ мм}.$$

С учетом высоты f переходного закругления

$$h_2 = h + f = 1,3 + 0,6 = 1,9 \text{ мм}.$$

Так как заданный многошпоночный валик не имеет сплошных продольных шпоночных канавок и вблизи их окончания расположен буртик с большим диаметром, чем наружный диаметр шпоночной части валика, то выход фрезы должен быть малым. Радиус R_1 окружности шпоночных пазов валика для выхода фрезы задан на чертеже валика равным $R_1 = 16 \text{ мм}$. Поэтому за наружный диаметр фрезы принимаем $D = 32 \text{ мм}$. Тогда диаметр начального цилиндра фрезы

$$D_{ни} = D - 2h_2 = 32 - 2 \cdot 1,9 = 28,2 \text{ мм}.$$

Шаг фрезы по нормали будет

$$t_n = \frac{2\pi R}{n} = \frac{2 \cdot 3,1416 \cdot 10,25}{6} = 10,734 \text{ мм}.$$

Угол подъема начальной винтовой линии фрезы равен

$$\sin \omega = \frac{t_n}{\pi D_{ни}} = \frac{10,734}{3,1416 \cdot 28,2} = 0,12116, \omega = 6^\circ 57'.$$

Согласно сказанному в § 36, для выбора способа расчета находим отношение $\frac{34}{h_2} = \frac{34}{1,9} \approx 18^\circ$. Следовательно, $\omega < \frac{34}{h_2}$, и мы применяем расчет профиля по профилю зубчатой рейки.

Для определения возможности пользования табл. 24 выполняем предварительные расчеты, указанные в правилах и примере пользования таблицей.

Находим значения $\sin \gamma$

$$\sin \gamma = \frac{b}{2R} = \frac{4,96}{2 \cdot 10,25} = 0,241951.$$

Ближайшее меньшее значение $\sin \gamma$ по таблице будет

$$\sin \gamma = 0,241922 \text{ и } \gamma = 14^\circ.$$

Уточняем размер радиуса начальной окружности

$$R = \frac{b}{2 \sin \gamma} = \frac{4,96}{2 \cdot 0,241922} = 10,251 \text{ мм}.$$

Все размеры фрезы рассчитываем с учетом уточненного радиуса начальной окружности валика.

Глубина шпоночного паза

$$h = R - r_i = 10,251 - 8,95 = 1,301 \text{ мм}.$$

$$\text{Отношение } \frac{h}{R} = \frac{1,301}{10,251} = 0,127.$$

Как видно, соблюдено условие $h \leq 0,16R$.

Согласно табл. 24 для значения $\sin \gamma = 0,241922$ и $h = (0,12 \div 0,16) R$ $\Delta \rho = 0,00040$. Тогда $3R\Delta \rho = 3 \cdot 10,251 \cdot 0,0004 = 0,012 \text{ мм}$ и, следовательно, второе условие $\Delta \geq 3R\Delta \rho$ соблюдено, так как допуск на размер b равен $0,04 \text{ мм}$. Таким образом, табл. 24 в данном случае может быть использована.

Величины радиуса и координат центра заменяющей окружности найдутся, если соответствующие коэффициенты по табл. 24 для

$\sin \gamma = 0,241922$ и $h = (0,12 \div 0,16) R$ помножить на радиус начальной окружности:

$$y_a = 0,154856 \cdot 10,251 = 1,587 \text{ мм.}$$

$$x_a = 0,539307 \cdot 10,251 = 5,529 \text{ мм.}$$

$$r = 0,5611 \cdot 10,251 = 5,752 \text{ мм.}$$

Отклонение заменяющей окружности от теоретического профиля будет

$$\Delta r = \pm 0,0004 \cdot 10,251 = \pm 0,004 \text{ мм.}$$

Расчет размеров зуба червячной фрезы в нормальном сечении выполняется по формулам § 38 (фиг. 90) в форме расчетной таблицы.

Конструктивные размеры зубцов червячной фрезы находим по табл. 26 для высоты профиля $h = 1,3$. В этом случае наружный диаметр фрезы равен $D = 55 \text{ мм}$ и число зубцов $z = 14$. Число зубцов хвостовой фрезы выбираем пропорционально уменьшению диаметра D' фрезы по сравнению с табличным:

$$z' = z \frac{D'}{D} = 14 \cdot \frac{32}{55} = 8,13.$$

Принимаем число зубцов, равное 8, а размеры H , l_2 , K , K_1 и r_1 берем по табл. 26 для $D = 55 \text{ мм}$.

Уточненная величина диаметра начального цилиндра фрезы с учетом падения затылка K равна

$$D_{нн} = D_{eu} - 2h_2 - \frac{K}{2} = 32 - 2 \cdot 1,901 - \frac{2}{2} = 27,2 \text{ мм.}$$

Уточненная величина угла ω подъема начальной винтовой линии фрезы равна

$$\sin \omega = \frac{t_n}{\pi D_{нн}} = \frac{10,735}{3,1416 \cdot 27,2} = 0,125626, \quad \omega = 7^\circ 15'.$$

Шаг фрезы по оси

$$t_0 = t_n \sec \omega = 10,735 \cdot 1,008059 = 10,822 \text{ мм.}$$

Шаг винтовой стружечной канавки

$$T = t_0 \operatorname{ctg}^2 \omega = 10,822 \cdot 7,86064^2 = 669 \text{ мм.}$$

Размеры хвостовой и концевой частей фрезы задаем по размерам элементов крепления станка. Остальные размеры берем конструктивно. Допуски на размеры червячной фрезы определяем по табл. 27 и 28. На фиг. 98 представлен чертеж хвостовой червячной фрезы и профиля, выполненный в соответствии с приведенными расчетами.

№ формул	Обозначение	Формула	Расчет	Результат
1	θ	$\theta = \frac{180^\circ}{n} - \gamma$	$\theta = \frac{180}{6} - 14$	16°
2	S	$S = 0,034906 R \theta^\circ$	$S = 0,034906 \cdot 10,251 \cdot 14$	5,009
3	h	$h = R - r_i$	Из предыдущего расчета	1 301
4	h_2	$h_2 = h + f$	$h_2 = 1,301 + 0,6$	1,901
5	h_1	$h_1 = R_e - r_i + f + 1$	$h_1 = 11 - 8,95 + 0,6 + 1$	3,6
6	h_3	$h_3 = R_e - r_i - c$	$h_3 = 11 - 8,95 - 0,5$	1,55
7	t_n	$t_n = \frac{2\pi R}{n}$	$t_n = \frac{2 \cdot 3,1416 \cdot 10,251}{6}$	10,735
8	l	$l = t_n - S - 2$	$l \approx 10,735 - 5,009 - 2$	3,6
9	q	$q \approx 0,07S - 0,2$	$q \approx 0,07 \cdot 5 - 0,2$	0,15 округляем до 0,3
10	ϵ	$\sin \epsilon = \frac{S - 2c}{D_e}$	$\sin \epsilon = \frac{5 - 2 \cdot 0,5}{22}$	0,181818 $\epsilon = 10^\circ 29'$
11	ρ_c	$\rho_c \approx R_e - \frac{c}{2}$	$\rho_c = 11 - \frac{0,5}{2}$	10,75
12	λ	$\sin \lambda = \frac{\sqrt{\rho_c^2 - R_e^2 \sin^2(4^\circ + \epsilon)}}{R}$	$\sin \lambda = \frac{\sqrt{10,75^2 - 11^2 \sin^2(45^\circ + 10^\circ 29')}}{10,251}$	0,563886 $\lambda = 34^\circ 19'$, округляем до $\lambda = 35^\circ$

ЧЕРВЯЧНЫЕ ШЛИЦЕВЫЕ ФРЕЗЫ С УДЛИНЕННЫМ ЗУБОМ

§ 45. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ И РАСЧЕТА

[8, стр. 158—160], [13, стр. 165—172]

Червячные шлицевые фрезы с удлиненным зубом применяются при обработке многошпоночных валиков, центрируемых по внутреннему диаметру, когда переходные закругления у основания шпоночного валика должны быть предельно малы.

Данные фрезы отличаются от обычных шлицевых червячных фрез наличием на вершинах зубцов средней части (по длине) фрезы кольцевой канавки дугового профиля. Радиус профиля кольцевой канавки равен или несколько больше радиуса окружности впадин валика. Вершинные участки кромки фрезы обрабатывают цилиндр впадин валика как обычные фасонные фрезы, в то время как боковые стороны зуба фрезы обрабатывают плоскости шпоночных выступов по способу обкатки. Эти фрезы устанавливаются вдоль своей оси так, чтобы продолжение плоскости симметрии кольцевой канавки фрезы совпадало с осью многошпоночного валика. Поэтому эти фрезы являются червячными фрезами постоянной установки и их положения на станке должно быть точно выверено.

Расчеты профиля, размеров зуба и конструктивных размеров червячных шлицевых фрез с удлиненным зубом не отличаются от таковых для обычных конструкций червячных шлицевых фрез. Поэтому обозначения размеров валиков и фрез сохраняются прежние (см. главу VIII). Здесь дополнительно следует рассчитать лишь высоту h профиля зуба, которая больше, чем у обычных шлицевых червячных фрез.

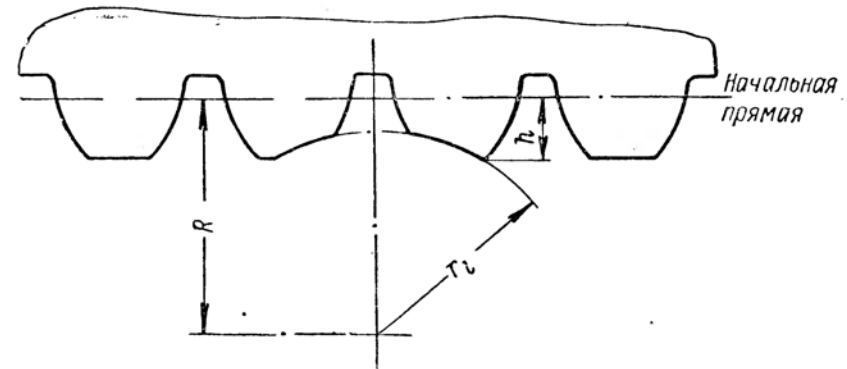
Расчет высоты профиля зуба до начальной прямой производится по формулам

$$\sin \gamma = \frac{b}{2R}; \quad \cos \alpha_i = \sqrt{\left(\frac{r_i}{R}\right)^2 - \sin^2 \gamma};$$

$$h = R \sin \alpha_i (\sin \alpha_i - \sin \gamma).$$

Расстояние от центра окружности радиуса r_i дуговой канавки вершин зубцов до начальной прямой фрезы берется равным радиусу R начальной окружности валика (фиг. 99).

На вершинах зубцов фрезы располагаются одна или две кольцевые канавки. В первом случае фреза после затупления перетачивается, во втором — фреза после затупления может быть без переточки перемещена вдоль своей оси на следующую кольцевую канавку. При наличии на фрезе двух кольцевых канавок ее длина L



Фиг. 99. Профиль червячной фрезы с удлиненным зубом.

берется по табл. 26. Если на вершинах зубцов фрезы располагается одна канавка, то длина L фрезы берется меньше обычной. Минимально необходимая длина рабочего участка фрезы определяется по формулам

$$h' = h + R_e - R;$$

$$L = 2 \sqrt{h' (D_e - h')},$$

где h — высота профиля, рассчитанная по формуле, приведенной выше.

Длина червячных шлицевых фрез с одной кольцевой канавкой берется обычно равной $(1/2 \div 2/3) L$, где L — длина фрезы по табл. 26.

Все другие размеры червячных шлицевых фрез с удлиненным зубом рассчитываются по формулам, указанным в § 40.

§ 46. ПРИМЕР РАСЧЕТА

Заданы следующие размеры многошпоночного валика с параллельными сторонами шпонок (фиг. 79):

$D_e = 2R_e = 38_{-0,17}^{+0,17}$ мм — наружный диаметр валика;
 $d_i = 2r_i = 32_{-0,1}^{+0,1}$ мм — внутренний диаметр валика;
 $b = 6_{-0,07}^{+0,03}$ мм — ширина многошпоночного выступа;
 $r' = 0,4$ мм — радиус закругления;
 $n = 10$ — число шлицов.

Расчетная ширина шпоночного выступа равна

$$b = \frac{5,97 + 5,93}{2} = 5,95 \text{ мм}$$

и

$$a = \frac{b}{2} = 2,975 \text{ мм.}$$

Расчетная величина радиуса r_i окружности впадин валика

$$r_i = \frac{32 + 31,9}{4} = 15,98 \text{ мм.}$$

По формулам табл. 23 для валика типа III рассчитываем радиус начальной окружности валика

$$R = R_e - r' = 19 - 0,4 = 18,6 \text{ мм.}$$

Наибольшая высота профиля зуба фрезы до начальной прямой определится по формулам § 45 (стр. 162)

$$\sin \gamma = \frac{b}{2R} = \frac{5,95}{2 \cdot 18,6} = 0,159946;$$

$$\gamma = 9^\circ 12' 5'' = 9,20416^\circ \text{ или } \gamma = 0,160640 \text{ в радианах;}$$

$$\cos \alpha_i = \sqrt{\left(\frac{r_i}{R}\right)^2 - \sin^2 \gamma} = \sqrt{\left(\frac{15,98}{18,6}\right)^2 - 0,159946^2} = 0,844120;$$

$$\sin \alpha_i = 0,536154;$$

$$h = R \sin \alpha_i (\sin \alpha_i - \sin \gamma) = 18,6 \cdot 0,536154 (0,536154 - 0,159946),$$

$$h = 3,752 \text{ мм.}$$

Расчет размеров зуба червячной фрезы в нормальном сечении производится по формулам (1), (2), (6), (8) § 38 (стр. 148), который выполняем в форме расчетной таблицы.

№ формул	Обозначение	Формула	Расчет	Результат
1	θ	$\theta^\circ = \frac{180^\circ}{n} - \gamma$	$\theta^\circ = \frac{180^\circ}{10} - 9,20416^\circ$	$8,79584^\circ$
2	S	$S = 0,034906 \cdot R \cdot \theta^\circ$	$S = 0,034906 \cdot 18,6 \cdot 8,79584$	5,711
3	h_1	$h_1 = h + r' + 2,5$	$h_1 \approx 3,752 + 0,4 + 2,5$	6,5
4	t_n	$t_n = \frac{2\pi R}{n}$	$t_n = \frac{2 \cdot 3,1416 \cdot 18,6}{10}$	11,687
5	l	$l = t_n - S - 2$	$l \approx 11,69 - 5,71 - 2$	4
6	λ	Выбирается конструктивно		20°

Для расчета профиля червячной фрезы по дуге заменяющей окружности проверяем возможность использования табл. 24, именно отношение $\frac{h}{R} = \frac{3,752}{18,6} = 0,212$. Как видно, $h = 0,212R$, что больше предельных допустимых значений высот $h > 0,2R$, следовательно, табл. 24 пользоваться невозможно. Поэтому профиль фрезы задаем координатами точек, которые рассчитываем с помощью табл. 25, согласно правилам и примеру пользования таблицей.

Определяем число точек и номер строк коэффициентов табл. 25, которые используем для расчета координат точек.

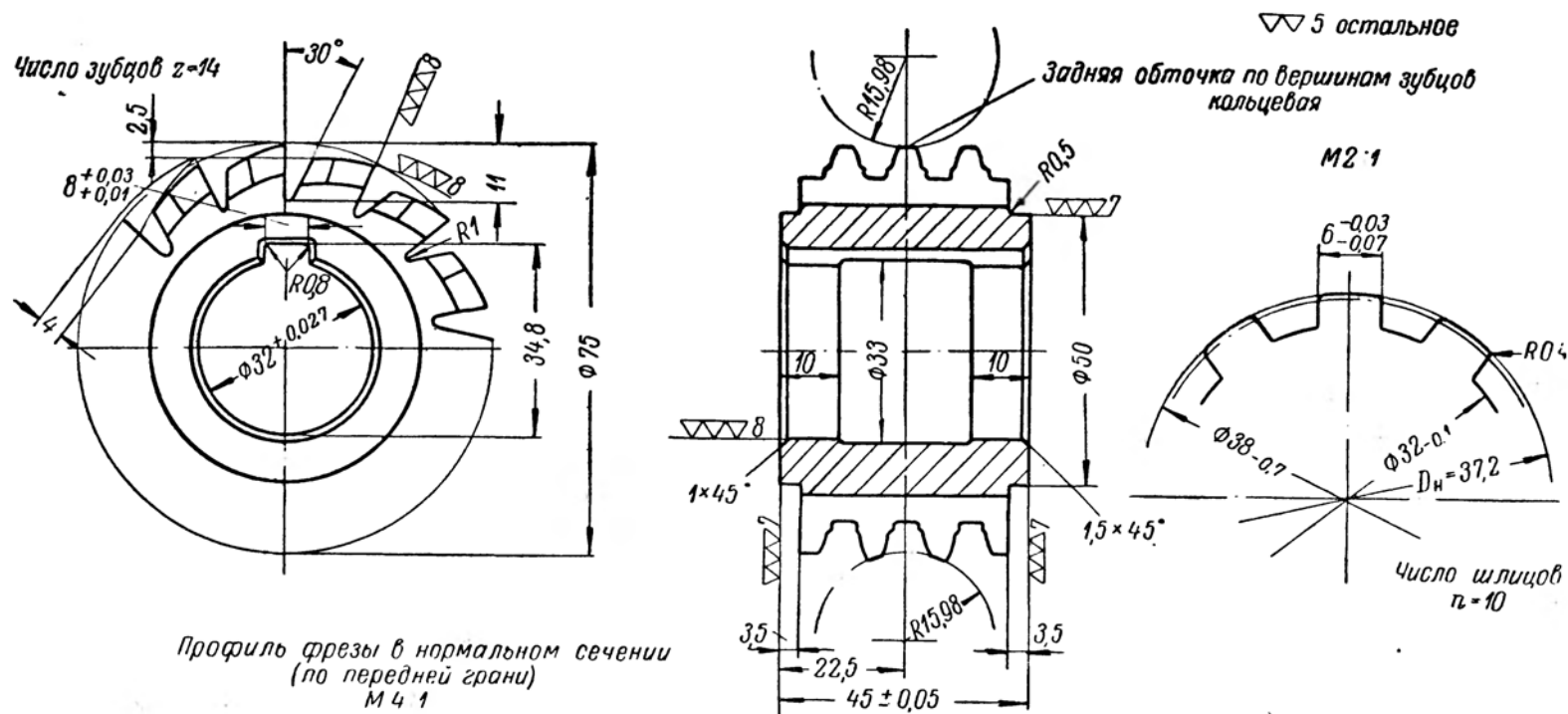
Выше было определено $\sin \gamma = 0,159946$, тогда ближайшее большее значение K_1 по табл. 25 будет $K_1 = 0,173219$. Соответствующая данному значению K_1 ордината y_3 и соседняя ордината y_4 определяются по формулам стр. 137:

$$y_3 = RK_2 - aK_1 = 18,6 \cdot 0,030005 - 2,975 \cdot 0,173219 = 0,043 \text{ мм;}$$

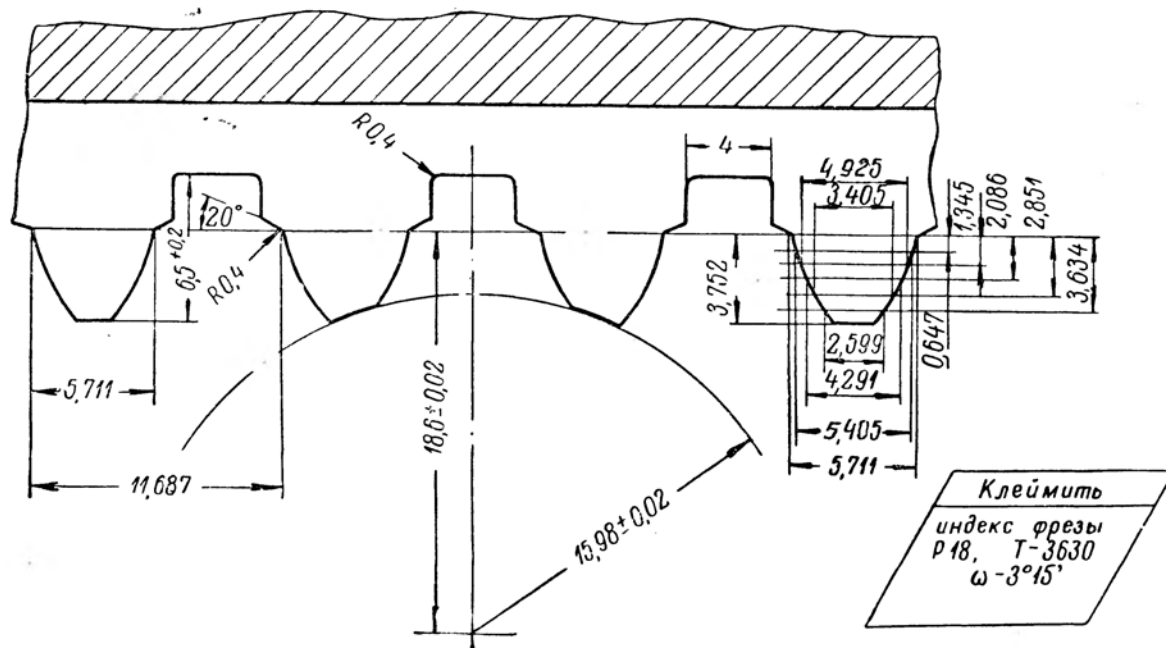
$$y_4 = RK_2 - aK_1 = 18,6 \cdot 0,040013 - 2,975 \cdot 0,200033 = 0,149 \text{ мм.}$$

Разность соседних ординат равна

$$\Delta y = y_4 - y_3 = 0,149_3 - 0,043 = 0,106 \text{ мм.}$$



Данные для изготовления:	
Направление нарезки	Правое
Число заходов	1
Шаг по оси	11,706
Число винтовых канавок	14
Направление винтовой канавки	Левое
Шаг винтовых канавок	3630



Технические требования

1. Крайние зубцы толщиной менее половины полной толщины удалить
2. Предельное отклонение осевого шага ±0,01
3. Предельная накопленная ошибка на длине трех шагов ±0,02
4. Предельное колебание окружного шага передних поверхностей зубцов 0,07
5. Допуск на радиальность передней поверхности (только в сторону поднутрения) Не более 0,04
6. Радиальное биение по наружному диаметру Не более 0,025
7. Допустимая разность расстояний от вершины зубьев, расположенных вдоль стружечной канавки, до оси фрезы 0,02
8. Радиальное биение по буртикам Не более 0,02
9. Торцевое биение по буртикам 0,01
10. Отклонение шага винтовых канавок ±18
11. Материал сталь P18
12. Термообработать $H_{RC} = 62-64$

Фиг. 100. Фреза червячная шлицевая с удлиненным зубом.

Принимаем расстояния между точками по высоте профиля фрезы равными приблизительно 0,6 мм. Тогда значения коэффициента по табл. 25 берем через $\frac{0,6}{0,106} \approx 5$ строк. Общее число точек $p_0 = \frac{h}{5 \cdot 0,106} = \frac{3,752}{0,53} \approx 6$, тогда номера следующих строк табл. 25, не считая коэффициентов третьей строки, будут: № 8; 13; 18; 23; 28 через каждые пять строк.

Расчет производим в форме расчетной таблицы, удобной для выполнения расчета на машиносчетной станции или с помощью арифмометра („Цифровое обозначение действия“ см. § 28, стр. 116).

№ строк	Алгебраическое обозначение действия	Цифровое обозначение действия	№ строк по табл. 25				
			8	13	18	23	28
1	$a_1 = K_2$	Табл. 25	0,080006	0,130022	0,179982	0,230002	0,279987
2	$a_2 = K_1$	Табл. 25	0,282853	0,360585	0,424243	0,479585	0,529138
3	$a_3 = RK_2$	$(18,6) \times 1$	1,488	2,418	3,348	4,278	5,208
4	$a_4 = aK_1$	$(2,975) \times 2$	0,841	1,073	1,262	1,427	1,574
5	$y = a_3 - a_4$	3—4	0,647	1,345	2,086	2,851	3,634
6	$a_6 = K_3$	Табл. 25	0,015465	0,032568	0,053954	0,079349	0,108591
7	$a_7 = K_4$	Табл. 25	0,959163	0,932726	0,905548	0,877495	0,848536
8	$a_8 = RK_3$	$(18,6) \times 6$	0,2876	0,6058	1,0035	1,4759	2,0198
9	$a_9 = aK_4$	$(2,975) \times 7$	2,8535	2,7749	2,6940	2,6105	2,5244
10	$a_{10} = a_8 + a_9$	8+9	3,1411	3,3807	3,6975	4,0864	4,5442
11	$x = a_{10} - R\gamma$	10—(2,988)	0,153	0,393	0,710	1,098	1,556
12	$a_{12} = 2x$	$(2) \times 11$	0,306	0,786	1,420	2,196	3,112
13	$S_1 = S - 2x$	$(5,711) - 12$	5,405	4,925	4,291	3,405	2,599

В отличие от примера пользования табл. 25, где даны лишь значения x , здесь дополнительно определены толщины S_i зуба фрезы на разных высотах y от начальной прямой, как указано на фиг. 89.

Конструктивные размеры фрезы берем по табл. 26 для высоты профиля фрезы $h' = h + r = 3,752 + 0,4 \approx 4,2$ мм и шага $t_n = 11,687$ мм. Так как по высоте $h_{наиб.} = 4,5$ мм диаметр

фрезы больше чем диаметр, выбранный по шагу, то берем наружный диаметр фрезы $D = 75$ мм и падение затылка $K = 2,5$ мм.

Тогда начальный диаметр фрезы с учетом K будет

$$D_{ну} = D - 2h - \frac{K}{2} = 75 - 2 \cdot 3,752 - \frac{2,5}{2} = 66,25 \text{ мм.}$$

Угол подъема начальной винтовой линии фрезы

$$\sin \omega = \frac{t_n}{\pi D_{ну}} = \frac{11,687}{3,1416 \cdot 66,25} = 0,056152;$$

$$\omega = 3^\circ 13' 10'', \text{ округляем } \omega \text{ до } 3^\circ 15'.$$

Шаг фрезы по оси

$$t_0 = t_n \sec \omega = 11,687 \cdot 1,001611 = 11,706 \text{ мм.}$$

Шаг винтовой стружечной канавки

$$T = t_0 \operatorname{ctg}^2 \omega = 11,706 \cdot 17,6106^2 = 3630 \text{ мм.}$$

Определяем минимально необходимую длину фрезы

$$h' = h + R_e - R = 3,752 + 19 - 18,6 = 4,15 \text{ мм;}$$

$$L = 2 \sqrt{(D_e - h') h'} = 2 \sqrt{(38 - 4,15) 4,15} = 23,7 \text{ мм.}$$

Принимаем длину фрезы равной $\frac{2}{3}$ длины $L = 65$ мм фрезы по табл. 26 при $D = 75$ мм, т. е. $L = 45$ мм. Соответственно длина посадочной части отверстия $l = \frac{45}{4} \approx 11$ мм.

Остальные размеры фрезы берем по табл. 26 для $D = 75$ мм, а допуски по табл. 27 и 28.

На фиг. 100 дан чертеж червячной фрезы с удлиненным зубом и приведены размеры профиля, согласно расчету.

ЧЕРВЯЧНЫЕ ФРЕЗЫ ПОСТОЯННОЙ УСТАНОВКИ

§ 47. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ И РАСЧЕТ ШАГОВ ПЕРВИЧНОЙ И ВТОРИЧНОЙ НАРЕЗКИ

[8, стр. 132—158], [13, стр. 172—182]

Червячные фрезы постоянной установки отличаются от червячных фрез, имеющих профиль зубчатой рейки, тем, что профиль зубцов этих фрез полностью совпадает с профилем впадины детали. Такие фрезы имеют чистовые и черновые зубцы и располагаются относительно детали так, чтобы профиль чистового зубца полностью совпал с профилем впадины детали, т. е. они устанавливаются так же, как и фасонные фрезы. Существенной особенностью этих фрез является то, что они имеют с двух сторон профиля винтовую нарезку с различными шагами или конусную резьбу с одинаковым шагом.

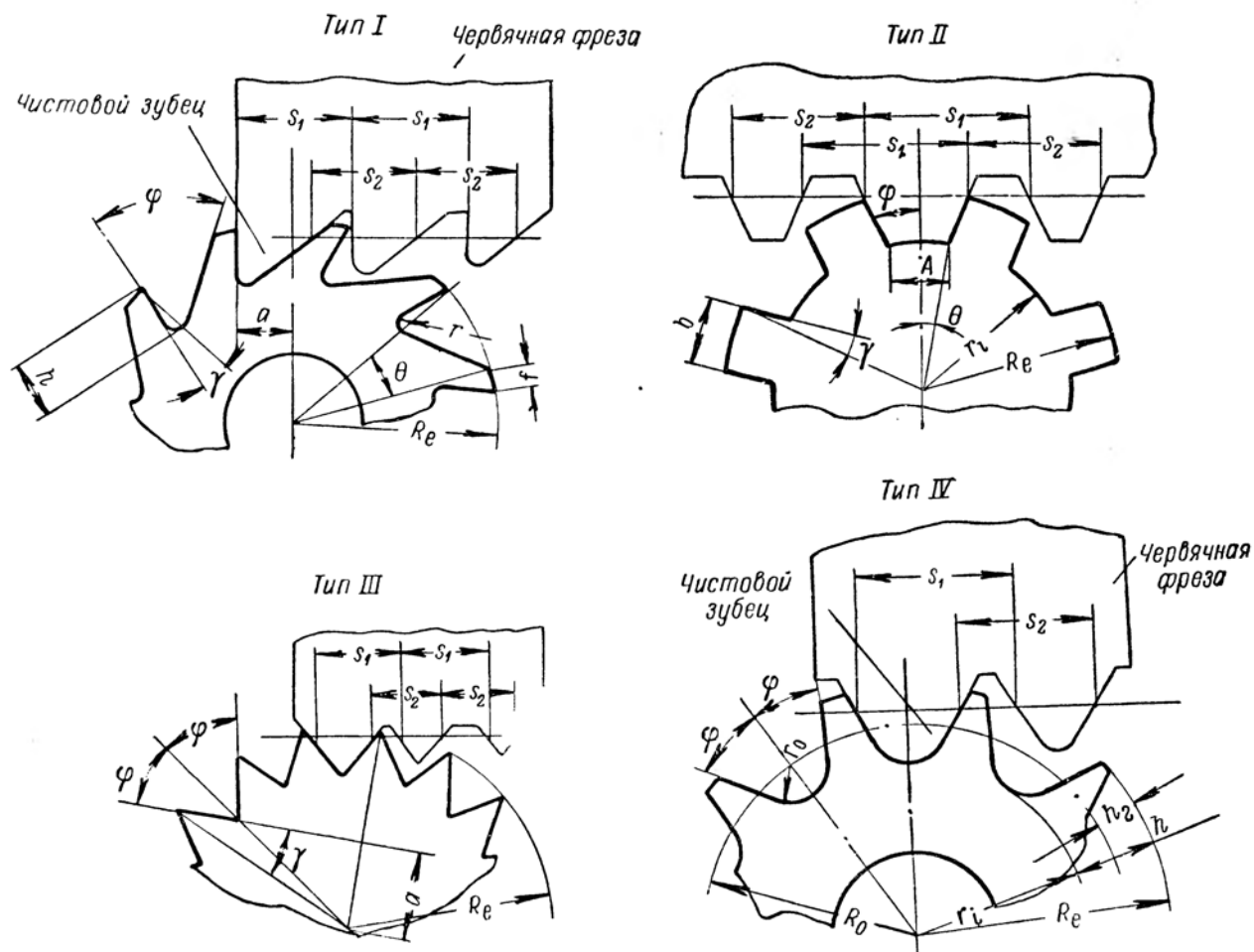
Червячные фрезы постоянной установки применяются для деталей, у которых не допускаются большие переходные закругления у основания зубца.

Благодаря прямолинейной форме профиля зуба эти фрезы применяются на тех заводах, где изготовление точных обкаточных червячных фрез с криволинейным профилем затруднено. Точность изготовления нарезки допускается более низкая, чем у обкаточных червячных фрез.

Точность профиля детали получается более высокая, чем при обработке червячными фрезами, имеющими профиль зубчатой рейки.

Зубчатые детали с одинаковым профилем впадины, но с различными числами зубцов, могут обрабатываться одной фазой постоянной установки.

На фиг. 101 показаны типовые детали, обрабатываемые фрезами постоянной установки, а также установка этих фрез, т. е. поло-



Фиг. 101. Типовые детали, обрабатываемые червячными фрезами постоянной установки.

жение чистового зуба относительно детали. Кроме того, даны требуемые для расчета фрезы необходимые размеры зубцов деталей и размеры шагов S_1 правой стороны впадины (первичная нарезка) и S_2 левой стороны впадины (вторичная нарезка) — нарезки червячной фрезы.

На фиг. 101: тип I — храповое колесо; тип II — многошпоночный валик с параллельными плоскостями шпоночных выступов; тип III — шлицевой валик с треугольным профилем; тип IV — цепное колесо.

Дополнительные размеры зубчатой детали, не отмеченные на фигурах, рассчитываются, как указано в нижеприведенных примерах расчета этих фрез.

Шаги первичной и вторичной нарезок червячных фрез постоянной установки определяются по формулам:

шаг первичной нарезки

$$S_1 = \Delta S_1 z + (0,01 \div 0,3) \text{ мм};$$

шаг вторичной нарезки

$$S_2 = \Delta S_2 z - (0,1 \div 0,3) \text{ мм},$$

где z — число зубцов фрезы.

Размеры ΔS_1 и ΔS_2 определяют расстояние между соседними зубцами фрезы по винтовой линии, измеренное вдоль оси. Дополнительные величины 0,1—0,3 мм компенсируют неточность изготовления и установки фрезы. Рекомендуется округлить шаги S_1 в большую сторону, а S_2 в меньшую сторону до десятых долей миллиметра. При расчете шагов нарезки для конических зубчатых деталей или двух цилиндрических зубчатых деталей с одинаковым профилем впадин и разными числами зубцов S_1 и S_2 рассчитываются для каждой детали в отдельности и из двух значений S_1 выбирается больший, а S_2 меньший размеры.

Ниже приводятся формулы для расчета размеров, определяющих шаги S_1 — первичной и S_2 — вторичной нарезки червячных фрез постоянной установки для деталей, изображенных на фиг. 101.

В формулах угол δ в градусах рассчитывается так:

$$\delta = \frac{360}{nz},$$

где n — число зубцов детали;

z — число зубцов фрезы.

Конструктивные размеры червячных фрез постоянной установки для храповых колес и шлицевых валиков берутся по табл. 26 конструктивных размеров червячных шлицевых фрез в зависимости от высоты h профиля зуба и среднего шага $t_{cp} = \frac{S_1 + S_2}{2}$ червячной фрезы.

Тип детали (фиг. 101)	Обрабатываемая деталь	Размер, определяющий шаг первичной нарезки ΔS_1	Размер, определяющий шаг вторичной нарезки ΔS_2
I	Храповое колесо с поднутрением зуба	$\Delta S_1 = R_e \sin \delta$	$\sin \gamma = \frac{a}{R_e}; \lambda = \varphi + \gamma - \frac{\theta}{2}$ $\mu = \varphi + \gamma - \frac{\theta + \delta}{2}; \eta = \frac{\theta - \delta}{2}$ $\varepsilon = \varphi + \delta$ $\Delta S_2 = \frac{2R_e}{\cos \varphi} \left(\frac{\sin \frac{\theta}{2} \cos \lambda \sin \varphi}{\sin \varepsilon} - \cos \mu \sin \eta \right)$
II	Многошпоночный валик с параллельными сторонами шпонок	$\sin \gamma = \frac{b}{2R_e}; \varphi = \frac{180^\circ}{n}$ $\Delta S_1 = \frac{2R_e}{\cos \varphi} \sin \frac{\delta}{2} \cos \left(\gamma + \frac{\delta}{2} \right)$	$\sin \psi = \frac{b}{2r_i}$ $\Delta S_2 = \frac{2r_i \sin \frac{\delta}{2} \cos \left(\psi - \frac{\delta}{2} \right)}{\cos \varphi}$
III	Многошпоночный валик с треугольными шлицами	$\sin \gamma = \frac{a}{R_e} = \frac{b}{2R_e}$ $\Delta S_1 = \frac{2R_e}{\cos \varphi} \sin \frac{\delta}{2} \cos \left(\gamma + \frac{\delta}{2} \right)$	$\mu_1 = 2\varphi + \frac{\delta}{2}; \lambda_1 = \gamma + \delta;$ $\varepsilon_1 = 2\varphi + \delta;$ $\Delta S_2 = \frac{2R_e \sin \frac{\delta}{2} (\sin \gamma \cos \mu_1 + \sin \lambda_1 \cos \frac{\delta}{2})}{\cos \varphi \sin \varepsilon_1}$
IV	Цепное колесо с прямолинейным профилем зуба и дугowym профилем впадины	$\sin \gamma = \frac{R_0 \sin \varphi - r_0}{R_e};$ $\Delta S_1 = \frac{2R_e}{\cos \varphi} \sin \frac{\delta}{2} \cos \left(\gamma + \frac{\delta}{2} \right)$	$\eta_1 = \varphi + \delta;$ $\Delta S_2 = R_0 \left(\operatorname{tg} \eta_1 - \frac{\sin \varphi}{\cos \eta_1} \right)$

Конструктивные размеры червячных фрез постоянной установки для цепных колес берутся по таблицам ГОСТ 3346—46 фрез червячных для цилиндрических зубчатых колес. Однако требуемая точность цепных колес позволяет пользоваться меньшими диаметрами червячных фрез по ОСТ 20026. При этом число зубцов фрезы следует округлять до ближайшего большего четного числа.

Длина фрезы рассчитывается по формулам, приведенным в примерах расчета червячных фрез постоянной установки. Расчет среднего диаметра D_{cp} фрезы, угла ω подъема средней винтовой линии фрезы, шага нарезки t_0 по оси и шага стружечной канавки производится по формулам, приведенным в § 40.

§ 48. ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА И ЗАТЫЛОВАНИЯ ЧЕРВЯЧНЫХ ШЛИЦЕВЫХ ФРЕЗ ПОСТОЯННОЙ УСТАНОВКИ

Фрезы постоянной установки, как правило, имеют один чистовой зубец, за которым удалены все зубцы, расположенные со стороны затылка. Однако червячные фрезы постоянной установки для многошпоночных валиков с параллельными сторонами шпоночных выступов имеют зубцы, чаще всего расположенные по обе стороны от чистового зуба. В этом случае шаги первичной и вторичной нарезки фрезы рассчитываются по формулам, приведенным на стр. 167 для детали типа II. Шаги нарезки располагаются на фрезе, как изображено на фиг. 101, тип II, симметрично по обе стороны от чистового зуба. Нарезание резьбы и затылование зубцов может быть произведено двумя резцами (или шлифовальными кругами). Первый резец нарезает или затылует зубцы на всю длину фрезы лишь с шагом S_1 , а второй с шагом S_2 . Устанавливать резцы следует лишь относительно чистового зуба фрезы, который должен контролироваться по толщине. Резцы при этом должны иметь точную ширину носика, которая рассчитывается по формулам, приведенным ниже для каждого шага S_1 и S_2 . Схема нарезания и ширина носиков резцов должны указываться на чертеже фрезы. При отмеченных условиях осуществляются шаги S_1 и S_2 (фиг. 101, тип II) лишь при двух настройках затыловочного станка на указанные шаги. Как видно из схемы (см. фиг. 103) нарезания при подаче резца первичной нарезки (справа налево), сначала работает правая режущая кромка, а за линией симметрии центрального зуба — левая кромка. Резец вторичной нарезки работает сначала левой режущей кромкой, а затем правой. Ширина носика затыловочного резца (или цилиндрический участок шлифовального круга) при затыловании или нарезании резьбы с шагами S_1 и S_2 рассчитывается по нижеприведенным формулам.

Предварительно определяется ширина A по хорде впадины шлицевого валика у основания выступа (фиг. 101, тип II), которая задается на чертеже фрезы

$$\theta = \varphi - \psi,$$

где φ и ψ определяются по формулам § 47 для валика типа II

$$A = 2r_i \sin \theta.$$

Тогда ширина x_1 носика резца для затылования зубцов с шагом S_1 определится по формуле

$$x_1 = S_{01} - A - 2h_1 \operatorname{tg} \varphi,$$

а ширина носика резца для затылования зубцов с шагом S_2

$$x_2 = x_1 - (S_{01} - S_{02}),$$

где S_{01} — осевой шаг первичной, а S_{02} — вторичной нарезки.

Высота профиля зуба фрезы рассчитывается по формуле

$$h_1 \approx 1,2h,$$

где h — высота профиля валика.

На размер h_1 следует задать допуск (порядка $\pm 0,05$ мм), так как он является базовым при расчете x_1 и x_2 и при нарезании резьбы.

Червячная шлицевая фреза постоянной установки имеет у вершины чистового зуба дуговой профиль с радиусом r_i , равным радиусу окружности впадин валика. Эта дуговая часть профиля зуба не может быть образована по винтовой линии, как боковой профиль, а выполняется в виде кольцевой канавки на всех зубцах. Плоскость симметрии кольцевой канавки должна совпадать с плоскостью симметрии чистового зуба. В этом случае при переточке фрезы боковые стороны чистового зуба будут смещаться относительно дугового участка, центр которого не будет лежать на оси симметрии чистового зуба. Чтобы избежать указанного смещения, вершину чистового зуба обрабатывают косым затылованием. Косое затылование вершины должно быть направлено в сторону подъема витка резьбы. Угол между направлением косого затылования и перпендикуляром к оси фрезы и подъем K_k кулачка для косого затылования рассчитываются по формулам

$$\operatorname{tg} \psi_0 = \frac{t_{cp}}{z \cdot K}; K_k = \frac{K}{\cos \psi_0},$$

где K — подъем кулачка при радиальном затыловании боковой поверхности зубцов;

z — число зубцов фрезы;

t_{cp} — средний шаг нарезки фрезы.

Подъем кулачка округляется до ближайших чисел, кратных 0,5 мм.

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ЧЕРВЯЧНЫХ ФРЕЗ ПОСТОЯННОЙ УСТАНОВКИ

§ 49. ПРИМЕР РАСЧЕТА ЧЕРВЯЧНОЙ ФРЕЗЫ ДЛЯ ХРАПОВОГО КОЛЕСА

Размеры храпового колеса (фиг. 101, тип I) следующие:

радиус окружности выступов $R_e = 200$ мм;

число зубцов колеса $n = 100$ мм;

угол профиля впадины $\varphi = 45^\circ$;

радиус закругления дна впадины $r = 1,5$ мм;

расстояние от оси колеса до передней плоскости зуба

$a = 7,5$ мм;

ширина ленточки у вершины зуба $f = 2,0$ мм;

высота зуба $h \approx 7,5$ мм.

Число зубцов фрезы выбирается по табл. 26 для $h = 7,5$ мм и принимается $z = 12$.

Расчет шагов первичной и вторичной нарезки производится по формулам § 47 (фиг. 101, тип I) в виде расчетной таблицы.

№ формул	Обозначение	Формула	Расчет	Результат
1	δ	$\delta = \frac{360^\circ}{n \cdot z}$	$\delta = \frac{360^\circ}{100 \cdot 12}$	$0,3^\circ = 18'$
2	ΔS_1	$\Delta S_1 = R_e \sin \delta$	$\Delta S_1 = 200 \cdot 0,005236$	1,0472
3	θ	$\theta = \frac{360^\circ}{n} - 57,2960 \frac{f}{R_e}$	$\theta = \frac{360^\circ}{100} - 57,296 \cdot \frac{2}{200}$	$3,027^\circ = 3^\circ 2'$
4	γ	$\sin \gamma = \frac{a}{R_e}$	$\sin \gamma = \frac{7,5}{200}$	$0,0375$ $\gamma = 2^\circ 9'$
5	λ	$\lambda = \varphi + \gamma - \frac{\theta}{2}$	$\lambda = 45^\circ + 2^\circ 9' - \frac{3^\circ 2'}{2}$	$45^\circ 38'$

№ формул	Обозначение	Формула	Расчет	Результат
6	μ	$\mu = \varphi + \gamma - \frac{\theta + \delta}{2}$	$\mu = 45^\circ + 2^\circ 9' - \frac{3^\circ 2' + 18'}{2}$	$45^\circ 29'$
7	η	$\eta = \frac{\theta - \delta}{2}$	$\eta = \frac{3^\circ 2' - 18'}{2}$	$1^\circ 22'$
8	ε	$\varepsilon = \varphi + \delta$	$\varepsilon = 45^\circ + 18'$	$45^\circ 18'$
9	ΔS_2	$\Delta S_2 = \frac{2R_e}{\cos \varphi} \left(\sin \frac{\theta}{2} \frac{\cos \lambda \sin \varphi}{\sin \varepsilon} - \cos \mu \sin \eta \right)$	$\Delta S_2 = \frac{2 \cdot 200}{\cos 45^\circ} \left(\sin \frac{3^\circ 2'}{2} \frac{\cos 45^\circ 38' \sin 45^\circ}{\sin 45^\circ 18'} - \cos 45^\circ 29' \sin 1^\circ 22' \right)$	0,9556
10	S_1	$S_1 = \Delta S_1 z + 0,14$	$S_1 = 1,0472 \cdot 12 + 0,14$	12,7
11	S_2	$S_2 = \Delta S_2 z - 0,1$	$S_2 = 0,9556 \cdot 12 - 0,1$	11,3

Высота профиля зуба червячной фрезы определится по формуле

$$h_1 = h + 0,2h = 7,5 + 1,5 = 9 \text{ мм.}$$

Диаметр и другие конструктивные размеры фрезы принимаем по табл. 26 для $h = 7,5$ мм. При этом наружный диаметр $D = 90$ мм и падение затылка $K = 3$ мм.

Длина фрезы определяется по формуле § 45 (стр. 162).

Однако в указанной формуле множитель 2 опускается.

$$L = \sqrt{h(D_e - h)} = \sqrt{7,5(400 - 7,5)} \approx 60 \text{ мм.}$$

Длину буртов принимаем $l_1 = 5$ мм.

Общая длина фрезы будет $L' = L + 2l_1 = 70$ мм.

Средний диаметр D_{cp} фрезы

$$D_{cp} = D - h - \frac{K}{2} = 90 - 7,5 - \frac{3}{2} = 81 \text{ мм.}$$

Средний шаг фрезы

$$t_{cp} = \frac{S_1 + S_2}{2} = \frac{11,3 + 12,7}{2} = 12 \text{ мм.}$$

Угол подъема средней винтовой линии фрезы

$$\sin \omega = \frac{t_{cp}}{\pi D_{cp}} = \frac{12}{3,1416 \cdot 81} = 0,047156; \omega = 2^\circ 42' 10''$$

или, округляя, $\omega = 2^\circ 45'$.

Шаг первичной нарезки по оси будет

$$S_{01} = S_1 \sec \omega = 12,7 \cdot 1,001153 = 12,71 \text{ мм.}$$

Шаг вторичной нарезки по оси

$$S_{02} = S_2 \sec \omega = 11,3 \cdot 1,001153 = 11,31 \text{ мм.}$$

Шаг винтовой стружечной канавки

$$T = t_{cp} \operatorname{ctg}^2 \omega = 12 \cdot 20,8198^2 = 5201 \text{ мм.}$$

На фиг. 102 представлены чертеж фрезы постоянной установки для храпового колеса с чертежом профиля и схемой установки фрезы относительно храпового колеса.

§ 50. ПРИМЕР РАСЧЕТА ЧЕРВЯЧНОЙ ФРЕЗЫ ДЛЯ ВАЛИКА С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ ПЛОСКОСТЯМИ ШПОНОК

Заданы следующие размеры многошпоночного валика (фиг. 101, тип II):

диаметр окружности выступов $D_e = 2R_e = 64_{-0,06} \text{ мм};$

диаметр окружности впадин $d_i = 2r_i = 52_{-0,2} \text{ мм};$

толщина шпоночного выступа $b = 10_{-0,06}^{+0,02} \text{ мм};$

число шлицов $n = 10.$

Тогда расчетные размеры с учетом допусков будут:

$$d_i = \frac{52 + 51,8}{2} = 51,9 \text{ мм};$$

$$r_i = 25,95 \text{ мм};$$

$$b = \frac{9,98 + 9,94}{2} = 9,96 \text{ мм};$$

$$D_e = 64 \text{ мм.}$$

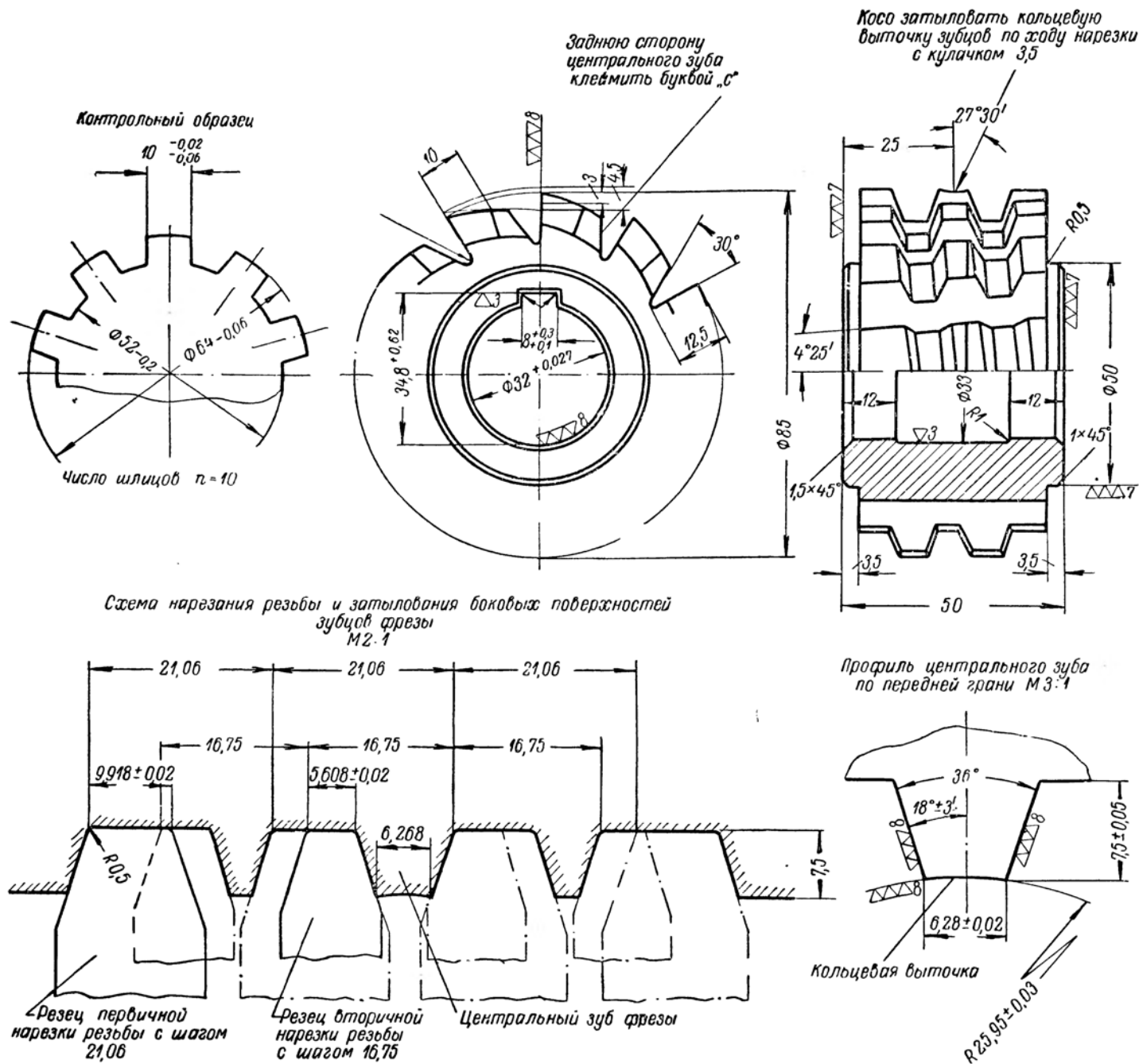
Глубина канавки в валика

$$h = \frac{D_e - d_i}{2} = \frac{64 - 51,9}{2} = 6,05 \text{ мм.}$$

По табл. 26, по графикам „Для глубоких шлицов“ выбираем число зубцов фрезы $z = 12.$

Расчет шагов первичной и вторичной нарезки производится по формулам § 47 (стр. 1. 167) для детали типа II.

№ формул	Обозначение	Формула	Расчет	Результат
1	δ	$\delta = \frac{360^\circ}{nz}$	$\delta = \frac{360^\circ}{10 \cdot 12}$	3°
2	φ	$\varphi = \frac{180^\circ}{n}$	$\varphi = \frac{180^\circ}{10}$	18°
3	γ	$\sin \gamma = \frac{b}{2R_e}$	$\sin \gamma = \frac{9,96}{2 \cdot 32}$	$0,155625$ $\gamma = 8^\circ 57'$
4	ΔS_1	$\Delta S_1 = \frac{2R_e \sin \frac{\delta}{2}}{\cos \varphi} \times \cos \left(\gamma + \frac{\delta}{2} \right)$	$\Delta S_1 = \frac{2 \cdot 32 \sin 1^\circ 30'}{\cos 18^\circ} \times \cos 10^\circ 27'$	$1,7323$
5	ψ	$\sin \psi = \frac{b}{2r_i}$	$\sin \psi = \frac{9,96}{2 \cdot 25,95}$	$0,191907$ $\psi = 11^\circ 3' 50''$
6	ΔS_2	$\Delta S_2 = \frac{2r_i \sin \frac{\delta}{2}}{\cos \varphi} \times \cos \left(\psi - \frac{\delta}{2} \right)$	$\Delta S_2 = \frac{2 \cdot 25,95 \sin 1^\circ 30'}{\cos 18^\circ} \times \cos 9^\circ 33' 50''$	$1,4086$
7	S_1	$S_1 = \Delta S_1 z + 0,2$	$S_1 = 1,7323 \cdot 12 + 0,2$	$21,0$
8	S_2	$S_2 = \Delta S_2 z - 0,2$	$S_2 = 1,4086 \cdot 12 - 0,2$	$16,7$



Данные для изготовления:

Направление нарезки	Правое
Число заходов	1
Шаг первичной нарезки по оси	21,06
Шаг вторичной нарезки по оси	16,75
Число винтовых канавок	12
Направление винтовых канавок	Левое
Шаг винтовых канавок	3160

Технические требования

1. Крайние зубы толщиной при вершине менее $1/2$ полной толщины	Удалить
2. Предельное отклонение осевого шага	$\pm 0,05$
3. Предельное колебание окружности шага зубов	0,1
4. Допуск на радиальность передней грани	0,05 (только в сторону поднутрения)
5. Радиальное биение по наружному диаметру	0,03
6. Радиальное биение по буртикам	0,02
7. Торцевое биение по буртикам	Не более 0,015
8. Отклонение шага винтовых канавок	± 15
9. Материал	сталь Р18
10. Термообработка	$H_{RC} = 62-64$

Фиг. 103. Фреза червячная шлицевая постоянной установки.

Диаметр и другие конструктивные размеры фрезы выбираем по табл. 26 конструктивных размеров шлицевых червячных фрез для $h = 6,05$ мм, по графе „Для глубоких шлицов“. При этом наружный диаметр фрезы $D = 85$ мм, падение затылка $K = 3$ мм и число зубцов $z = 12$.

Средний диаметр D_{cp} фрезы

$$D_{cp} = D - h - \frac{K}{2} = 85 - 6,05 - \frac{3}{2} = 77,45 \text{ мм.}$$

Средний шаг фрезы по нормали

$$t_{cp} = \frac{S_1 + S_2}{2} = \frac{21 + 16,7}{2} = 18,85 \text{ мм.}$$

Угол подъема средней винтовой линии фрезы

$$\sin \omega = \frac{t_{cp}}{\pi D_{cp}} = \frac{18,85}{3,1416 \cdot 77,45} = 0,077471,$$

$$\omega = 4^\circ 26' 30'', \text{ округляем до } \omega = 4^\circ 25'.$$

Шаг первичной нарезки по оси

$$S_{01} = S_1 \sec \omega = 21 \cdot 1,002978 = 21,06 \text{ мм.}$$

Шаг вторичной нарезки по оси

$$S_{02} = S_2 \sec \omega = 16,7 \cdot 1,002978 = 16,75 \text{ мм.}$$

Шаг винтовой стружечной канавки

$$T = t_{cp} \operatorname{ctg}^2 \omega = 18,85 \cdot 12,9469^2 = 3160 \text{ мм.}$$

Минимально необходимую длину режущей части фрезы определяем по формуле

$$L_1 = 2 \sqrt{h(D_e - h)} = 2 \sqrt{6,05(64 - 6,05)} = 37,5 \text{ мм}$$

и округляем до $L_1 = 43$ мм. Общая длина фрезы с учетом буртиков будет

$$L = L_1 + 2l_1 = 43 + 2 \cdot 3,5 = 50 \text{ мм.}$$

Согласно формулам § 48 определяем ширину A дуговой части у вершины чистового зуба и высоту чистового зуба

$$\theta = \varphi - \psi = 18^\circ - 11^\circ 4' = 6^\circ 56';$$

$$A = 2r_t \sin \theta = 2 \cdot 25,95 \cdot \sin 6^\circ 56' = 6,268 \text{ мм.}$$

Высота профиля зуба фрезы

$$h_1 = 1,2h = 1,2 \cdot 6,05 \approx 7,5 \text{ мм.}$$

Ширина носика резца для затылования стороны зубцов с шагом нарезки S_{01} будет:

$$x_1 = S_{01} - A - 2h_1 \operatorname{tg} \varphi = 21,06 - 6,268 - 2 \cdot 7,5 \cdot 0,32492 = 9,918 \text{ мм.}$$

Ширина носика резца для шага нарезки S_{02} определится

$$x_2 = x_1 - (S_{01} - S_{02}) = 9,918 - (21,06 - 16,75) = 5,608 \text{ мм.}$$

Согласно формулам § 48 угол ψ_0 косо́го затылования дуговой части профиля чистового зуба будет

$$\operatorname{tg} \psi_0 = \frac{t_{cp}}{zK} = \frac{18,85}{12 \cdot 3} = 0,52365;$$

$$\psi_0 = 27^\circ 38'.$$

Подъем кулачка для косо́го затылования будет

$$K_k = \frac{K}{\cos \psi_0} = \frac{3}{0,885889} = 3,39 \text{ мм.}$$

Округляем значение K_k до 3,5 мм.

На фиг. 103 изображен чертеж фрезы согласно расчету.

§ 51. ПРИМЕР РАСЧЕТА ЧЕРВЯЧНОЙ ФРЕЗЫ ДЛЯ КОНИЧЕСКОГО ВАЛИКА С ТРЕУГОЛЬНЫМИ ШЛИЦАМИ

На фиг. 104 изображен конический многошпоночный валик с треугольными шлицами. Размеры профиля зубцов валика заданы в двух сечениях: aa — сечение по малому диаметру конуса и bb — сечение по большому диаметру конуса.

Размеры диаметров характеризуются следующими данными:

Сечение	Диаметр	Обозначение	Размер	Число шлицов
aa	Наружный	$D_{e1} = 2R_{e1}$	52,65	24
	Средний	$D_{cp1} = 2R_{cp1}$	$50,25 \pm 0,05$	
	Внутренний	$d_{i1} = 2r_{i1}$	47,28	
bb	Наружный	$D_{e2} = 2R_{e2}$	$59,5_{-0,12}$	
	Средний	$D_{cp2} = 2R_{cp2}$	$56,5 \pm 0,05$	
	Внутренний	$d_{i2} = 2r_{i2}$	$53,1_{-0,1}$	

Половина угла впадины профиля $\varphi = 45^\circ$.

Дополнительные размеры a_1 и a_2 (фиг. 101, тип III) определяются для двух сечений по формулам

$$a_1 = R_{cp1} \sin \left(\varphi - \frac{90^\circ}{n} \right) = 25,125 \sin \left(45^\circ - \frac{90^\circ}{24} \right) = 16,566 \text{ мм};$$

$$a_2 = R_{cp2} \sin \left(\varphi - \frac{90^\circ}{n} \right) = 28,25 \sin \left(45^\circ - \frac{90^\circ}{24} \right) = 18,627 \text{ мм}.$$

Теоретические радиусы впадин по вершинам треугольников будут

$$R_{i1} = a_1 \sec \varphi = 16,566 \sec 45^\circ = 23,43 \text{ мм};$$

$$R_{i2} = a_2 \sec \varphi = 18,627 \sec 45^\circ = 26,343 \text{ мм}.$$

Наибольшая глубина шлица

$$h = \frac{D_{e2} - d_{i2}}{2} = \frac{59,5 - 53,1}{2} = 3,2 \text{ мм}.$$

Габаритные и конструктивные размеры фрезы выбираем по табл. 26 для $h = 3,2 \text{ мм}$ по графе „Для мелких шлицов“. Тогда наружный диаметр $D = 65 \text{ мм}$, число зубцов $z = 14$, $K = 2,5 \text{ мм}$.

Расчет шагов первичной и вторичной нарезки выполняется по каждому сечению в отдельности как бы для двух цилиндрических многошпоночных валиков и из двух значений S'_{01} и S''_{01} берется большее, а из двух значений S'_{02} и S''_{02} — меньшее значение. Расчет выполняется в форме расчетной таблицы по формулам § 47 (стр. 167) для детали типа III.

№ формул	Обозначение	Формула	Расчет	Результат
1	δ	$\delta = \frac{360^\circ}{n \cdot z}$	$\delta = \frac{360}{24 \cdot 14}$	$1^\circ 4' 16''$
2	γ_1	$\sin \gamma_1 = \frac{a_1}{R_{e1}}$	$\sin \gamma_1 = \frac{16,566}{26,325}$	$0,629287$ $\gamma_1 = 38^\circ 59' 50''$
3	γ_2	$\sin \gamma_2 = \frac{a_2}{R_{e2}}$	$\sin \gamma_2 = \frac{18,627}{29,75}$	$0,626117$ $\gamma_2 = 38^\circ 45' 50''$
4	$\Delta S'_1$	$\Delta S'_1 = \frac{2R_{e1}}{\cos \varphi} \sin \frac{\delta}{2} \times \cos \left(\gamma_1 + \frac{\delta}{2} \right)$	$\Delta S'_1 = \frac{2 \cdot 26,325}{\cos 45^\circ} \times \sin 32' 8'' \times \cos 39^\circ 31' 58''$	0,5368
5	$\Delta S''_1$	$\Delta S''_1 = \frac{2R_{e2}}{\cos \varphi} \sin \frac{\delta}{2} \times \cos \left(\gamma_2 + \frac{\delta}{2} \right)$	$\Delta S''_1 = \frac{2 \cdot 29,75}{\cos 45^\circ} \times \sin 32' 8'' \times \cos 39^\circ 17' 58''$	0,6086
6	μ_1	$\mu_1 = 2\varphi + \frac{\delta}{2}$	$\mu_1 = 2 \cdot 45^\circ + 32' 8''$	$90^\circ 32' 8''$
7	ε_1	$\varepsilon_1 = 2\varphi + \delta$	$\varepsilon_1 = 2 \cdot 45^\circ + 1^\circ 4' 16''$	$91^\circ 4' 16''$
8	λ'_1	$\lambda'_1 = \gamma_1 + \delta$	$\lambda'_1 = 38^\circ 59' 50'' + 1^\circ 4' 16''$	$40^\circ 4' 6''$
9	λ''_1	$\lambda''_1 = \gamma_2 + \delta$	$\lambda''_1 = 38^\circ 45' 50'' + 1^\circ 4' 16''$	$39^\circ 50' 6''$
10	A_1	$A_1 = \sin \gamma_1 \cos \mu_1 + \sin \lambda'_1 \cos \frac{\delta}{2}$	$A_1 = -\sin 38^\circ 59' 50'' \times \sin 32' 8'' + \sin 40^\circ 4' 6'' \cos 32' 8''$	0,63784
11	A_2	$A_2 = \sin \gamma_2 \cos \mu_1 + \sin \lambda''_1 \cos \frac{\delta}{2}$	$A_2 = -\sin 38^\circ 45' 50'' \times \sin 32' 8'' + \sin 39^\circ 50' 6'' \cos 32' 8''$	0,63469
12	$\Delta S'_2$	$\Delta S'_2 = \frac{2R_{e1} A_1 \sin \frac{\delta}{2}}{\cos \varphi \sin \varepsilon_1}$	$\Delta S'_2 = \frac{52,65}{\cos 45^\circ} \times \frac{0,63784 \cdot \sin 32' 8''}{\cos 1^\circ 4' 16''}$	0,4441

№ формул	Обозначение	Формула	Расчет	Результат
13	$\Delta S_2''$	$\Delta S_2'' = \frac{2R_{e2}A_2 \sin \frac{\delta}{2}}{\cos \varphi \sin \epsilon_1}$	$\Delta S_2'' = \frac{59,5}{\cos 45^\circ} \times \frac{0,63469 \cdot \sin 32'8''}{\cos 1^\circ 4'16''}$	0,4420
14	S_1	$S_1 = \Delta S_1'' z + 0,18$	$S_1 = 0,6086 \cdot 14 + 0,18$	8,7
15	S_2	$S_2 = \Delta S_2'' z - 0,22$	$S_2 = 0,4420 \cdot 14 - 0,22$	7,3

Средний диаметр фрезы с учетом падения затылка будет

$$D_{cp} = D - h - \frac{K}{2} = 65 - 3,2 - \frac{2,5}{2} = 60,55 \text{ мм.}$$

Средний шаг фрезы по нормали

$$t_{cp} = \frac{S_1 + S_2}{z} = \frac{8,7 + 7,3}{z} = 8,0 \text{ мм.}$$

Угол подъема средней винтовой линии

$$\sin \omega = \frac{t_{cp}}{\pi D_{cp}} = \frac{8}{3,1416 \cdot 60,55} = 0,042055; \quad \omega = 2^\circ 24' 40''.$$

Округляем ω до $2^\circ 25'$.

Шаг первичной нарезки по оси

$$S_{01} = S_1 \sec \omega = 8,7 \cdot 1,00089 = 8,708 \text{ мм.}$$

Шаг вторичной нарезки по оси

$$S_{02} = S_2 \sec \omega = 7,3 \cdot 1,00089 = 7,307 \text{ мм.}$$

Средний осевой шаг

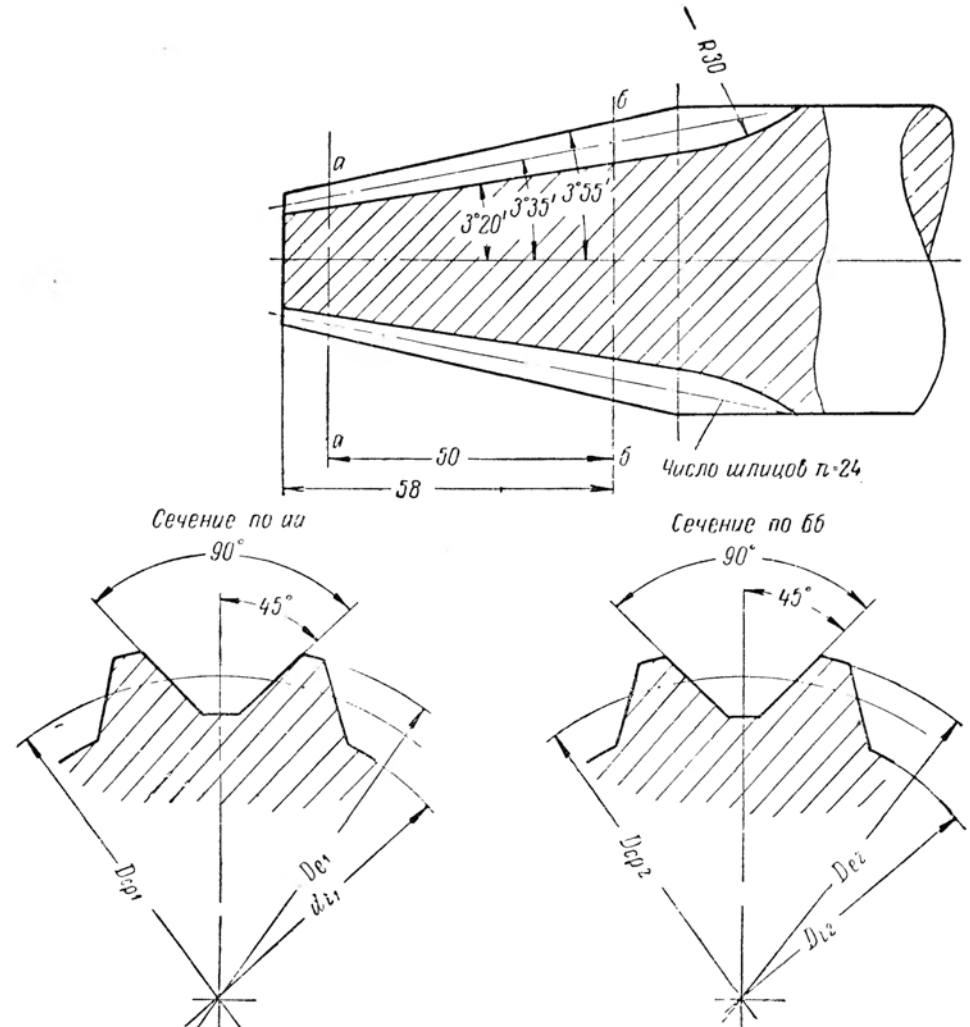
$$t_{0cp} = \frac{S_{01} + S_{02}}{z} = \frac{8,708 + 7,307}{z} = 8,008 \text{ мм.}$$

Шаг винтовой стружечной канавки

$$T = t_{0cp} \operatorname{ctg}^2 \omega = 8,008 \cdot 23,6945^2 = 4496 \text{ мм.}$$

Минимально допустимая длина рабочей части фрезы

$$L_1 = \sqrt{h(D_{e2} - h)} = 3,2(59,5 - 3,2) \approx 13,5 \text{ мм.}$$

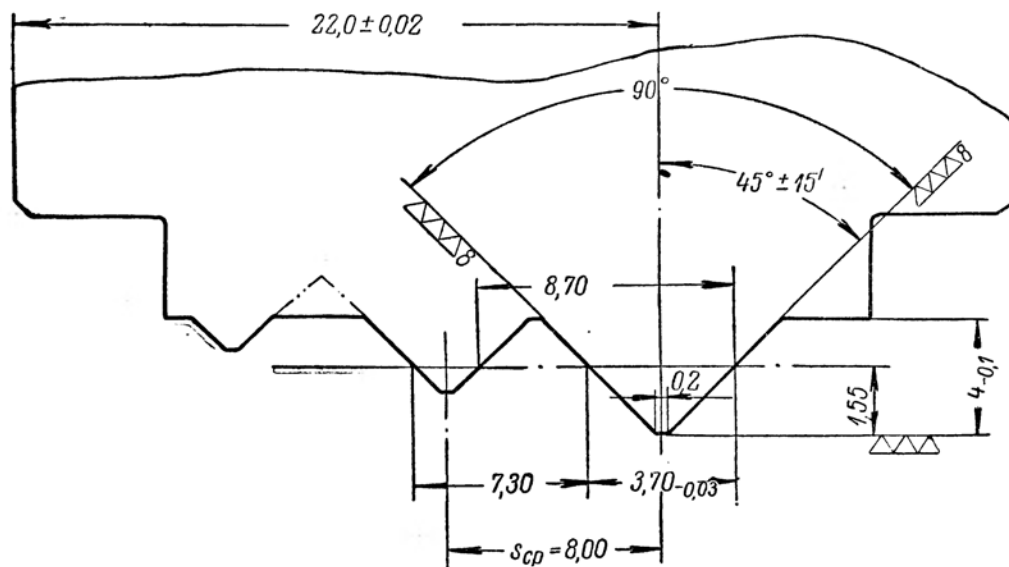
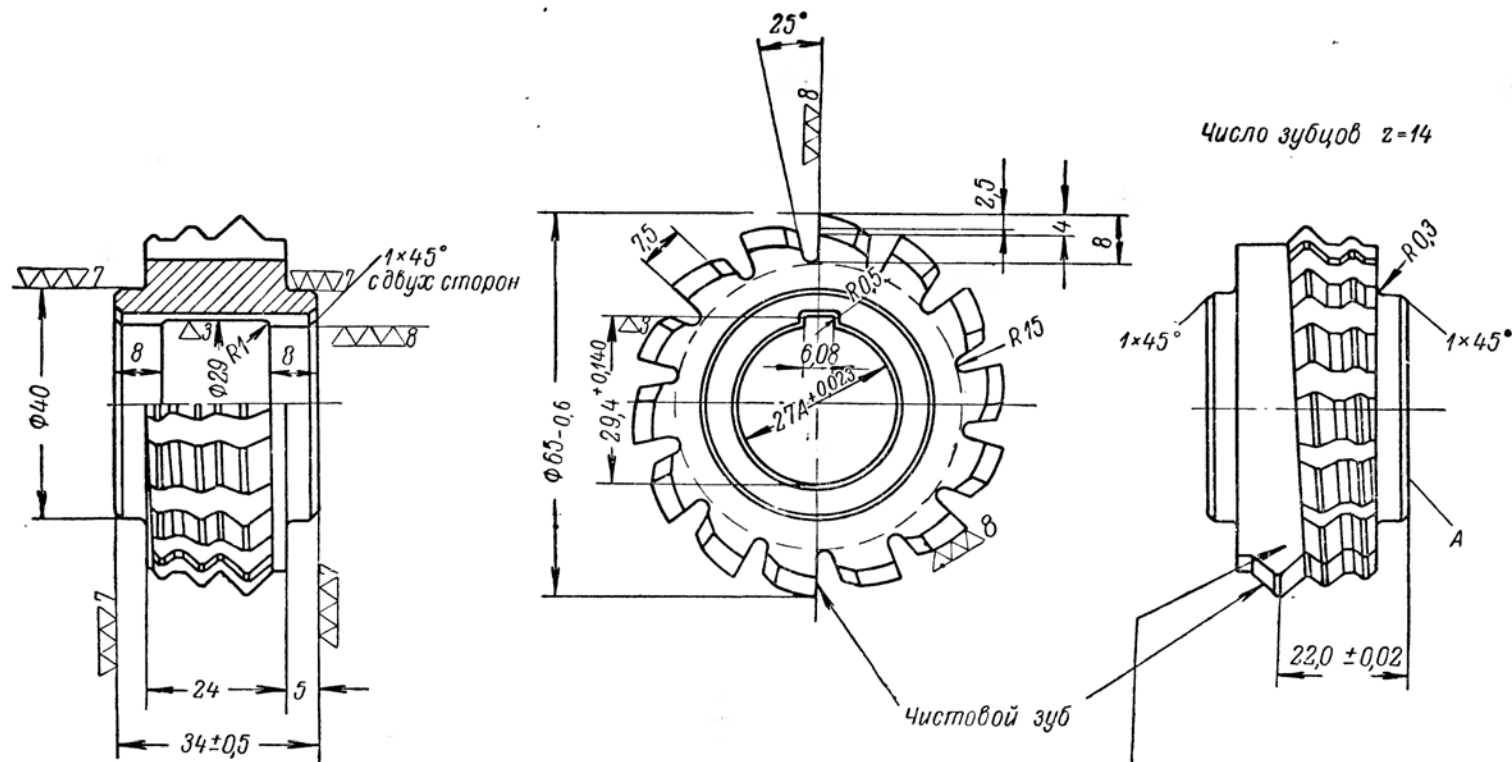


Фиг. 104. Конический многошпоночный валок с треугольными шлицами.

После переточки фрезы чистовой зуб смещается вдоль ее оси. Для сохранения постоянного положения чистового зуба фрезы относительно детали шлифуется торец фрезы. Поэтому длину буртиков увеличиваем до $l_1 = 5$ мм и общую длину фрезы задаем равной $L = 34$ мм.

Остальные размеры фрезы выбираем по табл. 26.

На фиг. 105 приведен чертеж фрезы постоянной установки с размерами, согласно расчету.



Профиль нарезки фрезы по нормали
(по передней грани)
М 5:1

Данные для изготовления

Число заходов	
Направление нарезки	
Шаг нарезки по оси правой стороны профиля (смотреть на переднюю грань)	
Шаг нарезки по оси левой стороны профиля	
Средний шаг нарезки по оси	
Направление винтовой стружечной канавки	
Угол наклона винтовой канавки	
Шаг винтовой канавки	
Термообработка	 H_{RC}

1. Допуск на шаги нарезки
2. Радиальное биение буртиков
3. Неравномерность окружного шага
4. Торцевое биение
5. Радиальность передней грани

Технические требования:

6. Все неполные зубцы удалить
7. По мере переточек фрезы шлифовать рец А до размера $22,0 \pm 0,02$.

Фиг. 105. Фреза червячная постоянной установки для конического многошпоночного валика с треугольными шлицами

ДЛЯ ДВУХ ЗВЕЗДОЧЕК С РАЗНЫМИ ЧИСЛАМИ ЗУБЦОВ

Размеры нарезаемых звездочек (фиг. 101, тип IV) следующие:

Обозначение размеров первой звездочки	Размеры первой звездочки в мм	Обозначение размеров второй звездочки	Размеры второй звездочки в мм
R_{e1}	96,5	R_{e2}	104,5
r_{t1}	81,165	r_{t2}	89,215
R_{o1}	89,245	R_{o2}	97,295
n_1	22	n_2	24
φ	29°	φ	29°
r_0	8,08	r_0	8,08
h_{21}	7,255	h_{22}	7,205
h	15,335	h	15,285
Δf	$\pm 0,18$	Δf	$\pm 0,18$
z	10	z	10

Примечания. n — число зубцов звездочки; Δf — допускаемое отклонение профиля; z — число зубцов фрезы.

Расчет шагов первичной и вторичной нарезки производится по формулам § 47 для детали типа IV

$$\delta_1 = \frac{360^\circ}{zn_1} = \frac{360^\circ}{10.22} = 1^\circ 38' 11'';$$

$$\sin \gamma_1 = \frac{R_{01} \sin \varphi - r_0}{R_{e1}} = \frac{89,245 \cdot 0,48481 - 8,08}{96,5} = 0,36463, \quad \gamma_1 = 21^\circ 23';$$

$$\delta_2 = \frac{360^\circ}{2n_2} = \frac{360^\circ}{10.24} = 1^\circ 30';$$

$$\sin \gamma_2 = \frac{R_{02} \sin \varphi - r_0}{R_{e2}} = \frac{97,295 \cdot 0,48481 - 8,08}{104,5} = 0,37406, \gamma_2 = 21^\circ 58';$$

$$\Delta S'_1 = \frac{2R_{e1}}{\cos \varphi} \sin \frac{\delta_1}{2} \cos \left(\gamma_1 + \frac{\delta_1}{2} \right) =$$

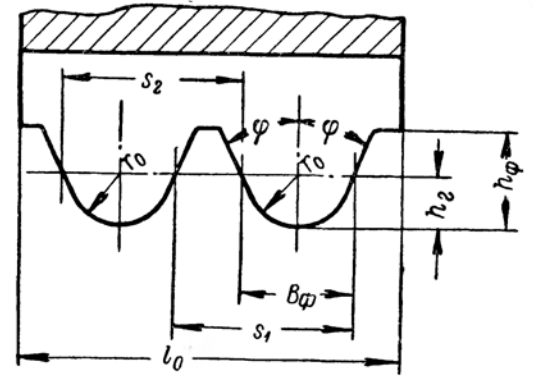
$$\Delta S_1'' = \frac{2R_{e2}}{\cos \varphi} \sin \frac{\delta_2}{2} \cos \left(\gamma_2 + \frac{\delta_2}{2} \right) =$$

$$= \frac{2 \cdot 104,5}{0,87462} \cdot 0,01309 \cdot 0,922426; \Delta S_1'' = 2,8853 \text{ мм};$$

$$\Delta S_2' = R_{01} \left[\operatorname{tg} (\varphi + \delta_1) - \frac{\sin \varphi}{\cos (\varphi + \delta_1)} \right] =$$

$$= 89,245 \left(0,592256 - \frac{0,48481}{0,860419} \right), \quad \Delta S_2' = 2,5701 \text{ мм};$$

$$\Delta S_2'' = R_{02} \left[\operatorname{tg}(\varphi + \delta_2) - \frac{\sin \varphi}{\cos(\varphi + \delta_2)} \right] = 97,295 \times \\ \times \left(0,589045 - \frac{0,48481}{0,861629} \right), \quad \Delta S_2'' = 2,5664 \text{ мм.}$$



Фиг. 106. Размеры
профиля червячной
фрезы для звездочек.

Выбираем из двух значений $\Delta S_1'$ и $\Delta S_1''$ большее значение $\Delta S_1 = 2,9181$, а из двух значений ΔS_2 меньшее $\Delta S_2 = 2,5664$.

Тогда $S_1 = \Delta S_1 z = 2,9181 \cdot 10 = 29,181$.

Округляем до $S_1 = 29,4 \text{ мм}$;

$$S_2 = \Delta \hat{S}_2 z = 2,5664 \cdot 10 = 25,664, \text{ округляем до } S_2 = 25,4 \text{ мм.}$$

Расчет минимальной длины фрезы и размеров профиля (фиг. 106)

$$\cos \lambda = \frac{r_{i2}}{R_{e2}} = \frac{89,215}{104,5} = 0,853732;$$

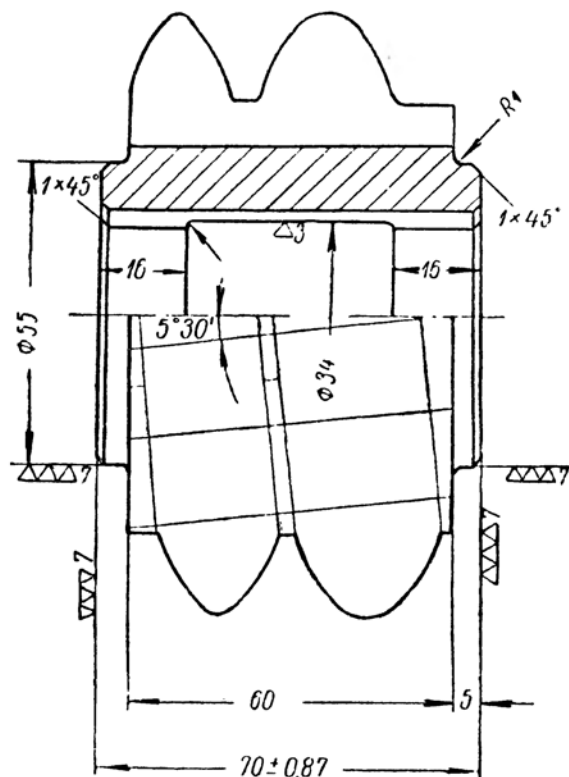
$$l_0 = R_{e2} \sin \lambda = 104,5 \cdot 0,52072 = 54,4 \text{ мм.}$$

Округляем до $l_0 = 60$ мм.

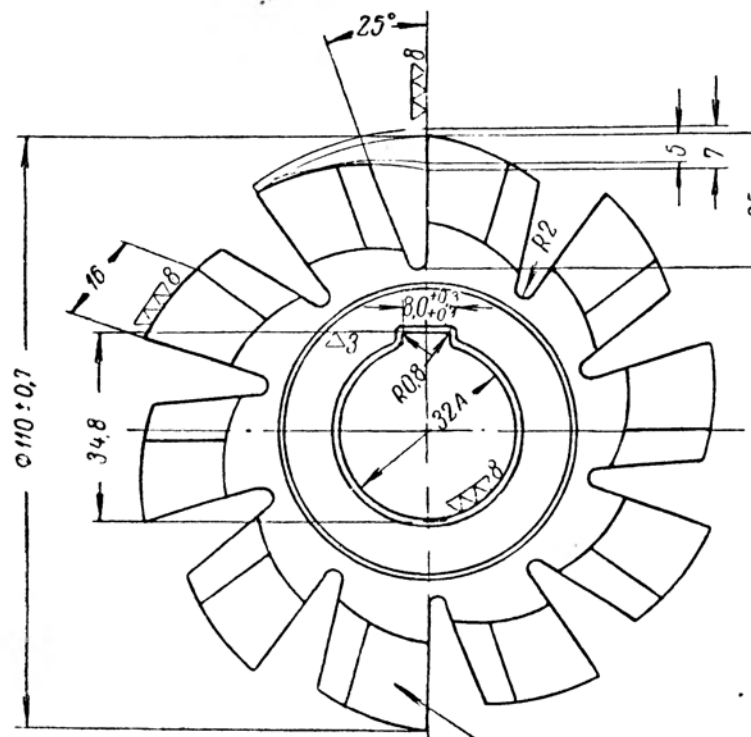
Высота головки профиля фрезы равна

$$h_2 = r_0 = 8,08 \text{ мм.}$$

▽ в остальное

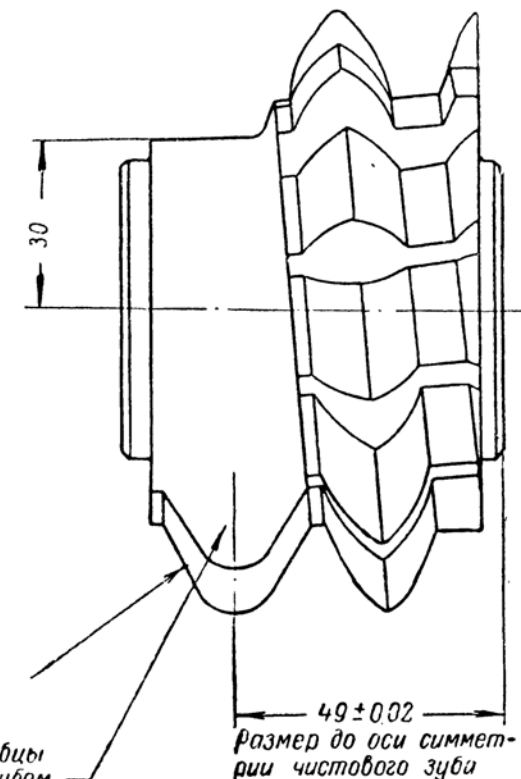


Профиль фрезы по нормали
(по передней грани)
М 2:1



Клеймить
индекс фрезы
Р9; Т-2988
ω-5°30'; L-49

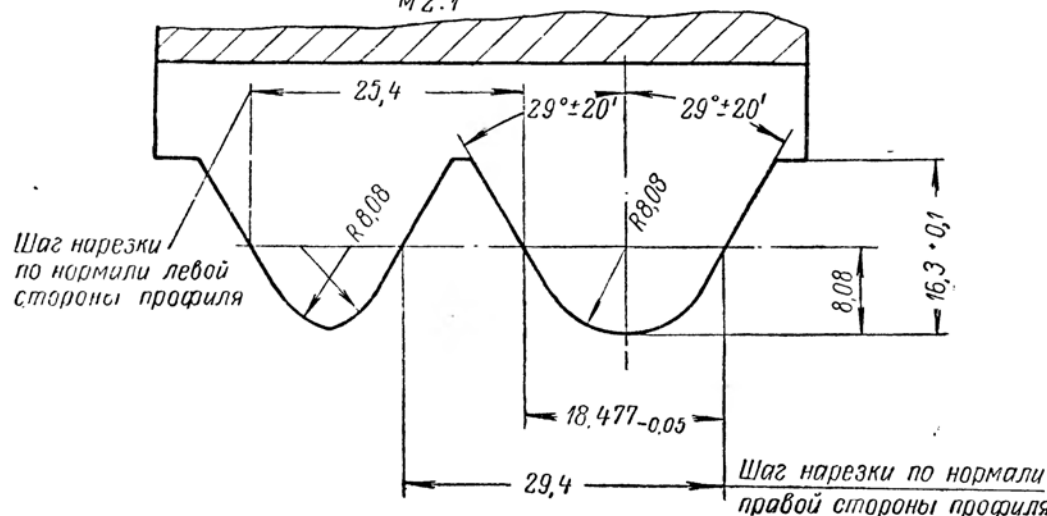
Число зубцов $z=10$



Чистовой зуб

Удалить все зубцы
за чистовым зубом

Размер до оси симметрии
чистового зуба



Шаг нарезки
по нормали левой
стороны профиля

Шаг нарезки по нормали
правой стороны профиля

Данные для изготовления
Нарезка одноходовая, правая
Шаг нарезки по оси правой стороны профиля $29; 54 \pm 0,04$
Шаг нарезки по оси левой стороны профиля $25,52 \pm 0,04$
Канавки для выхода стружки спиральные левые; шаг спирали
 $T = 2988$
Угол наклона винтовой канавки $5^\circ 30'$
Материал сталь Р9. Термообработать до $H_{RC} = 62-64$.

Технические требования

1. Допуск на шаг нарезки $\pm 0,04$.
2. Радиальное биение буртиков 0,015.
3. Неравномерность окружного шага 0,05.
4. Торцевое биение 0,015.
5. Радиальность передней грани 0,06.
6. Неполные зубцы шириной меньше 8 мм удалить.
7. Окончательную приемку фрезы произвести после нарезания образца по размерам изделия.

Фиг. 107. Фреза червячная постоянной установки для звездочек $z=22$
и $z=24$.

Общая высота профиля фрезы

$$h_{\phi} = r_0 + 1,15h_{z1} = 8,08 + 1,15 \cdot 7,255 = 16,4 \text{ мм.}$$

Толщина зуба фрезы по средней линии

$$B_{\phi} = \frac{2r_0}{\cos \varphi} = \frac{16,16}{0,87462} = 18,477 \text{ мм.}$$

Диаметры и конструктивные размеры фрезы выбираем по ОСТ НКТП 20026. Для высоты профиля $h_{\phi} = 16,4 \text{ мм}$ наружный диаметр фрезы будет

$$D = 110 \pm 0,7 \text{ мм.}$$

Длина фрезы

$$L = l_0 + 2l_1 = 60 + 2 \cdot 5 = 70 \text{ мм.}$$

Число зубцов фрезы выбираем четное

$$z = 10;$$

Падение затылка

$$K_1 = 5 \text{ мм.}$$

Средний диаметр фрезы

$$D_{cp} = D - \frac{K_1}{2} - 2h_z = 110 - 2,5 - 16,16 = 91,34 \text{ мм.}$$

Средний шаг нарезки

$$S_{cp} = \frac{S_1 + S_2}{2} = \frac{29,4 + 25,4}{2} = 27,4 \text{ мм.}$$

Угол подъема средней винтовой линии

$$\sin \omega = \frac{S_{cp}}{\pi D_{cp}} = \frac{27,4}{3,1416 \cdot 91,34} = 0,095486;$$
$$\omega = 5^{\circ}30'.$$

Шаги нарезки по оси

$$S_{01} = \frac{S_1}{\cos \beta} = \frac{29,4}{0,995224} = 29,54 \text{ мм};$$

$$S_{02} = \frac{S_2}{\cos \beta} = \frac{25,4}{0,995424} = 25,52 \text{ мм};$$

$$S_{0cp} = \frac{S_{01} + S_{02}}{2} = 27,53 \text{ мм.}$$

Шаг стружечной канавки фрезы

$$T = S_{0cp} \operatorname{ctg}^2 \omega = 27,53 \cdot 10,4172^2 = 2988 \text{ мм.}$$

На фиг. 107 представлен чертеж червячной фрезы постоянной установки для двух звездочек с разными числами зубцов.

Глава XIV

ЧЕРВЯЧНЫЕ ФРЕЗЫ ДЛЯ ЗВЕЗДОЧЕК (ЦЕПНЫХ КОЛЕС)

§ 53. НАЗНАЧЕНИЕ И ВЫБОР КОНСТРУКТИВНЫХ РАЗМЕРОВ ФРЕЗЫ

Червячные фрезы для звездочек предназначаются для нарезания зубцов цепных колес для приводных, тяговых и грузовых цепей. Ниже приводятся лишь расчеты червячных фрез для звездочек приводных втулочных цепей по ГОСТ 591—41 как типовые, так как для других видов звездочек расчеты в основной своей части аналогичные. В связи с этим, рассчитываются фрезы для двух видов профилей зубцов звездочек:

а) с прямолинейным профилем головки и дуговым профилем ножки зуба;

б) с дуговыми профилями ножек и головок.

Каждая червячная фреза проектируется и служит для нарезания

зубцов лишь одного размера звездочки. Для нарезания звездочек с различными числами зубцов, но с одинаковым профилем впадин применяются червячные фрезы постоянной установки, расчет которых был приведен в § 52.

Профиль червячной фрезы для прямолинейного участка зуба звездочки строится и рассчитывается по формулам шлицевых червячных фрез. Профиль для дуговой части ножки зуба, как это указано ниже, получается из построения профиля фрезы для прямолинейного участка звездочки.

Профиль червячной фрезы для звездочки с дуговыми профилями ножки и головки строится по профилю зубчатой рейки, которая определяется как огибающая кривая профиля зуба звездочки. В этом случае координаты профиля червячной фрезы находятся расчетным путем.

Как правило, теоретический профиль зуба червячной фрезы заменяется дугами двух подходящих окружностей, получаемых расчетным путем. Однако во всех случаях расчета профиля следует контролировать его размеры построением обратной обкатки (§ 39).

Диаметр начальной окружности звездочки при расчете червячной фрезы, как правило, следует брать равным диаметру ее делительной окружности. В этом случае центры дуговых профилей радиуса r_0 ножки звездочки обычно расположены на делительной окружности и соответствующий профиль головки зуба фрезы будет очерчен точно по радиусу r_0 без необходимых пересчетов. Однако не всегда условие равенства диаметра делительной окружности звездочки диаметру начальной окружности при расчете профиля выполнимо. Так, например, если звездочка имеет прямолинейный профиль головки и дуговой профиль ножки, минимально допустимый радиус R начальной окружности звездочки рассчитывается по формулам шлицевых червячных фрез (табл. 23) и указанный диаметр оказывается часто больше делительного диаметра звездочки. При расчете червячных фрез для звездочек с дуговыми профилями ножки и головки за диаметр начальной окружности чаще всего принимается диаметр делительной окружности. Однако при числе зубцов звездочек меньше 22 рекомендуется рассчитывать минимально допустимый радиус начальной окружности по формуле

$$R = \sqrt{(R_2 \cdot b \cdot \cos \theta_2 - b \cos \theta_2)^2 + b^2 \sin^2 \theta_2}$$

где значения R_2 , b и θ_2 указаны в § 56.

Если радиус R_0 делительной окружности больше расчетного минимально допустимого радиуса R начальной окружности, то в расчетах принимается радиус начальной окружности, равный радиусу R_0 делительной окружности. Следует также учесть, что при числе зубцов z звездочек 16 и меньше возможно подрезание их зубцов при зацеплении с рейкой, т. е. с червячной фрезой. Чтобы избежать этого, следует радиус R начальной окружности выбирать близким к радиусу окружности выступов звездочки.

Габаритные и конструктивные размеры червячных фрез для звездочек выбираются по ГОСТ 3346—46 или по ОСТ 20026 червячных фрез для цилиндрических зубчатых колес. Вследствие повышенной точности зуборезных червячных фрез их наружные диаметры по ГОСТ 3346—46 увеличены по сравнению с ОСТ 20026. Поэтому при проектировании червячных фрез для звездочек, которые являются менее точными чем цилиндрические зубчатые колеса, более целесообразно применять фрезы с меньшими

наружными диаметрами. Выбор наружного диаметра фрезы и других размеров производится по условному модулю звездочки

$$m' = \frac{h}{2,2},$$

где h — высота профиля зуба звездочки.

Габаритные и конструктивные размеры зубцов берутся по указанным ГОСТ или ОСТ для модуля, близкого к значению m' .

Расчет размера осевого шага t_0 , угла подъема средней винтовой линии ϕ и шага стружечной канавки T производится по формулам, приведенным для шлицевых червячных фрез (§ 40). Остальные размеры рассчитываются по формулам, сводка которых приведена ниже.

§ 54. ФОРМУЛЫ И ПОРЯДОК РАСЧЕТА ЧЕРВЯЧНЫХ ФРЕЗ ДЛЯ ЗВЕЗДОЧЕК С ПРЯМОЛИНЕЙНЫМ ПРОФИЛЕМ ГОЛОВКИ

Размеры нарезаемой звездочки (фиг. 108) имеют следующие обозначения:

R_e — радиус окружности выступов;

r_i — радиус окружности впадин;

R_0 — радиус делительной окружности;

$z_{ш}$ — число зубцов звездочки;

φ — половина угла профиля впадины;

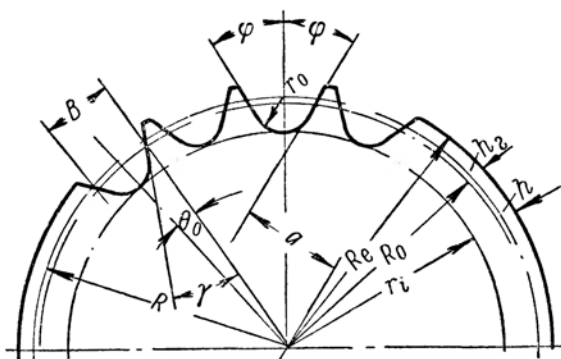
r_0 — радиус дугового профиля ножки;

h — высота профиля зуба;

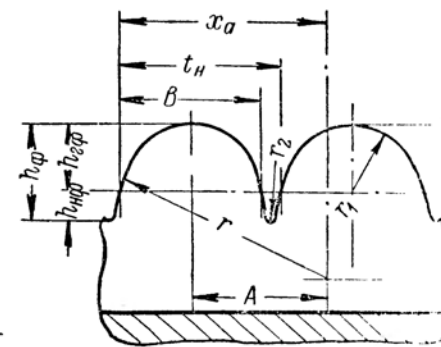
Δf — допустимое отклонение профиля;

h_2 — высота головки зуба.

R — радиус производственной начальной окружности.



Фиг. 108. Размеры звездочки.



Фиг. 109. Размеры зуба червячной фрезы в нормальном сечении

Дополнительные размеры звездочки рассчитываются по формулам:

№ формул	Наименование расчетной величины	Обозначение	Формула
1	Расстояние от оси звездочки до прямой профиля	a	$a = R_0 \sin \varphi - r_0$
2	Радиус начальной окружности звездочки *	R	$R = \sqrt{R_e^2 - 0,75a^2}$
3	Угол между прямой профиля и начальным радиусом	γ	$\sin \gamma = \frac{a}{R}$

* Если радиус начальной окружности R получается меньше радиуса R_0 , то за радиус начальной окружности берется радиус делительной окружности R_0 .

Порядок расчета профиля червячной фрезы и сводка формул:

Расчетные размеры	№ формул	Наименование расчетной величины	Обозначение	Формула
Координаты конечных точек профиля фрезы	1	Первый радиус-вектор профиля детали	ρ_1	$\rho_1 = R_e - 0,25h_z$
	2	Первый угловой параметр	α_1	$\cos \alpha_1 = \sqrt{\left(\frac{\rho_1}{R}\right)^2 - \sin^2 \gamma}$
	3	Второй угловой параметр	α_2	$\alpha_2 = \varphi$
	4	Абсцисса первой точки профиля фрезы при $R = 1$	x_1	$x_1 = \alpha_1 - \gamma - \cos \alpha_1 \times (\sin \alpha_1 - \sin \gamma)$
	5	Ордината первой точки профиля при $R = 1$	y_1	$y_1 = \sin \alpha_1 (\sin \alpha_1 - \sin \gamma)$
	6	Абсцисса второй точки профиля фрезы ¹	x_2	$x_2 = \alpha_2 - \gamma - \cos \alpha_2 \times (\sin \alpha_2 - \sin \gamma)$
	7	Ордината второй точки профиля фрезы	y_2	$y_2 = \sin \alpha_2 (\sin \alpha_2 - \sin \gamma)$

Продолжение

Расчетные размеры	№ формул	Наименование расчетной величины	Обозначение	Формула
	8	Общая абсцисса профиля ²	x	$x = x_2 - x_1$
	9	Общая ордината профиля	y	$y = y_2 - y_1$
Радиус (при $R = 1$) оптимальной заменяющей окружности	10	Первый вспомогательный угол	δ	$\operatorname{tg} \delta = \frac{x}{y}$
	11	Второй вспомогательный угол ³	θ	$\theta \operatorname{cosec} \theta = \frac{2(\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2) - x \operatorname{cosec} \delta - (\alpha_2 - \alpha_1) \sin \gamma}{x \operatorname{cosec} \delta}$
	12	Радиус оптимальной заменяющей окружности при $R = 1$	r'	$r' = 0,5x \operatorname{cosec} \delta \operatorname{cosec} \theta$
Радиус и координаты центра оптимальной заменяющей окружности	13	Третий вспомогательный угол	ε	$\varepsilon = \delta - \theta$
	14	Четвертый вспомогательный угол	ε_a	$\sin \varepsilon_a = \sin \varepsilon - \frac{y_1}{r'}$
	15	Радиус оптимальной заменяющей окружности	r	$r = r' R$
	16	Абсцисса центра окружности радиуса r	x_a	$x_a = r \cos \varepsilon_a$
	17	Ордината центра окружности радиуса r	y_a	$y_a = r \sin \varepsilon_a$

¹ Углы $\alpha_1, \alpha_2, \gamma$ в радианах.
² x_1 и y_1 проставляются с учетом знаков, полученных по формулам (4) и (5).
³ θ определяется по значению $\theta \operatorname{cosec} \theta$, приведенному в приложении 1.

Порядок расчета размера зуба червячной фрезы в нормальном сечении (по передней поверхности) и сводка формул (фиг. 109)

Расчетные размеры	№ формул	Наименование расчетной величины	Обозначение	Формула
Толщина зуба и шаг нарезки фрезы по нормали	1	Половина центрального угла впадины звездочки по начальной окружности	θ_0	$\theta_0 = \varphi - \gamma$
	2	Толщина зуба фрезы по начальной прямой ¹	B	$B = 2R\theta_0$
	3	Шаг нарезки фрезы по нормали	t_n	$t_n = \frac{2\pi R}{z_{ин}}$
Радиус закругления головки фрезы	4	Вспомогательный размер	A	$A = x_a - \frac{B}{2}$
	5	Высота головки фрезы до начальной прямой	$h_{2\phi}$	$h_{2\phi} = R - r_l$
	6	Вспомогательный размер	F	$F = y_a + h_{2\phi}$
	7	Радиус закругления вершины профиля (головки) фрезы	r_1	$r_1 = \frac{r^2 - (A^2 + F^2)}{2(r - F)}$
Радиус закругления впадины профиля нарезки фрезы	8	Высота профиля фрезы	h_ϕ	$h_\phi = 1,1h$
	9	Высота ножки фрезы	$h_{н\phi}$	$h_{н\phi} = h_\phi - h_{2\phi}$
	10	Вспомогательный размер	F_1	$F_1 = y_a - h_{н\phi}$
	11	Половина ширины впадины фрезы по начальной прямой	m	$m = \frac{t_n - B}{2}$
	12	Вспомогательный размер	A_1	$A_1 = x_a + m$
	13	Радиус закругления впадины профиля фрезы	r_2	$r_2 = \frac{F_1^2 + A_1^2 - r^2}{2(r - F_1)}$

¹ θ — в радианах

Отклонения заменяющей окружности от теоретического профиля определяются по следующим формулам:

№ формул	Наименование расчетной величины	Обозначение	Формула
1	Первая вспомогательная величина ¹	b	$b = \frac{R\gamma + x_a}{2\left(R + \frac{y_a}{3}\right)}$
2	Вторая вспомогательная величина	c	$c = \frac{y_a}{R + \frac{y_a}{3}}$
3	Первый угловой параметр максимального отклонения ¹	$\alpha_{м1}$	$\alpha_{м1} = b - \sqrt{b^2 + c}$
4	Второй угловой параметр ¹	$\alpha_{м2}$	$\alpha_{м2} = b + \sqrt{b^2 + c}$
5	Первый радиус-вектор, соответствующий $\alpha_{м1}$	ρ'_1	$\rho'_1 = R(\sin \alpha_{м1} - \sin \gamma) - \frac{y_a}{\sin \alpha_{м1}}$
6	Второй радиус-вектор, соответствующий $\alpha_{м2}$	ρ'_2	$\rho'_2 = R(\sin \alpha_{м2} - \sin \gamma) - \frac{y_a}{\sin \alpha_{м2}}$
7	Первое максимальное отклонение профиля ²	$\Delta\rho_1$	$\Delta\rho_1 = \rho'_1 - r$
8	Второе максимальное отклонение профиля ²	$\Delta\rho_2$	$\Delta\rho_2 = \rho'_2 - r$

¹ Углы γ , $\alpha_{м1}$, $\alpha_{м2}$ в радианах.

² Отклонения $\Delta\rho_1$ и $\Delta\rho_2$ не должны превышать $(1/3 - 1/2) \Delta f$ — допуска на профиль детали.

³ При расчетах y_a проставляется со знаком минус

§ 55. ПРИМЕР РАСЧЕТА ЧЕРВЯЧНОЙ ФРЕЗЫ ДЛЯ ЗВЕЗДОЧКИ С ПРЯМОЛИНЕЙНЫМ ПРОФИЛЕМ ГОЛОВКИ

Расчет выполняем по формулам, приведенным в § 54.
Размеры (мм) звездочки (фиг. 108) следующие:

Обозначение	R_e	r_i	R_0	$z_{ш}$	φ	r_0	h	h_2	Δf
Размер	96,5	81,165	89,245	22	29°	8,08	15,335	7,225	$\pm 0,18$

Расчет дополнительных размеров звездочки

$$a = R_0 \sin \varphi - r_0 = 89,245 \cdot 0,48481 - 8,08 = 35,187 \text{ мм};$$

$$R = \sqrt{R_e^2 - 0,75a^2} = \sqrt{96,5^2 - 0,75 \cdot 35,187^2} = 91,57 \text{ мм};$$

$$\sin \gamma = \frac{a}{R} = \frac{35,187}{91,57} = 0,384263;$$

$$\gamma = 22^\circ 36'; \quad \gamma_{pad} = 0,394411.$$

Расчет профиля червячной фрезы

$$1) \rho_1 = R_e - 0,25h_2 = 96,5 - 0,25 \cdot 7,225 = 94,7 \text{ мм};$$

$$2) \cos \alpha_1 = \sqrt{\left(\frac{\rho_1}{R}\right)^2 - \sin^2 \gamma} =$$

$$= \sqrt{\left(\frac{94,7}{91,57}\right)^2 - 0,384263^2} = 0,960131;$$

$$\alpha_1 = 16^\circ 14' = 0,283325 \text{ рад.}, \sin \alpha_1 = 0,279550;$$

$$3) \alpha_2 = \varphi = 29^\circ;$$

$$4) x_1 = \alpha_1 - \gamma - \cos \alpha_1 (\sin \alpha_1 - \sin \gamma) = 0,283325 - 0,394411 - 0,960131 (0,27955 - 0,384263),$$

$$x_1 = -0,010548;$$

$$5) y_1 = \sin \alpha_1 (\sin \alpha_1 - \sin \gamma) = 0,27955 (0,27955 - 0,384263),$$

$$y_1 = -0,029273;$$

$$6) x_2 = \alpha_2 - \gamma - \cos \alpha_2 (\sin \alpha_2 - \sin \gamma) = 0,506146 - 0,394411 - 0,874620 (0,48481 - 0,384263), \quad x_2 = 0,023795;$$

$$7) y_2 = \sin \alpha_2 (\sin \alpha_2 - \sin \gamma) = 0,48481 \cdot 0,100547,$$

$$y_2 = 0,048746;$$

$$8) x = x_2 - x_1 = 0,023795 + 0,010548 = 0,034343;$$

$$9) y = y_2 - y_1 = 0,048746 + 0,029273 = 0,078019;$$

$$10) \operatorname{tg} \delta = \frac{x}{y} = \frac{0,034343}{0,078019} = 0,440184; \quad \delta = 23^\circ 45' 30'';$$

$$11) \theta \operatorname{cosec} \theta = \frac{2(\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2) - (\alpha_2 - \alpha_1) \sin \gamma}{x \operatorname{cosec} \delta} =$$

$$= \frac{2(0,960131 - 0,87462) - (0,506146 - 0,283325) \cdot 0,384263}{0,034343 \cdot 2,48213};$$

$$\theta \operatorname{cosec} \theta = 1,001833.$$

Согласно приложению 1, $\theta = 6^\circ 0'$;

$$12) r' = 0,5 x \operatorname{cosec} \delta \operatorname{cosec} \theta = 0,5 \cdot 0,085244 \cdot 9,56677,$$

$$r' = 0,407755;$$

$$13) \epsilon = \delta - \theta = 23^\circ 45' 30'' - 6^\circ = 17^\circ 45' 30'';$$

$$14) \sin \epsilon_a = \sin \epsilon - \frac{r'}{r} = 0,305003 + \frac{0,029273}{0,407755} = 0,376808,$$

$$\epsilon_a = 22^\circ 8' 10'';$$

$$15) r = r' R = 0,4055 \cdot 91,57 = 37,338 \text{ мм.}$$

$$16) x_a = r \cos \epsilon_a = 37,338 \cdot 0,926291 = 34,586 \text{ мм};$$

$$17) y_a = r \sin \epsilon_a = 37,338 \cdot 0,376808 = 14,069 \text{ мм.}$$

Расчет размеров зуба червячной фрезы в нормальном сечении (по передней поверхности) (фиг. 109)

$$1) \theta_0 = \varphi - \gamma = 29^\circ - 22^\circ 35' 53'' = 6^\circ 24' 7'',$$

$$\theta_0 \text{ рад.} = 0,111735;$$

$$2) B = 2R\theta_0 = 2 \cdot 91,57 \cdot 0,111735 = 20,463 \text{ мм};$$

$$3) t_n = \frac{2\pi R}{z_{ш}} = \frac{2 \cdot 3,1416 \cdot 91,57}{22} = 26,152;$$

$$4) A = x_a - \frac{B}{2} = 34,586 - 10,231 = 24,355 \text{ мм};$$

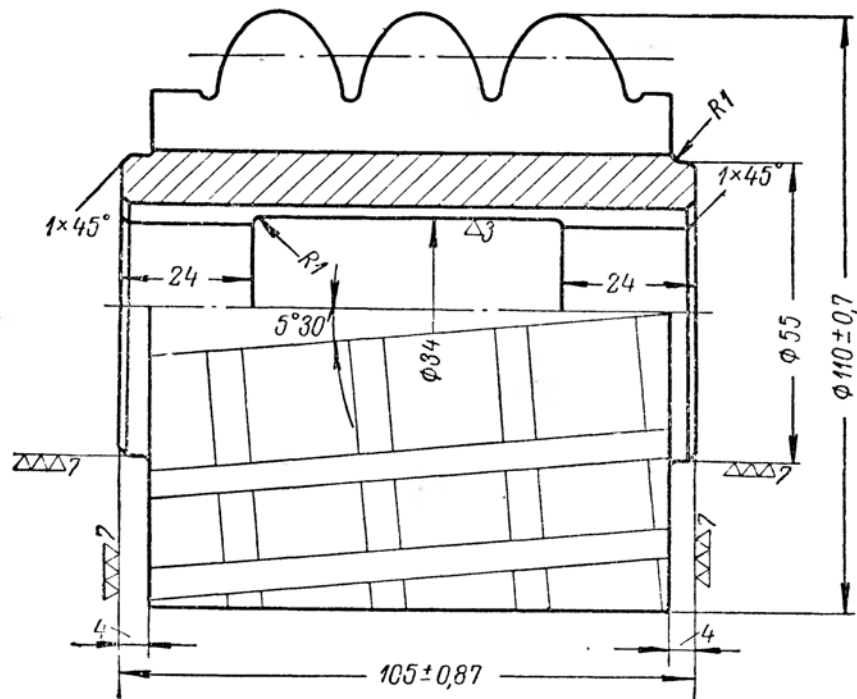
$$5) h_{2\phi} = R - r_i = 91,57 - 81,165 = 10,405 \text{ мм};$$

$$6) F = y_a + h_{2\phi} = 14,069 + 10,405 = 24,474 \text{ мм};$$

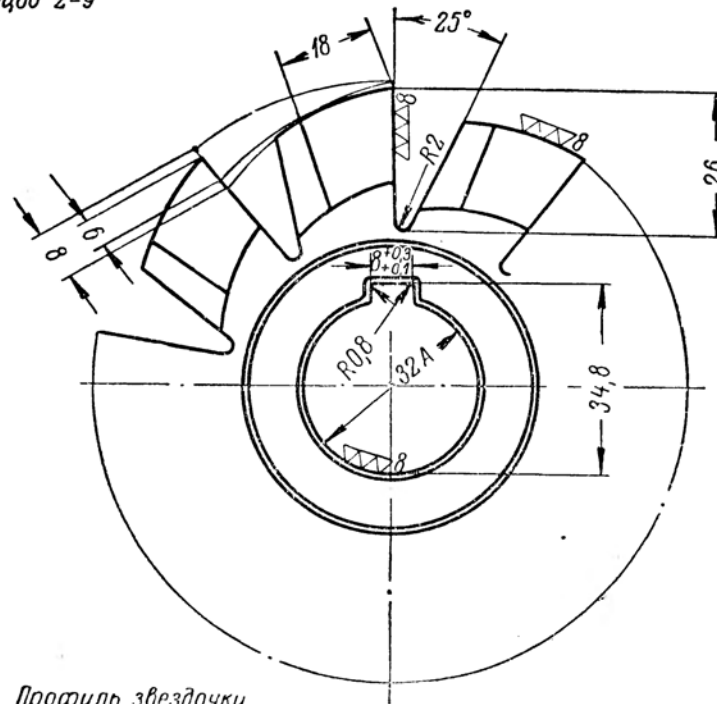
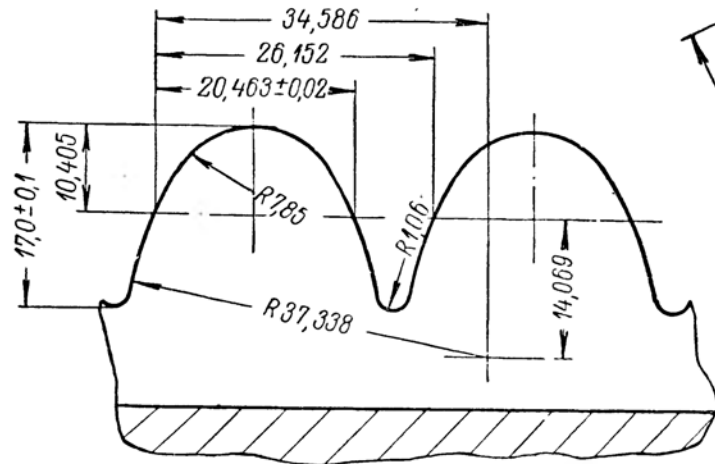
$$7) r_1 = \frac{r^2 - (A^2 + F^2)}{2(r - F)} = \frac{37,338^2 - (24,355^2 + 24,474^2)}{2(37,338 - 24,474)},$$

$$r_1 = 7,85 \text{ мм};$$

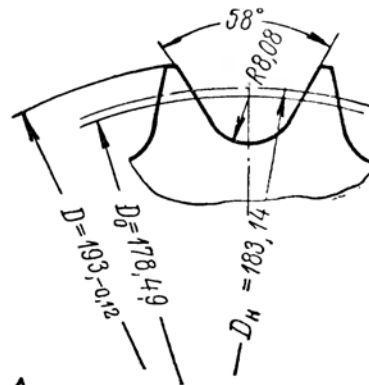
Число зубцов $z=9$



Профиль фрезы по нормали (М2:1)



Профиль звездочки



Клеймить
индекс фрезы
Р18; Т-2834
 $\omega - 5^\circ 30'$; $z - 22$

Данные для изготовления:
Нарезка одноходовая правая, шаг нарезки по оси $t_0 = 26,273 - 0,02$.
Канавки для выхода стружки спиральные левые Шаг спирали $l = 2834$.
Угол подъема средней винтовой линии $5^\circ 40'$
Материал сталь Р9. Термообработать до $H_{RC} = 62 - 65$.

Технические требования

1. Неполные зубцы шириной меньше 8 мм удалить
2. Радиальное биение буртиков 0,015.
3. Торцевое биение 0,015
4. Радиальность передней грани 0,06.
5. Неравномерность окружного шага 0,05.
6. Окончательную приемку фрезы произвести после нарезания образца по размерам изделия

Фиг. 110. Фреза червячная для звездочки $z = 22$ (с дуговым профилем ножки и прямолинейной головкой).

$$\begin{aligned}
8) \quad h_{\phi} &= 1,1h = 1,1 \cdot 15,335 \approx 17 \text{ мм}; \\
9) \quad h_{нф} &= h_{\phi} - h_{\phi\phi} = 17 - 10,405 = 6,595 \text{ мм}; \\
10) \quad F_1 &= y_a - h_{нф} = 14,069 - 6,595 = 7,474 \text{ мм}; \\
11) \quad m &= \frac{r_H - B}{2} = \frac{26,152 - 20,463}{2} = 2,845 \text{ мм}; \\
12) \quad A_1 &= x_a + m = 34,586 + 2,845 = 37,431 \text{ мм}; \\
13) \quad r_2 &= \frac{F_1^2 + A_1^2 - r^2}{2(r - F_1)} = \frac{7,474^2 + 37,431^2 - 37,338^2}{2(37,338 - 7,474)}, \\
&\quad r_2 = 1,063 \text{ мм}.
\end{aligned}$$

Расчет отклонений заменяющей окружности от теоретического профиля

$$\begin{aligned}
1) \quad b &= \frac{R\gamma + x_a}{2\left(R + \frac{y_a}{3}\right)} = \frac{91,57 \cdot 0,394411 + 34,586}{2\left(91,57 - \frac{14,069}{3}\right)} = 0,40689; \\
2) \quad c &= \frac{y_a}{R + \frac{y_a}{3}} = \frac{-14,069}{91,57 - \frac{14,089}{3}} = -0,161934; \\
3) \quad \alpha_{м1} &= b - \sqrt{b^2 + c} = 0,40689 - \sqrt{0,40689^2 - 0,161934}; \\
&\quad \alpha_{м1} = 0,346678; \quad \alpha_{м1} = 19^\circ 51' 48''; \\
4) \quad \alpha_{м2} &= b + \sqrt{b^2 + c} = 0,40689 + 0,060212; \\
&\quad \alpha_{м2} = 0,467102; \quad \alpha_{м2} = 26^\circ 45' 47'';
\end{aligned}$$

Уточняем значения $\alpha_{м1}$ и $\alpha_{м2}$ по формулам (5) и (6) § 37 расчета отклонений, путем попыток. Тогда получаем $\alpha_{м1} = 19^\circ 50' 10''$ и $\alpha_{м2} = 26^\circ 51'$.

$$\begin{aligned}
5) \quad \rho'_1 &= R(\sin \alpha_{м1} - \sin \gamma) - \frac{y_a}{\sin \alpha_{м1}} = \\
&= 91,57(0,339331 - 0,384263) + \frac{14,069}{0,339331} = 37,352 \text{ мм}; \\
6) \quad \rho'_2 &= R(\sin \alpha_{м2} - \sin \gamma) - \frac{y_a}{\sin \alpha_{м2}} = \\
&= 91,57(0,451656 - 0,384263) + \frac{14,069}{0,451656} = 37,323 \text{ мм}; \\
7) \quad \Delta \rho_1 &= \rho'_1 - r = 37,352 - 37,338 = +0,014 \text{ мм}; \\
8) \quad \Delta \rho_2 &= \rho'_2 - r = 37,323 - 37,338 = -0,015 \text{ мм}.
\end{aligned}$$

Здесь значение ординаты y_a проставлено в формулах со знаком минус.

Как видно, $\Delta \rho$ не превышает $\frac{1}{3}\Delta f = \frac{1}{3} \cdot 0,18 = 0,06 \text{ мм}$ и замена профиля фрезы окружностью удовлетворяет по точности.

Конструктивные размеры фрезы выбираем по таблицам ОСТ 20026 для приведенного модуля

$$m' = \frac{h}{2,2} = \frac{15,335}{2,2} = 7 \text{ мм}.$$

В этом случае наружный диаметр фрезы $D = 110 \text{ мм}$, а падение затылка $K = 6 \text{ мм}$. Тогда начальный диаметр фрезы определится

$$D_{ни} = D - \frac{K_1}{2} - 2h_{\phi\phi} = 110 - \frac{6}{2} - 2 \cdot 10,405 = 86,19 \text{ мм}.$$

Угол подъема нарезки

$$\sin \omega = \frac{r_H}{\pi D_{ни}} = \frac{26,152}{3,1416 \cdot 86,19} = 0,096579,$$

$\omega = 5^\circ 32'$, округляем до $\omega = 5^\circ 30'$.

Осевой шаг нарезки фрезы

$$t_0 = t_n \sec \omega = 26,152 \cdot 1,004625 = 26,273 \text{ мм}.$$

Шаг винтовой стружечной канавки

$$T = t_0 \operatorname{ctg}^2 \omega = 26,273 \cdot 10,3854^2 = 2834 \text{ мм}.$$

Остальные размеры фрезы принимаем по таблице ОСТ 20026.

На фиг. 110 представлен чертеж червячной фрезы для звездочки с прямолинейным профилем головки и дуговым профилем ножи.

§ 56. ФОРМУЛЫ И ПОРЯДОК РАСЧЕТА ЧЕРВЯЧНЫХ ФРЕЗ ДЛЯ ЗВЕЗДОЧЕК С ДУГОВЫМИ ПРОФИЛЯМИ ГОЛОВОК И НОЖЕК ЗУБЦОВ

[13, стр. 51—54, 97—103]

Размеры нарезаемой звездочки (фиг. 111) имеют следующие обозначения:

R_e — радиус окружности выступов;
 r_l — радиус окружности впадин;
 R_0 — радиус делительной окружности;
 $z_{ш}$ — число зубцов;
 R_z — радиус дугового профиля головки зуба;
 r_0 — радиус дугового профиля ножки (впадины);
 h_z — высота головки;
 h — высота зуба;
 Δf — допустимое отклонение профиля.

Расчетные размеры	№ формул	Наименование расчетной величины	Обозначение	Формула
Размеры профиля звездочки	1	Расстояние от оси звездочки до центра радиуса R_2 (фиг. 111)	b	$b = \sqrt{(R_2 + r_0)^2 + R_0^2} - (R_2 + r_0) R_0$
	2	Постоянный угловой параметр профиля звездочки ¹	θ_2	$\cos \theta_2 = \frac{R_2^2 + b^2 - R_0^2}{2R_2 b}$
	3	Постоянный угловой параметр профиля звездочки ¹	θ_0	$\cos \theta_0 = \frac{R_2^2 + b^2 - R_0^2}{2R_2 b}$
	4	Постоянный угловой параметр профиля звездочки ²	θ_1	$\theta_1 = \frac{\theta_0 + \theta_2}{2}$
Условные параметры точек профиля фрезы	5	Первый угловой параметр профиля фрезы	λ_1	$\cos \lambda_1 = \frac{b}{R_0} \sin \theta_1$
	6	Второй угловой параметр профиля фрезы	λ_2	$\cos \lambda_2 = \frac{b}{R_0} \sin \theta_2$
	7	Первый вспомогательный угол	φ_1	$\varphi_1 = 90^\circ + \lambda_1 - \theta_1$
	8	Второй вспомогательный угол	φ_2	$\varphi_2 = 90^\circ + \lambda_2 - \theta_2$
	9	Третий вспомогательный угол	φ_0	$\sin \varphi_0 = \frac{R_2}{R_0} \sin \theta_0$

Расчетные размеры	№ формул	Наименование расчетной величины	Обозначение	Формула
Координаты точек профиля фрезы	10	Абсцисса первой точки профиля фрезы	x_1	$x_1 = R_2 \cos \lambda_1 - b \sin \varphi_1 - R_0 (\varphi_0 - \varphi_1)$
	11	Ордината первой точки профиля фрезы	y_1	$y_1 = -R_2 \sin \lambda_1 - b \cos \varphi_1 + R_0$
	12	Абсцисса второй точки профиля фрезы	x_2	$x_2 = R_2 \cos \lambda_2 - b \sin \varphi_2 - R_0 (\varphi_0 - \varphi_2)$
	13	Ордината второй точки профиля фрезы	y_2	$y_2 = -R_2 \sin \lambda_2 - b \cos \varphi_2 + R_0$
Радиус и координаты центра заменяющей окружности	14	Четвертый вспомогательный угол	ε_1	$\operatorname{tg} \varepsilon_1 = \frac{x_1}{y_1}$
	15	Пятый вспомогательный угол	ε_2	$\operatorname{tg} \varepsilon_2 = \frac{x_2}{y_2}$
	16	Шестой вспомогательный угол ³	ε_a	$\operatorname{tg} \varepsilon_a = \frac{y_2 \sin 2\varepsilon_1 - y_1 \sin 2\varepsilon_2}{y_2 (1 + \cos 2\varepsilon_1) - y_1 (1 + \cos 2\varepsilon_2)}$
	17	Радиус дугового профиля ножки фрезы ³	R_1	$R_1 = \frac{y_1}{2 \cos \varepsilon_1 \sin (\varepsilon_a - \varepsilon_1)}$
	18	Абсцисса центра окружности радиуса	x_a	$x_a = R_1 \cos \varepsilon_a$
	19	Ордината центра окружности радиуса	y_a	$y_a = R_1 \sin \varepsilon_a$

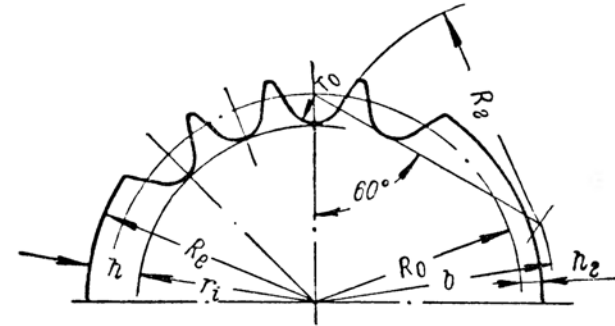
Габаритные и конструктивные размеры червячных фрез для звездочек выбираются по ОСТ/НКТП 20026 по приведенному модулю

$$m' = \frac{h}{2,2}.$$

§ 57. ПРИМЕР РАСЧЕТА ЧЕРВЯЧНОЙ ФРЕЗЫ ДЛЯ ЗВЕЗДОЧКИ С ДУГОВЫМИ ПРОФИЛЯМИ НОЖЕК И ГОЛОВОК ЗУБЦОВ

Размеры нарезаемой звездочки в мм (фиг. 111):

Обозначение	R_e	r_i	R_0	$z_{ш}$	R_z	r_0	h_z	h	Δf
Величина	75,5	61,035	69,115	17	76,2	8,08	6,385	14,465	$\pm 0,18$



Фиг. 111. Размеры звездочки с дугowymi профилями головки и ножки.

Расчет размеров профиля звездочки

$$1) \quad b = \sqrt{(R_z + r_0)^2 + R_0^2 - (R_z + r_0) R_0} = \\ = \sqrt{(76,2 + 8,08)^2 + 69,115^2 - (76,2 + 8,08) 69,115} \\ b^2 = 6049,934, \quad b = 77,781;$$

$$2) \quad \cos \theta_z = \frac{R_z^2 + b^2 - R_e^2}{2bR_z} = \frac{76,2^2 + 77,781^2 - 75,5^2}{2 \cdot 77,781 \cdot 76,2} = 0,51933,$$

$$\theta_z = 58^\circ 43'.$$

Расчетные размеры	№ формул	Наименование расчетной величины	Обозначение	Формула
Размеры профиля зуба фрезы в нормальном сечении (по передней поверхности)	20	Седьмой вспомогательный угол	δ	$[\sin \delta = \frac{(R_z + r_0) \cdot 0,866025}{b}]$
	21	Восьмой вспомогательный угол	γ	$\cos \gamma = \frac{R_0^2 + b^2 - R_z^2}{2bR_0}$
	22	Толщина зуба фрезы по делительной прямой	B	$B = 2R_0(\delta - \gamma) + 0,7\Delta f$
	23	Радиус дугового профиля головки зуба фрезы	r_1	$r_1 = \frac{R_1^2 - \left(x_a - \frac{B}{2}\right)^2 - (y_a + r_0)^2}{2(R_1 - y_a - r_0)}$
	24	Радиус закругления у ножки зуба фрезы	r_2	Определяется графически; берется из построения
	25	Высота головки зуба фрезы	$h_{зф}$	$h_{зф} = r_0$
	26	Высота ножки зуба фрезы	$h_{нф}$	$h_{нф} = 1,2h_z$
	27	Высота профиля зуба фрезы	$h_{ф}$	$h_{ф} = h_{зф} + h_{нф}$
	28	Шаг нарезки фрезы по нормали ⁴	t_n	$t_n = \frac{2\pi R_0}{z_{ш}}$

¹ Округлить углы до 1 минуты.

² После расчета b и θ_z следует рассчитать минимально допустимый радиус R начальной окружности звездочки по формуле, приведенной в § 53. Если при этом расчетный радиус $R > R_0$, то во всех следующих формулах следует вместо R_0 предоставлять значение R .

³ Проставляются абсолютные значения y_1 и y_2 .

⁴ $\pi = 3,1416$; t_n и t_0 рассчитываются с точностью не ниже третьего знака после запятой.

Минимальный радиус начальной окружности будет.

$$R = \sqrt{(R_2 b \cos \theta_2 - b \cos \theta_2)^2 + (b \sin \theta_2)^2} = \\ = \sqrt{(76,2 \cdot 77,781 \cdot 0,51933 - 77,781 \cdot 0,51933)^2 + (77,781 \cdot 0,85461)^2} = 68,24 \text{ мм.}$$

Так как $R < R_0$, то во всех последующих расчетах принимаем за радиус начальной окружности радиус делительной окружности $R_0 = 69,115 \text{ мм.}$

$$3) \cos \theta_0 = \frac{R_2^2 + b^2 - R_0^2}{2bR_2} = \\ = \frac{76,2^2 + 77,781^2 - 69,115^2}{2 \cdot 77,781 \cdot 76,2} = 0,59723;$$

$$\theta_0 = 53^\circ 20'$$

$$4) \theta_1 = \frac{\theta_0 + \theta_2}{2} = \frac{53^\circ 20' + 58^\circ 43'}{2} \approx 56^\circ.$$

Расчет координат точек профиля фрезы

$$5) \cos \lambda_1 = \frac{b}{R_0} \sin \theta_1 = \frac{77,781}{69,115} 0,829038 = 0,932988, \\ \lambda_2 = 21^\circ 5' 40'';$$

$$6) \cos \lambda_2 = \frac{b}{R_0} \sin \theta_2 = \frac{77,781}{69,115} 0,85461 = 0,961768, \\ \lambda_2 = 15^\circ 53' 40'';$$

$$7) \varphi_1 = 90^\circ + \lambda_1 - \theta_1 = 90^\circ + 21^\circ 5' 40'' - 56^\circ = 55^\circ 5' 40'' = \\ = 0,961563 \text{ рад.};$$

$$8) \varphi_2 = 90^\circ + \lambda_2 - \theta_2 = 90^\circ + 15^\circ 53' 40'' - 58^\circ 43' = \\ = 47^\circ 10' 40'' = 0,823394 \text{ рад.};$$

$$9) \sin \varphi_0 = \frac{R_2 \sin \theta_0}{R_0} = \frac{76,2}{69,115} 0,802065 = 0,884285, \\ \varphi_0 = 62^\circ 9' 50'' = 1,08495 \text{ рад.};$$

$$10) x_1 = R_2 \cos \lambda_1 - b \sin \varphi_1 - R_0 (\varphi_0 - \varphi_1) = \\ = 76,2 \cdot 0,934988 - 77,781 \cdot 0,820096 - \\ - 69,115 (1,08495 - 0,961563), \quad x_1 = -1,2223;$$

$$11) y_1 = -R_2 \sin \lambda_1 - b \cos \varphi_1 + R_0 = \\ = -7,62 \cdot 0,359906 - 77,781 \cdot 0,572225 + 69,115, \\ y_1 = -2,8182;$$

$$12) x_2 = R_2 \cos \lambda_2 - b \sin \varphi_2 - R_0 (\varphi_0 - \varphi_2) = \\ = 76,2 \cdot 0,961768 - 77,781 \cdot 0,733466 - 69,115 (1,08495 - \\ - 0,823394), \quad x_2 = -1,8406;$$

$$13) y_2 = -R_2 \sin \lambda_2 - b \cos \varphi_2 + R_0 = \\ = -76,2 \cdot 0,273866 - 77,781 \cdot 0,679726 + 69,115, \\ y_2 = -4,6236.$$

Расчет радиуса и координат центра заменяющей окружности

$$14) \operatorname{tg} \varepsilon_1 = \frac{x_1}{y_1} = \frac{1,2223}{2,8182} = 0,433716, \quad \varepsilon_1 = 23^\circ 26' 50'';$$

$$15) \operatorname{tg} \varepsilon_2 = \frac{x_2}{y_2} = \frac{1,8406}{4,6236} = 0,398088; \quad \varepsilon_2 = 21^\circ 42' 25'';$$

$$16) \operatorname{tg} \varepsilon_a = \frac{y_2 \sin 2\varepsilon_1 - y_1 \sin 2\varepsilon_2}{y_2 (1 + \cos 2\varepsilon_1) - y_1 (1 + \cos 2\varepsilon_2)} = \\ = \frac{4,6236 \cdot 0,730096 - 2,8182 \cdot 0,687264}{4,6236 \cdot 1,683345 - 2,8182 \cdot 1,726408} \\ \operatorname{tg} \varepsilon_a = 0,493126, \quad \varepsilon_a = 26^\circ 15'';$$

$$17) R_1 = \frac{y_1}{2 \cos \varepsilon_1 \sin (\varepsilon_a - \varepsilon_1)} = \frac{2,8182}{2 \cdot 0,917427 \cdot 0,048898} = 31,411;$$

$$18) x_a = R_1 \cos \varepsilon_a = 31,411 \cdot 0,896873 = 28,172;$$

$$19) y_a = R_1 \sin \varepsilon_a = 31,411 \cdot 0,442289 = 13,893.$$

Расчет размеров профиля зуба фрезы в нормальном сечении (по передней поверхности)

$$20) \sin \delta = \frac{(R_2 + r_0) 0,866025}{b} = \frac{0,866025 (76,2 + 8,08)}{77,781} = 0,938382, \\ \delta = 69^\circ 47';$$

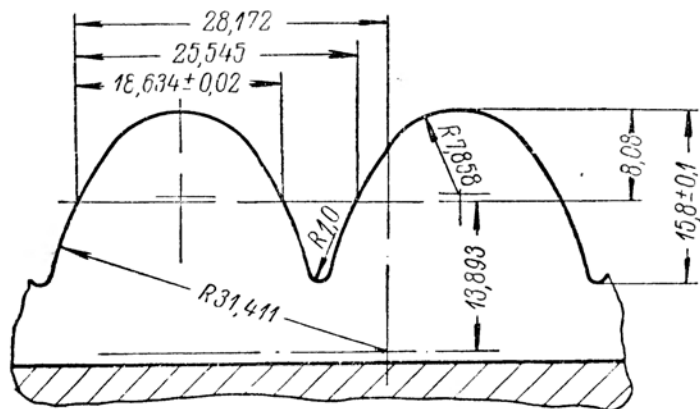
$$21) \cos \gamma = \frac{R_0^2 + b^2 - R_2^2}{2bR_0} = \frac{69,115^2 + 77,781^2 - 76,2^2}{2 \cdot 77,781 \cdot 69,115} = \\ = 0,466936; \quad \gamma = 62^\circ 9' 50''$$

Technical drawing of a circular mechanical part, likely a valve or a similar component. The drawing shows a cross-section with various dimensions and features:

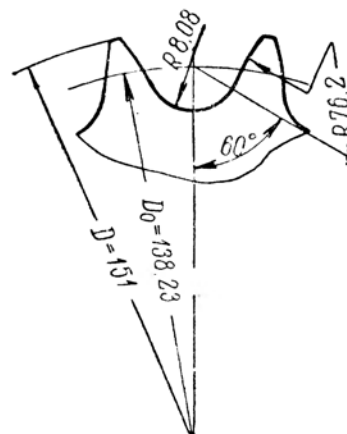
- Outer Diameter:** 225
- Inner Diameter:** 32 A
- Central Feature:** A central circular feature with a radius of $R0,5$ and a diameter of 8,1.
- Radial Features:** Four radial features are shown, each with a width of 8 and a height of 17. The angle between the radial features is 25° .
- Dimensions:**
 - Overall height: 45
 - Distance from center to the top of the radial features: 6
 - Distance from center to the bottom of the radial features: 34,8
- Material/Finish:** The drawing indicates a material or finish of 8.

Клеймить
индекс фрезы
P18; T-2559
ω-5°45'; z-17

Профиль фрезы по нормали (М2-1)



Профиль звездочки



Данные для изготовления

Нарезка одноходовая правая, шаг нарезки по оси $t_0 = 25,673 - 0,02$.
 Канавки для выхода стружки спиральные левые. Шаг спирали $l = 2559$

Угол подъема средней винтовой линии $5^{\circ}45'$.

Материал сталь Р18. Термообработать до $H_{RC} = 62-65$

Технические требования

1. Неполные зубцы шириной меньше 8 мм удалить.
2. Радиальное биение буртиков 0,015.
3. Торцевое биение 0,015.
4. Радиальность передней грани 0,06.
5. Неравномерность окружного шага 0,05.
6. Окончательную приемку фрезы произвести после нарезки образца по размерам изделия.

Фиг. 112. Фреза червячная для звездочки $z = 17$ (с дуговыми профилями головки и ножки).

$$22) B = 2R_0(\delta - \gamma) + 0,7\Delta f = 269,115 \cdot 0,132982 + 0,7 \cdot 0,36 = 18,634 \text{ мм};$$

$$23) r_1 = \frac{R_1^2 - \left(x_a - \frac{B}{2}\right)^2 - (y_a + r_0)^2}{2(R_1 - y_a - r_0)} = \frac{31,411^2 - 18,855^2 - 21,973^2}{18,876} = 7,858 \text{ мм};$$

$$24) r_2 \text{ находится построением профиля фрезы и равен } r_2 = 1;$$

$$25) h_{2\phi} = r_0 = 8,08;$$

$$26) h_{н\phi} = 1,2h_2 = 1,2 \cdot 6,4 = 7,72 \text{ мм};$$

$$27) h_{\phi} = h_{2\phi} + h_{н\phi} = 8,08 + 7,72 = 15,80 \text{ мм};$$

$$28) t_n = \frac{2\pi R_0}{z_{ш}} = \frac{2 \cdot 3,1416 \cdot 69,115}{17} = 25,545 \text{ мм}.$$

Согласно ОСТ 20026 для приведенного модуля $m' = \frac{h}{2,2} = 14,465 : 2,2 \approx 6,5$ берем наружный диаметр фрезы $D = 100 \text{ мм}$ и падение затылка $K = 4,5$.

Тогда конструктивные размеры фрезы определяются

$$D_{cp} = D - \frac{K}{2} - 2h_{2\phi} = 100 - 2,25 - 2 \cdot 8,08 = 81,59 \text{ мм};$$

$$\sin \omega = \frac{t_n}{\pi D_{cp}} = \frac{25,545}{3,1416 \cdot 81,59} = 0,099659, \quad \omega = 5^\circ 43' 10''.$$

Округляем до $\omega = 5^\circ 45'$

$$t_0 = \frac{t_n}{\cos \omega} = \frac{25,545}{0,995022} = 25,673 \text{ мм};$$

$$T = t_0 \operatorname{ctg}^2 \omega = 25,673 \cdot 9,98442^2 = 2559 \text{ мм}.$$

На фиг. 112 представлен чертеж червячной фрезы для звездочки с дуговым профилем ножки и головки, согласно расчету.

Значения $\theta \operatorname{cosec} \theta$ для $\theta = 4 \div 18^\circ$

Мину- ты	4°	5°	6°	7°	8°
0	1,0008131	1,001271	1,001830	1,002492	1,003256
1	196	280	840	504	271
2	261	288	850	516	284
3	329	296	860	528	298
4	397	304	871	540	311
5	467	313	881	551	326
6	540	322	891	564	339
7	613	331	902	576	352
8	680	340	912	588	366
9	748	349	922	600	380
10	818	358	933	612	393
11	891	367	944	624	408
12	968	376	954	637	422
13	1,0009036	385	965	649	437
14	104	394	975	661	450
15	175	403	986	673	464
16	245	412	997	686	479
17	322	421	1,002008	698	492
18	391	430	018	710	506
19	468	439	028	722	520
20	537	448	039	735	534
21	616	457	050	748	549
22	691	467	061	761	563
23	762	476	072	773	577
24	845	486	083	786	591
25	914	495	094	799	605
26	992	505	104	811	620
27	1,0010061	514	115	824	634
28	140	523	126	836	649
29	210	524	137	849	663
30	1,001029	1,001538	1,002148	1,002862	1,003678
31	036	547	159	874	693
32	044	556	171	887	707
33	051	566	182	900	722
34	059	575	193	912	736
35	067	584	204	925	751

Продолжение приложения 1

Мину- ты	4°	5°	6°	7°	8°
36	075	594	215	938	764
37	083	604	226	951	779
38	091	613	237	964	795
39	099	623	249	977	809
40	1,001107	632	260	990	824
41	115	642	272	1,003003	839
42	123	651	283	016	853
43	131	661	294	029	867
44	139	670	305	043	883
45	147	680	316	056	897
46	155	690	328	069	912
47	163	700	340	082	928
48	171	710	352	095	942
49	179	720	363	109	957
50	187	730	375	122	973
51	195	740	386	135	986
52	203	750	397	148	1,004002
53	211	760	409	162	018
54	219	770	421	175	033
55	227	780	433	189	049
56	236	790	445	202	064
57	245	800	457	216	078
58	253	810	469	229	094
59	262	820	480	243	109
60	271	830	492	256	123

Мину- ты	9°	10°	11°	12°	13°
0	1,004123	1,005003	1,006169	1,007347	1,008632
1	139	113	188	369	654
2	155	129	208	390	677
3	171	146	226	410	699
4	186	163	245	431	721
5	201	180	264	452	743
6	217	198	282	472	766
7	232	215	301	493	789
8	248	233	321	513	811
9	263	250	339	534	834
10	278	266	358	555	856

Продолжение приложения 1

Мину- ты	9°	10°	11°	12°	13°
11	295	285	377	576	879
12	309	301	397	597	902
13	325	319	417	618	924
14	342	336	436	638	946
15	358	354	455	659	969
16	373	371	474	680	991
17	388	389	492	701	1,009014
18	404	406	512	722	037
19	420	424	531	744	060
20	437	442	551	765	083
21	452	460	570	786	106
22	469	478	590	807	129
23	485	494	609	828	152
24	501	512	628	849	175
25	517	529	647	870	198
26	533	548	668	891	221
27	548	566	687	913	244
28	565	583	707	934	267
29	581	601	726	956	290
30	1,004597	1,005619	1,006746	1,007978	1,009313
31	612	638	767	999	332
32	630	654	785	1,008020	356
33	645	673	805	041	381
34	661	691	824	062	406
35	678	709	844	084	430
36	695	727	865	106	452
37	710	745	884	128	476
38	727	763	904	149	499
39	744	782	925	171	522
40	760	800	944	192	546
41	776	818	963	214	569
42	792	837	984	236	593
43	809	855	1,007004	258	617
44	826	874	024	280	640
45	843	891	043	301	664
46	860	910	065	323	687
47	875	928	085	345	711
48	892	946	105	367	734
49	909	965	124	389	758
50	925	984	144	411	782

Мину- ты	9°	10°	11°	12°	13°
51	942	1,006002	165	433	806
52	960	020	186	455	829
53	976	039	206	477	853
54	993	058	225	499	877
55	1,005010	076	247	521	901
56	028	095	266	543	925
57	045	114	286	565	949
58	061	133	308	587	973
59	078	151	329	610	997
60	095	169	347	632	1,010020

Мину- ты	14°	15°	16°	17°	18°
0	1,010020	1,011515	1,013116	1,014825	1,016641
1	045	541	144	854	672
2	069	567	172	883	703
3	093	593	199	913	734
4	117	617	227	942	765
5	141	644	254	972	797
6	165	670	282	1,015001	828
7	189	696	310	031	860
8	214	723	338	060	891
9	238	748	366	090	923
10	262	775	394	120	954
11	286	801	421	149	985
12	311	827	449	179	1,017017
13	335	853	477	208	048
14	360	879	505	239	079
15	384	905	533	269	112
16	409	932	561	298	143
17	433	958	589	328	175
18	458	985	618	358	206
19	482	1,012011	646	388	238
20	507	037	674	418	270

Мину- ты	24°	15°	16°	17°	18°
21	531	063	702	448	302
22	556	089	730	478	334
23	581	116	758	508	366
24	606	143	787	538	398
25	630	169	815	568	430
26	655	195	843	598	462
27	680	222	871	628	493
28	705	249	899	659	525
29	730	276	928	689	558
30	1,010754	1,012302	1,013957	1,015719	1,017589
31	779	329	985	749	621
32	804	356	1,014014	780	654
33	829	383	042	810	686
34	854	410	071	840	718
35	879	436	100	871	750
36	905	463	128	902	782
37	930	490	157	932	814
38	955	517	185	962	847
39	980	544	214	993	880
40	1,011005	571	243	1,016024	912
41	030	598	272	054	944
42	056	625	301	085	977
43	081	652	330	115	1,018010
44	106	679	359	146	042
45	132	706	388	176	075
46	157	733	416	207	107
47	182	760	445	238	140
48	208	788	474	269	172
49	233	815	503	300	205
50	259	843	532	330	237
51	284	869	562	361	270
52	310	897	591	392	303
53	336	924	620	423	336
54	361	952	649	454	368
55	386	979	678	485	401
56	412	6,013007	707	516	434
57	488	033	736	547	467
58	464	062	766	578	500
59	490	089	795	610	533
60	511	116	825	641	566

1. Грановский Г. И., Фасонные резцы, Машгиз, 1947.
2. Грановский Г. И., Металлорежущий инструмент. Конструкция и эксплуатация, Машгиз, 1952.
3. Грубин А. И., Лихицер М. Б., Полоцкий М. С., Зубо-резный инструмент, ч. II, Машгиз, 1946.
4. Дарманчев С. К., Фасонные резцы, Машгиз, 1950.
5. Колчин Н. И. и Литвин Ф. Л., Методы расчета при изготовлении и контроле зубчатых изделий, Машгиз, 1952.
6. Мурашкин Л. С. и Щеголев А. В., Фасонные резцы, Ленинградский заочный индустриальный институт, 1948.
7. Рябинок А. Г., Расчет и производство острошлицевых червячных фрез, Машгиз, 1946.
8. Семенченко И. И., Режущий инструмент, т. IV, Машгиз, 1944.
9. Семенченко И. И., Режущий инструмент, т. II, Машгиз, 1938.
10. Семенченко И. И., Режущий инструмент, т. III, Машгиз, 1944.
11. Фрайфельд И. А., Фрезы фасонные с задней обточкой, Ленинградский индустриальный институт, 1938.
12. Фрайфельд И. А., Профилирование накатных роликов и шлифовальных кругов для затылования фасонных фрез, „Станки и инструмент“, 1952, № 2.
13. Фрайфельд И. А., Инструменты, работающие методом обкатки, Машгиз, 1948.
14. Фрайфельд И. А., Фрезы, работающие методом обкатки, ЛОТИ, 1935.
15. Халевский Н. Т., Единичные координаты эвольвенты и расчет эвольвентных копиров, „Новости инструментальной техники“, ВНИИ, 1946, № 8.
16. Щеголев А. В. и Мурашкин Л. С., Расчет фасонных резцов, Ленинградский индустриальный институт, 1938.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	Стр. 3	А. Выбор конструктивных размеров и порядок расчета	31
ЧАСТЬ ПЕРВАЯ. ФАСОННЫЕ РЕЗЦЫ	5	Б. Расчет профиля	—
Глава I. Конструктивные размеры фасонных резцов	6	В. Пример расчета	32
§ 1. Резцы фасонные призматические	—	§ 9. Расчет дисковых (наружных) фасонных резцов	35
§ 2. Резцы фасонные дисковые	7	А. Выбор конструктивных размеров	—
§ 3. Передние и задние углы фасонных резцов	9	Б. Расчет профиля	—
§ 4. Дополнительные режущие кромки фасонных резцов	—	В. Пример расчета	36
Глава II. Расчет профиля фасонных резцов	11	§ 10. Расчет дисковых внутренних фасонных резцов	37
§ 5. Расчет высот профиля резца в плоскости передней грани	—	А. Выбор конструктивных размеров	—
А. Правила пользования табл. 6 для расчета профиля	14	Б. Расчет профиля	—
Б. Пример расчета высоты профиля резца по передней грани	—	В. Пример расчета	39
§ 6. Расчет высот профиля дисковых резцов в осевой плоскости	—	Глава IV. Расчет фасонных резцов с особыми установками на станке	42
А. Правила пользования табл. 7 при расчете профиля наружных и внутренних дисковых фасонных резцов в осевой плоскости	22	§ 11. Расчет призматических фасонных резцов, повернутых в горизонтальной плоскости	—
Б. Правила пользования табл. 7 при расчете профиля внутренних дисковых фасонных резцов в плоскости передней грани	23	А. Выбор конструктивных размеров	—
В. Правила пользования табл. 7 при расчете профиля фасонных фрез в плоскости передней грани	—	Б. Расчет профиля	43
Г. Правило пользования табл. 7 при упрощенном расчете профиля затывочного шлифовального круга	24	В. Пример расчета	44
§ 7. Замена кривых профилей фасонных резцов и фрез дугами окружностей с сопряженными прямыми (типовые профили 1—9)	25	§ 12. Расчет дисковых фасонных резцов, повернутых в горизонтальной плоскости	47
Глава III. Расчет фасонных резцов с обычной установкой на станке	31	А. Выбор конструктивных размеров и расчет профиля	—
§ 8. Расчет призматических фасонных резцов	—	Б. Пример расчета	48
		§ 13. Расчет призматических фасонных резцов с боковым наклоном корпуса	52
		А. Выбор конструктивных размеров и расчет профиля	—
		Б. Пример расчета	53
		§ 14. Расчет тангенциальных фасонных резцов	56
		А. Выбор конструктивных размеров	—
		Б. Расчет профиля	—
		В. Пример расчета	58
		§ 15. Расчет торцевых фасонных резцов	59
		А. Выбор конструктивных размеров	—
		Б. Расчет профиля	60
		В. Пример расчета	63

ЧАСТЬ ВТОРАЯ. ФАСОННЫЕ ФРЕЗЫ	66
Глава V. Конструктивные размеры фасонных фрез	67
§ 16. Конструктивные размеры пальцев затылованных фрез	—
§ 17. Конструктивные размеры фрез с припаянными ножами	69
§ 18. Конструктивные размеры пальцев затылованных фрез	77
§ 19. Размеры ответных фрез и допуски	80
Глава VI. Расчет фасонных фрез	81
§ 20. Табличный расчет профиля затылованных шлифовальных кругов	—
А. Назначение и способ расчета	—
Б. Правила пользования таблицей 19	—
§ 21. Расчет фасонной фрезы для косой зубчатой лопатки	85
А. Расчет размеров профиля фрезы для внутренней поверхности лопатки	—
Б. Пример расчета	87
§ 22. Расчет косозубой фасонной фрезы	90
А. Назначение и расчетные формулы	—
Б. Пример расчета	91
§ 23. Расчет фасонной фрезы с переменным углом	93
А. Назначение и расчетные формулы	—
Б. Пример расчета	95
§ 24. Расчет фасонной фасонной фрезы со смещенными зубцами	98
А. Назначение и выбор размеров торцевых кулачков	—
Б. Пример расчета	99
§ 25. Пример расчета фасонной фрезы с профилем нормального сечения (состоящего из шлифовального круга)	102
Глава VII. Фрезы для нарезания зубчатых колес и червяков	105
§ 26. Расчет поперечного сечения эвольвенты	—
А. Общие замечания	—
Б. Правила пользования таблицей 21	—
§ 27. Расчет дисковой фасонной фрезы для нарезания цилиндрических шестерен	108
А. Назначение и расчетные формулы	—
Б. Пример расчета	111
В. Пример расчета радиуса криволинейной (эвольвентный профиль) окружности	112
§ 28. Расчет дисковой фасонной фрезы для нарезания червяка	114
А. Общие замечания и формулы	—
Б. Пример расчета	116
§ 29. Расчет дисковой фасонной фрезы для эвольвентного червяка	120
А. Характеристика червяка и расчетные формулы	—
Б. Пример расчета	121

§ 30. Расчет пальцевой фасонной фрезы для эвольвентной винтовой шестерни	125
А. Общие замечания и формулы	—
Б. Пример расчета	127
ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ. ЧЕРВЯЧНЫЕ ФРЕЗЫ ДЛЯ ЗУБЧАТЫХ ДЕТАЛЕЙ	130
Глава VIII. Червячные шлицевые фрезы	131
§ 31. Область применения и порядок расчета	—
§ 32. Выбор радиуса начальной окружности зубчатых деталей	132
§ 33. Табличный расчет профиля червячных шлицевых фрез по дуге окружности	133
А. Правила пользования табл. 24	—
Б. Пример пользования табл. 24	—
§ 34. Табличный расчет координат точек профиля шлицевых червячных фрез	137
§ 35. Конструктивные размеры червячных шлицевых фрез и допуски	140
Глава IX. Расчет червячных шлицевых фрез	143
§ 36. Способы аналитического расчета	—
§ 37. Формулы для расчета профиля по дуге окружности и незначительности замены теоретической кривой	—
§ 38. Формулы для точного расчета координат точек профиля фрезы и размеры зуба в нормальном сечении	146
§ 39. Графическое построение профиля инструмента и обратная обкатка	148
§ 40. Расчет конструктивных размеров червячных фрез	150
Глава X. Примеры расчета червячных шлицевых фрез	151
§ 41. Пример расчета червячной фрезы для многошпоночного валика (без усиков)	—
§ 42. Пример расчета червячной фрезы для валика с треугольными шлицами	152
§ 43. Пример расчета червячной фрезы по точному способу	156
§ 44. Пример расчета хвостовой червячной шлицевой фрезы	159
Глава XI. Червячные шлицевые фрезы с удлиненным зубом	162
§ 45. Особенности конструкции и расчета	—
§ 46. Пример расчета	—
Глава XII. Червячные фрезы постоянной установки	166
§ 47. Особенности конструкции и расчет шагов первичной и вторичной нарезки	—
§ 48. Особенности расчета и затылования червячных шлицевых фрез постоянной установки	168

Глава XIII. Примеры расчета червячных фрез постоянной установки	169
§ 49. Пример расчета червячной фрезы для храпового колеса	—
§ 50. Пример расчета червячной фрезы для валика с параллельными плоскостями шпонок	171
§ 51. Пример расчета червячной фрезы для конического валика с треугольными шлицами	173
§ 52. Пример расчета червячной фрезы (постоянной установки) для звездочек с разными числами зубцов	177

Глава XIV. Червячные фрезы для звездочек (цепных колес)	179
§ 53. Назначение и выбор конструктивных размеров фрезы	—
§ 54. Формулы и порядок расчета червячных фрез для звездочек с прямолинейным профилем головки	180
§ 55. Пример расчета червячной фрезы для звездочки с прямолинейным профилем головки	183
§ 56. Формулы и порядок расчета червячных фрез для звездочек с дугowymi профилями головок и ножек зубцов	185
§ 57. Пример расчета червячной фрезы для звездочки с дугowymi профилями головок и ножек зубцов	187
Приложение	190
Литература	193

Исай Абрамович ФРАЙФЕЛЬД
РАСЧЕТЫ И КОНСТРУКЦИИ СПЕЦИАЛЬНОГО МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО
ИНСТРУМЕНТА
Редактор издательства Н. З. Симоновский

Технический редактор <i>Р. Г. Польская</i>	Корректор <i>В. М. Хорошкевич</i>
Подписано к печати 14/IV 1959 г.	М-05305. Формат бумаги 60 × 92 ¹ / ₃ .
Печ. листов 24,5. Уч.-изд. листов 27,6.	Тираж 8000 экз. Заказ 712.
Отпечатано с матриц типографии № 6 УПП Ленсовнархоза, Ленинград, ул. Моисеенко, 10 в типографии им. Котлякова Госфиниздата СССР, Ленинград, Садовая, 21.	