Энгельсский технологический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

Кафедра «Оборудование и технологии обработки материалов»

РАСЧЕТ ДИСКОВОЙ ЗУБОРЕЗНОЙ ФРЕЗЫ

Учебно-методическое пособие к практическим занятиям по курсу «Режущий инструмент» для студентов направления

15.03.05 – «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

очной и заочной форм обучения

Энгельс 2026

ВВЕДЕНИЕ

Проектирование дисковых модульных фрез является конструкторской работой, которая должна выполняться с учетом последних достижений науки и техники в области производства и проектирования режущих инструментов. Она выполняется после изучения таких общетехнических дисциплин как «Инженерная графика», «Детали машин и механизмов», «Метрология, стандартизация и взаимозаменяемость» и «Технические измерения».

Проектирование зуборезных фрез является составной частью курсового проекта по дисциплине «Режущий инструмент» и предусматривает не только разработку отдельных инструментов, но и проведение сравнительного анализа ряда конструкций, включая литературный обзор.

Основная цель данных методических указаний – ознакомить с методикой и дать практические советы по выполнению проектирования дисковых зуборезных фрез.

Конечная цель – повышение технического уровня проектируемого режущего инструмента, качества обработки деталей, а также производительности и надежности режущих инструментов.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Модульные фрезы предназначены для обработки зубьев колес в индивидуальном производстве методом копирования. Различаются два типа модульных фасонных фрез: дисковые и пальцевые.

Дисковые модульные фрезы предназначены для обработки прямых, косозубых, конических, а также шевронных колес с канавкой на ободе (для выхода инструмента). При наличии специальных приспособлений дисковыми модульными фрезами можно нарезать на зуборезных станках и колеса с внутренним зацеплением.

При обработке прямозубых колес дисковые фрезы работают методом копирования, косозубых и шевронных – методом бесцентроидного огибания (центроиды на инструменте и детали в процессе нарезания отсутствуют), когда профиль фрезы ни в какой момент огибания не совпадают с профилем окончательно нарезанной впадины. В соответствии с ОСТ 2 И41-14-87 дисковые модульные фрезы изготавливаются наборами из 8 фрез и предназначены для нарезания колес $10^{й}$ степени точности по ГОСТ 1643-81 с модулями m – 1 … 16мм. По этому стандарту дисковые фрезы изготавливаются и с «половинными» номерами ($1, 1\frac{1}{2}, \ldots 7\frac{1}{2}, 8$) набором из 15 инструментов.

ГОСТ 13838-68 регламентирует дисковые мелкомодульные фрезы для нарезания цилиндрических колес $9^{й}$ степени точности и ниже m = 0,2 … 0,9мм в комплексе из 8 или 15 инструментов. Так как при равных диаметрах профили зубьев с равным числом зубьев неодинаковы, то для нарезания методом копирования колеса с определенным числом зубьев требуется отдельная фреза со своим профилем. Т.е. для нарезания колес с $z_к = 12 \ldots \infty$ зубьев нужно иметь теоретически бесконечное число дисковых фрез.

Практически поступают следующим образом. Вычерчивают профили колес $z_к = 12$ и $z_к = \infty$, полученную максимальную разницу делят на 8 или 15 частей и определяют, какому числу зубьев соответствуют профили 1, 2, … 8. Например, профиль 4 в точности соответствует профилю колеса $z_к = 21$, а профиль 5 соответствует $z_к = 26$, поэтому фреза 4 предназначается для колес с $z_к = 21 \ldots 25$, а 8 – для колес с числом $z_к = 135$ и зубчатых рек ($z_к = \infty$).

Построение профилей фрез стандартных наборов по этой схеме закладывают погрешности нарезаемых колес, поэтому дисковыми модульными фрезами можно получить колеса не выше $9^{й}$ степени точности.[]

РАСЧЕТ ДИСКОВОЙ ЗУБОРЕЗНОЙ ФРЕЗЫ

Для начала, определим некоторые параметры колеса:

Радиус делительной окружности

$$R = (m * Zk)/2,$$

Радиус основной окружности колеса

$$R_0 = R * \cos(\alpha_з),$$

Наружный радиус колеса

$$R_1 = R + m.$$

В зависимости от модуля нарезаемого колеса подберем конструктивные параметры фрезы:

Таблица 1.

m	De	Z	Do	m	De	Z	Do	m	De	Z	Do
3	70	12	27	5	90	11	32	7	105	11	32
3,5	75	12	27	5,5	95	11	32	8	110	11	32
4	80	12	27	6	100	11	32	9	115	10	32
4,5	85	11	27	6,5	105	11	32	10	120	10	32

где m – модуль нарезаемого колеса, De – наружный диаметр фрезы, Z – число зубьев фрезы, Do – диаметр отверстия под оправку.

Передний угол γ у дисковых зуборезных (модульных) фрез принимается равным, нулю. Задний угол α принимается в интервале 10…15°.

Угол впадины между зубьями фрезы зависит от геометрии кулачка для затылования и берется из ряда: 18, 22, 25, 30° и реже 45°.

Высота зуба фрезы считается по формуле:

$$H = h_k + k + r^{/}$$

где: h_k – высота зуба колеса, считается по формуле:

$$h_k = 2{,}25 * m;$$

k – величина затылования, определяется по следующей зависимости:

$$k = \frac{\pi * De}{Z} * tg(\alpha)$$

r/ - радиус закругления дна канавки, между зубьями фрезы, назначается в диапазоне 1 … 5мм, в зависимости от диаметра фрезы и характера обработки профиля (шлифованный или не шлифованный).

Толщина тела фрезы А – параметр, определяющий прочность инструмента:

$$A = \frac{De - Do - 2 * H}{2},$$

должен быть не менее половины диаметра отверстия под оправку. В том случае, если это условие не выполняется необходимо конструктивно увеличивать наружный диаметр фрезы, соответственно изменяя и количество ее зубьев (в соответствии со стандартным рядом).

РАСЧЕТ ЭВОЛЬВЕНТНОГО ПРОФИЛЯ

Эвольвента – это траектория движения точки лежащей на прямой линии, которая без проскальзывания перекатывается по основной окружности.

При проектировании дисковой модульной фрезы для обработки стандартных зубчатых колес для определения координат эвольвенты на режущей кромке. Воспользуемся схемой (рис. 1).

Все дальнейшие расчеты будем проводить в радианах, поэтому переведем значение угла зацепления на делительной окружности в радианы:

$$\alpha_з^{в_радианах} = \frac{\pi * \alpha_з^{в_градусах}}{180}.$$

Определим центральный эвольвентный угол на делительной окружности:

$$\delta = \frac{2*\pi}{4*Zk}.$$

Эвольвентный угол можно определить по следующей зависимости:

$$\theta = inv(\alpha_з) = tg(\alpha_з) - \alpha_з,$$

причем, расчет ведется только в радианах.

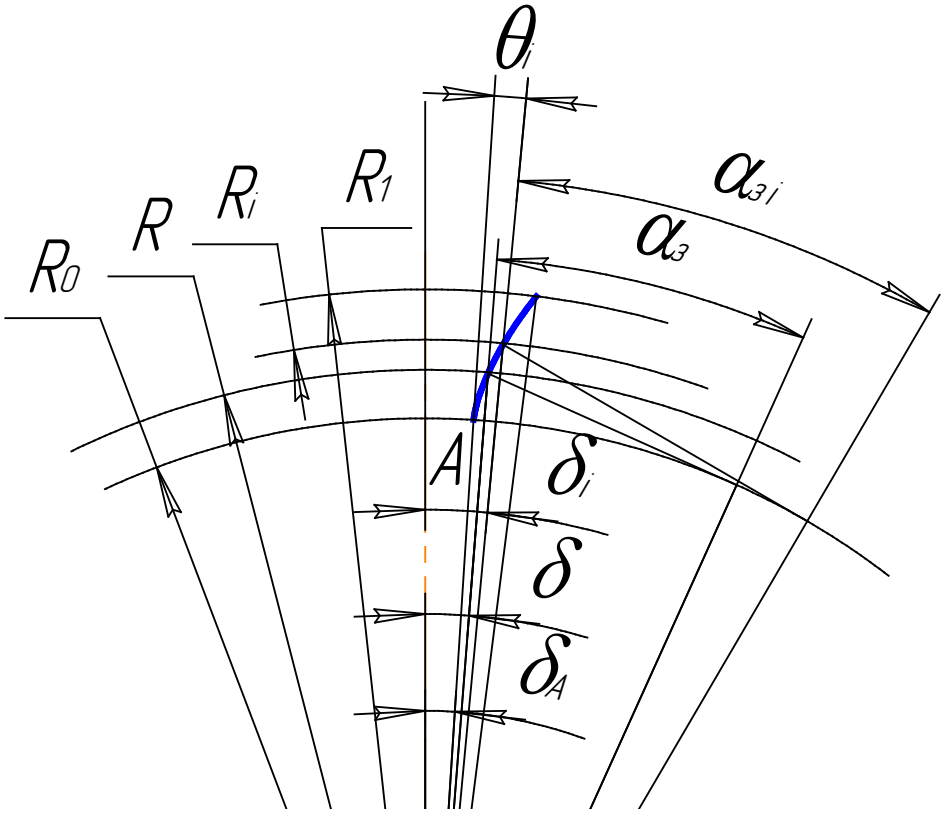


Рисунок 1. Схема расчета эвольвенты.

где: A – точка начала эвольвенты, R – радиус делительной окружности, R_0 – радиус основной окружности, R_i – радиус текущей точки эвольвенты, R_1 – радиус вершин зубьев колеса, δ – центральный угол эвольвенты на делительной окружности колеса, $\alpha_з$ – угол зацепления на делительной окружности колеса (принимается равным 20°), θ - эвольвентный угол на делительной окружности, δ_A - центральный угол начала эвольвенты, а δ_i, $\alpha_{зi}$, θ_i – это параметры для текущих точек анализа.

Из схемы (рис. 1) видно, что центральный угол начала эвольвенты можно рассчитать по формуле:

$$\delta_A = \delta - \theta$$

Теперь для определения геометрического места точек эвольвентного профиля разобьем интервал от R0 до R1 на десять равных частей, таким образом шаг перебора радиусов можно определить по формуле:

$$\Delta = \frac{R1 - R0}{10}$$

Таким образом, радиусы расчетных точек можно рассчитать по формуле:

$$R_i = R_0 + i * \Delta,$$

где *i* принадлежит множеству натуральных чисел в интервале от 1 до 10.

Угол зацепления для каждой рассчитываемой точки профиля можно получит из соотношения (расчет ведется в радианах (при использовании приложений Microsoft это происходит по умолчанию, при использовании других вычислительных машин и приложений необходимо проверить настройки)):

$$\alpha_{зi} = \arccos\left({R_0}/{R_i} \right)$$

Эвольвентный угол для каждой расчетной точки также рассчитывается в радианах:

$$\theta_i = inv(\alpha_{зi}) = tg(\alpha_{зi}) - \alpha_{зi}$$

Центральный угол промежуточных точек эвольвенты:

$$\delta_i = \delta_A + \theta_i$$

Таким образом, координаты всех расчетных точек эвольвенты могут быть получены по следующим зависимостям:

$$X = R_i * \sin(\delta_i)$$
$$Y = R_i * \cos(\delta_i)$$

Профилирование неэвольвентной части профиля происходит по следующей схеме:

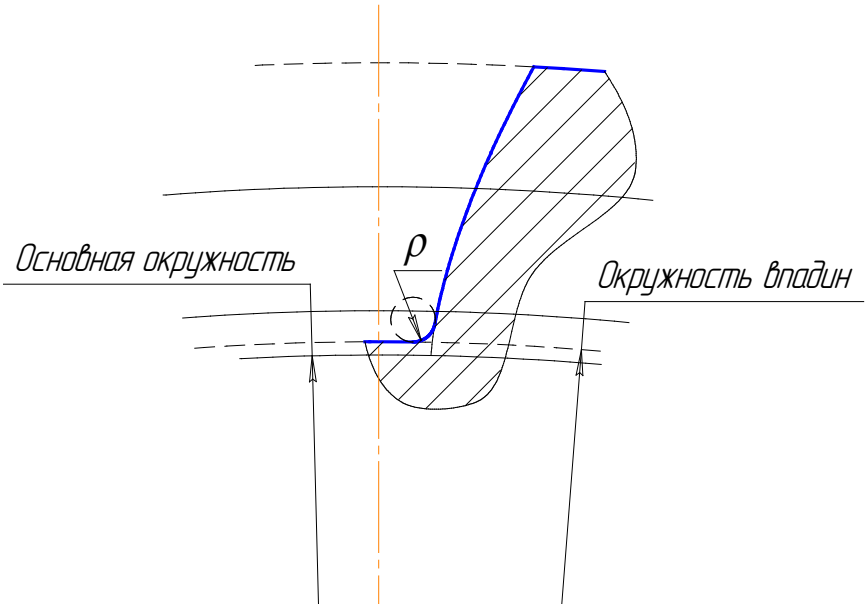


Рисунок 2. Профилирование неэвольвентной части зуборезного инструмента, работающего методом копирования.

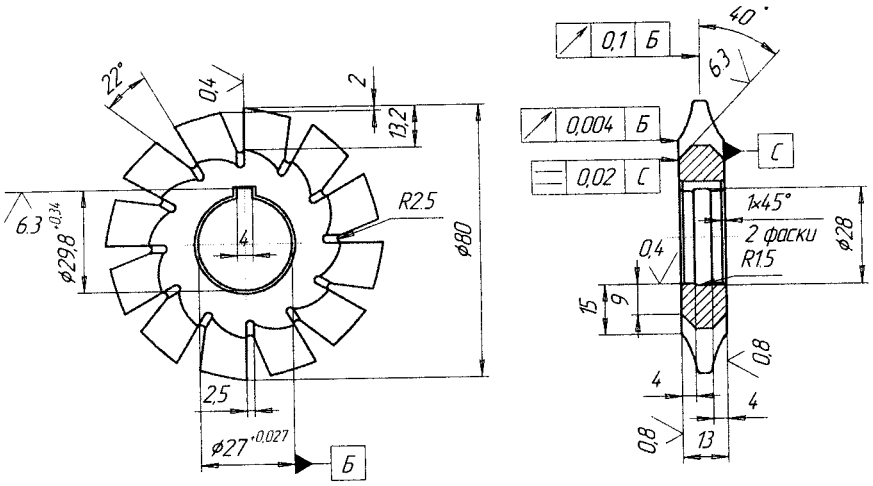
$$\rho = k * m$$

где: m – модуль, мм; k – коэффициент зависящий от числа зубьев нарезаемого колеса и угла зацепления.

По данным завода «Фрезер», для $\alpha_з$ = 20° коэффициент k принимает следующие значения:

Таблица 2.

Zk	12-13	14-16	17-20	21-26	27-34	35-54	55-134	135≤
k	0,52	0,49	0,46	0,43	0,4	0,36	0,32	0,25



1. Твердость рабочей части HRC 62...65
2. Разрешается изготавливать фрезы из стали Р6М5 с введением двойного затылования и шлифования профиля.
3. Отклонение от радиальности передней поверхности только в сторону подрезания ≤1°
4. Радиальное биение по наружнему диаметру 2-х смежных зубьев не более 0,05 мм.
5. Торцевое биение боковых режущих кромок, при проверке на оправке с буртом, не должно превышать 0,08 мм.
6. Разность расстояний от торцевых плоскостей фрезы до точек профиля, лежащих на одном диаметре, не должна превышать 0,25 мм.
7. Точность координат профиля шаблона ±0,02 мм.

Наименование	Обозн	Величина
Модуль в мм	m	4
Число зубьев	z	12
Число зубьев обрабатываемого	z_0	50
колеса		
Исходный контур		
ГОСТ 13755-81	α	20°
Глубина фрезерования		
в мм	H	9

Рисунок 3. Пример оформления чертежа дисковой зуборезной (модульной) фрезы.

Задания на проектирование дисковых зуборезных (модульных) фрез

Таблица 3.

№ варианта	Модуль (m), мм	Число зубьев колеса (Zk)	№ варианта	Модуль (m), мм	Число зубьев колеса (Zk)	№ варианта	Модуль (m), мм	Число зубьев колеса (Zk)	№ варианта	Модуль (m), мм	Число зубьев колеса (Zk)
1	3,0	45	26	6,5	16	51	4,25	22	76	3,0	60
2	3,25	18	27	7,0	52	52	4,5	44	77	3,25	40
3	3,5	45	28	8,0	60	53	5,0	32	78	3,5	60
4	3,75	38	29	9,0	52	54	5,5	53	79	3,75	16
5	4,0	16	30	10,0	50	55	6,0	33	80	4,0	25
6	4,25	40	31	3,0	38	56	6,5	53	81	4,25	52
7	4,5	18	32	3,25	33	57	7,0	20	82	4,5	75
8	5,0	63	33	3,5	28	58	8,0	120	83	5,0	24
9	5,5	20	34	3,75	18	59	9,0	105	84	5,5	32
10	6,0	65	35	4,0	65	60	10,0	34	85	6,0	18
11	6,5	50	36	4,25	28	61	3,0	25	86	6,5	27
12	7,0	43	37	4,5	31	62	3,25	22	87	7,0	32
13	8,0	44	38	5,0	70	63	3,5	20	88	8,0	25
14	9,0	100	39	5,5	85	64	3,75	28	89	9,0	48
15	10,0	90	40	6,0	22	65	4,0	39	90	10,0	52
16	3,0	49	41	6,5	43	66	4,25	45	91	3,0	100
17	3,25	60	42	7,0	40	67	4,5	53	92	3,25	70
18	3,5	25	43	8,0	41	68	5,0	49	93	3,5	44
19	3,75	60	44	9,0	33	69	5,5	16	94	3,75	73
20	4,0	40	45	10,0	95	70	6,0	16	95	4,0	29
21	4,25	70	46	3,0	46	71	6,5	49	96	4,25	20
22	4,5	33	47	3,25	46	72	7,0	24	97	4,5	16
23	5,0	45	48	3,5	27	73	8,0	110	98	5,0	45
24	5,5	46	49	3,75	24	74	9,0	60	99	5,5	25
25	6,0	73	50	4,0	63	75	10,0	115	100	6.0	48

Угол зацепления α, равен 20°