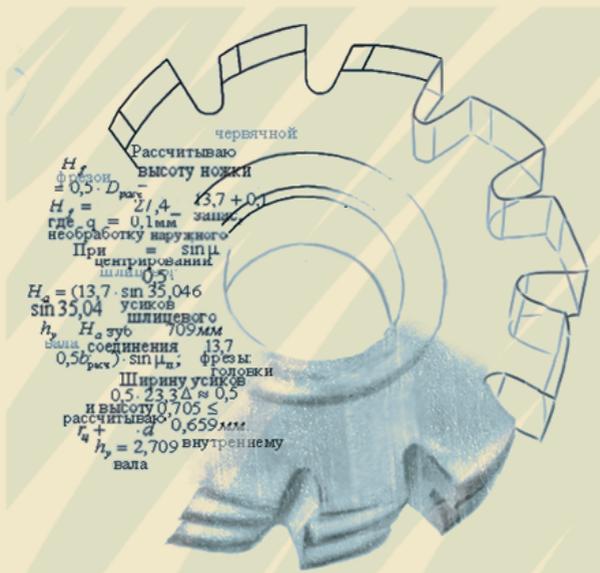


К.Я. Васькин

# КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Электронное учебно-методическое пособие



УДК 621.9.02  
ББК 30.2-5-05

Рецензенты:

канд. техн. наук, нач. отдела внедрения и сопровождения систем автоматизированного проектирования Волжского машиностроительного завода *Д.Е. Рыбальченко*;  
канд. техн. наук, доцент Тольяттинского государственного университета *Л.А. Резников*.

Васькин, К.Я. Компьютерное моделирование режущего инструмента : электронное учебно-методическое пособие / К.Я. Васькин. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2015. – 1 оптический диск.

Пособие предназначено для выполнения лабораторных и практических работ по дисциплинам САПР (CAD), «Компьютерные технологии и моделирование в машиностроении», а также для курсового и дипломного проектирования.

Адресовано студентам, обучающимся по направлению подготовки 151900.62 (15.03.05) «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», профиль «Технология машиностроения».

Текстовое электронное издание.

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

Минимальные системные требования: IBM PC-совместимый компьютер: Windows XP/Vista/7/8; ПИИ 500 МГц или эквивалент; 128 Мб ОЗУ; SVGA; Adobe Acrobat Reader.

© ФГБОУ ВПО «Тольяттинский  
государственный университет», 2015



Редактор *Т.Д. Савенкова*

Корректор *Т.В. Кутумова*

Технический редактор *Н.П. Крюкова*

Компьютерная верстка: *Л.В. Сызганцева*

Художественное оформление, компьютерное проектирование: *Г.В. Карасева*

Дата подписания к использованию 27.10. 2015.

Объем издания 5 Мб.

Комплектация издания: компакт-диск, первичная упаковка.

Заказ № 1-15-15.

Издательство Тольяттинского государственного университета

445667, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14

тел. 8(8482) 53-91-47, [www.tltsu.ru](http://www.tltsu.ru)

## Содержание

Введение .....	5
1. Определение профиля круглого фасонного резца .....	6
2. Аналитическое определение профиля инструмента для обработки винтовой канавки спирального сверла .....	13
3. Оценка адекватности метода твердотельного моделирования режущего инструмента .....	22
4. Построение модели призматического фасонного резца .....	26
5. Построение модели круглого фасонного резца .....	31
6. Построение модели винтовой поверхности спирального сверла .....	40
7. Получение производящей поверхности инструмента для изготовления сверла .....	45
8. Определение профиля сверла при заданном профиле инструмента (обратная задача) .....	53
9. Определение профиля инструмента при вихревой обработке винтовых поверхностей .....	56
10. Моделирование прямозубого долбяка .....	64
11. Моделирование червячной фрезы .....	72
12. Варианты заданий .....	77
Библиографический список .....	80

## Введение

Работу современного инженера невозможно представить без использования компьютерных технологий. Поэтому в учебном плане подготовки бакалавра присутствует дисциплина «Компьютерные технологии и моделирование в машиностроении».

Цель дисциплины – формирование у студента компетенций построения и анализа моделей исследуемых и проектируемых технических систем и технологических процессов, проведения виртуального вычислительного эксперимента на современном уровне с использованием программных продуктов инженерного анализа класса CAD/CAM/CAE.

Задачи:

1. Сформировать у студента глубокие знания в области автоматизированного инженерного анализа о функциональном моделировании технических объектов и технологических процессов.
2. Сформировать знания о системах моделирования и инженерного анализа, умение подбирать параметры моделей в зависимости от моделируемого объекта.
3. Обеспечить получение студентами практического опыта применения автоматизированных систем CAD/CAM/CAE.

Студент должен иметь представление:

- о современном состоянии систем CAD/CAM/CAE;
- ведущих разработчиках систем CAD/CAM/CAE;
- перспективных возможностях систем CAD/CAM/CAE.

Студент должен знать:

- основные принципы построения и функционирования систем CAD/CAM/CAE;
- математическое описание геометрических объектов САПР и действий над ними;
- как создавать трехмерные параметрические модели деталей и сборочных единиц с использованием САПР.

Студент должен иметь навыки:

- построения трёхмерных параметрических моделей деталей;
- построения трёхмерных параметрических моделей сборочных единиц.

## 1. Определение профиля круглого фасонного резца

Для определения профиля фасонного резца общим аналитическим методом необходимо найти режущую кромку как линию пересечения поверхности детали с плоскостью передней грани резца, принять ее за образующую поверхности резца и определить линию сечения резца плоскостью, нормальной к задней поверхности инструмента. Эта задача решена в пакете Mathcad.

Исходные данные.

1. Радиус канальной поверхности,  $r = 10$  мм.
2. Наибольшая глубина канавки,  $k = 5$  мм.
3. Угол наклона, при котором происходит касание канальной и конической поверхности,  $\beta = 30^\circ$ .
4. Угол наклона конической поверхности,  $\delta = 30^\circ$ .
5. Наибольший радиус детали,  $R_{\max} = 30$  мм.
6. Минимальный радиус детали,  $R_{\min} = R_{\max} - k$ .
7. Передний угол резца,  $\gamma = 6^\circ$ .
8. Задний угол резца,  $\alpha = 6^\circ$ .

Вводим исходные данные:

$$r := 10;$$

$$k := 1;$$

$$\beta := 30\text{deg};$$

$$\delta := 30\text{deg};$$

$$R_{\max} := 30;$$

$$R_{\min} := R_{\max} - 10;$$

$$\gamma := 6\text{deg};$$

$$\alpha := 6\text{deg}.$$

На рис. 1.1 изображен эскиз детали и заданы оси координат. Для определения профиля детали с помощью уравнений деталь разбивается на участки.

Первый участок  $0 \leq z \leq z_1$  — участок цилиндрической поверхности. От точки 0 до точки  $z_1$  длина этого участка измеряется по оси  $z$ .

Второй участок  $z_1 \leq z \leq z_2$  — участок канальной поверхности.

Третий участок  $z_2 \leq z \leq z_3$  — участок конической поверхности.

Четвертый участок  $z_3 \leq z \leq z_4$  — участок цилиндрической поверхности.

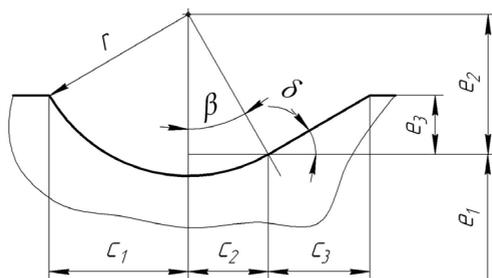
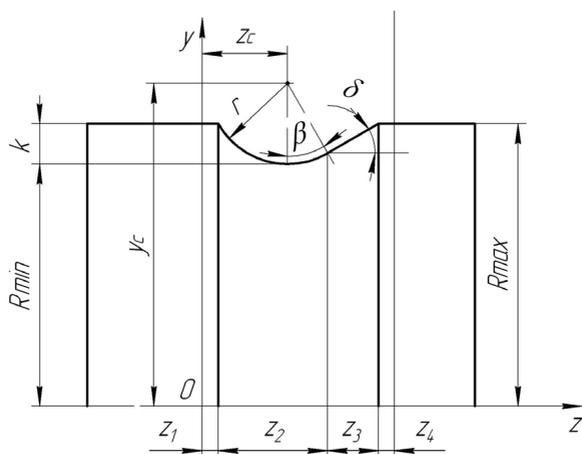


Рис. 1.1. Эскиз детали

Участок канальной поверхности от конца цилиндрической до самой нижней точки –  $c_1$ .

Участок канальной поверхности от нижней точки до начала конической поверхности –  $c_2$ .

Участок конической поверхности –  $c_3$ .

Описываем профиль детали, используя разбиение на участки и описывая каждый участок соответствующими уравнениями поверхностей.

Описываем профиль детали на первом участке:

$$0 \leq z < z_1;$$

$$z_1 = 2;$$

$$R_1(z) = R_{\max}.$$

Вводим значения:

$$0 \leq z < z_1;$$

$$z_1 := 2;$$

$$R_1(z) := 30.$$

Описываем профиль детали на втором участке:

$$z_1 \leq z < z_2;$$

$$c_1 = \sqrt{r^2 - (r - k)^2};$$

$$c_2 = r \cdot \sin(\beta);$$

$$z_2 = z_1 + c_1 + c_2;$$

$$z_c = z_1 + c_1;$$

$$y_c = R_{\max} + r - k;$$

$$R_2(z) = y_c - \sqrt{r^2 - (z - z_c)^2}.$$

Вводим значения:

$$z_1 \leq z < z_2;$$

$$c_1 := \sqrt{10^2 - (10 - 5)^2};$$

$$c_2 := 10 \cdot \sin(30);$$

$$z_2 := 2 + c_1 + c_2;$$

$$z_c := 2 + c_1;$$

$$y_c := 30 + 10 - 5;$$

$$R_2(z) := y_c - \sqrt{10^2 - (z - z_c)^2}.$$

Определяем профиль детали на третьем участке:

$$z_2 \leq z < z_3;$$

$$e_2 = r \cdot \cos(\beta);$$

$$e_1 = y_c - e_2;$$

$$e_3 = R_{\max} - e_1;$$

$$c_3 = \frac{e_3}{\tan(\delta)};$$

$$z_3 = z_2 + c_3;$$

$$R_3(z) = z \cdot \tan(\delta) + e_1 - z_2 \cdot \tan(\delta).$$

Вводим значения:

$$z_2 \leq z < z_3;$$

$$e_2 := 10 \cdot \cos(30);$$

$$e_1 := y_c - e_2;$$

$$e_3 := 30 - e_1;$$

$$c_3 := \frac{e_3}{\tan(30)};$$

$$z_3 := z_2 + c_3;$$

$$R_3(z) := z \cdot \tan(30) + e_1 - z_2 \cdot \tan(30).$$

Определяем профиль детали на четвертом участке:

$$z_3 \leq z < z_4;$$

$$z_4 = z_3 + 2;$$

$$R_4(z) = R_{\max}.$$

Вводим значения:

$$z_3 \leq z < z_4;$$

$$z_4 := z_3 + 2;$$

$$R_4(z) := 30.$$

$$\text{Профиль детали: } R(z) = \begin{cases} R_1(z) & \text{if } 0 \leq z < z_1 \\ R_2(z) & \text{if } z_1 \leq z < z_2 \\ R_3(z) & \text{if } z_2 \leq z < z_3 \\ R_4(z) & \text{if } z_3 \leq z < z_4 \end{cases}$$

Вводим:

$$R(z) := \begin{cases} R_1(z) & \text{if } 0 \leq z < z_1 \\ R_2(z) & \text{if } z_1 \leq z < z_2 \\ R_3(z) & \text{if } z_2 \leq z < z_3 \\ R_4(z) & \text{if } z_3 \leq z < z_4 \end{cases}$$

Задавая значения  $z$ , получаем соответствующие значения  $R$ .

Вводим значение:

$$z := 0, 0.01 \dots z_4.$$

Вставляем график  $R(z)$ . Вставка  $\Rightarrow$  график. По одной оси задать  $R(z)$ , по другой  $z$ . В результате получен профиль детали (рис. 1.2).

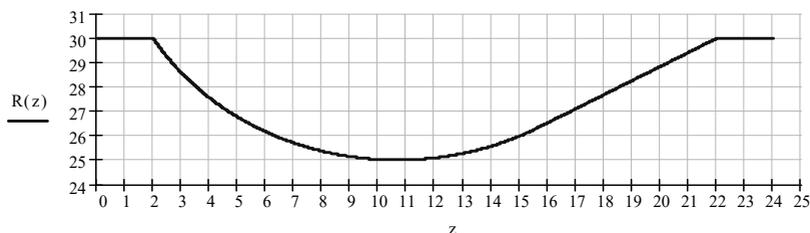


Рис. 1.2. Профиль детали

Для определения профиля инструмента необходимо найти сечение детали плоскостью, проходящей через переднюю поверхность резца. Эта плоскость задается уравнением:

$$y = \tan(\gamma) \cdot (R_{\min} - x).$$

Решая это уравнение совместно с уравнениями детали, получаем систему.

Вводим значения:

$$x^2 + y^2 = R^2;$$

$$R = R(z);$$

$$y = \tan(\beta) \cdot (R_{\min} - x).$$

Преобразовывая систему, получаем уравнения:

$$x = 0;$$

Given

$$x^2 + [\tan(\gamma) \cdot (R_{\min} - x)]^2 - R(z)^2 = 0; \quad (1)$$

$$X(z) = \text{Find}(x);$$

$$y = 0;$$

Given

$$\left( R_{\min} - \frac{y}{\tan(\gamma)} \right)^2 + y^2 - R(z)^2 = 0; \quad (2)$$

$$Y(z) = \text{Find}(y).$$

Вводим значения:

$$x := 0;$$

Given

$$x^2 + [\tan(\gamma) \cdot (R_{\min} - x)]^2 - R(z) = 0;$$

$$X(z) := \text{Find}(x);$$

$$y := 0;$$

Given

$$\left( R_{\min} - \frac{y}{\tan(\gamma)} \right)^2 + y^2 - R(z)^2 = 0;$$

$$Y(z) = \text{Find}(y).$$

Определяем радиус детали:

$$R1(z) = -\sqrt{X(z)^2 + Y(z)^2}.$$

Задавая значениями  $z$ , получаем соответствующие значения  $R1$ :

$$z = 0, 0.1 \dots z4.$$

Вводим значения:

$$R1(z) := -\sqrt{X(z)^2 + Y(z)^2};$$

$$z := 0, 0.1 \dots z4.$$

Вставляем график  $R1(z)$ . Вставка  $\Rightarrow$  график. По одной оси задать  $R1(z)$ , по другой  $z$  (рис. 1.3).

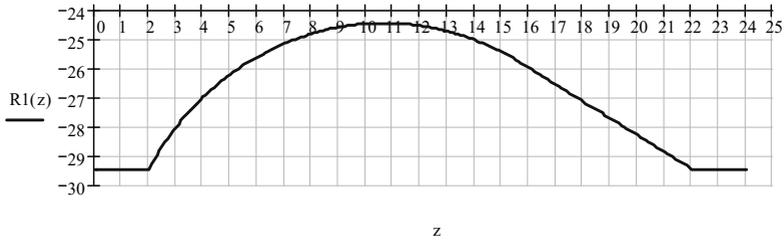


Рис. 1.3. Сечение детали плоскостью, проходящей через переднюю поверхность резца

Вводим параметры фасонного резца:

Радиус резца  $R = 4(k + 3)$ .

Высота установки оси резца относительно оси детали  $h_{\text{уст}} = R_p \cdot \sin(\alpha)$ .

Расстояние от оси резца до точки касания с деталью  $e = R_p \cdot \cos(\alpha)$ .

Вводим значения:

$$R := 4 \cdot (5 + 3);$$

$$h_{\text{уст}} := R_p \cdot \sin(6)$$

$$e := R_p \cdot \cos(6).$$

Определяем координаты оси резца:

$$y_0 = h_{\text{уст}};$$

$$x_0 = e + R_{\text{min}}.$$

Вводим значения:

$$y_0 := h_{\text{уст}};$$

$$x_0 := e + R_{\text{min}}.$$

Записываем уравнения (1) и (2) в новой системе координат, связанной с резцом:

$$x_u = 0;$$

$$y_u = 0;$$

$$x = x_u - x_0;$$

$$y = y_u - y_0.$$

Given

$$(x_u - x_0)^2 + [\tan(\gamma) \cdot [R_{\text{min}} - (x_u - x_0)] - y_0]^2 = 0;$$

$$X_u(z) = \text{Find}(x_u).$$

Given

$$\left[ \left( R_{\text{min}} - \frac{y}{\tan(\gamma)} \right) - x_0 \right]^2 + (y_u - y_0)^2 - R(z)^2 = 0;$$

$$Y_u(z) := \text{Find}(y_u).$$

Вводим значения:

$$x_u := 0;$$

$$y_u := 0;$$

$$x := x_u - x_0;$$

$$y := y_u - y_0.$$

Given

$$(x_u - x_0)^2 + [\tan(\gamma) \cdot [R_{\min} - (x_u - x_0)] - y_0]^2 = 0;$$

$$X_u(z) := \text{Find}(x_u).$$

Given

$$\left[ \left( R_{\min} - \frac{y}{\tan(\gamma)} \right) - x_0 \right]^2 + (y_u - y_0)^2 - R(z)^2 = 0;$$

$$Y_u(z) := \text{Find}(y_u).$$

Определяем радиус резца по формуле:

$$R_u(z) = \sqrt{X_u(z)^2 + Y_u(z)^2}.$$

Задавая значениями  $z$ , получаем профиль резца

$$z = 0, 0.1 \dots z4.$$

Вводим значения:

$$R_u(z) := \sqrt{X_u(z)^2 + Y_u(z)^2};$$

$$z := 0, 0.1 \dots z4.$$

Вставляем график  $R_u(z)$ . Вставка  $\Rightarrow$  график. По одной оси задать  $R_u(z)$ , по другой  $z$  (рис. 1.4).

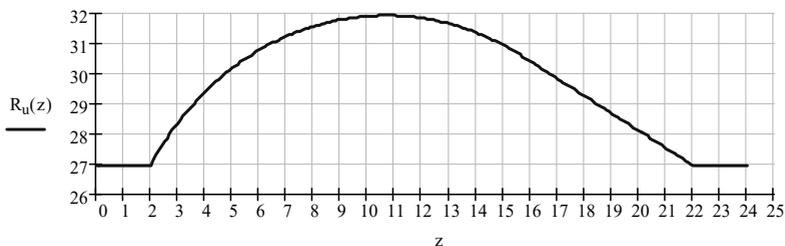


Рис. 1.4. Профиль фасонного резца

## 2. Аналитическое определение профиля инструмента для обработки винтовой канавки спирального сверла

Винтовые канавки спиральных сверл нарезают либо при помощи дисковых фрез, либо абразивными кругами. Задача нахождения профиля таких инструментов решается с помощью пакета MathCad.

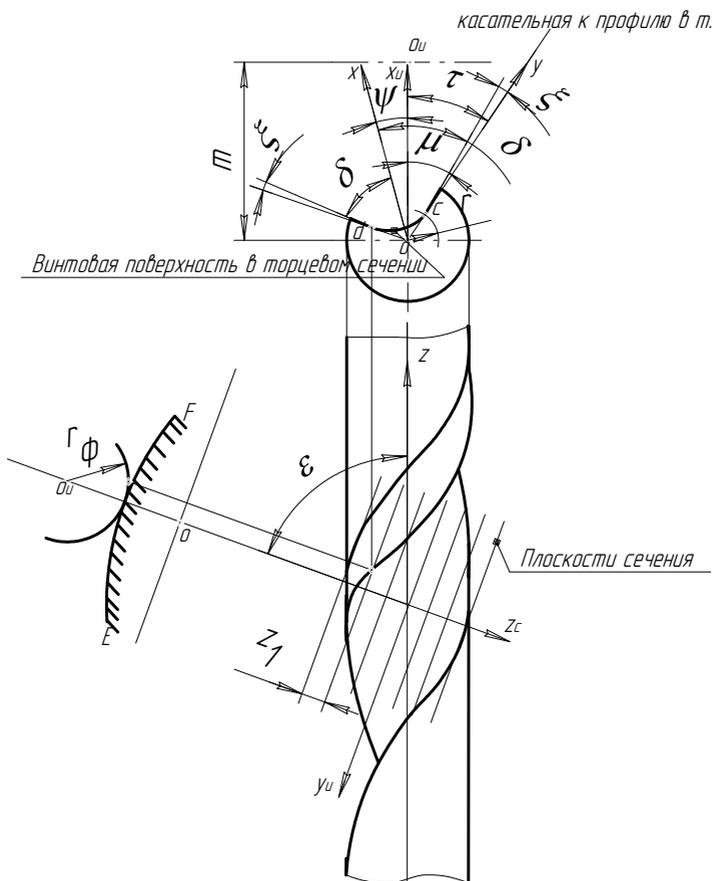


Рис. 2.1. Геометрические параметры спирального сверла:  
 $r$  – радиус точки  $C$ ;  $\delta$  – положение оси (угол между абсциссой и радиус-вектором  $t$ .  $C$ );  $\xi$  – угол давления (угол между радиус-вектором точки и касательной в заданной точке);  $\mu$  – угол между радиус-вектором и осью  $X_u$ ;  $\phi$  – угол поворота сечения относительно предыдущего сечения

Задаются:

диаметр сверла –  $D$ ;

расстояние между осью инструмента и заготовкой –  $m$ ;

угол перекрещивания осей –  $\varepsilon$ ;

угол поворота детали в торцовом сечении относительно инструмента –  $\psi$ .

В данном примере задаемся следующими значениями:  $\beta := 20\text{deg}$ ;

$$D := 25; m := 35; \varepsilon := 70 \cdot \frac{\pi}{180}; \psi := 15 \cdot \frac{\pi}{180}.$$

Определяются постоянные величины:

$r_n$  – радиус начальной окружности;

$k_1$  – обозначенная величина;

$k_2$  – обозначенная величина.

Определить шаг и параметр винтовой линии по формулам:

$$t := \frac{\pi \cdot D}{\text{tg}\beta}; \quad (2.1)$$

$$p := \frac{t}{2 \cdot \pi}. \quad (2.2)$$

Определить  $r_n, k_1, k_2$  по формулам:

$$r_n := p \cdot \cos(\varepsilon); \quad (2.3)$$

$$k_1 := \frac{m + r_n}{p^2}; \quad (2.4)$$

$$k_2 := \frac{m \cdot r_n}{p^2}. \quad (2.5)$$

В данном примере вводим значения:

$$t := \frac{\pi \cdot 25}{\text{tg}\beta} = 215,7; \quad p := \frac{215,7}{2 \cdot \pi} = 34,34;$$

$$r_n := 215,7 \cdot \cos\left(70 \cdot \frac{\pi}{180}\right); \quad k_1 := \frac{35 + r_n}{215,7^2}; \quad k_2 := \frac{35 \cdot r_n}{215,7^2}.$$

Для нахождения координат точек построить в «КОМПАС 3D» сечение сверла.

Для построения профиля вычертить две проекции сверла (рис. 2.2). На одной проекции на торцовом сечении отметить несколько точек. Отмерить расстояния от режущей кромки до данных точек ( $\Delta l$ ) Для каждой точки вычислить угол поворота, который и

отложить на другой проекции:  $\Delta\beta = \frac{\Delta l}{p}$ .

После построения профиля сверла для каждой точки по рисунку найти  $r, \delta, \xi$ .

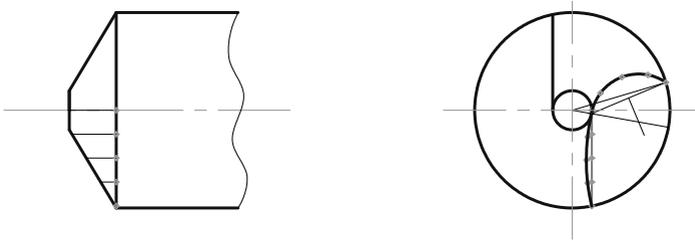


Рис. 2.2. Профиль сверла

Формулы для определения координат точек профиля инструмента:

величина  $u$  :  $u := r \cdot \sin(\xi)$ ;

величина  $v$  :  $v := r \cdot \cos(\xi)$ ;

величина  $n_1$  :  $n_1 := k_1 \cdot u$ ;

величина  $n_2$  :  $n_2 := k_2 + \frac{u^2}{p^2}$ ;

величина  $n_3$  :  $n_3 := \psi - \delta - \xi - v \frac{u}{p^2}$ .

Решить уравнение относительно  $\tau$ .

Принимаем  $\tau := 1$ .

Given

$$\frac{n_2 \cdot \cos(\tau) - n_1}{\sin(\tau)} - n_3 - \tau = 0; \quad (2.6)$$

$\tau := \text{Find}(\tau)$ .

Угол  $\mu$  :  $\mu := \tau - \xi$ .

Угол  $\phi$  :  $\phi := \mu + \psi - \delta$ .

Координаты инструмента:

$x_u := r \cdot \cos(\mu) - m$ ;

$y_u := -r \cdot \cos(\varepsilon) \cdot \sin(\mu) - p \cdot \phi \cdot \sin(\varepsilon)$ ;

$z_u := r \cdot \sin(\varepsilon) \cdot \sin(\mu) - p \cdot \phi \cdot \cos(\varepsilon)$ .

Радиус инструмента:

$$r_u := \sqrt{x_u^2 + y_u^2}. \quad (2.7)$$

Ввести формулы для определения координат инструмента для каждой точки, задав при этом ранее определенные  $r, \delta, \xi$ .

Для первой точки:

$$r := 12.5 \quad \delta := 0.759 \quad \xi := 0.098$$

$$u := r \cdot \sin(\xi);$$

$$v := r \cdot \cos(\xi);$$

$$n_1 := k_1 \cdot u;$$

$$n_2 := k_2 + \frac{u^2}{p^2};$$

$$n_3 := \psi - \delta - \xi - v \frac{u}{p^2};$$

$$\tau := 1.$$

Given

$$\frac{n_2 \cdot \cos(\tau) - n_1}{\sin(\tau)} - n_3 - \tau = 0;$$

$$\tau := \text{Find}(\tau);$$

$$\mu := \tau - \xi;$$

$$\phi := \mu + \psi - \delta;$$

$$x_u := r \cdot \cos(\mu) - m;$$

$$y_u := -r \cdot \cos(\varepsilon) \cdot \sin(\mu) - p \cdot \phi \cdot \sin(\varepsilon);$$

$$z_u := r \cdot \sin(\varepsilon) \cdot \sin(\mu) - p \cdot \phi \cdot \cos(\varepsilon);$$

$$r_u := \sqrt{x_u^2 + y_u^2}.$$

Для второй точки:

$$r := 9.56 \quad \delta := 0.774 \quad \xi := -0.009$$

$$u := r \cdot \sin(\xi);$$

$$v := r \cdot \cos(\xi);$$

$$n_1 := k_1 \cdot u;$$

$$n_2 := k_2 + \frac{u^2}{p^2};$$

$$n_3 := \psi - \delta - \xi - v \frac{u}{p^2};$$

$$\tau := 1.$$

Given

$$\frac{n_2 \cdot \cos(\tau) - n_1}{\sin(\tau)} - n_3 - \tau = 0;$$

$$\tau := \text{Find}(\tau);$$

$$\mu := \tau - \xi;$$

$$\phi := \mu + \psi - \delta;$$

$$x_u := r \cdot \cos(\mu) - m;$$

$$y_u := -r \cdot \cos(\varepsilon) \cdot \sin(\mu) - p \cdot \phi \cdot \sin(\varepsilon);$$

$$z_u := r \cdot \sin(\varepsilon) \cdot \sin(\mu) - p \cdot \phi \cdot \cos(\varepsilon);$$

$$r_u := \sqrt{x_u^2 + y_u^2}.$$

Для третьей точки:

$$r := 6.62 \quad \delta := 0.775 \quad \xi := 0.113$$

$$u := r \cdot \sin(\xi);$$

$$v := r \cdot \cos(\xi);$$

$$n_1 := k_1 \cdot u;$$

$$n_2 := k_2 + \frac{u^2}{p^2};$$

$$n_3 := \psi - \delta - \xi - v \frac{u}{p^2};$$

$$\tau := 1.$$

Given

$$\frac{n_2 \cdot \cos(\tau) - n_1}{\sin(\tau)} - n_3 - \tau = 0;$$

$$\tau := \text{Find}(\tau);$$

$$\mu := \tau - \xi;$$

$$\phi := \mu + \psi - \delta;$$

$$x_u := r \cdot \cos(\mu) - m;$$

$$y_u := -r \cdot \cos(\varepsilon) \cdot \sin(\mu) - p \cdot \phi \cdot \sin(\varepsilon);$$

$$z_u := r \cdot \sin(\varepsilon) \cdot \sin(\mu) - p \cdot \phi \cdot \cos(\varepsilon);$$

$$r_u := \sqrt{x_u^2 + y_u^2}.$$

Для четвертой точки:

$$r := 3.75 \quad \delta := 0.628 \quad \xi := 0.37$$

$$u := r \cdot \sin(\xi);$$

$$v := r \cdot \cos(\xi);$$

$$n_1 := k_1 \cdot u;$$

$$n_2 := k_2 + \frac{u^2}{p^2};$$

$$n_3 := \psi - \delta - \xi - v \frac{u}{p^2};$$

$$\tau := 1.$$

Given

$$\frac{n_2 \cdot \cos(\tau) - n_1}{\sin(\tau)} - n_3 - \tau = 0;$$

$$\tau := \text{Find}(\tau);$$

$$\begin{aligned}
\mu &:= \tau - \xi; \\
\phi &:= \mu + \psi - \delta; \\
x_u &:= r \cdot \cos(\mu) - m; \\
y_u &:= -r \cdot \cos(\varepsilon) \cdot \sin(\mu) - p \cdot \phi \cdot \sin(\varepsilon); \\
z_u &:= r \cdot \sin(\varepsilon) \cdot \sin(\mu) - p \cdot \phi \cdot \cos(\varepsilon); \\
r_u &:= \sqrt{x_u^2 + y_u^2}.
\end{aligned}$$

Для пятой точки:

$$\begin{aligned}
r &:= 1.5 \quad \delta := -0.2 \quad \xi := 1.57 \\
u &:= r \cdot \sin(\xi); \\
v &:= r \cdot \cos(\xi); \\
n_1 &:= k_1 \cdot u; \\
n_2 &:= k_2 + \frac{u^2}{p^2}; \\
n_3 &:= \psi - \delta - \xi - v \frac{u}{p^2}; \\
\tau &:= 1.
\end{aligned}$$

Given

$$\begin{aligned}
\frac{n_2 \cdot \cos(\tau) - n_1 - n_3 - \tau}{\sin(\tau)} - n_3 - \tau &= 0; \\
\tau &:= \text{Find}(\tau); \\
\mu &:= \tau - \xi; \\
\phi &:= \mu + \psi - \delta; \\
x_u &:= r \cdot \cos(\mu) - m; \\
y_u &:= -r \cdot \cos(\varepsilon) \cdot \sin(\mu) - p \cdot \phi \cdot \sin(\varepsilon); \\
z_u &:= r \cdot \sin(\varepsilon) \cdot \sin(\mu) - p \cdot \phi \cdot \cos(\varepsilon); \\
r_u &:= \sqrt{x_u^2 + y_u^2}.
\end{aligned}$$

Для шестой точки:

$$\begin{aligned}
r &:= 3.52 \quad \delta := -1.132 \quad \xi := -0.22 \\
u &:= r \cdot \sin(\xi); \\
v &:= r \cdot \cos(\xi); \\
n_1 &:= k_1 \cdot u; \\
n_2 &:= k_2 + \frac{u^2}{p^2}; \\
n_3 &:= \psi - \delta - \xi - v \frac{u}{p^2}; \\
\tau &:= 1.
\end{aligned}$$

Given

$$\frac{n_2 \cdot \cos(\tau) - n_1}{\sin(\tau)} - n_3 - \tau = 0;$$

$$\tau := \text{Find}(\tau);$$

$$\mu := \tau - \xi;$$

$$\phi := \mu + \psi - \delta;$$

$$x_u := r \cdot \cos(\mu) - m;$$

$$y_u := -r \cdot \cos(\varepsilon) \cdot \sin(\mu) - p \cdot \phi \cdot \sin(\varepsilon);$$

$$z_u := r \cdot \sin(\varepsilon) \cdot \sin(\mu) - p \cdot \phi \cdot \cos(\varepsilon);$$

$$r_u := \sqrt{x_u^2 + y_u^2}.$$

Для седьмой точки:

$$r := 6.42 \quad \delta := -1.137 \quad \xi := 0.204$$

$$u := r \cdot \sin(\xi);$$

$$v := r \cdot \cos(\xi);$$

$$n_1 := k_1 \cdot u;$$

$$n_2 := k_2 + \frac{u^2}{p^2};$$

$$n_3 := \psi - \delta - \xi - v \frac{u}{p^2};$$

$$\tau := 1.$$

Given

$$\frac{n_2 \cdot \cos(\tau) - n_1}{\sin(\tau)} - n_3 - \tau = 0;$$

$$\tau := \text{Find}(\tau);$$

$$\mu := \tau - \xi;$$

$$\phi := \mu + \psi - \delta;$$

$$x_u := r \cdot \cos(\mu) - m;$$

$$y_u := -r \cdot \cos(\varepsilon) \cdot \sin(\mu) - p \cdot \phi \cdot \sin(\varepsilon);$$

$$z_u := r \cdot \sin(\varepsilon) \cdot \sin(\mu) - p \cdot \phi \cdot \cos(\varepsilon);$$

$$r_u := \sqrt{x_u^2 + y_u^2}.$$

Для восьмой точки:

$$r := 9.14 \quad \delta := -1.01 \quad \xi := 0.495$$

$$u := r \cdot \sin(\xi);$$

$$v := r \cdot \cos(\xi);$$

$$n_1 := k_1 \cdot u;$$

$$n_2 := k_2 + \frac{u^2}{p^2};$$

$$n_3 := \psi - \delta - \xi - v \frac{u}{p^2};$$

$$\tau := 1.$$

Given

$$\frac{n_2 \cdot \cos(\tau) - n_1}{\sin(\tau)} - n_3 - \tau = 0;$$

$$\tau := \text{Find}(\tau);$$

$$\mu := \tau - \xi;$$

$$\phi := \mu + \psi - \delta;$$

$$x_u := r \cdot \cos(\mu) - m;$$

$$y_u := -r \cdot \cos(\varepsilon) \cdot \sin(\mu) - p \cdot \phi \cdot \sin(\varepsilon);$$

$$z_u := r \cdot \sin(\varepsilon) \cdot \sin(\mu) - p \cdot \phi \cdot \cos(\varepsilon);$$

$$r_u := \sqrt{x_u^2 + y_u^2}.$$

Для девятой точки:

$$r := 11.5 \quad \delta := -0.846 \quad \xi := 0.75$$

$$u := r \cdot \sin(\xi);$$

$$v := r \cdot \cos(\xi);$$

$$n_1 := k_1 \cdot u;$$

$$n_2 := k_2 + \frac{u^2}{p^2};$$

$$n_3 := \psi - \delta - \xi - v \frac{u}{p^2};$$

$$\tau := 1.$$

Given

$$\frac{n_2 \cdot \cos(\tau) - n_1}{\sin(\tau)} - n_3 - \tau = 0;$$

$$\tau := \text{Find}(\tau);$$

$$\mu := \tau - \xi;$$

$$\phi := \mu + \psi - \delta;$$

$$x_u := r \cdot \cos(\mu) - m;$$

$$y_u := -r \cdot \cos(\varepsilon) \cdot \sin(\mu) - p \cdot \phi \cdot \sin(\varepsilon);$$

$$z_u := r \cdot \sin(\varepsilon) \cdot \sin(\mu) - p \cdot \phi \cdot \cos(\varepsilon);$$

$$r_u := \sqrt{x_u^2 + y_u^2}.$$

В матрицы-столбцы задать значения координат  $z$  и  $r_u$ .

$$Z := \begin{pmatrix} 4.993 \\ 2.789 \\ 1.109 \\ -0.518 \\ -0.501 \\ -3.115 \\ -5.293 \\ -7.483 \\ -8.982 \end{pmatrix} \quad R := \begin{pmatrix} 28.438 \\ 31.622 \\ 31.959 \\ 32.691 \\ 33.699 \\ 34.461 \\ 34.527 \\ 33.436 \\ 31.557 \end{pmatrix}$$

Выполнить построение профиля производящей поверхности.  
Вставка  $\Rightarrow$  график. По одной оси задать  $R(z)$ , по другой  $z$  (рис. 2.3).

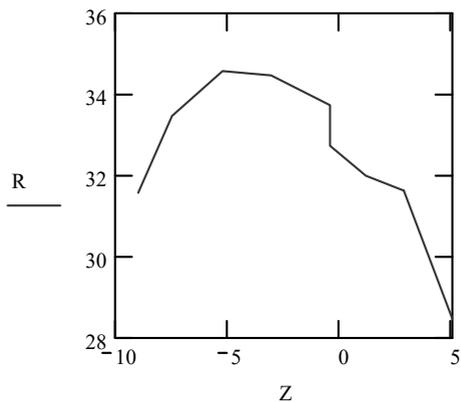


Рис. 2.3. Профиль производящей поверхности

### 3. Оценка адекватности метода твердотельного моделирования режущего инструмента

Для оценки возможности использования метода компьютерного моделирования режущего инструмента необходимо оценить адекватность моделей, полученных при помощи компьютерного моделирования. Для этого сравним геометрические параметры 3D модели проходного резца с результатом, полученным аналитическим расчетом.

Из курса «Теория резания» известны следующие формулы для расчета:

– переднего угла:

$$\operatorname{tg} \gamma_x = \operatorname{tg} \gamma \cdot \sin \varphi + \operatorname{tg} \lambda \cdot \cos \varphi;$$

$$\operatorname{tg} \gamma_y = \operatorname{tg} \gamma \cdot \cos \varphi - \operatorname{tg} \lambda \cdot \sin \varphi;$$

$$\operatorname{tg} \gamma = \operatorname{tg} \gamma_x \cdot \sin \varphi + \operatorname{tg} \lambda_y \cdot \cos \varphi;$$

– заднего угла:

$$\operatorname{tg} \alpha_x = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\sin \varphi};$$

$$\operatorname{tg} \alpha_y = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \varphi};$$

– угла наклона режущей кромки:

$$\operatorname{tg} \lambda = \operatorname{tg} \gamma_x \cdot \cos \varphi - \operatorname{tg} \gamma_y \cdot \sin \varphi.$$

Для построения модели зададим следующие значения углов:  $\alpha = 12^\circ$ ,  $\gamma = 5^\circ$ ,  $\lambda = 0^\circ$ ,  $\varphi = 45^\circ$ , производим тогда:

$$\operatorname{tg} \gamma_x = \operatorname{tg} 5 \cdot \sin 45 + \operatorname{tg} 0 \cdot \cos 45 = 0,0608;$$

$$\gamma_x = 3,86 = 3^\circ 52';$$

$$\operatorname{tg} \gamma_y = \operatorname{tg} 5 \cdot \cos 45 - \operatorname{tg} 0 \cdot \sin 45 = 0,0609;$$

$$\gamma_y = 3,86 = 3^\circ 52';$$

$$\operatorname{tg} \alpha_x = \frac{\operatorname{tg} 12}{\sin 45} = 0,2725;$$

$$\alpha_x = 16,94 = 16^\circ 56'.$$

$$\operatorname{tg} \alpha_y = \frac{\operatorname{tg} 12}{\cos 45} = 0,2725;$$

$$\alpha_y = 16,94 = 16^\circ 56'.$$

Затем для оценки адекватности компьютерной модели необходимо сравнить значения, полученные аналитическим способом, со значениями углов, измеренных на модели резца.

Для этого надо построить 3D модель резца. В плоскости  $XU$  выбрать эскиз и построить прямоугольник. Результатом операции «Выдавливание» будет заготовка для модели резца (рис. 3.1).

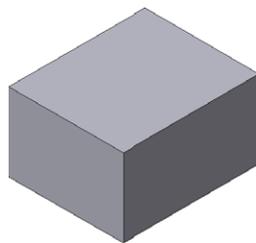


Рис. 3.1. Заготовка

Затем через центр координат в плоскости  $XU$  провести ось. Построить плоскости под углами  $\varphi$  и  $\varphi_1$ , равными  $45^\circ$  каждый, операцией «Плоскость под углом к другой плоскости», выбирая в качестве исходного ребра для построения ось центр координат в плоскости  $XU$ . Выполнить сечение этими плоскостями. В результате получатся главная и вспомогательная режущие кромки. Для облегчения задачи выполняем модель с углом наклона режущей кромки  $\lambda = 0^\circ$ . Перпендикулярно главной режущей кромке построить плоскость (ГСП). В этой плоскости построить эскиз режущего клина с углами  $\alpha = 12^\circ$  и  $\gamma = 5^\circ$ . Результатом применения операции «Вырезать выдавливанием» будет модель с задним и передним углом соответственно. Операцией «Приклеить выдавливанием» присоединить державку резца (рис. 3.2).

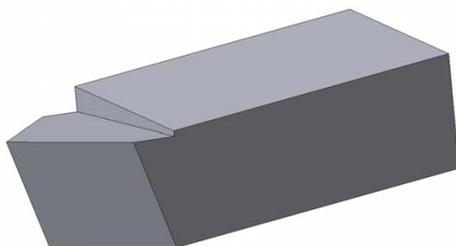


Рис. 3.2. Модель резца

Измерить значения углов в твердотельной модели. Для этого рассечь модель плоскостями  $X-X$ ,  $Y-Y$  и измерить в полученных сечениях все необходимые углы (рис. 3.3–3.6).

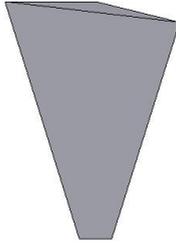


Рис. 3.3. Сечение модели резца плоскостью X–X

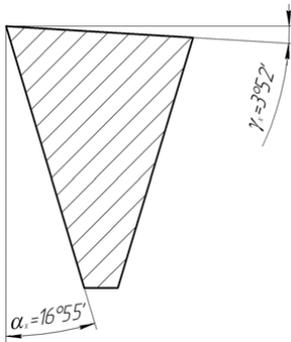


Рис. 3.4. Значения углов



Рис. 3.5. Сечение модели резца плоскостью Y–Y

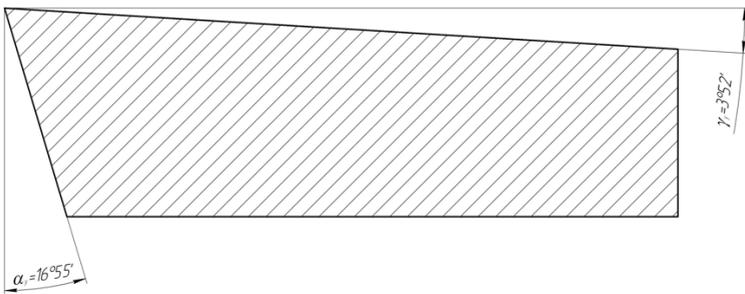


Рис. 3.6. Значения углов

Рассчитанные и измеренные значения углов сводим в таблицу.

Рассчитанные значения		Измеренные значения	
$\alpha_x$	16°56'	$\alpha_x$	16°55'
$\gamma_x$	3°52'	$\gamma_x$	3°52'
$\alpha_y$	16°56'	$\alpha_y$	16°55'
$\gamma_y$	3°52'	$\gamma_y$	3°52'

Таким образом, на основе произведенных исследований наглядно показано, что значения углов, рассчитанных по формулам, соответствуют углам (с допустимой точностью), измеренным в сечениях трехмерной модели резца, и что расчет аналитическим способом можно заменить измерениями на трехмерных моделях, так как работа с математической моделью дает достаточно точные измерения.

#### 4. Построение модели призматического фасонного резца

4.1. Определить точку  $k$  на профиле детали, которая ближе всего находится к оси вращения детали  $OX$  (рис. 4.1).

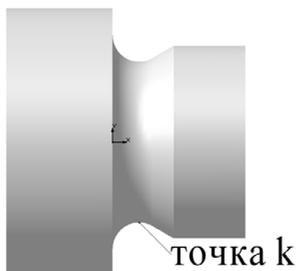


Рис. 4.1. Модель детали

4.2. Провести через точку  $k$  прямую  $O_1L$ , параллельную оси вращения детали  $OX$  (рис. 4.2).

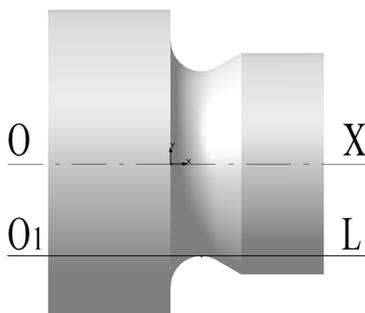


Рис. 4.2. Прямая  $O_1L$  через точку  $k$

4.3. Через прямую  $O_1L$  провести плоскость  $O_1LY'$  под углом  $15^\circ$  к радиальной плоскости детали. Плоскость  $O_1LY'$  представляет собой переднюю поверхность будущего фасонного призматического резца с передним углом  $\gamma = 15^\circ$ . Выполнить сечение детали плоскостью  $O_1LY'$  (рис. 4.3).

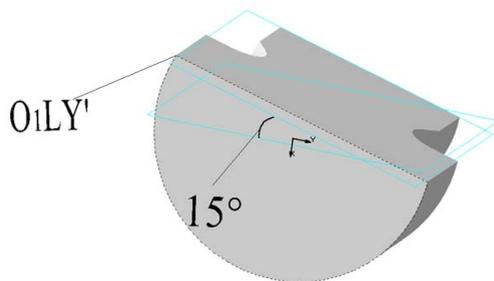


Рис. 4.3. Сечение детали плоскостью  $O_1LY'$

4.4. Спроецировать профиль детали в сечении, в плоскость  $O_1LY'$  (рис. 4.4).



Рис. 4.4. Проекция профиля детали в плоскости  $O_1LY'$

4.5. Перенести проекцию профиля детали в новый файл детали Kompas 3D.

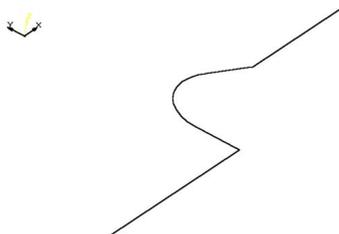


Рис. 4.5. Проекция профиля детали

4.6. Достроить сечение (передняя поверхность) призматического фасонного резца (рис. 4.6).

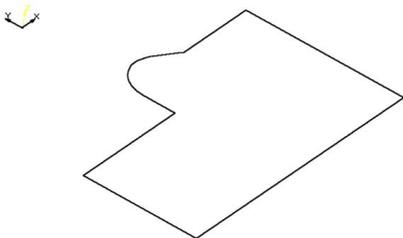


Рис. 4.6. Передняя поверхность резца

4.7. Определить угол заточки резца  $\varepsilon$  и длину тела резца  $L$ . Угол заточки резца находится как  $\varepsilon = \gamma + \alpha$ , где  $\gamma$  – передний угол резца;  $\alpha$  – задний угол резца. Например, пусть  $\gamma = 15^\circ$ ;  $\alpha = 12^\circ$ ; тогда угол заточки резца будет равен  $\varepsilon = 27^\circ$  (рис. 4.7).

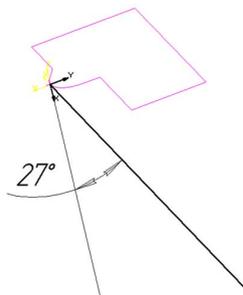


Рис. 4.7. Прямая в плоскости, перпендикулярной передней поверхности резца

4.8. Выполнить операцию «Кинематическое выдавливание», т. е. выдавливание профиля фасонного резца по траектории (прямая) (рис. 4.8).

Габаритные размеры резца выбирать по таблице рис. 4.9 [8].

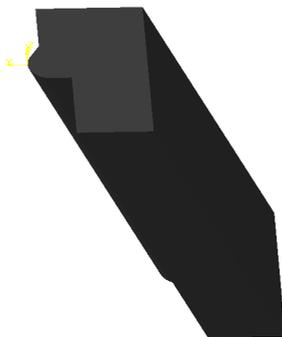
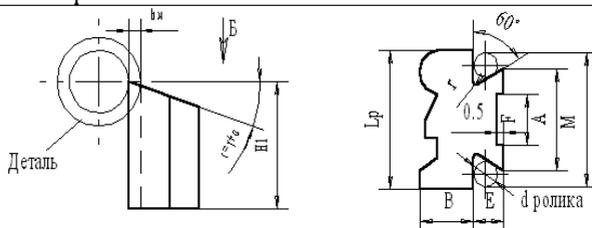


Рис. 4.8. Тело призматического фасонного резца

### Резцы фасонные призматические



h <sub>н</sub> , мм	Размеры резца, мм						Контрольные размеры хвостовиков, мм	
	B	H <sub>1</sub>	E	A	F	r	d	M
4	9	75	4	15	7	0,5	3; 4	18,57; 21,31
6	14	75	6	20	10	0,5	4; 6	24,00; 29,46
10	19	75	6	25	15	0,5	4; 6	29,00; 34,46
14	25	90	10	30	20	1	6; 10	34,84; 45,77
20	35	90	10	40	25	1	6; 10	44,84; 55,77
28	45	100	15	60	40	1	8; 15	64,53; 83,66

*Примечание:*

1. Допускается изменение габаритных размеров для принятых значений h м.
2. При наличии контрольных роликов других d размер M рассчитывается по формуле:  

$$M = A + d(1 + \text{ctg } 30^\circ) \cdot 2F \cdot \text{ctg } 60^\circ.$$
3. При ширине резца  $L_p > 2,5A$  допускается применение хвостовиков большего размера.

Рис. 4.9. Резцы фасонные призматические. Размеры

4.9. Уточнить все габаритные размеры фасонного призматического резца по таблице рис. 4.9.

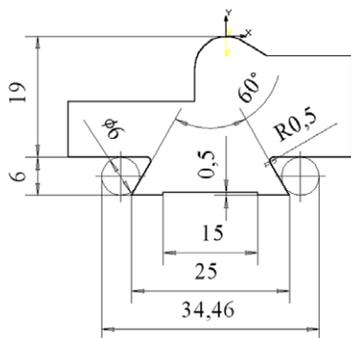


Рис. 4.10. Геометрические параметры резца

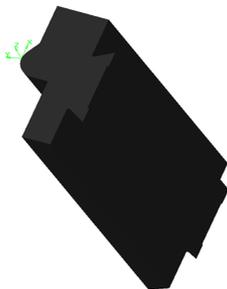


Рис. 4.11. Модель призматического фасонного резца

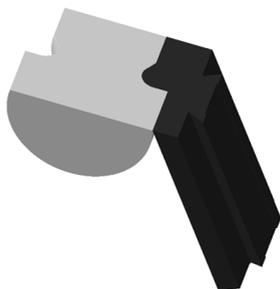


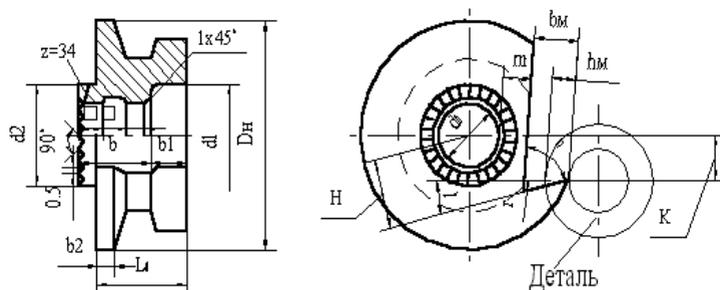
Рис. 4.12. Сборка призматического фасонного резца с деталью

Таким образом, профиль изделия в сечении совпадает с профилем режущей части резца. Это значит, что найден верно.

## 5. Построение модели круглого фасонного резца

5.1. Найти профиль детали в сечении. Для этого выполнить действия п. 4.1–4.5. Габаритные размеры резца выбирать по таблице рис. 5.1 [8].

Резцы фасонные круглые с торцовыми рифлениями



hм, мм	Размеры резца, мм						Размеры рифлений, мм	
	Dн(h8-h12)	d1(H9)	d1	bм	t	r	d <sub>г</sub>	b <sub>г</sub>
До 4	30	10	16	7	3	1	—	—
6	40	13	20	10	3	1	20	3
8	50	16	25	12	4	1	26	3
10	60	16	25	14	4	2	32	3
12	70	22	34	17	5	2	35	4
15	80	22	34	20	5	2	40	4
18	90	22	34	23	5	2	45	5
21	100	27	40	26	5	2	50	5

Примечания: 1. Размеры b<sub>1</sub> и b<sub>2</sub> выбираются в следующих пределах:

b<sub>1</sub>=(0,25±0,5)L<sub>0</sub>; b<sub>2</sub>=0,25b.

2. Для резцов с γ<15° ν=80° и γ≥15° ν=70°.

3. Допускается изменение значения Dн для принятых величин hм.

4. Радиус заточки резца H=(Dн/2)sinε; ε=γ+α.

5. Высота установки резца K=(Dн/2)sinα.

Рис. 5.1. Резцы фасонные круглые. Размеры

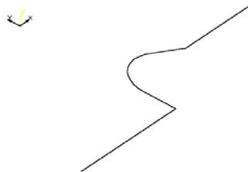


Рис. 5.2. Профиль детали в сечении

5.2. Достроить рис. 5.2 таким образом, чтобы крайняя точка на дуговом участке лежала в нулевой точке координатных осей.

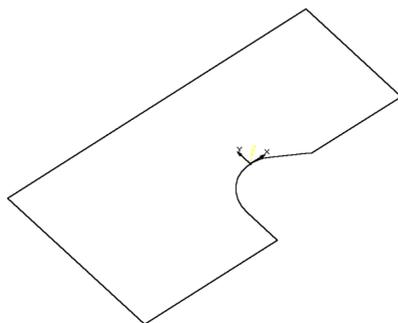


Рис. 5.3. Профиль в начале координат

5.3. Построить плоскость  $XU$ , которая перпендикулярна передней поверхности круглого фасонного резца (рис. 5.4).

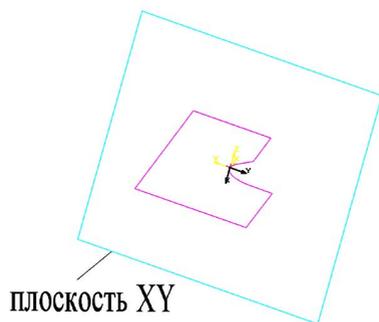


Рис. 5.4. Плоскость  $XU$

5.4. В плоскости  $XU$  найти точку  $O$ , эта точка лежит на оси круглого фасонного резца, и вокруг точки  $O$  описать окружность диаметром, равным диаметру резца. Точка  $O$  находится по высоте установки резца  $K$  и наружного радиуса круглого фасонного резца:  $D_H/2 = r_n$  (рис. 5.5).

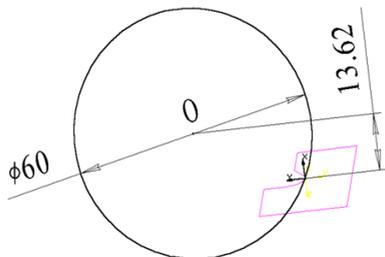


Рис. 5.5. Диаметральная окружность

5.5. После того как построена диаметральная окружность круглого фасонного резца, выполнить операцию «Выдавливание с двух сторон» на общее расстояние  $Lp$  (рис. 5.6).

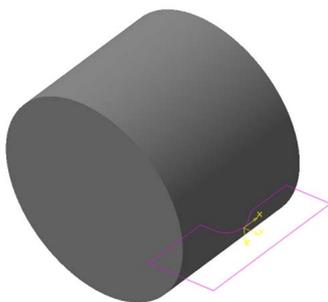


Рис. 5.6. Тело заготовки резца

5.6. С помощью операции «Кинематическое вырезание» получить профильное тело резца, где траектория – это диаметральная окружность, а сечение – профиль изделия (рис. 5.7).

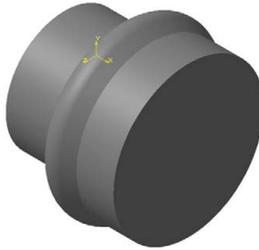


Рис. 5.7. Профильное тело круглого резца

5.7. Создать площадку крепления резца к оправке на одном из торцов резца с помощью операции «Приклеивание» (рис. 5.8).

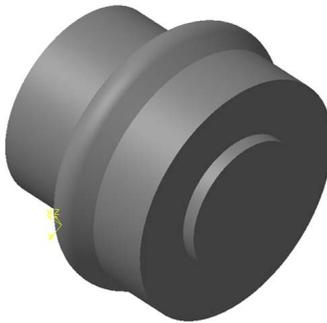


Рис. 5.8. Площадка на торце

5.8. Построить эскиз для операции «Вырезание выдавливанием», чтобы получить переднюю поверхность и отверстие под оправку резца. Все размеры взять из таблицы рис. 5.1 (рис. 5.9 и 5.10).

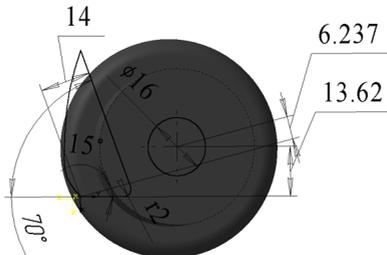


Рис. 5.9. Эскиз для выдавливания



Рис. 5.10. Модель резца после выдавливания

5.9. Построить зубчики рифлений на площадке одного из торцов резца. Для начала строится один зубчик и потом копируется с помощью операции «Концентрическая сетка» в требуемом количестве (рис. 5.11–5.13).

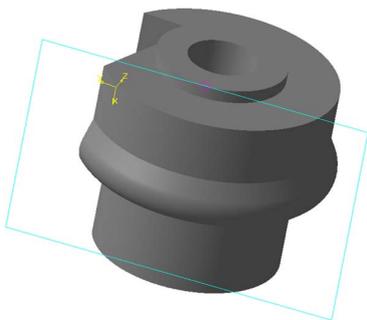


Рис. 5.11. Эскиз для одного зубчика

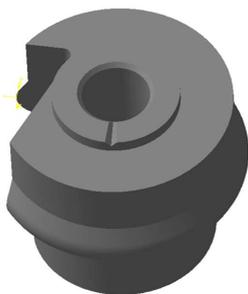


Рис. 5.12. Зубчик на торце

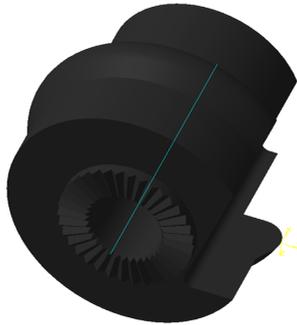


Рис. 5.13. Модель круглого фасонного резца

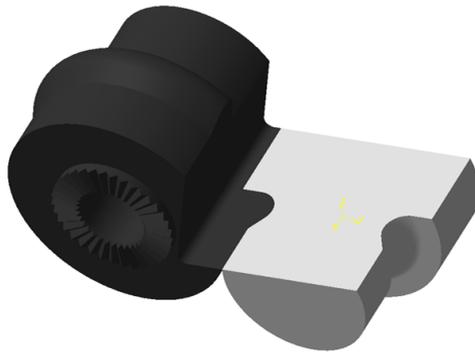


Рис. 5.14. Сборка круглого фасонного резца с деталью

Как видно из рис. 5.14, профиль изделия в сечении совпадает с профилем режущей части резца. Это означает, что все операции по проектированию резца были выполнены правильно.

При обработке деталей, имеющих участки с углом профиля  $90^\circ$ , рекомендуется применять резцы с осью или базой крепления, наклонной под углом  $\mu = 10 \div 20^\circ$  к оси детали. В этом случае на участке  $a'-b'$  образуются передние и задние углы, а резцы имеют значительно меньший износ по сравнению с обычными резцами. Такие резцы изображены на рис. 5.15.

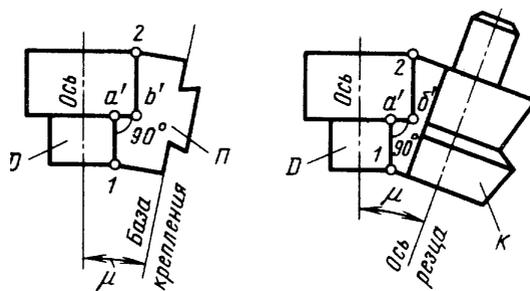


Рис. 5.15. Способы крепления фасонных резцов

5.10. Для получения моделей таких резцов построить деталь по п. 4.1–4.3 (рис. 5.16).



Рис. 5.16. Профиль детали в сечении

5.11. Назначить угол наклона  $\mu = 20^\circ$  между осью детали и осью круглого фасонного резца. А также угол наклона  $\mu = 20^\circ$  между осью детали и базой фасонного резца (рис. 5.17 и 5.18).

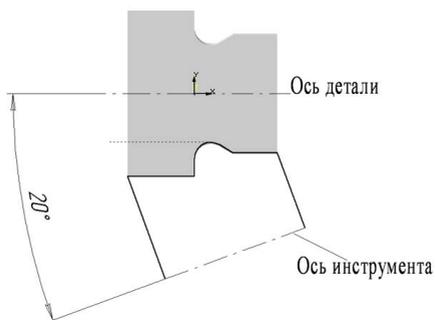


Рис. 5.17. Крепление круглого фасонного резца

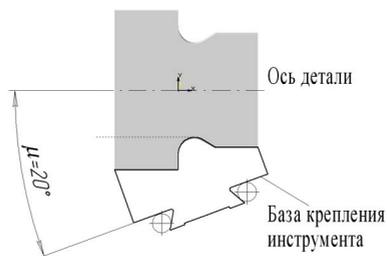


Рис. 5.18. Крепление призматического фасонного резца

5.12. Далее разработка таких резцов (с осью или базой крепления под углом наклона  $\mu = 20^\circ$ ) производится по такому же принципу, как и разработка обычных фасонных резцов, то есть круглых и призматических, проектирование которых указано выше. На рис. 5.19 и 5.20 показаны готовые резцы.

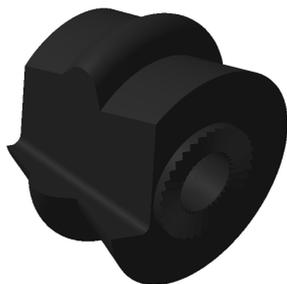


Рис. 5.19. Круглый фасонный резец с осью крепления, угол наклона которой  $\mu = 20^\circ$



Рис. 5.20. Призматический фасонный резец с базой крепления, угол наклона которой  $\mu = 20^\circ$

5.13. Сборка фасонных резцов с осью или базой крепления под углом наклона  $\mu = 20^\circ$  к оси детали (рис. 5.21 и 5.22).

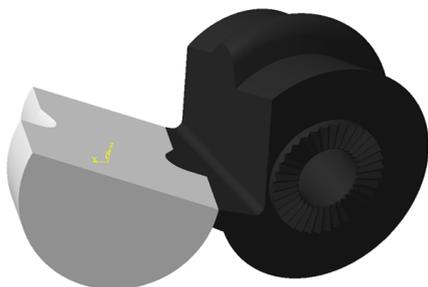


Рис. 5.21. Сборка круглого фасонного резца с осью крепления, угол наклона которой к оси детали  $\mu = 20^\circ$

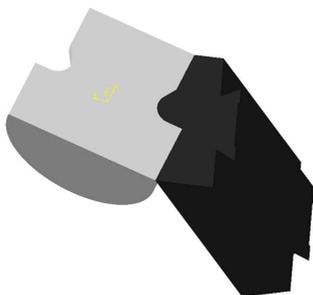


Рис. 5.22. Сборка призматического фасонного резца с базой крепления, угол наклона которой к оси детали  $\mu = 20^\circ$

Как видно из рис. 5.21 и 5.22, профиль изделия в сечении совпадает с профилем режущей части резца. Это означает, что все операции по проектированию резца были выполнены правильно и профиль найден верно.

## 6. Построение модели винтовой поверхности спирального сверла

6.1. Выбрать фронтальную плоскость и нарисовать эскиз (рис. 6.1): окружность ( $\varnothing 25$  мм принимаем в процессе моделирования).

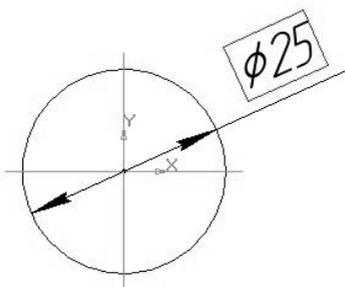


Рис. 6.1. Эскиз

6.2. Завершить эскиз и построить цилиндр с помощью операции «Выдавливание», задав обратное направление, тип – на расстояние (расстояние 150 мм) (рис. 6.2).

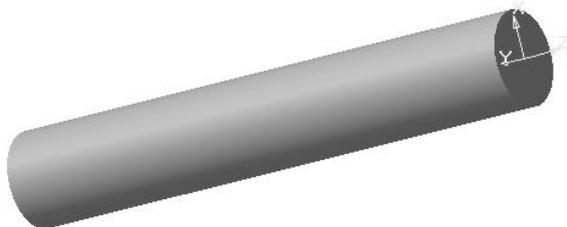


Рис. 6.2. Цилиндр

6.3. Выбрать фронтальную плоскость и построить цилиндрическую спираль (пространственные кривые) (число витков – 0,70; шаг – 215,70; направление построения – обратное; направление навивки – правое; диаметр – по размеру: диаметр – 25 мм; начальный угол –  $0^\circ$ ).

6.4. Выбрать фронтальную плоскость и построить эскиз (замкнутый) стружечной канавки (рис. 6.3).

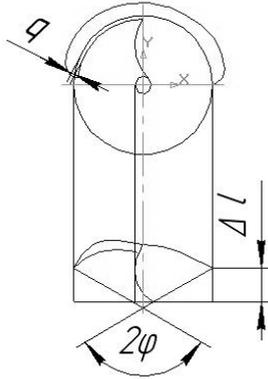


Рис. 6.3. Эскиз стружечной канавки

Параметры определяются по формулам:

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta l}{p},$$

где  $\Delta\varphi$  – угол поворота сечения относительно предыдущего сечения;  $\Delta l$  – величина, на которую перемещается сечение относительно предыдущего сечения;

$$p = \frac{t}{2 \cdot \pi} = \frac{216}{2 \cdot 3,14} = 34,4,$$

где  $p$  – параметр винтовой линии;  $t$  – шаг винтовой линии;  $\theta = 92^\circ \div 93^\circ$  – угол раствора стружечной канавки (помещаемость стружки в канавке);

$$t = \frac{\pi \cdot D_{\text{св}}}{\text{tg}\omega} = \frac{3,14 \cdot 25}{\text{tg}20} = 216,$$

где  $D_{\text{св}}$  – диаметр сверла:  $D_{\text{св}} = 20 \dots 40$  мм, принимаем  $D_{\text{св}} = 25$  мм;  $\omega$  – угол наклона стружечной канавки;

$$\text{tg}\omega = \frac{\pi \cdot D_{\text{св}}}{t} = 20^\circ.$$

6.5. Операцией «Выдавливание» образовать стружечную канавку, выбрав в качестве сечения эскиз (п. 6.1), а в качестве траектории – спираль (п. 6.3).

6.6. Выбрать фронтальную плоскость и построить вторую цилиндрическую спираль с параметрами: число витков – 0,70; шаг – 215,70; направление построения – обратное; направление навивки – правое; диаметр – по размеру: диаметр – 25 мм; начальный угол –  $180^\circ$ .

6.7. Выбрать фронтальную плоскость и построить эскиз (замкнутый) второй стружечной канавки (путем копирования и поворота первого эскиза на  $180^\circ$ ).

6.8. Операцией «Выдавливание» образовать вторую стружечную канавку, выбрав в качестве сечения второй эскиз, а в качестве траектории – вторую спираль (рис. 6.4).

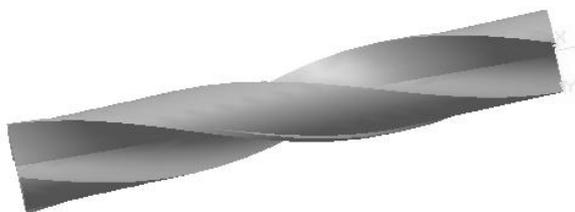


Рис. 6.4. Стружечная канавка

6.9. Выбрать профильную плоскость и построить в ней эскиз режущей кромки в виде треугольника под углом  $120^\circ$  (рис. 6.5).

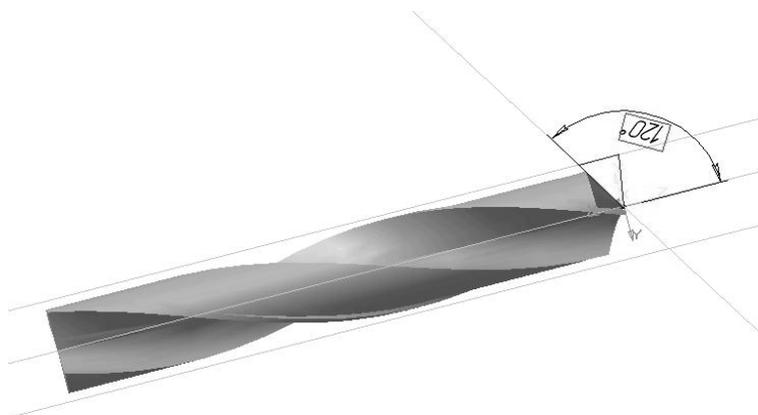


Рис. 6.5. Эскиз режущей кромки

6.10. Операцией «Вырезать вращением» образовать режущую кромку на заготовке, задав параметры: тороид, прямое направление, угол –  $360^\circ$  (рис. 6.6).

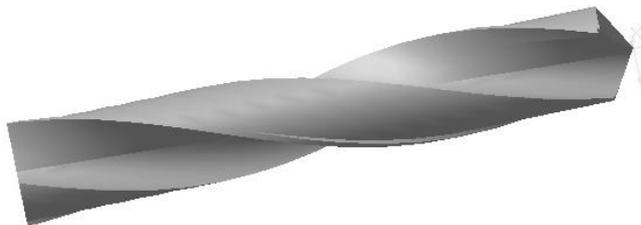


Рис. 6.6. Режущая кромка

6.11. Заточка сверла.

6.11.1. Выбрать операцию «Ось через две вершины» и построить ось, лежащую на режущей кромке.

6.11.2. Выбрать операцию «Плоскость через ребро и вершину» и построить эту плоскость (указав ось и вершину заготовки).

6.11.3. Выбрать операцию «Плоскость под углом» и построить плоскость, задав угол наклона —  $12^\circ$ , и плоскость (из п. 6.11.2), относительно которой производить наклон.

6.11.4. Выбрать операцию «Сечение плоскостью», указав плоскость из п. 6.11.3 и направление сечения — обратное.

6.11.5. Выбрать операцию «Плоскость под углом» и построить плоскость под углом  $90^\circ$  (от края режущей кромки, где строили «ось через две вершины»).

6.11.6. Выбрать операцию «Смещенная плоскость» и построить смещенную плоскость на расстоянии  $d_{\text{св}} = 3$  мм (диаметр сердцевинны) от плоскости из п. 6.11.5.

6.11.7. Выбрать операцию «Ось пересечения двух плоскостей» и построить ось между плоскостями из п. 6.11.5 и 6.11.6.

6.11.8. Выбрать операцию «Плоскость под углом» и построить плоскость под углом  $80^\circ$  относительно «оси пересечения двух плоскостей».

6.11.9. Выбрать операцию «Сечение плоскостью» и произвести сечение, указав плоскость из п. 6.11.8 и направление отсечения — обратное (рис. 6.7).

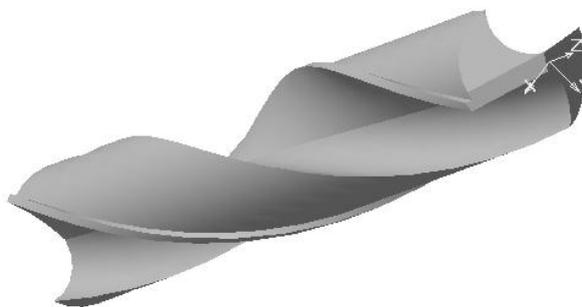


Рис. 6.7. Заточенное сверло

6.11.10. Повторить все из п. 6.11.1–6.11.9 для заточки режущей кромки второй половины сверла.

Заточенное сверло показано на рис. 6.8.



Рис. 6.8. Заточенное сверло

## 7. Получение производящей поверхности инструмента для изготовления сверла

7.1. Полученную модель сверла расположить таким образом, чтобы хорошо было видно стружечную канавку (рис. 7.1).



Рис. 7.1. Сверло

7.2. Выбрать горизонтальную плоскость и построить эскиз: касательную к стружечной канавке, смещенную на середину канавки. На пересечении касательной и осевой линии поставить точку (рис. 7.2).

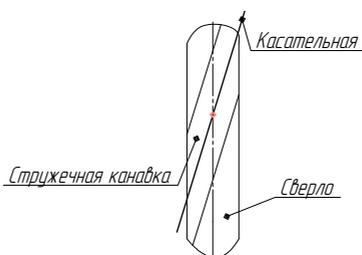


Рис. 7.2. Эскиз стружечной канавки

7.3. Выбрать горизонтальную плоскость и построить «смещенную плоскость» на расстоянии 35 мм.

7.4. Выделить плоскость из п. 3 и в эту плоскость спроецировать точку – центр фрезы (п. 2).

7.5. Построить «Плоскость через ребро и вершину» (используя касательную и точку).

7.6. Построить «Смещенную плоскость» от плоскости из п. 7.5 на расстоянии  $1 \div 2$  мм.

7.7. Построить такие смещенные плоскости во всей стружечной канавке (рис. 7.3).

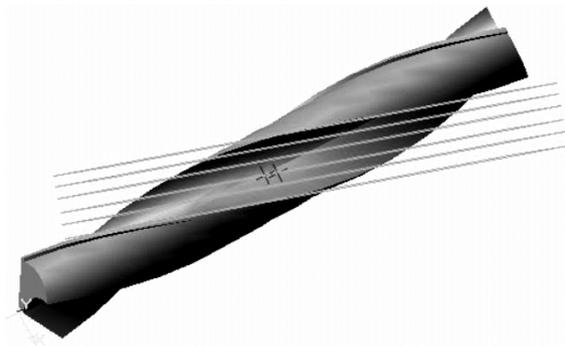


Рис. 7.3. Смещенные плоскости

7.8. Произвести «Сечение плоскостью», выбрав из п. 7.7 одну из плоскостей и направление отсечения – прямое (рис. 7.4).

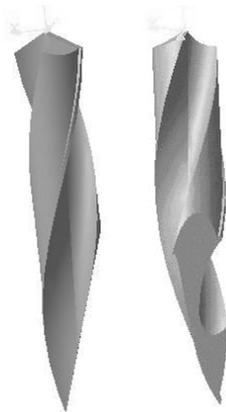


Рис. 7.4. Сечение плоскостью

7.9. Спроецировать сечение, а затем из точки – центра фрезы построить окружность (в плоскости из п. 7.8), касающуюся сечения (рис. 7.5).

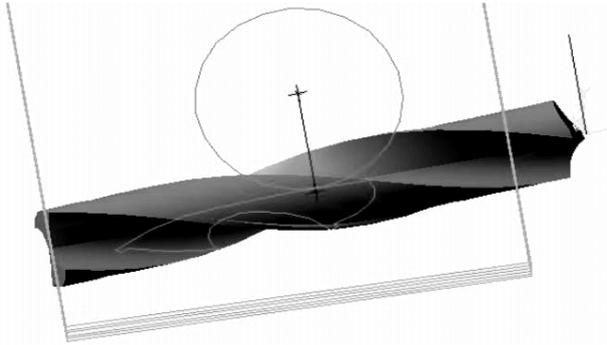


Рис. 7.5. Сечение

7.10. Повторить п. 7.8 и 7.9 для всех построенных плоскостей в стружечной канавке.

7.11. Скопировать только окружность, которая построена в плоскости сечения. Затем открыть «Новая деталь», выбрать фронтальную плоскость и в эту плоскость вставить окружность.

7.12. Вернуться в документ, где производилось сечение сверла, скопировать вторую окружность, которая построена в плоскости сечения. Снова открыть «Новая деталь», построить «смещенную плоскость» на расстоянии  $1\div 2$  мм (см. п. 7.6–7.7) и вставить в эту смещенную плоскость вторую окружность.

7.13. Повторить п. 7.11–7.12 для всех остальных окружностей, полученных в плоскостях сечения стружечной канавки (рис. 7.6).

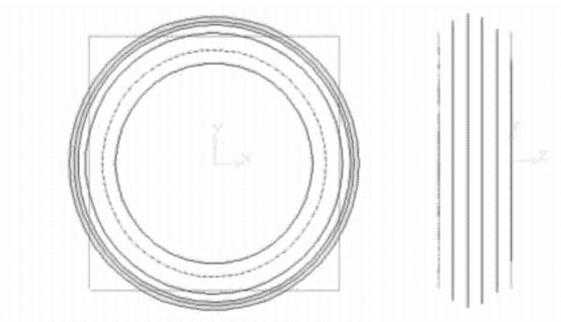


Рис. 7.6. Плоскости сечения

7.14. В «Новой детали» выбрать операцию «Приклеить по сечениям», указав сечения (эскизы), расположенные последовательно друг за другом (рис. 7.7).



Рис. 7.7. Макет фрезы

7.15. Сделать эскиз отверстия под оправку во фронтальной плоскости (рис. 7.8).

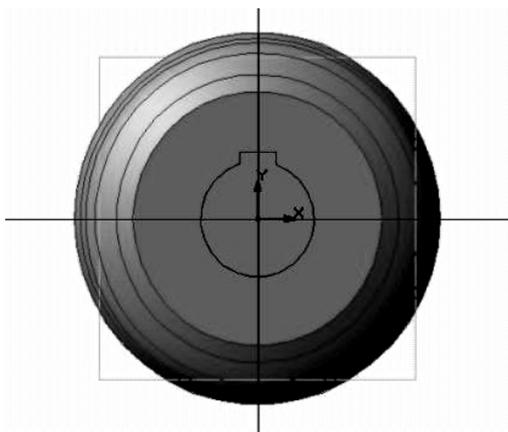


Рис. 7.8. Эскиз отверстия под оправку

7.16. Операцией «Вырезать кинематически» образовать отверстие под оправку на фрезе.

7.17. Выбрать операцию «Фаска» и образовать фаску на оправке фрезы (рис. 7.9).

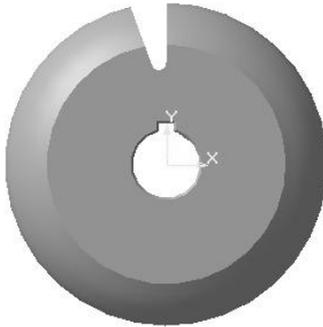


Рис. 7.9. Фаска

7.18. Нарезание зубьев фрезы.

7.18.1. Сделать эскиз (замкнутый) зуба фрезы (рис. 7.10).

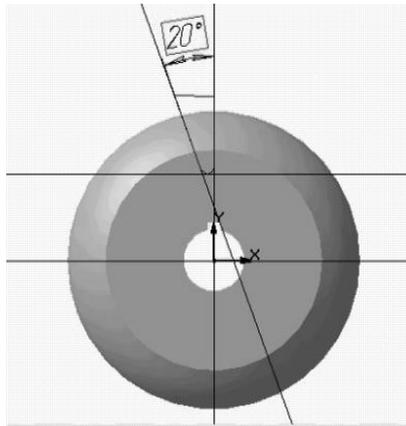


Рис. 7.10. Эскиз зуба фрезы

7.18.2. Операцией «Вырезать кинематически» образовать зуб на фрезе (рис. 7.11).

7.18.3. Построить ось вращения фрезы (рис. 7.11).

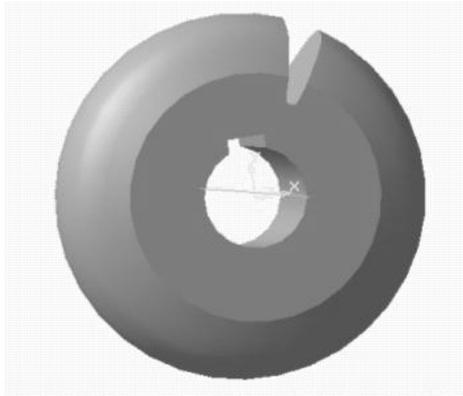


Рис. 7.11. зуб фрезы

7.18.4. Выбрать «Массив по концентрической сетке» и образовать остальные зубья на фрезе, указав ось, эскиз, операцию «Вырезать кинематически» и параметры (кольцевое направление: шаг –  $30^\circ$ , количество зубьев – 12, сохранять угол) (рис. 7.12).

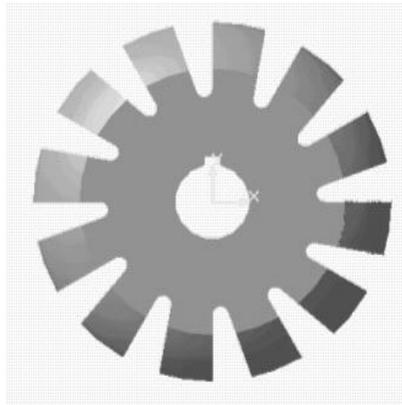


Рис. 7.12. Массив зубьев

7.18.5. На одном зубе фрезы (рис. 7.12) сделать эскиз архимедовой спирали (рис. 7.13).

Архимедова спираль строится согласно формуле:

$$\Delta k = \frac{k \cdot \Delta \varphi}{\varphi},$$

где  $\Delta k$  – величина, на которую перемещается сечение относительно предыдущего сечения;  $\Delta\varphi$  – угол поворота сечения относительно предыдущего сечения.

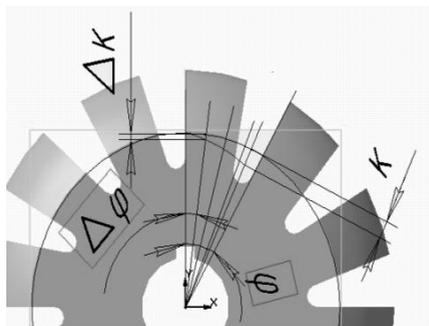


Рис. 7.13. Эскиз архимедовой спирали

7.18.6. Сделать эскиз (замкнутый) контура зуба фрезы на виде слева (рис. 7.14).

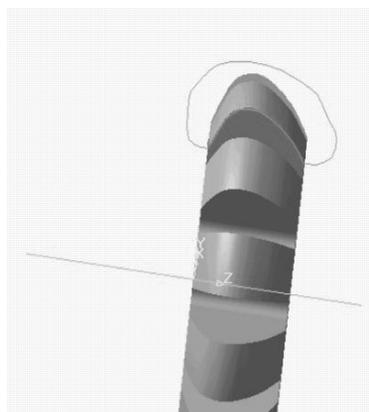


Рис. 7.14. Эскиз контура зуба

7.18.7. Операцией «Вырезать кинематически» образовать по архимедовой спирали правильную форму зуба, выбрав в качестве сечения контур зуба (рис. 7.14), а в качестве траектории – архимедову спираль (рис. 7.13).

7.18.8. Операцией «Массив по концентрической сетке» образовать на остальных зубьях фрезы правильную форму, указав эскиз, операцию «Вырезать кинематически» и параметры (кольцевое направление: шаг –  $30^\circ$ , количество зубьев – 12, сохранять угол) (рис. 7.15).

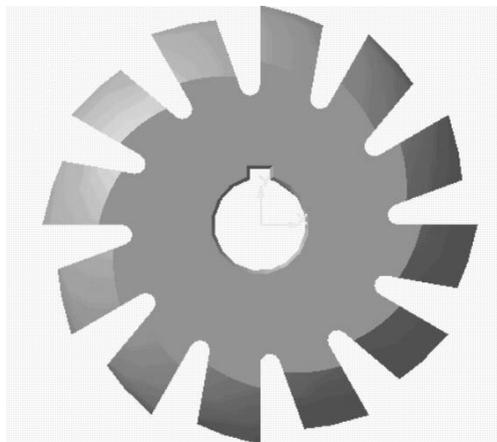


Рис. 7.15. Модель фрезы

## 8. Определение профиля сверла при заданном профиле инструмента (обратная задача)

8.1. Выбрать фронтальную плоскость и построить окружность ( $\varnothing 25$  мм).

8.2. Завершить эскиз и построить цилиндр с помощью операции «Выдавливание», задав обратное направление, тип – на расстоянии (150 мм) (рис. 8.1).

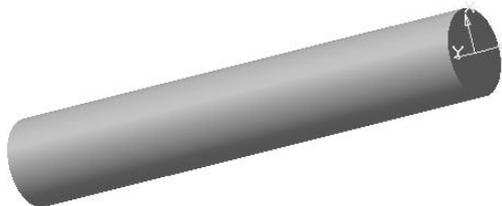


Рис. 8.1. Цилиндр

8.3. Выбрать горизонтальную плоскость и нарисовать эскиз: прямую линию, наклоненную на угол перекрещивания осей  $\varepsilon = 70$ . На пересечении прямой и осевой линии поставить точку (рис. 8.2).

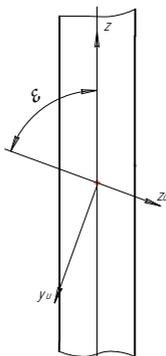


Рис. 8.2. Эскиз

8.4. Выбрать горизонтальную плоскость и построить «смещенную плоскость» на расстоянии 35 мм (расстояние от оси заготовки – сверла до оси инструмента – фрезы).

8.5. Выделить плоскость из п. 8.4 и в эту плоскость спроецировать точку – центр фрезы (п. 8.3).

8.6. Построить «Плоскость через ребро и вершину» (используя прямую линию и точку из п. 8.3).

8.7. Выбрать плоскость из п. 8.6 и в этой плоскости нарисовать эскиз: половину фрезы из п. 7.14 с помощью операции «Получение производящей поверхности», рис. 7.7. Это можно сделать путем замены сечений, из которых состоит фреза (п. 7.14), прямыми линиями, соединенными плавной линией. Затем скопировать половину (нижнюю) фрезы и вставить в п. 8.7 (рис. 8.3).

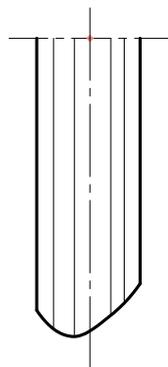


Рис. 8.3. Половина фрезы, эскиз

8.8. Выбрать операцию «Вырезать вращением» и образовать на заготовке (цилиндре – п. 8.2) стружечную канавку, задав параметры: сфероид, прямое направление, угол  $360^\circ$  (рис. 8.4).



Рис. 8.4. Выемка стружечной канавки

8.9. Выбрать операцию «Смещенная плоскость» и построить смещенную плоскость на расстоянии 5 мм от плоскости из п. 8.6.

8.10. Выбрать операцию «Сечение плоскостью», указав плоскость из п. 8.9, и произвести сечение заготовки.

8.11. Полученное сечение на заготовке спроецировать, а затем скопировать в отдельный документ. Можно остаться в докумен-

те, где производилось сечение плоскостью, выбрать фронтальную плоскость, затем смещенную плоскость на расстоянии 80–100 мм от фронтальной и вставить из буфера обмена в эту смещенную плоскость эскиз полученного сечения. В эту же плоскость будут вставлены все сечения на стружечной канавке – см. ниже (рис. 8.5).

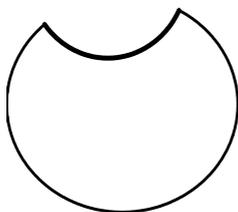


Рис. 8.5. Эскиз стружечной канавки

8.12. Построить во всей стружечной канавке смещенные плоскости (п. 8.9) и повторить п. 8.10–8.11 (рис. 8.6).

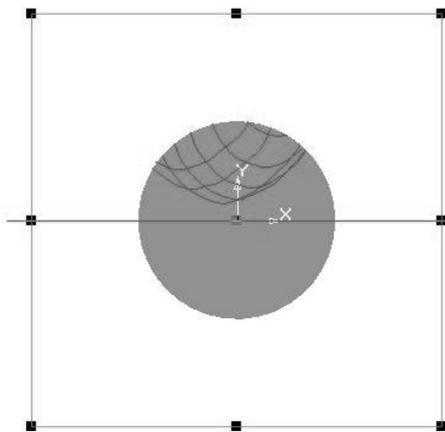


Рис. 8.6. Сечения

8.13. Соединить плавной линией все сечения и таким образом получить профиль стружечной канавки в торцевом сечении (рис. 8.6).

## 9. Определение профиля инструмента при вихревой обработке винтовых поверхностей

Для того чтобы получить профиль инструмента, нужно построить твердотельную модель винта качения. Для этого необходимо следующее.

9.1. Построить цилиндр:

– в дереве построения выбрать фронтальную плоскость (плоскость  $XU$ ). Включив «Эскиз», нарисовать окружность заданного диаметра с центром в начале координат (в варианте примера окружность диаметром 40 мм). Закончить редактирование, нажав кнопку «Эскиз»;

– выбрать операцию «Выдавливание» на панели инструментов. В появившемся окне задать необходимые параметры: направление выдавливания, тип, расстояние (в данном случае направление прямое, тип – на расстоянии, расстояние 60 мм). Закончить редактирование (рис. 9.1).

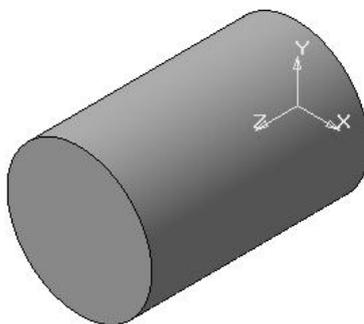


Рис. 9.1. Цилиндр

9.2. Построить спираль, которая будет характеризовать шаг витков будущего винта (рис. 9.2).

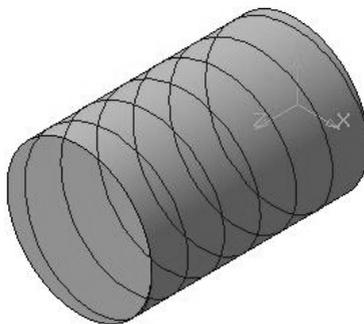


Рис. 9.2. Цилиндрическая спираль

9.3. Задать профиль впадины, вырезав его по спирали, получив винт качения:

– в дереве построения выбрать горизонтальную плоскость (плоскость  $ZX$ ). Включить «Эскиз» и нарисовать профиль впадины, «привязав» его к началу спирали. Выйти из операции «Эскиз» (рис. 9.3–9.4);

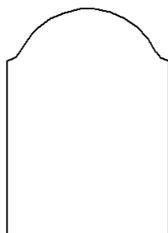


Рис. 9.3. Профиль впадины

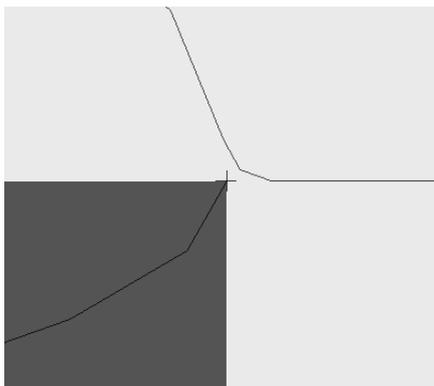


Рис. 9.4. Привязка эскиза к началу спирали

– выбрать операцию «Вырезать кинематически» на панели инструментов. В появившемся окне задать необходимые параметры (сечение, траекторию, движение сечения, тип построения тонкой стенки). Сечением будет служить эскиз впадины, а траекторией – спираль (рис. 9.5).

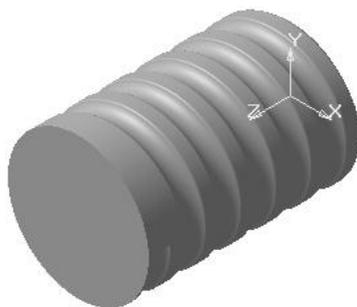


Рис. 9.5. Винт качения

9.4. Теперь необходимо спроектировать вихревую головку для обработки этих винтов. Для этого нужно разбить участок винта качения, равный шагу спирали, параллельными плоскостями, они должны быть перпендикулярны к оси винта и находиться близко друг от друга (в данном случае расстояние между плоскостями 0,5 мм), от этого будет зависеть точность получения профиля инструмента.

В дереве построения выбрать фронтальную плоскость (плоскость XY). На панели инструментов выбираем «Вспомогательная геометрия, смещенная плоскость». В появившемся окне задать необходимые параметры (расстояние, направление смещения). Чем больше будет построено плоскостей, тем точнее будет результат (рис. 9.6).

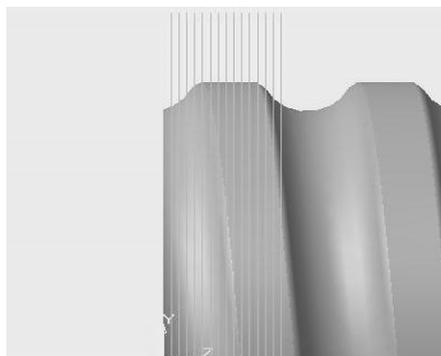


Рис. 9.6. Построение плоскостей для сечения винта качения

9.5. Далее необходимо построить ось вихревой головки, ориентировочно радиус вихревой головки равен 1,05... 1,8 диаметра винта (в данном примере радиус  $R = 60$  мм).

В дереве построения выбрать фронтальную плоскость (плоскость  $XU$ ). Включив «Эскиз», построить окружность, которая проходит касательно к наивысшей точке винта (рис. 9.7).

Для наибольшей точности можно после среза сначала спроецировать полученный профиль в секущую плоскость с помощью операции «Спроецировать объект» и после построения окружности к наивысшей точке профиля удалить проекцию, чтобы не загромождать эскиз.

Проделать эту операцию на остальных плоскостях, но нужно учитывать, что нас будет интересовать участок впадины винта относительно оси головки (рис. 9.8).

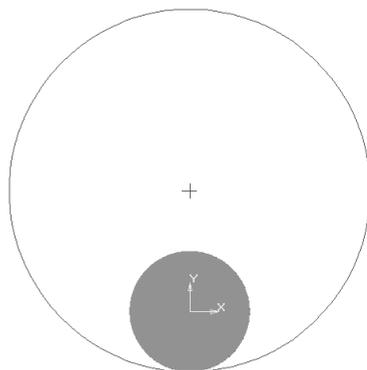


Рис. 9.7. Выбор параметров инструмента

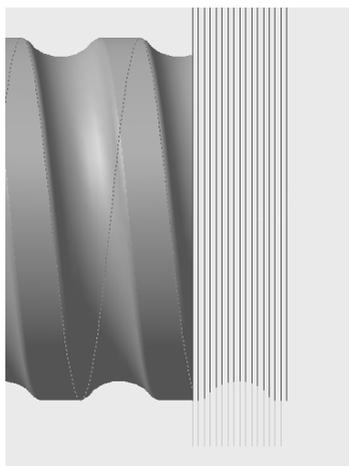


Рис. 9.8. Полученный профиль впадины винта

9.6. Теперь решим обратную задачу. Зная профиль инструмента, надо найти профиль канавки:

– задать две оси вихревой головки и винта. Построить цилиндр и круговым движением резца вырезать кусок этого цилиндра;

– построить цилиндр (построение цилиндра описано в п. 9.1);

– выбрать профильную плоскость (плоскость  $ZY$ ), активировать «Эскиз». Спроецировать оба основания цилиндра и соединить их отрезком. Скопировать профиль инструмента в эту плоскость, соединяя его с отрезком. Удалить отрезок и проекции оснований;

– выбрать профильную плоскость (плоскость  $ZY$ ), активировать «Эскиз». На некотором расстоянии от цилиндра построить ось. Необходимо поставить две точки на данной оси так, чтобы они были параллельны боковым сторонам профиля инструмента;

– выбрать фронтальную плоскость (плоскость  $XY$ ), активировать «Эскиз». Построить плоскость через вершину, параллельную другой плоскости. Вершинами данных плоскостей будут являться точки на оси (рис. 9.10);

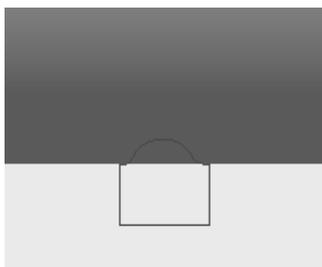


Рис. 9.9. Профиль инструмента

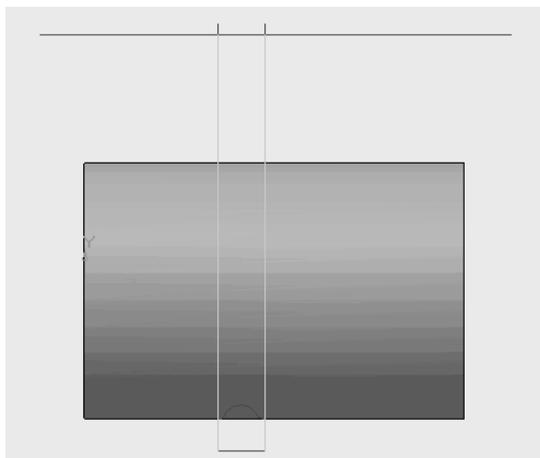


Рис. 9.10. Параллельные плоскости через вершину

– последовательно выбрать параллельные плоскости и построить в них эскиз. Данный эскиз будет являться траекторией движения профиля;

– далее вырезать кинематически. Сечением будет являться профиль инструмента, траекторией – окружность (рис. 9.11).

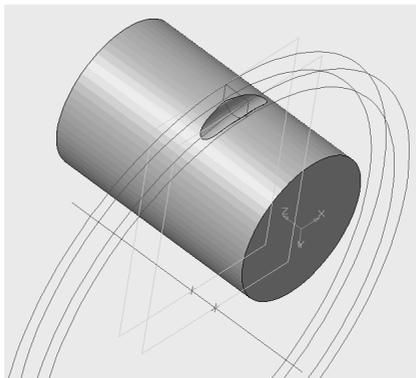


Рис. 9.11. Полученный вырез на заготовке резцом вихревой головки

9.7. Разбить плоскостями, проходящими через ось цилиндра, под некоторым углом друг к другу. Чем меньше угол, тем точнее получится профиль (в данном случае угол поворота следующей плоскости от предыдущей составляет  $5^\circ$ ).

Далее провести ось через цилиндр.

Выбрать операцию «Плоскость под углом» и построить плоскости. Угол поворота –  $5$  градусов (рис. 9.12).

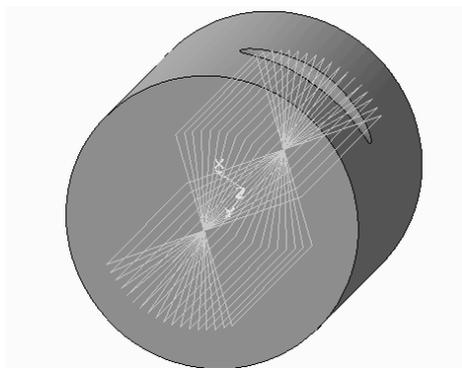


Рис. 9.12. Построение секущих плоскостей

9.8. После этого в каждой секущей плоскости создать эскиз и спроецировать след с помощью операции «Спроецировать объект», который остался на сечении после сечения плоскостью.

С помощью операции «Сечение поверхностью» отсечь часть цилиндра по плоскости.

В этой плоскости построить эскиз. Эскизом будет являться проекция следа (рис. 9.13).

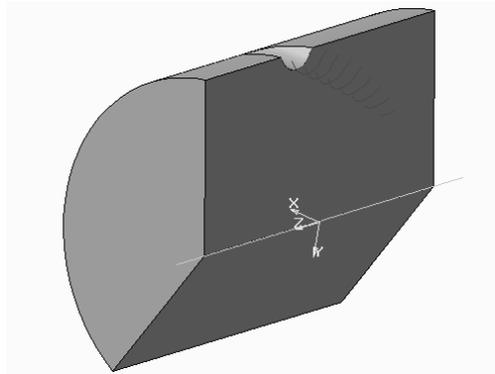


Рис. 9.13. Следы, полученные после сечения заданными плоскостями

9.9. После того как спроецирован след на плоскость, нужно скопировать каждое из этих сечений в одну плоскость. Но в связи с тем что обработка происходит по винтовой линии, необходимо последовательно переместить каждый след на расстояние, равное:

$$Z_i = P \varphi_i,$$

где  $P$  – параметр винтовой линии;  $\varphi_i$  – угол поворота от базового сечения (в радианах).

$$P = \frac{t}{2 \cdot \pi},$$

где  $t$  – шаг винтовой линии.

Предварительно выбрать одно сечение за базовое (лучше самое крайнее) (рис. 9.14).

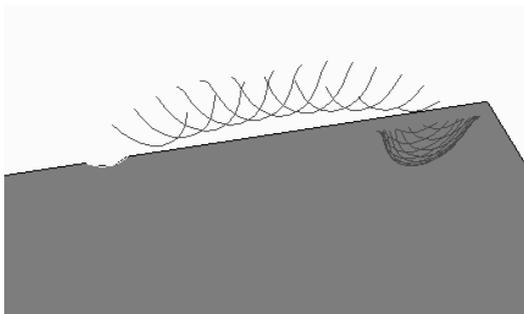


Рис. 9.14. Полученный набор эскизов после перемещения следов в одну плоскость

9.10. После того как спроецирован след на плоскость и перемещен на определенное расстояние, нужно разместить эти сечения на плоскости, провести огибающую – в результате получится искомый профиль канавки (рис. 9.15).

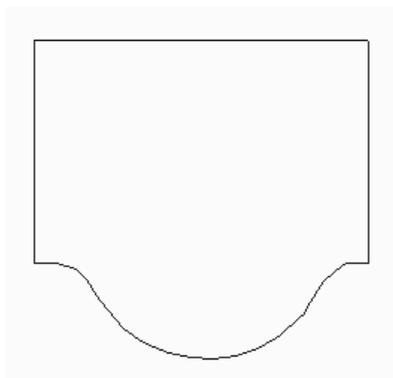


Рис. 9.15. Полученный профиль впадины

## 10. Моделирование прямозубого долбяка

Ввиду сложности образования задней поверхности зубьев долбяка на трехмерной модели с помощью стандартного набора операций «Компас-3D» для построения инструмента используем тип документа «сборка». Для образования сборки необходимо создать две трехмерные модели: модель зуба долбяка и модель его «тела». Под «телом» здесь подразумевается корпус долбяка, наружная поверхность которого ограничена окружностью впадин  $D_f$  (заштрихованная область на рис. 10.1).

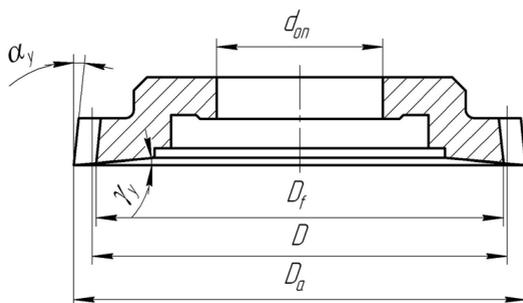


Рис. 10.1. Долбяк

### 10.1. Построение «тела» долбяка.

10.1.1. Выбираем фронтальную плоскость. Строим эскиз «тела» долбяка таким образом, чтобы его контуры не пересекались. Также необходимо провести осевую линию (рис. 10.2).

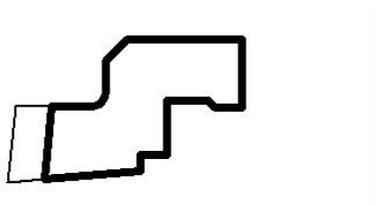


Рис. 10.2. Эскиз «тела» долбяка

Завершаем построение эскиза, нажав кнопку «Эскиз» на панели инструментов.

10.1.2. Трехмерную модель «тела» долбяка создаем операцией вращения. В параметрах операции задаем прямое направление вра-

щения и угол поворота  $360^\circ$ . В результате образуется каркас модели (рис. 10.3).

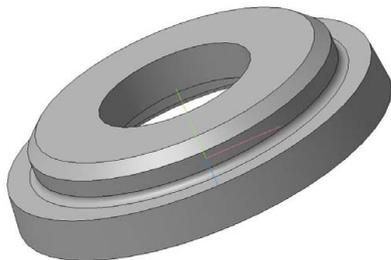


Рис. 10.3. Трехмерная модель «тела» долбяка

10.1.3. Создаем фаски на пересечении отверстия под оправку с опорными торцами. Для этого нажимаем кнопку «Фаска» на панели инструментов. В параметрах операции создания фаски задаем способ построения – по стороне и углу, длину стороны фаски и угол наклона. На модели левой кнопкой мыши необходимо выделить поверхность отверстия под оправку для построения на ней фасок с двух сторон (рис. 10.4).

На этом построение «тела» долбяка окончено.

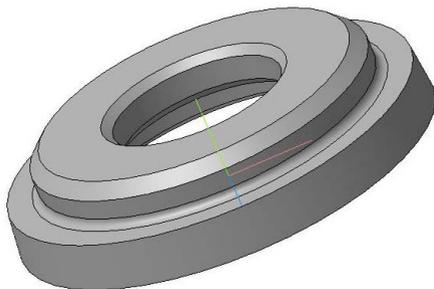


Рис. 10.4. Тело долбяка

10.2. Построение зуба долбяка.

10.2.1. Создать новую модель. В дереве построения выбрать горизонтальную плоскость и начать построение нового эскиза.

Размеры зуба (толщина зуба, радиус вершин) соответствуют параметрам зуба нового долбяка. Зуб строится симметрично относи-

тельно прямой, проходящей горизонтально через начало координат (по оси  $X$ ).

Боковой контур зуба очерчен эвольвентой. Для построения эвольвенты необходимо провести основную окружность с центром в начале координат. Затем построить вспомогательную прямую, проходящую через центр окружности под углом  $5^\circ$  к горизонтали. Через точку пересечения основной окружности со вспомогательной прямой провести касательную к окружности. Измерить расстояние по окружности между точками пересечения окружности с горизонтальной осью и вспомогательной прямой. На таком же расстоянии построить прямую, параллельную вспомогательной. Отметить точку на пересечении касательной и параллельной прямой (рис. 10.5).

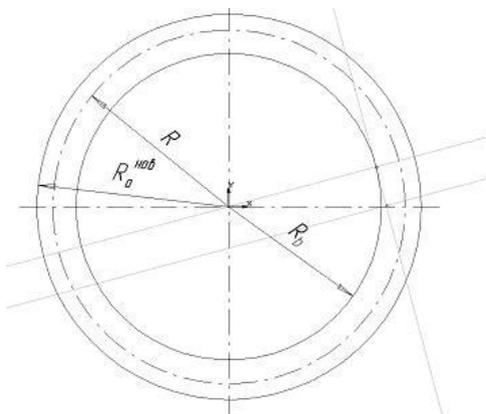


Рис. 10.5. Построение эвольвенты

Аналогичным образом построить еще несколько точек (всего не менее восьми). При соединении построенных точек плавной кривой получится эвольвента (рис. 10.6).

Полученную эвольвенту повернуть относительно центра окружностей таким образом, чтобы она проходила через точку боковой кромки зуба, лежащую на делительной окружности. Эта точка находится на пересечении делительной окружности и прямой, отстоящей от горизонтальной оси на расстояние, равное половине толщины зуба долбяка по делительной окружности.

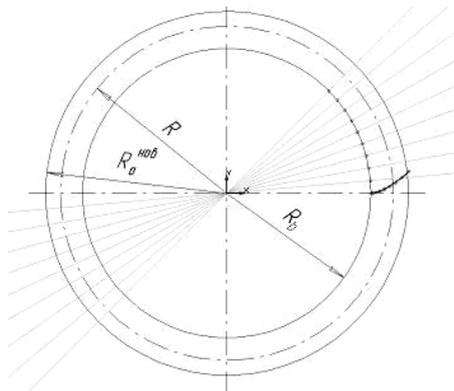


Рис. 10.6. Эвольвента

Другую кромку зуба построить путем симметричного отображения повернутой эвольвенты относительно горизонтальной оси  $X$  (рис. 10.7).

Внутренний контур зуба ограничивает основная окружность радиусом  $R_b$ . Наружный контур — окружность вершин зубьев нового долбяка радиусом  $R_a^{нов}$ .

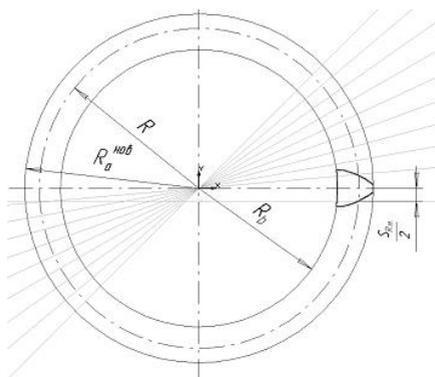


Рис. 10.7. Эскиз зуба долбяка

10.2.2. В дереве построения выбрать горизонтальную плоскость. Затем с помощью панели инструментов «Пространственные кривые» построить цилиндрическую спираль. Способ построения — по

шагу витков и высоте. Высота спирали равна высоте рабочей части долбяка. Шаг витков определяется по формуле

$$t = \frac{\pi \cdot D}{\operatorname{tg} \alpha_x},$$

где  $D$  – делительный диаметр долбяка;  $\alpha_x$  – величина заднего угла.

Направление построения – прямое, направление навивки – левое. Значение диаметра установить по размеру делительной окружности  $D$ . Начальный угол спирали необходимо определить по эскизу зуба долбяка. Его величина измеряется по часовой стрелке от горизонтальной оси  $X$  до прямой, проходящей через начало координат и точку пересечения делительной окружности с боковой кромкой зуба (рис. 10.8).

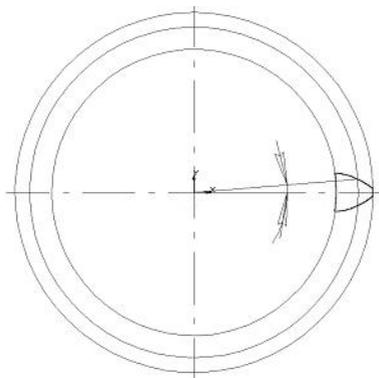


Рис 10.8. Измерение начального угла спирали

10.2.3. В дереве построения выделить левой кнопкой мыши эскиз зуба. Задать кинематическую операцию выдавливания, нажав кнопку «Выдавить кинематически» на панели инструментов. Сечением является эскиз зуба долбяка. В качестве траектории выдавливания выбирать цилиндрическую спираль, выделив ее в дереве построения или непосредственно в рабочем поле модели. Движение сечения – параллельно самому себе. Результатом будет модель зуба (рис. 10.9).

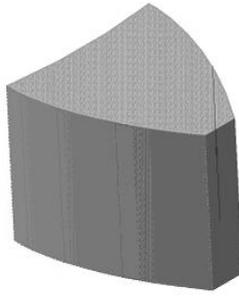


Рис. 10.9. Трехмерная модель зуба

Таким образом, получен профиль только левой половины зуба. Профиль второй половины зуба можно получить зеркальным отображением левой половины зуба.

10.2.4. Выбрать в дереве построения фронтальную плоскость. Создать сечение зуба фронтальной плоскостью, нажав кнопку «Сечение поверхностью» на панели инструментов. Направление отсечения – обратное (рис. 10.10).



Рис. 10.10. Отсечение правой половины зуба

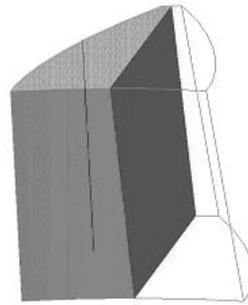


Рис. 10.11. Образование правой половины зуба

Для образования правой половины зуба задать операцию «Зеркально отразить все». Гранью отражения будет грань, полученная в результате сечения зуба фронтальной плоскостью (рис. 10.11).

10.2.5. Для формирования передней поверхности зуба в дереве построения выбирать фронтальную плоскость. Создать новый эскиз. В нем построить отрезок – проекцию передней поверхности зуба долбяка. Создать замкнутый контур эскиза, соединяя концы

отрезка произвольной ломаной линией. Провести осевую линию, совпадающую с осью долбяка  $Y$  (рис. 10.12).

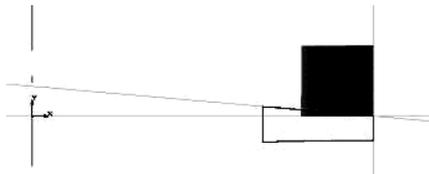


Рис. 10.12. Образование передней поверхности зуба

10.2.6. Завершив эскиз, задать операцию «Вырезать элемент вращением». Угол поворота –  $360^\circ$ .

10.2.7. Для формирования задней поверхности долбяка в дереве построения выбирать фронтальную плоскость. Создать новый эскиз. В нем построить отрезок – проекцию задней поверхности зуба долбяка. Создать замкнутый контур эскиза, соединяя концы отрезка произвольной ломаной линией. Провести осевую линию, совпадающую с осью долбяка  $Y$  (рис. 10.13).

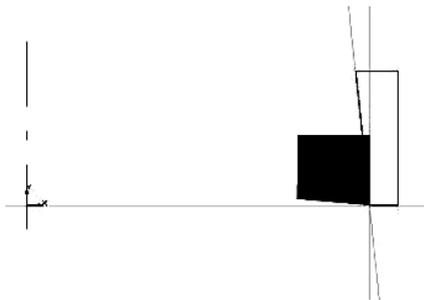


Рис. 10.13. Образование задней поверхности долбяка

Завершив эскиз, задать операцию «Вырезать элемент вращением». Угол поворота –  $360^\circ$ .

На этом построение зуба долбяка окончено (рис. 10.14).

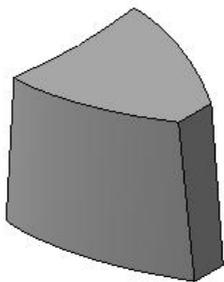


Рис. 10.14. Зуб долбяка

Таким образом, получены две трехмерные модели в различных файлах: модель «тела» долбяка и модель зуба долбяка. Для получения модели долбяка необходимо соединить эти две модели и при помощи команды «Массив» достроить необходимое количество зубьев (рис. 10.15).

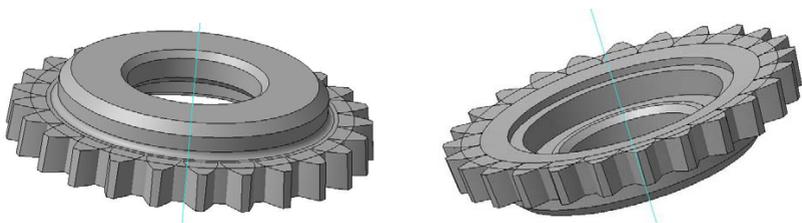


Рис. 10.15. Трехмерная модель долбяка

## 11. Моделирование червячной фрезы

11.1. Создать модель заготовки фрезы. Для этого задать эскиз следующего вида (рис. 10.1), в котором учитывается наличие фаски.

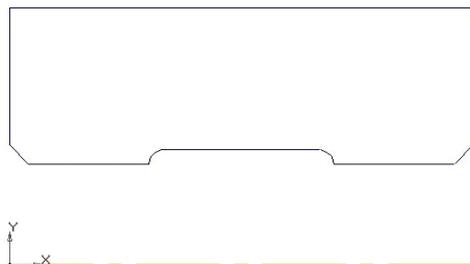


Рис. 11.1. Эскиз для заготовки

11.2. Далее вырезать из полученного тела вращения бурты. Для этого во фронтальной плоскости создать эскиз вырезаемой части и выдавить элемент вращением.

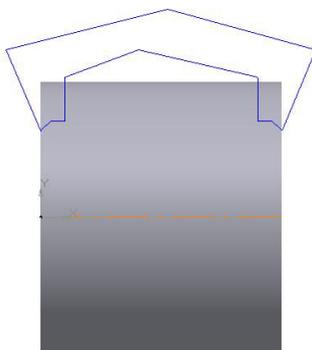


Рис. 11.2. Эскиз для выдавливания буртов

11.3. Для построения зубьев фрезы необходимо задать смещенную плоскость, чтобы спираль, описывающая червяк, не начиналась с бурта, иначе зубья будут нарезаны и на бурте, что недопустимо. Для этого нужно выбрать плоскость, относительно которой будет производиться смещение (в нашем случае профильная плоскость). При помощи меню «Смещенная плоскость» настроить величину и

направление смещения. Задать смещение на величину ширины бурта. Далее построить спираль с параметрами шага и числа витков.

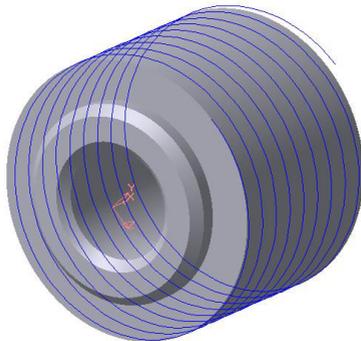


Рис. 11.3. Спираль

11.4. После построения спирали строится винтовая канавка. Для этого нужно начертить эскиз вырезаемого зуба. Эскиз должен быть начерчен в плоскости, перпендикулярной смещенной плоскости, замкнут, ось вращения чертить не нужно.

После завершения эскиза выбрать кнопку «Вырезать кинематически».

В качестве траектории выбрать ранее построенную спираль. После вырезания модель примет вид согласно рис. 11.4.

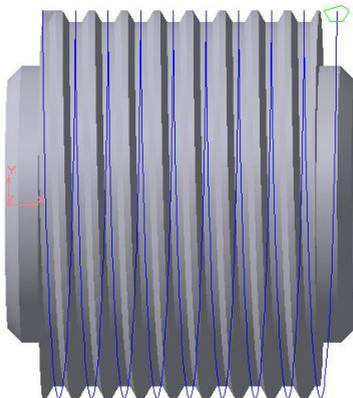


Рис. 11.4. Кинематическое вырезание

11.5. Следующий этап – создание шпоночного паза. Для этого надо задать эскиз в профильной плоскости (рис. 11.5) и при помощи команды «Вырезать элемент выдавливанием» закончить его создание.

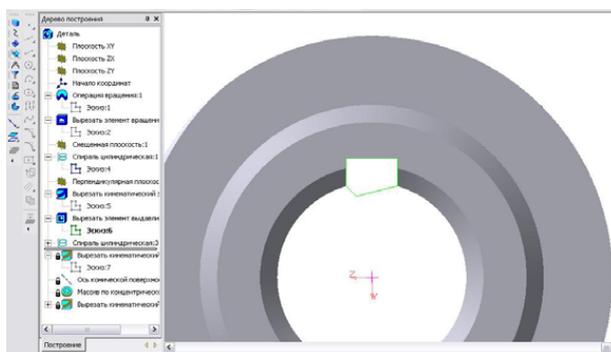


Рис. 11.5. Получение шпоночного паза

11.6. Следующий шаг – задание спирали для вырезания стружечной канавки. Для этого необходимо рассчитать шаг этой спирали (или взять с чертежа) и задать спираль, выбрав предварительно профильную плоскость.

Спираль будет иметь следующий вид.

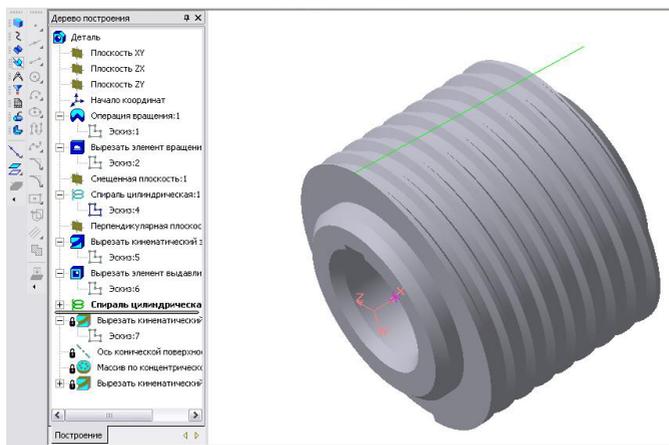


Рис. 11.6. Спираль для стружечной канавки

11.7. Для создания канавки построить эскиз ее профиля в смещенной плоскости (рис. 11.7) и использовать команду «Вырезать кинематически». Траекторией в данном случае будет служить только что построенная спираль (рис. 11.8).

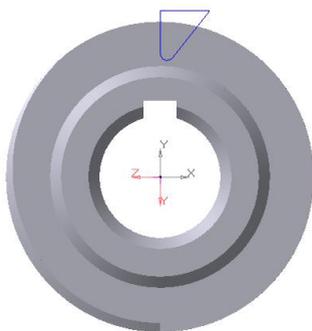


Рис. 11.7. Эскиз для стружечной канавки

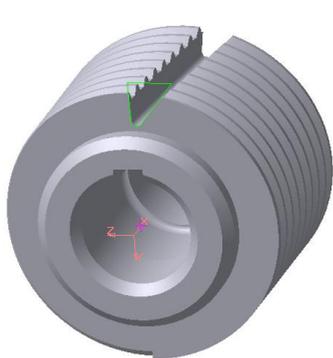


Рис. 11.8. Модель с нарезанной стружечной канавкой

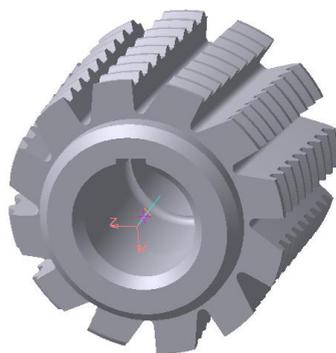


Рис. 11.9. Модель со всеми стружечными канавками

11.8. Далее необходимо «размножить» эту канавку по окружности фрезы. Для этого понадобится ось операции. В меню вспомогательной геометрии выбрать кнопку «Ось операции» и указать операцию вращения в дереве построения. Таким образом, модель получит свою ось (не эскизную).

Заключительный шаг — затылование фрезы.

Для того чтобы завершить построение модели червячной фрезы, необходимо размножить последнюю операцию по концентрической сетке.

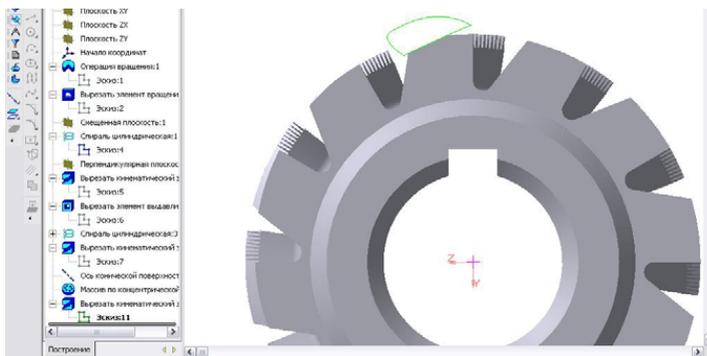
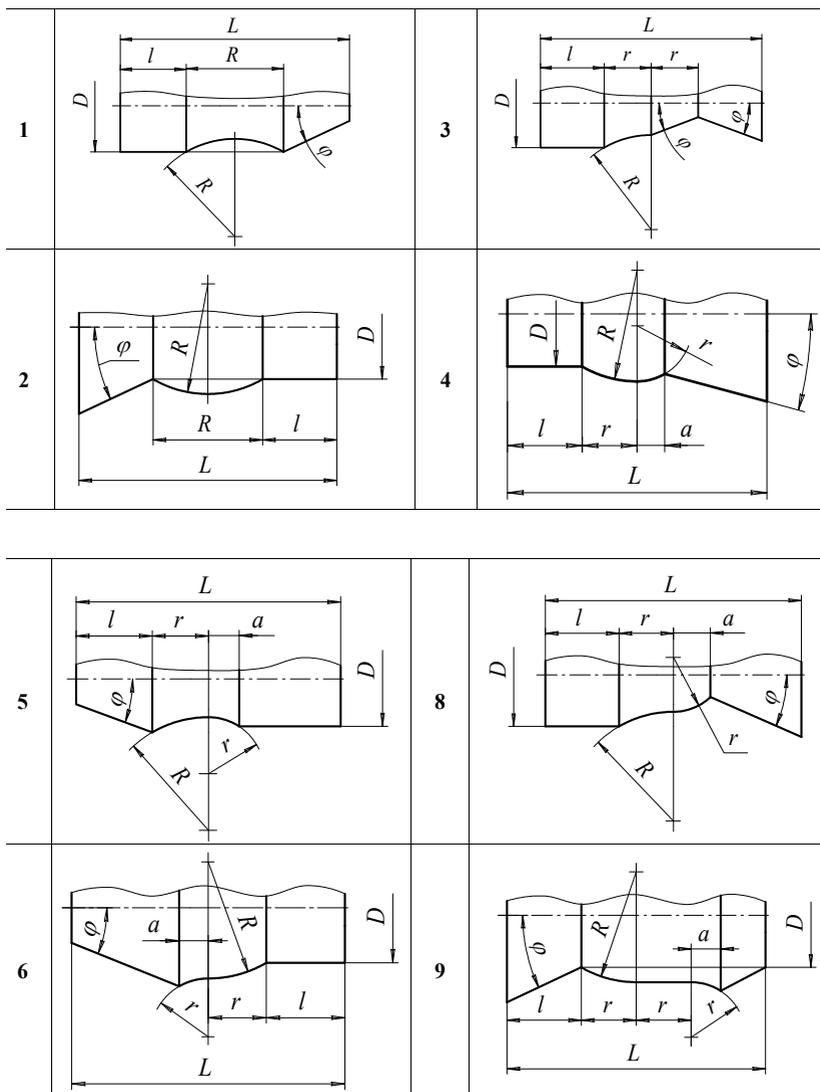


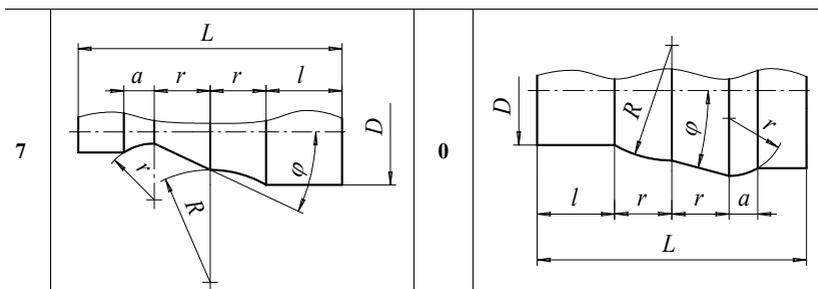
Рис. 11.10. Модель червячной фрезы с затылованием

## 12. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

### Задания для моделирования фасонного резца

#### I. Фасонные профили





**II. Размеры профиля, мм**

	$D$	$R$	$r$	$L$	$l$	$a$	$\varphi^\circ$
<b>1</b>	40	10	5	40	15	2,5	10
<b>2</b>		12	6	45		3,0	
<b>3</b>		16	8	50		4,0	12
<b>4</b>		18	9	55	4,5		
<b>5</b>	50	20	10	60	20	5,0	15
<b>6</b>		22	11	65	25	5,5	18
<b>7</b>		24	12	70		6,0	
<b>8</b>		26	13	75		6,5	
<b>9</b>	28	14	80	7,0		20	
<b>0</b>	30	15	85	7,5			

**Задания для моделирования зубчатого долбяка**

**I. Модуль нарезаемого колеса, мм**

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>0</b>
$m$	2	2,25	2,5	2,75	3	3,5	3,75	4	4,5	5

**II. Число зубьев нарезаемого колеса**

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>0</b>
$z$	42	44	46	48	52	54	56	58	60	62

**III. Число зубьев долбяка**

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>0</b>
$Z_0$	16		18		20		22		24	

## Задания для моделирования червячной фрезы

### I. Число шлицев $z$ и размеры шлицевого вала, мм

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

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

### II. Способ центрирования соединения

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

### III. Поля допусков на основные размеры шлицевого вала

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

## Библиографический список

1. Малышев, В.И. Технология изготовления режущего инструмента / В.И. Малышев. — Тольятти : Изд-во ТГУ, 2013. — 368 с.
2. Шелег, В.К. Основы автоматизированного проектирования технологических процессов в машиностроении / В.К. Шелег. — Минск : Инфра-М, 2012. — 241 с.
3. Гречишников, В.А. Основные положения и рекомендации по проектированию и изготовлению металлорежущего инструмента в условиях единичного, мелкосерийного производства / В.А. Гречишников, В.Ф. Орлов, В.Н. Щербаков. — М. : НИАТ, 1984. — 43 с.
4. Лашнев, С.И. Расчет и конструирование металлорежущих инструментов с применением ЭВМ / С.И. Лашнев, М.И. Юликов. — М. : Машиностроение, 1975. — 392 с.
5. Металлорежущие инструменты / Г.Н. Сахаров [и др.]. — М. : Машиностроение, 1989. — 328 с.
6. Палей, М.М. Технология производства металлорежущих инструментов / М.М. Палей. — М. : Машиностроение, 1982. — 256 с.
7. Палей, М.М. Технология шлифования и заточки режущего инструмента / М.М. Палей, Л.Г. Дибнер, М.Д. Флид. — М. : Машиностроение, 1988. — 287 с.
8. Баранчиков, В.И. Справочник конструктора-инструментальщика / В.И. Баранчиков. — М. : Машиностроение, 1994. — 268 с.
9. Баранчиков, В.И. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов : справочник / В.И. Баранчиков. — М. : Машиностроение, 1990. — 399 с.
10. Руководство по курсовому проектированию металлорежущих инструментов / Г.Н. Кирсанова [и др.]. — М. : Машиностроение, 1986. — 288 с.
11. Семенченко, И.И. Проектирование металлорежущих инструментов / И.И. Семенченко, В.М. Матюшин, Г.Н. Сахаров. — М. : Машиностроение, 1963. — 952 с.
12. Справочник инструментальщика / И.А. Ординарцев [и др.]. — Л. : Машиностроение, 1987. — 846 с.

13. Чемборисов, Н.А. Повышение эффективности инструмента для обработки сложных поверхностей на базе математического моделирования / Н.А. Чемборисов, Ф.С. Юнусов. – Казань – Наб. Челны : КГТУ – КамПИ, 1998. – 179 с.
14. Ганин, Н.Б. Проектирование в системе КОМПАС-3D V11 / Н.Б. Ганин. – М. : ДМК-Пресс, 2010. – 384 с.
15. Черепашков, А.А. Компьютерные технологии, моделирование и автоматизированные системы в машиностроении / А.А. Черепашков, Н.В. Носов. – Самара : ИД Ин-Фолио, 2011. – 642 с.
16. Кондаков, А.И. САПР технологических процессов / А.И. Кондаков. – М. : Академия, 2010. – 272 с.
17. Режущий инструмент / Д.В. Кожевников [и др.]. – 3-е изд. – М. : Машиностроение, 2007. – 526 с.
18. Режущий инструмент / А.А. Рыжкин [и др.]. – Ростов н/Д : Феникс, 2009. – 405 с.
19. Резников, Л.А. Проектирование сложнопрофильного режущего инструмента / Л.А. Резников. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2014. – 202 с.
20. Кудрявцев, Е.М. Основы автоматизированного проектирования / Е.М. Кудрявцев. – М. : Академия, 2013. – 304 с.
21. Аверин, В.Н. Компьютерная инженерная графика / В.Н. Аверин. – М. : Академия, 2010. – 298 с.
22. Самсонов, В.В. Автоматизация конструкторских работ в среде Компас-3D / В.В. Самсонов, Г.А. Красильников. – М. : Академия, 2009. – 224 с.
23. Кудрявцев, Е.М. Компас-3D. Проектирование в машиностроении / Е.М. Кудрявцев. – М. : ДМК-Пресс, 2009. – 440 с.
24. Левин, В.И. Информационные технологии в машиностроении / В.И. Левин. – М. : Академия, 2008. – 240 с.
25. Панкратов, Ю.М. САПР режущих инструментов / Ю.М. Панкратов. – СПб. : Лань, 2013. – 336 с.
26. Малышев, В.И. Проектирование технологии изготовления режущего инструмента / В.И. Малышев. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2010. – 92 с.