

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна

Должность: проректор по учебной работе

Дата подписания: 08.10.2023 00:09:31

Уникальный программный ключ:

0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943d0a4851fd56d089

## МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра машиностроительных технологий и оборудования

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

*О.Г. Локтионова*

« 15 » 10 2023



### ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Методические указания по выполнению практических работ  
по дисциплине «Режущий инструмент» для студентов,  
обучающихся по направлению 15.03.05

Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных  
производств очной и заочной формы обучения

Курск 2017

УДК 621.9

Составители: В.В.Малыхин, В.С. Кочергин

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент Н.И. Иванов

**Проектирование режущего инструмента** : методические указания по выполнению практических работ по дисциплине «Режущий инструмент» для студентов, обучающихся по направлению 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств (очной и заочной форм обучения) / Юго-Зап. гос.ун-т; сост.: В.В.Малыхин, В.С. Кочергин Курск, 2017. 21 с. Библиогр.: . с.21.

Содержат сведения по методике проведения, последовательности выполнения практических работ, общие положения по проектированию режущего инструмента общего и специального назначения.

Методические указания соответствуют требованиям ФГОС-3 по направлению 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств, а также требованиям программы, утвержденной учебно-методическим объединением (УМО).

Предназначены для студентов, обучающихся по направлению 15.03.05 очной и заочной формы обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. Формат 60x84 1/16

Усл.печ.л. \_\_\_\_.. Уч.-изд.л. \_\_\_\_.. Тираж 100 экз. Заказ \_\_\_\_\_. Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040 г. Курск, ул.50 Лет Октября, 94

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1 Проектирование дискового фасонного резца с радиальной подачей	6
1.1 Исходные данные	6
1.2 Выбор конструктивных и геометрических параметров резца	6
1.3 Аналитический расчёт глубин профиля резца	7
1.4 Расчет допусков на размеры резца, шаблона и контршаблона	11
2 Проектирование резца для обработки на токарном станке с ЧПУ	13
2.1 Исходные данные	13
2.2 Расчет поперечных размеров резца на прочность	13
2.3 Проверочный расчёт державки резца на жёсткость	16
2.4 Выбор конструктивных параметров пластины и определение геометрических параметров её установки	16
3 Проектирование спирального сверла	19
3.1 Исходные данные	19
3.2 Расчет исполнительных размеров калибрующей части сверла	19
3.3 Проверка конуса Морзе хвостовика	20
3.4 Выбор конструктивных и геометрических параметров сверла	23
4. Расчет и конструирование шпоночной протяжки	26
5 Расчет червячной фрезы для нарезания цилиндрических колес	32
Библиографический список	36

## ВВЕДЕНИЕ

В современном машиностроении обработка резанием является главным технологическим методом, обеспечивающим высокое качество обработки поверхностей деталей.

Режущий и вспомогательный инструмент, средства предварительной настройки инструмента вне станка и системы инструментального обеспечения играют важную роль в достижении высокой экономической эффективности дорогостоящего оборудования с ЧПУ.

Для выполнения этой роли необходимо применять инструмент, отличающийся следующими качествами: высокая надёжность при работе; быстросменность; высокий уровень унификации; переналаживаемость; относительно низкая стоимость.

Таким образом, генеральная линия развития машиностроения - компактная автоматизация проектирования и производства.

Резцы - наиболее распространённый вид режущего инструмента. Они отличаются большим многообразием. Применяются на токарных, долбёжных, строгальных, расточных станках (соответственно этому резцы делятся на токарные, строгальные, расточные и долбёжные) и могут выполнять практически все виды обработки.

Резцы также различают по форме (призматические или дисковые) и по перемещению относительно обрабатываемой заготовки (радиальные и тангенциальные).

Резцы с радиальной подачей получили наибольшее применение за счёт простоты крепления и выбора геометрических параметров режущей части. Резцы с тангенциальной подачей применяют на токарных автоматах и полуавтоматах в тех случаях, когда основным требованием является шероховатость обрабатываемой поверхности. По направлению подачи резцы бывают правые и левые; по конструкции - цельные, составные, сварные, составные с механическим креплением пластин и т. д.; по материалу режущей

части - из быстрорежущей стали, с пластинами из твёрдого сплава, минералокерамики и сверхтвёрдых синтетических материалов.

Фасонные резцы применяют для одновременной обработки нескольких поверхностей детали и фасонных профилей в крупносерийном и массовом производстве. Фасонные резцы обеспечивают высокую точность размеров и формы поверхности детали, высокую производительность и простоту заготовки. Они классифицируются :

а) по конструкции: призматические, круглые, стержневые;

б) по перемещению относительно оси детали: радиальные и тангенциальные;

в) по расположению основного отверстия или базы крепления по отношению к основной детали: с параллельным и наклонным расположением.

Дисковые фасонные резцы применяют для обработки наружных и внутренних поверхностей детали. Призматические - только для наружных поверхностей. Призматические резцы обладают, по сравнению с дисковыми, высокой точностью обработки конических и фасонных участков профиля детали.

Для обработки отверстий применяются различные инструменты в зависимости от служебного назначения детали и технологического процесса её изготовления.

Наиболее распространенными осевыми инструментами являются сверла, зенкеры, зенковки, развёртки. Выбор осевого инструмента зависит от параметров отверстия: диаметра, глубины, точности, требований и расположения геометрической оси. Спиральное сверло относится к основным и наиболее распространенным видам режущего инструмента при обработке отверстий в сплошном материале. По конструкции спиральное сверло соответствует двойному назначению - быть режущим инструментом и шнеком, транспортирующим стружку из зоны резания. Основные размеры и углы стандартизованы.

# 1. Проектирование дискового фасонного резца с радиальной подачей

## 1.1 Исходные данные.

Обрабатываемый материал – сталь ( $\sigma_b = 100 \text{ кг/мм}^2$ ).

Линейные размеры:

$l_1 = 50 \text{ мм}$ ,  $l_2 = 13 \text{ мм}$ ,  $l_3 = 11 \text{ мм}$ ,  $l_4 = 14 \text{ мм}$ .

Диаметральные размеры:

$d_1 = 17 \text{ мм}$ ,  $d_2 = 26 \text{ мм}$ ,  $d_3 = 46 \text{ мм}$ ,  $d_4 = 37 \text{ мм}$ .

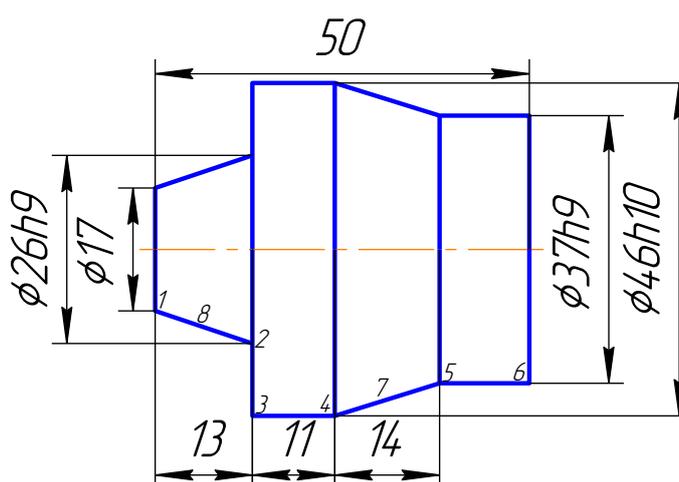


Рисунок 2 Эскиз детали

## 1.2 Выбор конструктивных и геометрических параметров резца.

Передний и задний углы резца определяем по табл. 47 [1]:

$$\gamma = 18^\circ, \alpha = 12^\circ.$$

Выбираем базовую точку 2 ( $d_2 = 26$ ).

Размеры дополнительных режущих кромок под отрезание и подрезание принимаем:  $a=1 \text{ мм}$ ;  $c=1$ ;  $b=7 \text{ мм}$ ;  $b_1=1 \text{ мм}$ ;  $\varphi_1=15^\circ$ ;  $\varphi=15^\circ$ .

Общая ширина резца вдоль оси заготовки (рис. 3).

$$L_p = l_d + a + c + b + b_1 = 50 + 1 + 1 + 7 + 1 = 60 \text{ мм}.$$

Наибольшая глубина профиля детали

$$t_{\max} = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{2} = \frac{46 - 17}{2} = 14,5 \text{ мм}.$$

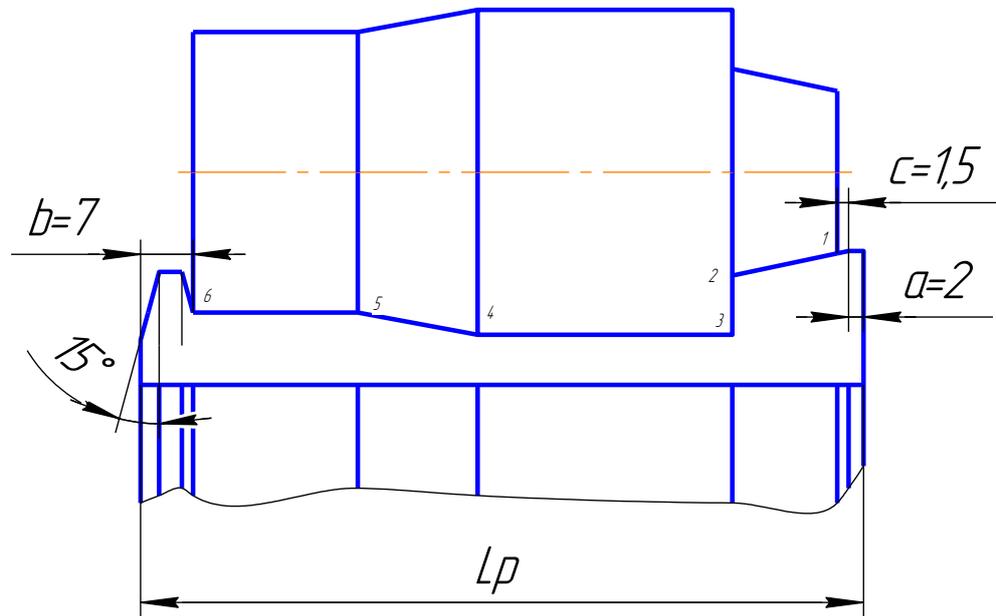


Рисунок 3 Схема расчета длины резца

Габаритные и конструктивные размеры резца с отверстием под штифт для наибольшей глубины профиля  $t_{\max} = 14$  мм выбираем по табл.45 [1. ст.134]:  $D=90$  мм;  $d_{\min}=22$  мм (H8);  $d_1=34$  мм.

Однако  $d_{\min} = 7\sqrt[3]{L_p} = 7\sqrt[3]{60} = 27,4$  мм, округляем в большую сторону до ближайшего стандартного значения;  $d = 27$ , откуда уточняем  $D=100$  мм,  $d_1 = 40$  мм,  $b_{\max} = 23 \Rightarrow b = 20$ ,  $r = 2$ ,  $D_1 = 52$ ,  $d_2 = 8$ .

Высота заточки резца

$$H = R_1 \sin(\gamma + \alpha) = 50 \sin 30^\circ = 25 \text{ мм};$$

высота установки резца  $h_p = R_1 \sin \alpha = 50 \sin 12^\circ = 10,3956$  мм;

где  $R_1$  – радиус резца.

Остальные конструктивные размеры указываем на рабочем чертеже резца.

### 1.3 Аналитический расчёт глубин профиля резца.

Согласно размерам на чертеже заготовки радиусы окружностей узловых точек профиля заготовки  $r_1, r_2, r_3$  и т.д. и осевые расстояния до этих точек от торца до заготовки  $l_{1-2}, l_{1-3}, l_{1-5}$  и т.д. следующие  $r_1 = 8,5$  мм;  $r_2 = 13$  мм;  $r_3 = 23$  мм;  $r_4 = 18,5$  мм;  $l_{1-2} = 13$  мм;  $l_{3-4} = 11$  мм;  $l_{4-5} = 14$  мм;  $l_{1-6} = 50$  мм.

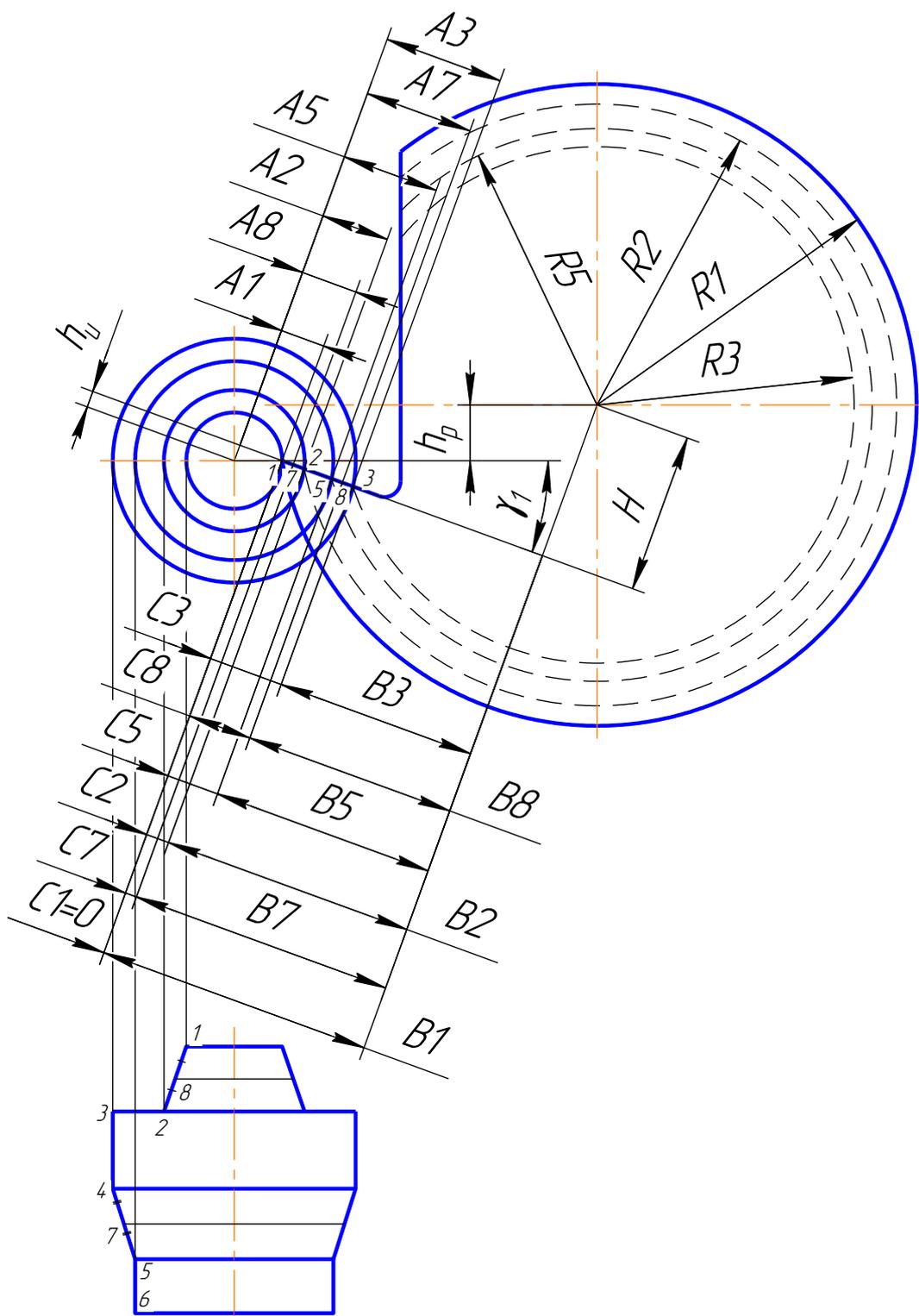


Рисунок 4 Схема расчёта глубин профиля резца

Для точки 1

$$h_u = r_1 * \sin \gamma_1 = 8,5 * \sin 18^\circ = 2,6266 \text{ и}$$

$$A_1 = r_1 * \cos \gamma_1 = 8,5 * \cos 18^\circ = 8,0839 \text{ и } C_1 = 0.$$

для точек 2

$$\sin \gamma_2 = \frac{h_u}{r_2} = \frac{2,6266}{13} = 0,2020. \quad \gamma_2 = 11,6566^\circ.$$

$$A_2 = r_2 * \cos \gamma_2 = 13 * \cos 11,6566^\circ = 12,7319 \text{ ì}$$

$$C_2 = A_2 - A_1 = 12,7319 - 8,0839 = 4,648 \text{ ì}$$

для точек 3, 4

$$\sin \gamma_{3,4} = \frac{h_u}{r_{3,4}} = \frac{2,6266}{23} = 0,1142. \quad \gamma_{3,4} = 6,5575^\circ.$$

$$A_{3,4} = r_{3,4} * \cos \gamma_{3,4} = 23 * \cos 6,5575^\circ = 22,8495 \text{ ì}$$

$$C_{3,4} = A_{3,4} - A_1 = 22,8495 - 8,0839 = 14,7656 \text{ ì}$$

для точек 5, 6

$$\sin \gamma_{5,6} = \frac{h_u}{r_{5,6}} = \frac{2,6266}{18,5} = 0,1420. \quad \gamma_{5,6} = 8,1623^\circ.$$

$$A_{5,6} = r_{5,6} * \cos \gamma_{5,6} = 18,5 * \cos 8,1623^\circ = 18,3126 \text{ ì}$$

$$C_{5,6} = A_{5,6} - A_1 = 18,3126 - 8,0839 = 10,2287 \text{ ì}$$

для точки 8

$$\sin \gamma_8 = \frac{h_u}{r_8} = \frac{2,6266}{10,75} = 0,2443. \quad \gamma_8 = 14,1425^\circ.$$

$$A_8 = r_8 * \cos \gamma_8 = 10,75 * \cos 14,1425^\circ = 10,4242 \text{ ì}$$

$$C_8 = A_8 - A_1 = 10,4242 - 8,0839 = 2,3403 \text{ ì}$$

для точки 7

$$\sin \gamma_7 = \frac{h_u}{r_7} = \frac{2,6266}{20,75} = 0,1266, \quad \gamma_7 = 7,2722^\circ.$$

$$A_7 = r_7 * \cos \gamma_7 = 20,75 * \cos 7,2722^\circ = 20,5831 \text{ ì}$$

$$C_7 = A_7 - A_1 = 20,5831 - 8,0839 = 12,4992 \text{ ì}$$

Определим радиусы для каждой точки резца:

$$R_1 = 50 \text{ мм}; \quad \varepsilon_1 = \alpha_1 + \gamma_1 = 12^\circ + 18^\circ = 30^\circ; \quad H = R_1 \cdot \sin \varepsilon_1 = 25 \text{ мм.}$$

$$B_1 = R_1 * \cos \varepsilon_1 = 50 * \cos 30^\circ = 43,3013 \text{ ì}$$

$$B_2 = B_1 - C_2 = 43,3013 - 4,648 = 38,6533 \text{ ì}$$

$$\hat{A}_{3,4} = B_1 - C_{3,4} = 43,3013 - 14,7656 = 28,5357 \text{ мм}$$

$$B_{5,6} = B_1 - C_{5,6} = 43,3013 - 10,2287 = 33,0726 \text{ мм}$$

$$B_7 = B_1 - C_7 = 43,3013 - 12,4992 = 30,8021 \text{ мм}$$

$$B_8 = B_1 - C_8 = 43,3013 - 2,3403 = 40,961 \text{ мм}$$

$$\operatorname{tg} \varepsilon_2 = \frac{H}{B_2} = \frac{25}{38,6533} = 0,6468, \varepsilon_2 = 32,8938^\circ;$$

$$\operatorname{tg} \varepsilon_{3,4} = \frac{H}{B_{3,4}} = \frac{25}{28,5357} = 0,8761, \varepsilon_{3,4} = 41,2215^\circ;$$

$$\operatorname{tg} \varepsilon_{5,6} = \frac{H}{B_{5,6}} = \frac{25}{33,0726} = 0,7559, \varepsilon_{5(6)} = 37,0861^\circ;$$

$$\operatorname{tg} \varepsilon_7 = \frac{H}{B_7} = \frac{25}{30,8021} = 0,8116, \varepsilon_7 = 39,0639^\circ;$$

$$\operatorname{tg} \varepsilon_8 = \frac{H}{B_8} = \frac{25}{40,961} = 0,6103, \varepsilon_8 = 31,3973^\circ.$$

$$R_1 = 50 \text{ мм}; R_2 = \frac{H}{\sin \varepsilon_2} = \frac{25}{\sin 32,898^\circ} = 46,0334 \text{ мм};$$

$$R_{3,4} = \frac{H}{\sin \varepsilon_{3,4}} = \frac{25}{\sin 41,2215^\circ} = 37,9379; \quad R_{5,6} = \frac{H}{\sin \varepsilon_{5,6}} = \frac{25}{\sin 37,0861^\circ} = 41,4584;$$

$$R_7 = \frac{H}{\sin \varepsilon_7} = \frac{25}{\sin 39,0639^\circ} = 39,6708; \quad R_8 = \frac{H}{\sin \varepsilon_8} = \frac{25}{\sin 31,3973^\circ} = 47,9875.$$

Пересчет глубин профиля резца относительно лезвия, обрабатывающего самую точную поверхность детали

$$P_1 = R_1 - R_2 = 50 - 46,033 = 3,967 \text{ мм};$$

$$P_{3,4} = R_2 - R_{3,4} = 46,033 - 37,938 = 8,095 \text{ мм};$$

$$P_{5,6} = R_2 - R_{5,6} = 46,033 - 41,458 = 4,575 \text{ мм};$$

$$P_7 = R_2 - R_7 = 46,033 - 39,671 = 6,362 \text{ мм};$$

$$P_8 = R_8 - R_2 = 47,987 - 46,033 = 1,954 \text{ мм}.$$

Проверка участков резца, обрабатывающих конусные поверхности детали.

$$R_{8'}^{\text{резца}} = \frac{R_1 + R_2}{2} = \frac{50 + 46,033}{2} = 48,016 \text{ мм},$$

$$R_{7'}^{\text{резца}} = \frac{R_5 + R_4}{2} = \frac{41,458 + 37,938}{2} = 39,698 \text{ мм}.$$

Теперь сравним полученные значения с рассчитанными ранее:

$$|\Delta R_{8'}| = |R_{8'} - R_{8'}^{\text{резца}}| = |47,987 - 48,016| = 0,029 \text{ мм},$$

$$|\Delta R_{7'}| = |R_{7'} - R_{7'}^{\text{резца}}| = |39,671 - 39,698| = 0,027 \text{ мм}.$$

Полученные отклонения лежат в пределах 0,25 допуска на самую точную поверхность детали, поэтому нет необходимости вводить на резец угол  $\lambda$ .

#### 1.4 Расчет допусков на размеры резца, шаблона и контршаблона.

Произведем расчет допусков на размеры резца, шаблона и контршаблона. Допуски на линейные и угловые размеры фасонных резцов назначают в зависимости от точности обрабатываемых поверхностей. Как известно, один из радиальных размеров детали, обычно наиболее точный, обеспечивается за счёт настройки станка и называется базовым, остальные радиальные и осевые размеры должны быть обеспечены резцом.

Допуски на глубины профиля резца рассчитываются по следующей зависимости:

$$\delta_{ip} = 0,4 \cdot \left( \frac{\delta_{ид} - \delta_{баз.п.}}{2} \right) \geq 2,5\delta_{ш},$$

где  $\delta_{ip}$  - допуск на глубину профиля  $i$ -ой поверхности резца в мм;

$\delta_{ид}$  - допуск на  $i$ -ую поверхность резца в мм;

$\delta_{баз.п.}$  - допуск базовой поверхности, мм;

$\delta_{ш}$  - величина допуска на соответствующую глубину профиля шаблона (контршаблона), мм.

Размер детали

$$d_1 = 17_{-0,43} \text{ мм};$$

$$d_2 = 26(h9)_{-0,052} \text{ мм};$$

$$d_{3(4)} = 46(h10)_{-0,1} \text{ мм};$$

$$d_{5(6)} = 37(h9)_{-0,062} \text{ мм}.$$

Рассчитаем допуски на величины глубин профиля резца  $\delta_{ip}$ . Допуск на базовую поверхность резца (точка 2) равен 0,052 мм. Примем допуск на базовую поверхность шаблона (контршаблона) равным 0,010 мм. Тогда допуск на базовую поверхность резца может быть принят равный не менее  $2,5 \delta_{ш}$  или 0,025 мм. Ужесточаем  $\delta_{баз.п.}$  до  $2,5\delta_{ш} = 0,025\text{мм}$ .

$$\delta_{1p} = 0,4 \cdot \left( \frac{0,43 - 0,025}{2} \right) = 0,081 > 0,025; \text{ условие выполнено};$$

$$\delta_{3p} = 0,4 \cdot \left( \frac{0,1 - 0,025}{2} \right) = 0,015; < 0,025 \text{ условие не выполнено};$$

$$\delta_{5p} = 0,4 \cdot \left( \frac{0,062 - 0,025}{2} \right) = 0,007 < 0,025 \text{ условие не выполнено}.$$

Допуск на диаметр детали 3 и 5 рассчитаем следующим способом

$$\delta_{xp} = 0,4 \cdot \left( \frac{X - 0,025}{2} \right) = 0,025 \rightarrow X = 0,025 \cdot 2 / 0,4 + 0,025 = 0,15$$

Допуски на глубины профиля шаблона и контршаблона назначаем равными 0,01 мм.

Допуски на линейные размеры резца принимаем равными 0,4 от допуска на соответствующий линейный размер резца (IT12), а допуск на соответствующий линейный размер шаблона (контршаблона) равным 0,4 допуска на соответствующий линейный размер резца.

$$\delta_{ip} = \frac{\delta_{ид}}{2,5}; \quad \delta_{ш/кш} = \frac{\delta_{ip}}{2,5}.$$

Линейные размеры детали имеют следующие величины и предельные отклонения:

$$l_{1-2} = 13_{-0,18}\text{мм}; l_{3-4} = 11_{-0,18}\text{мм}; l_{4-5} = 14_{-0,18}\text{мм}; l_{5-6} = 12_{-0,18}\text{мм}.$$

В результате расчетов получаем следующие величины допусков на размеры резца, шаблона (контршаблона):

$$\delta_{ip} = \frac{0,18}{2,5} = 0,072\text{мм}, \quad \delta_{ш/кш} = \frac{0,072}{2,5} = 0,03\text{мм}.$$

При изображении шаблона и контршаблона в спаренном положении направление допуска указывается в плюс и минус. При этом один из знаков относится к шаблону, другой к контршаблону.

## 2. Проектирование резца для обработки на токарном станке с ЧПУ

### 2.1 Исходные данные:

Резец проходной левый с механическим креплением МНП из твёрдого сплава для чернового точения по корке (резание прерывистое) на станке с ЧПУ.

главный угол в плане –  $\varphi = 45^\circ$ ;

диаметр заготовки –  $D = 320$  мм;

материал заготовки – серый чугун (НВ 190).

Режимы обработки:

глубина резания –  $t = 4,2$  мм;

подача –  $S = 0,7$  мм/об;

скорость резания –  $v = 2,2$  м/с.

### 2.2 Расчет поперечных размеров резца на прочность

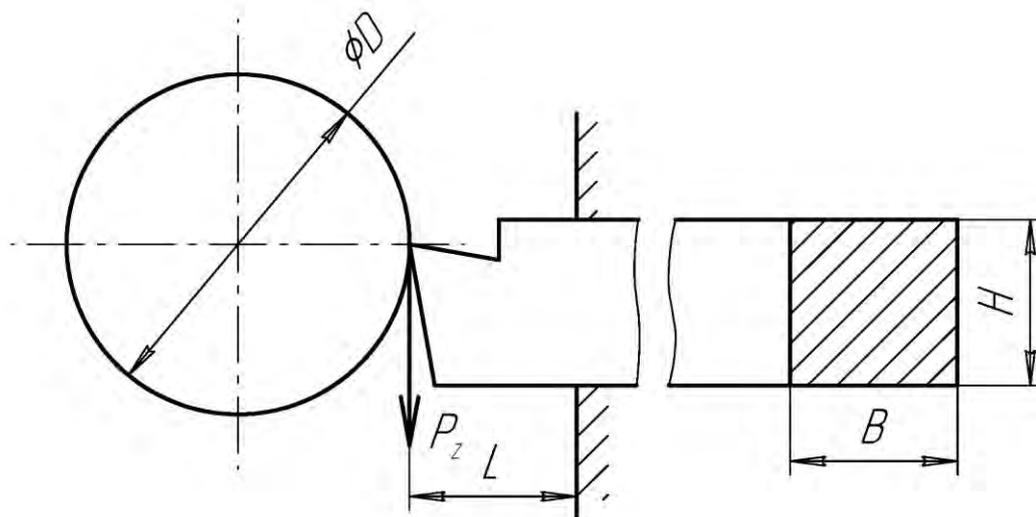


Рисунок 5 – Схема расчета поперечных размеров резца из условия прочности

Проверка резца на прочность (рис. 5).

$$P_z \cdot l_p \leq [\sigma_{\text{изг}}] \cdot W \quad (2.1)$$

где:  $P_z$  - сила, действующая на резец в направлении оси z, Н.

$l_p$  - вылет резца, мм.

$[\sigma_{\text{изг}}]$  - допустимое напряжение на изгиб для материала державки.

$W$  - момент сопротивления опасного сечения державки резца, мм<sup>3</sup>.

Так как обработка ведётся на станке с ЧПУ, то принимаем значение  $H/B=1$ . Вылет резца  $l_p \leq 1,5H$ . В качестве материала державки резца принимаем Сталь 40Х с  $[\sigma_{\text{изг}}] = 250 \text{ МПа}$ .

Момент сопротивления для квадратного сечения державки резца:

$$W = \frac{H^3}{6} \quad (2.2)$$

Преобразуем формулу (2.1)

$$P_z \cdot 1,5H \leq 250 \frac{H^3}{6} \quad (2.3)$$

Определяем из этой формулы  $H$ .

$$H = \sqrt{\frac{9 \cdot P_z}{250}} \quad (2.4)$$

Определяем величину силы  $P_z$ :

$$P_z = 10C_p t^x S^y V^n K_{P_z} \quad (2.5)$$

где постоянная  $C_p$  и показатели степени  $x, y, n$  выбираются для конкретных условий обработки:

$$C_p = 300$$

$$x = 1$$

$$y = 0,75 \quad ([4] \text{ табл. 22})$$

$$n = -0.15$$

$K_{P_z}$  - поправочный коэффициент, представляющий собой произведение ряда коэффициентов:

$$K_{P_z} = K_{\text{мр}} K_{\text{фр}} K_{\gamma p} K_{\lambda p} K_{\text{гр}} \quad (2.6)$$

$K_{\text{мр}}$  - коэффициент, учитывающий влияние качества обрабатываемого материала.

$$K_{\text{mp}} = \left( \frac{\text{HB}}{190} \right)^n \quad (2.7)$$

$n$  - показатель степени,

$$n = 0,75 \quad ([4] \text{ табл. 9})$$

$$K_{\text{mp}} = \left( \frac{190}{190} \right)^{0,4} = 1$$

$K_{\text{фр}}$  - коэффициент, учитывающий влияние главного угла в плане  $\phi$ .

$$K_{\text{фр}} = 1 \quad ([4] \text{ табл. 23})$$

$K_{\text{гр}}$  - коэффициент, учитывающий влияние переднего угла  $\gamma$  ( $\gamma = -15$ ).

$$K_{\text{гр}} = 1,25 \quad ([4] \text{ табл. 23})$$

$K_{\lambda\text{р}}$  - коэффициент, учитывающий влияние угла наклона главной режущей кромки.

$$K_{\lambda\text{р}} = 1 \quad ([4] \text{ табл. 23})$$

$K_{\text{rp}}$  - коэффициент учитывающий влияние радиуса при вершине ( $R=2$  мм)

$$K_{\text{rp}} = 1 \quad ([4] \text{ табл. 23})$$

$$K_{P_z} = 1 \cdot 1 \cdot 1,25 \cdot 1 \cdot 1 = 1,25$$

$$v = 2,2 \text{ м/с} \cdot 60 = 132 \text{ м/мин}$$

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 4,2^1 \cdot 0,7^{0,75} \cdot 132^{-0,15} \cdot 1,25 = 5794,53 \text{ Н}$$

Определяем численное минимальное значение сечения державки:

$$H = \sqrt{\frac{9 \cdot 5794,53}{250}} = 14,44 \text{ мм}$$

Полученное значение высоты державки резца округляется до стандартного значения с коэффициентом запаса  $K=2 \dots 3$ . Принимаем

$$H=B=30 \text{ мм ГОСТ 20872-80} \quad ([5] \text{ табл. 8.6})$$

$$l_p = 1,5 \cdot 30 = 45 \text{ мм}$$

### 2.3 Проверочный расчёт державки резца на жёсткость

Выполняем расчёт державки резца на жёсткость:

$$j = \frac{1}{y} \quad (2.8)$$

где  $y$  - величина прогиба резца

$$y = \frac{P_z \cdot l_p^3}{3 \cdot E \cdot Y} \quad (2.9)$$

где  $E = 2 \cdot 10^5$  МПа - модуль упругости;

$Y$  - момент инерции.

Для квадратного сечения:

$$Y = \frac{H^4}{12} = \frac{30^4}{12} = 67500 \text{ мм}^4$$

$$y = \frac{5794.53 \cdot 45^3}{3 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 67500} = 0,013 \text{ мм}$$

Для резцов при черновом точении  $[y] = 0,1 \text{ мм}$

$$y \leq [y]$$

Так как это условие выполняется  $0,013 < 0,1$  то державка резца пригодна для использования при данных условиях.

### 2.4 Выбор конструктивных параметров пластины и определение геометрических параметров её установки

Определяем число граней твёрдосплавной пластинки. [1] стр. 79

$$n = \frac{360}{(\varphi + \varphi_1)} \quad (2.10)$$

где  $\varphi_1$  - вспомогательный угол в плане принимается исходя из вида обработки.

$$\varphi_1 = 15^\circ \quad ([5] \text{ табл. 8.14, стр. 305})$$

$$n = \frac{360^\circ}{(45^\circ + 15^\circ)} = 6$$

Главный задний угол согласно рекомендации [5]  $\alpha = 8^\circ \dots 12^\circ$ .  
Принимаем  $\alpha = 10^\circ$ .

Вспомогательный задний угол принимаем согласно рекомендации ([3] стр. 298)  $\alpha_1 = 10^\circ$ .

Выбираем тип пластины. Принимаем пластину шестигранной формы с отверстием ГОСТ 19064-80 (рис. 7). ([5] табл. 4.13 стр.135)

Обозначение по ISO 1832 - H N H A 6.4 03 20 F L.

Форма СМП – Н, задний угол – N, класс точности – Н, тип пластины – А, длина режущей кромки – 6.4, толщина СМП – 03, радиус при вершине - 20, исполнение режущей кромки – F, направление резания – L.

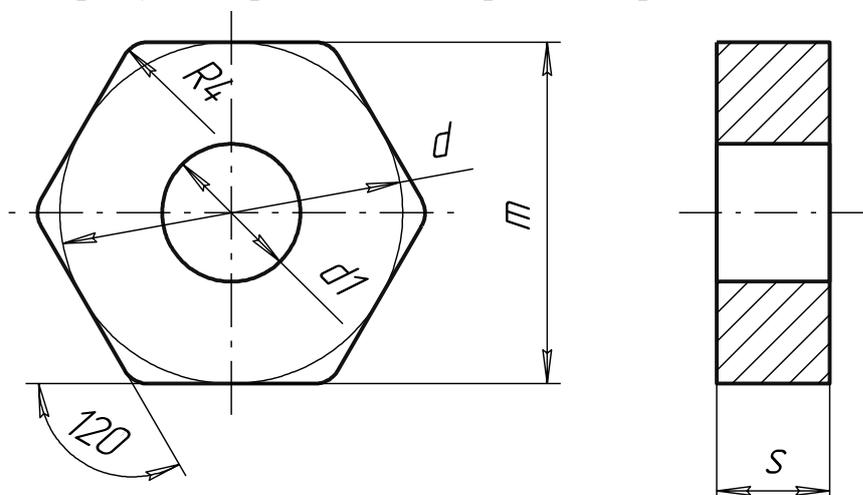


Рисунок 7 – Пластина режущая ГОСТ 19064-80

Основные размеры:  $d = 6,35$  мм,  $s = 3,18$  мм,  $r = 2,0$  мм,  $m = 6,35$  мм,  $d_1 = 2,8$  мм.

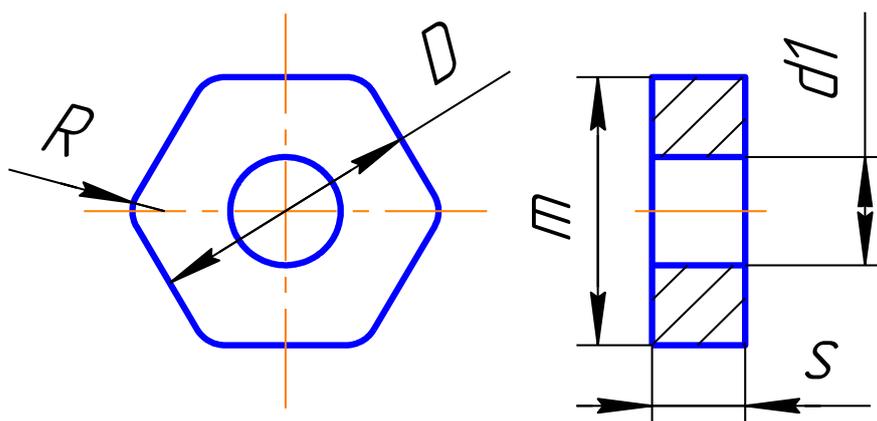


Рисунок 8 – Пластина опорная

Основные размеры опорной пластинки:  $s = 3.18$  мм,  $r = 1,2$  мм,  $m = 6,35$  мм (длина режущей кромки),  $d_1 = 2,8$  мм.

Способ крепления твердосплавной пластины – винтом с конической головкой [4] табл. 24 стр. 129. Для крепления пластины на корпусе применяем подложку в виде твердосплавной пластины ГОСТ 19051-80. Высоту подложки принимаем равной высоте рабочей пластины.

Для принятой пластины определяем допустимое усилие резания.

$$P_{\text{пл}} = 340 \cdot t^{0,77} \cdot s^{1,35} \cdot \left( \frac{\sin 60}{\sin \varphi} \right)^{0,8} \quad (2.15)$$

где  $s$  - толщина пластины

$$P_{\text{пл}} = 340 \cdot 4,2^{0,77} \cdot 3,18^{1,35} \cdot \left( \frac{\sin 60}{\sin 45} \right)^{0,8} = 5855,64 \text{ Н}$$

Так как  $P_{\text{пл}} > P_Z$  ( $5755,64 > 5794,53$ ), то пластина может быть использована при заданных условиях.

### 3 Проектирование спирального сверла

#### 3.1 Исходные данные

Рассчитать спиральное сверло с коническим хвостовиком, оснащенное твердосплавной пластиной, для обработки на станке с ЧПУ сквозного отверстия со следующими характеристиками:

диаметр отверстия  $d = 30\text{H}11$ ,

глубина отверстия  $h = 120\text{ мм}$ ,

припуск на сторону – 4 мм,

сталь легированная  $\sigma_B = 650\text{ МПа}$ .

#### 3.2 Расчет исполнительных размеров калибрующей части сверла.

Определяем диаметр сверла с учетом разбиения отверстия и износа сверла. Максимальный размер отверстия  $d_{\max} = 30 + 0,13 = 30,13\text{ мм}$ .

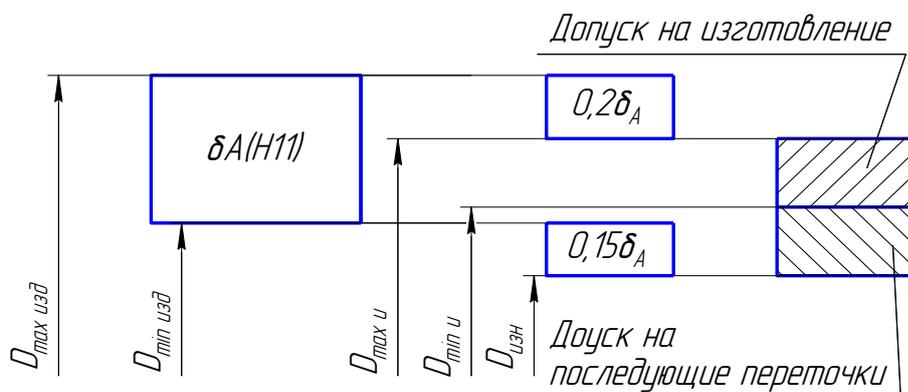


Рисунок 9 Система расчета допуска на диаметр спирального сверла

Принятые обозначения:

$D_{\max \text{ изд}}$  – максимальный диаметр изделия, мм,

$D_{\min \text{ изд}}$  – минимальный диаметр изделия, мм,

$D_{\max \text{ и}}$  – максимальный диаметр нового инструмента, мм,

$D_{\min \text{ и}}$  – минимальный диаметр нового инструмента, мм,

$D_{\text{изн}}$  – диаметр изношенного инструмента, мм,

$\delta_A$  – допуск на изделие, мм.

Рассчитываем исполнительные размеры

$$D_{\max \text{ и}} = D_{\max \text{ изд}} - 0,2\delta_A = 30,13 - 0,2 \cdot 0,13 = 30,104 \text{ мм}$$

$$D_{\text{изн}} = D_{\min \text{ изд}} - 0,15\delta_A = 30 - 0,15 \cdot 0,13 = 29,9805 \text{ мм}$$

Расчет исполнительного диаметра ведем для серийного производства

$$D_{\min \text{ и}} = D_{\max \text{ и}} - (D_{\max \text{ и}} - D_{\text{изн}}) \cdot K_{\text{изг}}$$

где  $K_{\text{изг}}=0,5$  – для серийного производства

$$D = 30,104 - (30,104 - 29,9805) \cdot 0,5 = 30,04225 ;$$

Получаем сверло  $\varnothing 30,1_{-0,057}$  мм.

### 3.3 Проверка конуса Морзе хвостовика

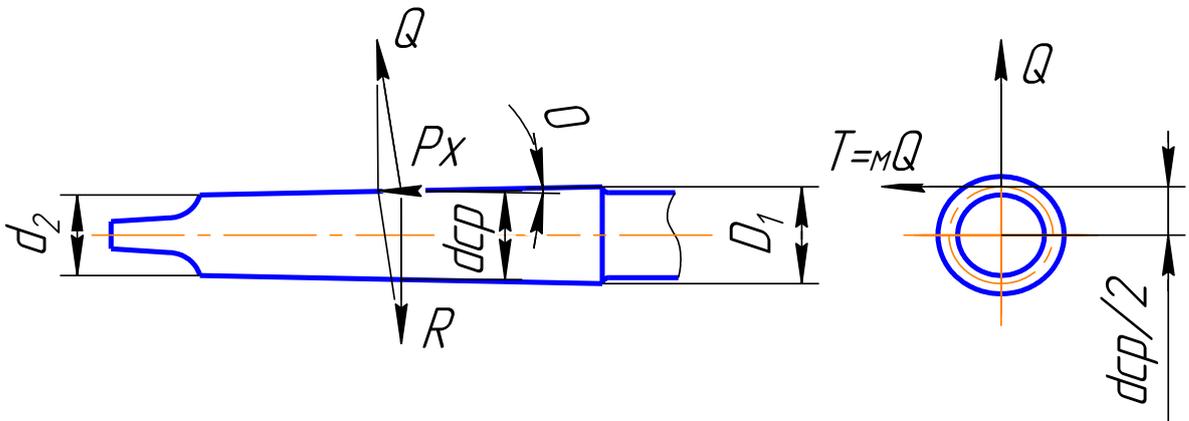


Рисунок 10 Схема сил, действующих на конический хвостовик сверла

Определяем режимы резания по [1]

а) подачу на оборот находим (табл. 25 стр. 277)

$$S_0 = 0,43 \dots 0,48 \text{ мм/об}$$

Принимаем  $S_0 = 0,45$  мм/об.

Учтем поправочный коэффициент на инструментальный материал - 0,6.

$$S_0 = 0,27 \text{ мм/об.}$$

б) Определяем скорость резания:

$$v = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} K_v,$$

где  $C_v$  – коэффициент скорости резания,

$m, q, x, y$  – показатели степени,

$K_v$  – поправочный коэффициент.

По ([4], табл. 17).

$$C_v=10,8; q=0,6; x=0,2; y=0,3; m=0,25.$$

В свою очередь  $K_v = K_{mv} \cdot K_{iv} \cdot K_{lv}$

$K_{mv}$  - коэффициент учитывающий влияние материала заготовки

$$K_{mv} = K_{\Gamma} \left( \frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v} = \left( \frac{750}{650} \right)^1 = 1,15.$$

$n_v=1$  табл.2

$K_{\Gamma}=1$

$K_{iv}$  – коэффициент, учитывающий влияние инструментального материала на скорость резания, (табл. 6)  $K_{iv}=1$

$K_{lv}$  - коэффициент учитывающий глубину сверления, (табл.31)  $K_{lv}=1$

$$K_v=1,15 \cdot 1 \cdot 1=1,15.$$

$T = 15$  - среднее значение периода стойкости сверл, (табл.30, стр.279)

$$v = \frac{10,8 \cdot 30^{0,6}}{50^{0,25} \cdot 4^{0,2} \cdot 0,27^{0,3}} \cdot 1,15 = 35 \text{ м/мин}$$

Осевая составляющая силы резания

$$P_x = 9,81 C_p t^x S_0^y K_p$$

По табл.32 находим

$$C_p=67, x=1,2, y=0,65.$$

$$K_p = \left( \frac{\sigma_B}{750} \right)^{n_v} = \left( \frac{600}{750} \right)^{0,75} = 0,85$$

$$P_x = 9,81 \cdot 67 \cdot 30^{1,2} \cdot 0,45^{0,65} \cdot 0,85 = 19692,3 \text{ Н}$$

Момент сил сопротивления резанию

$$M_{c.p.} = 9,81 C_m D^q t^x S_0^y K_p$$

По табл.32 находим

$$C_m=0,09, q=1, x=0,9, y=0,8.$$

$$K_p = \left( \frac{\sigma_B}{750} \right)^{n_v} = \left( \frac{600}{750} \right)^{0.75} = 0.85$$

$$M_{c.p.} = 9.81 \cdot 0.09 \cdot 30^1 \cdot 4^{0.9} \cdot 0.45^{0.8} \cdot 0.85 = 41,4 \text{ Н}$$

Осевую составляющую силы резания  $P_x$  можно разложить на две силы:

$Q$  - действующую нормально к образующей конуса;

$$Q = \frac{P_x}{\sin \theta},$$

где  $\theta$  - угол конусности хвостовика,

$R$  - действующую в радиальном направлении и уравновешивающую реакцию на противоположной точке поверхности конуса.

Сила  $Q$  создает касательную составляющую  $T$  силы резания; с учетом коэффициента трения поверхности конуса о стенки втулки  $\mu$

$$T = \mu Q = \frac{\mu P_x}{\sin \theta}.$$

Момент трения между хвостовиком и втулкой

$$M_{\text{тр}} = \frac{\mu P_x (D_1 + d_2)}{4 \sin \theta} (1 - 0.04 \Delta \theta).$$

Приравниваем момент трения к максимальному моменту сил сопротивления резанию, т.е. к моменту, создающемуся при работе затупившимся сверлом, который увеличивается до 3 раз по сравнению с моментом, принятым для нормальной работы сверла.

Следовательно,

$$3M_{c.p.} = M_{\text{тр}} = \frac{\mu P_x (D_1 + d_2)}{4 \sin \theta} (1 - 0.04 \Delta \theta).$$

Средний диаметр конуса хвостовика

$$d_{\text{cp}} = \frac{D_1 + d_2}{2}$$

или

$$d_{\text{cp}} = \frac{6M_{c.p.} \sin \theta}{\mu P_x (1 - 0.04 \Delta \theta)}$$

где  $M_{cp} = 41,4$  Н – Момент сопротивления сил резанию;  $P_x = 19692,3$  Н - осевая составляющая силы резания;  $\mu = 0,096$  - коэффициент трения;

угол  $\theta$  для большинства конусов Морзе равен приблизительно  $1^\circ 30'$ ;  $\sin 1^\circ 30' = 0,02618$ ;  $\Delta\theta = 5'$  - отклонение угла конуса;

$$d_{cp} = \frac{6 \cdot 41,4 \cdot \sin 1^\circ 30'}{0,096 \cdot 19692,3 \cdot (1 - 0,2)} = 0,0043 \text{ м} = 4,3 \text{ мм}$$

По ГОСТ 25557-82 выбираем ближайший больший конус, т.е. конус Морзе №3 с лапкой со следующими основными конструктивными размерами:

$$D_1 = 24,1 \text{ мм}, d_2 = 19,1 \text{ мм}, \ell = 119 \text{ мм},$$

конусность 1 : 19,922.

#### 3.4 Выбор конструктивных и геометрических параметров сверла

Определяем длину сверла. Общая длина сверла  $L$ ; длины рабочей части  $l_0$  хвостовика могут быть приняты по ГОСТ 10908-75 или ГОСТ 4010-77:  $L = 225$  мм,  $l_0 = 125$  мм.

Т.к.  $D_1 < d$ , то  $d_1 = D_1 + 4 = 24,1 + 4 = 28,1$  мм  $\approx 28$  мм – диаметр шейки.

Определяем геометрические и конструктивные параметры рабочей части сверла. По нормативам ([4] табл.43) находим форму заточки ДП (двойная с подточкой перемычки). Угол наклона винтовой канавки  $\omega = 30^\circ$ . Углы между режущими кромками:  $2\varphi = 118^\circ$ ,  $2\varphi_0 = 70^\circ$ . Задний угол  $\alpha = 16^\circ$ . Угол наклона поперечной кромки  $\psi = 55^\circ$ .

Размеры подточенной части перемычки:  $A = 1,4$  мм;  $b = 4,5$  мм. Шаг винтовой канавки

$$H = \frac{\pi D}{\text{tg}\omega} = \frac{3,14 \cdot 30}{\text{tg}30^\circ} = 163,2 \text{ мм}$$

Толщину  $d_c$  сердцевины сверла выбирают в зависимости от диаметра сверла. Принимаем толщину у переднего конца сверла равной  $0,20 \cdot D$  (для  $D = 30$  мм). Тогда  $d_c = 0,20 \cdot 30 = 6$  мм. Утолщение сердцевины по направлению к

хвостовику 1,4-1,8 мм на 100 мм длины рабочей части сверла. Принимаем это утолщение равным 1.8 мм.

Обратная конусность сверла (уменьшение диаметра по направлению к хвостовику) на 100 мм длины рабочей части должна составлять (для  $D = 30$  мм): 0.05-0.12 мм. Принимаем обратную конусность 0.05 мм.

Ширину ленточки (вспомогательной задней поверхности лезвия)  $f_0$  и высоту затылка по спинке  $K$  выбираем по [6] табл.63. В соответствии с диаметром сверла (для  $D = 30$  мм)

$$f_0=1.8, K=0.8.$$

$$\text{Ширина пера } B = 0.58 \cdot D = 0.58 \cdot 30 = 17.4 \text{ мм.}$$

Геометрические элементы профиля фрезы для фрезерования канавки сверла определим аналитическим методом.

Большой радиус профиля

$$R_0=C_R C_r C_\Phi D$$

где

$$C_R = \frac{0.026 \cdot 2\varphi \cdot \sqrt[3]{2\varphi}}{\omega} = \frac{0.026 \cdot 118 \cdot \sqrt[3]{118}}{30} = 0.502$$

$$C_r = \left( \frac{0.14D}{d_c} \right)^{0.044} = \left( \frac{0.14 \cdot 30}{6} \right)^{0.044} = 0.98$$

$$C_\Phi = \left( \frac{13\sqrt{D}}{D_\Phi} \right)^{0.9}$$

где  $D_\Phi$ - диаметр фрезы.

$$\text{При } D_\Phi = 13\sqrt{D} \text{ } C_\Phi=1.$$

Следовательно,  $R_0=0.502 \cdot 0.98 \cdot 1 \cdot 30=14.75$  мм.

Меньший радиус профиля  $R_K=C_K D$ ,

$$\text{где } C_K = 0,015 \cdot \omega^{0,75} = 0,015 \cdot 30^{0,75} = 0,192$$

Следовательно  $R_K = 0.192 \cdot 30 = 5.76$  мм. Ширина профиля  $B = R_0 + R_K = 14.75 + 5.76 \approx 20.5$  мм. По найденным размерам строим профиль канавочной фрезы (рис. 11).

Устанавливаем основные технические требования на размеры сверла (по ГОСТ 885-77).

Допуск на общую длину рабочей части сверла равен удвоенному допуску по 14-му качеству с симметричным расположением предельных отклонений  $\left(\pm \frac{IT14}{2}\right)$  по ГОСТ 25347-82. Предельные отклонения размеров конуса хвостовика устанавливают по ГОСТ(2848-75 (степень точности АТ8). Радиальное биение рабочей части сверла относительно оси хвостовика не должно превышать 0.15 мм. Углы  $2\varphi=118^\circ \pm 2^\circ$ ;  $2\varphi_0=70^{+5^\circ}$ . Угол наклона винтовой канавки  $\omega=30.2^\circ$ .

Предельные отклонения размеров подточки перемычки режущей части сверла  $+0,5$  мм. Твердость рабочей части сверла HRCэ 62-65. Твердость у лапки хвостовика сверла HRCэ 30-45.

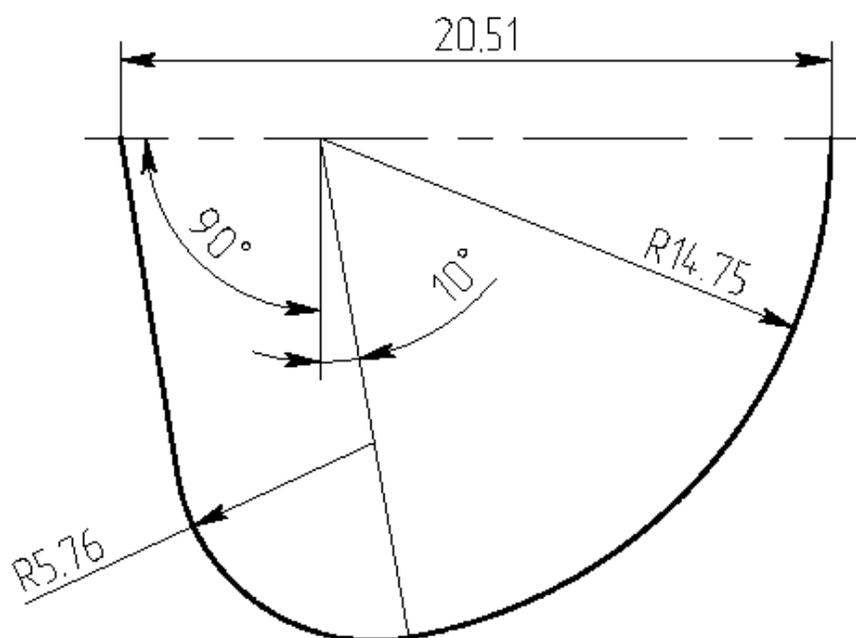


Рисунок 11 Профиль дисковой фрезы

## 4. Расчёт и конструирование шпоночной протяжки

### 4.1 Исходные данные:

Диаметр отверстия  $D = 42H7$  мм.

Глубина шпоночного паза  $t = 3.3$  мм.

Ширина шпоночного паза  $B = 9,53 D^{10}$  мм.

Точность получаемого паза (квалитет, отклонения на диаметр отверстия, шероховатость, мкм).

Длина отверстия  $L = 116$  мм.

Длина изделия  $L = 124$  мм.

Материал заготовки сталь 40Х.

Твердость материала заготовки 260...300 НВ.

Модель станка 7А56.

Тяговая сила станка  $P_c = 204000$  Н.

Наибольший рабочий ход ползуна станка  $l_{рх}$ , 1400 мм.

Используемая смазочно-охлаждающая жидкость.

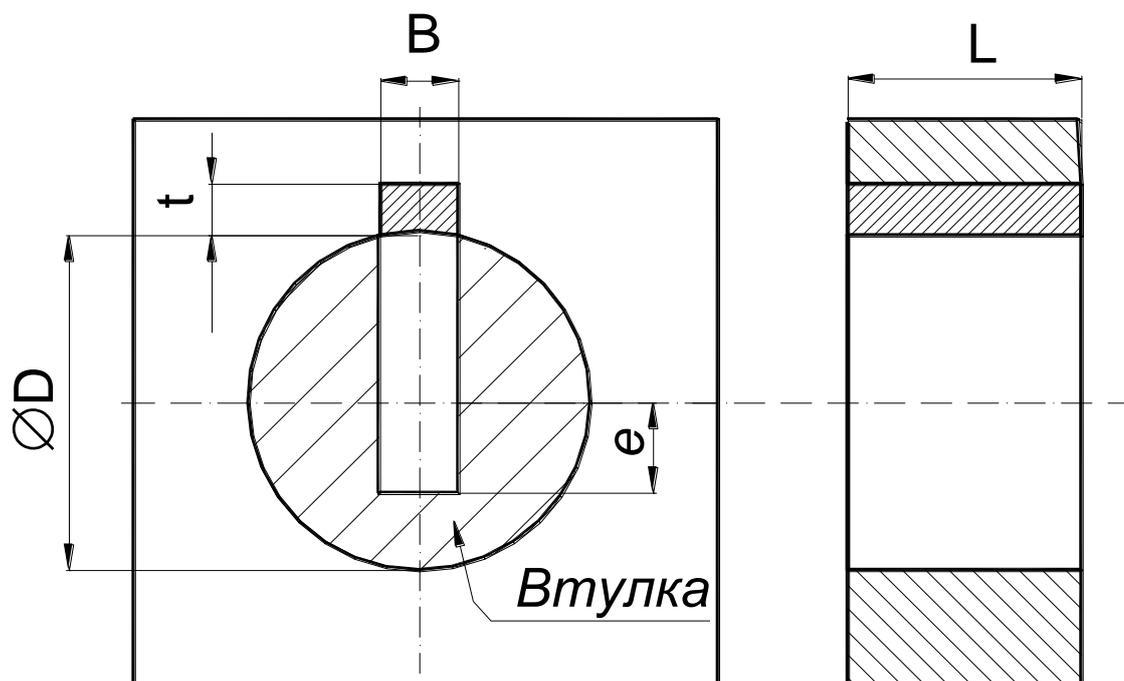


Рисунок 12 Профиль отверстия

#### 4.2 Алгоритм проектирования

Выбираем размеры плоского хвостовика (рис.3.13)  $B_x$  и  $H_x$ , мм из (прилож.2, табл.4), при этом выбирается наибольший хвостовик, который может пройти через отверстие до протягивания.  $B_x = 20\text{мм}$ ,  $H_x = 45\text{мм}$ .

Площадь хвостовика  $F_x$ , определяющая его прочность,  $\text{мм}^2$  (см. прилож.1, табл.4).  $F = 675\text{мм}^2$ .

Высота первого зуба протяжки  $h_1$ , мм

$$h_1 = H_x = 45\text{мм}. \quad (4.1)$$

Расстояние до первого зуба, мм

$$l_1 = L_n + L, \\ l_1 = 160 + 122 = 362\text{мм}, \quad (4.2)$$

где  $L_n$  – расстояние от торца хвостовика протяжки до торца заготовки (принимаем 160 мм).

Определяем группу обрабатываемости материала заготовки (прилож.2, табл.5). Сталь 40Х НВ 215...302 – это 3-я группа обрабатываемости.

Определяем группу качества протягиваемой поверхности (прилож.2, табл.6). При 7-ом качестве имеем 2-ую группу качества обрабатываемой поверхности.

Выбираем материал рабочей части протяжки (прилож.2, табл.7).

Материал рабочей части протяжки Сталь Р6М5.

Выбираем геометрические параметры зубьев протяжки (прилож.2, табл.8). Принимаем для черновых зубьев  $\alpha = 15^\circ, \gamma = 3^\circ$ ;

для калибрующих зубьев  $\alpha = 18^\circ, \gamma = 1^\circ$ .

Шаг режущих зубьев, мм (рис.2.1)

$$t_p = m\sqrt{L}, \quad (3.5.3)$$

Принимаем  $m = 1,9$ .

$$t_p = 1,9\sqrt{122} = 22,7\text{мм}$$

Полученный шаг округлить до ближайшего стандартного шага (см. прилож.2, табл.9).

$$t_p = 24 \text{ мм}$$

Наибольшее число одновременно работающих зубьев (отбросить дробную часть, если  $Z_{\max} < 3$  уменьшить шаг  $t_p$ )

$$z_{\max} = \frac{L}{t_p} + 1 \quad (4.4)$$

$$z_{\max} = \frac{122}{24} + 1 = 7.$$

Глубина стружечной канавки  $h_k = 10 \text{ мм}$ , (см. прилож.2, табл.9).

Площадь стружечной канавки  $F_k = 78,5 \text{ мм}^2$ , (см. прилож.2, табл.9).

Коэффициент заполнения стружечной канавки  $K=4$  (см. прилож.2, табл.10).

Подача, допустимая по размещению стружки в канавке, мм/зуб

$$S_{zk} = \frac{F_k}{K \cdot L} \quad (4.5)$$

$$S_{zk} = \frac{78,5}{4 \cdot 122} = 0,16 \text{ мм}.$$

Наибольшее усилие, допустимое хвостовиком из условий прочности, Н

$$P_x = F_x \cdot \sigma_x = 675 \cdot 250 = 168750 \text{ Н}, \quad (4.6)$$

где  $\sigma_x$  – допускаемое напряжение на растяжение материала хвостовой части протяжки, МПа (см. прилож.2, табл. 11).

Наибольшее усилие, допустимое материалом рабочей части протяжки на прочность по первому зубу, Н

$$P_l = F_l \cdot \sigma_l = B_x \cdot (H_x - h_k) \cdot \sigma_l, \quad (4.7)$$

$$P_l = 20 \cdot (45 - 4,5) \cdot 300 = 243000 \text{ Н}.$$

где  $\sigma_l$  – допускаемое напряжение на растяжение материала режущей части протяжки, МПа (по прилож.2, табл.11).

Расчетная сила резания, Н (выбрать наименьшее из  $P_x, P_l, P_c$ )

$$P_p = \min(P_x, P_l, P_c). \quad (4.8)$$

$$P_c = 70000 \text{ Н}.$$

Рассчитываем осевую силу резания

$$q_{oc} = \frac{P_c}{\Pi_{od}}, \text{ где} \quad (4.9)$$

$P_c$  – максимальное усилие станка.

$\Pi_{od}$  -периметр одновременно работающих зубьев.

$$\Pi_{od} = B \times Z_{od}$$

$$\Pi_{od} = 9,53 \times 7 = 66,7 \text{ мм}$$

$$q_{oc} = \frac{14000}{66,7} = 210 \text{ кг/мм}$$

По  $q_{oc}$  выбираем подъем на зуб  $S_z = 0,25$  мм, но, исходя из условий размещения стружки, принимаем  $S_z = 0,21$  мм

Рассчитываем высоты режущих зубьев протяжки:

$$h_2 = h_1 + S_{zp} = 25 + 0,21 = 25,21 \text{ мм},$$

$$h_3 = h_2 + S_{zp} = 25,21 + 0,21 = 25,42 \text{ мм}, \quad (4.10)$$

$$h_{26} = h_{21} + 0,21 = 29,25 \text{ мм}.$$

Удельная нагрузка на 1 мм режущей кромки зуба (Н):

$$q = q_0 \cdot K_{pm} \cdot K_{po} \cdot K_{pk} \cdot K_{pp}, \quad (4.11)$$

где  $q_0$  — осевая сила резания (см. прилож.2, табл.12),

$K_{pm}$ ,  $K_{po}$ ,  $K_{pk}$ ,  $K_{pp}$  — поправочные коэффициенты на осевую силу резания (см. прилож.2, табл.13).

$$q = 423 \cdot 1,3 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 465,3 \text{ Н}$$

Сила резания, действующая на каждый зуб (Н):

$$P_{zi} = q \cdot \Pi_i. \quad (4.12)$$

$$P_{zi} = 465,3 \cdot 26 = 9306 \text{ Н}$$

Сила резания на всех одновременно работающих зубьев

$$P_{zi} = n \cdot P_{zi}, \text{ где}$$

$n$  – число одновременно работающих зубьев,

$P_{zi}$  – Сила резания действующая на каждый зуб.

$$P_{zi} = 7 \cdot 9306 = 65142H.$$

Длина режущей части при одинарной схеме резания, мм

$$l_{po} = t_p \cdot (Z_{ponm} - 1). \quad (4.13)$$

$$l_{po} = 24 \cdot (26 - 1) = 571 \text{ мм.}$$

Число зубьев калибрующей части  $Z_k$  (см. прилож.2, табл.20).

Для 2-ой группы качества принимаем 4 калибрующих зуба.

Шаг калибрующих зубьев, мм (округлить до ближайшего стандартного шага по прилож.2, табл.9)

$$t_k \approx 2 \cdot t_p / 3, \text{ где} \quad (4.14)$$

$t_p$  – шаг режущих зубьев протяжки.

$$t_k \approx 2 \cdot 24 / 3 = 16.8 \text{ мм,}$$

Принимаем стандартный шаг  $t_k = 17 \text{ мм}$

Длина калибрующей части, мм

$$l_k = t_k \cdot z_k. \quad (4.15)$$

$$l_k = 17 \cdot 4 = 68 \text{ мм}$$

Длина заднего направления  $l_3$  протяжки, мм (см. прилож.2, табл.17)

Принимаем  $l_3 = 40 \text{ мм}$ .

Общая длина протяжки, мм (рис.3.6)

$$L_{пр} = l_1 + l_p + l_k + l_3. \quad (4.16)$$

$$L_{пр} = 135 + 832 + 68 + 40 = 1075 \text{ мм}$$

Допустимая длина протяжки, мм

$$L_{пр\max} = 40 \cdot H_0, \text{ где} \quad (4.17)$$

$H_0$  – высота первого зуба протяжки.

$$L_{пр\max} = 40 \cdot 25 = 1000 \text{ мм}$$

Необходимая длина рабочего хода, мм

$$l_{px} = l_p + l_k + l_3 + L, \quad (4.18)$$

$$l_{px} = 832 + 54 + 40 + 68 = 994 \text{ мм}$$

Это меньше, чем рабочий ход станка, значит протяжка подходит.

Угол  $\beta_k$  правки круга для заточки переднего угла принимаем  $45^\circ$ .

Наибольший диаметр круга для заточки, мм

$$D_{кз} = \frac{D_{0l} - h_k}{\sin \gamma} \cdot \sin \beta_k. \quad (4.19)$$

Наибольшая глубина протягиваемого паза

$$t_{max} = t + T_{паз}, \quad (4.20)$$

где  $T_{паз}$  – допуск на протягиваемый паз, мм.

$$t_{max} = 4 + 0,25 = 4.25$$

Допуск на изготовление, мм

$$T_{кал} = (0,2 \div 0,25) \cdot T_{паз}. \quad (4.21)$$

Высота калибрующих зубьев, мм

$$h_{кал} = e + 0.5 \cdot D + t_{max} \pm T_{изг}. \quad (4.22)$$

Допуск на высоту режущих зубьев, мм

$$T_{рез} = 0,2 \cdot S_z \leq 0,02. \quad (4.23)$$

## 5 Расчет червячной фрезы для нарезания цилиндрических колес

### 5.1 Исходные данные для расчета:

Модуль нарезаемого колеса  $m_H = 2$  мм,  
 угол зацепления  $\alpha_u = 20^\circ$ ,  
 класс точности – А (для нарезания колес 8-ой степени точности),  
 коэффициент коррегирования  $f = 1$ .

### 5.2 Определение элементов профиля зубьев в нормальном сечении Шаг червячной фрезы по нормали:

$$t_H = \pi m_H,$$

$$t_H = 3,14 \cdot 2 = 6,28.$$

Толщина зуба:

$$S_{gu} = \frac{\pi m_H}{2} + \Delta S_{gu},$$

где  $\Delta S_{gu}$  – утолщение зуба, выбирается из таблицы № 1.2.  $\Delta S_{gu} = 0,161$  мм.

$$S_{gu} = \frac{3,14 \cdot 2}{2} + 0,161 = 3,311^{+0,05} \text{ мм.}$$

Высота головки зуба фрезы:

$$h'_u = (f + c) m_H,$$

где  $f$  – коэффициент высоты головки зуба нарезаемого колеса. Для колес со стандартными размерами  $f = 1$ ,

$c$  – коэффициент радиального зазора зубчатой фрезы;  $c = 0,25$ ,

$$h'_u = (1 + 0,25) \cdot 2 = 2,5 \text{ мм.}$$

Высота ножки зуба  $h''_u$ :

$$h''_u = 1,25 m_H,$$

$$h''_u = 1,25 \cdot 2 = 2,5 \text{ мм.}$$

Полная высота профиля зубьев:

$$h_u = h'_u + h''_u,$$

$$h_u = 2,5 + 2,5 = 5 \text{ мм.}$$

Радиус закругления головки зуба:

$$r_1 = (0,3 + 0,4) m_H,$$

$$r_1 = (0,3 + 0,4) \cdot 2 = 1,4 \text{ мм.}$$

Радиус закругления ножки зуба:

$$r_2 = (0,2 + 0,3) m_H,$$

$$r_2 = (0,2 + 0,3) \cdot 2 = 1 \text{ мм.}$$

Толщина зуба по вершине:

$$S_a = S_{gu} - 2 h'_u \operatorname{tg} \alpha_u,$$

$$S_a = 3,331 - 2 \cdot 2,5 \operatorname{tg} 20^\circ = 1,51 \text{ мм.}$$

Толщина зуба по впадине:

$$S_{bn} = t_H - (S_{gu} + 2 h''_u \operatorname{tg} \alpha_u),$$

$$S_{bn} = 6,28 - (3,331 + 2 \cdot 2,5 \operatorname{tg} 20^\circ) = 1,13 \text{ мм.}$$

Ширина канавки для шлифования:

$$B_1 = 0,75S_{bn},$$

$$B_1 = 0,75 \cdot 1,13 = 0,85 \text{ мм} \approx 0,85 \text{ мм.}$$

Глубина канавки для шлифования:

$$h_1 = 1 \text{ мм.}$$

Радиус канавки для шлифования:

$$r = 1 \text{ мм.}$$

### 5.3 Выбор конструктивных параметров червячных фрез.

Диаметр посадочного отверстия, класс точности В:

$$d_p = 20m_H^{0,365},$$

$$d_p = 20 \cdot 2^{0,365} = 25,78 \text{ мм.}$$

Глубина канавки:

$$H_K = h_u + y + r_s + 1,5,$$

где  $y$  – величина, зависящая от величины затылования,

$r_s$  – радиус закругления дна канавки:

$$r_s = \sqrt{m} = \sqrt{2} = 1,4 \text{ мм,}$$

$$y = 0,27K + 0,53K\lambda.$$

$K$  – величина затылования. Выбирается в зависимости от величины модуля по таблице № 1.3.

Принимаем  $\lambda = 1,3$ ,  $K = 5,5$

$$y = 0,27 \cdot 5,5 + 0,53 \cdot 5,5 \cdot 1,3 = 5,2745.$$

$$H_K = 10 + 5,2745 + 2 + 1,5 = 18,7745 \text{ мм.}$$

Наружный диаметр фрезы:

$$D_{eu} = 2H_K + 1,84d_p,$$

$$d_p = 33,1727 \text{ мм.}$$

$$D_{eu} = 2 \cdot 18,7745 + 1,84 \cdot 33,1727 = 98,5867 \text{ мм.}$$

Согласно ГОСТ 6636 – 53 на нормальные диаметры округляем полученное значение наружного диаметра до 125 мм.

$$D_{eu} = 125 \text{ мм.}$$

Средний расчетный диаметр фрезы:

$$D_{cp} = D_{eu} - 2h'_u - 2\sigma K,$$

где  $\sigma = 0,15$ .

$$D_{cp} = 125 - 2 \cdot 5 - 2 \cdot 0,2 \cdot 5,5 = 112,8 \text{ мм.}$$

Число захватов.

$$i = 1.$$

Угол подъема витков фрезы по расчетному среднему диаметру:

$$\sin \tau_{gu} = \frac{im_H}{D_{cp}} = \frac{4 \cdot 1}{112,8} = 0,03546^\circ.$$

$$\tau_{gu} = 2^\circ 18'.$$

Осевой шаг:

$$t_0 = \frac{t_H}{\cos \tau_{gu}},$$

$$t_0 = \frac{12.56}{0,999} = 12.57257 \text{ мм.}$$

Толщина зуба по оси:

$$S_0 = \frac{S_{gu}}{\cos \tau_{gu}},$$

$$S_0 = \frac{6.441}{0,999} = 6.4474 \text{ мм.}$$

Угол наклона стружечных канавок принимаем равным углу подъема витков фрезы:

$$\omega = \tau$$

Шаг винтовой стружечной канавки:

$$S_K = \pi D_{cp} \operatorname{ctg} \omega,$$

$$S_K = 3,14 \cdot 112,8 \operatorname{ctg} 2,3 = 8855 \text{ мм.}$$

Угол профиля канавок:

$$\varepsilon = 25^\circ.$$

Диаметр буртиков:

$$d_{\bar{o}} = D_{eu} - 2H_K - 5,$$

$$d_{\bar{o}} = 125 - 2 \cdot 18,7745 - 5 = 92,45 \text{ мм.}$$

Согласно ГОСТ 6636 – 53 принимаем диаметр буртиков  $d_{\bar{b}} = 80 \text{ мм}$

Длина буртиков:

$$l_{\bar{o}} = 5 \text{ мм.}$$

Диаметр выточки:

$$d_{\bar{e}} = d + 2 = 50 + 2 = 52 \text{ мм.}$$

Червячная фреза выполняется без заборного конуса.

Общая длина фрезы:

$$l = 2h'_u \operatorname{ctg} \alpha_g + Xt_H + 2l_{\bar{o}},$$

где  $X = 9$  для  $m_H = 4 \text{ мм}$ ,

$$l = 2 \cdot 5 \cdot \operatorname{ctg} 20^\circ + 9 \cdot 12,56 + 2 \cdot 5 = 126,64 = 125 \text{ мм.}$$

Длина шлифованной части отверстия:

$$l_{uu} = (0,22 + 0,26) l,$$

$$l_{uu} = (0,22 + 0,26) \cdot 125 = 60 \text{ мм.}$$

Проверка толщины корпуса фрезы в опасном сечении.

$$0,5D_{eu} - H_K - \left( t_1 + \frac{d_{\bar{e}}}{2} \right) \geq 0,3d,$$

$$0,5 \cdot 125 - 18,7745 - \left( 3,3 + \frac{52}{2} \right) = 14,4255 \text{ мм} > 12,6 \text{ мм.}$$

Условие выполняется.

Количество зубьев в торцевом сечении:

$$z_p = \frac{0,636d_p}{m^{0,53}},$$

$$z_p = \frac{0,636 \cdot 33,1727}{4^{0,53}} = 10,1431.$$

Принимаем  $z = 10$ .

В качестве основного червяка принимаем конволютный.

Так как угол подъема витков  $\tau_{gu} > 3^\circ$ , то

$$\alpha_u = \alpha_g = 20^\circ + 1' = 20^\circ 1'.$$

Передний угол на вершине зуба:  $\gamma_g = 0$ .

Передний угол на боковых режущих кромках:  $\gamma_\delta = 0$ .

Задний угол на вершине зуба:

$$\operatorname{tg} \alpha_g = \frac{Kz}{\pi D_{eu}},$$

$$\operatorname{tg} \alpha_g = \frac{5,5 \cdot 10}{3,14 \cdot 125} = 0,14,$$

$$\alpha_g = 7,9 = 7^\circ 54'.$$

Задний угол на боковых сторонах:

$$\operatorname{tg} \alpha_\delta = \operatorname{tg} \alpha_g \sin \alpha_u,$$

$$\operatorname{tg} \alpha_\delta = 0,14 \cdot 0,345 = 0,0483,$$

$$\alpha_\delta = 2^\circ 42'.$$

#### 5.4 Определение элементов профиля зубьев в осевом сечении

Осевой шаг  $P_{xo} = P_{no} / \cos y_{mo}$

Угол наклона  $\alpha_{xRo}$  и  $\alpha_{xLo}$ .

Данные величины принимаем по ГОСТ 9324-80, табл. 2.

Для модуля  $m=2$  мм значения следующие

$P_{xo} = 6,285$  мм;  $\alpha_{xRo} = 20^\circ 02'$ ;  $\alpha_{xLo} = 19^\circ 58'$ .

## 2. Расчет цилиндрической развертки

### 3.1 Исходные данные

Рассчитать и сконструировать цилиндрическую развертку из быстрорежущей стали для обработки на станке с ЧПУ сквозного отверстия диаметром 35E8 глубиной 40 мм в заготовке из чугуна (HB255).

### 3.2 Расчет исполнительных размеров калибрующей части развертки

Для диаметра 35E8 мм выбираем по табл. 69 [1] предельные отклонения:  $D = 35^{+0.089}_{+0.050}$  мм.

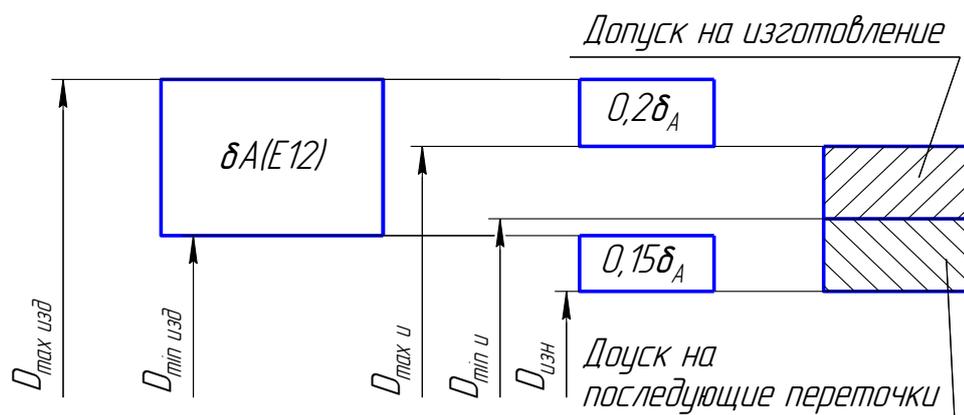


Рис. 3.1 Схема расчета исполнительного размера калибрующей части развертки

Принятые обозначения:

$D_{маx изд}$  – максимальный диаметр изделия, мм,

$D_{мин изд}$  – минимальный диаметр изделия, мм,

$D_{маx и}$  – максимальный диаметр нового инструмента, мм,

$D_{мин и}$  – минимальный диаметр нового инструмента, мм,

$D_{изн}$  – диаметр изношенного инструмента, мм,

$\delta_A$  – допуск на изделие, мм.

Рассчитываем исполнительные размеры

$$D_{маx и} = D_{маx изд} - 0,2\delta_A = 35,089 - 0,2 \cdot 0,039 = 35,0812 \text{ мм}$$

$$D_{изн} = D_{мин изд} - 0,15\delta_A = 35,050 - 0,15 \cdot 0,039 = 35,04415 \text{ мм}$$

Расчет исполнительного диаметра ведем для серийного производства

$$D_{\min \hat{e}} = D_{\max \hat{e}} - (D_{\max \hat{e}} - D_{\hat{e} \hat{c} \hat{i}}) \cdot \hat{E}_{\hat{e} \hat{c} \hat{a}}$$

где  $K_{\text{изг}}=0,5$  – для серийного производства

$$D = 35,0812 - (35,0812 - 35,04415) \cdot 0,5 = 35,0626;$$

Получаем  $\varnothing 35,08_{-0,018}$ .

### 3.3 Выбор конструктивных и геометрических параметров по ГОСТ 11176—71

Обратную конусность на длине ножа  $D - D_0$  принимаем равной 0,05 мм.

Геометрические параметры режущей части развертки выбираем по справочнику [5]: главный угол в плане  $\varphi = 45^\circ$ ;

передний угол  $\gamma = 5^\circ$ ;

задний угол по заборной части  $\alpha = 8^\circ$ ;

задний угол по периферии  $\alpha_1 = 10^\circ$ ;

задний угол по спинке ножа  $\alpha_c = 20^\circ$ ;

ширина ленточки  $f_1 = 0,2 \dots 0,25$  мм.

Длина заборной части развертки

$$l_1 = \frac{D - D_2}{2} \operatorname{ctg} \varphi + m,$$

где  $D_2 = D - 2,6 \cdot t = 35 - 2,6 \cdot 0,15 = 34,61$  мм;  $\operatorname{ctg} 45^\circ = 1$ ; принимаем  $m = 2$ .

$$l_1 = \frac{35 - 34,61}{2} + 2 = 2,2.$$

Число зубьев развертки  $z = 1,5 \cdot D^{0,5} + 2 = 11$ .

По конструктивным соображениям для обеспечения достаточной прочности крепления ножей в корпусе принимаем число ножей  $z = 10$ .

Выбираем угловой шаг зубьев развертки (табл. 70):

$$w_1 = 33^\circ 15'; w_2 = 34^\circ 32'; w_3 = 36^\circ 00'; w_4 = 37^\circ 28'; w_5 = 38^\circ 45'.$$

Выполняем рабочий чертеж развертки с указанием основных технических требований.

### 3.3 Проверка конуса Морзе хвостовика (рис. 6).

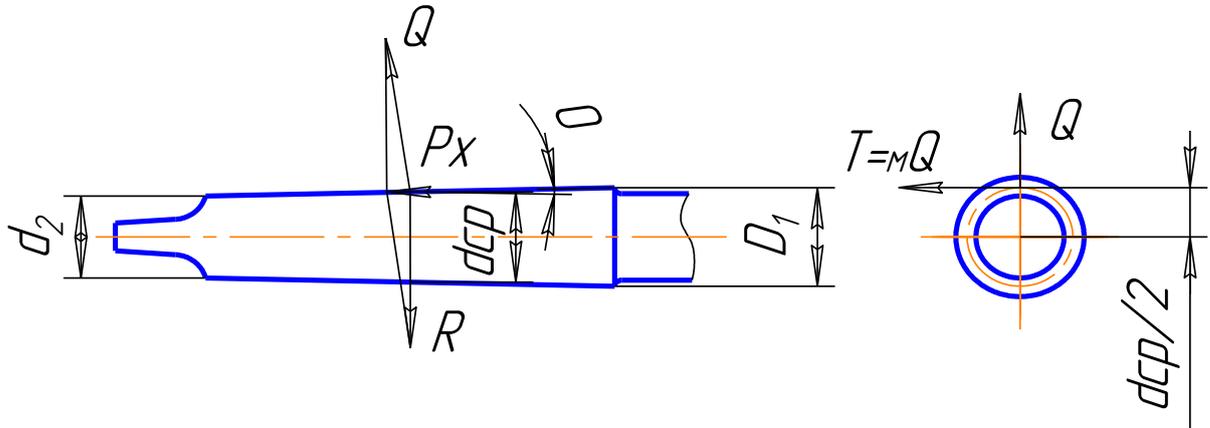


Рисунок 6 Расчетная схема параметров конуса

Осевую составляющую силы резания  $P_x$  можно разложить на две силы:  
 $Q$  - действующую нормально к образующей конуса;

$$Q = \frac{P_x}{\sin \theta},$$

где  $\theta$  - угол конусности хвостовика,

$R$  - действующую в радиальном направлении и уравнивающую реакцию на противоположной точке поверхности конуса.

Сила  $Q$  создает касательную составляющую  $T$  силы резания; с учетом коэффициента трения поверхности конуса о стенки втулки  $\mu$

$$T = \mu Q = \frac{\mu P_x}{\sin \theta}.$$

Момент трения между хвостовиком и втулкой

$$M_{\text{тр}} = \frac{\mu P_x (D_1 + d_2)}{4 \sin \theta} (1 - 0.04 \Delta \theta).$$

Приравниваем момент трения к максимальному моменту сил сопротивления резанию, т.е. к моменту, создающемуся при работе

затупившимся сверлом, который увеличивается до 3 раз по сравнению с моментом, принятым для нормальной работы сверла.

Следовательно,

$$3M_{\text{с.р.}} = M_{\text{тр}} = \frac{\mu P_x (D_1 + d_2)}{4 \sin \theta} (1 - 0.04 \Delta \theta).$$

Средний диаметр конуса хвостовика

$$d_{\text{ср}} = \frac{D_1 + d_2}{2}$$

или

$$d_{\text{ср}} = \frac{6M_{\text{ср}} \sin \beta}{\mu P_x (1 - 0.04 \Delta \theta)}$$

где  $M_{\text{ср}}$  – момент сопротивления сил резанию;  $P_x$  - осевая составляющая силы резания;  $\mu=0.096$ - коэффициент трения;

угол  $\theta$  для большинства конусов Морзе равен приблизительно  $1^\circ 30'$ ;  $\sin 1^\circ 30' = 0.02618$ ;  $\Delta \theta = 5'$  - отклонение угла конуса.

Осевая составляющая силы резания

$$P_x = 9.81 C_p t^x S_0^y K_p$$

По табл.32 стр. 281 находим

$$C_p = 67, x = 1.2, y = 0.65.$$

$$K_p = \left( \frac{\sigma_B}{750} \right)^{n_v} = \left( \frac{700}{750} \right)^{0.75} = 0.95$$

Подачу на оборот находим по табл. 27 стр. 278

$$S_0 = 1,4 \text{ мм/об}$$

Припуск на сторону  $t = 0,15 \text{ мм}$ .

$$P_x = 9.81 \cdot 67 \cdot 0.15^{1.2} \cdot 1.4^{0.65} \cdot 0.95 = 79,8 \text{ Н}$$

Момент сил сопротивления резанию

$$M_{\text{с.р.}} = 9.81 C_m D^q t^x S_0^y K_p$$

По табл.32 стр.281 находим

$$C_m = 0.09, q = 1, x = 0.9, y = 0.8.$$

$$K_p = \left( \frac{\sigma_B}{750} \right)^{n_v} = \left( \frac{700}{750} \right)^{0.75} = 0.95$$

$$M_{c.p.} = 9.81 \cdot 0.09 \cdot 35^1 \cdot 0.15^{0.9} \cdot 1.4^{0.8} \cdot 0.95 = 6,96Н$$

Тогда

$$d_{cp} = \frac{6 \cdot 6,96 \cdot \sin 1^\circ 30'}{0.096 \cdot 79,8 \cdot (1 - 0.2)} = 0,039м = 39мм$$

По ГОСТ 25557-82 выбираем ближайший больший конус, т.е. конус Морзе №5 с лапкой со следующими основными конструктивными размерами:

$$D_1 = 44,7 \text{ мм}, d_2 = 36,5 \text{ мм}, \ell = 156 \text{ мм},$$

конусность 1 : 19,002.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нефёдов Н.А., Осипов К.А. Сборник задач и примеров по резанию металлов и режущему инструменту. – М.: Машиностроение, 1984. 400с.
2. Допуски и посадки. Часть 1 (под редакцией Мягкова В.Д.) Ленинград: Машиностроение, 1978. 544с.
3. Руководство по курсовому проектированию металлорежущих инструментов, (под редакцией Кирсанова Г.Н.). М.: Машиностроение, 1986. 288с.
4. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 2 / Под ред. А.Г.Косиловой и Р.К.Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. 496с.

5. Методические указания: автоматизированный расчёт и проектирование дисковых и призматических фасонных резцов с радиальной подачей. Составители: Ю.Н. Селезнёв, С.П. Рухлин, С.П. Колосков. Курск. гос. техн. ун-т; Курск, 1999-32с.