

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Тольяттинский государственный университет
Институт машиностроения
Кафедра «Оборудование и технологии машиностроительного производства»

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЧЕРВЯЧНЫХ ФРЕЗ
ДЛЯ ОБРАБОТКИ ШЛИЦЕВЫХ ВАЛОВ**

Методические указания к курсовой работе по дисциплине
«Инструментальные системы автоматизированного машиностроения»
для студентов специальности 15.04.05

Тольятти 2018

УДК 621.923.6

Проектирование червячных фрез для обработки шлицевых валов : метод. указания / сост. Л.А. Резников. – Тольятти : ТГУ, 2018. – 11 с.

Приведен алгоритм расчета геометрических параметров шлицевых фрез и даны указания по выбору элементов их конструкции.

Для студентов специальности 15.04.05.

Ил.5. Табл.8. Библиогр.: 3 назв.

Составитель: к.т.н., доцент Резников Л.А.

Утверждено на заседании кафедры
«Оборудование и технологии машиностроительного производства»

1. АЛГОРИТМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ФРЕЗЫ

1.1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Наименование параметра шлицевого вала		Обозначение	Единица измерения	Значение параметра
Диаметр	наружный	D	мм	
	внутренний	d		
	переходный	d_1		
Ширина шлица		b		
Минимальный размер фаски		c_{\min}		
Длина контактной площадки		a		
Число шлицев		z	шт.	
Способ центрирования				

Поля допусков TD , Td и Tb на размеры D , d и b , а также их расположение должны быть приведены на чертеже вала, как показано на рис. 1,а.

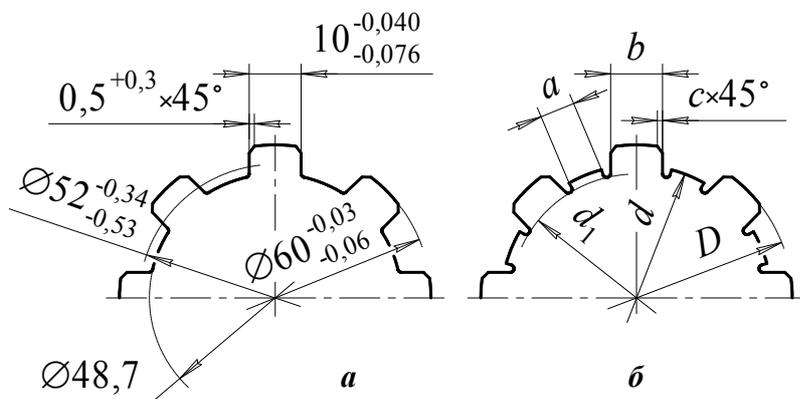


Рис. 1. Шлицевой вал при центрировании соединения по наружному (а) и внутреннему (б) диаметру

1.2. ПОСТРОЕНИЕ ЛИНИИ ПРОФИЛИРОВАНИЯ

1.2.1. Определяют расчетные размеры шлицевого вала:

– наружный диаметр

$$D_{\text{расч}} = D_{\text{max}} - 2c_{\min};$$

– внутренний диаметр

$$d_{\text{расч}} = d_{\min} + 0,25Td;$$

– ширина шлица

$$b_{\text{расч}} = b_{\min} + 0,25Tb.$$

Индексы «max» и «min» означают наибольший и наименьший предельные размеры соответственно.

1. Припуск под шлифование шлицевых валов, мм

d	δ_{\min}	δ_{\max}
до 30	0,25	0,35
св. 30 до 50	0,30	0,40
св. 50 до 80	0,40	0,50
св. 80 до 120	0,45	0,55

При проектировании фрезы для вала с базированием по внутреннему диаметру, который фрезеруют с припуском под последующее шлифование,

$$d_{\text{расч}} = d + \delta_{\text{ср}};$$

$$b_{\text{расч}} = b + \delta_{\text{ср}};$$

где $\delta_{\text{ср}}$ – средняя величина припуска, назначаемая по табл. 1 в зависимости от номинального диаметра d .

1.2.2. Из условия

$$0,25\sqrt{4D_{\text{расч}}^2 - 3b_{\text{расч}}^2} \leq r_{\text{ц}} \leq 0,5D_{\text{расч}}$$

определяют диапазон, в котором должен находиться радиус центроиды $r_{\text{ц}}$ шлицевого вала. Для начала выбирают (с точностью до 0,1 мм) значение $r_{\text{ц}}$, максимально близкое к $0,5D_{\text{расч}}$. В дальнейшем (см. 1.4.2) может оказаться необходимым скорректировать величину $r_{\text{ц}}$ в сторону уменьшения.

1.2.3. Определяют координаты экстремальной точки линии профилирования с точностью до 0,0001 мм:

$$x_0 = -\frac{b_{\text{расч}}}{4} \sqrt{1 - \left(\frac{b_{\text{расч}}}{4r_{\text{ц}}}\right)^2};$$

$$y_0 = -\frac{b_{\text{расч}}^2}{16r_{\text{ц}}}.$$

1.2.4. Рассчитывают угол поворота вала, соответствующий экстремальной точке,

$$\mu_0 = \arcsin\left(\frac{b_{\text{расч}}}{4r_{\text{ц}}}\right).$$

1.2.5. Рассчитывают угол, соответствующий началу переходной кривой:
– при проектировании фрезы для обработки вала, базируемого по наружному диаметру шлицев,

$$\mu_{\text{п}} = \arcsin\left(\frac{b_{\text{расч}} + \sqrt{b_{\text{расч}}^2 + 16r_{\text{ц}}(r_{\text{ц}} - 0,5d_1)}}{4r_{\text{ц}}}\right);$$

– для обработки вала, базируемого по внутреннему диаметру,

$$\mu_{\text{п}} = 90^\circ - \arcsin\left(\frac{\sqrt{d_{\text{расч}}^2 - b_{\text{расч}}^2}}{2r_{\text{ц}}}\right).$$

1.2.6. Принимают, что углу μ_0 соответствует точка 0 линии профилирования, а углу $\mu_{\text{п}}$ – точка 4, и задают углами μ_i с точностью до 1° три промежуточные точки. Рассчитывают координаты точек 1÷4 по формулам

$$x_i = (r_{\text{ц}} \sin \mu_i - 0,5b_{\text{расч}}) \cos \mu_i;$$

$$y_i = (r_{\text{ц}} \sin \mu_i - 0,5b_{\text{расч}}) \sin \mu_i$$

с точностью до 0,0001 мм.

2. Координаты точек линии профилирования и профиля зуба фрезы, мм

Номер точки i	0	1	2	3	4
μ_i , град.	4,8419	11	17	23	30,2164
x_i	-2,4811	0,6369	3,4857	6,0261	8,5258
y_i, Y_i	-0,2102	0,1238	1,0657	2,5579	4,9654
X_i	-0,0299	0,0227	0,2632	0,8119	2,0278

Результаты расчета заносят в табл. 2. В качестве примера в табл. 2 и 3 приведены значения координат, рассчитанных для вала $d-8 \times 52f7 \times 60h11 \times 10f9$, центрируемого по внутреннему диаметру.

1.3. ПОСТРОЕНИЕ ПРОФИЛЯ ЗУБА В НОРМАЛЬНОМ СЕЧЕНИИ

1.3.1. Для углов μ_i , внесенных в табл. 2, рассчитывают координаты X_i точек профиля зуба фрезы

$$X_i = \frac{\pi r_{\text{ц}}}{180} \left(\mu_i - \arcsin \left(\frac{b_{\text{расч}}}{2r_{\text{ц}}} \right) \right) - \left(r_{\text{ц}} \sin \mu_i - \frac{b_{\text{расч}}}{2} \right) \cos \mu_i.$$

Координаты $Y_i = y_i$. Результаты расчета заносят в табл. 2.

1.3.2. Смещают систему координат таким образом, чтобы ее начало находилось в точке 0. Тогда для всех других точек профиля

$$\tilde{X}_i = X_i - X_0;$$

$$\tilde{Y}_i = Y_i - Y_0.$$

Новые координаты точек профиля заносят в табл. 3.

3. Скорректированные координаты точек профиля, мм

i	0	1	2	3	4
\tilde{X}_i	0	0,0526	0,2930	0,8418	2,0576
\tilde{Y}_i	0	0,3340	1,2759	2,7681	5,1756

1.3.3. Заменяют кривую, описывающую профиль зуба, дугой окружности радиуса ρ , центр которой находится в точке с координатами (x_c, y_c) . Для этого записывают условия принадлежности к этой окружности каких-либо трех точек профиля зуба (обычно точек 0, 2 и 4) в виде

$$\begin{cases} (\tilde{X}_0 - x_c)^2 + (\tilde{Y}_0 - y_c)^2 = \rho^2; \\ (\tilde{X}_2 - x_c)^2 + (\tilde{Y}_2 - y_c)^2 = \rho^2; \\ (\tilde{X}_4 - x_c)^2 + (\tilde{Y}_4 - y_c)^2 = \rho^2 \end{cases}$$

и разрешают полученную систему уравнений относительно ρ , x_c и y_c :

$$x_c = \frac{\tilde{Y}_4(\tilde{X}_2^2 + \tilde{Y}_2^2) - \tilde{Y}_2(\tilde{X}_4^2 + \tilde{Y}_4^2)}{2(\tilde{X}_2\tilde{Y}_4 - \tilde{X}_4\tilde{Y}_2)},$$

$$y_c = \frac{\tilde{X}_2(\tilde{X}_4^2 + \tilde{Y}_4^2) - \tilde{X}_4(\tilde{X}_2^2 + \tilde{Y}_2^2)}{2(\tilde{X}_2\tilde{Y}_4 - \tilde{X}_4\tilde{Y}_2)},$$

$$\rho = \sqrt{x_c^2 + y_c^2}.$$

1.3.4. Проверяют попадание точек 1 и 3 профиля зуба на эту же дугу окружности. Если выполняется условие

$$\left| \sqrt{(\tilde{X}_{1,3} - x_c)^2 + (\tilde{Y}_{1,3} - y_c)^2} - \rho \right| \leq 0,05,$$

все точки профиля с достаточной точностью описываются найденной дугой.

Если какая-либо точка не ложится на дугу с заданной точностью, выбирают ее в качестве точки системы уравнений (вместо одной из взятых ранее), пересчитывают значения ρ , x_c , y_c и опять проверяют их для двух точек, не вошедших в новую систему.

Если в результате нескольких попыток не удается «уложить» все пять точек на одну дугу окружности, описывают профиль зуба двумя сопряженными дугами окружностей разного радиуса (методика такого подхода подробно изложена в [2]).

1.4. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЗУБА ФРЕЗЫ

1.4.1. Рассчитывают высоту ножки зуба

$$H_f = 0,5D_{\text{расч}} - r_{\text{ц}} + q,$$

где $q = 0,1$ мм – запас, обеспечивающий необработку наружного диаметра шлицевого вала червячной фрезой.

1.4.2. При центрировании шлицевого соединения по наружному диаметру рассчитывают высоту головки зуба по формуле

$$H_a = r_{\text{ц}} - 0,5d_1$$

и радиус окружности, с которого начинается переходная кривая,

$$r_{\text{п}} = 0,5\sqrt{d_1^2 + (2r_{\text{ц}} \sin \mu_{\text{п}} - b_{\text{расч}})^2 \cos^2 \mu_{\text{п}}}.$$

Проверяют, выполняется ли условие $r_{\text{п}} \leq 0,5d_{\text{расч}}$, т.е. изготавливается ли прямолинейный участок профиля шлица необходимой длины.

Если это условие выполняется, переходят к 1.4.4. Если не выполняется – выбирают меньшее значение $r_{\text{ц}}$ в рамках допустимого диапазона (см. 1.2.2) и повторяют расчет, начиная с 1.2.3.

1.4.3. При центрировании шлицевого соединения по внутреннему диаметру рассчитывают высоту головки зуба по формуле

$$H_a = (r_{\text{ц}} \sin \mu_{\text{п}} - 0,5b_{\text{расч}}) \sin \mu_{\text{п}}$$

и высоту усиков зуба фрезы

$$h_y = H_a - r_{\text{ц}} + 0,5d_{\text{расч}}.$$

Ширину усиков выбирают в диапазоне $b_y = (0,3...0,8)\Delta$, где

$$\Delta \approx 0,5 \left(\frac{\pi d}{z} - b - a \right)$$

– ширина канавки в основании профиля вала.

1.4.4. Рассчитывают полную высоту зуба фрезы

$$H = H_a + H_f.$$

1.4.5. Рассчитывают толщину зуба по линии центроиды фрезы в нормальном сечении

$$S_n = \frac{2\pi}{z} r_{\text{ц}} - b_{\text{расч}}.$$

Толщина зуба на некотором произвольном расстоянии h_x от линии центриды

$$S_x = S_n - 2(x_c - \rho \cos \beta_x),$$

где

$$\beta_x = \arcsin \frac{|y_c| + h_x}{\rho}.$$

Как правило, рассчитывают величину S_x на наружном диаметре фрезы ($h_x = H_a$) и в точке с высотой профиля $h_x = (D_{\text{расч}} - d_{\text{расч}})/2$.

1.4.6. Рассчитывают нормальный шаг профиля зубьев

$$t_n = \frac{2\pi r_{\text{ц}}}{z}.$$

Все полученные в 1.4 размеры округляют с точностью до 0,001 мм и проставляют на рабочем чертеже инструмента (рис. 5).

2. КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЧЕРВЯЧНОЙ ФРЕЗЫ

2.1. За пределами рассчитанного профиля зуб фрезы оформляют в соответствии с рис. 2, назначая $f_1 = 2c_{\text{min}}$; $r_1 = 1 \dots 2$ мм; $l_1 = 1,5 \dots 3$ мм.

Таким образом, общая высота профиля фрезы

$$H_0 = H + f_1 \operatorname{tg} 35^\circ + l_1.$$

Значение H_0 округляют с точностью до 0,1 мм.

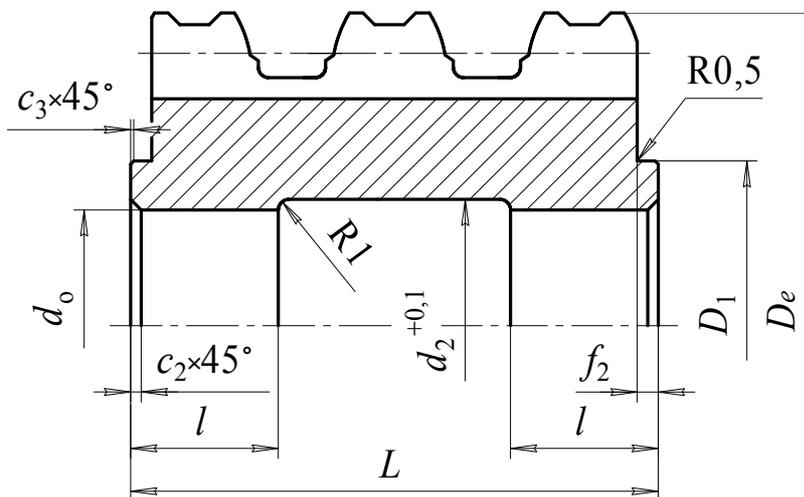


Рис. 3. Фреза червячная шлицевая

2.3. Длину фрезы определяют по формуле

$$L = 2\sqrt{(D_e - H)H} + (4 \dots 0,5)t_n + 2f_2,$$

принимая бóльшие значения коэффициента при t_n для меньших диаметров D_e . Как правило, из полученного диапазона выбирают длину L , соответствующую ряду нормальных линейных размеров по ГОСТ 6636-69 (50; 63; 80; 100; 125; 160 и т.д.).

Размер l (см. рис. 3) назначают равным $l = (0,2 \dots 0,25)L$.

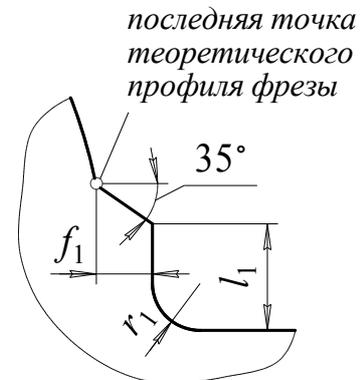


Рис. 2. Профиль фрезы вне расчетной части

2.2. Наружный диаметр фрезы, размеры буртиков, диаметр и конфигурацию посадочного отверстия назначают в соответствии с ГОСТ 8027-60 в зависимости от нормального шага профиля зубьев t_n (см. рис. 3 и табл. 4).

4. Конструктивные размеры червячных шлицевых фрез, мм

t_n	D_e	D_1	d_0	d_2	$f_2 \text{ min}$	c_2	c_3
св. 9 до 11	70	40	27	29	3,0	1,5	1,0
св. 11 до 13	75						
св. 13 до 15	80						
св. 15 до 16	85	48	32	34	3,5	2,0	
св. 16 до 18,5	95						
св. 18,5 до 21	100						
св. 21 до 25	110						
св. 25 до 27	120	60	40	42			1,5
св. 27 до 30	130						

2.4. Размеры шпоночного паза и их допускаемые отклонения выбирают по ГОСТ 23360-78 в зависимости от диаметра посадочного отверстия d_0 [1].

2.5. Чтобы не корректировать профиль фрезы, ее передний угол обычно назначают равным 0° .

Задний угол на вершине зуба (т.е. угол в радиальной секущей плоскости) выбирают в интервале $\alpha_{r0} = 9...11^\circ$, после чего рассчитывают наименьший задний угол в главной секущей плоскости на боковой стороне профиля:

$$\alpha_{\min} = \arctg \left(\frac{|y_c|}{\rho} \operatorname{tg} \alpha_{r0} \right).$$

Должно выполняться условие $\alpha_{\min} \geq 1,5^\circ$. Если оно не выполняется, следует увеличить значение α_{r0} .

2.6. Число зубьев фрезы принимают равным $Z = 12$ при наружном диаметре фрезы $D_e \leq 85$ мм и $Z = 14$ при $D_e > 85$ мм.

2.7. Поскольку профиль фрезы должен быть отшлифован, на ее зубьях выполняют двойное затылование (рис. 4).

Величину падения первого затылка рассчитывают по формуле

$$K = \frac{\pi D_e}{Z} \operatorname{tg} \alpha_{r0},$$

а второго выбирают из диапазона $K_1 = (1,2...1,5)K$.

Полученные значения округляют до 0,1 мм.

Размер $e = 0,5(K_1 - K)$ на рабочем чертеже инструмента не проставляют.

2.8. Глубину стружечных канавок фрезы рассчитывают с точностью до 0,1 мм по формуле

$$h_k = H_0 + 0,5(K + K_1) + 1.$$

Угол канавки $\psi_k = 25^\circ$, а радиус ее закругления $r_k = 1,25...2,5$ мм.

2.9. Средний расчетный диаметр фрезы определяют с точностью до 0,1 мм с помощью соотношения

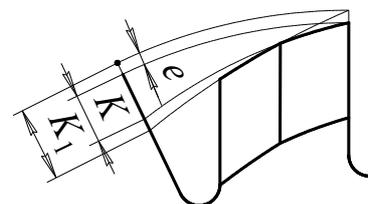


Рис. 4. Затылование зуба фрезы

$$D_t = D_e - 2H - (0,2...0,3)K.$$

2.10. Угол наклона винтовой линии стружечных канавок рассчитывают с точностью до 1' по формуле

$$\omega = \arcsin \frac{t_n}{\pi D_t}.$$

2.11. Шаг винтовой линии стружечных канавок

$$T = \pi D_t \operatorname{ctg} \omega$$

рассчитывают с точностью до 1 мм, а осевой шаг профиля

$$t_{oc} = \frac{t_n}{\cos \omega}$$

с точностью до 0,001 мм.

Данные, полученные в 2.9÷2.11, указывают на рабочем чертеже инструмента в специальной таблице (см. рис. 5).

2.12. Червячные фрезы изготавливают из быстрорежущей стали (ГОСТ 19265-73) с термообработкой до твердости HRC₃ 62...66.

2.13. Шероховатость поверхностей фрезы назначают следующим образом: посадочного отверстия – Ra 0,32; посадочных поверхностей буртиков, профилей зубьев и стружечных канавок – Ra 0,63; торцовых поверхностей буртиков – Ra 1,25; остальных поверхностей – Ra 2,5.

2.14. Точность конструктивных элементов фрезы.

На посадочный диаметр назначают допуск по H4; на размеры профиля – на 2 квалитета меньше, чем на самый точный размер изделия, с расположением поля допуска по h; на ширину буртиков – по h14; на остальные размеры (кроме тех, допуски на которые оговорены в тексте разд. 2) – по ±IT14/2.

Другие допускаемые отклонения см. в табл. 5.

5. Допуски на червячные шлицевые фрезы, мм

Параметр	Нормальный шаг профиля t_n , мм			
	до 10	св. 10 до 16	св. 16 до 25	св. 25
Погрешность осевого шага	± 0,010	± 0,012	± 0,016	± 0,020
Накопленная погрешность осевого шага на длине любых трех шагов	± 0,016	± 0,020	± 0,025	± 0,032
Накопленная ошибка окружного шага стружечных канавок	0,063	0,080	0,100	0,125
Отклонение шага стружечных канавок от расчетного, %	± 3	± 2,5	± 2,5	± 2
Радиальное биение наружного диаметра	0,020	0,025	0,032	0,040
Радиальное биение буртиков	0,016	0,020		
Торцовое биение буртиков	0,010	0,012	0,016	0,020

3. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя : в 3 т. / В.И. Анурьев ; под ред. И.Н. Жестковой. – 10-е изд., стер. – М. : Инновационное машиностроение, 2015. – Т. 2. – 959 с.

2. Резников, Л.А. Проектирование сложнопрофильного режущего инструмента : уч. пособие / Л.А. Резников. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2016. – 208 с.

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ на проектирование червячной фрезы

Спроектируйте червячную фрезу для изготовления прямобочного шлицевого вала и разработайте рабочий чертеж инструмента.

Размеры вала (по ГОСТ 1139-80) см. в табл. I, способ центрирования соединения – в табл. II, а поля допусков на размеры вала – в табл. III.

Обозначения размеров – по рис. 1,б.

I. Число шлицев z и размеры шлицевого вала, мм

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
z	6	8			10	6	8			10
d	28	42	46	52	72	23	36	42	56	82
D	32	46	50	58	78	28	42	48	65	92
b	7	8	9	10	12	6	7	8	10	12
d_1	26,7	40,4	44,6	49,7	69,6	21,3	33,5	39,5	52,2	77,1
c_{\min}	0,3	0,4		0,5		0,3	0,4		0,5	
a^*	4,03	5,03	5,75	4,89	5,45	1,34	1,02	2,57	2,50	3,00

* При центрировании соединения по наружному диаметру размера a не существует.

II. Способ центрирования соединения

1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
по внутреннему диаметру					по наружному диаметру				

III. Поля допусков на основные размеры шлицевого вала

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
при центрировании по внутреннему диаметру										
D	$h11$									
d	$e8$	$f7$	$g7$	$h7$	$g6$	$js6$	$n6$	с припуском под шлифование		
b	$e9$	$d10$	$f9$	$h10$	$h8$	$k7$	$js7$			
при центрировании по наружному диаметру										
d	$a11$									
D	$e8$	$d8$	$f7$			$h7$	$g6$		$js6$	
b	$e8$	$d10$	$f8$	$d9$	$h9$	$f7$	$h8$	$f7$	$h8$	$js7$