

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИНСТИТУТ ДИСТАНЦИОННОГО ОБРАЗОВАНИЯ

В.В. ДЕМИДОВ

Учебно-методический комплекс

**ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ**

Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
Ульяновский государственный технический университет

Институт дистанционного образования

В.В. ДЕМИДОВ

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

Учебно-методический комплекс

Ульяновск 2006

УДК
ББК 31.37 я7
Р 79

Утверждено редакционно-издательским советом университета в качестве учебного пособия

Рецензенты:

Р 79 Демидов В.В.
Основы проектирования режущих инструментов: учебно-методический комплекс / В.В. Демидов; Ульян. гос. техн. ун-т. – Ульяновск: УлГТУ, 2006. – 66 с.
ISBN 5-89146-668-6

УДК
ББК

© В. В. Демидов, 2006

ISBN 5-89146-668-6

© Оформление. УлГТУ, 2006

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

ВВЕДЕНИЕ.....	
1. ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЗУБЬЕВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС.....	6
1.1. Понятия о начальной окружности и начальной прямой.....	6
1.2. Образование эвольвенты и её основные параметры.....	7
1.3. Модуль зубчатой передачи. Основные параметры цилиндри- ческих зубчатых колес.....	10
1.4. Коррекция цилиндрических зубчатых колес.....	11
1.5. Методы нарезания зубьев цилиндрических зубчатых колес.....	12
1.6. Нарезание цилиндрических зубчатых колес методом копирования.....	13
1.7. Инструменты работающие методом центроидного огибания (методом обката).....	14
1.7.1. Исходные контуры зубчатого колеса, зубчатой рейки и инструментальной рейки.....	14
1.7.2. Червячно-модульные фрезы.....	16
1.7.2.0. Основные червяки ЧМФ.....	16
1.7.2.0. Осевой шаг и осевой профиль зубьев ЧМФ, спрофилированных на основе архимедова червяка.....	18
1.7.2.1. Понятия о расчетном сечении и расчетном диаметре червячно-модульных фрез.....	20
1.7.2.2. Влияние наружного диаметра, угла наклона Ω_T и числа заходов витков зубьев фрезы на точность нарезаемых зубчатых колес.....	22
1.7.2.3. Геометрические параметры червячно-модульных фрез....	23
1.7.2.4. Разновидности червячно-модульных фрез.....	25
1.7.3. Долбяки.....	25
1.7.3.1. Общие сведения о долбяках.....	25
1.7.3.2. Основные геометрические параметры прямозубого долбяка.....	27
1.7.3.3. Определение угла профиля зуба долбяка на его делительном диаметре.....	28
1.7.3.4. Определение задних углов на боковой режущей кромке зуба прямозубого долбяка.....	29
1.7.3.5. Определение толщины зуба долбяка по дуге окружности	31
1.7.3.6. Определение числа зубьев долбяка.....	33
1.7.3.7. Особенности расчета косозубых долбяков.....	34
1.7.3.8. Формы заточки передней поверхности косозуб долбяков	35
1.7.4. Шеверы.....	36
1.7.4.1. Общие сведения о шеверах и кинематика работы дисковых шеверов.....	36
1.7.4.2. Конструкции и основные параметры среднемодульных шеверов.....	40
1.7.4.3. Особенности конструкции мелко модульных шеверов.....	42

1.7.5. Инструменты для нарезания деталей с неэвольвентным профилем, работающие методом центроидного огибания (методом обката).....	42
1.7.5.1. Требования к режущим инструментам, работающим методом обката.....	42
1.7.5.2. Форма и размеры неэвольвентных профилей детали.....	46
1.7.5.3. Определение профиля режущей кромки зуба инструмента (профилирование).....	47
1.7.5.3.1. Плоскостные методы профилирования.....	47
1.7.5.3.2. Графические методы профилирования.....	47
1.7.5.3.2.1. Профилирование на основе линии зацепления.....	47
1.7.5.3.2.2. Профилирование методом огибающей.....	48
1.7.5.3.3. Графоаналитический метод профилирования (комбинированный).....	49
1.7.5.3.4. Аналитическое профилирование червячно-модульных фрез.....	49
1.7.5.3.4.1. Уравнение линии зацепления червячной фрезы и шлицевого вала.....	50
1.7.5.3.4.2. Определение координат экстремальной точки $S (X_S, Y_S)$ линии зацепления.....	51
1.7.5.3.4.3. Определение радиуса начальной окружности шлицевого вала.....	51
1.7.5.3.4.4. Аналитическое профилирование зуба червячно-шлицевой фрезы.....	52
1.7.5.3.4.5. Особенности профиля зубьев ЧМФ для шлицевых валов при центрировании по наружному или внутреннему диаметрам.....	53
Определение радиуса начала переходной кривой на шлицевом валу при центрировании по наружному диаметру вала, обрабатываемого методом обката. Определение высоты усика зуба ЧМФ, обрабатывающей вал с центрированием по внутреннему диаметру	
2. ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОНИЧЕСКИХ КОЛЕС.....	56
2.1. Инструменты для нарезания конических колес с прямыми зубьями.....	57
2.2. Инструменты для нарезания конических колес с круговыми зубьями.....	59
3. ДИСКОВЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ С ВИНТОВОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ.....	62
3.1. Способы задания винтовой поверхности.....	63
3.2. Методы определения профиля зубьев инструментов, работающих методом бесцентроидного огибания.....	64
3.3. Определение некоторых конструктивных параметров дисковых фрез.....	65

1. ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЗУБЬЕВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

1.1. ПОНЯТИЯ О НАЧАЛЬНОЙ ОКРУЖНОСТИ И НАЧАЛЬНОЙ ПРЯМОЙ

Еще в древние времена перед человечеством встала задача передачи движения вращения с одного вала (ведущее звено) на другой (ведомое звено) или на поступательно движущееся звено (или наоборот) механизма или машины с постоянным передаточным отношением, т.е. определенному угловому перемещению ведущего звена должно соответствовать вполне определенное точное перемещение ведомого звена. Такие перемещения возможны за счет обкатывания без скольжения благодаря силам трения двух цилиндров с радиусами r_1 и r_2 (рис. 1.1, а) или цилиндра по плоскости. Эти цилиндры и им соответствующие окружности, диаметры и радиусы называются начальными цилиндрами, окружностями, диаметрами и радиусами, а плоскость и её след на плоскости вращения цилиндра (прямая линия) называются соответственно начальной плоскостью и начальной прямой.

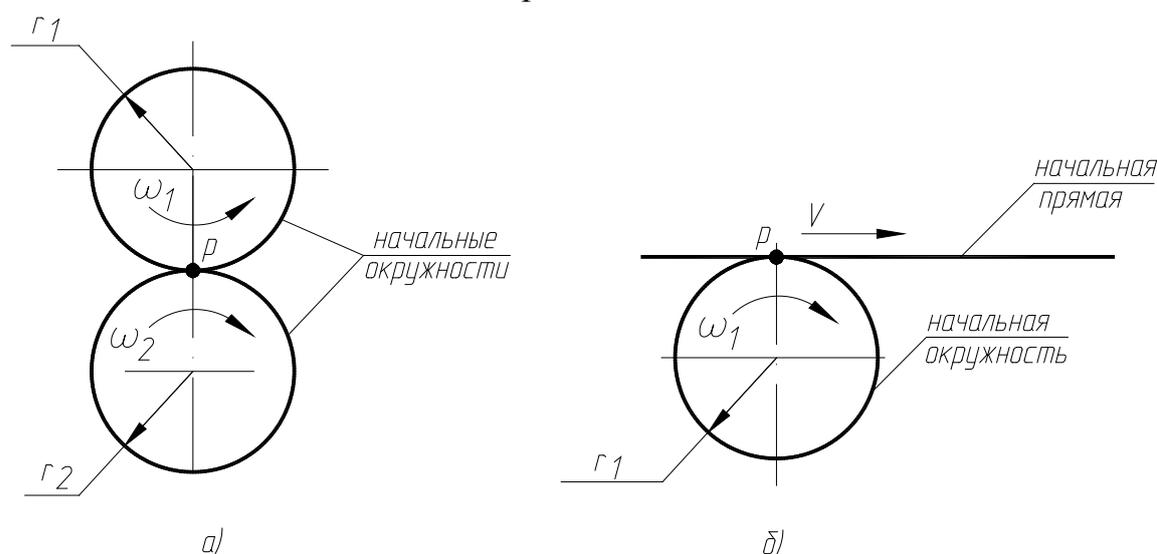


Рис. 1.1. Начальные окружности и начальная прямая при зацеплении цилиндрических ЗК (а) и цилиндрического ЗК с рейкой

P – полюс зацепления;

ω_1, ω_2 – угловая скорость вращения первого и второго цилиндров соответственно;

V – скорость движения начальной прямой.

Однако передать значительные по величине крутящие моменты за счет сил трения при условии отсутствия проскальзывания практически невозможно. Для решения этой задачи передачу силой трения заменяют зубчатой передачей. Выполнение профиля зуба зубчатой передачи по эвольвенте позволяет обеспечить постоянство передаточного отношения между вращающимися цилиндрами (окружностями). В этом замечательное свойство эвольвенты.

1.2. ОБРАЗОВАНИЕ ЭВОЛЬВЕНТЫ И ЕЁ ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ

При качении без скольжения прямой линии по окружности каждая точка этой прямой описывает на плоскости кривую, называемую эвольвентой. Окружность, по которой без скольжения обкатывается прямая линия называется основной – с неё начинается эвольвента (т. А на рис. 1.2). Эвольвента впервые математически описана математиком Эйлером.

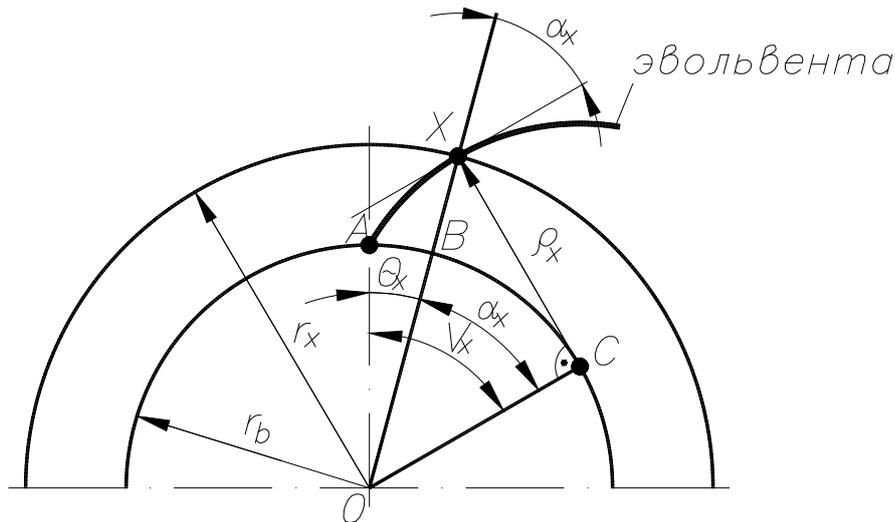


Рис. 1.2. Эвольвента и её основные параметры

r_b - радиус основной окружности;

X- произвольная точка эвольвенты;

ρ_x - мгновенный радиус кривизны эвольвенты в точке X;

r_x - радиус точки X;

V_x - угол развернутости эвольвенты в точке X;

θ_x - эвольвентный или полярный угол эвольвенты в точке X;

α_x – угол профиля эвольвенты в точке X.

Угол профиля эвольвенты α_x в некоторой точке X есть угол, заключенный между касательной к эвольвенте в этой точке и радиус-вектором, проведенным в эту точку.

Инвалютная функция представляет собой следующее выражение: $inv\alpha_x = tg\alpha_x - \alpha_x$ (в радианах). Докажем, что $\theta_x = inv\alpha_x$. Из вышеприведенного рисунка видно, что

$$\theta_X = V_x - \alpha_x,$$

$$\text{где } V_x = \frac{\overset{\cup}{AC}}{r_b} = \frac{\rho_x}{r_b} = tg\alpha_x.$$

Тогда $\theta_X = V_x - \alpha_x = tg\alpha_x - \alpha_x$ (в радианах).

Отсюда следует геометрический смысл инвалюты – это угол θ_x , т.е. эвольвентный или полярный угол эвольвенты.

Из треугольника ХОС следует, что

$$\rho_x = \sqrt{r_x^2 - r_b^2} \quad \text{и} \quad r_b = r_x \cdot \cos \alpha_x.$$

Эвольвента, кроме вышеописанного метода (см. рис. 1.2), может быть получена как огибающая различных положений боковой прямолинейной профиля зуба (боковой стороне профиля или боковой режущей кромки) зубчатой рейки, обкатывающейся без скольжения своей начальной прямой по начальной окружности зубчатого колеса радиуса r_w (рис. 1.3: 1 и 2 – различные положения зубчатой рейки при её обкате без скольжения по начальной окружности зубчатого колеса).

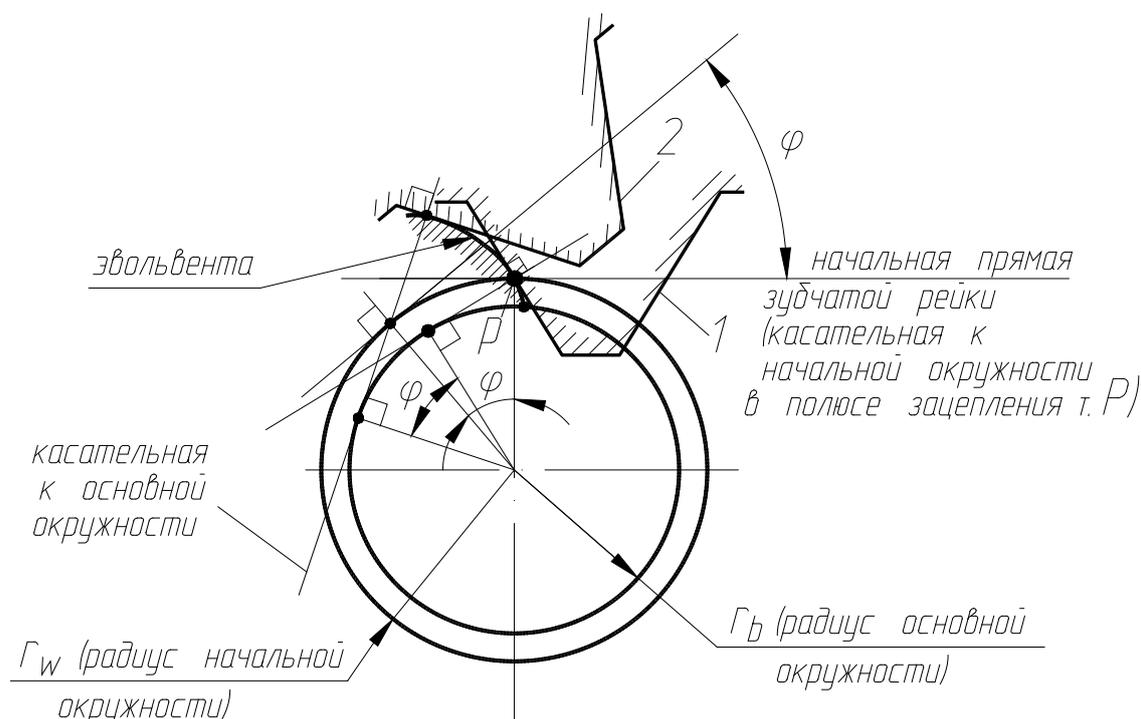


Рис. 1.3. Положения зубчатой рейки при её обкате без скольжения по начальной окружности ЗК

Любая кривая линия, в том числе и эвольвента, есть совокупность точек. Для обработки любой точки этой линии, например т. Х, прямолинейной режущей кромкой последняя должна быть касательной в этой кривой в точке Х и, как следствие, перпендикулярна нормали к этой кривой в т. Х.

Пусть обрабатываемая эвольвента, как показано на рис. 1.3, проходит через полюс зацепления т. Р. Пусть боковая режущая кромка зубчатой рейки в какой-то момент времени обрабатывает т.Р эвольвенты (положение 1 зубчатой рейки на рис 1.3). Тогда нормаль к боковой режущей кромке зубчатой рейки в т.Р будет являться нормалью к эвольвенте в т.Р и касательной к основной окружности эвольвенты. Длина нормали от эвольвенты (от т. Р, совпадающей с т.2 на рис. 1.4) до точки касания с основной окружностью (т.1 на рис. 1.4), равна длине отрезка 1 - 2. Пусть в результате обката зубчатой рейки по начальной окружности зубчатого колеса боковая режущая кромка ЗР станет обрабатывать некоторую т.4

эвольвенты, соответствующую длине нормали от т.4 до точки ее касания с основной окружностью т.3, равной длине отрезка 3 – 4 .

Если разность длин отрезков 3 – 4 и 1 – 2 касательных к основной окружности равна длине дуги основной окружности 1 – 3, то имеет место обкат без скольжения этой касательной по оси окружности, а т.4 и 2 – суть одна и та же точка этой касательной. Следовательно, образующийся в результате обката зубчатой рейки профиль зуба является по определению эвольвентой. Для этого доказательства рассмотрим рис. 1.4.

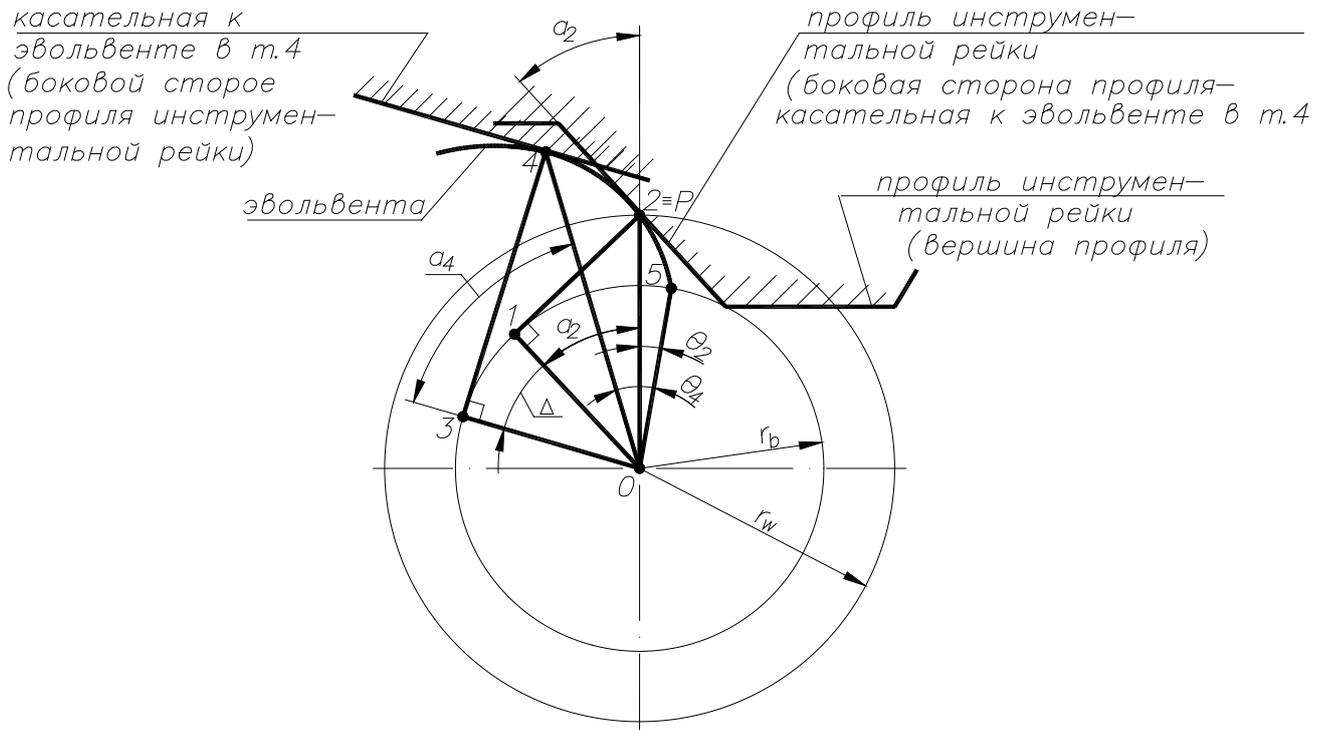


Рис. 1.4. Схема к решению задачи

где r_b ; r_w – соответственно радиус основной и начальной окружностей;
 θ_2, θ_4 – соответственно полярные углы эвольвенты в т. 2 и в т. 4;
 α_2, α_4 , – соответственно углы профиля эвольвенты в т. 2 и в т. 4;
 Δ – угол поворота ИР из положения, когда она обрабатывает т.2 профиля эвольвенты в положение, когда она обрабатывает т. 4 профиля эвольвенты.

$\overline{1-2}$ и $\overline{3-4}$ – соответственно касательные к основной окружности из т. 2 и из т.4 эвольвенты.

$\overline{0-2}$ и $\overline{0-4}$ – радиус-векторы, проведенные соответственно в т. 2 и в т. 4 эвольвенты.

Условием обката без скольжения касательных $\overline{1-2}$ и $\overline{3-4}$ по основной окружности радиуса r_b является равенство длины дуги $\cup 1-3$ разности длин касательных $\overline{3-4}$ и $\overline{1-2}$, т.е. $\cup 1-3 = \overline{3-4} - \overline{1-2}$.

$$\text{Из схемы видно, что } \Delta + \alpha_2 = \alpha_4 + (\theta_4 - \theta_2). \quad (1)$$

Подставляя в формулу (1) $\theta_4 = \text{tg}\alpha_4 - \alpha_4$ и $\theta_2 = \text{tg}\alpha_2 - \alpha_2$, получим:

$$\Delta + \alpha_2 = \alpha_4 + \text{tg}\alpha_4 - \alpha_4 - \text{tg}\alpha_2 + \alpha_2.$$

Откуда $\Delta = \operatorname{tg}\alpha_4 - \operatorname{tg}\alpha_2$.

Длина касательной $\overline{1-2}$ равна: $\overline{1-2} = r_b \cdot \operatorname{tg}\alpha_2$

Длина касательной $\overline{3-4}$ равна: $\overline{3-4} = r_b \cdot \operatorname{tg}\alpha_4$

Разность длин касательных $\overline{3-4}$ и $\overline{1-2}$ равна:

$$\overline{3-4} - \overline{1-2} = r_b \cdot (\operatorname{tg}\alpha_4 - \operatorname{tg}\alpha_2) = r_b \cdot \Delta = \overline{1-3}.$$

Тем самым получено доказательство поставленной задачи.

1.3. МОДУЛЬ ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

При качении зубчатой рейки без скольжения по начальной окружности зубчатого колеса (ЗК), на ЗК должно быть образовано целое число зубьев, что возможно только при условии, что шаг зубчатой рейки t' равен частному от деления длины начальной окружности $\pi \cdot d_w$ на число зубьев z , т.е.

$$t' = \frac{\pi \cdot d_w}{z}.$$

Так как число π иррациональное, то шаг t' также будет иррациональным (при d_w и z рациональных), что создает неудобства описания при расчете, изготовлении и контроле ЗК и их основных параметров. Для этих целей удобно пользоваться искусственно введенной величиной – модулем m зубчатой передачи. Модуль зубчатой передачи – это отношение шага рейки t' к числу π , т.е.

$$m = \frac{t'}{\pi}.$$

Число m получается рациональным и измеряется в мм, например $m = 2 \text{ мм}$, тогда шаг $t' = \pi \cdot m = \pi \cdot 2 = 6,28 \text{ мм}$.

Начальная окружность, по которой обкатывается без скольжения начальная прямая зубчатой рейки, на изготовленном ЗК будет называться делительной окружностью – она делит зуб на головку и ножку. Только на этой окружности окружной шаг между зубьями равен $t' = \pi \cdot m$. Естественно, что окружные шаги сопряженных ЗК или сопряженных ЗК и зубчатой рейки должны быть равны между собой. Начальные окружности ЗК в общем случае могут не совпадать с делительными окружностями сопряженных ЗК, например при изменении межосевого расстояния A (рис. 1.5)

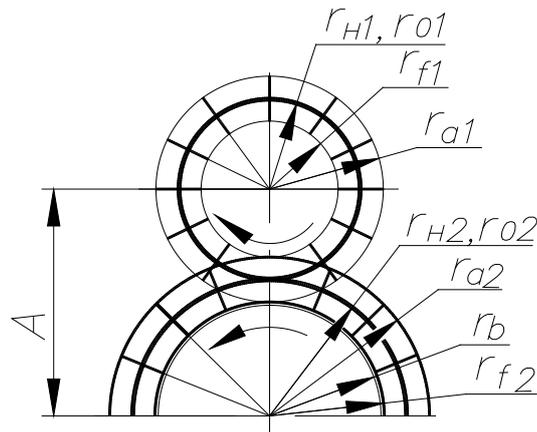


Рис. 1.5. Окружности сопряженных ЗК

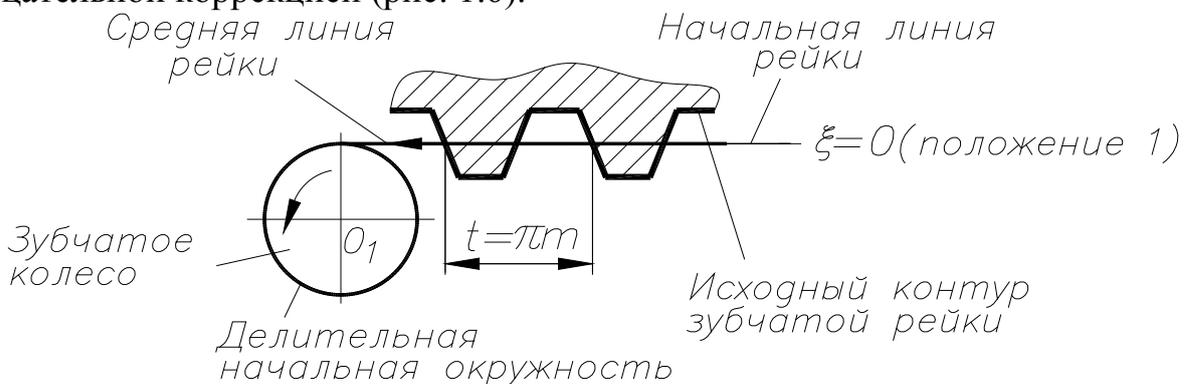
Таким образом у ЗК есть следующие окружности:

- 1) начальные окружности (r_n, d_n), по которым обкатываются без скольжения два зубчатых колеса (начальные окружности меняются при изменении межосевого расстояния);
- 2) окружности вершин (r_a, d_a) – окружности, проходящие через вершины зубьев;
- 3) внутренние окружности (r_f, d_f) – окружности, проходящие по впадинам зубьев;
- 4) основные окружности (r_b, d_b) – окружности, с которых начинаются эвольвенты (основная окружность обычно ниже внутренней окружности);
- 5) делительные окружности (r_0, d_0) – те окружности, на которых окружной шаг $t' = \pi \cdot m$.

1.4. КОРРЕКЦИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Если средняя линия зубчатой рейки совпадает с её начальной прямой (исходное положение зубчатой рейки), то получим некоррегированное ЗК. Если средняя линия зубчатой рейки смещена от центра ЗК, то получим ЗК с положительной коррекцией.

Если средняя линия зубчатой рейки смещена к центру ЗК, то получим ЗК с отрицательной коррекцией (рис. 1.6).



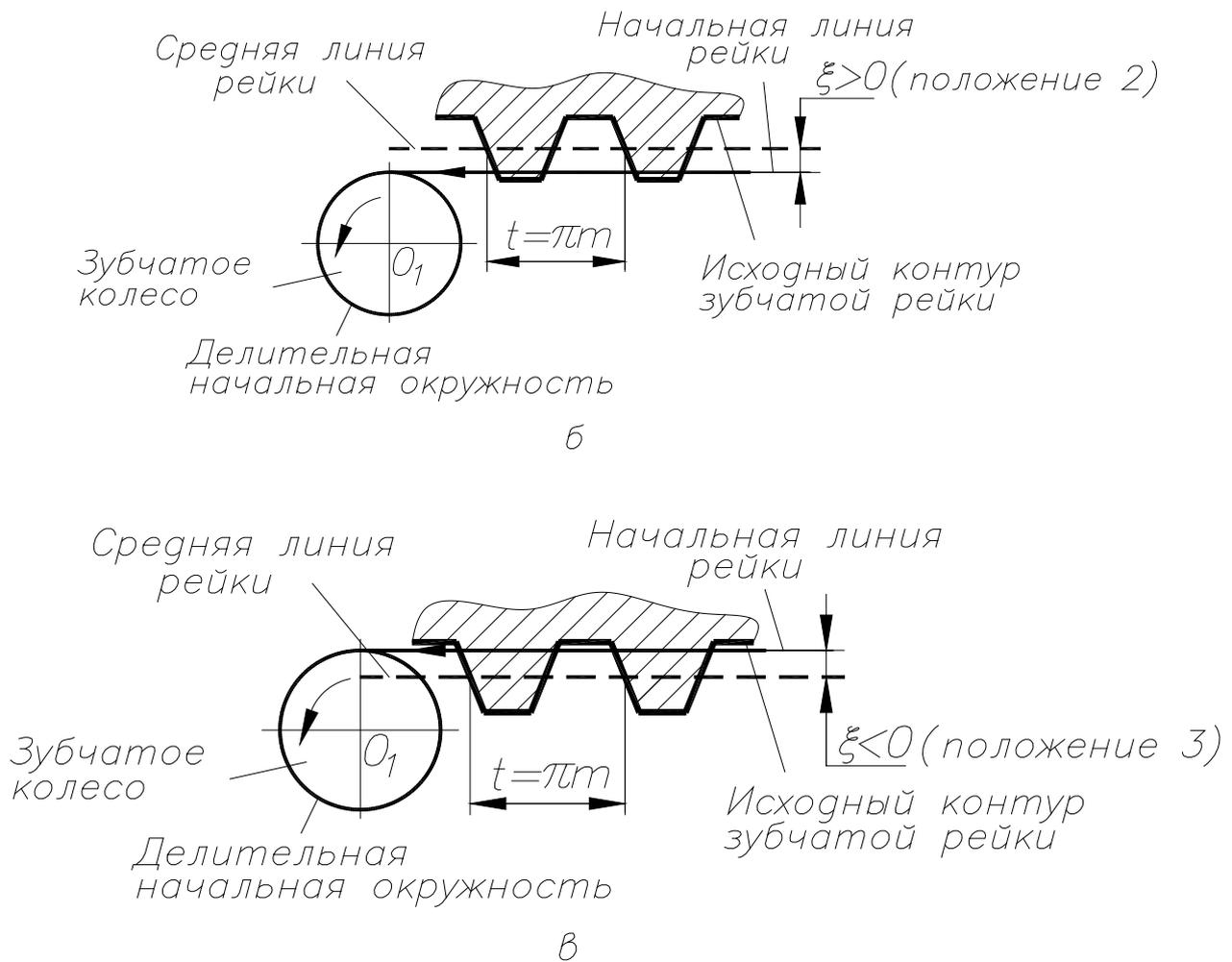


Рис. 1.6. Возможные положения зубчатой рейки относительно начальной окружности ЗК:

а – средняя линия рейки совпадает с начальной прямой – величина коррекции $\xi=0$; б – положительная коррекция $\xi>0$; в – отрицательная коррекция $\xi<0$.

$$\xi' = \frac{\xi}{m} \text{ – величина относительной коррекции.}$$

1.5. МЕТОДЫ НАРЕЗАНИЯ ЗУБЬЕВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

1. Метод копирования. В этом случае профиль зуба инструмента точно соответствует боковой поверхности зуба нарезаемого ЗК (например, эвольвенте или кривой Новикова). Нарезание осуществляют дисковыми или пальцевыми модульными фрезами или зубострогальными головками.

2. Метод огибания. Он имеет две вариации: а) метод бесцентроидного огибания; б) метод центроидного огибания. Центроиды – это линии, которые обкатываются друг по другу без скольжения. Их можно называть и начальными линиями. Частный случай центроиды или начальной линии – начальная окружность.

Методом центроидного огибания (обката) работают большинство зуборезных инструментов: долбяк, червячно-модульная фреза, червячно-шлицевая фреза, шевер и т. д. При этом методе происходит обкат без скольжения начальной линии режущего инструмента по начальной линии нарезаемого изделия.

Методом бесцентроидного огибания работают, например, дисковые или пальцевые фрезы при фрезеровании винтовых канавок различных деталей, т.е. когда имеет место относительный поворот обрабатываемой заготовки вокруг своей оси с одновременным ее продольным перемещением при неподвижном положении оси фрезы по отношению к оси заготовки. Центроиды или начальные кривые в этом случае отсутствуют.

Профили режущего инструмента (РИ) и детали не совпадают.

При методе центроидного огибания профиль РИ и детали также не совпадают, но при одном и том же профиле РИ для каждого из указанных методов получаются разные профили деталей.

1.6. НАРЕЗАНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС МЕТОДОМ КОПИРОВАНИЯ

Осуществляется дисковыми или пальцевыми модульными фрезами, профиль зуба которых совпадает с профилем впадины зуба нарезаемого колеса. Для нарезания следующей впадины зуба необходимо выполнить деление для поворота заготовки на $1/z$ оборота. Поворот реализуют либо в делительных головках, либо в делительных приспособлениях.

Профиль зуба ДМФ должен точно соответствовать профилю впадины нарезаемого ЗК (рис. 1.7.).

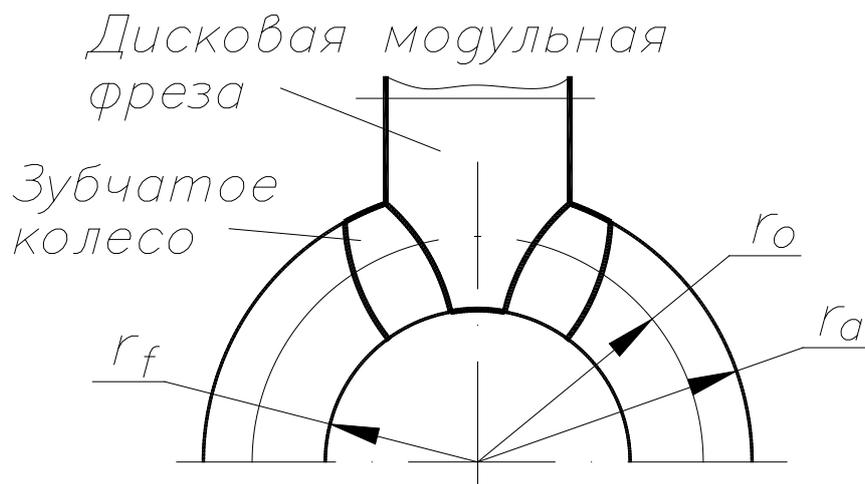


Рис. 1.7. Схема нарезания ЗК дисковой модульной фрезой

Профиль эвольвенты зависит от радиуса основной окружности:

$$d_b = d_0 \cdot \cos \alpha_0 = \pi \cdot m \cdot z \cdot \cos \alpha_0, \quad 12 \leq z < \infty.$$

Поскольку профиль эвольвенты (профиль боковой поверхности впадины зуба ЗК) зависит от d_b , который в свою очередь зависит от z (число зубьев нарезаемого

ЗК), а z может меняться от 12 до ∞ , то каждому z соответствует свой профиль зуба инструмента. На практике это условие реализовать экономически нецелесообразно, поэтому на практике поступают следующим образом: весь указанный возможный диапазон z разбивают на интервалы (либо на 8, либо на 15, либо на 25 интервалов) и для каждого из этих интервалов изготавливают фрезу с профилем впадины, соответствующей минимальному z из этого интервала. Поэтому теоретически точным будет получаться профиль зуба колеса с z равным минимальному z из этого интервала; для остальных z интервала с возрастанием z , погрешность профиля нарезаемого зубчатого колеса будет возрастать, но оставаться в пределах допуска на эту погрешность.

№	1	2	3	4	5	6	7	8
z_{np}	12÷13	14÷16	17÷20	21÷25	26÷34	35÷54	55÷134	135÷ ∞

Профиль инструмента делается по z_{min} для того, чтобы не было заклинивания передачи (для образования зазора при изготовлении этой фрезой ЗК с другими z из этого интервала).

Методом копирования можно нарезать косозубые цилиндрические колеса, при этом № фрезы выбирается по z_{np} , которое определяется по формуле:

$$z_{np} = z / \cos^3 \beta .$$

В этом случае инструмент (фреза) работает по методу бесцентроидного огибания.

1.7. ИНСТРУМЕНТЫ, РАБОТАЮЩИЕ МЕТОДОМ ЦЕНТРОИДНОГО ОГИБАНИЯ (МЕТОДОМ ОБКАТА)

1.7.1. ИСХОДНЫЕ КОНТУРЫ ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА, ЗУБЧАТОЙ РЕЙКИ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ РЕЙКИ

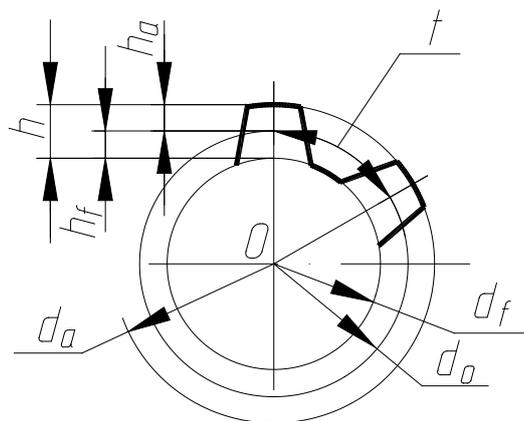


Рис. 1.8. Исходный контур ЗК

Параметры стандартного ЗК (рис. 1.8) известны и определены ГОСТом.

Профиль зубьев стандартного ЗК будем называть его исходным контуром ($Z < \infty$):

$$h_f = \frac{d_0 - d_f}{2} = h_f^* \cdot m = 1,25 \cdot m; \quad h_a = \frac{d_a - d_0}{2} = h_a^* \cdot m = 1 \cdot m;$$

$$h = h_f + h_a = (h_f^* + h_a^*) \cdot m = 2,25 \cdot m,$$

где h_f - высота ножки зуба ЗК;

h_a - высота головки зуба ЗК;

h - полная высота зуба ЗК.

$$d_a = m \cdot z + 2 \cdot h_a,$$

$$d_f = m \cdot z - 2 \cdot h_f,$$

$$d_0 = m \cdot z.$$

Если $Z \rightarrow \infty$, то получается исходный контур ЗР (рис. 1.9)

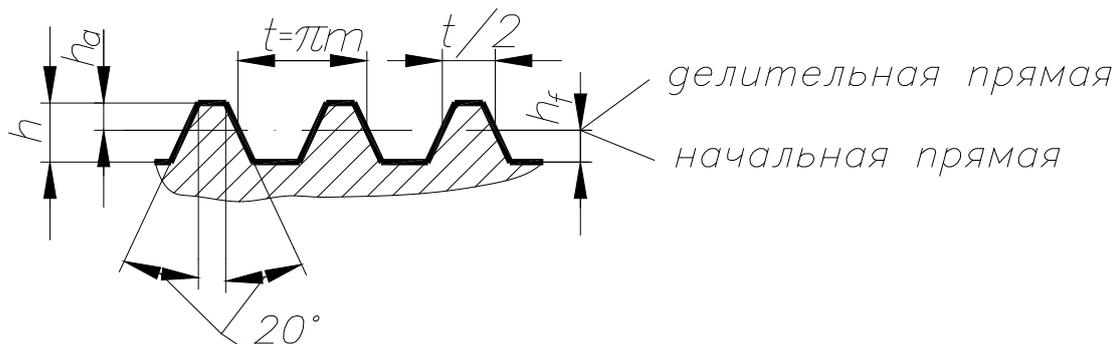


Рис. 1.9. Исходный контур зубчатой рейки

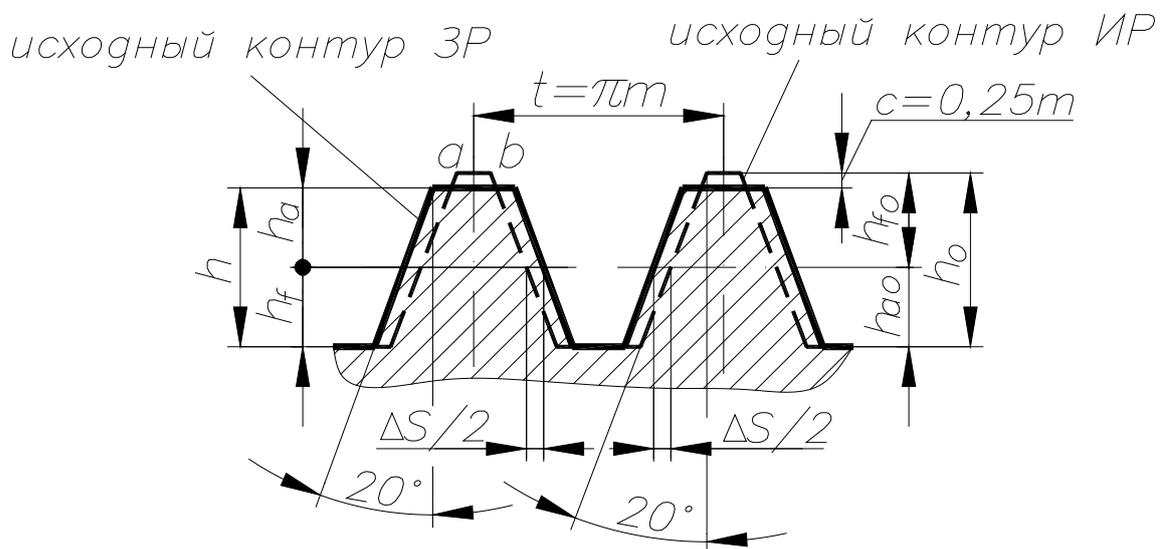


Рис. 1.10. Исходный контур инструментальной рейки

Отличие ИР от ЗР:

1. Зуб ИР делается несколько шире впадины ЗР, что необходимо для:

а) образования на ЗК гарантированного бокового зазора в паре работающих сопряженных ЗК для компенсации погрешностей их установки относительно друг друга;

б) размещения на боковых сторонах зубьев масляной пленки.

2. Высота ножки ИР делается на 0,25m больше высоты головки зуба нарезаемого колеса, т.е. вершины зубьев нарезаемого колеса не обрабатывается при зубонарезании, а линия впадин ИР ab не участвует в резании. Все остальные параметры равны.

Количественные зависимости ИР и ЗР:

$$h_{f0} = h_a + c = 1 \cdot m + 0,25 \cdot m = 1,25 \cdot m;$$

$$h_{a0} = h_f = 1,25 \cdot m; h_0 = h_{a0} + h_{f0} = 2,5 \cdot m;$$

$$t_0 = t = \pi \cdot m; \alpha_0 = \alpha = 20^\circ; S_0 = S + \Delta S = \frac{\pi \cdot m}{2} + \Delta S.$$

Профиль полученной нами ИР кладется в основу проектирования профиля любого зуборезного инструмента.

1.7.2. ЧЕРВЯЧНО-МОДУЛЬНЫЕ ФРЕЗЫ

Червячно-модульные фрезы (ЧМФ) изготавливаются на основе червяка (основной червяк), который при своем вращении создает эффект бесконечно движущейся инструментальной рейки, что позволяет изготавливать ЗК с любым z, не прибегая к процессу деления, который может иметь место при нарезании ЗК зуборезной рейкой, когда ее длина меньше длины начальной окружности нарезаемого колеса.

1.7.2.0. ОСНОВНЫЕ ЧЕРВЯКИ ЧМФ

В машиностроении известны следующие три типа основных червяков:

- 1) эвольвентный червяк;
- 2) конвалютный червяк;
- 3) архимедов червяк.

Архимедов червяк получается как результат винтового движения прямой образующей линии, проходящей через ось винтового движения. Сечение этой винтовой поверхности плоскостью, перпендикулярной оси винтового движения, дает архимедову кривую.

Эвольвентная винтовая поверхность получается при обкатывании без скольжения образующей прямой линии по основному цилиндру, расположенному соосно оси винтового движения. При этом образующая линия является касательной к винтовой линии на основном цилиндре. В сечении эвольвентно-винтовой поверхности плоскостью, перпендикулярной оси винтового движения, получается эвольвента.

Конвалютная винтовая поверхность получается в результате винтового движения образующей прямой линии, параллельной прямой образующей при получении эвольвентной винтовой поверхности и отстоящей от нее на некотором расстоянии либо в «+», либо в «-». В сечении этой винтовой поверхности плоскостью, перпендикулярной оси винтового движения, получим конвалюту.

На рис. 1.11 заштрихованные площади – это сечения токарных резцов с передним углом $\gamma=0$ плоскостью, параллельной плоскости рисунка.

Рассмотрим линии, получаемые в различных сечениях этих трех червяков (рис. 1.11).

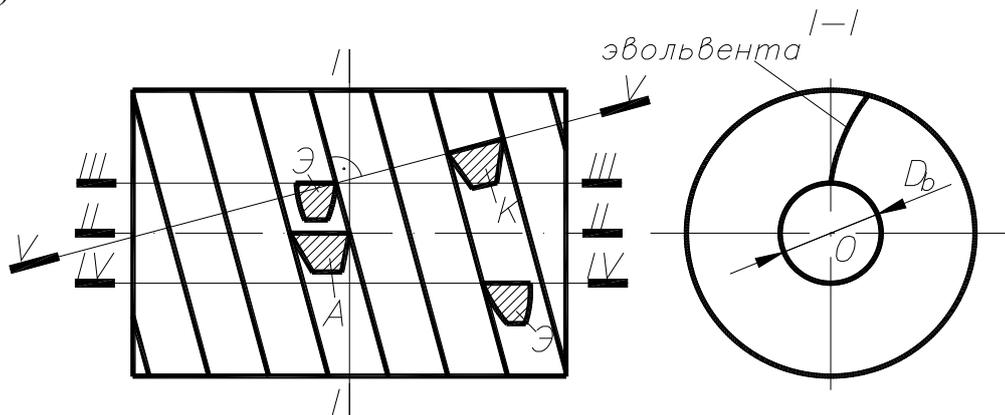


Рис. 1.11. Различные сечения червяков

Сечения	Вид кривой		
	Эвольвента	Конвалюта	Архимедова кривая
I-I	эвольвента	конвалюта	Архимедова спираль
II-II	кривая	кривая	прямая
III-III	лев.- прямая прав.- кривая	кривая	кривая
IV-IV	лев.- кривая прав.- прямая	кривая	кривая
V-V	кривая	прямая	кривая



Рис. 1.12. Профиль зуба ЧМФ на основе эвольвентного червяка в сечениях I-IV

Теоретически самое точное ЗК может быть изготовлено ЧМФ на основе эвольвентного червяка (рис. 1.12). Однако эта точность будет обеспечена только до первой переточки зуба фрезы, т.к. при этой переточке не сохраняется требуемый профиль боковой поверхности зуба ЧМФ.

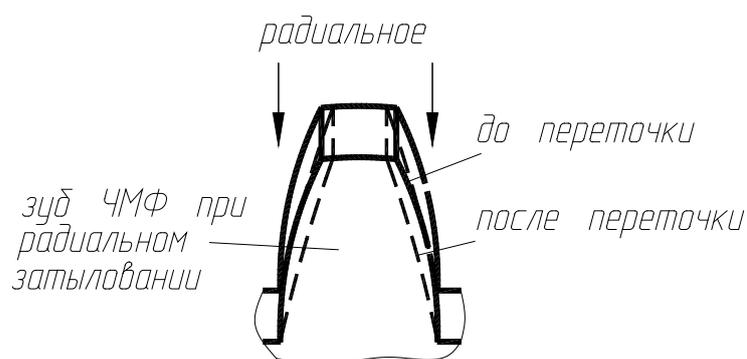


Рис. 1.13. Схема радиальной переточки зуба ЧМФ

Сохранить точный профиль боковой поверхности зуба можно, применив осевое затылование (рис. 1.14).

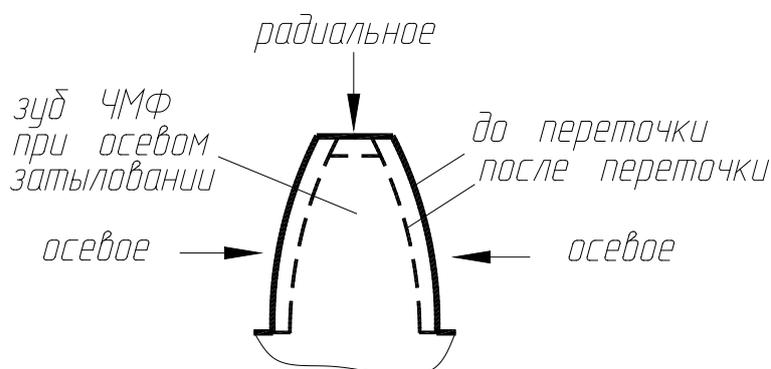


Рис. 1.14. Схема осевого затылования зуба ЧМФ

Однако при этом зуб становится тоньше (т.е. возможна переточка только в пределах допуска на ширину впадины нарезаемых ЗК). Кроме того, нужно радиальное затылование для вершины зуба – трудоемкость увеличивается.

Все это привело к тому, что эвольвентный червяк на практике не используется для изготовления ЧМФ.

Использование архимедова червяка теоретически дает менее точные ЗК, но из-за того, что профиль зуба этого червяка в осевом сечении II-II прямолинеен, этот червяк может быть проконтролирован на точных измерительных средствах по углу профиля боковой поверхности зуба, осевому шагу и толщине зуба. Этот червяк наиболее часто применяется для изготовления чистовых ЧМФ.

Конвалютные червяки используются для изготовления неточных ЧМФ, для предварительной черновой обработки ЗК (например, дальнейшая обработка ЗК производится шевером или шлифованием после закалки).

1.7.2.0(штрих). ОСЕВОЙ ШАГ И ОСЕВОЙ ПРОФИЛЬ ЗУБЬЕВ ЧМФ, СПРОФИЛИРОВАННЫХ НА ОСНОВЕ АРХИМЕДОВА ЧЕРВЯКА

Осевой шаг – расстояние между одноименными точками ИР.

Как указано выше, для изготовления чистовых ЧМФ в основном применяются архимедовы червяки. Для изготовления стандартных ЗК профиль

инструментальной стандартной рейки должен находиться в нормальном к виткам червяка сечении на его расчетном диаметре (см. ниже).

Определим угол профиля зуба архимедова червяка в осевом сечении по известному углу профиля ИР $\alpha = 20^\circ$ и углу наклона винтовой линии на расчетном диаметре ω_t (рис. 1.15).

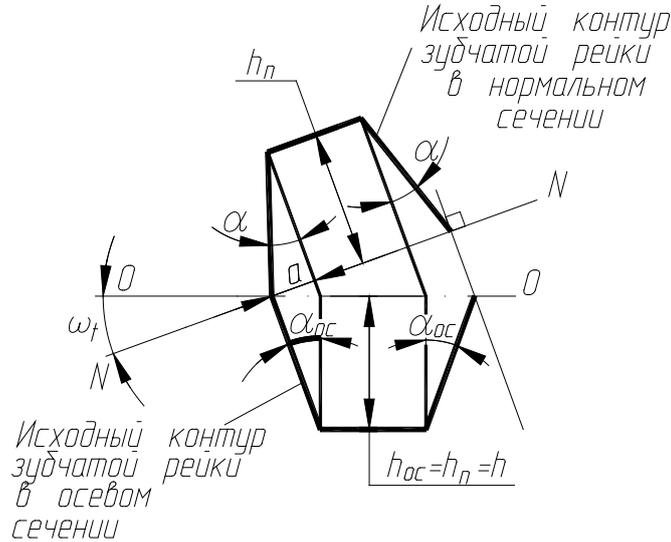


Рис. 1.15. Схема к определению угла профиля зуба архимедова червяка

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{h_n}; \quad (1)$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{oc} = \frac{a}{h_{oc} \cdot \cos \omega_t}; \quad (2)$$

На основании того, что $h_n = h_{oc} = h$, заменим отношение a/h_{oc} в ф. (2) на $\operatorname{tg} \alpha$ в соответствии с ф. (1). Получим

$$\operatorname{tg} \alpha_{oc} = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \omega_t} \text{ или } \operatorname{ctg} \alpha_{oc} = \operatorname{ctg} \alpha \cdot \cos \omega_t.$$

Задний угол в осевом сечении α_{oc} необходим для контроля угла профиля ЧМФ в ее осевом сечении при угле наклона стружечных канавок $\omega_k = 0$. Равенство расчетного и измеренного на каком либо приборе α_{oc} доказывает точность изготовления фрезы по углу профиля.

ЧМФ также могут изготавливаться с $\omega_k \neq 0$, а именно $\omega_k = \omega_t$, т.е. стружечные канавки расположены перпендикулярно виткам червяка на его расчетном диаметре. В этом случае на виде на переднюю поверхность зуба ЧМФ при направлении взгляда перпендикулярно ее оси, мы увидим неодинаковые углы профиля на левых и правых боковых сторонах зуба фрезы (вершина зуба вверху). Это изменение углов происходит из-за радиальнозатылованной задней поверхности зуба ЧМФ (рис. 1.16).

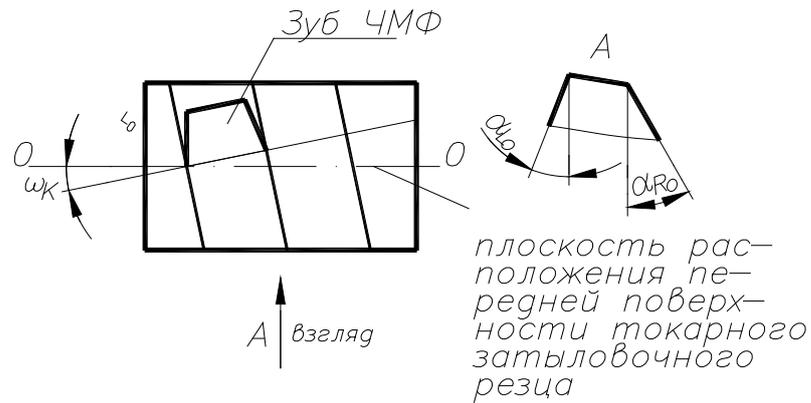


Рис. 1.16. Профиль зубьев ЧМФ после их радиального затылования при $\omega_k \neq 0$

$$\operatorname{ctg} \alpha_{R0(L0)} = \operatorname{ctg} \alpha_{OC} m \frac{k \cdot z_0}{P_z},$$

где k - величина падения затылка основного (первого) затылования ЧМФ;

z_0 - число стружечных канавок ЧМФ;

P_z - осевой шаг винтовых стружечных канавок ЧМФ.

Поскольку в осевом сечении архимедова червяка боковые поверхности зуба являются прямыми линиями, то эти параметры (α_{OC} , α_{L0} , α_{R0}) легко и точно контролируются (могут быть изготовлены точными ЧМФ – получить точные ЗК).

В зависимости от степени точности нарезаемого ЗК ЧМФ могут быть изготовлены с разной степенью точности, которая обозначается буквами АА, А, В, С, Д (слева направо точность убывает).

Например: ЧМФ класса точности АА (прецизионные ЧМФ) позволяют изготовить ЗК 7-ой степени точности.

1.7.2.1. ПОНЯТИЯ О РАСЧЕТНОМ СЕЧЕНИИ И РАСЧЕТНОМ ДИАМЕТРЕ ЧЕРВЯЧНО-МОДУЛЬНЫХ ФРЕЗ

В процессе нарезания ЗК ЧМФ начальный цилиндр ЧМФ обкатывается без скольжения по начальной окружности нарезаемого ЗК. Диаметр начального цилиндра фрезы меньше наружного диаметра ЧМФ на величину $2h_{a0}$.

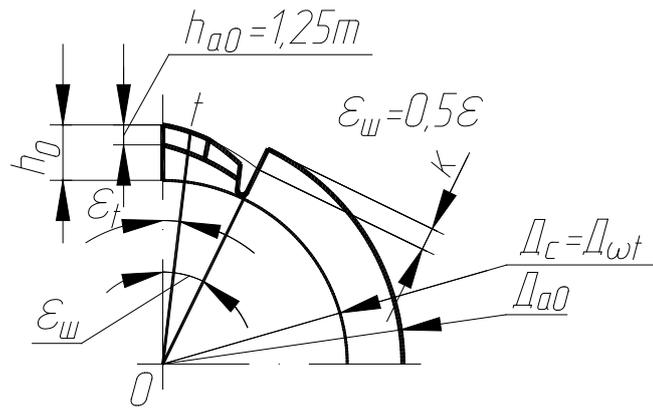


Рис. 1.17. Положение расчетного сечения зуба ЧМФ

$$D_w = D_{a0} - 2 \cdot h_{a0}, \text{ где } h_{a0} = 1,25 \cdot m \text{ (нарезает ножку ЗК).}$$

По мере переточки ЧМФ по передней поверхности ее наружный диаметр D_a будет уменьшаться, а, следовательно, будет уменьшаться и D_w , т.к. $h_{a0} = \text{const}$. При изменении D_w будет изменяться угол наклона винтовой линии на этом диаметре, а, следовательно, должен меняться угол установки фрезы ω по отношению к торцу заготовки. Поскольку на практике угол установки ЧМФ ω после переточки не меняют, то нарезаемые ЗК получают с разной величиной окружного шага на делительном диаметре.

ГОСТ на ЗК предусматривает симметричное расположение допуска на окружной шаг ЗК. В связи с этим вводится понятие расчетного сечения O_t , расположенного под углом ϵ_t по отношению к передней поверхности нового зуба, которая расположена примерно посередине рабочей части зуба ЧМФ (рис. 1.17).

В этом сечении определяется угол наклона ω_t винтовой линии на начальном цилиндре ЧМФ, диаметр которого равен расчетному диаметру. Именно этот угол ω_t маркируется на торце ЧМФ и именно под этим углом устанавливают фрезу по отношению к торцу заготовки ЗК независимо от количества переточек зуба ЧМФ. Это приводит к тому, что окружной шаг на делительной окружности нарезаемых ЗК, также изменяется при переточки ЧМФ, но находится в пределах допуска на него.

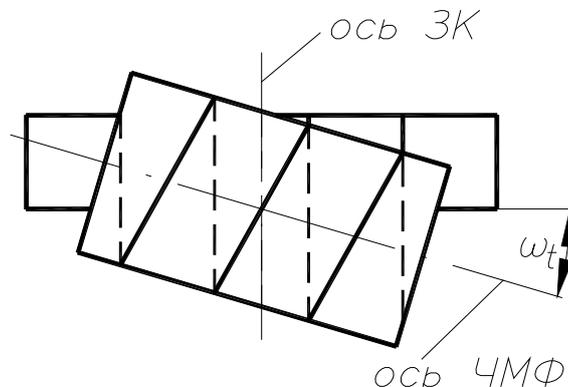


Рис. 1.18. Положение инструмента относительно заготовки

$$D_{wt} = D_t = D_a - 2 \cdot h_{a0} - 2 \cdot \frac{\epsilon_t}{\epsilon_w} \cdot k = D_a - 2 \cdot h_{a0} - 2 \cdot 0,25 \cdot k.$$

Начальный цилиндр ЧМФ расположен соосно оси фрезы и касается начального цилиндра ЗК в некоторой точке Р, называемой полюсом зацепления. ИР расположена в плоскости оси нарезаемого ЗК и проходит через полюс Р. Вследствие чего начальная прямая ИР является частью эллипса, причем чем больше угол ω_t (рис. 1.18), тем больше кривизна этой начальной кривой и больше погрешность нарезаемых ЗК.

Наружный D_{a0} , начальный D_{w0} и внутренний D_{f0} диаметры новой фрезы связаны зависимостями:

$$D_{a0} = D_{w0} + 2 \cdot h_{a0}; \quad D_{f0} = D_{w0} - 2 \cdot h_{f0},$$

где $h_{a0} = 1,25 \cdot m$, $h_{f0} = 1,25 \cdot m$.

1.7.2.2. ВЛИЯНИЕ НАРУЖНОГО ДИАМЕТРА, УГЛА НАКЛОНА ω И ЧИСЛА ЗАХОДОВ ВИТКОВ ЗУБЬЕВ ФРЕЗЫ НА ТОЧНОСТЬ НАРЕЗАЕМЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

$\downarrow \omega_t \rightarrow \uparrow D_{w0} \rightarrow \uparrow D_{a0}$. Изобразим развертку винтовой линии зуба ЧМФ:

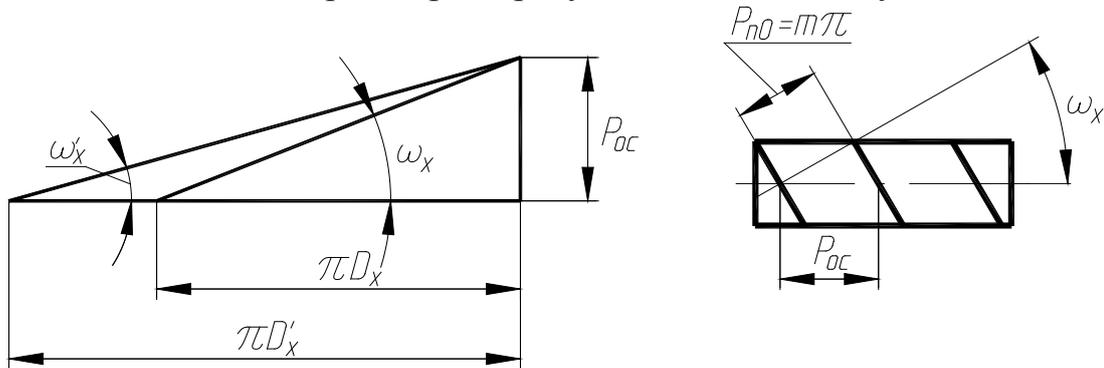


Рис. 1.19. Развертка винтовой линии зуба ЧМФ

$$P_{OC} = \frac{\pi \cdot m}{\cos \omega_x}; \quad \operatorname{tg} \omega_x = \frac{P_{OC}}{\pi \cdot D_x} = \frac{P'_{OC} \cdot i}{\pi \cdot D_x},$$

где P_{OC} – осевой шаг между витками зубьев ЧМФ;

P'_{OC} – осевой шаг между соседними витками;

i – число заходов фрезы.

$$\operatorname{tg} \omega_x = \frac{\pi \cdot m \cdot i}{\pi \cdot D_x \cdot \cos \omega_x} = \frac{m \cdot i}{D_x \cdot \cos \omega_x}; \quad P_{OC} = \frac{P_{n0}}{\sin \omega_x}; \quad \frac{\sin \omega_x}{\cos \omega_x} = \frac{m \cdot i}{D_x \cdot \cos \omega_x},$$

откуда $\sin \omega_x = \frac{m \cdot i}{D_x}$.

$\downarrow \omega_t \rightarrow \uparrow D_{w0} \rightarrow \uparrow D_{a0}$

←	→
Положительные стороны	Отрицательные стороны

<p>1) возможно увеличение диаметра оправки ЧМФ (жёсткость ↑, вероятность вибраций ↓).</p> <p>2) увеличивается теплоотвод в РИ, так как растет его масса.</p> <p>3) увеличивается точность нарезаемых ЗК, так как кривизна начальной кривой ИР уменьшается.</p> <p>4) возможно увеличение числа рядов зубьев Z_0 ЧМФ (стружечных канавок), что ведет к уменьшению огранки боковой поверхности зуба нарезаемого ЗК.</p>	<p>1) увеличивается стоимость ЧМФ, так как растет масса фрезы.</p> <p>2) уменьшается производительность обработки при $Z_0 = \text{const}$ и скорости резания $V = \text{const}$ (доказать самостоятельно – док-во приведено ниже).</p>
--	---

Доказательство уменьшения производительности обработки при увеличении диаметра ЧМФ (при $Z_0 = \text{const}$ и скорости резания $V = \text{const}$). **Время обработки заготовки (ЗК) ЧМФ в минуту.** t_0 определяется по формуле:

$$t_0 = \frac{l}{S_{\text{прод}}}, \quad (1)$$

где l – рабочий ход ЧМФ, мм

$S_{\text{прод}}$ – продольная подача, мм/мин

Обычно подача задается в мм/оборот зубчатого колеса $\rightarrow S'$

Выразим $S_{\text{прод}}$ через S' .

За 1 мин. фреза делает n_0 об/мин:
$$n_0 = \frac{1000 \cdot V_{\text{рез}}}{\pi \cdot d_{a0}}; \quad (2)$$

За 1 мин. заготовка делает x оборотов:

1 оборот фрезы соответствует $\frac{i}{z}$ оборота заготовки,

а n_0 фрезы соответствует x оборотов заготовки.

Откуда $x = \frac{n_0 \cdot i}{z}$, оборотов зуб. колеса / за 1 мин.

Тогда $S_{\text{прод}} = S' \cdot x$; подставив $S_{\text{прод}}$ в ф. (1), получим

$$t_0 = \frac{l \cdot z}{S' \cdot n_0 \cdot i}; \quad \text{заменив } n_0 \text{ по ф. (2), } t_0 = \frac{l \cdot z \cdot \pi \cdot d_{a0}}{S' \cdot 1000 \cdot V_{\text{рез}} \cdot i}. \quad (3)$$

Из (3) следует, $\uparrow d_{a0} \Rightarrow \uparrow t_0$ при $V_{\text{рез.}} = \text{const}, S' = \text{const}$,

что $\uparrow i \Rightarrow \downarrow t_0$ при $V_{\text{рез.}} = \text{const}, S' = \text{const}$.

Конец доказательства.

Увеличение числа заходов фрезы i приводит к увеличению ω_t , что вызывает те последствия, которые перечислены выше. Кроме того, увеличение i приводит к

увеличению производительности обработки, так как на один оборот однозаходной фрезы ($i=1$) заготовка повернется на $1/z_K$ оборота (где z_K - число зубьев нарезаемого ЗК), для двухзаходной фрезы - на $2/z_K$ оборота, для трехзаходной фрезы - на $3/z_K$ и т.д. Следовательно, многозаходные фрезы используются для черновой (предварительной) обработки ЗК, а чистовые фрезы всегда делаются однозаходными.

1.7.2.3. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЧЕРВЯЧНО-МОДУЛЬНЫХ ФРЕЗ

Их рассматривают по отношению к скорости относительного движения режущих кромок фрезы относительно обрабатываемой заготовки (рис. 1.20).

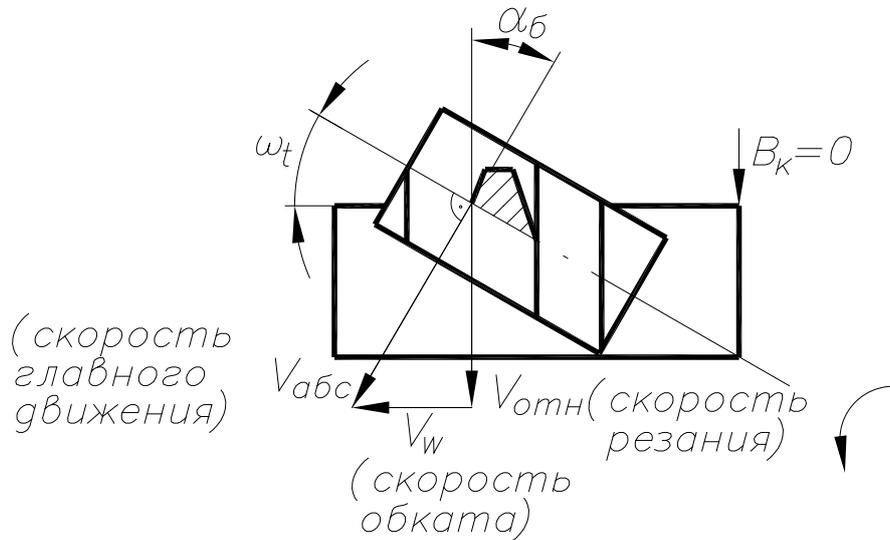


Рис. 1.20. Скорости относительного движения режущих кромок фрезы относительно обрабатываемой заготовки

Передний угол ЧМФ делают, как правило, равным 0, так как при $\gamma \neq 0$ происходит искажение профиля нарезаемых ЗК, для устранения которого необходим корректировочный расчет профиля зуба фрезы.

Передний угол на боковых сторонах зуба фрезы зависит от направления стружечных канавок. При канавках, расположенных параллельно оси фрезы, передние углы на боковых сторонах равны по абсолютной величине, но противоположны по знаку. При винтовых стружечных канавках как $\gamma_{бок. лев.} = \gamma_{бок. прав.} = 0$.

При стружечных канавках, параллельных оси фрезы обеспечивается равномерность фрезерования, технологичность фрезы, ее заточки и контроля.

Задний угол на вершине зуба фрезы α_B зависит от величины падения затылка k :

$$\operatorname{tg} \alpha_B = \frac{k \cdot z_0}{\pi \cdot D_{a0}}$$

Задний угол α_b в нормальном к боковой поверхности зуба сечении определяется по формуле (т. М на рис. 1.21):

$$\operatorname{tg} \alpha_{6M} = \frac{D_{a0}}{D_{OM}} \cdot \operatorname{tg} \alpha_B \cdot \sin \alpha_0.$$

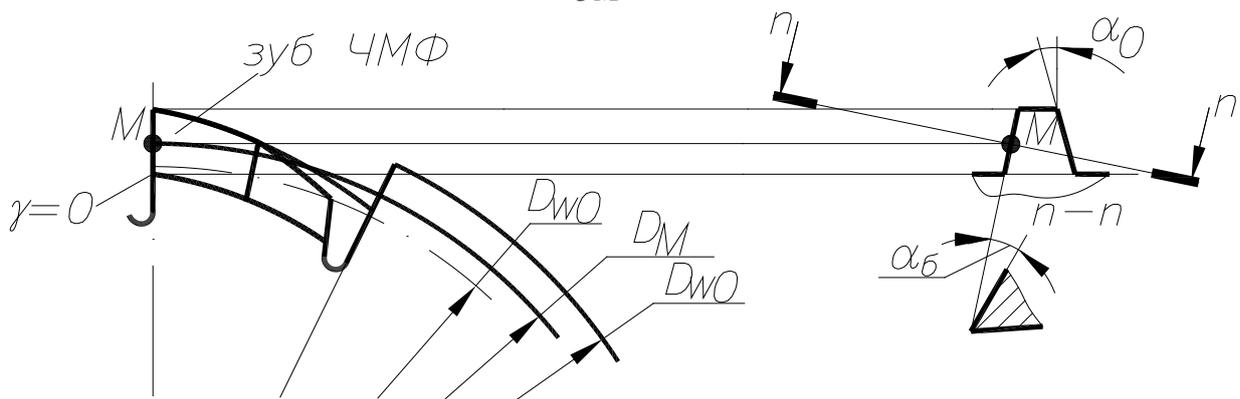


Рис. 1.21. Задний угол α_6 в нормальном сечении к боковой поверхности зуба

Обычно $\alpha_B = 9 \div 12^\circ$, что обеспечивает при $\alpha_0 = 20^\circ$ $\alpha_6 = 2 \div 4^\circ$.

1.7.2.4. РАЗНОВИДНОСТИ ЧЕРВЯЧНО-МОДУЛЬНЫХ ФРЕЗ

ГОСТом 9324-80 установлено 5 классов точности фрез в зависимости от степени точности нарезаемых зубчатых колёс.

АА, А, В, С, D (точность убывает слева направо).

В соответствии с этим ГОСТом установлены следующие типы фрез:

- 1) цельные, повышенной точности (прецизионные) – класс АА;
- 2) цельные, общего назначения - все классы точности кроме АА, нормальной или увеличенной длины (увеличение длины фрезы необходимо для увеличения периода стойкости путем ее переустановки вдоль оси фрезы);
- 3) фрезы сборной конструкции, классов А, В, С, D.

У ЧМФ возможно изготовление модифицированного профиля зуба (рис. 1.22):

- 1) для снятия фланка на нарезаемом ЗК (для исключения кромочного касания сопрягаемых ЗК) (рис. 1.22, а);
- 2) для получения требуемого распределения припуска на боковой стороне зуба нарезаемого ЗК под шевингование (на вершине зуба фрезы выполняется протуберанец, или утолщение) (рис. 1.22, б).

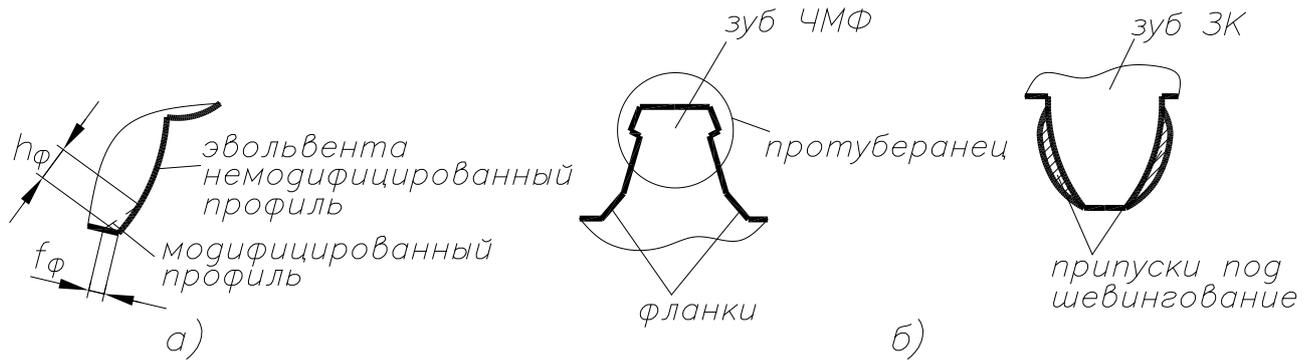


Рис. 1.22. Модификации зубьев ЧМФ

1.7.3. ДОЛБЯКИ

1.7.3.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ДОЛБЯКАХ

Зуборезный инструмент долбяк проектируется на основе ЗК. Для этого необходимо на ЗК образовать режущие клинья, т.е. передний γ и задний α углы.

Передний угол γ может быть обеспечен путем выполнения одного из торцов ЗК в виде конической поверхности, ось которой совмещена с осью ЗК.

Задний угол α может быть обеспечен путем непрерывного изменения величины коррекции в каждом сечении долбяка, перпендикулярном его оси от максимального $x > 0$ (новый долбяк), через сечение с $x = 0$ (исходное сечение долбяка) до $x < 0$ минимальное (полностью сточенный долбяк). Благодаря этому на вершине зуба долбяка и на его боковых сторонах образуются задние углы $\alpha > 0$, а сама боковая поверхность зуба долбяка представляет собой эвольвентную винтовую поверхность: эвольвентная потому, что образующей линией этой поверхности является эвольвента, а винтовой потому, что при переходе от одного сечения долбяка к другому происходит соответствующий поворот этой эвольвенты на угол, прямопропорциональный расстоянию между этими сечениями.

Долбяк можно рассматривать как совокупность бесконечно тонких ЗК, расположенных соосно друг другу с изменяющейся величиной коррекции от максимально допустимой $x > 0$, через $x = 0$ до минимально допустимой $x < 0$, при количестве ЗК $n \rightarrow \infty$ (рис. 1.23).

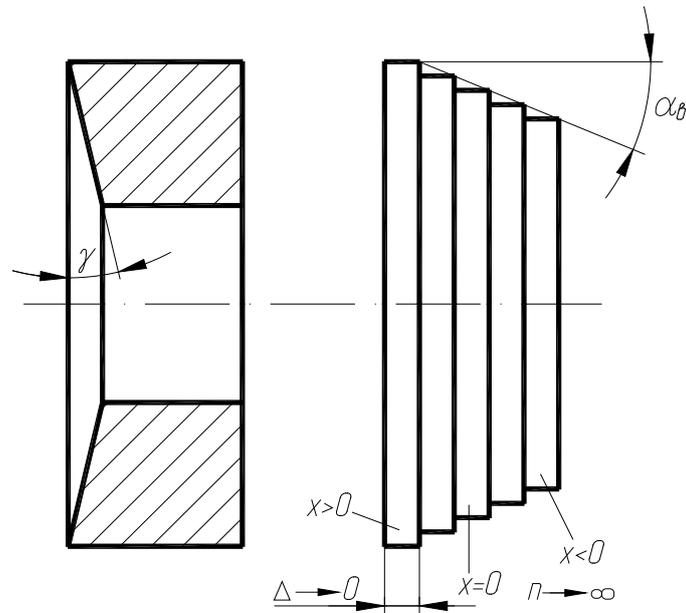
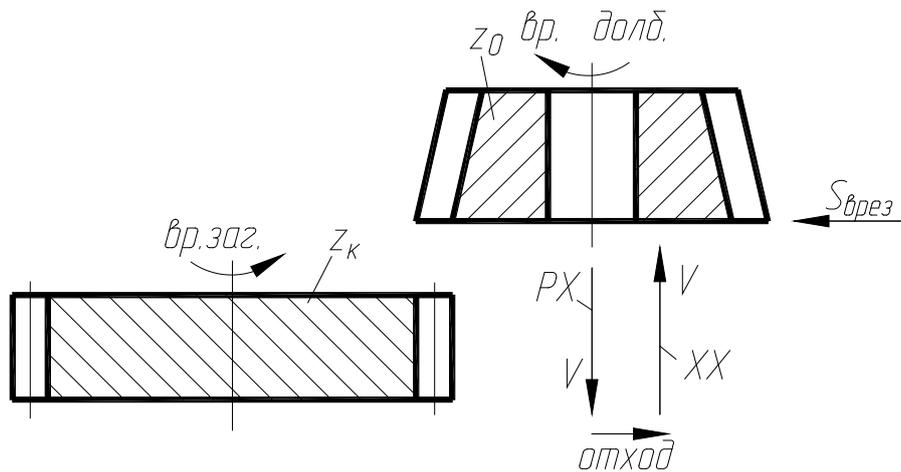


Рис. 1.23. Проектирование долбяка



$$1 \text{ оборот долбяка} = z_0/z_k \text{ об. заг.}$$

Рис. 1.24. Схема движений при работе прямозубого долбяка

Прямозубый долбяк нарезает ЗК методом центроидного огибания (обката), совершая при этом движения, изображенные на рис. 1.24.

1.7.3.2. ОСНОВНЫЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРЯМОЗУБОГО ДОЛБЯКА

- A – положительное исходное расстояние;
- A_1 – отрицательное исходное расстояние;
- h_{f0} – высота ножки зуба долбяка (вар);
- h_{a0} – высота головки зуба долбяка (вар);
- H – высота долбяка;

D_{f0} – внутренний диаметр долбяка;

D_{a0} – наружный диаметр долбяка;

D_0 – делительный диаметр долбяка;

D_{w0} – начальный диаметр долбяка;

D_{b0} – диаметр основной окружности долбяка;

$D_{отв0}$ – посадочный диаметр долбяка;

γ_b – передний угол на вершинках зубьев долбяка;

α_b – задний угол на вершинках зубьев долбяка;

x_0^{\min} , x_0^{\max} – величины абсолютной коррекции в сточенном и новом сечениях долбяка соответственно.

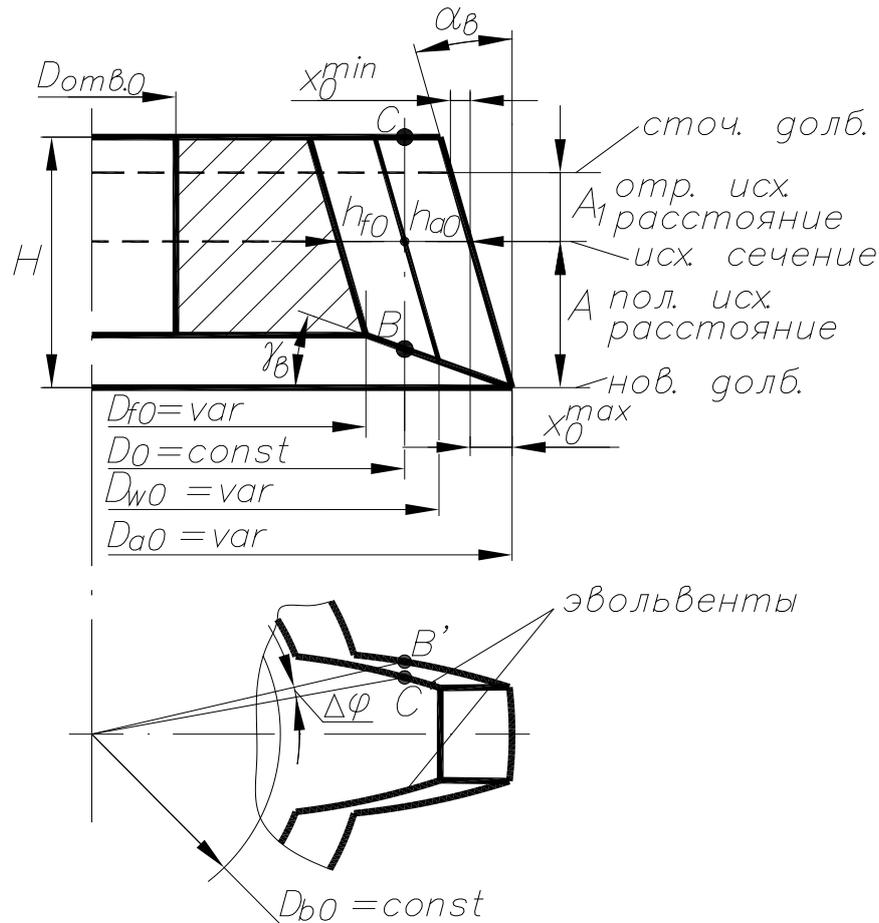


Рис. 1.25. Геометрические параметры долбяка

В исходном сечении:

$$h_{f0} = h_{a0} = 1,25 \cdot m; \quad h = h_{f0} + h_{a0} = 2,5 \cdot m.$$

Для всех сечений долбяка диаметр его основной окружности есть величина постоянная:

$$D_{b0} = D_0 \cdot \cos \alpha_0,$$

где α_0 – угол профиля эвольвенты зуба долбяка на его делительном диаметре.

Задний угол на вершинках зубьев долбяка определяется по формуле:

$$\operatorname{tg} \alpha_b = \frac{x_0^{\max}}{A} = \frac{|x_0^{\min}|}{|A_1|}.$$

Величина относительной коррекции в каком-либо сечении долбяка:

$$x_0' = \frac{x_0}{t}.$$

По мере переточки по передней поверхности появляются новые режущие кромки, также представляющие собой эвольвенты.

Чем отличаются эвольвентные профили зубьев долбяка в его различных сечениях?

Ответ: профили всех зубьев представляют собой разные участки одной и той же эвольвенты (т.к. диаметр основной окружности долбяка = const), которые при наложении друг на друга не совпадут из-за разной их кривизны.

По мере переточки долбяка также будет меняться толщина зубьев на любых окружностях долбяка: на вершинах зуба она увеличивается от нового сечения к сточенному, а по делительному диаметру- наоборот.

Расчет долбяка сводится к определению величин положительного A и отрицательного A_1 исходных расстояний. Сумма абсолютных величин этих расстояний представляет собой высоту рабочей части долбяка и стачивается при переточках: чем она больше, тем большее количество переточек возможно.

1.7.3.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА ПРОФИЛЯ ЗУБА ДОЛБЯКА НА ЕГО ДЕЛИТЕЛЬНОМ ДИАМЕТРЕ

Для получения ЗК с углом профиля эвольвенты на его делительном диаметре равным согласно ГОСТу 20° необходимо, чтобы проекция режущих кромок инструмента (долбяка) на торцовую плоскость заготовки (плоскость, перпендикулярную оси заготовки) имела так же угол профиля равный 20° . Из-за наличия переднего и заднего углов у зуба долбяка, угол профиля эвольвенты на его делительном диаметре в сечении, перпендикулярном его оси, получается несколько больше, чем угол профиля проекции его режущих кромок на торцовую плоскость заготовки. Следовательно, для получения ЗК с $\alpha = 20^\circ$ (согласно ГОСТ) необходимо, чтобы профильный угол в сечении долбяка плоскостью, перпендикулярной его оси, был несколько больше чем 20° и может быть рассчитан по следующей формуле. Для упрощения выводов возьмем долбяк с числом зубьев $z_0 = \infty$ - в этом случае его зубчатый контур трансформируется в инструментальную рейку (рис. 1.26).

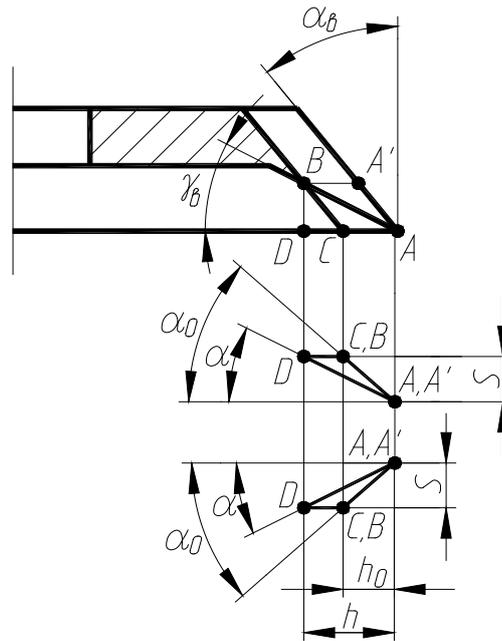


Рис. 1.26. Определение угла профиля зуба долбяка на его делительном диаметре

Углы профиля в сечении долбяка BA' (фигура $CAAC$, α_0) и в проекции на торец заготовки (фигура $DAAD$, α).

Из рисунка:

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{S}{h_0}; \operatorname{tg} \alpha = \frac{S}{h};$$

$$h_0 = h - CD; \quad CD = DB \cdot \operatorname{tg} \alpha_B;$$

$$DB = h \cdot \operatorname{tg} \gamma_B;$$

$$CD = h \cdot \operatorname{tg} \gamma_B \cdot \operatorname{tg} \alpha_B;$$

$$h_0 = h - h \cdot \operatorname{tg} \gamma_B \cdot \operatorname{tg} \alpha_B;$$

1.7.3.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАДНИХ УГЛОВ НА БОКОВОЙ РЕЖУЩЕЙ КРОМКЕ ЗУБА ПРЯМОЗУБОГО ДОЛБЯКА

Для упрощения выводов возьмем долбяк с числом зубьев $z_0 = \infty$, в таком случае он превратится в инструментальную рейку (рис. 1.27).

По формулам единой геометрии с учетом $\varphi = 90^\circ - \alpha$ и $\omega = 0$, имеем:

$$\operatorname{tg} \alpha_{II} = \operatorname{tg} \alpha_B \cdot \operatorname{tg} \alpha;$$

$$\operatorname{tg} \alpha_n = \operatorname{tg} \alpha_B \cdot \sin \alpha,$$

где α -угол профиля долбяка в проекции на плоскость, перпендикулярную оси долбяка.

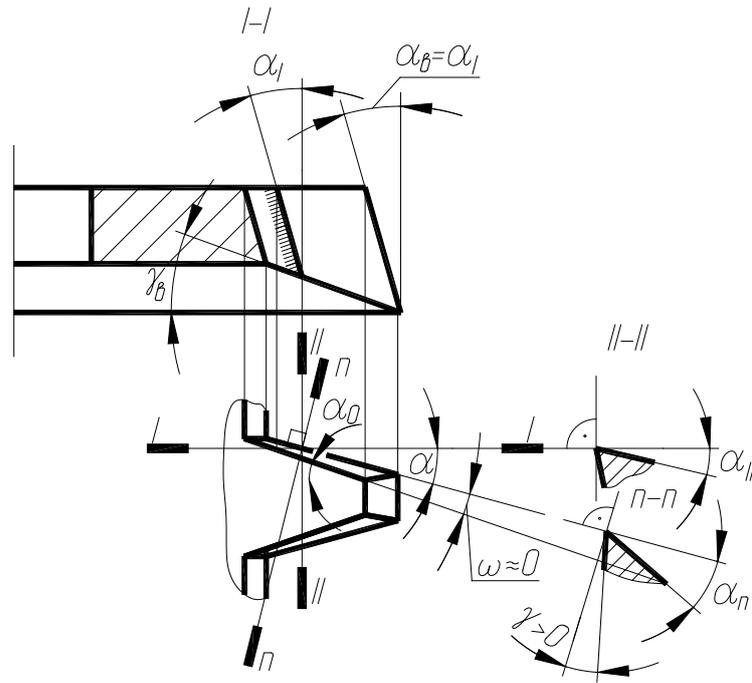


Рис. 1.27. Схема к определению задних углов долбяка в различных сечениях при $z_0 = \infty$

На реальном долбяке ($z_0 < \infty$) рассматриваемые сечения расположены следующим образом (рис. 1.28):

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{бок}} = \operatorname{tg} \alpha_B \cdot \operatorname{tg} \alpha;$$

$$\operatorname{tg} \alpha_n = \operatorname{tg} \alpha_B \cdot \sin \alpha.$$

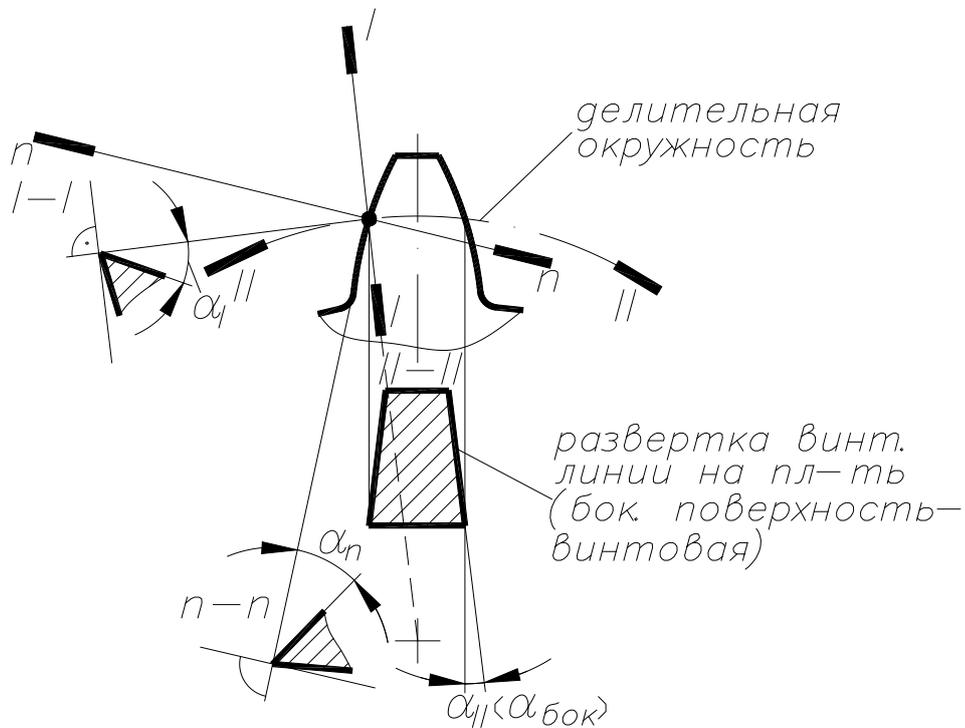


Рис. 1.28. Задние углы долбяка в различных сечениях при $z_0 < \infty$

1.7.3.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЛЩИНЫ ЗУБА ДОЛБЯКА ПО ДУГЕ ОКРУЖНОСТИ

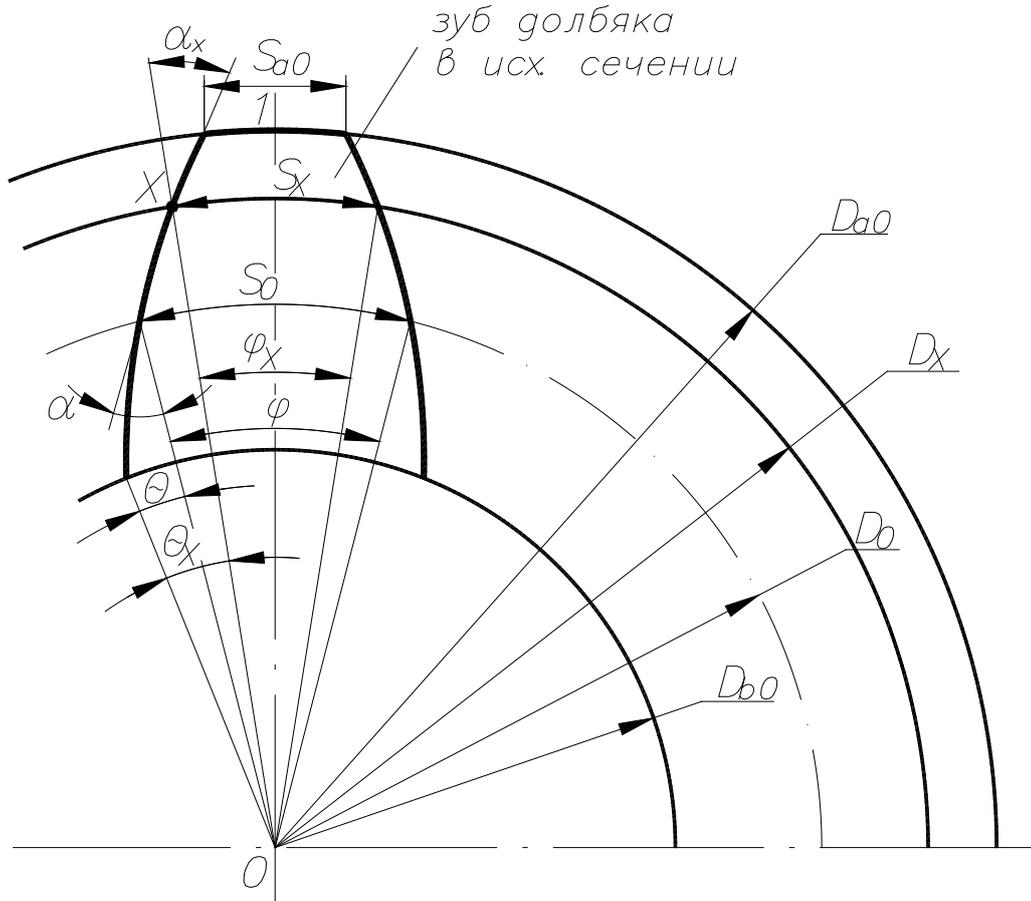


Рис. 1.29. Определение толщины зуба долбяка по дуге окружности

Для любой точки X (см. рис. 1.29):

$$\theta_x + \frac{\varphi_x}{2} = \text{const}. \text{ Тогда } \theta_x + \frac{\varphi}{2} = \theta_x + \frac{\varphi_x}{2}.$$

Т.к. $\theta = \text{inv}\alpha$ и $\theta_x = \text{inv}\alpha_x$, а $\frac{\varphi}{2} = \frac{S_0}{D_0}$ и $\frac{\varphi_x}{2} = \frac{S_X}{D_X}$, то получим

$$\text{inv}\alpha + \frac{S_0}{D_0} = \text{inv}\alpha_X + \frac{S_X}{D_X}, \text{ откуда } S_X = D_X \cdot \left(\frac{S_0}{D_0} + \text{inv}\alpha - \text{inv}\alpha_X \right),$$

$$\text{где } \alpha_X \text{ найдем из равенства } \frac{D_0}{2} \cdot \cos \alpha = \frac{D_X}{2} \cdot \cos \alpha_X = \frac{D_{b0}}{2},$$

т.е. $\alpha_X = \arccos \left(\frac{D_0}{D_X} \cdot \cos \alpha \right)$. Например, толщина зуба на его вершине:

$$S_{a0} = D_{a0} \cdot \left(\frac{S_0}{D_0} + \text{inv}\alpha - \text{inv}\alpha_a \right), \text{ где } \alpha_a = \arccos \left(\frac{D_0}{D_{a0}} \cdot \cos \alpha \right).$$

D_a , D_0 , D_{f0} - соответственно наружный, делительный, внутренний диаметры долбяка;

D_{b0} , D_X - соответственно диаметр основной окружности долбяка и окружности, проходящей через произвольную т. X профиля зуба;

θ , θ_X - соответственно эвольвентный угол для точки профиля зуба, лежащей на делительной окружности и на окружности, проходящей через произвольную т. X;

$\varphi/2$, $\varphi_X/2$ - соответственно половина центрального угла, заключающего дугу S_0 и S_X ;

S_0 - толщина зуба по дуге делительной окружности в исходном сечении долбяка;

S_X - толщина зуба по дуге окружности, проходящей через произвольную т. X, в исходном сечении долбяка;

S_{a0} - толщина зуба по дуге наружной окружности в исходном сечении долбяка;

0-1- ось симметрии зуба долбяка.

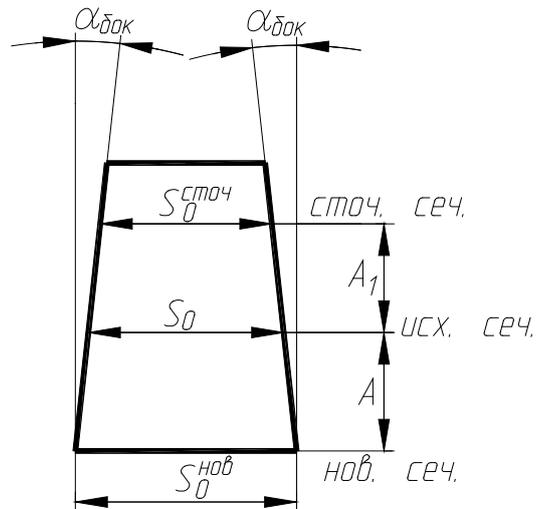


Рис. 1.30. Определим толщину зуба по делительной окружности в различных сечениях долбяка

Определим толщину зуба по делительной окружности в других сечениях долбяка (рис. 1.30):

$$\text{в исходном сечении: } S_0 = \frac{\pi \cdot m}{2} + \Delta S_0,$$

где ΔS_0 -нормированная величина утолщения зуба долбяка, необходимая для образования бокового зазора в зубчатом зацеплении нарезанных долбяком ЗК;

$$\text{в исходном сечении нового долбяка: } S_0^{\text{нов}} = S_0 + 2 \cdot A \cdot \operatorname{tg} \alpha_{\text{бок}};$$

в исходном сечении сточенного долбяка:

$$S_0^{\text{сточ}} = S_0 - 2 \cdot A_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{\text{бок}};$$

$$\text{по дуге окружности } D_X: S_X = D_X \cdot \left(\frac{S_0^{\text{нов}} (S_0^{\text{сточ}})}{D_0} + \operatorname{inv} \alpha - \operatorname{inv} \alpha_X \right).$$

1.7.3.6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛА ЗУБЬЕВ ДОЛБЯКА Z_0

Уменьшение z_0	Увеличение z_0
1. Возможно срезание вершин зубьев ЗК внешнего зацепления переходной кривой у ножки зуба долбяка (рис. 1.31, а). 2. Возможен срез головки зуба колеса внутреннего зацепления ножкой зуба долбяка (рис. 1.31, б).	1. Увеличивается габариты долбяка и, следовательно, его стоимость ($D_0 = mz_0$). 2. Возможно подрезание ножки зуба колеса внешнего зацепления вершиной зуба долбяка (рис. 1.31, в).

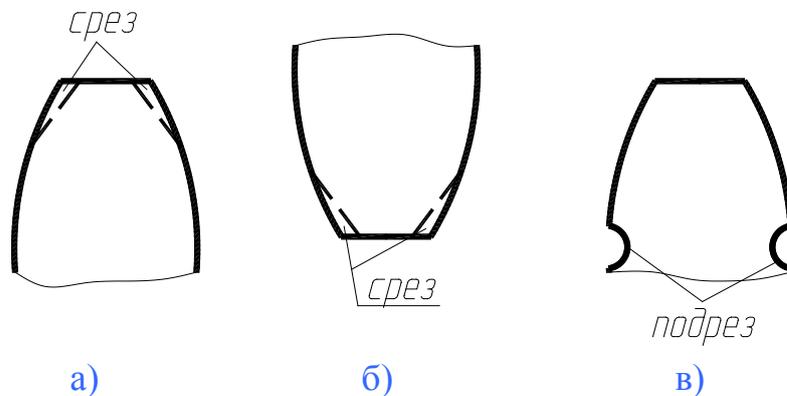


Рис. 1.31. Срезание вершин и подрезание ножки зубьев ЗК

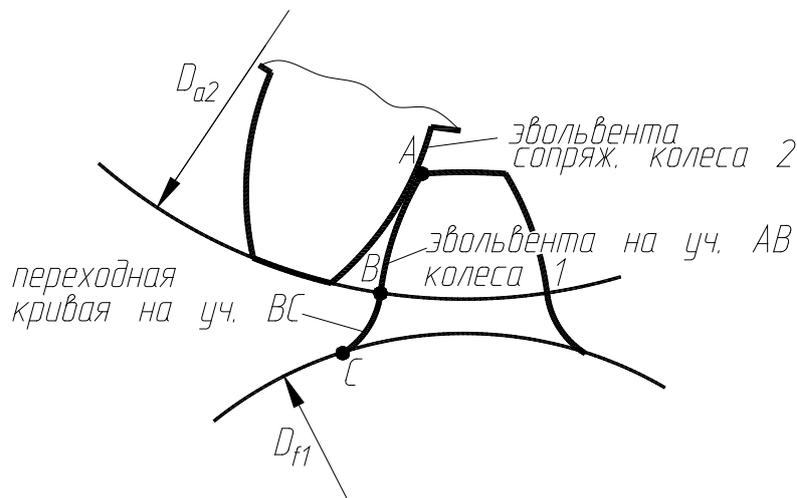


Рис. 1.32. Рабочий участок эвольвенты и переходная кривая в основании зуба

Кроме того, количество зубьев долбяка z_0 оказывает влияние на расположение начала переходной кривой у ножки зуба нарезаемого ЗК.

Если т. В (рис. 1.32) будет перекрываться рабочим участком эвольвенты (боковой поверхностью) сопряженного с первым колеса 2, то зацепление колес 1 и 2 будет неправильным.

На выбор z_0 влияет набор копиров и делительных дисков на зубошлифовальном станке. Желательно также для удобства измерения размеров, чтобы z_0 было четным.

На практике число z_0 выбирают по таблицам ГОСТов в зависимости от модуля m и числа зубьев нарезаемого ЗК z_1 .

С увеличением положительного и отрицательного исходных расстояний увеличивается количество переточек долбяка. Однако увеличение величин A и A_1 имеет ограничение: при увеличении A происходит утонение вершины зуба долбяка и возможно подрезание ножки зуба нарезаемого ЗК вершиной зуба долбяка; при увеличении A_1 возможно подрезание головки зуба нарезаемого ЗК переходной кривой в основании зуба долбяка.

1.7.3.7. ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА КОСОЗУБЫХ ДОЛБЯКОВ

Косозубые долбяки применяются для нарезания косозубых, в том числе шевронных колес (рис. 1.33).

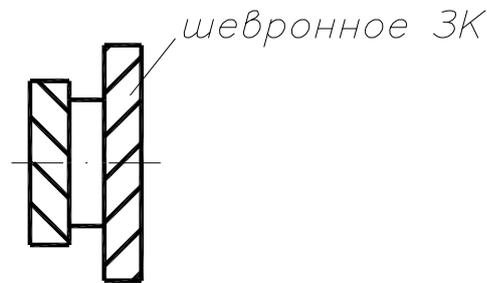


Рис. 1.33. Шевронное колесо

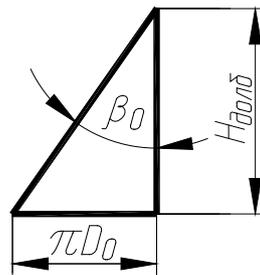


Рис. 1.34. Развертка винтовой линии зуба долбяка на его делительном диаметре

$$\operatorname{tg} \beta_0 = \frac{\pi \cdot D_0}{H_{\text{долб}}} = \frac{\pi \cdot m_t \cdot z_0}{H_{\text{долб}}}; m_t = m / \cos \beta_0; \operatorname{tg} \beta_0 = \frac{\pi \cdot m \cdot z_0}{H_{\text{долб}} \cdot \cos \beta_0}; H_{\text{долб}} = H_{\text{копир}};$$

$$\beta_0 = \beta;$$

$$z_0 = \frac{H_{\text{копир}} \cdot \sin \beta}{\pi \cdot m}.$$

По выведенной формуле можно определить число зубьев косозубого долбяка z_0 . Обычно зубодолбежные станки снабжаются одним или двумя копиями, поэтому можно получить 2 значения z_0 долбяка. При этом z_0

получается, как правило, нецелым и его следует округлить до ближайшего целого $z_0^{окр}$ и пересчитать угол наклона зубьев колеса и долбяка β' :

$$\sin \beta' = \frac{\pi \cdot m \cdot z_0^{окр}}{H_{копир}}, \quad \beta' = \beta \pm 3^\circ.$$

Допускается отклонение β' от β в меньшую или большую сторону не более чем на 3° , т.е. $\beta - 3^\circ \leq \beta' \leq \beta + 3^\circ$.

Движения, совершаемые при долблении (рис. 1.35).

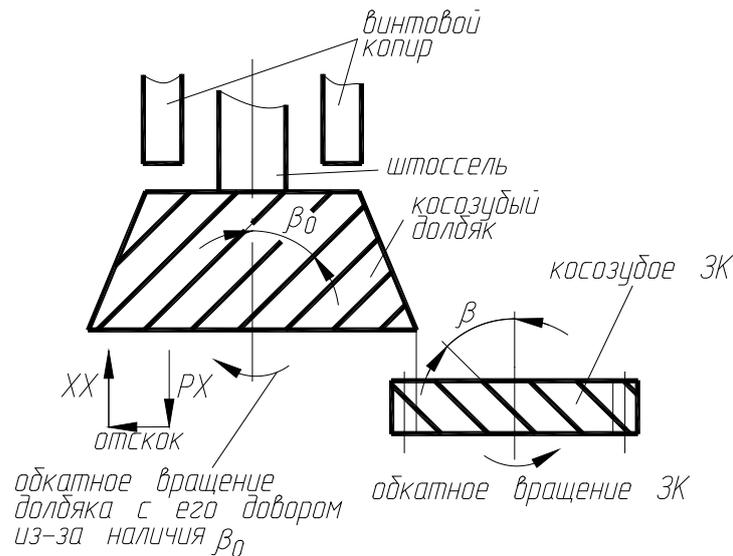


Рис. 1.35. Движения при работе косозубого долбяка

Долбяк совершает возвратно-поступательное движение, состоящее из рабочего хода (РХ) и холостого хода (ХХ), причем в конце РХ долбяку или заготовке сообщается «отскок» для исключения задевания вершин зубьев долбяка о заготовку (повышенный износ или даже поломка вершины зуба). Долбяк вместе с заготовкой ЗК совершает согласованное обкатное движение. При возвратно-поступательном движении долбяка происходит его дополнительный доворот, связанный с его косоубостью за счет взаимодействия штосселя долбяка с винтовым копиром. Вначале обработки имеется радиальная врезная подача долбяка до достижения полной глубины профиля зубьев ЗК. Это врезание может происходить на какой-то части оборота заготовки ЗК. Для получения годного ЗК заготовка должна совершить такое количество оборотов, чтобы был получен полный профиль зубьев на всем зубчатом венце.

При расчете косозубого долбяка также учитываются все обстоятельства (ограничения), которые имеют место при расчете прямозубого долбяка.

1.7.3.8. ФОРМЫ ЗАТОЧКИ ПЕРЕДНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ КОСОЗУБЫХ ДОЛБЯКОВ

Существуют 2 формы заточки передней поверхности косозубых долбяков.

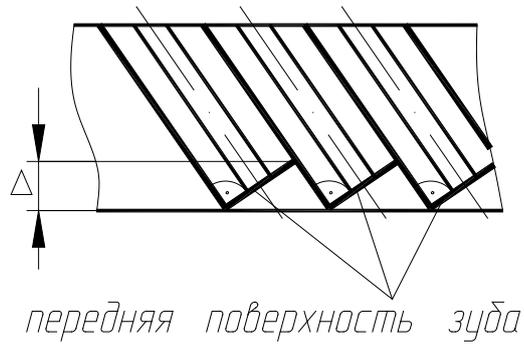


Рис. 1.36. Первая форма передней поверхности зубьев косозубого долбяка

$$\gamma_{\text{лев}} = \gamma_{\text{прав}} = 0^{\circ}$$

1. Форма передней поверхности зубьев долбяка, перпендикулярна направлению этих зубьев (рис. 1.36). Каждый зуб затачивается индивидуально. Из-за относительно большой величины Δ не применяются для изготовления шевронных колес.

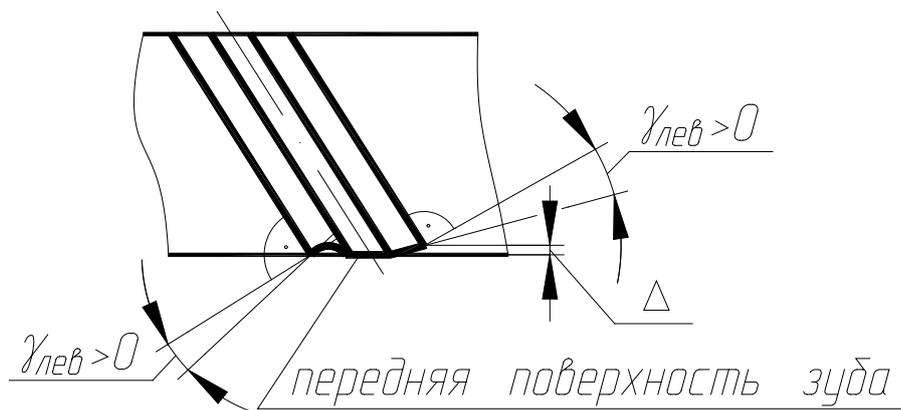


Рис. 1.37. Вторая форма передней поверхности зубьев косозубого долбяка

2. Большая часть передней поверхности зубьев долбяка выполнена в виде конической поверхности, а по боковым сторонам зуба вдоль режущих кромок по передней поверхности с одной стороны зуба имеется канавка, а с другой фаска для выравнивания значений передних углов в главной секущей плоскости (рис. 1.37). Эти долбяки используются для изготовления шевронных ЗК из-за малого Δ .

1.7.4. ШЕВЕРЫ

1.7.4.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ШЕВЕРАХ И КИНЕМАТИКА РАБОТЫ ДИСКОВЫХ ШЕВЕРОВ

Применяются для чистовой обработки цилиндрических прямозубых и косозубых колес в «сыром» состоянии, т.е. до термообработки.

Принцип работы шевера (Ш) основан на относительном движении его зубьев относительно зубьев шевингуемого ЗК. На боковых сторонах зубьях Ш имеются режущие кромки.

Шевингование увеличивает степень точности обрабатываемого ЗК примерно на 1 (уменьшаются погрешность профиля, радиальное биение, погрешность окружного шага, погрешность направления зубьев), улучшает качество поверхности зубьев ЗК по шероховатости, состояние поверхностного слоя, что снижает шум при работе ЗК.

Шевингование является высокопроизводительным процессом, но сам Ш является дорогим РИ. Поэтому Ш применяют в массовом и крупносерийном производствах.

Ш бывают: 1) реечные; 2) дисковые; 3) червячные.

Схема работы реечного Ш приведена на рис. 1.38.

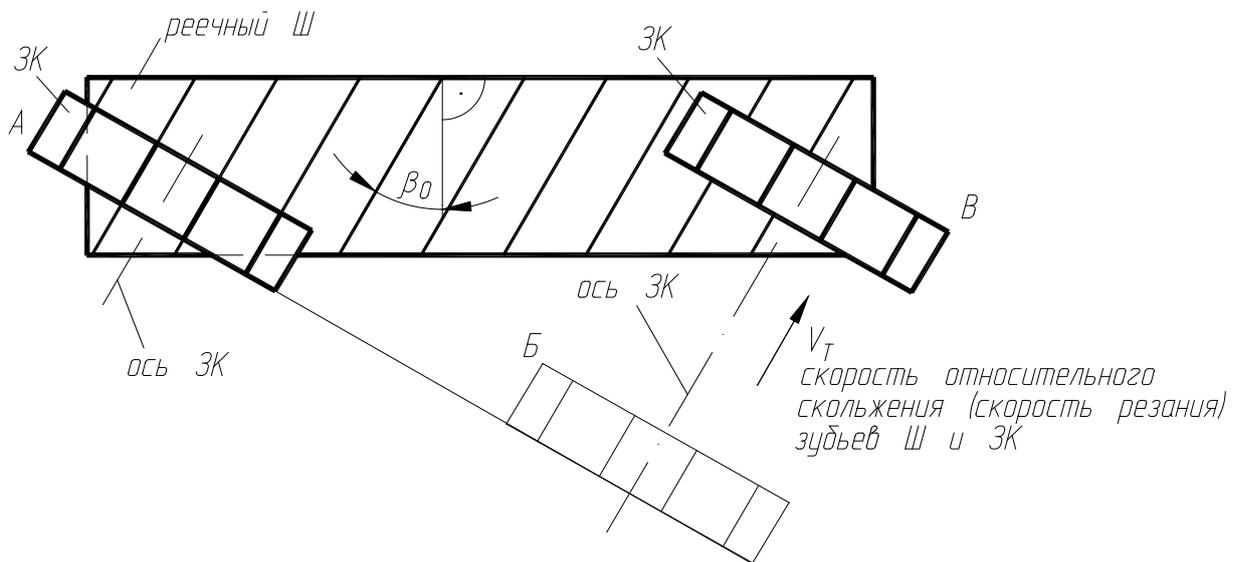
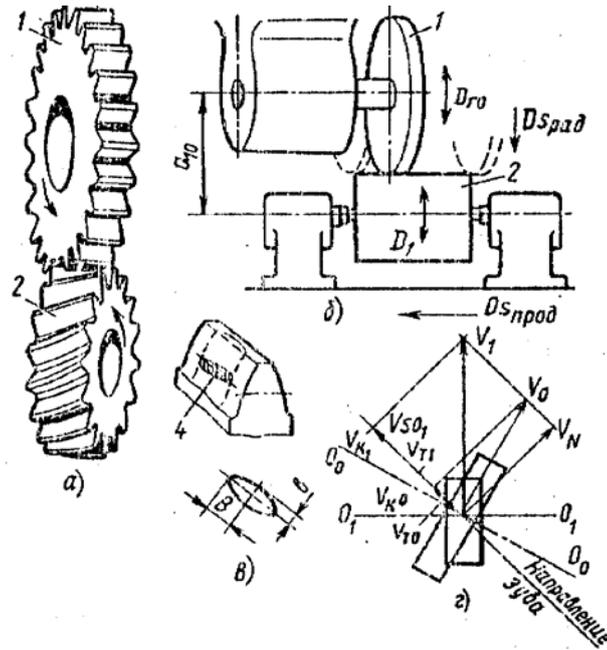


Рис. 1.38. Схема работы реечного шевера

Червячный Ш показан на рис 3.58, с.23. Его работа аналогично работе ЧМФ, у которой нет сквозных стружечных канавок, а есть канавки на боковых сторонах винтовых зубьев червячного Ш, которые образуют режущие кромки.

Более подробно рассмотрим конструкцию и схему работы дискового Ш. Схема работы дискового шевера представлена на рис. 1.39:



1.39. Схема обработки колеса дисковым шевером

Рассмотрим шевингование косозубого ЗК косозубым дисковым Ш (рис. 1.40).

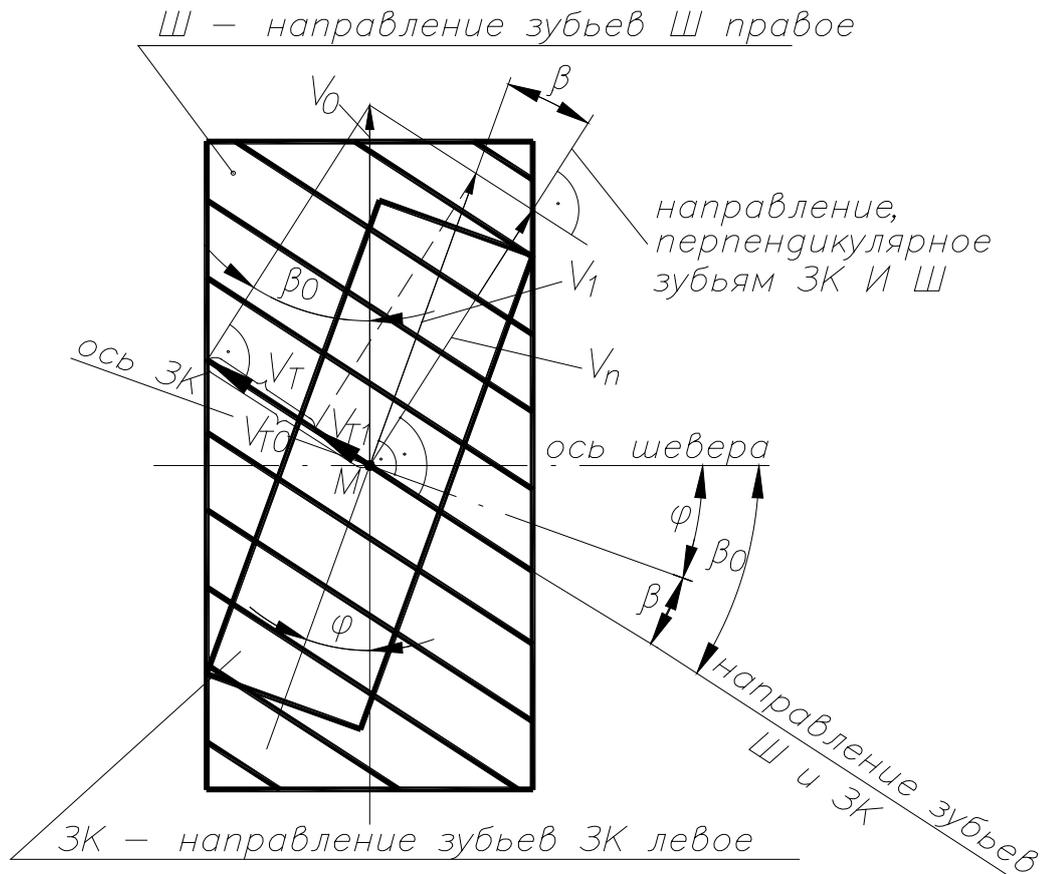


Рис. 1.40. Схема шевингования косозубого ЗК косозубым дисковым шевером

β_0 - угол наклона зубьев Ш на его делительном диаметре;

β - угол наклона зубьев ЗК на его начальном диаметре;

φ - угол скрещивания осей Ш и ЗК;

V_0 - абсолютная скорость точки М зубьев, принадлежащей Ш;

V_1 - абсолютная скорость точки М зубьев, принадлежащей ЗК;

V_n - проекция векторов V_0 и V_1 на направление, перпендикулярное направлению зубьев Ш и ЗК;

V_{T0} - проекция вектора V_0 на направление зубьев Ш и ЗК;

V_{T1} - проекция вектора V_1 на направление зубьев Ш и ЗК.

Проекции векторов V_0 и V_1 на направление, перпендикулярное направлению зубьев Ш и ЗК (вектор V_n), равны, т.к. в этом направлении не может быть относительного движения зубьев ЗК и Ш. Вдоль направления зубьев Ш и ЗК возникает скорость относительного скольжения зубьев V_T , равная разности векторов V_{T0} и V_{T1} , являющейся скоростью резания, которая в общем случае определяется по формуле:

$$V_T = V_{T0} \pm V_{T1},$$

где «+»- при одноименном направлении зубьев Ш и ЗК;

«-»- при разноименном направлении зубьев Ш и ЗК.

Угол скрещивания оси Ш и ЗК определяется по формуле: $\varphi = \beta_0 \pm \beta$,

«+» – при одноименном направлении зубьев Ш и ЗК;

«-» – при разноименном направлении зубьев Ш и ЗК.

$$V_{T0} = V_0 \cdot \sin \beta_0; \quad V_{T1} = V_1 \cdot \sin \beta;$$

$$V_T = V_{T0} \pm V_{T1} = V_0 \cdot \sin \beta_0 \pm V_1 \cdot \sin \beta; \quad (1)$$

$V_n = V_0 \cdot \cos \beta_0 = V_1 \cdot \cos \beta$; откуда $V_1 = \frac{V_0 \cdot \cos \beta_0}{\cos \beta}$, подставляя V_1 в (1), получим

$V_T = V_0 \cdot \sin \beta_0 \pm V_0 \cdot \cos \beta_0 \cdot \operatorname{tg} \beta$; умножив и разделив это выражение на $\cos \beta$, получим

$$V_T = V_0 \cdot \left(\frac{\sin \beta_0 \cdot \cos \beta \pm \cos \beta_0 \cdot \sin \beta}{\cos \beta} \right); \quad \text{заменив числитель на } \sin(\beta_0 \pm \beta),$$

получим

$$V_T = V_0 \cdot \sin(\beta_0 \pm \beta) / \cos \beta = V_0 \cdot \sin \varphi / \cos \beta.$$

Из полученной формулы следует, что при заданном β колеса:

- 1) скорость резания V_T прямопропорциональна скорости V_0 ;
- 2) увеличение угла скрещивания Ш и ЗК φ увеличивает скорость V_T ;
- 3) увеличение угла скрещивания Ш и ЗК φ уменьшает площадку контакта Ш и ЗК, что ухудшает качество обработки.

Из практики φ рекомендуется делать от 5° до 20° , среднее рекомендуемое значение $\varphi = 15^\circ$. При выбранном φ и заданном β угол наклона зубьев Ш определяют по формуле: $\beta_0 = \varphi \pm \beta$. Из двух возможных значений β_0 берут наименьшее по абсолютной величине. Желательно, чтобы $|\beta_0| \leq 30^\circ$, т.к. при $|\beta_0| > 30^\circ$ возникают трудности при шлифовке боковых поверхностей зубьев Ш.

Рассмотрим основные параметры Ш. По конструкции дисковые Ш могут быть среднемодульные ($1,75 < m \leq 8$ мм) и мелкомодульные ($m \leq 1,75$ мм).

1.7.4.2. КОНСТРУКЦИИ И ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СРЕДНЕМОДУЛЬНЫХ ШЕВЕРОВ

В основе среднемодульного Ш лежит либо прямозубое, либо косозубое ЗК с увеличенной толщиной зубьев по боковым сторонам и увеличенным диаметром по вершинкам зубьев (это превышение снимается при переточках Ш). Режущие кромки Ш образуются как результат пересечения поверхности канавок, выполненных на боковой поверхности зуба ЗК с боковой поверхностью зуба Ш (рис. 1.41).

1, 2, 3,...12 – режущие кромки на боковой поверхности зуба Ш. В процессе резания участвует лишь половина, из них: какая именно половина – зависит от направления вращения Ш;

P – расстояние между канавками на боковых сторонах Ш;

D_{a0} – наружный диаметр зубьев Ш;

D_0 – делительный диаметр зубьев Ш;

D_{f0} – диаметр впадин зубьев Ш;

D_{b0} – диаметр основной окружности Ш;

$D_{ц0}$ – диаметр центров отверстий в основании (во впадинах) зубьев Ш, имеющих диаметр отверстия $D_{отв}$.

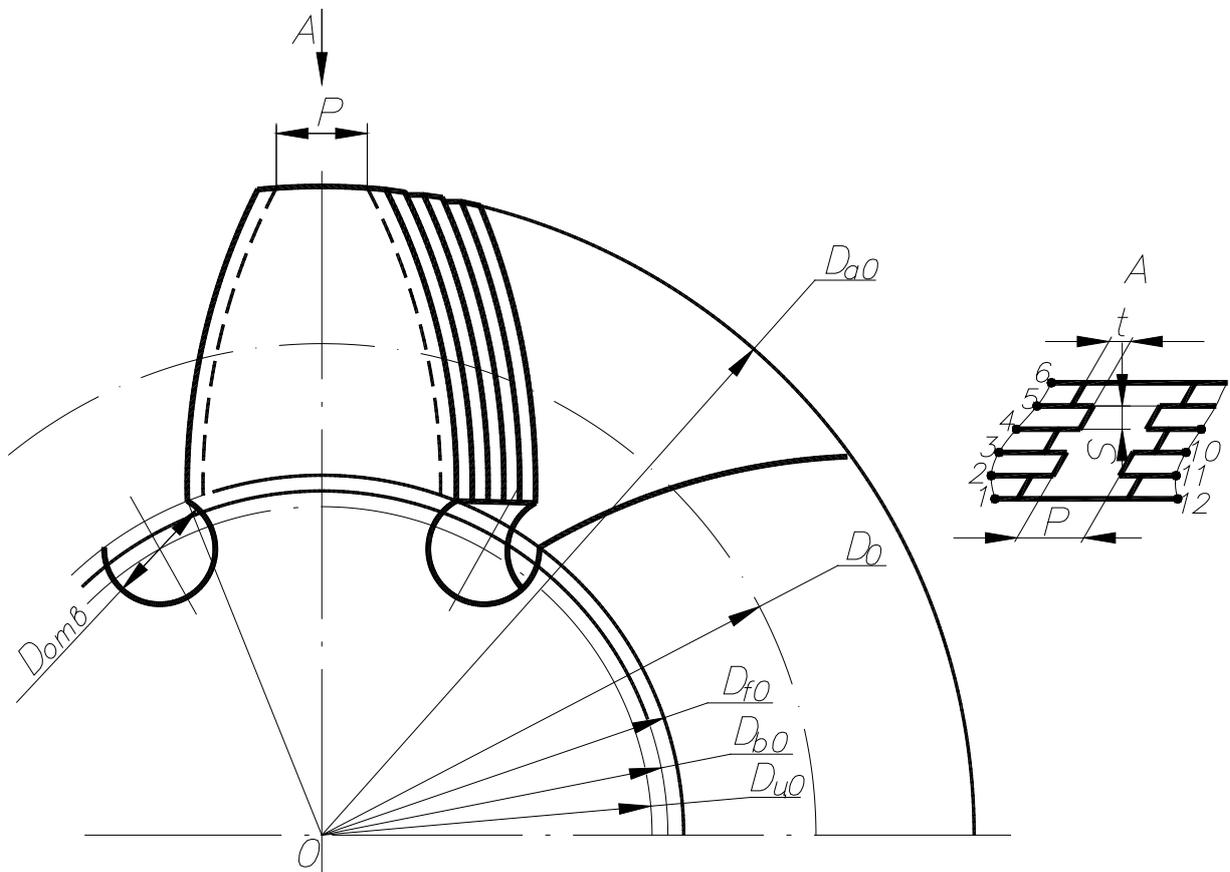


Рис. 1.41. Конструкция рабочей части (зуба) шевера

Ш работает только боковыми сторонами зубьев (кромками 1, 2, 3,...), вершинками он не режет.

Обычно $a_1 = a_2 = \Delta/2$ (см. рис. 1.42), т.е. припуск на перешлифовку зуба Ш располагается симметрично относительно номинала. При переточках обязательно сошлифовывается на определенную величину вершина Ш для исключения заедания впадин ЗК.

$$S_H = \frac{\pi \cdot m}{2}.$$

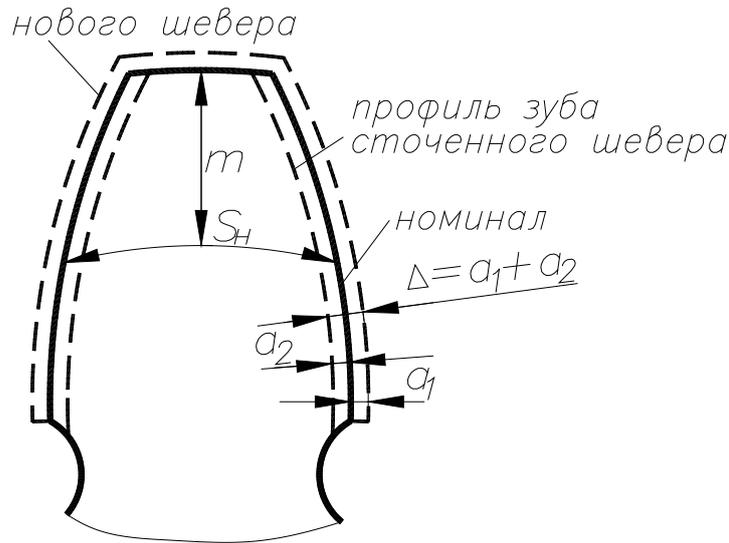


Рис. 1.42. Расположение припуска на переточки среднемодеульного шевера по отношению к номиналу

По форме расположения боковой поверхности канавок на зубьях Ш различают 3 случая (рис. 1.43):

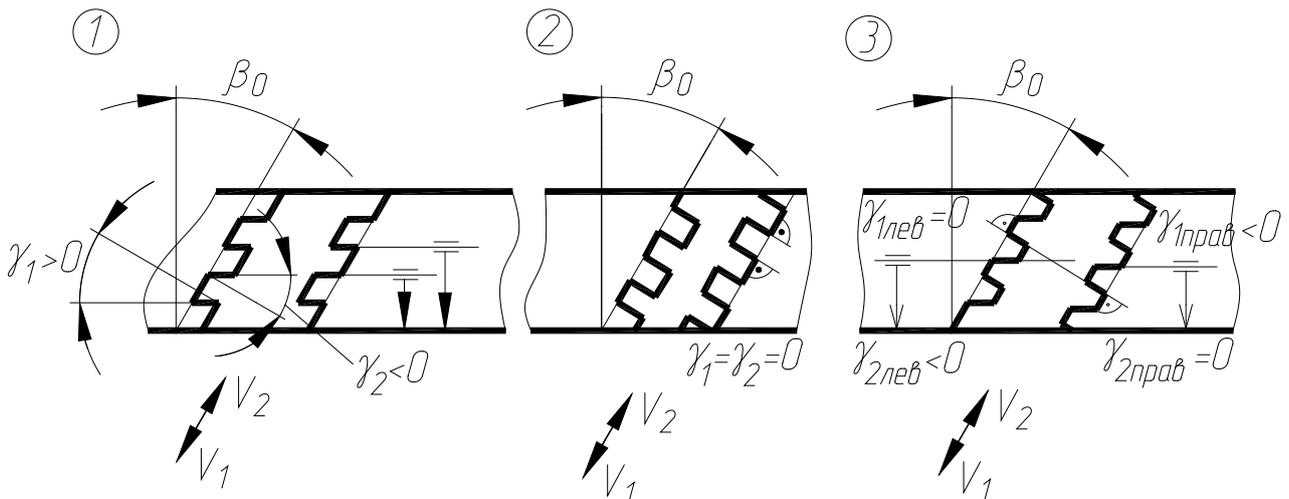


Рис. 1.43. Расположение боковой поверхности канавок на зубьях шевера

1. Боковые стороны канавок параллельны торцу Ш: такой тип канавок изготавливают с использованием специальных приспособлений; дно канавок выполнено по эвольвенте: $\alpha = 0^\circ$, $\gamma_{1\text{лев}} = \beta_0$, $\gamma_{1\text{прав}} = -\beta_0$, $\gamma_{2\text{лев}} = -\beta_0$, $\gamma_{2\text{прав}} = \beta_0$.
2. Боковые стороны канавок выполняются перпендикулярно направлению зубьев Ш; дно канавок выполнено по дуге окружности близкой к эвольвенте: $\alpha = 0^\circ$, $\gamma_{1\text{лев,прав}} = 0^\circ$, $\gamma_{2\text{лев,прав}} = 0^\circ$.
3. Трапециидальные канавки (см. рис.): $\alpha = 0^\circ$, $\gamma_{1\text{лев}} = 0^\circ$, $\gamma_{1\text{прав}} = -\beta_0$, $\gamma_{2\text{лев}} = -\beta_0$, $\gamma_{2\text{прав}} = 0^\circ$.

Для типа канавок 1 и 3 при обработки зуба ЗК необходимо реверсирование Ш, для типа 2- условия резания на обеих боковых сторонах зуба Ш одинаковы, но для одинакового износа всех режущих кромок целесообразно так же использовать реверсирование.

1.7.4.3. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ МЕЛКОМОДУЛЬНЫХ ШЕВЕРОВ

Профиль зуба этих Ш выполняется по номиналу, а режущие кромки получаются как результат пересечения сквозных (кольцевых или винтовых) канавок, пересекающих тело зуба Ш (рис. 1.44).

Изменение конструкции мелко модульного Ш по сравнению со среднемодульным вызвано тем, что при малых модулях дно канавок среднемодульного Ш пересекают друг друга на вершинке зуба Ш, прорезая его зуб насквозь и тем самым ослабляя его лезвия.

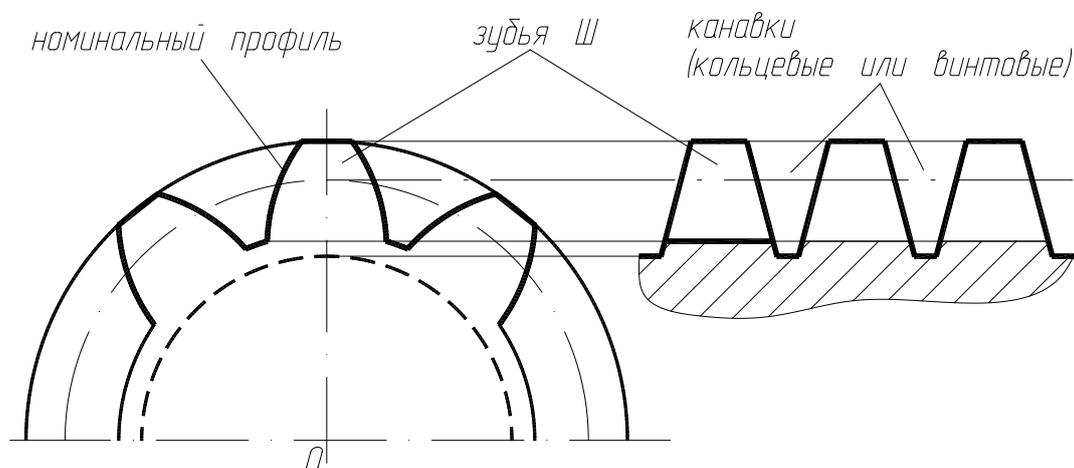


Рис. 1.44. Схема конструкции мелко модульного шевера

Для кольцевых канавок $\alpha = 0^\circ$; $\gamma = 0^\circ$; для винтовых - $\alpha = 0^\circ$; $\gamma = \pm \beta_0$.

1.7.5. ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ ДЕТАЛЕЙ С НЕЭВОЛЬВЕНТНЫМ ПРОФИЛЕМ, РАБОТАЮЩИЕ МЕТОДОМ ЦЕНТРОИДНОГО ОГИБАНИЯ (МЕТОДОМ ОБКАТА)

1.7.5.1. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЖУЩИМ ИНСТРУМЕНТАМ, РАБОТАЮЩИМ МЕТОДОМ ОБКАТА

При изучении темы «Инструменты для обработки цилиндрических ЗК» мы говорили, что методу обката присуще высокая производительность и точность обработки, а также возможность автоматизации процесса вследствие его непрерывности. Рассмотренные ранее детали, получаемые методом обката, имели профиль боковой поверхности зуба в виде эвольвенты. Однако методом обката можно получать и детали с незвольвентным профилем зубчатого и незубчатого типа. При проектировании обкатных инструментов необходимо выяснить возможность создания режущего инструмента для обработки заданной поверхности детали методом обката.

Для этого следует определить: 1) возможность построения сопряженного профиля режущей кромки инструмента для всех участков профиля детали, т.е. оценить возможность профилирования;

2) возможность обеспечения режущих свойств на всех рабочих участках режущей кромки, т.е. создание необходимых передних и задних углов;

3) возможность восстановления режущих свойств инструмента при эксплуатации путем его переточки;

4) технологичность конструкции режущего инструмента;

5) экономическую эффективность спроектированного инструмента.

Для обеспечения выполнения первого требования – возможности профилирования – должны быть выполнены следующие условия: условие А) для всех точек заданного профиля детали должны выполняться основные положения теории обката:

А₁) сопряженные профили в точке их взаимного касания должны иметь общую касательную, а, следовательно, и общую нормаль (рис. 1.45);

А₂) общая нормаль в точке касания сопряженных профилей должна проходить через полюс зацепления (точка касания Р центроид – начальных кривых на линии центров О₁О₂).

Из положений А₁ и А₂ следует третье положение А₃:

А₃) Нормали, проведенные к профилю детали, должны:

а) пересекать центроиду ее обработки (при положении центроиды I-I заданный профиль выше т. В не может быть обработан методом обката; при другом положении центроиды II-II может быть обработан весь профиль детали (см. рис. 1.46)),

б) точки пересечения последовательно проведенных к профилю детали нормалей должны пересекать ее центроиду также в последовательном порядке (рис 1.47).

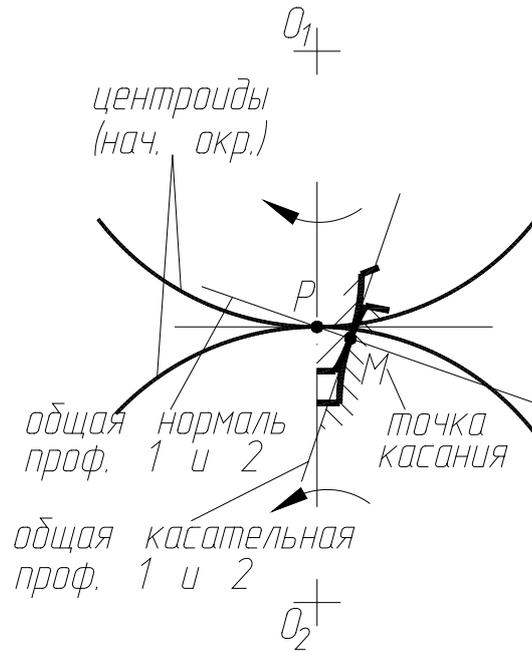


Рис. 1.45. Комментарий к условиям A_1 и A_2

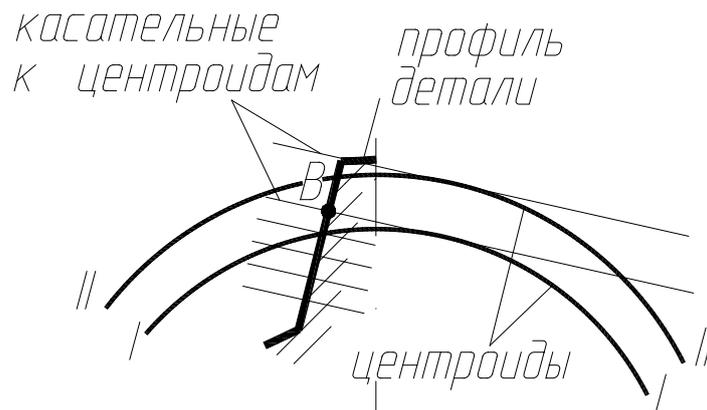


Рис. 1.46. Комментарий к условию A_3 (а)

При положении центроиды I-I ниже т.4 на профиле детали условие б) не выполняется (профиль детали ниже т.4 не может быть обработан правильно) (рис. 1.47).

При положении центроиды II-II условие б) выполняется для всех точек заданного профиля детали.

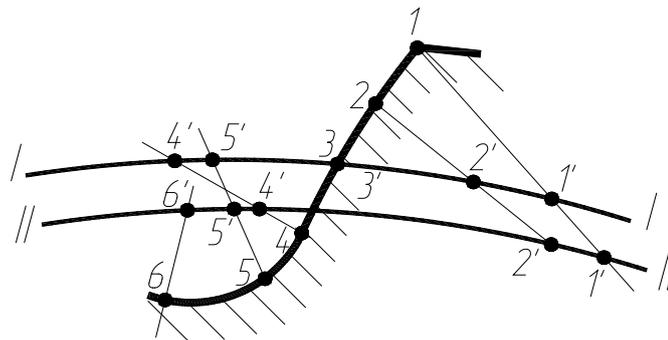


Рис. 1.47. Комментарий к условию A_3 (б)

Замечание к 3-му основному положению теории обката: выполнение вышеуказанных условий зависит не только от требуемой формы профиля детали, но и от формы и положения центриды ее обработки.

Условие Б) профиль режущей кромки инструмента должен быть достаточной высоты для обработки всего профиля детали (рис. 1.48). Даже при выполнении условия А) может оказаться так, что профили режущих кромок правой и левой сторон инструмента могут пересечься, уменьшив тем самым теоретически необходимую их высоту, т.е. произойдет заострение зуба режущего инструмента, а обработанная высота профиля детали окажется меньше требуемой. Условие В) переходные кривые, образующиеся при методе обката в основании профиля детали, не должны превышать допустимую величину (рис. 1.49). Переходные кривые получаютсся граничной точкой зуба РИ (т. В см. рис. 1.48).

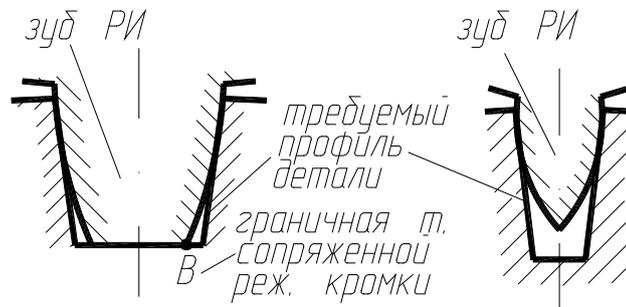


Рис. 1.48. Комментарий к условию Б

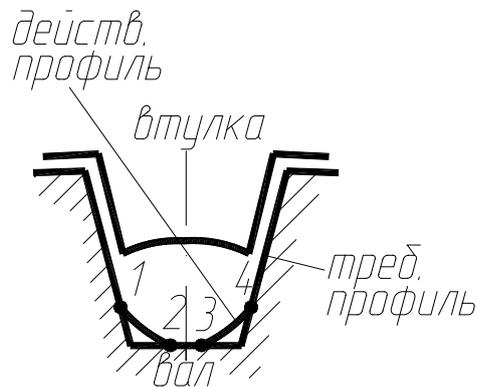


Рис. 1.49. Комментарий к условию В

Участки 1-2 и 3-4 (переходные кривые) не должны мешать сопряжению деталей, например, шлицевого вала и втулки (рис. 1.49).

Условие Г) все точки требуемого профиля детали должны иметь соответствующие точки на активном участке линии профилирования (линия профилирования-геометрическое место точек касания сопряженных профилей инструмента и детали на неподвижной плоскости, она является аналогом линии зацепления), который не должен выходить за пределы ее экстремальных точек относительно центриды инструмента и заготовки (рис. 1.50).

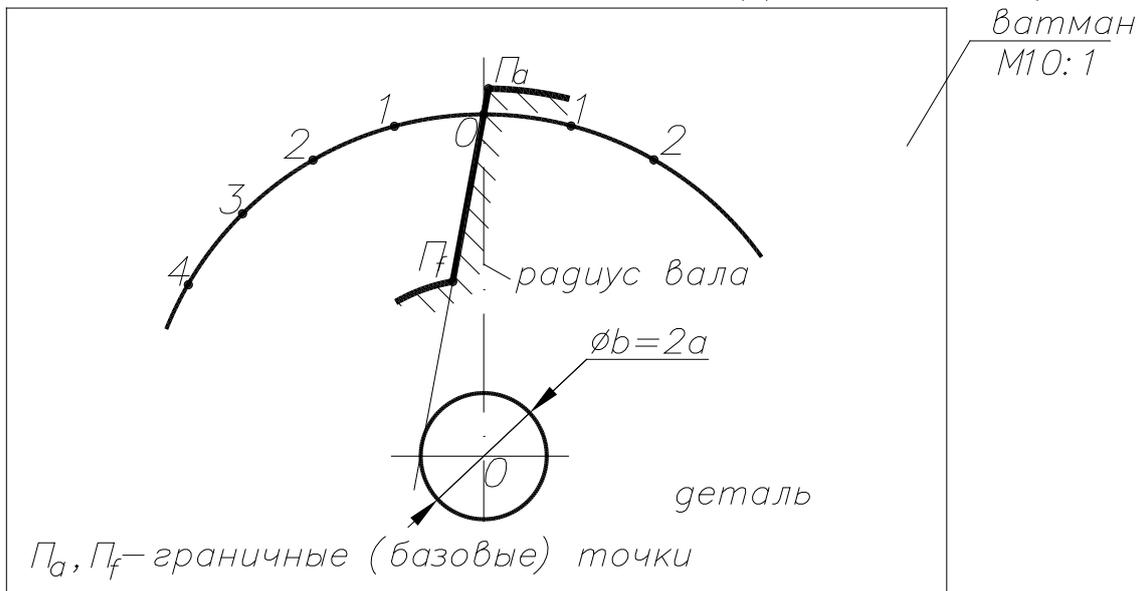
В качестве примера возьмем обработку шлицевого валика червячно-шлицевой фрезой (рис. 1.52). Пусть известны радиусы начальной r_{w1} , наружной r_{a1} и внутренней r_{f1} окружностей шлицевого вала. Необходимо построить соответствующий профиль РИ. Начальная прямая фрезы (прямая АА) и начальная окружность шлицевого вала обкатываются без скольжения, точка их касания Р- полюс зацепления.

Пусть при взаимном обкате (см. стрелки на рис.) профиль шлица примет некоторое i -ое положение, определяемое углом α_{wi} . Согласно положениям теории обката сопряженные точки профиля детали $M_{ДИi}$ и РИ $M_{Иi}$ в момент их совпадения на линии зацепления находятся на общей нормали к профилям, проходящей через полюс зацепления т. Р. Опуская перпендикуляр из т. Р на профиль шлица находим положение точки $M_{ДИi}$. Для определения положения координаты точки $M_{Иi}$ в системе координат РИ – необходимо шлицевый вал вернуть в исходное положение. При этом т. $M_{Иi}$ «пойдет» по линии A_iA_i , параллельной начальной прямой АА, а нормаль $PM_{ДИi}$ переместится параллельно самой себе в положение $Q_iM_{Иi}$, причем расстояние $\overline{Q_iP}$ равно дуге $\cup PD_i$ и равно расстоянию $M_{Иi}M_{ДИi}$ (обкатка без скольжения):

$$\overline{Q_iP} = \cup PD_i = \overline{M_{Иi}M_{ДИi}}.$$

Таким образом, искомая точка $M_{Иi}$ профиля режущей кромки инструмента определяется как точка пересечения прямой A_iA_i , параллельной начальной прямой АА, и прямой $Q_iM_{Иi}$ $Q_iM_{Иi}$, проведенной через т. Q_i параллельно нормали $PM_{ДИi}$. Задавая различные положения профиля шлица ($\alpha_{wi} = \text{var}$), можно найти множество точек $M_{Иi}$, т.е. построить полный профиль режущей кромки инструмента путем проведения плавной линии через все т. $M_{Иi}$. Соединяя плавной линией все точки $M_{ДИi}$, получим линию зацепления.

1.7.5.3.2.2. ПРОФИЛИРОВАНИЕ МЕТОДОМ ОГИБАЮЩЕЙ



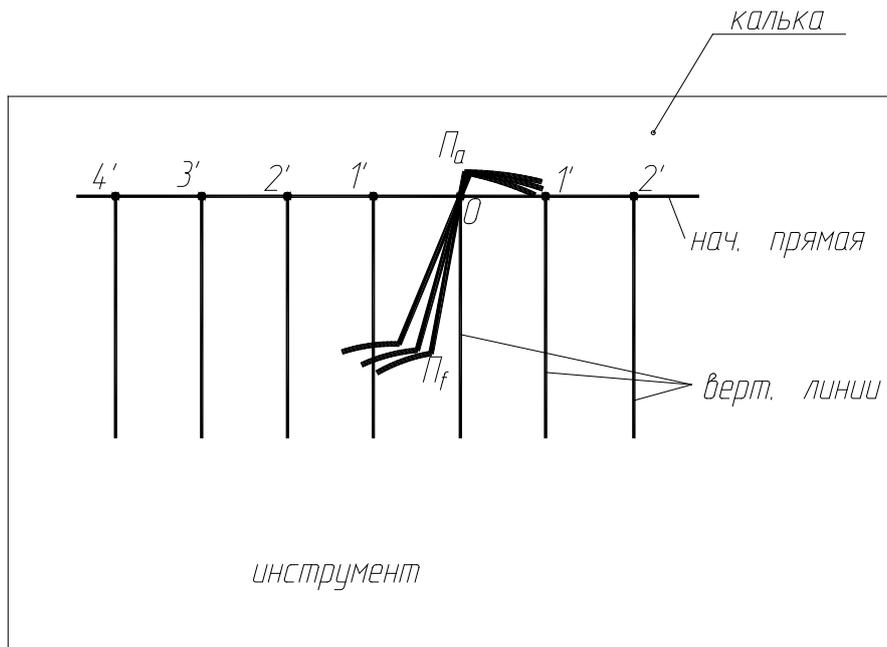


Рис. 1.53. Профилирование методом огибающей

Оно будет выполнено при выполнении лабораторной работы по червячно-шлицевой фрезе.

Суть метода в следующем:

накладывая кальку на ватман так, чтобы соответствующие точки совпадали, а вертикальные линии совпадали с радиусом шлицевого вала, на кальке копируют прямую $\Pi_a\Pi_f$. Получив на кальке семейство прямых $\Pi_a\Pi_f$, проводят огибающую к ним – эта огибающая и есть искомый профиль режущей кромки инструмента.

1.7.5.3.3. ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ПРОФИЛИРОВАНИЯ (комбинированный)

Аналитически рассчитывают положения (координаты) базовых точек профиля детали $\Pi_a\Pi_f$ в системе координат РИ (на кальке) при взаимном обкате РИ и детали, проводят на кальке через эти точки прямые линии, огибающая к которым является искомым профилем зуба РИ.

1.7.5.3.4. АНАЛИТИЧЕСКОЕ ПРОФИЛИРОВАНИЕ ЧЕРВЯЧНО-ШЛИЦЕВЫХ ФРЕЗ (наиболее точный метод)

Разработаны 2 метода аналитического профилирования зубьев червячных фрез для обработки шлицевых валов с прямобочным профилем шлица:

1) метод на основе огибающей ряда последовательных положений профиля шлица вала;

2) метод на основе уравнения линии зацепления.

Первый метод более сложен в математическом отношении. Поэтому рассмотрим второй метод, для которого необходимо знать уравнение линии зацепления.

1.7.5.3.4.1. УРАВНЕНИЕ ЛИНИИ ЗАЦЕПЛЕНИЯ ЧЕРВЯЧНОЙ ФРЕЗЫ И ШЛИЦЕВОГО ВАЛА

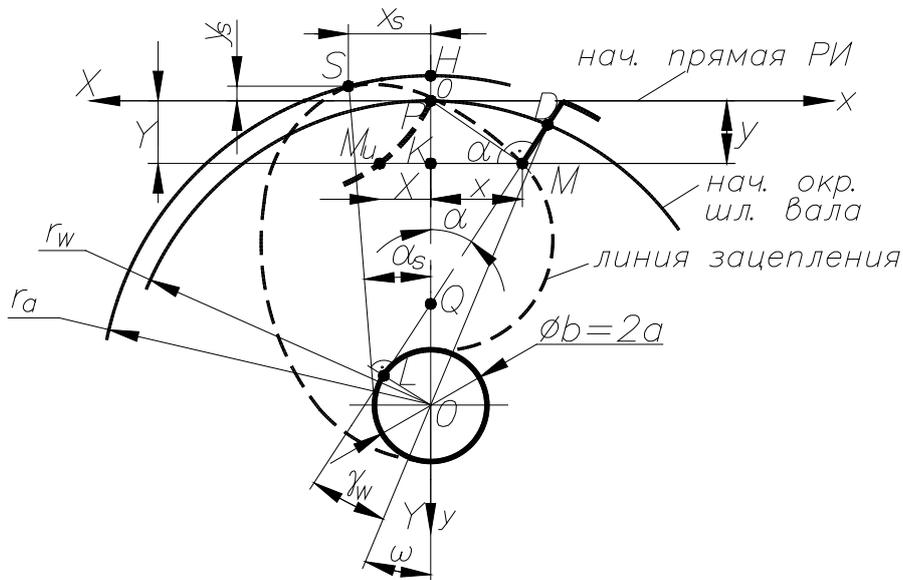


Рис. 1.54. Схема к определению линии зацепления ЧШФ

Пусть известен радиус начальной окружности r_w шлицевого вала и ширина шлица b ; боковая сторона шлица расположена по касательной к окружности диаметром $b = 2a$ в т. L (см. рис. 1.54). Точка P - полюс зацепления совпадает с центром системы координат xPy . Некоторое произвольное положение боковой стороны шлица определяется параметрическим углом α . Точка Q – т. пересечения продолжения боковой стороны шлица с осью y , т. S - экстремальная точка линии зацепления.

Из условия «Г» возможности профилирования следует, что наружный радиус шлицевого вала r_a должен быть не больше расстояния OS: т.е. $r_a \leq OS$.

Опустим из т. P перпендикуляр на профиль шлица - получим т. M с координатами $(x; y)$, принадлежащую линии зацепления, а из т. M- опустим перпендикуляр на ось y - получим т. K.

Определим координату x текущей точки линии зацепления точки M:

из ΔPKM : $x = KM = PM \cdot \cos \alpha$;

из ΔPQM : $PM = PQ \cdot \sin \alpha$, где $PQ = PO - OQ$.

$PO = r_w$, а из ΔQLO : $OQ = a / \sin \alpha$.

$$\text{Тогда } x = \left(r_w - \frac{a}{\sin \alpha} \right) \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha \text{ или } \boxed{x = (r_w \cdot \sin \alpha - a) \cdot \cos \alpha} \quad (1).$$

Координату y найдем из ΔPKM :

$$y = x \cdot \operatorname{tg} \alpha \text{ или } \boxed{y = (r_w \cdot \sin \alpha - a) \cdot \sin \alpha} \quad (2).$$

Уравнения (1) и (2) - уравнения линии зацепления в параметрической форме (параметр α).

1.7.5.3.4.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ ТОЧКИ

S (X_S; Y_S) ЛИНИИ ЗАЦЕПЛЕНИЯ

Из аналитической геометрии известно, что для экстремальной точки производная равна нулю: $\frac{dy}{dx} = 0$. Для уравнений в параметрической форме:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{dy}{d\alpha} : \frac{dx}{d\alpha} = 0. \text{ Для выполнения этого условия должно быть } \frac{dy}{d\alpha} = 0 \text{ при } \frac{dx}{d\alpha} \neq 0.$$

Дифференцируя уравнение (2) по α , получим:

$$\frac{dy}{d\alpha} = 2 \cdot r_w \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha - a \cdot \cos \alpha = 0.$$

Можно сократить на $\cos \alpha$, т.к. $\cos \alpha \neq 0$ (только при $\alpha = 90^\circ$ $\cos \alpha = 0$, но $\alpha = 90^\circ$ нереально для рассматриваемого случая), тогда будет $2 \cdot r_w \cdot \sin \alpha - a = 0$,

что обеспечивается при $\boxed{\sin \alpha_S = \frac{a}{2 \cdot r_w}}$ (3).

Подставим (3) в (1) с заменой $\cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha}$:

$$x_S = \left(r_w \cdot \frac{a}{2 \cdot r_w} - a \right) \cdot \sqrt{1 - \frac{a^2}{4 \cdot r_w^2}} \text{ или } \boxed{x_S = -\frac{a}{2} \cdot \sqrt{1 - \frac{a^2}{4 \cdot r_w^2}}} \quad (4).$$

Аналогично из (2) получаем:

$$\boxed{y_S = -\frac{a^2}{4 \cdot r_w}} \quad (5).$$

1.7.5.3.4.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИУСА НАЧАЛЬНОЙ ОКРУЖНОСТИ ШЛИЦЕВОГО ВАЛА

В замечании к 3-му основному положению теории обката было указано на влияние положения начальной окружности на возможность обработки требуемого профиля детали методом обкатки.

Из условия профилирования (см. условие Г) $\boxed{r_a \leq OS}$ (6).

Опустим из т. S перпендикуляр на ось у - получим т. Н (см. рис. 1.54)

Из ΔSHO : $OS^2 = SH^2 + HO^2 = x_S^2 + (r_w - y_S)^2$ или, подставляя значения x_S и y_S из (4) и (5) получим: $OS^2 = \frac{3}{4} \cdot a^2 + r_w^2$.

Неравенство (6) не изменится при возведении правой и левой его части в квадрат, т.к. $r_a > 0$ и $OS > 0$. Тогда $r_a^2 \leq OS^2$ и $r_a^2 = \frac{3}{4} \cdot a^2 + r_w^2$,

Откуда $\boxed{r_w \geq \sqrt{r_a^2 - \frac{3}{4} \cdot a^2}}$ (7).

Только теперь можно рассмотреть вопрос аналитического профилирования зуба червячно-шлицевой фрезы.

1.7.5.3.4.4. АНАЛИТИЧЕСКОЕ ПРОФИЛИРОВАНИЕ ЗУБА ЧЕРВЯЧНО-ШЛИЦЕВОЙ ФРЕЗЫ

На рис. 1.54 введем новую систему координат ХРУ, угол профиля шлица вала на начальной окружности γ_w и центральный угол ω , соответствующий дуге $\cup PD$.

Пусть т. М профиля шлица соответствует сопряженная т. М_И профиля зуба червячно-шлицевой фрезы. Как было установлено при рассмотрении графического метода профилирования на основе линии зацепления дуга $\cup PD$ равна расстоянию ММ_И, т.е. $\cup PD = MM_{И}$ и линия ММ_И параллельна начальной прямой. Отсюда следует, что

$$\begin{aligned} Y = y &= (r_w \cdot \sin \alpha - a) \cdot \sin \alpha \\ X &= MM_{И} - x = \cup PD - x = r_w \cdot \omega_{рад} - x. \end{aligned} \quad (8),$$

Т.к. $\alpha = \omega + \gamma_w$ как внешний угол ΔOQD , то $\omega_{рад} = \alpha_{рад} - \gamma_{wрад}$, а из ΔDLO

$$\gamma_w = a \operatorname{rcsin} \left(\frac{a}{r_w} \right).$$

Тогда
$$X = r_w \cdot \left[\alpha - \operatorname{arcsin} \left(\frac{a}{r_w} \right) \right] - (r_w \cdot \sin \alpha - a) \cdot \cos \alpha. \quad (9).$$

По формулам (8) и (9) можно определить координаты профиля зуба червячно-шлицевой фрезы двумя путями:

1) задаются значениями α от минимального α_s до максимального α_{\max} , при котором координата точки профиля зуба Y станет равна высоте головки зуба фрезы:

$$h_{a0} = h_f = (r_w - r_f),$$

где r_f - радиус впадин шлицевого вала;

2) задаются значением Y от т. Н до Y_{max}, соответствующего вершине головки зуба фрезы. По формуле, полученной из формулы (8):

$$\sin \alpha = \frac{a + \sqrt{a^2 + 4 \cdot r_w \cdot Y}}{2 \cdot r_w}, \quad (10)$$

полученной из формулы (8) как решение квадратного уравнения, находим соответствующие значения угла α , которое подставляем в (9) для вычисления координаты X.

Используя зависимость $\frac{a}{r_w} = \sin \gamma_w$, формулу (10) можно представить в виде:

$$\sin \alpha = \frac{\sin \gamma_w}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sin \gamma_w}{2}\right)^2 + \frac{Y}{r_w}}. \quad (11),$$

Полученную кривую профиля зуба из технологических соображений необходимо заменить дугой окружности с радиусом R , проведенным из центра O_R с координатами $(X_R; Y_R)$ (см. рис. 1.55), которые находят, решая систему трех уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \text{для т. 1: } X_R^2 + Y_R^2 &= R^2 \\ \text{для т. 2: } (X_2 - X_R)^2 + (Y_2 - Y_R)^2 &= R^2 \\ \text{для т. 3: } (X_3 - X_R)^2 + (Y_3 - Y_R)^2 &= R^2 \end{aligned} \right\} \quad (12),$$

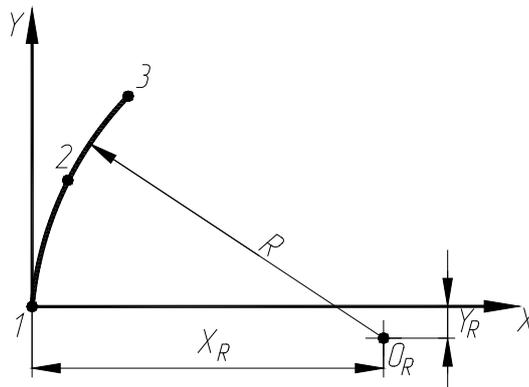


Рис. 1.55.

При отклонении теоретического профиля от аппроксимирующей дуги окружности (обычно 1/2 или 2/3 от поля допуска на ширину b шлица), более допустимого, производят аппроксимацию кривой теоретического профиля дугами двух окружностей с целью уменьшения этих отклонений.

1.7.5.3.4.5. ОСОБЕННОСТИ ПРОФИЛЯ ЗУБЬЕВ ЧШФ ДЛЯ ШЛИЦЕВЫХ ВАЛОВ ПРИ ЦЕНТРИРОВАНИИ ПО НАРУЖНОМУ ИЛИ ВНУТРЕННЕМУ ДИАМЕТРАМ

Центрирование втулок на шлицевом валу возможно по следующим поверхностям:

1. По наружному диаметру.
2. По внутреннему диаметру.
3. По ширине шлица.

Если детали шлицевого соединения не подвергаются термической обработке, то центрирование осуществляется по наружному диаметру, т.к. шлицевую втулку можно точно обработать с помощью шлицевой протяжки, а шлицевый вал легко прошлифовать по наружному диаметру.

Если детали шлицевого соединения подвергаются термической обработке, при которой всегда возможна деформация деталей, то центрирование

осуществляется по внутреннему диаметру, т.к. шлицевую втулку можно шлифовать только по внутреннему диаметру, а шлицевый вал допускает шлифование по внутреннему диаметру.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИУСА НАЧАЛА ПЕРЕХОДНОЙ КРИВОЙ НА ШЛИЦЕВОМ ВАЛУ ПРИ ЦЕНТРИРОВАНИИ ПО НАРУЖНОМУ ДИАМЕТРУ ВАЛА, ОБРАБАТЫВАЕМОГО МЕТОДОМ ОБКАТА

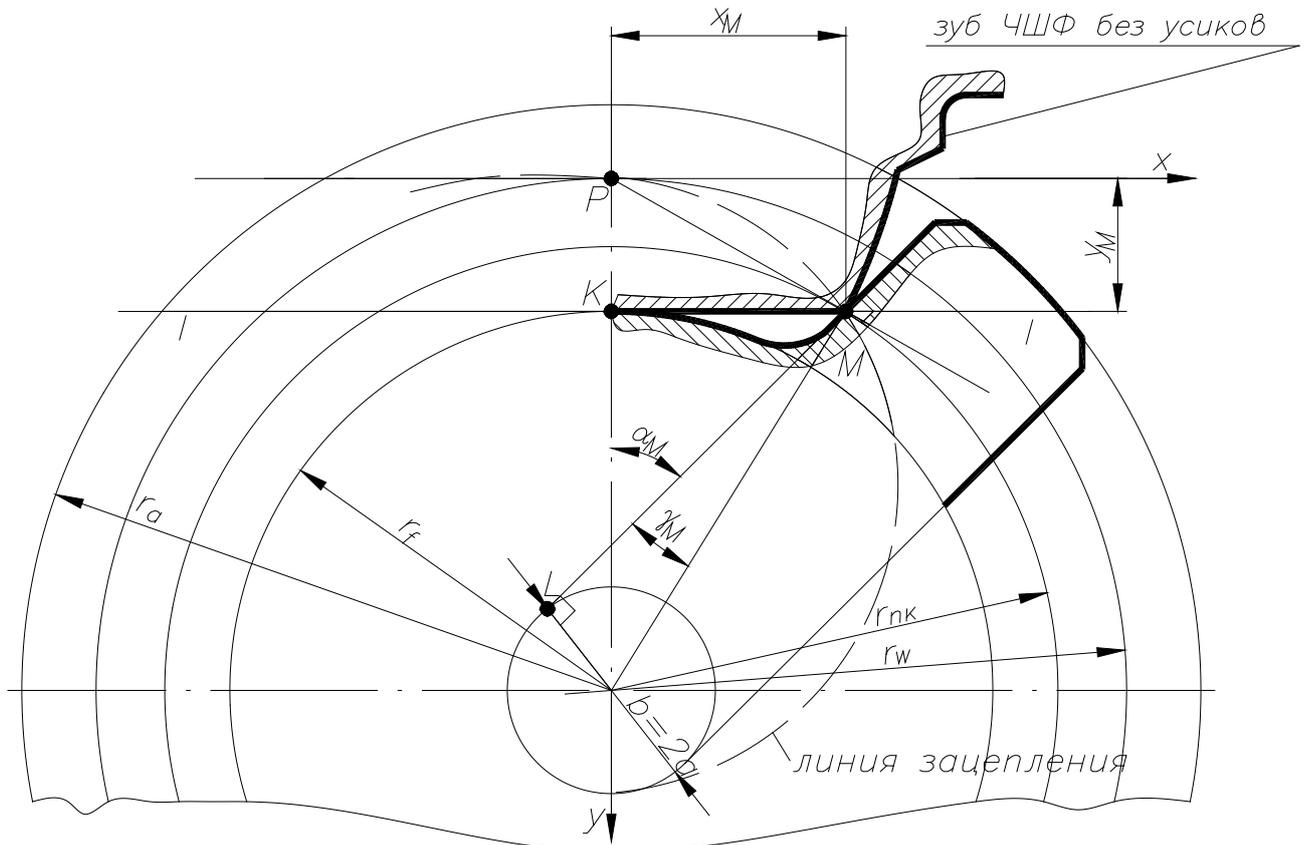


Рис. 1.56. Схема к определению радиуса начала переходной кривой

На рис. 1.56 точка М – результат пересечения линии зацепления с линией вершин зубьев ЧШФ прямой I-I, касательной к внутренней окружности шлицевого вала.

От наружного радиуса r_a шлицевого вала (ШВ) до т. М профиль шлица обработан правильно – он прямолинеен, а от т. М к внутренней окружности ШВ радиуса r_f пойдет переходная кривая.

Для нахождения радиуса начала переходной кривой $r_{нк}$ рассмотрим $\triangle ОКМ$:

$$r_{нк} = \sqrt{OK^2 + KM^2} = \sqrt{r_f^2 + x_M^2} \quad ; \quad (13),$$

По формуле (1) п.1.7.5.3.4.1. находим x_M ,

$$x_M = (r_w \cdot \sin \alpha_M - a) \cdot \cos \alpha_M, \quad (14),$$

А формуле (10) п.1.7.5.3.4.4. находим $\sin \alpha_M$ и $\cos \alpha_M$,

окружности радиуса OM меньшего или равного радиусу внутренней окружности ШВ r_f (на рис. 1.58 показан момент, когда $OM = r_f$).

OS – перпендикуляр к линии PM . Из рис. 1.57. видно что:

$$MS = a; \quad ML = OS; \quad OP = r_w; \quad OM = r_f.$$

По сравнению с предыдущим случаем (ЧШФ без усиков), для правильной обработки бока шлица до внутренней окружности ШВ радиуса r_f , нижняя точка профиля зуба ЧШФ должен быть не выше т. М. на боковой поверхности шлица.

$$h_{yc} = r_f - OK = r_f - r_f \cdot \cos \omega = r_f \cdot (1 - \cos \omega); \quad (1)$$

где $\omega = \alpha_M - \gamma_M$;

$$\alpha_M = \arccos \cdot \left(\frac{OS}{OP} \right) = \arccos \cdot \left(\frac{ML}{r_w} \right) = \arccos \cdot \left(\frac{\sqrt{r_f^2 - a^2}}{r_w} \right);$$

т.к. $ML=OS$ и $r_w = OP$. (см. выше)

$$\gamma_M = \arcsin \left(\frac{a}{r_f} \right).$$

$$\text{Тогда } \omega = \left[\arccos \cdot \left(\frac{\sqrt{r_f^2 - a^2}}{r_w} \right) - \arcsin \cdot \left(\frac{a}{r_f} \right) \right]. \quad (2)$$

Подставив ф. (2) в ф. (1), окончательно получим

$$h_{yc} = r_f \cdot (1 - \cos \omega) = r_f \cdot \left[1 - \cos \left[\arccos \cdot \left(\frac{\sqrt{r_f^2 - a^2}}{r_w} \right) - \arcsin \cdot \left(\frac{a}{r_f} \right) \right] \right].$$

Фрезы с усиками труднее изготовить и они имеют меньший период стойкости, который зависит от размера Δ (чем больше Δ , тем больше стойкость и наоборот). Обычно $\Delta = 0,5 \div 1,5$ мм.

С увеличением Δ увеличиваются размеры канавки на ШВ, что уменьшает прочность шлицевого вала.

Разработан метод определения размера усика на зубе фрезы, исходя из заданных размеров канавки на шлицевом валу.

2. ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОНИЧЕСКИХ КОЛЕС

По аналогии с исходным контуром зубчатой рейки для цилиндрических зубчатых колес (ЗК) и для конических зубчатых колес (КЗК) введено понятие воображаемого плоского (делительный конус лежит в плоскости – рис. 2.1, а, или плосковершинного (конус вершин зубьев лежит в плоскости – рис. 2.1, в, производящего ЗК. Его можно представить как бесконечно тонкий (как будто из фольги) зубчатый контур, находящийся в зацеплении одновременно с обоими зубчатыми коническими колесами пары в плоскости касательной к начальным

конусам колес по линии их контакта (в основе зацепления двух конических колес лежит обкатывание без скольжения двух соответствующих конусов).

Размеры и профиль зубьев конических колес определяются при качении делительного конуса обрабатываемого колеса по начальному конусу производящего колеса (рис. 2.1, б).

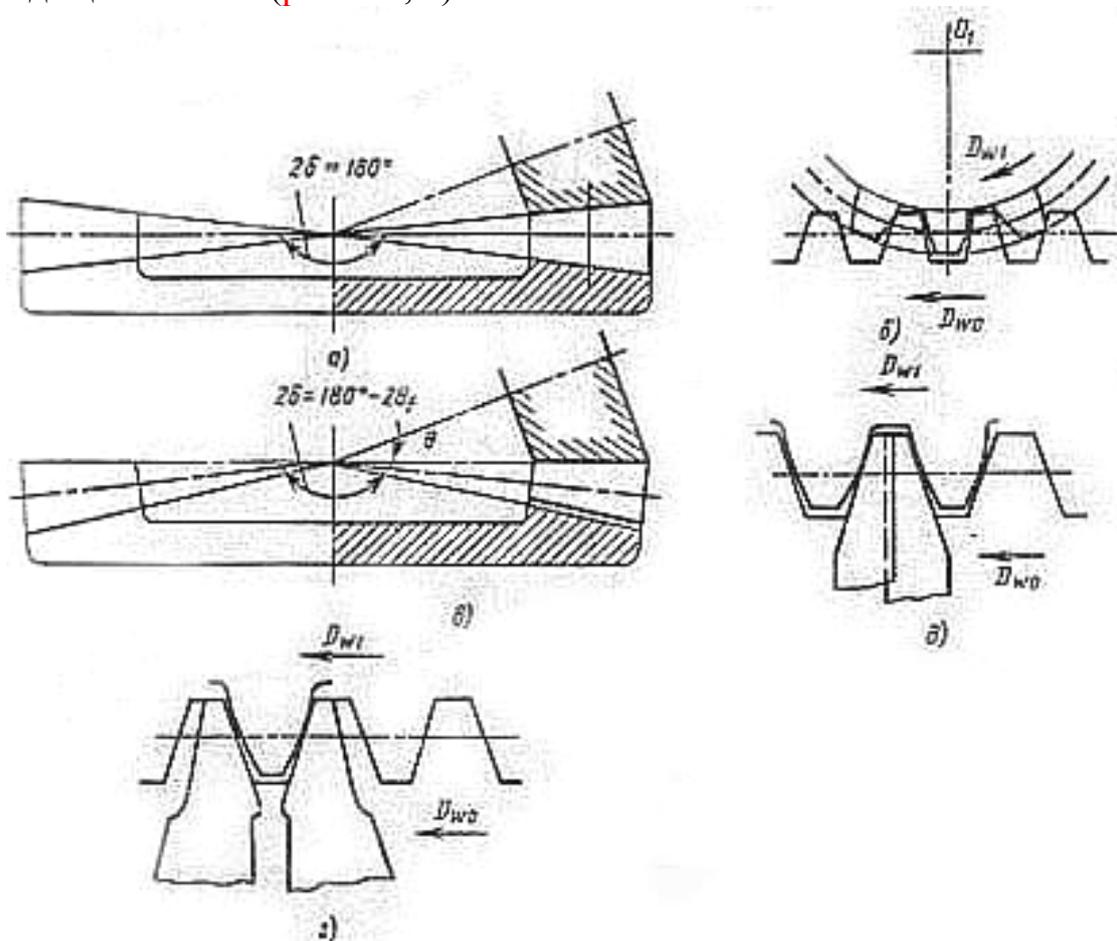


Рис. 2.1. Образование зубьев конического колеса

2.1. ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ КОНИЧЕСКИХ КОЛЕС С ПРЯМЫМИ ЗУБЬЯМИ

К ним относятся: зубострогальные резцы, дисковые фрезы, фрезы-протяжки. Первые два вида инструментов работают с использованием принципа обкатного движения, когда профиль зубьев получают методом огибания при взаимном обкате с плоским производящим колесом.

Зубострогальные резцы (поз. 1 и 2 на рис. 2.2, а) работают методом обката и представляют собой один из зубьев воображаемого производящего колеса, совершают движения резания вдоль образующей зуба во впадине нарезаемого КЗК и перемещаются в обкатном движении вместе с соответствующим поворотом обрабатываемого КЗК.

Конструкция зубострогального резца приведена на рис. 2.2, б. В нормальном к режущей кромке сечении инструментальный угол $\gamma_n = 10...20^\circ$ (у стандартных $\gamma_n = 20^\circ$), а $\alpha_n = 0^\circ$. Статический задний угол $\alpha_c = 4^\circ 10'$ благодаря установке резца под углом 12° .

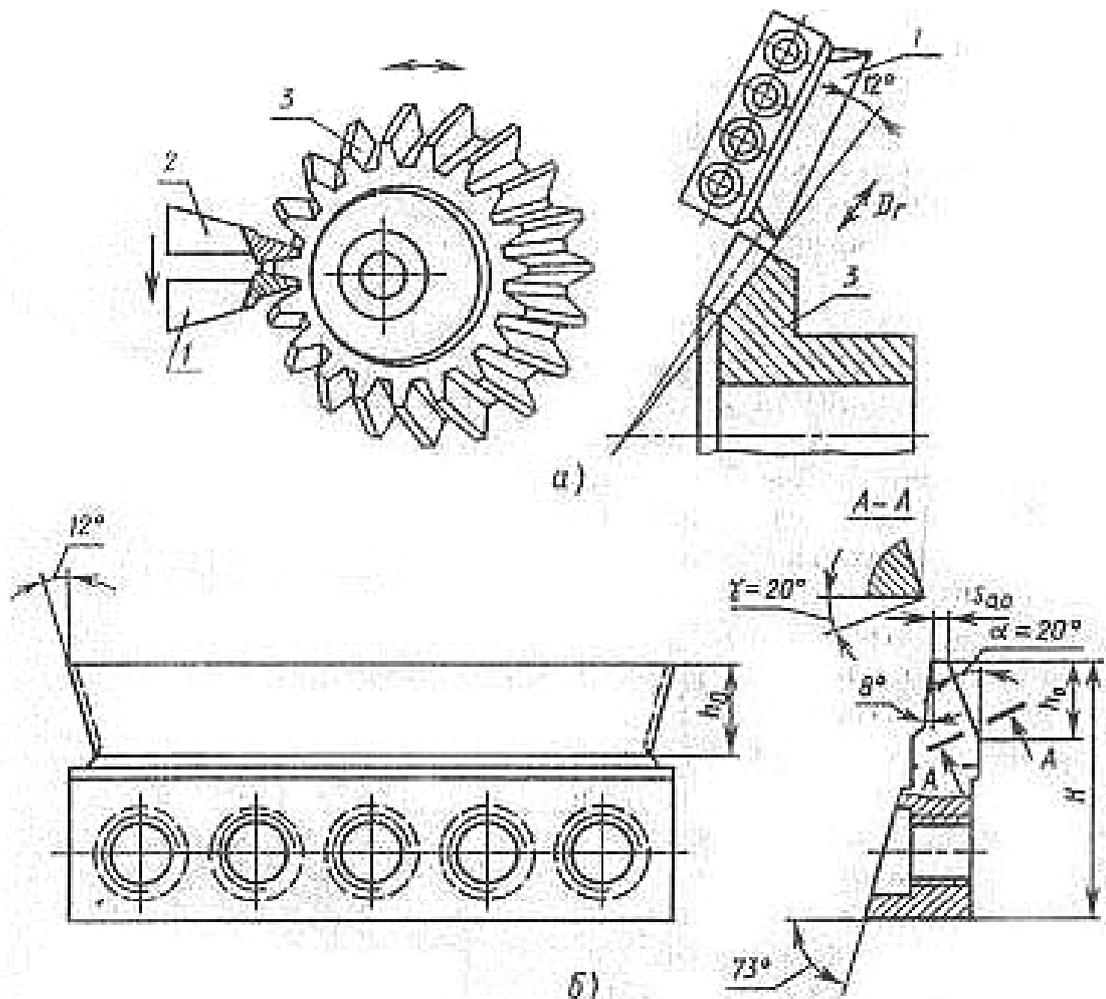


Рис. 2.2. Резцы для нарезания зубьев прямозубого конического колеса

Дисковые фрезы работают методом обката, по конструкции аналогичны одноугловым фрезам и работают в паре для обработки обеих сторон впадины зуба КЗК и представляют собой один из зубьев производящего колеса (рис. 2.3, а). Оси фрез установлены под углом, соответствующим углу профиля нарезаемых зубьев. Стружечная канавка между зубьями фрезы делается увеличенной в окружном направлении для размещения в ней зубьев другой фрезы, образующей другую сторону впадины зуба. Плоскости вращения фрез являются касательными к боковым сторонам впадины зуба КЗК, (оси фрез лежат в одной плоскости под углом друг к другу). При нарезании КЗК для обеспечения обката заготовка поз.3 вращается вокруг своей оси и поступательно перемещается относительно фрез. Фрезы не имеют продольной подачи вдоль нарезаемых зубьев, поэтому этот метод применяют только для нарезания колес с зубьями небольшой длины, а дно впадины получается вогнутой формы.

Фрезы-протяжки работают методом копирования. Имеют дисковый корпус 1, на периферии которого расположено несколько секций 2 с зубьями, имеющими фасонные режущие кромки (рис. 2.3, б, в). Одновременно с вращением инструмента происходит его перемещение в направлении обрабатываемой впадины: режущие кромки, последовательно вступающие в работу, образуют

различные участки профиля впадины, т.е. профили зубьев разных секций различны. Обработка каждой впадины происходит в два рабочих хода: при прямом ходе происходит предварительное удаление материала, при обратном ходе - окончательная обработка впадины. После обработки впадины происходит движение деления для обработки следующей впадины.

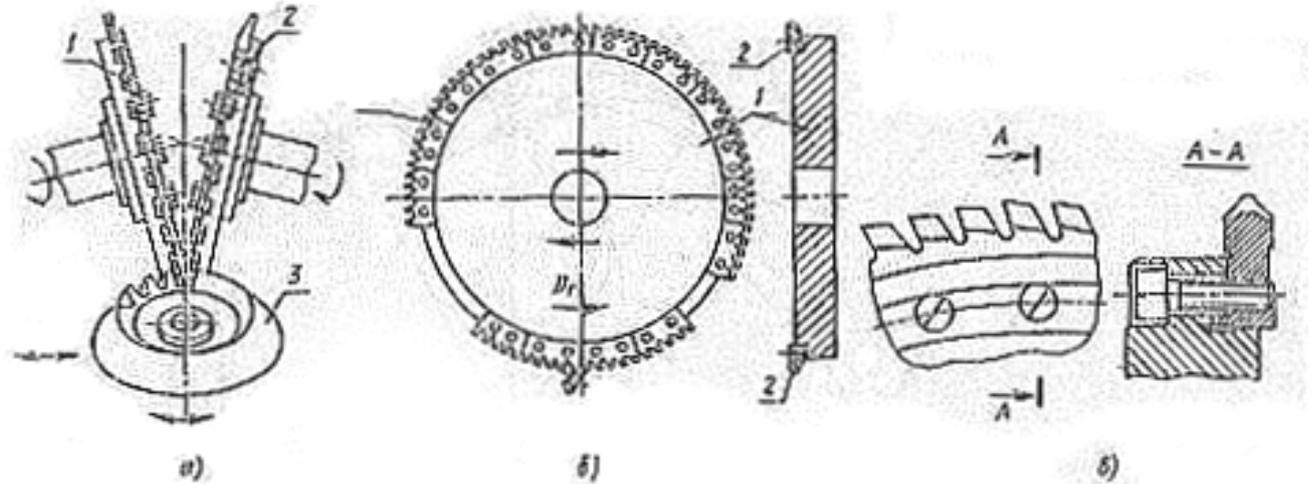


Рис. 2.3. Фрезы и круглая протяжка для нарезания конического прямозубого колеса

2.2. ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ КОНИЧЕСКИХ КОЛЕС С КРУГОВЫМИ ЗУБЬЯМИ

Зуборезная головка работает методом обката и имеет форму диска с резцами на периферии (рис. 3.70, с.25). Режущие кромки резцов головки при ее обкатном движении представляет собой зуб производящего колеса и образуют впадину нарезаемого КЗК. Главное движение резания D_r резцов головки 1 (рис. 2.4, а, б) вращательное вокруг ее оси O_0 не связано с обратным движением заготовки 2 D_{w1} и инструмента 1 D_{w0} . Головка 1 устанавливается на люльке 3 станка с эксцентриситетом относительно оси вращения люльки. В процессе обработки заготовка 2 и люлька 3 совершают согласованные вращательные обкатные движения (оси вращения люльки и заготовки пересекаются). При этом движении образующая поверхность режущих кромок резцов 5 головки перемещается аналогично зубу производящего колеса, в результате чего методом обката образуется профиль зуба нарезаемого КЗК (рис. 2.4, в). После нарезания одной впадины происходит движение деления и обработка следующей впадины. Конструкции чистовых наружных и внутренних резцов приведена на рис. 2.5, а, б. Зуборезные головки в зависимости от направления главного движения бывают право- и леворежущие.

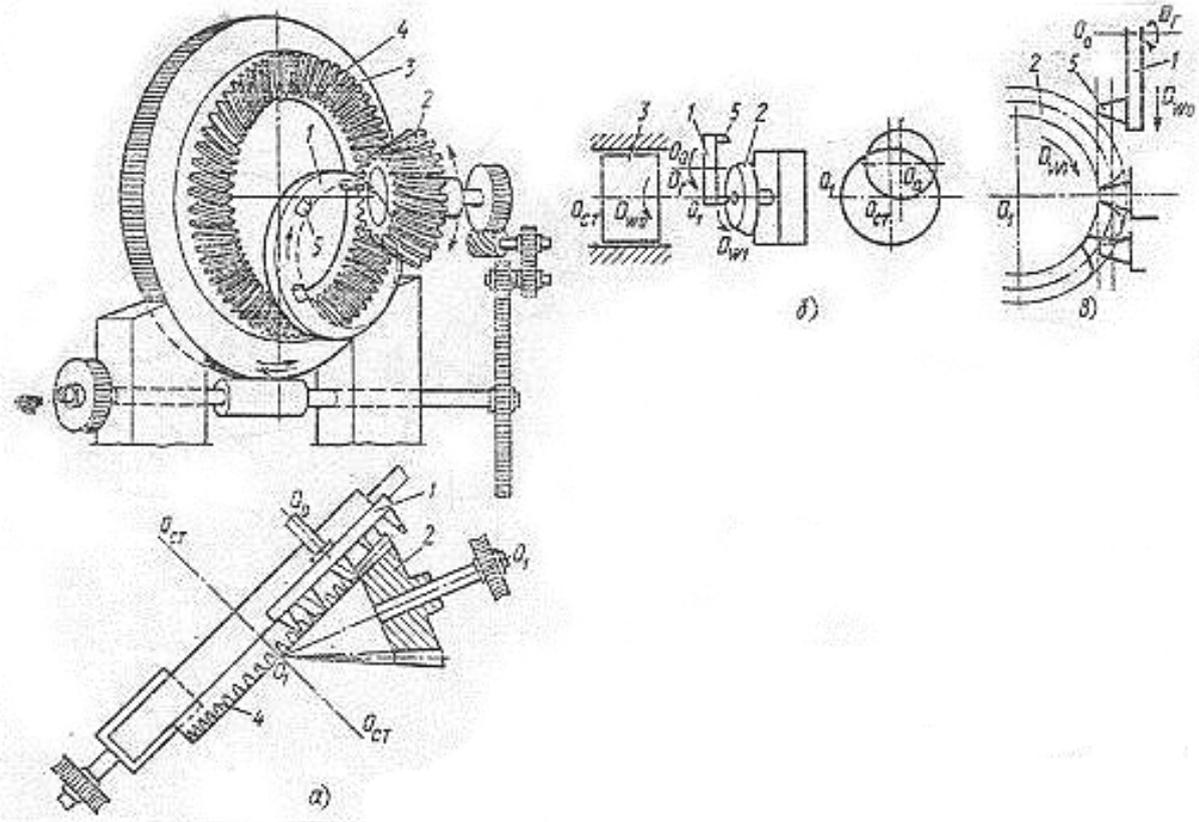


Рис. 2.4. Нарезание конического колеса зуборезной головкой

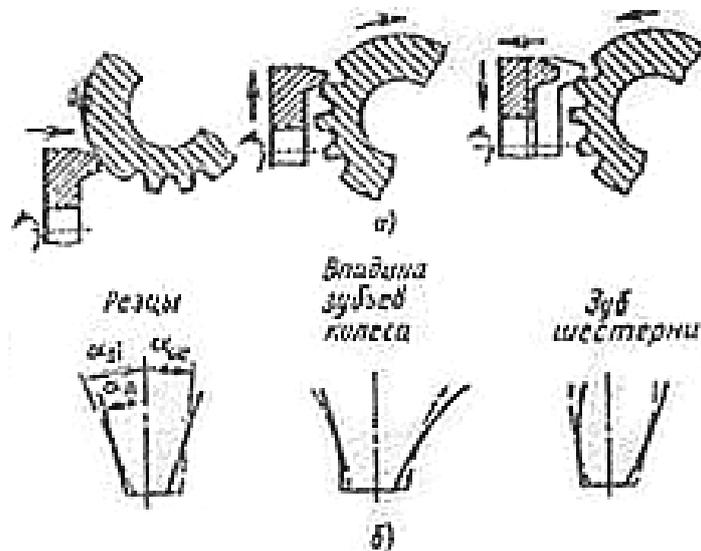


Рис. 2.5. Конструкция чистовых, наружных и внутренних резцов.

Головки протяжного типа производят обработку зубьев колес при непрерывном обкатном движении (нет возвратных поворотов деления люльки и заготовки). Резцы 1, 2, 3 расположены не концентрично оси головки, а по спирали с шагом, равным шагу зубьев нарезаемого колеса (рис. 2.6, д). Крепление резцов осуществляется наклонными винтами (рис. 2.7, а) или клиньями (рис. 2.7, б).

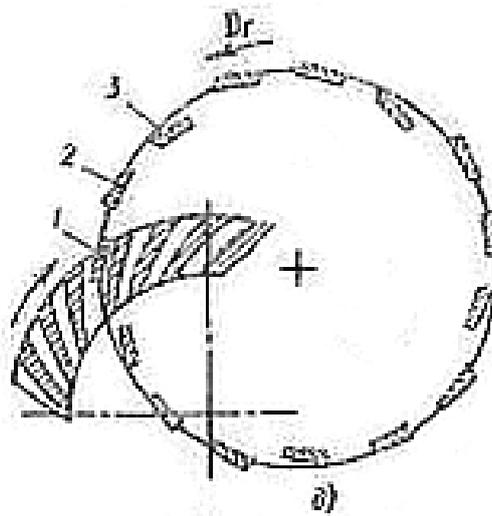


Рис. 2.6. Образование зубьев конических колес различными видами головок

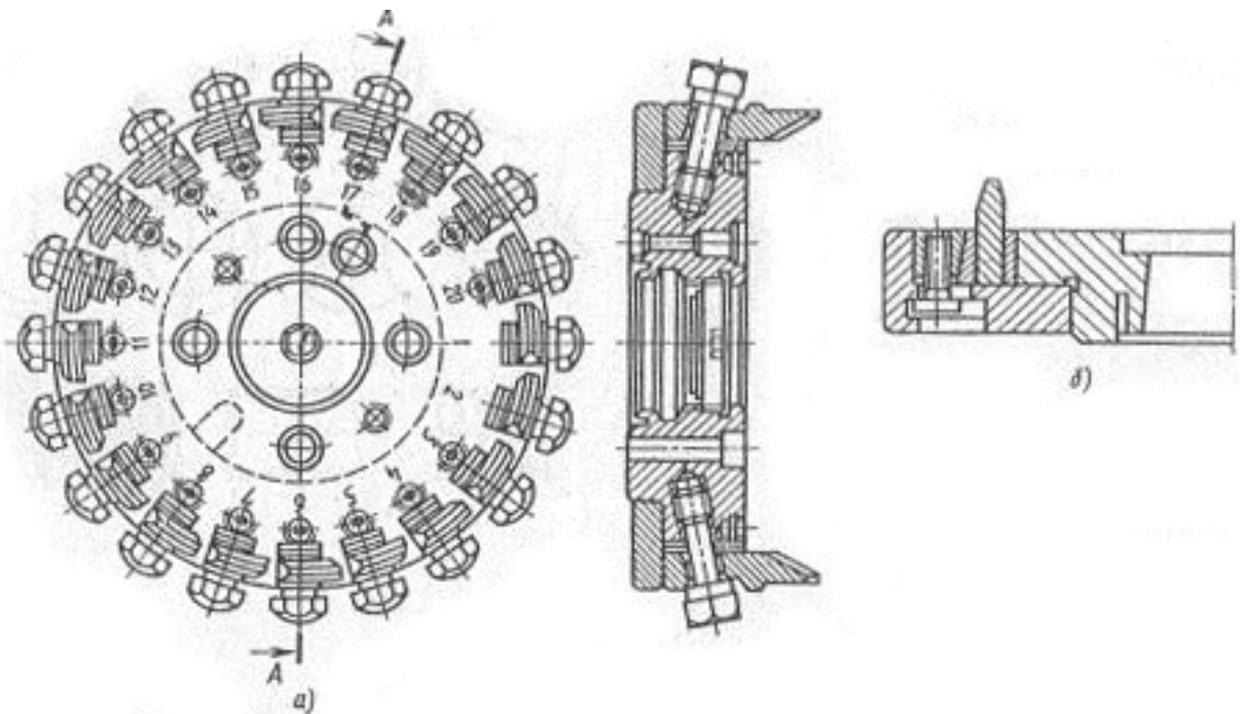


Рис. 2.7. Улучшение конструкции крепления резцов

3. ДИСКОВЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ С ВИНТОВОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Дисковые инструменты применяются для обработки канавок деталей с винтовой поверхностью (с винтовой канавкой) типа ходовых винтов, косозубых колес, спиральных сверл, цилиндрических и концевых фрез, червячно-шлицевых и червячно-модульных фрез и др. Наиболее распространены дисковые незатылованные и затылованные фрезы, и шлифовальные круги. Эти инструменты работают методом бесцентроидного огибания. Особенность этих инструментов в том, что их профиль в диаметральном сечении не совпадает с

профилем винтовой канавки детали и зависит не только от профиля канавки детали, но и от положения инструмента относительно детали, наружного диаметра инструмента и параметра винтовой поверхности p , равного

$$p = \frac{H}{2 \cdot \pi},$$

где H – осевой шаг винтовой поверхности детали.

На рис. 3.1 показаны варианты расположения инструмента относительно детали с разными видами и положениями направляющей линии, по которой перемещается профиль канавки детали:

на рис. 3.1, а – направляющая линия прямая параллельная оси детали: профиль инструмента совпадает с профилем детали;

на рис. 3.1, б – направляющая линия прямая непараллельная оси детали: профили инструмента и детали в сечении М-М совпадают, а в сечении N-N не совпадают.

на рис. 3.1, в – направляющая линия является винтовой линией: профили инструмента и детали не совпадают ни в каких сечениях, как например показано на рис. 3.1, г.

Участки профиля детали при обработке дисковыми инструментами образуются двумя способами:

а) как сопряженные к профилю инструмента, когда в точках касания поверхностей инструмента и детали имеются общие касательные и нормали;

б) как переходные кривые, образованные одной точкой профиля инструмента.

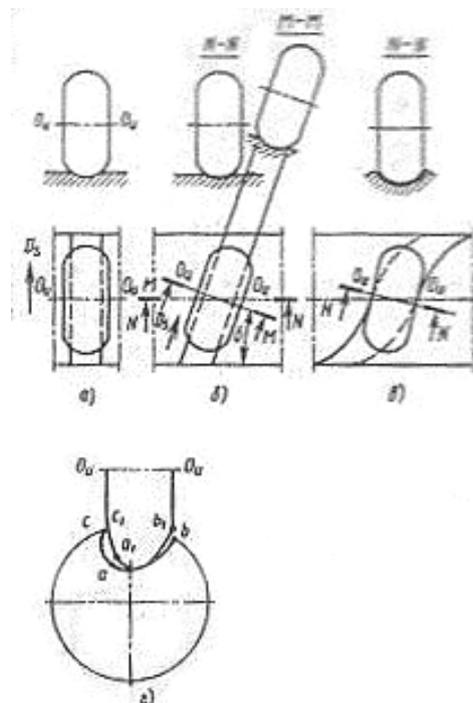


Рис. 3.1. Расположение инструмента относительно заготовки

3.1. СПОСОБЫ ЗАДАНИЯ ВИНТОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Винтовая поверхность любого вида задается формой образующей, ее начальным положением относительно оси винтового движения и винтовым

параметром p . В общем случае образующая винтовой поверхности состоит из отрезков прямых, дуг окружностей или кривых других видов.

Если винтовая поверхность может быть получена отрезком прямой, то она относится к классу линейчатых винтовых поверхностей, например эвольвентная, архимедова и конвалютная поверхности.

Винтовые поверхности, образованные дугами окружностей относятся к классу каналовых винтовых поверхностей.

Образующая линия винтовой поверхности детали может задаваться либо в торцовом, либо в осевом сечениях детали, либо в нормальном к направляющей линии сечении. Если образующая линия по мере ее перемещения по направляющей линии не изменяется по форме и размерам, то она имеет устойчивую конфигурацию; в противном случае – неустойчивую (рис. 3.2, а – устойчивая; б – неустойчивая конфигурация).

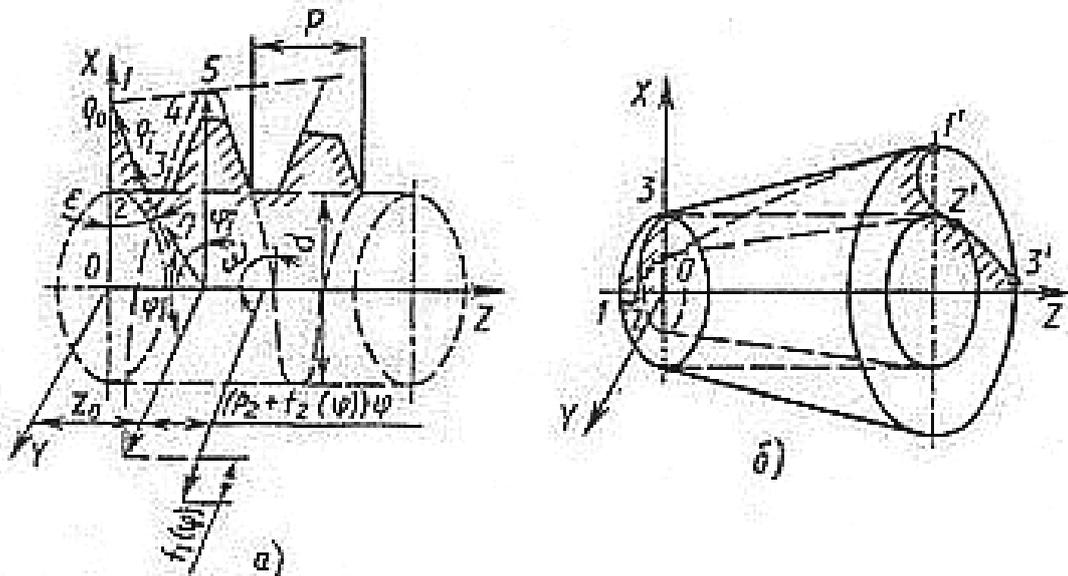


Рис.3.2. Образование винтовой поверхности детали на цилиндре и конусе

Направляющая линия определяется винтовым параметром $p = \frac{H}{2 \cdot \pi}$, (где H – осевой шаг винтовой линии) и диаметром цилиндра (или тела вращения, например конуса), на котором она расположена. По известному углу наклона ω направляющей линии на диаметре d можно определить угол наклона ω_1 винтовой линии поверхности на любом цилиндре диаметром d_1 из условия равенства осевых шагов винтовых линий на различных диаметрах.

$$H = \frac{\pi \cdot d}{\operatorname{tg} \omega} = \frac{\pi \cdot d_1}{\operatorname{tg} \omega_1} \rightarrow \operatorname{tg} \omega_1 = \frac{d_1}{d} \cdot \operatorname{tg} \omega.$$

Уравнение винтовой поверхности можно представить в виде уравнений семейства образующих.

3.2. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОФИЛЯ ЗУБЬЕВ ИНСТРУМЕНТОВ, РАБОТАЮЩИХ МЕТОДОМ БЕСЦЕНТРОИДНОГО ОГИБАНИЯ

Имеются четыре метода определения профиля инструментов, работающих методом бесцентроидного огибания: графический, графоаналитический, аналитический и механический.

Эти методы могут быть реализованы двумя способами:

- 1 – способ общих нормалей и касательных;
- 2 – способ определения профиля инструмента как огибающей совмещённых в диаметральной плоскости инструмента круговых проекций сечений детали, см. [рис. 3.3](#) (этот способ математически сложнее первого).

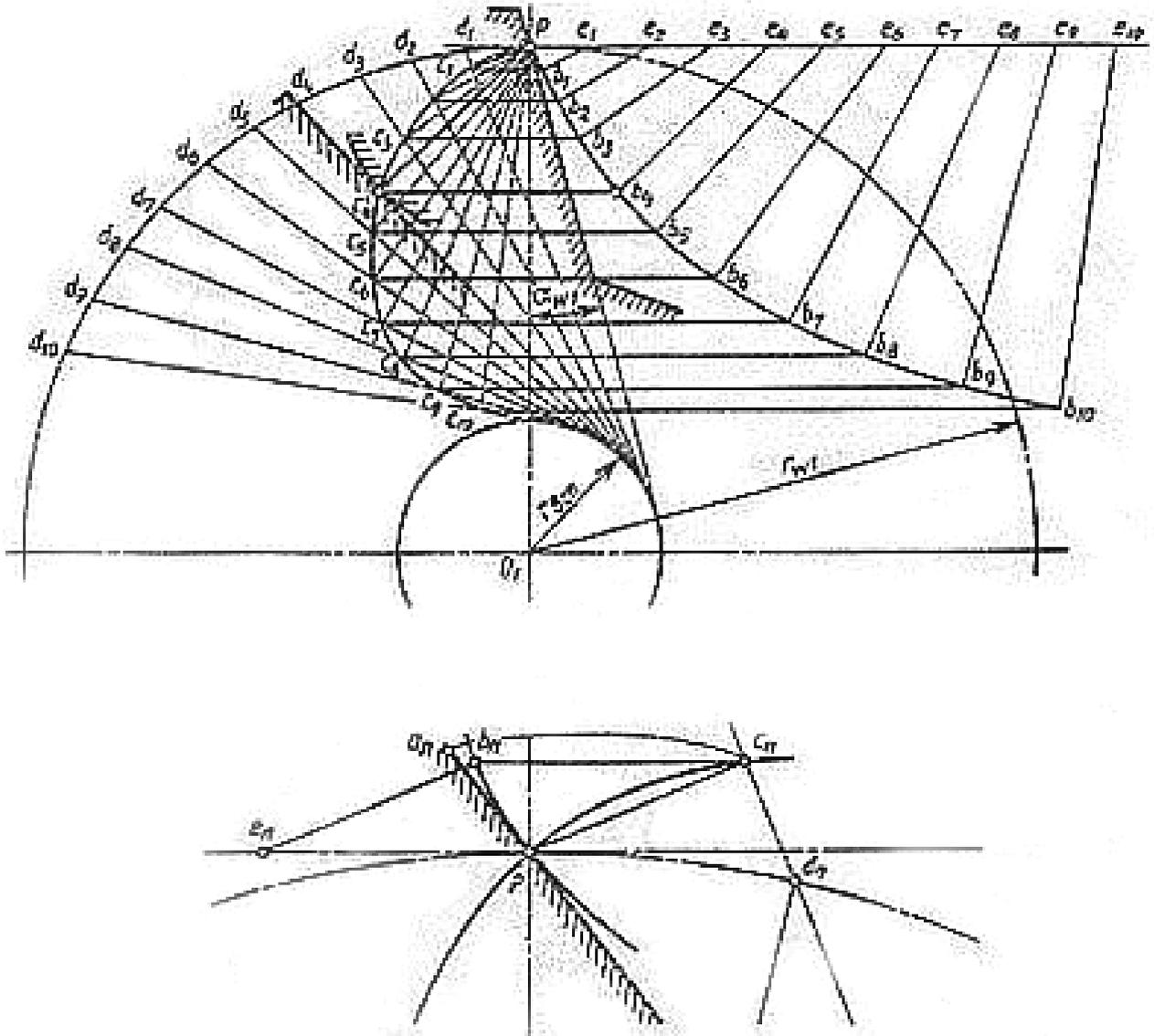


Рис. 3.3. Графический метод определения профиля режущей кромки инструмента

Аналитические методы наиболее точны и универсальны, графические более наглядны.

Наиболее распространены аналитический и графический методы с использованием способа общих нормалей и касательных к кривым винтовой и

производящей поверхности инструмента в сечениях, перпендикулярных оси инструмента.

Сущность графического метода заключается в том, что винтовая поверхность детали рассекается плоскостями, проходящими либо через ось инструмента, либо параллельно оси инструмента, либо перпендикулярно оси детали. Семейство профилей, образованное в указанных сечениях, способом кругового проецирования переносится на осевую плоскость инструмента.

3.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕКОТОРЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДИСКОВЫХ ФРЕЗ

Некоторые конструктивные параметры дисковых фрез определяются еще на этапе их профилирования (например наружный диаметр фрезы d_a).

Наружный диаметр дисковой фрезы d_a выбирается по табл. 3.2 с. 37 альбома по высоте h и ширине B профиля детали.

3.2. Наружный диаметр дисковых фрез.

Размеры в мм

B	Глубина фрезерования h				
	5	10	20	50	100
10	50	63	100	160	250
20	63	80	125	200	256
40	80	90	125	200	320

Выбранный диаметр d_a уточняют по формуле (рис. 3.5):

$$d_a \geq d_k + 2 \cdot (h_{\text{и}} + f),$$

где d_k - наружный диаметр установочного кольца;

f - гарантированный зазор между наружной поверхностью детали и установочным кольцом на оправке: $f = 5 \dots 20$ мм.

Значения посадочного диаметра фрезы d_o ; d_k ориентировочно назначают с учетом диаметра d_a . Например для

$$d_a = 50 \rightarrow d_o \Rightarrow \left. \begin{array}{l} \text{либо } 16 \\ \text{либо } 22 \end{array} \right\} \rightarrow d_k \Rightarrow \left. \begin{array}{l} \text{либо } 26 \text{ мм} \\ \text{либо } 35 \text{ мм} \end{array} \right\}$$

Высоту профиля $h_{\text{и}}$ и ширину профиля $B_{\text{и}}$ фрезы определяют по высоте h и ширине B профиля детали (рис. 3.4, а):

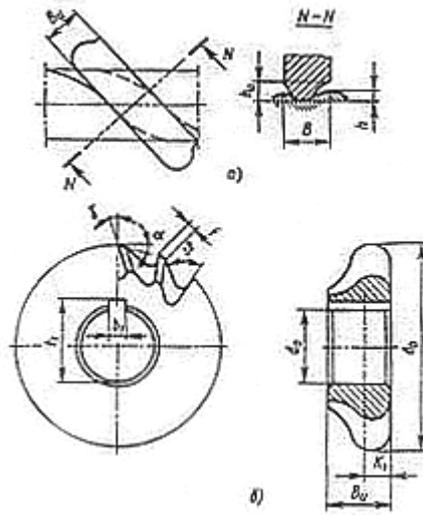


Рис. 3.4. Положение инструмента относительно заготовки и общий вид дисковой фрезы

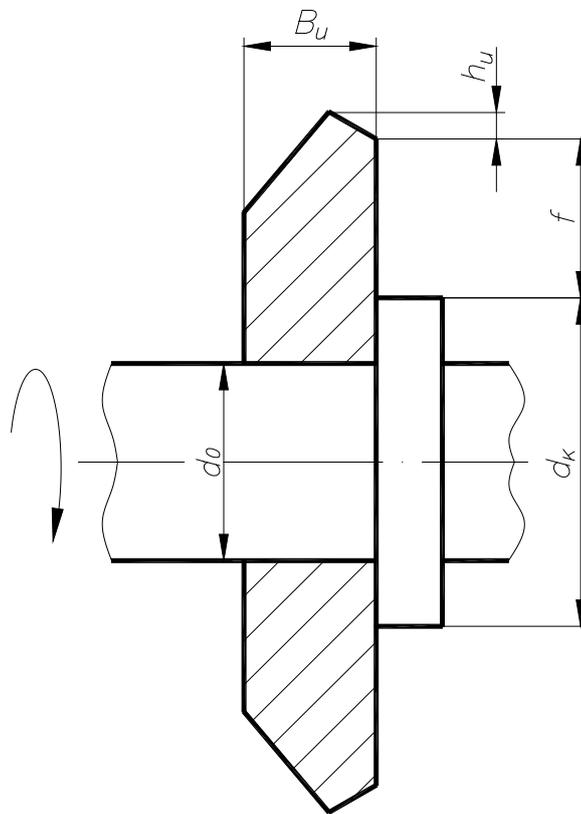


Рис. 3.5.

$$\left. \begin{aligned} h_{\text{и}} &= h + \Delta h, \text{ где } \Delta h = 2 \dots 4 \text{ мм} \\ B_{\text{и}} &= B + \Delta B, \text{ где } \Delta B = 2 \dots 4 \text{ мм} \end{aligned} \right\}$$

дополнительное увеличение для

гарантированной обработки при увеличении припуска на детали по её наружному диаметру.

4. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

4.1. Основная литература

- 4.1.1. Режущий инструмент / Д.В. Кожевников, В.А. Гречишников, С.В. Кирсанов и др. / под ред. С.В. Кирсанова.- М.: Машиностроение, 2004.– 512с.
- 4.1.2. Металлорежущие инструменты: учебник для вузов для по специальностям “Технология машиностроения”, “Металлорежущие станки и инструменты” / Г.Н. Сахаров [и др.]. – М.: Машиностроение, 1989. – 328 с.
- 4.1.3. Проектирование металлорежущих инструментов: учеб. пособие для вузов по специальности “Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты”/ Г.Г. Иноземцев.- М.: Машиностроение, 1984. – 272 с.

4.2. Дополнительная литература

- 4.2.1. Боровский Г.В., Григорьев С.Н., Маслов А.Р. Справочник инструментальщика. / под ред. А.Р. Маслова. М.: Машиностроение, 2005. 464 с.: ил.
- 4.2.2. Ю.П. Прудников, Г.И. Киреев, В.П. Табаков. Расчет и проектирование зуборезных инструментов: учебное пособие. / Прудников Ю.П. – Ульяновск: УлГТУ, 2002. – 164 с.
- 4.2.3. Справочник конструктора-инструментальщика / В.И. Баранчиков [и др.]; под ред. В.И. Баранчикова. – М.: Машиностроение, 1994. – 560 с.
- 4.2.4. Справочник инструментальщика / И.А. Ординарцев [и др.]; под ред. И.А. Ординарцева – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987. – 846 с.

Учебное издание

ДЕМИДОВ Валерий Васильевич

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА
Учебно-методический комплекс

Подписано в печать с оригинал-макета _____. Формат _____
Бумага офсетная. Печать трафаретная. Усл.печ.л. _____.
Уч.-изд.л. _____. Тираж ___ экз. Заказ _____.

Ульяновский государственный технический университет,
432027, г. Ульяновск, ул. Сев. Венец, д. 32.

Типография УлГТУ, 432027, г. Ульяновск, ул. Сев. Венец, д. 32.