

Одобрено
учебно-методической комиссией филиала ЮУрГУ в г. Златоусте

Рецензенты:
В.В. Ворона, Е.В. Кочетков

Д369 **Дерябин, И.П.**
Проектирование металлорежущего инструмента: учебное пособие / И.П. Дерябин, И.Н. Миронова. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2016. – 84 с.

Учебное пособие предназначено для подготовки бакалавров по направлению 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» при изучении курсов «Процессы формообразования» и «Режущий инструмент», а также при выполнении курсовых и дипломных проектов, в том числе с использованием САПР металлорежущих инструментов. Учебное пособие составлено в соответствии с Государственным образовательным стандартом по дисциплине «Режущий инструмент» и «Процессы и операции формообразования». Изложена методика проектирования режущих инструментов высокой производительности, к которым относятся фасонные резцы, круглые и шлицевые протяжки. Приведены схемы резания, конструктивные элементы и обширная база данных для расчета параметров этих инструментов. Даны варианты заданий для выполнения курсового и дипломного проектов.

УДК 621.9.02.001.2(075.8)

© Издательский центр ЮУрГУ, 2016

ВВЕДЕНИЕ

Применение высокопроизводительного инструмента в современном производстве деталей машин и приборов позволяет снизить затраты, приходящиеся на единицу продукции, за счет значительного снижения времени обработки поверхностей. Это является одним из условий обеспечения конкурентоспособности продукции.

В крупносерийном и массовом производстве для обработки фасонных деталей в качестве основного режущего инструмента применяют фасонные резцы.

Широкое распространение фасонных резцов объясняется рядом достоинств, присущих как методу обработки, так и инструменту. По сравнению с обычными резцами они обеспечивают:

1) идентичность формы, точность размеров деталей, так как они зависят не от квалификации рабочего, а в основном от точности изготовления резца;

2) обработку сложнопрофильных деталей на станках с простой кинематической схемой формообразования поверхности, что позволяет уменьшить затраты на оборудование и использовать менее квалифицированный труд;

3) высокую производительность благодаря большой экономии машинного времени, связанной с сокращением пути резания, и вспомогательного времени, требуемого на установку и наладку резца при смене его;

4) высокую долговечность благодаря большому количеству допускаемых переточек, что способствует снижению расхода инструмента на программу выпуска и обеспечивает идентичность профиля всех деталей;

5) меньшее количество брака;

6) простоту заточки (затачиваются они только по передней поверхности), что позволяет уменьшить затраты на их эксплуатацию.

Из-за большой стоимости фасонные резцы применяются при крупносерийном и массовом производствах.

Несмотря на то, что фасонные резцы сложнее в изготовлении, стоимость их выше, чем у резцов общего назначения, указанные достоинства позволяют уменьшить затраты на изготовление деталей.

Фасонные резцы, расчёт которых рассмотрен ниже, отличаются от резцов с фасонной режущей кромкой строением задней поверхности. У фасонных резцов задняя поверхность образуется режущей кромкой, определённым образом соответствующей профилю обрабатываемой детали, при её движении относительно базы крепления резца к державке по траектории, обеспечивающей постоянство формы режущей кромки при переточках резца. У резцов с фасонной режущей кромкой задняя поверхность строится без соблюдения этого условия, в связи с чем перетачивают их по

профилю на оптико-шлифовальных станках или по шаблонам, что дорого и трудоёмко [1].

Фасонные резцы – специальные инструменты, применяемые для обработки только тех деталей, для которых рассчитаны. Изменение размеров детали без изменения формы профиля требует изготовления другого резца.

Протяжки – узкоспециализированный и довольно дорогой инструмент, предназначенный и рассчитываемый для обработки одной или нескольких определенных деталей. Это и обуславливает рентабельность применения протяжек именно в массовом и крупносерийном производствах. Однако в последнее время протяжки стали применяться также и в мелкосерийном производстве, в частности, в приборостроении и станкостроении в тех случаях, когда необходимая точность обработки детали может быть получена только протягиванием, например, при обработке шлицевых отверстий, некруглых отверстий, спиральных канавок в отверстиях и др.

Основными преимуществами протяжек являются:

- 1) высокая производительность;
- 2) возможность получать высокую точность и чистоту обработанной поверхности при низкой квалификации рабочих;
- 3) простота конструкции металлорежущего оборудования;
- 4) высокая стойкость как между отдельными переточками, так и суммарная, благодаря чему одна протяжка может обработать большое количество деталей – до многих тысяч штук;
- 5) вследствие указанных черт протяжки являются весьма экономичным инструментом, так как их стоимость, входящая в состав стоимости детали, относительно небольшая.

Протяжки сложны в изготовлении, металлоёмки и поэтому дороги. Экономическая целесообразность их применения оправдывается при обеспечении оптимальных конструкций и режимах резания, качественном изготовлении и правильной эксплуатации.

Материалы данного учебного пособия необходимы для формирования у студентов следующих компетенций:

- способности собирать и анализировать исходные информационные данные для проектирования технологических процессов изготовления машиностроительной продукции, средств технологического оснащения, автоматизации и управления (ПК-5);
- способности принимать участие в разработке средств технологического оснащения машиностроительных производств (ПК-9);
- способности разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию машиностроительных производств, оформлять законченные проектно-конструкторские работы (ПК-14);
- способности участвовать в организации выбора технологий, средств технологического оснащения, вычислительной техники для реализации

процессов проектирования, изготовления, технологического диагностирования и программных испытаний изделий машиностроительных производств (ПК-39);

– знания конструктивных особенностей разрабатываемых и используемых в инструментальных комплексах в машиностроении технических средств (ПСК-11.2);

– умения выполнять работы по проектированию инструментальных комплексов в машиностроении (ПСК-11.3).

1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФАСОННЫХ РЕЗЦОВ

1.1. Алгоритм расчета

Алгоритм расчета фасонных резцов состоит из трех этапов:

I – определение значений координат узловых и промежуточных точек профиля детали;

II – определение значений координат точек профиля резца;

III – определение размеров профиля резца от измерительной базы.

Расчеты на I этапе выполняются одинаково для всех типов резцов.

1.1.1. Радиальные и призматические резцы

I этап

Определение координат точек профиля детали

Сначала выбирается база для линейных размеров. Такой базой является та торцовая поверхность детали, от которой заданы линейные размеры. Если линейные размеры поставлены цепью (рис. 1.1 а), то необходимо их пересчитать так, чтобы они были заданы от одной базы БТ (рис. 1.1 б). **Рекомендуется задавать линейные размеры от левого торца детали.** Не указанные допуски размеров назначаются по 14 качеству: охватываемые (вал) по $h14$, охватываемые (отверстие) по $H14$, остальные – $\pm IT14/2$.

Далее определяются узловые точки, которыми являются точки начала и конца каждой поверхности детали. Узловые точки нумеруются, начиная от базового торца (см. рис. 1.1 б).

1. Координаты узловых (начала и конца поверхности) точек (рис. 1.2) определяются по формуле

$$x_i = 0,5d_{ci} = 0,5(d_i + es_i - 0,5Td_i). \quad (1.1)$$

Координата z_i равна расстоянию от базового торца l_i узловой точки: $z_i = l_i$.

2. Координаты промежуточных точек каждой элементарной поверхности определяются следующим образом.

Цилиндрическая поверхность. Координаты начала x_i и конца x_{i+1} поверхности определяются по формуле (1.1), координаты $z_i = l_i$, $z_{i+1} = l_{i+1}$.

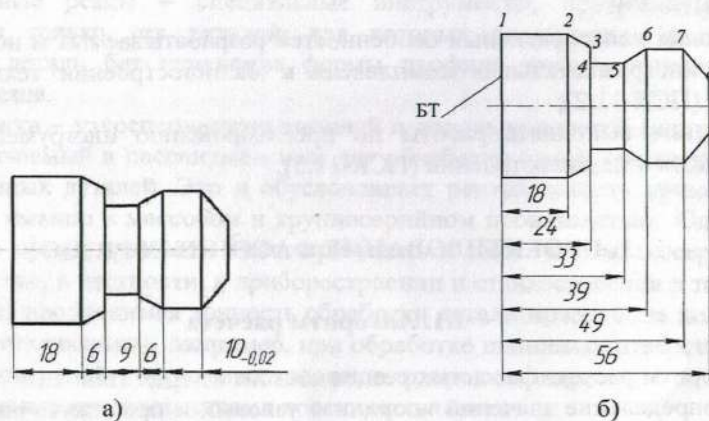


Рис. 1.1. Простановка линейных размеров: а—до расчета координат; б—для расчета координат

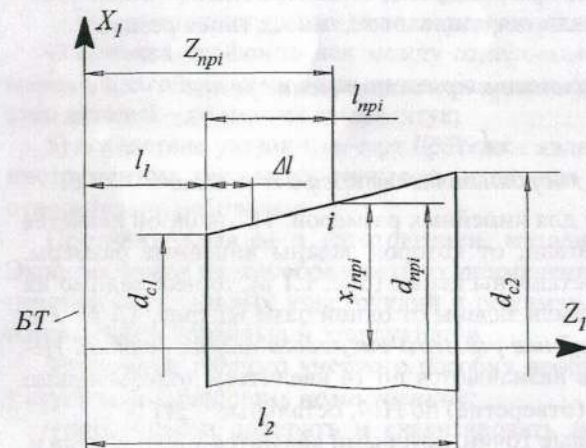


Рис. 1.2. Определение координат узловых и промежуточных точек

Коническая поверхность. Для неточных конических поверхностей (фаски и т.п.) расчет ведут по крайним точкам:

$$x_1 = 0,5d_{c1}, x_2 = 0,5d_{c2}, z_1 = l_1, z_2 = l_2, \quad (1.2)$$

где d_{c1} , d_{c2} — средние диаметры узловых точек, сопряженных с конической поверхностью;

l_1 , l_2 — расстояния от базового торца (БТ) до узловых точек конической поверхности.

Для точных конических поверхностей расчет ведут по 10 точкам поверхности, разделяя ее на участки (см. рис. 1.2):

$$\Delta l = (l_1 - l_2)/9. \quad (1.3)$$

Координаты крайних узловых точек определяют по формулам (1.3), а промежуточных — по формулам

$$X_{npi} = 0,5d_{c1} + l_{npi} [(d_{c1} - d_{c2})/2(l_1 - l_{i-1})], \quad z_{npi} = l_1 + l_{npi}, \quad (1.4)$$

где $l_{npi} = \Delta l n$, $n = 0; 1; 2 \dots 9$.

Поверхность, описанная дугой окружности (торовая поверхность).

Если поверхность неточная, то расчет выполняется для крайних узловых точек по (1.2), а радиус поверхности сохраняется. Для точных поверхностей расчет выполняется по 10 точкам. Длина хорды (рис. 1.3):

$$c = \sqrt{(l_{i-1} - l_i)^2 + \frac{(d_{c1} - d_{c2})^2}{4}}. \quad (1.5)$$

Расстояние от центра 0 дуги до хорды

$$h = \sqrt{r_c^2 - 0,25c^2}. \quad (1.6)$$

Координаты средней точки М хорды:

$$X_M = (d_{c1} + d_{c2})/4, \quad Z_M = (l_{i-1} + l_i)/2. \quad (1.7)$$

Угол между хордой и положительным направлением оси

$$\varphi = \arctg \frac{d_{c2} - d_{c1}}{2(l_{i-1} - l_i)}. \quad (1.8)$$

Координаты центра дуги:

$$X_0 = X_M + K_1 h |\cos \varphi|, \quad Z_0 = Z_M + K_2 h |\sin \varphi|, \quad (1.9)$$

где $K = \pm 1$ — число, характеризующее вид поверхности и расположение центра 0 относительно ее границ.

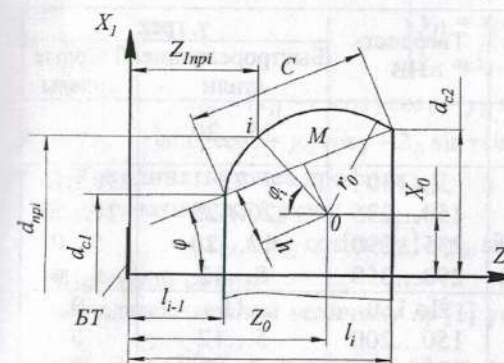


Рис. 1.3. Определение координат промежуточных точек торовой поверхности

Правило знаков следующее:

— если поверхность выпуклая и $\varphi < 90^\circ$ $K_1 = -1$; $K_2 = +1$;

- если поверхность выпуклая и $\varphi > 90^\circ K_1 = K_2 = -1$;
- если поверхность вогнутая и $\varphi < 90^\circ K_1 = +1; K_2 = -1$;
- если поверхность вогнутая и $\varphi > 90^\circ K_1 = K_2 = +1$.

Координаты промежуточных точек (радиус r_c со знаком + для выпуклых, со знаком – для вогнутых поверхностей):

$$x_{npi} = X_0 + r_c |\sin \varphi_i|; z_{npi} = l_{i-1} + l_{npi}, \quad (1.10)$$

где $\varphi_i = \arccos \frac{Z_0 - (l_{i-1} + l_{npi})}{|r_c|}$; $l_{npi} = \Delta l_n / \Delta l = (l_i - l_{i-1}) / 9$; $n = 0, 1, 2, \dots, 9$.

Координаты точек поверхности, заданной произвольной кривой, определяются так же, как для узловых точек, так как на чертежах размеры таких поверхностей задаются координатным методом.

II этап

Определение координат точек профиля резца

Определение координат точек профиля детали в порядке их расположения относительно базового торца, x_{2i} , z_{2i} – координаты соответствующих точек профиля резца.

1. Передний γ и задний α углы и угол наклона базы ϵ назначают по следующим правилам.

Исходя из особенностей геометрии радиальных резцов, для призматических резцов в базовой точке назначают $\alpha = 12-15^\circ$, для круглых – $\alpha = 10-12^\circ$.

Значение передних углов γ радиальных резцов назначают по табл. 1.1 в зависимости от обрабатываемого материала и материала резца.

Таблица 1.1

Значение передних углов

Материал детали	Прочность δ_b , МПа	Твердость НВ	γ , град	
			Быстрорежущие стали	Твёрдые сплавы
Медные и алюминиевые сплавы	–	–	25...30	–
Сталь	До 500	До 150	25	10...15
	500...800	150...235	20...25	10...15
	800...1000	235...290	12...20	5...0
	1000...120	290...350	8...12	5...0
Чугун	0	До 150	15	0
		150...200	5...12	0
		200...250	5...0	0
Латунь, бронза	–	–	5...0	0

Угол наклона базы призматического резца или наклона оси радиального резца назначается по следующим условиям:

- если на детали имеются поверхности, перпендикулярные её оси (см. рис. 1.1 а), то угол ϵ следует назначать $10^\circ \dots 15^\circ$;
- если на детали нет поверхностей, перпендикулярных её оси, то угол $\epsilon = 0^\circ$.

2. Для круглого резца определяем наружный диаметр:

– для наружного точения

$$D = (6 \dots 8) t_{\max}; \quad (1.11)$$

– для внутреннего точения

$$D = 0,75 D_0, \quad (1.12)$$

где t_{\max} – максимальная глубина профиля детали;

D_0 – диаметр отверстия до обработки.

Значение рассчитанного диаметра D округляется до ближайшего стандартного значения (см. табл. 1.2).

3. Определяют радиус базовой точки на профиле детали:

- при наружном точении – это минимальный радиус детали $r = r_{\min} = x_{i \min}$,
- при внутреннем точении – максимальный радиус детали $r = r_{\max}$.

4. Вспомогательные величины:

$$\sin F = (Z_i \sin \epsilon + r \cos \epsilon) \sin \gamma / A; \quad (1.13)$$

$$A = x_i \sqrt{\sin^2 \gamma \cos^2 \epsilon + \cos^2 \gamma}; \quad (1.14)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg} \gamma \cos \epsilon; \quad (1.15)$$

$$t = F - \varphi. \quad (1.16)$$

5. Координаты поверхности детали в системе s_0 :

$$\begin{cases} x_{i1} = x_i \cos t, \\ y_{i1} = x_i \sin t, \\ z_{i1} = z_i. \end{cases}$$

$$x_{0i} = (x_{i1} - r) \cos \gamma \cos \epsilon - y_{i1} \sin \gamma - z_{i1} \cos \gamma \sin \epsilon;$$

$$y_{0i} = (x_{i1} - r) \sin \gamma \cos \epsilon + y_{i1} \cos \gamma - z_{i1} \sin \gamma \sin \epsilon; z_{0i} = (x_{i1} - r) \sin \epsilon + z_i \cos \epsilon. \quad (1.17)$$

6. Координаты точек профиля:

а) призматический резец

$$x_{2i} = x_{0i} \cos(\alpha + \gamma) + y_{0i} \sin(\alpha + \gamma); z_{2i} = z_{0i}; \quad (1.18)$$

б) круглый резец:

сначала вычисляем величину h_p [1] установки резца на станке по формуле

$h_p = \frac{D}{2} \cdot \sin \alpha$ и округляем её до десятых долей миллиметров, далее

вычисляем фактическое значение заднего угла α :

$$\alpha = \arcsin(2h_p / D); \quad (1.19)$$

$$\operatorname{tg} \tau_1 = \frac{0,5D \sin(\alpha + \gamma) - y_{0i}}{0,5D \cos(\alpha + \gamma) - x_{0i}}; x_{2i} = x_{0i} \cos \tau_i + y_{0i} \sin \tau_i - 0,5D \cos(\alpha + \gamma - \tau_i); z_{2i} = z_{0i}. \quad (1.20)$$

1.1.2. Тангенциальные фасонные резцы

1. Вспомогательный угол

$$\theta = \arccos(d_{\min} / d), \quad (1.21)$$

где d_{\min} – минимальный диаметр профиля детали, d_3 – диаметр заготовки.

Если $\theta > 42^\circ$, то обработку детали необходимо выполнять за несколько проходов. Приняв припуск на чистовую обработку 2...3 мм на диаметр, определяют угол θ по формуле (1.21) при значении $d_3 = d_{\min} + (2...3)$ мм.

2. Задний угол в момент профилирования $\alpha = 2,5...7^\circ$, угол наклона режущей кромки к оси детали $\lambda = 15...45^\circ$.

3. Передний угол в момент профилирования

$$\gamma = \theta + (0...5^\circ). \quad (1.22)$$

4. Радиус базовой точки профиля детали

$$r = r_{\min}. \quad (1.23)$$

5. Координаты точек профиля резца (расчет выполнять для каждой точки профиля детали):

$$x_{2i} = z_{0i} \operatorname{tg} \lambda \sin \alpha - \frac{(x_i - r) \cos(\alpha + \gamma)}{\cos \gamma}; \quad z_{2i} = z_i. \quad (1.24)$$

III этап

Определение размеров профиля резца от измерительной базы

Построение профиля резца показано ниже на примерах расчета.

1.2. Примеры расчета

Пример 1

I этап

Определение координат точек профиля детали (рис. 1.4).

Сначала производим нумерацию узловых точек. Торговая поверхность неточная, так как допуск на радиус не указан, поэтому нумеруем только её крайние точки 2 и 3. Коническую поверхность также берем неточную.

1. Координаты узловых (начала и конца поверхности) точек определяется по формуле $x_i = 0,5d_{ci} = 0,5(d_i + \varepsilon s_i - 0,5Td_i)$.

Координата z_i равна расстоянию от базового торца l_i узловой точки. Так как торговая поверхность R16, будем считать её неточной и расчет произведем только по конечным точкам 2 и 3.

Точка 1: $x_1 = 0,5(20 + (-0,065) - 0,5 \cdot 0,13) = 9,935$; $z_1 = 0$.

Точка 2: $x_2 = x_1$; $z_2 = 10 - 0,1/2 = 9,95$.

Точка 3: $x_3 = 0,5(32 + (-0,025) - 0,5 \cdot 0,025) = 15,98125$; $z_3 = 22 - 0,21/2 = 21,895$.

Точка 4: $x_4 = x_3$; $z_4 = 41 - 0,25/2 = 40,875$.

Точка 5: $x_5 = 0,5(25 + 0 - 0,5 \cdot 0,033) = 12,49175$; $z_5 = 45 - 0,25/2 = 44,875$.

Точка 6: $x_6 = x_5$; $z_6 = 53 - 0,4/2 = 52,8$.

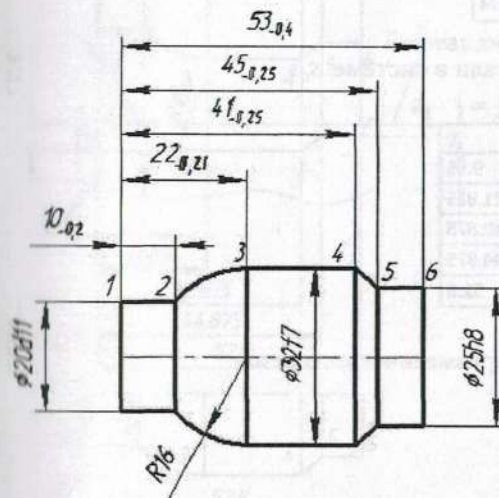


Рис. 1.4. Деталь для обработки фасонным резцом

II этап

Определение координат точек профиля детали в порядке их расположения относительно базового торца, x_{2i} , z_{2i} – координаты соответствующих точек профиля резца.

1. Передний γ и задний α углы и угол наклона базы ε :

$\gamma = 20^\circ$, $\alpha = 8^\circ$, $\varepsilon = 0^\circ$ (так как на данной детали нет поверхностей, перпендикулярных оси).

2. Для круглого резца рассчитывается наружный диаметр:

$D = (6...8) \cdot t_{\max}$, $t_{\max} = (d_{\max} - d_{\min})/2$, где d_{\max} и d_{\min} соответственно максимальный и минимальный диаметры детали,

$$D = 7 \cdot (32 - 20)/2 = 42.$$

Значение рассчитанного диаметра D округляется до ближайшего стандартного значения (см. табл. 1.2) – $D = 50$.

3. Определяют радиус базовой точки на профиле детали:
при наружном точении $r = r_{\min}$, $r = 9,935$.

Наиболее удобно дальнейший расчет производить на компьютере в среде MatchCad. Далее показаны фрагменты расчета в MatchCad.

4. Вспомогательные величины:

$A_i =$	$F_i =$	$t_i =$
9.935	0.349	0
9.935	0.349	0
15.981	0.214	-0.135
15.981	0.214	-0.135
12.492	0.275	-0.074
12.492	0.275	-0.074

5. Координаты поверхности детали в системе S_0 :

$x0_i =$	$y0_i =$	$z0_i =$
0	0	0
0	0	9.95
6.28	0	21.825
6.28	0	40.875
2.685	0	44.875
2.685	0	52.8

6. Координаты точек профиля призматического резца:

$x2_i =$	$z2_i =$
0	0
0	9.95
5.545	21.825
5.545	40.875
2.371	44.875
2.371	52.8

III этап

Призматический резец

Полученные значения x_{2i} являются расстояниями от базовой линии до соответствующих узловых точек профиля резца (рис. 1.5). Базовая линия проводится из точки, соответствующей минимальному радиусу детали, параллельно базе крепления резца.

Круглый резец

Вычисляем установочный размер $h_p = 0,5 D \sin(\alpha) = 0,5 \cdot 50 \cdot \sin(8^\circ) = 3,479$ и округляем до 3,5 мм. Пересчитываем задний угол

$$\alpha = \arcsin(2h_p / D) = 8,048.$$

Вычисляем координаты точек профиля (фрагмент из MatchCad)

$x1_i =$	$x2_i =$	$z2_i =$
0.49	-25	0
0.49	-25	9.95
0.64	-19.68	21.825
0.64	-19.68	40.875
0.545	-22.666	44.875
0.545	-22.666	52.8

Полученные значения x_{2i} представляют собой радиусы профиля круглого резца (рис. 1.6), на чертеже проставляются диаметры поверхностей резца равные $2x_{2i}$.



Рис. 1.5. Профиль призматического резца

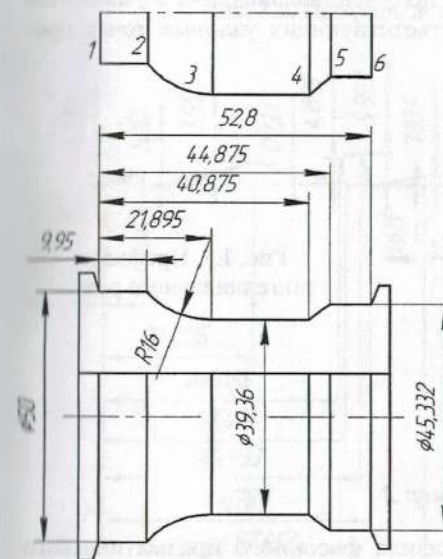


Рис. 1.6. Профиль круглого резца

Тангенциальный резец

1. Вспомогательный угол $\theta = \arccos(d_{\min} / d_3) = 52,7^\circ$.

Так как $\theta > 42^\circ$, то обработку детали необходимо выполнять за несколько проходов. Приняв припуск на чистовую обработку 2...3 мм на диаметр, определяем угол θ при значении $d_3 = d_{\min} + (2...3) \text{ мм} = 20 + 3 = 23 \text{ мм}$, тогда $\theta = \arccos(20/23) = 29,6^\circ$.

2. Назначаем задний угол в момент профилирования $\alpha = 5^\circ$, угол наклона режущей кромки $\lambda = 45^\circ$.

3. Передний угол в момент профилирования

$$\gamma = \theta + (0...5^\circ) = 29,6^\circ + 2^\circ = 31,6^\circ.$$

4. Координаты точек профиля резца $x_{2i} = z_{0i} \tan \lambda \sin \alpha - \frac{(R_i - r) \cdot \cos(\alpha + \gamma)}{\cos \gamma}$;

$$z_{2i} = z_{1i}.$$

$x_{2i} =$
0
0.867
-3.797
-2.137
1.501
2.192

$z_{2i} =$
0
9.95
21.825
40.875
44.875
52.8

Аналогично призматическому резцу полученные значения x_{2i} являются расстояниями от базовой линии до соответствующих узловых точек профиля резца (рис. 1.7).

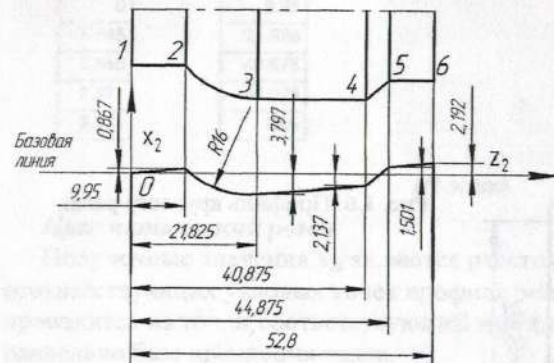


Рис. 1.7. Профиль тангенциального резца

Пример 2

Рассмотрим пример построения профиля фасонного призматического резца с наклонной базой крепления, т.е. с углом $\varepsilon > 0$. Такое крепление

применяется для обработки фасонных профилей, имеющих поверхности, перпендикулярные оси детали (см. рис. 1.1). Для примера взят фасонный профиль детали, изображенной на рис. 1.8 а. Угол наклона базы крепления $\varepsilon = 15^\circ$. Результаты расчета приведены на рис. 1.8 б.

Построение профиля резца начинается с нанесения системы координат резца x_2-0-z_2 . Далее в этой системе последовательно наносим координаты точек x_{2i} и z_{2i} (рис. 1.9). На чертеже резца нанесение размеров профиля начинается с построения нулевой линии 0-0 (рис. 1.10), которая соответствует оси z_2 .

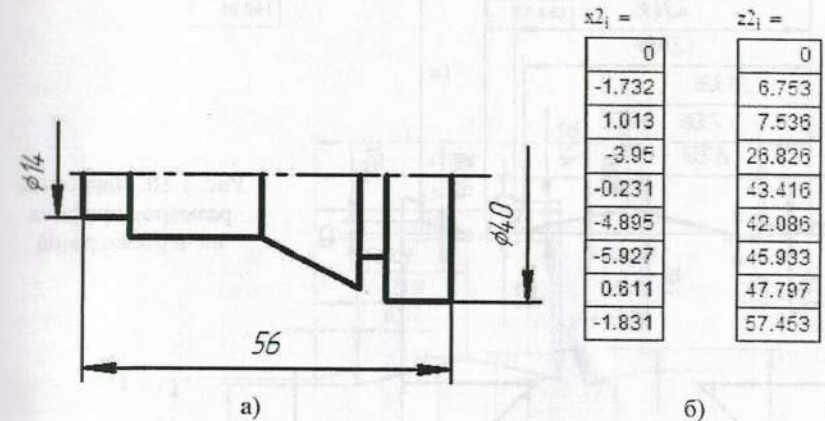


Рис. 1.8. Профиль детали и результаты расчета

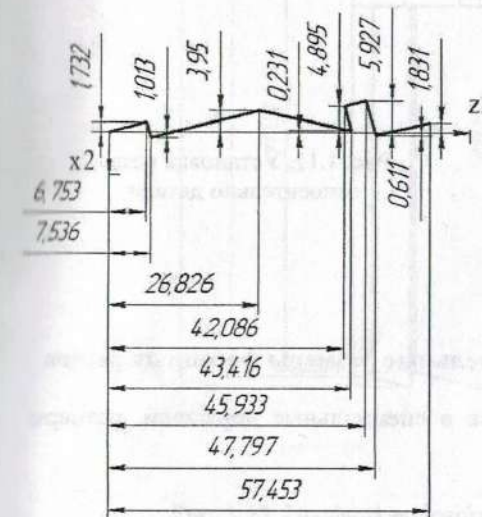


Рис. 1.9. Профиль резца в системе координат x_2-0-z_2

Установка резца относительно обрабатываемой детали показана на рис. 1.11. Результаты расчетов для круглого резца приведены на рис. 1.12 а. Для построения профиля круглого резца необходимо определить диаметры опорных точек профиля, умножив координаты x_{2i} на 2. На рис. 1.12 б приведены результаты расчета профиля круглого резца. На рис. 1.13 показана установка круглого резца относительно оси обрабатываемой детали.

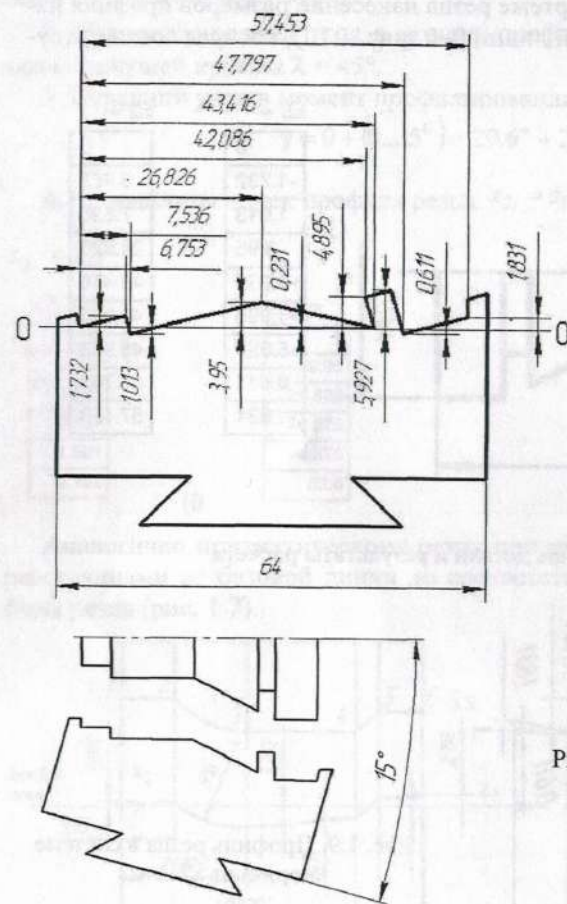


Рис. 1.10. Нанесение размеров профиля на чертеже резца

Рис. 1.11. Установка резца относительно детали

1.3. Габаритные и присоединительные размеры фасонных резцов

Фасонные резцы устанавливаются в специальные державки, размеры которых стандартизованы.

Ширина резца (рис. 1.14)

$$L_p = l + l_1 + l_2 + l_{yn},$$

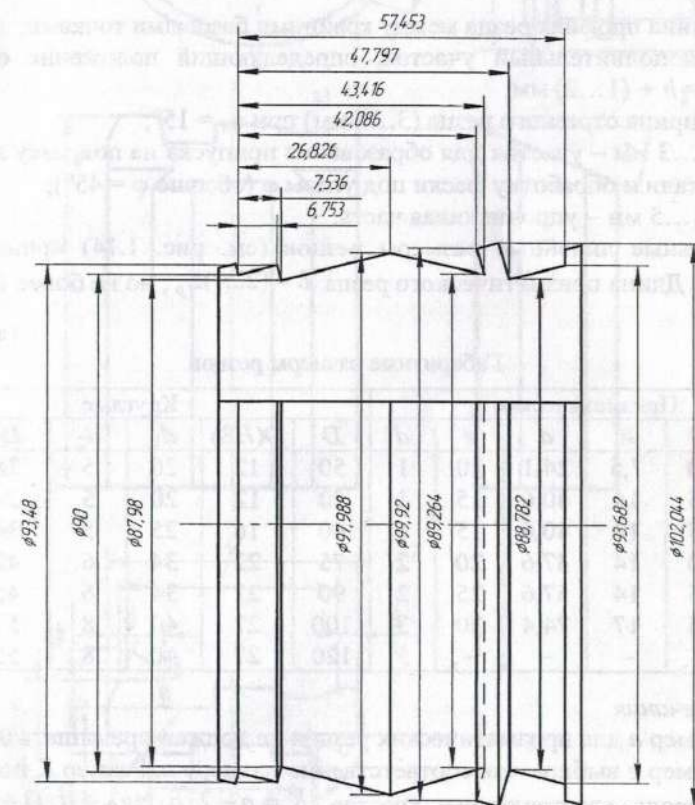
$$x_{2i} =$$

-45
-46.74
-43.99
-48.994
-44.632
-49.96
-51.022
-44.391
-46.841

$$z_{2i} =$$

0
6.753
7.536
26.826
43.587
42.086
45.933
47.797
57.453

а)



б)

Рис. 1.12. Профиль круглого резца с наклонной осью

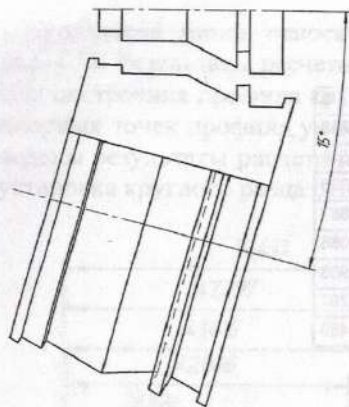


Рис. 1.13. Установка круглого резца с наклонной осью

где l – длина профиля резца между крайними базовыми точками;
 l_1 – дополнительный участок, определяющий положение отрезного резца, $l_1 = b + (1 \dots 2)$ мм;
 b – ширина отрезного резца (3...5 мм) при $\varphi_1 = 15^\circ$;
 $l_2 = 2 \dots 3$ мм – участок для образования припуска на подрезку внешнего торца детали и обработку фаски под углом φ (обычно $\varphi = 45^\circ$);
 $l_{уп}$ = 3...5 мм – упрочняющая часть.

Остальные линейные размеры резцов (см. рис. 1.14) принимать по табл. 1.2. Длина призматического резца $L = (2 \dots 4)L_p$, но не более 100 мм.

Таблица 1.2

Габаритные размеры резцов

Призматические						Круглые					
t_{max}	C	h	a	e	d	D	$D(H8)$	d_1	d_2	D_1	b_{max}
4	10	7,5	24,1	10	1	50	12	20	5	28	9
6	15	14	40,6	15	1	50	12	20	5	28	9
8	15	14	40,6	15	1	60	16	25	5	34	11
10	20	14	47,6	20	2	75	22	34	6	42	15
15	25	14	57,6	25	2	90	22	34	6	45	18
20	35	17	74,4	30	3	100	27	40	8	52	25
25	—	—	—	—	3	120	27	40	8	55	30

Примечания

1. Размер a для призматических резцов не должен превышать $0,75 L_p$.
 2. Размер e выбирается соответственно размеру a . Размер K по роликам для контроля «ласточки хвоста» $K = a - 2 \cdot h \cdot \text{ctg} \lambda + d \cdot (1 + \text{ctg} \lambda / 2)$, где d – диаметр ролика.

Диаметр ролика d выбирают из стандартного ряда так, чтобы выполнялось условие $K > a$.

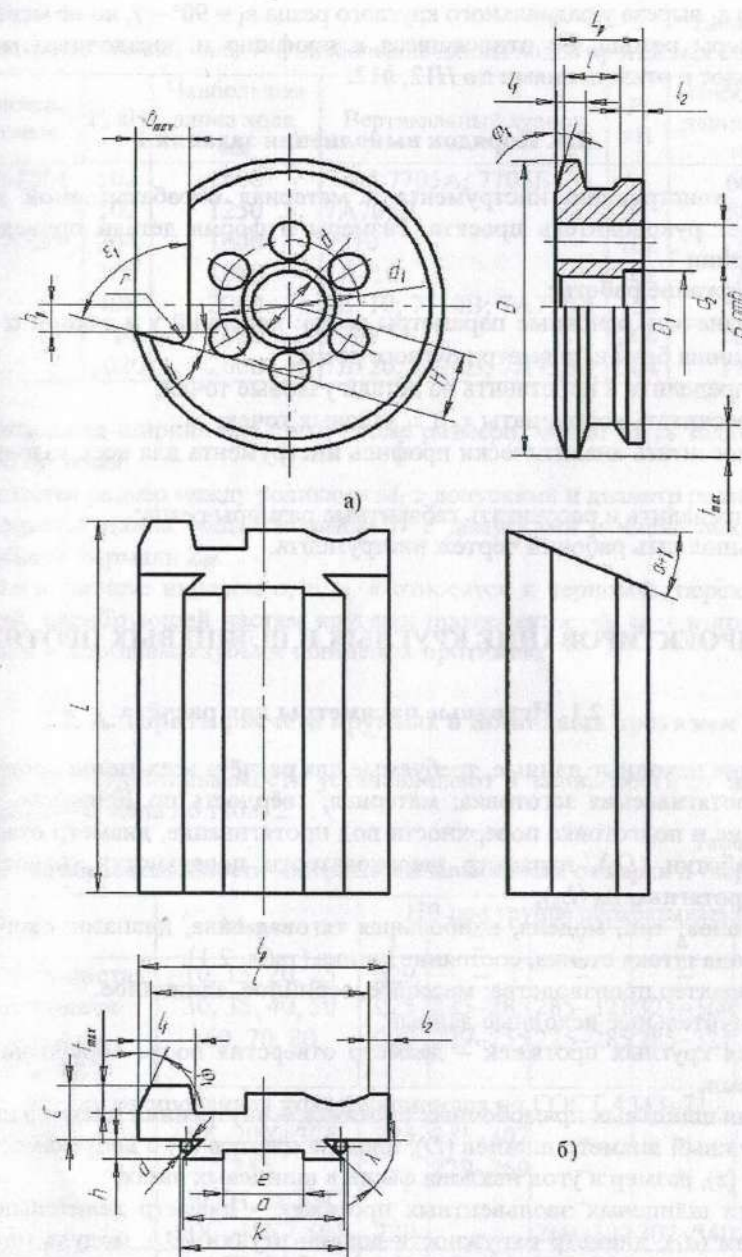


Рис. 1.14. Габаритные и присоединительные размеры радиальных резцов: а – круглый, б – призматический

Угол ϵ_1 выреза у радиального круглого резца $\epsilon_1 = 90^\circ - \gamma$, но не менее 70° .
Размеры резцов, не относящиеся к профилю и посадочным местам, выполняют с отклонениями по $H12, h12$.

1.4. Порядок выполнения задания 1

Тип, конструкцию инструмента и материал обрабатываемой детали указывает руководитель проекта. Размеры и форма детали приведены в приложении 1.

Содержание работы:

- 1) назначить основные параметры резца: передний γ и задний α углы, угол наклона базы ϵ , диаметр круглого резца;
- 2) определить и проставить на детали узловые точки;
- 3) рассчитать координаты x_i и z_i узловых точек;
- 4) рассчитать аналитически профиль инструмента для всех узловых точек;
- 5) определить и рассчитать габаритные размеры резца;
- 6) выполнить рабочий чертеж инструмента.

2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ КРУГЛЫХ И ШЛИЦЕВЫХ ПРОТЯЖЕК

2.1. Исходные параметры для расчёта

Общие исходные данные, требуемые для расчёта всех типов протяжек:

1) протягиваемая заготовка: материал, твёрдость по Бринеллю – HB, состояние и подготовка поверхности под протягивание, диаметр отверстия до обработки (D_0), параметр шероховатости поверхности, наибольшая длина протягивания (L_d);

2) станок: тип, модель, наибольшая тяговая сила, диапазон скоростей, длина хода штока станка, состояние станка (табл. 2.1);

3) характер производства: массовое, серийное, единичное.

Отличительные исходные данные:

1) для круглых протяжек – диаметр отверстия после обработки (D) с допусками;

2) для шлицевых прямобоковых протяжек – внутренний диаметр шлицев (d), наружный диаметр шлицев (D), ширина шлицев (b) с допусками, число шлицев (z), размер и угол наклона фаски в шлицевых пазах;

3) для шлицевых эвольвентных протяжек – диаметр делительной окружности (d_1), диаметр окружности впадин втулки (D_a), модуль (m), профильный угол, размер и угол наклона фаски, номинальная делительная окружная ширина впадин втулки с допусками (e).

Таблица 2.1
Номинальные тяговые силы P и наибольшие длины ходов протяжных станков

Горизонтальный станок	P , кН	Наибольшая длина хода, мм	Вертикальный станок	P , кН	Наибольшая длина хода, мм
7510; 7510М	102	1400	7705; 7705А; 7705Б	51	600
7А510	102	1250	7А705В	51	800
7520; 7А520	204	1600	7710	102	1350
7530М	306	1800	7А710	102	1200
7540	408	2000	7Б710; 7710В; 7А710Д	102	1000
7551	714	2000	7720	204	1600
7552	1020	2000	7Б720; 7720В; 7А720Д	204	1250

Делительная ширина впадины, кроме размера, может быть задана следующим образом:

- 1) задаётся размер между роликами M_i с допусками и диаметр ролика D_{M_i} ;
- 2) задается длина общей нормали W с допусками и число впадин на длине общей нормали Z_W .

Далее в расчете индексы o , n , $ч$, $к$ относятся к черновой, переходной, чистовой, калибрующей частям круглых протяжек; $к$, ϕ , $ш$ – к круглым, фасочным и шлицевым зубьям шлицевых протяжек.

2.2. Алгоритм расчета круглых и шлицевых протяжек

1. Группу обрабатываемости устанавливают в зависимости от марки и твердости материала по табл. 2.2.

Таблица 2.2
Группы обрабатываемости материалов в зависимости от марки и твердости

Группа	Марка	HB при группе обрабатываемости				
		1	2	3	4	5
Сталь углеродистая конструкционная качественная по ГОСТ 1050–88	10, 15, 20, 25	229	–	–	–	–
	30, 35, 40, 50	225	225–285	285–321	321–364	–
	60, 70, 80	229	229–255	225–285	285–321	321–364
Сталь легированная конструкционная по ГОСТ 4543–71						
– хромистая	15Х, 20Х, 30Х, 35Х*	225	255–302	–	–	–
	–	–	229–269	–	–	–
	40ХН, 20ХН, 40Х*, 45Х*, 50Х	–	–	–	–	–
	–	229	–	269–302	302–340	340–364
– марганцовистая	15Г, 20Г, 40Г, 45Г, 35Г, 50Г	241	241–269	269–302	–	–
	–	–	229–255	255–285	–	–
	–	229	–	–	285–321	321–364

Группа	Марка	НВ при группе обрабатываемости				
		1	2	3	4	5
— марганцовистая	60Г, 65Г,	—	241	241–269	269–321	321–340
Чугун серый	СЧ 18, СЧ 21	197	197–269	—	—	—

* Вязкие стали.

2. Группу качества протянутой поверхности устанавливают при помощи табл. 2.3 и табл. 2.4 в зависимости от технических требований на обрабатываемое отверстие.

Таблица 2.3

Цилиндрические отверстия, наружные поверхности и пазы простых профилей

Группа качества	Технические требования	
	Параметр шероховатости поверхности	Квалитет
1	$Ra = 1,25$ и менее	Все, начиная с 5-го
2	$Ra \leq 2,5$	7, 8
3	$Rz \leq 20$	9, 10
4	$Rz \leq 40$ и грубее	11 и более

Таблица 2.4

Шлицевые и сложнофасонные отверстия, пазы и наружные поверхности сложных профилей

Группа качества	Технические требования					
	Параметр шероховатости		Квалитет и его степень точности			
	центрирующих поверхностей шлицевых отверстий	боковых поверхностей шлицев	центрирующих поверхностей шлицевых отверстий	боковых поверхностей шлицев		
				прямо-боковых	эвольвентных	треугольных
1	$Ra \leq 1,15$	$Ra \leq 2,5$	—	—	—	—
2	$Ra \leq 2,5$	$Rz \leq 20$	7	9	9Н	7
3	$Rz \leq 20$	$Rz \leq 40$	8	10	11Н	9

3. Материал режущей части протяжки выбирают в зависимости от свойств материала и типа производства по табл. 2.5.

4. Тип, размеры, способ соединения хвостовика назначают следующим способом: протяжки из быстрорежущей стали диаметром до 15 мм и из сталей ХВГ всех размеров изготавливают цельными; диаметром 15...40 мм — сварными; диаметром более 40 мм — сборными. Приваривают хвостовик к стержню протяжки по шейке на расстоянии 15...25 мм от начала переходного конуса.

Таблица 2.5

Материал режущей части

Группа обрабатываемости	Производство	
	массовое, крупносерийное, среднесерийное	мелкосерийное, единичное
1–3, 6, 8–10	P6M5, P13Ф3	ХВГ
4, 5, 7 труднообрабатываемые материалы	P18, P12Ф5М, P9K10, P6M5K5, P6ФК8M5	P18, P6AM5, P12Ф3

Материал хвостовика — сталь 40Х или 45Х. Тип хвостовика выбирают в зависимости от типа патрона станка, а размеры по ГОСТ 4044-70, при этом диаметр хвостовика должен быть ближайшим меньшим диаметром отверстия до обработки D_0 . На рис. 2.1 а показана конструкция хвостовика для протяжек малых диаметров (Тип I), а в табл. 2.6 приведены основные размеры. На рис. 2.1 б — для больших диаметров (Тип II) и соответственно в табл. 2.7 размеры хвостовика.

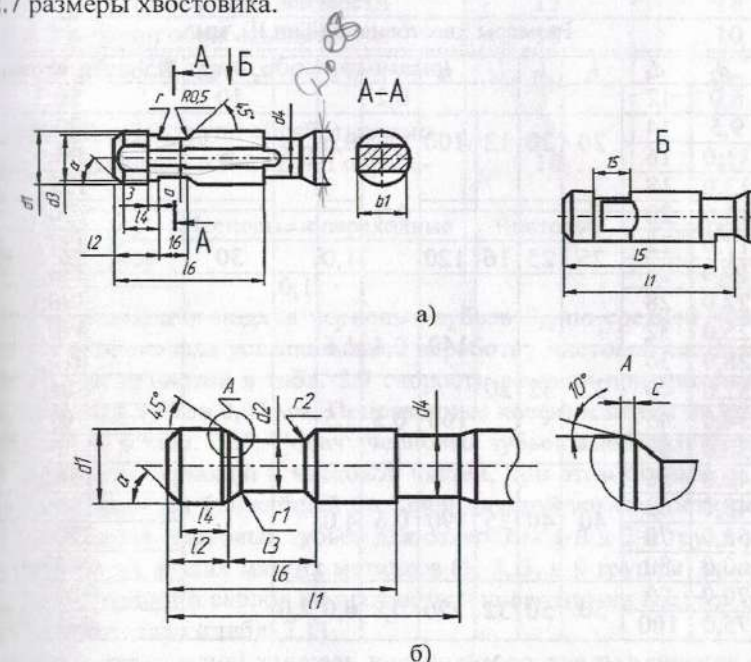


Рис. 2.1. Конструкции передних хвостовиков круглых протяжек

Сила, допустимая прочностью хвостовика, рассчитывается по формуле

$$P_{хв} = [\sigma_p] \cdot F_{оп}, \quad (2.1)$$

где $[\sigma_p]$ — допустимое напряжение при растяжении в МПа; $F_{оп}$ — площадь опасного сечения хвостовика в мм² (см. табл. 2.6 и табл. 2.7).

Размеры хвостовиков (Тип I), мм

d_1	d_3	d_4	a	b_1	l_2	l_4	l_5	l_6	α , град.	r	Площадь сечения $F_{оп}$
4,0	3,8	4,0	2,0	3,7	16	—	90	80	—	0,2	6,6
5,0	4,8	5,0	3,0	4,6							13,2
6,0	5,3	5,5	3,3	5,1							15,8
7,0	5,8	6,0	4,0	5,6							20,9
8,0	6,8	7,0	4,2	6,5							23,8
9,0	7,8	8,0	5,0	7,5							35,4
10,0	9,8	10,0	6,0	9,5	20	12	110	100	10	0,3	61,5
12,0	11,7	12,0	8,0	11,5					85,2		
14,0	13,7	14,0	8,0	13,5					96,1		
16,0	15,7	16,0	10,0	15,5					145,0		
18,0	17,7	18,0	12,0	17,5					193,0		

Таблица 2.6

Размеры хвостовиков (Тип II), мм

d_1	d_2	d_4	l_2	l_3	l_4	l_6	r_1	r_2	c	α , град.	Площадь сечения $F_{оп}$
12	8,0	12	20	20	12	100	0,2	0,6	0,5	10	50,3
14	9,5	14								20	70,9
16	11,0	16									95,0
18	13,0	18									132,7
20	15,0	20	25	25	16	120	0,3	1,0	1,0	30	176,7
22	17,0	22									227,0
25	19,0	25									233,5
28	22,0	28									380,1
32	25,0	32	32	32	20	140	0,4	1,6	1,5	30	490,9
36	28,0	36									615,7
40	32,0	40									804,2
45	34,0	45									907,9
50	38,0	50	40	40	25	190	0,5	2,5	1,5	30	1134,1
56	42,0	56									1385,4
63	48,0	63									1809,6
70	53,0	70									2206,9
80	60,0	80	50	50	32	220	0,8	6,0	2,0	30	2827,4
90	70,0	90									3848,4
100	75,0	100									4417,9

Таблица 2.7

Если выбранному диаметру хвостовика соответствует сила протягивания, допустимая его прочностью и значительно большая, чем тяговое усилие, то диаметр хвостовика можно уменьшить. В этом случае хвостовику

принятого диаметра должна соответствовать сила, допустимая прочностью хвостовика, несколько большая, чем тяговая сила станка.

5. Величины передних γ и задних α углов назначают по табл. 2.8. Передний угол выбирают в зависимости от группы обрабатываемости и вида зубьев.

6. Скорость резания выбирают по табл. 2.9 в зависимости от типа производства, группы качества, группы обрабатываемости и проверяют по характеристике станка.

Таблица 2.8

Геометрические параметры режущей части протяжки

Условия протягивания	Зубья	
	черновые и переходные	чистовые и калибрующие
	γ , град.	
Сталь 1-й группы обрабатываемости и материалы 5-й группы обрабатываемости	20	20
Сталь 2 и 3-й групп обрабатываемости	15	18
Сталь 4 и 5-й групп обрабатываемости	10	10
Чугун ковкий 6 и 7-й групп обрабатываемости	10	10
Чугун серый 6 и 7-й групп обрабатываемости, бронза и латунь 8 и 9-й групп обрабатываемости	10	10
Зубья	Черновые и переходные	Чистовые
Задний угол α , рад.	3	2
		Калибрующие
		1

7. При определении подачи черновых зубьев S_{zo} по средней наработке между отказами сначала устанавливают наработку чистовой части по приложению 2 для принятой в табл. 2.9 скорости резания при максимальной подаче чистовых зубьев 0,02 мм. Поправочные коэффициенты на среднюю наработку даны в табл. 2.10. Подачу черновых зубьев выбирают из условия равной стойкости черновой и чистовой частей, при этом стойкость черновой части выбирается ближайшей большей для той же скорости резания. Выбранные подачи черновых зубьев для отверстия 1-й и 2-й групп качества в заготовках из вязких мягких металлов (1, 2, 3, и 9 группы) во избежание вырывов, рванин и сколов на протянутой поверхности следует ограничивать в соответствии с табл. 2.11.

8. Глубину стружечной канавки, необходимую для размещения стружки, определяют по формулам:

— для сливной стружки

$$h = 1,1283 \sqrt{KL_d S_{zo}}; \quad (2.2)$$

— для стружки надлома

$$h = 0,8917 \sqrt{KL_n S_{20}}, \quad (2.3)$$

где K – коэффициент помещаемости стружки.

Скорости резания

Таблица 2.9

Прот- тяжки	Тип производства	Группа качества протяги- ваемой поверх- ности	Скорость резания для обрабатываемого ма- териала, м/мин									
			Сталь					Чугун, бронза	Алюми- ний			
			по группам обрабатываемости									
			1	2	3	4	5	6, 8, 9	7	10		
Круг- лые	Массовое, крупносерийное, среднесерийное	1	8	8	6	5	3	9	6	4		
		2	9	9	8	6	4	12	6	6		
		3	13	12	9	8	4	15	9	9		
		4	15	13	12	—	—	15	13	12		
	Мелкосерийное и единичное	1—4	8	6	6	3	3	9	6	4		
Шли- цевые	Массовое, крупносерий- ное, среднесерийное	1	5	5	4	3	2	5	4	3		
		2	7	6	5	4	2	7	5	4		
		3	9	8	7	5	3	9	6	5		
	Мелкосерийное и единичное	1—3	5	4	4	2	2	5	4	3		

Поправочные коэффициенты на наработку протяжек
для различных условий работы

Таблица 2.10

В зависимости от вида и группы качества протягиваемых поверхностей ($K_{тв}$)						
Перетачивание протяжек по поверхности	Протягиваемые поверхности	$K_{тв}$ при группе качества протягиваемой поверхности				
		1	2	3	4	
Передней	Отверстия цилиндрические, многогранные, пазы и наружные поверхности сложного профиля	0,7	1,0	1,5	20	
	Отверстия шлицевые и фасон- ные	0,5	0,8	1,2	—	
Задней	Пазы простого профиля	0,5	0,6	1,0	1,4	
	Наружные простого профиля	0,5	1,0	1,6	2,3	
В зависимости от схемы резания ($K_{тр}$)						
Схема резания	Переменного резания и трапецеидальная	Одинарная (протяжка с узкими канавками)	Шахматно- шлицевая			
$K_{тр}$	1,0	0,5	0,7			

Окончание табл. 2.10

В зависимости от вида заготовки и подготовки поверхности под протягивание ($K_{тр}$)									
Заготовка		$K_{тр}$ при поверхности							
		обработанной	необработанной						
			травленной	нетравленной					
Прокат, штамповка, поковка		1,0							
Отливка: стальная;		0,9	1,0	0,8					
чугунная;		1,0	0,7						
из цветных металлов		1,0	0,7						
В зависимости от материала протяжки ($K_{тм}$)									
Материал протяжки	P13Ф5M	P6M5, P12Ф3	P9K10	P6M5K5, P6Ф2K8M5	ХВГ				
$K_{тм}$	1,1	1,0	1,3	1,5	0,5				
В зависимости от доводки зубьев протяжки ($K_{тз}$)									
Зубья	Доведенные		Недоведенные						
$K_{тз}$	1,0		0,75						
В зависимости от вида смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) ($K_{то}$)									
Обрабатываемый материал		$K_{то}$ для СОЖ							
		А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З
Стали	конструкционные углеродистые	1,0	1,3	0,8	0,8	0,8	1,0	–	1,0
	конструкционные легированные	1,0	1,3	0,8	0,8	–	1,0	0,9	1,0
Чугуны	серые, ковкие	–	–	–	–	–	1,0	0,9	1,0
	антифрикционные	–	–	–	–	–	–	–	1,0
Бронзы, латуни		1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	–	–	1,2
Алюминиевые сплавы		1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	–	–	–
В зависимости от формы шлицевого паза ($K_{тф}$)									
Шлицевой		Прямобоочный		Эвольвентный		Треугольный			
$K_{тф}$		1,0		1,2		0,8			

Примечание. Условные обозначения: А – 3...10 %-ная эмульсия из эмульсола «Уринол-1»; Б – 5 %-ная эмульсия из эмульсола СДМУ-2; В – 3 %-ная эмульсия из эмульсола 3–2 (ЭТ-2, ЭТГ); Г – 10 %-ная эмульсия из эмульсола Э2; Д – 5...7 %-ная эмульсия из эмульсола Т; Е – масло ОСМ-3; Ж – масло индустриальное И-12А, ГИ-20А; З – сульфозфрезол.

Для сталей всех групп обрабатываемости, а также алюминия 10 группы обрабатываемости – $K = 3$ (допускается $K = 2,5$); для 6, 7, 8 и 10 групп – $K = 2,5$ (допускается $K = 2$).

Рекомендуемые подачи черновых зубьев S_{zo} (в мм/зуб на сторону) Таблица 2.11

Скорость резания, м/мин	Группа обрабатываемости													
	1		2		3		4		7, 8		9		10	
	Группа качества протягиваемой поверхности													
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
До 3	0,18	0,23	0,14	0,18	0,12	0,15	0,16	0,20	0,14	0,18	0,12	0,16	0,15	0,20
Св. 3 до 6	0,14	0,19	0,12	0,15	0,10	0,12	0,13	0,17	0,11	0,15	0,10	0,13	0,12	0,17
Св. 6 до 10	0,12	0,15	0,10	0,12	0,08	0,10	0,10	0,14	0,09	0,12	0,08	0,10	0,10	0,14
Св. 10 до 15	0,10	0,12	0,08	0,10	0,06	0,08	0,08	0,12	0,07	0,10	0,06	0,08	0,08	0,12

По расчетному значению h выбирают из приложения 3 ближайшее большее значение глубины стружечной канавки и остальные размеры. Для обеспечения жесткости протяжки, имеющей диаметр сечения по дну стружечной канавки меньше 40 мм, необходимо, чтобы глубина стружечной канавки была не более

$$h_{ж} = (0,2 \dots 0,23) D_0, \quad (2.4)$$

где D_0 – диаметр отверстия под протягивание.

Если $h_{ж} > h$, то оставляем принятое значение S_{zo} . Если $h_{ж} < h$, то для размещения стружки глубина h берется ближайшей меньшей по значению $h_{ж}$ из приложения 3. и рассчитывается новое значение подачи:

– для сливной стружки

$$S_{zo} = \frac{0,785 h^2}{KL_d}; \quad (2.5)$$

– для стружки надлома

$$S_{zo} = \frac{1,267 h^2}{KL_d}, \quad (2.6)$$

где h выбирается из приложения 3 ближайшей меньшей по $h_{ж}$.

9. Шаг черновых зубьев t_0 выбирают из приложения 3 (по значению t) в зависимости от принятой глубины стружечной канавки. Шаг и профиль переходных зубьев такие же, как у черновых. Для первого варианта расчета берут меньшее значение шага таким, чтобы при определении числа одновременно участвующих в работе зубьев из отношения $\frac{L_d}{t_0}$ не получалось

целое число. Число одновременно работающих зубьев определяется по формуле

$$Z_p = \frac{L_d}{t_0}. \quad (2.7)$$

Если Z_p – нецелое число, то дробную часть не учитывают. Минимально допустимое $Z_p = 3$ (при малой длине протягиваемого отверстия $Z_p = 2$).

При протягивании прерывистых отверстий Z_p подсчитывают для каждого участка и округленные их значения суммируют:

$$Z_p = Z_{p1} + Z_{p2} + \dots + Z_{pN}. \quad (2.8)$$

10. Максимально допустимая сила резания P_{max} выбирается равной меньшей из сил, допустимых прочностью хвостовика $P_{хв}$ (2.1), тяговым усилием станка $P_{ст}$ и опасным сечением протяжки $P_{оп}$:

$$P_{max} = \min\{P_{хв}, P_{ст}, P_{оп}\}. \quad (2.9)$$

Опасное сечение – это сечение протяжки по впадине перед первым зубом,

$$P_{оп} = F_{оп1} [\sigma_p], \quad (2.10)$$

где

$$F_{оп1} = 0,785(D_0 - 2h)^2. \quad (2.11)$$

Для протяжки из быстрорежущей стали диаметром до 15 мм $[\sigma_p] = 400 \dots 500$ МПа, диаметром более 15 мм – $[\sigma_p] = 300 \dots 400$ МПа, для протяжки из ХВГ – $[\sigma_p] = 250$ МПа;

$$P_{ст} = (0,8 \dots 0,9) Q, \quad (2.12)$$

где Q – паспортная тяговая сила станка.

11. Определение числа зубьев в группе. Для круглой протяжки число зубьев в группе может меняться от 2 до 5 и определяется по формуле

$$Z_c = \frac{[\pi D \cdot g_o (Z_p + 1) K_{рм} K_{рк} K_{рр} K_{ро}]}{P_{max}}, \quad (2.13)$$

где g_o – осевая сила резания, принимается по табл. 2.12; $K_{рм}, K_{рк}, K_{рр}, K_{ро}$ – поправочные коэффициенты, назначаемые по табл. 2.13, причем коэффициент $K_{ро}$ назначается в зависимости от вида СОЖ, выбранной из табл. 2.10.

Если подсчитанное число $Z_c < 2$, то дальнейший расчет ведут для $Z_c = 2$. Если Z_c – дробное число больше двух, то его округляют до ближайшего целого числа (3, 4, 5). Если $Z_c > 5$, то уменьшают подачу S_{zo} на 0,01 мм и начинают расчет нового варианта с п. 7.

Для шлицевых протяжек назначают схему расположения зубьев на протяжке (схему протяжки) ФКШ, ФШ, КФШ, КопФКШ.

Число зубьев в группе на каждой части протяжки для схем ФКШ определяют по формуле

$$Z_c = \frac{[B_{max} z \cdot g_o (Z_p + 1) K_{рм} K_{рк} K_{рр} K_{ро}]}{P_{max}}. \quad (2.14)$$

Для определения $Z_{с.ф}$ – числа зубьев в секции фасочной части, $Z_{с.к}$ – числа зубьев в секции круглой части и $Z_{с.ш}$ – числа зубьев в секции шлицевой части, нужно в формулу (2.14) подставить вместо B_{max} соответствующие значения $B_{ф max}, B_{к max}, B_{ш max}$ для фасочных, круглых и шлицевых зубьев.

Максимальную длину режущих кромок на фасочных зубьях для шлицевой прямоугольной протяжки рассчитывают приближенно по формулам:

– для схем ФКШ и ФШК (рис. 2.2)

$$B_{ф\max} = b + 2c + (d - d_0); \quad (2.15)$$

– для схем КФШ, КопФКчкШ, ФШ и Ш

$$B_{ф\max} = b + 2c. \quad (2.16)$$

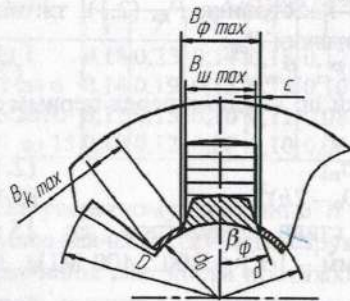


Рис. 2.2. Наибольшая длина режущих кромок (ширина среза) на различных зубьях

Таблица 2.12

Удельная осевая сила резания g_0 при обработке стали (Н)

Подача на зуб S_z , мм	Передний угол γ , град.					Подача на зуб S_z , мм	Передний угол γ , град.				
	5	10	15	20	25		5	10	15	20	25
0,01	78	48	37	30	26	0,19	492	419	385	362	342
0,015	91	60	47	39	34	0,20	513	433	404	380	364
0,02	100	70	56	48	43	0,21	533	462	423	398	381
0,025	113	80	66	57	51	0,22	558	483	443	416	398
0,03	124	91	76	67	60	0,23	578	504	462	434	416
0,035	136	101	85	75	69	0,24	602	525	481	453	433
0,04	148	112	95	84	77	0,25	626	541	501	471	451
0,045	160	122	105	93	86	0,26	645	562	520	494	468
0,05	171	132	114	103	95	0,27	669	583	539	512	491
0,06	195	153	134	121	112	0,28	693	604	559	531	508
0,07	218	174	153	139	130	0,29	711	624	579	549	526
0,08	241	195	172	157	146	0,30	735	645	597	567	544
0,09	264	216	191	176	165	0,31	752	666	617	586	561
0,10	289	236	212	194	181	0,32	776	687	628	604	579
0,11	311	258	230	212	200	0,33	800	708	655	623	596
0,12	334	277	249	232	217	0,34	823	722	675	641	614
0,13	358	298	269	250	237	0,35	840	734	694	659	631
0,14	380	320	268	268	253	0,36	863	763	713	678	649
0,15	403	338	312	286	271	0,37	887	784	733	696	667
0,16	425	360	327	304	291	0,38	910	805	752	714	684
0,17	446	381	346	325	308	0,39	933	825	771	733	702
0,18	468	402	365	343	325	0,40	957	846	791	751	719

Таблица 2.13

Поправочные коэффициенты на осевую силу резания для различных условий работы

В зависимости от состояния и твердости обрабатываемого материала				
Обрабатываемый материал		Твердость HB	K_{pm}	
Стали 1–5 групп обрабатываемости	После закалки и отпуска	Менее 285	1,3	
		285...336	1,3	
		336...375	1,4	
	В отожженном, нормализованном и горячекатаном состоянии	130...321	1,0	
Инструментальные, легированные и быстрорежущие стали		204...229	1,0	
Чугуны серые, ковкие, антифрикционные 6 и 7 групп обрабатываемости		Менее 229	0,5	
		Не менее 229	0,7	
Бронзы и латуни 8 и 9 групп обрабатываемости		Не более 110	0,4	
Алюминиевые сплавы 10 группы обрабатываемости				
В зависимости от вида СОЖ				
Материал протягиваемой заготовки		СОЖ	K_{po}	
Сталь		В, К	0,8	
		А, Е, Ж, З	1,0	
		В, Г, Д	1,1	
Чугун		Без охлаждения	1,0	
		Е, Ж, З	0,8	
В зависимости от группы качества протягиваемой поверхности				
Группы качества		1,2	3	4
K_{pk}		1,0	1,1	1,2
В зависимости от способа разделения стружки				
Способ разделения стружки		K_{pp}		
Выкружками		1,0		
Углыми канавками		1,2		
Без разделения		1,3		

Максимальную длину режущих кромок на круглых зубьях находят для схем ФКШ и ФШК

$$B_{к\max} = \frac{\pi d}{z} - (b + 2c), \quad (2.17)$$

где z – число шлицевых зубьев.

У протяжек со схемами КФШ и КопФКчкШ круглую часть рассчитывают по формуле (2.13).

Длину режущих кромок шлицевых зубьев для протяжек всех схем расположения зубьев принимают равной максимальной ширине паза в пределах допуска $B_{ш} = B_{\max}$.

Если $B_{\phi \max}$ и $B_{к \max}$ не превышают значений, приведенных в табл. 2.14 (т.е. допускается $Z_c = 1$), а рассчитанное по формуле (2.14) $Z_c > 1$, то принимают $Z_c = 2$.

Если $Z_c > 2$, то вариант пропускается и рассчитывается с новой подачей $S_{zo} = S_{zo} - 0,01$.

Таблица 2.14

Наибольшая допустимая, без разделения стружки, длина режущих лезвий на круглых и фасочных зубьях шлицевых протяжек

Диаметр протяжки, мм	До 25	25...50	Св. 50
Длина режущих лезвий B_k и B_{ϕ} , мм	7	9	12

Если $Z_c \leq 1$, то принимают $Z_c = 1$.

Для эвольвентных шлицевых протяжек число зубьев в группе может быть $Z_c = 2$ при минимальной длине режущих кромок $B_{ш \min} \geq 3$ мм и $Z_c = 1$ при $B_{ш \min} < 3$ мм.

При определении числа зубьев в группе Z_c по формуле (2.14) в нее вместо B_{\max} подставляют значения максимальных длин режущих кромок, определяемых по формулам (2.15)–(2.17).

Для шлицевых эвольвентных зубьев $B_{ш \max}$ рассчитывают в зависимости от толщины эвольвентного зуба S_p по формуле

$$B_{ш} = D_i \left(\frac{S_p}{d} + \text{inv } \alpha_r + \text{inv } \alpha_i \right), \quad (2.18)$$

где D_i – диаметр окружности, проходящей через i -ю точку, α_i – угол давления в i -й точке эвольвенты, α_r – профильный угол исходного контура (угол давления по делительной окружности);

$$\alpha_i = \arccos \frac{d_b}{D_i}; \quad (2.19)$$

$$d_b = mz \cos(\alpha_r). \quad (2.20)$$

При определении максимальной длины режущих кромок $B_{ш \max}$ эвольвентных зубьев протяжки в формулах (2.18), (2.19) (рис. 2.3) вместо D_i следует поставить D_a , при определении минимальной длины $B_{ш \max} - D_f$.

Если в исходных данных задан размер e – номинальная делительная окружная ширина впадин втулки, то

$$S_p = l_{\max}. \quad (2.21)$$

Если в исходных данных задан не размер e , а размер между роликами M_i с допусками и диаметр ролика D_M , то

$$S_p = d \left(\frac{D_M}{d} - \text{inv } \alpha_r + \text{inv } \alpha_p \right), \quad (2.22)$$

где α_p – угол давления в точке контакта ролика с исходным профилем.

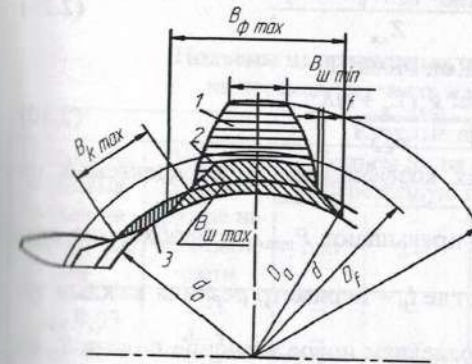


Рис. 2.3. Наибольшая длина режущих кромок (ширина среза) на различных зубьях: 1 – эвольвентных; 2 – фасочных; 3 – круглых

$$\text{Для четного числа шлицев } \alpha_p = \arccos \frac{d_b}{M_{i \max} + D_M}. \quad (2.23)$$

Для нечётного числа шлицев

$$\alpha_p = \arccos \frac{d_b \cos(90 / Z)}{M_{i \max} + D_M}. \quad (2.24)$$

Если задана длина общей нормали W с допусками и число охватываемых впадин Z_w , то

$$S_p = \frac{W_{\max} - \pi m (Z_w - 1) \cos \alpha_r}{\cos \alpha_r} - \text{din } v \alpha_i. \quad (2.25)$$

Расчетную величину Z_c округляют в большую сторону, но не рекомендуют применять больше 2. Если в формуле $Z_c > 2$, то вариант пропускают и рассчитывается новый с подачей $S_{zo} = S_{zo} - 0,01$. Если $Z_c \leq 1$, то принимают $Z_c = 1$.

12. Определение силы резания:

а) для круглых протяжек

$$P = \frac{\pi D g_o (Z_p + 1) K_p}{Z_c}; \quad (2.26)$$

б) для шлицевых протяжек силу резания определяют для каждой части протяжки:

– для фасочной части

$$P_{\phi} = \frac{B_{\phi \max} z g_o (Z_p + 1) K_p}{Z_{с. \phi}}; \quad (2.27)$$

– для шлицевой части

$$P_{ш} = \frac{B_{ш \max} z g_o (Z_p + 1) K_p}{Z_{с.ш}}; \quad (2.28)$$

– для круглой части схем ФКШ и ФШК

$$P_{к} = \frac{B_{к \max} z g_o (Z_p + 1) K_p}{Z_{с.к}}; \quad (2.29)$$

– для круглой части схем КФШ и КопФКчкШ

$$P_{к} = \frac{\pi d g_o (Z_p + 1) K_p}{Z_{с.к}}; \quad (2.30)$$

где K_p – произведение поправочных коэффициентов, определяемых по табл. 2.13.

Если рассчитанные силы резания превышают P_{\max} , то необходимо рассчитать новое значение $g_o = \frac{P_{\max} Z_c}{l_p Z_p K_p}$, где l_p – периметр резания каждым зубом. По найденному значению g_o определяем новое значение подачи S_{zo} из табл. 2.12, которое применяется в дальнейших расчетах.

13. Распределение припуска между различными частями и зубьями протяжки:

а) для круглых протяжек полный припуск определяют по формуле

$$A = D_{\max} - D_{0 \min}. \quad (2.31)$$

Припуск на черновые зубья

$$A_0 = A - (A_{п} + A_{ч}), \quad (2.32)$$

где $A_{п}$ – припуск на переходные зубья (из табл. 2.15); $A_{ч}$ – припуск на чистовые зубья (из табл. 2.16);

б) для шлицевых протяжек припуск на фасочную часть для схем ФКШ, ФШК и ФШ (рис. 2.4) определяют по формуле

$$A_{\phi} = D_{\phi} - D_{0 \min}, \quad (2.33)$$

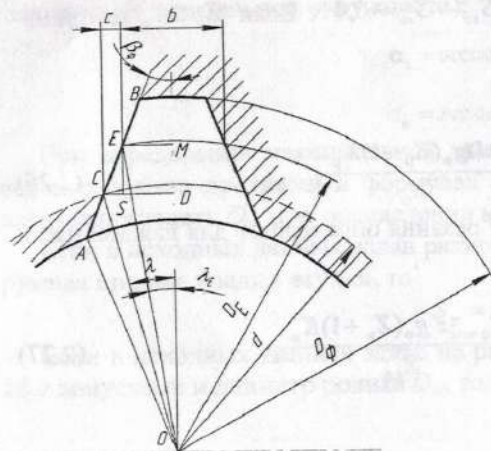


Рис. 2.4. Схема для определения припусков фасочной части

D_{ϕ} – диаметр последнего фасочного зуба,

$$D_{\phi} = D_E + 0,4, \quad (2.34)$$

D_E – диаметр окружности, проходящей через точку E пересечения исходного профиля фаски и паза (прямоугочного или эвольвентного).

Таблица 2.15

Подъемы на переходных группах, припуск на диаметр на переходную часть и число переходных зубьев

Круглые протяжки							
Подъем на черновых зубьях на сторону S_{zo} , мм	Число зубьев в группе на черновой части	Подъем S_{zn} на сторону, на переходную группу, мм				Припуск на диаметр $A_{кп}$, мм	Число переходных зубьев Z_n
		1-ю	2-ю	3-ю	4-ю		
До 0,03	2-3	–	–	–	–	–	–
	4-5	–	–	–	–	–	–
0,04...0,06	2-3	0,02	–	–	–	0,04	2
	4-5	–	–	–	–	–	–
0,07...0,10	2-3	0,04	0,03	–	–	0,14	4
	4-5	0,02	–	–	–	0,04	2
0,11...0,15	2-3	0,05	0,03	–	–	0,16	4
	4-5	0,03	–	–	–	0,06	2
0,16...0,20	2-3	0,08	0,06	0,03	–	0,34	6
	4-5	0,05	0,03	–	–	0,16	4
0,21...0,25	2-3	0,11	0,09	0,06	0,03	0,58	8
	4-5	0,07	0,05	0,03	–	0,30	6
0,25...0,30	2-3	0,14	0,09	0,06	0,03	0,64	8
	4-5	0,09	0,06	0,03	–	0,36	6
0,30...0,40	2-3	0,17	0,12	0,06	0,03	0,76	8
	4-5	0,11	0,06	0,03	–	0,40	6
Шлицевые протяжки							
Подъем на черновых зубьях на сторону S_{zo} , мм	Подъем на сторону на переходную группу, мм		Припуск на диаметр $A_{шп}$, мм	Число переходных шлицевых зубьев $Z_{шп}$	Число переходных круглых зубьев $Z_{кп}$		
	S_{n1}	S_{n2}					
Не более 0,045	–	–	–	–	–		
Не более 0,08	0,03	–	0,06	2	1		
Не более 0,14	0,06	0,03	0,18	4	2		
Не более 0,14	0,08	0,04	0,24	4	2		

Для шлицевой прямоугольной протяжки

$$D_E = \frac{B}{\sin \lambda_E}, \quad (2.35)$$


где

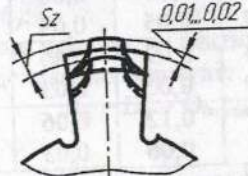
$$\operatorname{ctg} \lambda_E = \frac{(b+2c)\operatorname{ctg} \lambda + 2c\operatorname{ctg} \beta_\Phi}{b}; \quad (2.36)$$

$$\sin \lambda = \frac{(b+2c)}{d}. \quad (2.37)$$

Таблица 2.16

Подъем чистовых зубьев, припуск, число чистовых и калибрующих зубьев

Круглые протяжки						
						
Группа качества	Число секции из двух зубьев при подаче S_{zv}			Общее число чистовых зубьев Z_Φ	Припуск на чистовую часть на диаметр $A_{кч}$, мм	Число калибрующих зубьев Z_κ
	0,02	0,01	0,005			
1	2	2	2	12	0,14	7
2	1	2	2	10	0,10	6
3	1	2	—	6	0,08	5
4	1	1	—	4	0,06	4

Шлицевые протяжки						
						
Зубья	Группа качества	Число зубьев или групп из двух зубьев при подъеме S_z , мм/зуб		Общее число зубьев или групп из двух зубьев $Z_{шч}$	Припуск на диаметр $A_{шч}$, мм	Число калибрующих зубьев $Z_{шк}$
		0,02	0,01			
Шлицевые	1	2	3	5	0,14	5
	2	1	2	3	0,08	4
	3	2	—	2	0,08	3
Круглые	1, 2	2	2	4	0,12	4
	3	2	1	3	0,10	3

Для схемы КФШ

$$A_\Phi = D_\Phi - d. \quad (2.38)$$

Для схемы КопФКчкШ

$$A_\Phi = D_\Phi - d + 0,12. \quad (2.39)$$

Для 3-й группы качества шлицевого отверстия по внутреннему диаметру

$$A'_\Phi = A_\Phi - 0,02. \quad (2.40)$$

Для шлицевой эвольвентной протяжки

$$D_E = db\sqrt{1 + (\beta - t_E)^2}, \quad (2.41)$$

где

$$\beta = \frac{\pi}{2} - \theta_0; \quad (2.42)$$

$$\theta_0 = \frac{\pi}{2} - \frac{S_p}{d} - \operatorname{inv} \alpha_g; \quad (2.43)$$

$$\operatorname{inv} \alpha_g = \operatorname{tg} \alpha_g - \alpha_g; \quad (2.44)$$

t_E — угол развернутости эвольвенты в точке E,

$$t_E = \beta - \operatorname{tg} \alpha_g. \quad (2.45)$$

Припуск на круглую часть шлицевых протяжек всех схем определяют по формулам:

— для прямобочных

$$A_\kappa = D_{0\max} - d_{\min}; \quad (2.46)$$

— для эвольвентных

$$A_\kappa = D_a - D_{0\min}. \quad (2.47)$$

Припуск на черновые зубья круглой части шлицевых прямобочных и эвольвентных протяжек

$$A_{\kappa.ч} = A_\kappa - (A_{\kappa.п} + A_{\kappa.ч}), \quad (2.48)$$

где $A_{\kappa.п}$ — припуск на переходные круглые зубья (из табл. 2.15); $A_{\kappa.ч}$ — припуск на чистовые круглые зубья (из табл. 2.16).

Припуск на шлицевую часть протяжек всех схем

$$A_{ш} = D - D_{ш1}, \quad (2.49)$$

где $D_{ш1}$ — диаметр первого шлицевого зуба,

$$D_{ш1} = D_E + 2S_{zo}. \quad (2.50)$$

Для прямобочных протяжек

$$D = D_{\max}. \quad (2.51)$$

Для эвольвентных

$$D = D_{f\max}. \quad (2.52)$$

Первый шлицевой зуб в группу не объединяют, и выкружки на нем не делают. Но если фасочные зубья отсутствуют, то для первого шлицевого зуба предусматривается групповое построение из двух зубьев. При этом:

– для схем КШ

$$D_{ш1} = d + 2S_{zo}; \quad (2.53)$$

– для схемы ШК

$$D_{ш1} = D_{0 \min} + 2S_{zo}. \quad (2.54)$$

Припуск между шлицевыми черновыми, переходными и чистовыми зубьями распределяют следующим образом:

$$A_{ш.о} = A_{ш} - (A_{ш.п} + A_{ш.ч}), \quad (2.55)$$

где $A_{ш.п}$ выбирают из табл. 2.15; $A_{ш.ч}$ – из табл. 2.16.

14. Определение числа групп черновых зубьев i_o , остаточного припуска и распределение его. Число групп черновых зубьев i_o (или число зубьев при $Z_c = 1$) определяют по формуле

$$i_o = \frac{A_o}{2S_{zo}}. \quad (2.56)$$

Полученное дробное число групп черновых зубьев округляют до ближайшего меньшего целого числа. Остаточный припуск, полученный при этом, определяют по формуле

$$A_{ост} = A_o - 2S_{zo}i_o. \quad (2.57)$$

Остаточный припуск в зависимости от его величины относят к черновой, переходной и чистовой частям по следующему правилу:

а) если половина припуска превышает подъем зубьев на сторону первой переходной группы, то для его срезания назначают одну группу черновых зубьев;

б) если половина остаточного припуска меньше подъема на сторону первой переходной группы (для круглых и шлицевых зубьев шлицевых протяжек), но не менее 0,02...0,03 мм, остаточный припуск добавляют к припуску на переходную часть;

в) если половина остаточного припуска меньше 0,02 мм, то остаточный припуск переносят на чистовые зубья, число которых увеличивается;

г) «микронную» часть остаточного припуска переносят на последние чистовые зубья.

15. Определение числа зубьев:

а) для круглых протяжек общее число зубьев

$$\sum Z = Z_o + Z_{п} + Z_{ч} + Z_{к}; \quad (2.58)$$

для черновых зубьев

$$Z_o = i_o Z_c, \quad (2.59)$$

где i_o – принятое число групп черновых зубьев после распределения остаточного припуска.

Число зубьев переходных, чистовых и калибрующих определяют по табл. 2.15 и 2.16 и корректируют в зависимости от распределения припуска;

б) для шлицевых протяжек общее число зубьев для всех схем, кроме ФШ, определяют по формуле

$$\sum Z = Z_{ф} + Z_{к} + Z_{ш}; \quad (2.60)$$

для схемы ФШ

$$\sum Z = Z_{ф} + Z_{ш}. \quad (2.61)$$

Числа круглых, шлицевых зубьев являются суммами черновых, переходных, чистовых и калибрующих зубьев:

$$Z_{к} = Z_{к.о} + Z_{к.п} + Z_{к.ч} + Z_{к.к}; \quad (2.62)$$

$$Z_{ш} = Z_{ш.о} + Z_{ш.п} + Z_{ш.ч} + Z_{ш.к}. \quad (2.63)$$

Фасочные зубья – только черновые:

$$Z_{ф} = i_{ф} Z_{с.ф}. \quad (2.64)$$

Число черновых зубьев на круглой и шлицевой частях определяют по формулам:

$$Z_{к.о} = i_{к.о} Z_{с.к}; \quad (2.65)$$

$$Z_{ш.о} = i_{ш.о} Z_{с.ш} + 1; \quad (2.66)$$

для схем КШ, ШК

$$Z_{ш.о} = i_{ш.о} Z_{с.ш}. \quad (2.67)$$

Число указанных зубьев корректируется в зависимости от размещения остаточного припуска.

Число переходных, чистовых и калибрующих зубьев берется из табл. 2.15 и 2.16.

16. Определение длины режущей части протяжки:

а) для круглой протяжки длина режущей части

$$L_p = l_o + l_{п} + l_{ч} + l_{к} = t_o(Z_o + Z_{п}) + \sum t_{ч} + \sum t_{к}, \quad (2.68)$$

где $\sum t_{ч} + \sum t_{к}$ – сумма переменных шагов соответственно чистовых и калибрующих зубьев, которые определяют из табл. 2.17;

б) для шлицевых протяжек длина режущей части

$$L_p = l_{ф} + l_{к} + l_{ш}, \quad (2.69)$$

где для схемы ФКШ

$$l_{ф} = t_o Z_{ф}; \quad (2.70)$$

$$l_{к} = t_o(Z_{к.о} + Z_{к.п}) + t_{ч}(Z_{к.ч} + Z_{к.к} - 1); \quad (2.71)$$

$$l_{ш} = t_o(Z_{ш.о} + Z_{ш.п}) + t_{ч}(Z_{ш.ч} + Z_{ш.к} - 1); \quad (2.72)$$

для схем КФШ и КопФКчкШ

$$l_{ф} = t_o(Z_{ф} + 1); \quad (2.73)$$

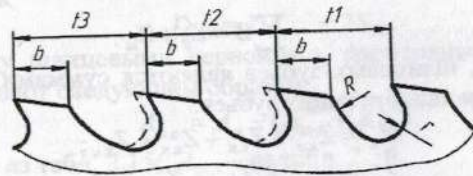
$$l_{ш} = t_o(Z_{ш.о} + Z_{ш.п}) + t_{ч}(Z_{ш.ч} + Z_{ш.к} - 1); \quad (2.74)$$

$t_{ч}$ – шаг чистовых и калибрующих зубьев (см. табл. 2.17).

Шаги чистовых и калибрующих зубьев переменные, зависят от шага черновых зубьев.

Таблица 2.17

Шаги чистовых и калибрующих зубьев, мм



t	t_3	t_2	t_1	t	t_3	t_2	t_1	t	t_3	t_2	t_1
4,0			4,0	10			7,0	19			14
4,5			4,0	11			7,0	20			14
5,0			4,0	12			8,0	21			15
5,5			4,0	13			9,0	22			16
6,0	+1	+0,5	4,5	14	+2	+1	10	24	+2	+1	17
6,5			5,0	15			11	25			18
7,0			5,5	16			11	26			19
8,0			6,0	17			12	28			20
9,0			6,0	18			13	30	+4	+2	20
								32			22

Профиль стружечной канавки для всех трех переменных шагов одинаковый, выбирается из приложения 3 по меньшему шагу t и средней глубине профиля.

На этом расчет первого варианта заканчивается. Последующие варианты при автоматизированном проектировании рассчитываются для уменьшающихся подач с шагом 0,01 мм до $S_{zo} = 0,03$ мм. Порядок расчета вариантов тот же, что и для первого, начинается с п. 8 и кончается п. 16.

При ручном счете основные варианты определяют скачкообразным изменением подачи путем увеличения числа одновременно работающих зубьев Z_p на единицу для каждого последующего варианта, т.е. Z_p+1 , Z_p+2 , Z_p+3 и т.д., где Z_p определено в п. 9. Затем из формулы (2.7) находят шаг t_o , по приложению 3 определяется глубина профиля, соответствующая этому шагу. По формулам (2.5) и (2.6) для найденной глубины рассчитывается новое значение подачи S_{zo} . С п. 11 расчет нового варианта продолжают как для первого варианта.

При выборе оптимального варианта желательно, чтобы протяжка имела относительно небольшую длину L_p , большую ширину зуба b , возможно меньшую подачу черновых зубьев S_{zo} , наименьшее число всех зубьев $\sum Z_{min}$.

После выбора оптимального варианта составляется таблица диаметров зубьев и находятся все остальные параметры протяжки.

17. Расчёт диаметров зубьев:

а) круглые протяжки:

диаметр первого прорезного зуба (первого зуба $Z_c = 1$) черновой части

$$D_{o1} = D_{0min} + 2S_{zo}; \quad (2.75)$$

диаметры прорезных зубьев следующих секций

$$D_{oi} = D_{o1} + 2S_{zo(i-1)}, \quad (2.76)$$

где i – номер секции (зуба), начиная со второго;

диаметры зачищающих зубьев на 0,02...0,04 мм меньше диаметров прорезных зубьев;

диаметры калибрующих зубьев D_k и диаметр последнего чистового зуба принимают равным максимальному в пределах допуска диаметру отверстия $D_k = D_{max}$;

б) шлицевые протяжки:

диаметр первого фасочного зуба протяжек для схемы ФКШ

$$D_{\phi 1} = D_o + A_{ост}; \quad (2.77)$$

для протяжек остальных схем

$$D_{\phi 1} = d + A_{ост}; \quad (2.78)$$

диаметр остальных фасочных зубьев

$$D_{\phi i} = D_{\phi 1} + 2S_{\phi(i-1)}. \quad (2.79)$$

Диаметры черновых зубьев круглой части определяются по формулам (2.75), (2.76); диаметр первого шлицевого зуба определяют по формуле (2.50), а для схем КШ и ШК по формулам (2.53), (2.54);

диаметр следующих черновых шлицевых зубьев

$$D_{ш i} = D_{ш 1} + 2S_{ш(i-1)}. \quad (2.80)$$

При определении диаметра последнего чернового зуба на круглой и шлицевой частях нужно учитывать рекомендации п. 13.

Размеры переходных и чистовых зубьев определяются с учётом подъёма на каждую секцию согласно п. 13.

Диаметр калибрующих круглых и шлицевых зубьев определяется с учётом верхнего отклонения выбранного отверстия:

$$D_k = D + ES. \quad (2.81)$$

Допуски на изготовление зубьев протяжки назначают по ГОСТ 9126-63, ГОСТ 7943-63, ГОСТ 6767-73 и ГОСТ 20365-74.

Диаметр впадин фасочных зубьев:

– для схемы ФКШ

$$D_{в.ф} = D_{0min}; \quad (2.82)$$

– для схем КФШ, ФШ

$$D_{в.ф} = d_{min}; \quad (2.83)$$

– для схемы КопФКШ

$$D_{в.ф} = D_{п.п.}; \quad (2.84)$$

где $D_{п.п}$ — диаметр последнего переходного круглого зуба предпоследней группы зубьев.

Диаметры впадин на шлицевой части:

— для схем ФШК

$$D_{в.ш} = D_{0 \min}; \quad (2.85)$$

— для остальных схем

$$D_{в.ш} = d_{\min}. \quad (2.86)$$

18. Расчет числа и размеров выкружек:

а) для круглых протяжек диаметром меньше 100 мм число выкружек

$$N = \frac{(2,4...2,8)\sqrt{D}}{Z_c}; \quad (2.87)$$

для протяжек диаметром более 100 мм

$$N = \frac{(0,25...0,3)D}{Z_c}. \quad (2.88)$$

Найденные значения N округляют до ближайших четных значений. Ширину выкружки определяют приближенно по формуле

$$a_0 = \frac{\pi D(Z_c - 1)}{N \cdot Z_c}. \quad (2.89)$$

Число выкружек и ширину на черновых зубьях можно определить из приложения 4.

Величина радиуса выкружки R_v берется из табл. 2.18. Там же приведены наибольшие допустимые радиусы шлифовального круга.

Для переходных и чистовых зубьев (с округлением до ближайшего четного)

$$N = 1,45\sqrt{D}, \quad (2.90)$$

а ширина выкружки

$$a_n = a_0 - (2...3). \quad (2.91)$$

Число выкружек и ширину их можно принимать по табл. 2.19, радиус выкружек — по табл. 2.18;

б) для шлицевых протяжек число выкружек на фасочной и шлицевой частях протяжек равно числу впадин:

$$n_{\phi} = n_{ш} = z. \quad (2.92)$$

При этом на каждом зубе образуется по две криволинейные фаски. На зачищающих зубьях фаски не выполняют.

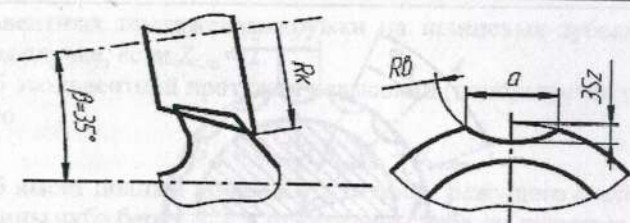
Ширину режущих секторов для шлицевой прямобоочной протяжки по технологическим соображениям на прорезных фасочных и шлицевых зубьях назначают одинаковой и определяют по формуле

$$B_{\phi} = B_{ш} = b - 2f, \quad (2.93)$$

где f — ширина фаски на шлицевом зубе (табл. 2.20).

Таблица 2.18

Максимальный радиус выкружки R_v , мм и радиус шлифовального круга R_k , мм



Ширина выкружки a , мм	Диаметр протяжки, мм													
	До 10		10...18		18...30		30...50		50...80		80...120		120...180	
	R_k	R_v	R_k	R_v	R_k	R_v	R_k	R_v	R_k	R_v	R_k	R_v	R_k	R_v
До 3	22,5	27	22,5	27	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Св. 3 до 4	2,5	27	22,5	27	25	30	—	—	—	—	—	—	—	—
Св. 4 до 6	22,5	27	22,5	27	25	30	25	30	—	—	—	—	—	—
Св. 6 до 8	—	—	22,5	27	25	30	25	30	25	30	—	—	—	—
Св. 8 до 10	—	—	—	—	25	30	25	30	25	30	30	36	—	—
Св. 10 до 12	—	—	—	—	—	—	30	36	30	36	30	36	—	—
Св. 12 до 15	—	—	—	—	—	—	30	36	35	42	35	42	40	48
Св. 15 до 20	—	—	—	—	—	—	30	36	35	42	40	48	45	54

Прорезные чистовые зубья при $Z_{с.ш.ч} = 2$ ($Z_{с.ш.ч}$ — число зубьев в секции шлицевой чистовой части протяжки) выполняют с фасками с обеих сторон. У протяжек с подъемом на каждый зуб у чистовых и калибрующих зубьев фаски не выполняются.

Ширину выкружек определяют приближенно по формуле для фасочных и шлицевых зубьев:

$$a = \pi D/n - B. \quad (2.94)$$

На круглых зубьях шлицевых протяжек, если $Z_{с.к.ч} = 1$ ($Z_{с.к.ч}$ — число зубьев в секции круглой чистовой части), то выкружки не выполняют, при $Z_{с.к.ч} = 2$ выполняют выкружки симметрично фасочным зубьям. Число выкружек на черновой и переходной частях должно быть равно числу шлицев:

$$n_k = z. \quad (2.95)$$

Ширину режущего сектора на прорезных зубьях круглой части после снятия выкружки

$$B_k = 0,5B_k, \quad (2.96)$$

а ширина выкружки

$$a_k = \frac{\pi D}{n} - B_k. \quad (2.97)$$

Таблица 2.19

Число и размеры выкружек на чистовых зубьях круглых протяжек, мм

Диаметры зубьев, мм	Число зубьев в секции $z_c=2$		Диаметры зубьев, мм	Число зубьев в секции $z_c=2$	
	Число вы- кружек N	Ширина вы- кружки $a1$		Число вы- кружек N	Ширина вы- кружки $a1$
6...7	4	1,8	38...40	8	5,5
7...8		2,0	40...42		4,5
8...9		2,2	42...45		5,0
9...10		2,5	45...48		5,5
10...11		3,0	48...50	10	5,5
11...12		3,5	50...52		6,0
12...13		4,0	52...55		6,5
13...14		4,0	55...60	12	6,0
14...15		4,5	60...63		6,0
15...16	6	3,0	63...65		6,5
16...17		3,5	65...70		7,0
17...18		3,5	70...75		7,5
18...19		3,5	75...80	14	7,0
19...20		3,5	80...85		7,5
20...22		4,0	85...90		8,0
22...24		4,5	90...95		8,5
24...25		4,0	95...100		9,0
25...26	8	3,5	100...105	16	7,0
26...28		4,0	105...110		8,0
28...30		4,5	110...120		8,5
30...32		4,5	120...125		9,0
32...34		5,0	125...130		9,5
34...36		5,0	130...140		10,0
36...38		5,5			

Таблица 2.20

Размеры фасок на резных шлицевых зубьях

Ширина шлицев b , мм	До 3	3...4	4...7	7...9	9...10	10...14	14...16	16...18	18...20
Ширина фасок c , мм	0,5	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0

Радиусы круга R_k и выкружек R_v при двузубой секции принимают по табл. 2.18. Чистовые и калибрующие круглые зубья выполняют без выкружек.

У эвольвентных протяжек выкружки на шлицевых зубьях наносятся только в том случае, если $Z_{с.ш} = 2$.

Если зуб эвольвентной протяжки невысокий (используется только часть профиля), то

$$B_{ш} \approx 0,25(B_{ш \min} + B_{ш \max}). \quad (2.98)$$

Если зуб имеет полный профиль, то ширину режущего сектора примерно до середины зуба берут $B_{ш1}$, а от середины зуба до диаметра последнего режущего зуба $B_{ш2}$:

$$B_{ш1} \approx 0,25(B_{ш \max} + B_{ш \text{ср}}); \quad (2.99)$$

$$B_{ш2} \approx 0,25(B_{ш \text{ср}} + B_{ш \min}), \quad (2.100)$$

где $B_{ш \text{ср}}$ — толщина зуба по окружности среднего диаметра $D_{ср}$ между первым и последним зубом расчетного участка, которая определяется по формуле (2.18);

$$D_{ср} = 0,5(D_{1р} + D_{п.р}), \quad (2.101)$$

$D_{1р}$, $D_{п.р}$ — диаметры первого и последнего шлицевых зубьев на расчетном участке.

19. Диаметр передней направляющей принимают равным наименьшему диаметру отверстия под протягивание D_0 с полем допуска $e8$. Длина передней направляющей $l_{п.н} = 0,75L_d$.

20. Длину переходного конуса выбирают по табл. 2.21.

Таблица 2.21

Длина переходного конуса

Диаметр протяжки, мм	До 30	Св. 30 до 70	Св. 70
Длина переходного конуса, мм	15	20	25...30

21. Расстояние (рис. 2.5) от переднего торца протяжки до первого зуба определяют по формуле

$$L_1 = l_1 + l_2 + l_3 + L_d + 25, \quad (2.102)$$

где L_d (длина заготовки) и l_1 принимают в зависимости от диаметра хвостовика (табл. 2.22).

Таблица 2.22

$D_{хв}$, мм	12...20	22...28	32...50	55...70
l_1 , мм	115	150	160	205

Для протяжных станков 7Б56, 7Б64, 7Б66-1, 7623, 7633 $l_2 = 15$ мм, $l_3 = 500$ мм; а для станков 7Б56, 7Б55, 7Б57, 7733, 7А520 $l_2 = 25$ мм, $l_3 = 40$ мм.

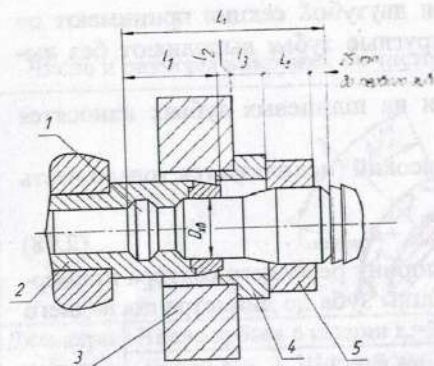


Рис. 2.5. Схема расчета длины от торца до первого зуба: 1 – передний хвостовик; 2 – патрон; 3 – опорная плита; 4 – передняя втулка; 5 – заготовка

22. Диаметр задней направляющей

$$D_{3.н} = D + ES, \quad (2.103)$$

где ES – верхнее отклонение диаметра обработанного отверстия.

23. Длина задней направляющей принимается по табл. 2.23. Для тяжелых и длинных, а также протяжек, работающих в автоматическом цикле, проектируют задний хвостовик, данные для которого берут в табл. 2.24.

Таблица 2.23

Размеры задней направляющей, мм

Диаметр	До 13	Св. 13 до 23	Св. 23 до 30	Св. 30 до 35	Св. 35 до 45	Св. 45 до 55	Св. 55 до 60	Св. 60 до 70	Св. 70 до 90	Св. 90 до 100	Св. 100
Длина	20	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80
Фаска	0,5	1	1,5	15	2	2	2	2,5	2,5	3	3

Таблица 2.24

Размеры заднего хвостовика

Диаметр заднего хвостовика $D_{3.хв}$, мм	Длина заднего хвостовика $L_{3.хв}$, мм
12...22	100
25...50	125
63...70	140

24. Общая длина протяжки определяется по формуле

$$L = L_1 + L_p + l_{3.н} + l_{3.хв}, \quad (2.104)$$

где L_1 – длина от переднего торца протяжки до первого зуба; L_p – длина режущей части; $l_{3.н}$ – длина задней направляющей; $l_{3.хв}$ – длина заднего хвостовика.

Если длина протяжки больше допустимой (это относится и к шлицевым, и к круглым протяжкам), то выполняют комплект протяжек.

2.3. Примеры расчета протяжек

2.3.1. Расчет круглой протяжки

Исходные данные. Для выполнения курсового проекта исходные данные берутся из приложения 5.

1. Протягиваемая заготовка: материал – сталь 40X; твердость при протягивании – HB 229; заготовка после отпуска; отверстие под протягивание обработано; диаметр отверстия до протягивания $D_0 = 54H^{(+0,074)}$ мм; диаметр отверстия после протягивания $D = 56H^{(+0,030)}$ мм; параметр шероховатости поверхности $R_a = 2,5$ мкм; длина протягивания $L_d = 125$ мм.

2. Станок горизонтально-протяжной, модель 7A520; тяговая сила станка $Q = 220\,000$ Н; максимальная длина хода штока $L_{max} = 1600$ мм (см. табл. 2.1); диапазон рабочих скоростей 1,6...11,5 м/мин, состояние станка – удовлетворительное; протяжка закрепляется в быстросменном автоматическом патроне.

3. Характер производства – массовый.

4. Длина протяжки, допустимая возможностями инструментального цеха и заточного отделения, не более 1500 мм.

Порядок расчёта

1. Устанавливаем группу обрабатываемости с помощью табл. 2.2: сталь 40X с твердостью HB 229 относится к 1 группе обрабатываемости.

2. Устанавливаем группу качества по табл. 2.3 в зависимости от шероховатости поверхности и качества отверстия. Принимаем вторую группу качества.

3. Материал рабочей части протяжки – быстрорежущая сталь P6M5 (см. табл. 2.5).

4. Конструкцию протяжки принимаем с приваренным хвостовиком, материал хвостовика – сталь 40X, размер по ГОСТ 4044-70 или по табл. 2.7. Диаметр переднего хвостовика $D_{хв} = 50$ мм, $F_{оп} = 1134,1$ мм². Силу, допустимую хвостовиком, рассчитываем по формуле (2.1), приняв $[\sigma]_p = 300$ МПа:

$$P_{хв} = 1134,1 \cdot 300 = 340\,230 \text{ Н.}$$

5. Передние и задние углы черновой, переходной, чистовой и калибрующей частей выбираем по табл. 2.8:

$$\gamma_o = \gamma_n = 20^\circ, \quad \gamma_{ч} = \gamma_k = 20^\circ,$$

$$\alpha_o = \alpha_n = 3^\circ, \quad \alpha_{ч} = 2^\circ, \quad \alpha_k = 1^\circ.$$

6. Скорость резания устанавливаем по табл. 2.9: $V = 9$ м/мин. Сталь 40X повышенной вязкости, поэтому скорость уменьшаем на 20 %: $V' = 7,2$ м/мин. Эта скорость станком обеспечивается.

7. Подъем черновых зубьев S_{zo} определяем из условия равной стойкости черновой и чистовой частей по приложению 2 для 1-й группы обрабаты-

ваемости. Сначала для скорости резания $V = 7$ м/мин устанавливаем наработку чистовой части $T = 73$ мин. Поправочные коэффициенты на наработку принимаем по табл. 2.10; $K_{тв} = 1$, $K_{тр} = 1$, $K_{тз} = 1$, $K_{тл} = 1$, $K_{то} = 1$, $K_{тм} = 1$ (назначаем СОЖ – сульфидфрезол ГОСТ 122-54). Нарботка с поправочными коэффициентами $T_{м.н} = 73$ мин. По той же скорости резания и стойкости черновых зубьев $T = 76$ мин находим подъем черновых зубьев $S_{zo} = 0,25$ мм на зуб.

Для 1-й группы обрабатываемости и 2-й группы качества при скорости резания $V = 7$ м/мин по табл. 2.11 ограничиваем подъем черновых зубьев до $S_{zo} = 0,15$ мм.

8. Глубину стружечной канавки, необходимой для размещения стружки при подъеме $S_{zo} = 0,15$ мм определяем по формуле, приняв коэффициент помещаемости $K = 3$,

$$h = 1,1283 \sqrt{3 \cdot 125 \cdot 0,15} = 8,46 \text{ мм.}$$

В приложении 3 ближайшая большая глубина стружечной канавки $h = 9$ мм. Проверку на жесткость протяжки делаем, так как диаметр по дну стружечной канавки $D_0 - 2h = 54 - 2 \cdot 9 = 36$ мм, т.е. меньше 40 мм:

$$h_{ж} = (0,2 \dots 0,23) D_0 = 0,22 \cdot 54 = 11,88 \text{ мм; } h_{ж} > h.$$

Поэтому выбранную канавку принимаем для дальнейших расчетов. Если бы оказалось, что $h_{ж} < h$, то подачу нужно было бы уменьшить по формулам (2.5), (2.6).

9. Шаг черновых зубьев принимаем по приложению 3. Так как глубине $h = 9$ мм соответствует несколько значений шага, то согласно п. 9 методики принимаем меньший: $t_0 = 20$ мм, профиль № 13, поскольку при делении длины протягивания $L = 125$ на $t_0 = 20$ мм не получается целое число. Остальные элементы стружечной канавки: $b_0 = 6$ мм; $r = 4,5$ мм; $R = 14$ мм. Число одновременно участвующих в работе зубьев определяем по формуле (2.7), отбрасывая дробную часть: $Z_p = 125/20 = 6,25 \approx 6$.

10. Максимально допустимую силу резания берем минимальной из трех $P_{ст}$, $P_{хв}$, $P_{оп}$:

$$P_{ст} = 0,9 \cdot 220\,000 = 198\,000 \text{ Н;}$$

$$P_{хв} = 340\,230 \text{ Н (см. п. 4);}$$

величину $P_{оп}$ определяем по формуле (2.10), а площадь опасного сечения:

$$F_{оп} = 0,785(54 - 2 \cdot 9)^2 = 1017,36 \text{ мм}^2;$$

$$P_{оп} = 1017,36 \cdot 400 = 406\,944 \text{ Н.}$$

Таким образом, $P_{max} = 194\,238$ Н.

11. Число зубьев в группе Z_c определяем по формуле (2.13), где $g_0 = 286$ Н для $S_{zo} = 0,15$ мм и $\gamma = 20^\circ$ из табл. 2.12; $Z_p = 6$; $K_{рм} = 1,4$; $K_{ро} = 1$; $K_{рн} = 1$; $K_{рр} = 1$ – из табл. 2.13;

$$Z_c = \frac{3,14 \cdot 56 \cdot 286 \cdot (6+1) \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,4}{194238} = 2,54.$$

Принимаем $Z_c = 3$.

12. Определяем расчётную силу протягивания по формуле (2.26):

$$P = \frac{3,14 \cdot 56 \cdot 286 \cdot (6+1) \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,4}{3} = 164\,281,45 \text{ Н.}$$

Так как $P < P_{max}$, то пересчитывать g_0 и определять новое значение подачи S_{zo} не надо.

13. Полный припуск определяем по формуле (2.31):

$$A = 56,03 - 54 = 2,03 \text{ мм.}$$

Припуск на черновых зубьях находим по формуле (2.32), где из табл. 2.15 $A_p = 16$ мм, из табл. 2.16 $A_q = 0,10$ мм;

$$A_0 = 2,03 - (0,16 + 0,10) = 1,77 \text{ мм.}$$

14. Число групп черновых зубьев определяем по формуле (2.56):

$$i_0 = \frac{1,77}{(2 \cdot 0,15)} = 5,9;$$

принимаем $i_0 = 5$.

Остаточную часть припуска находим по формуле (2.57):

$$A_{ост} = 1,77 - 2 \cdot 5 \cdot 0,15 = 0,27 \text{ мм.}$$

Из табл. 2.15 находим подачу на первый переходный зуб $S_{зп1} = 0,05$ мм, так как $0,5A_{ост} > S_{зп1}$, то $A_{ост}$ оставляем в черновой части и увеличиваем количество секций на единицу: $i_0 = 6$.

15. Число черновых зубьев определяем по формуле (2.59), число переходных зубьев $Z_p = 4$ – из табл. 2.15, чистовых зубьев $Z_q = 10$ и число калибрующих зубьев $Z_k = 6$ – из табл. 2.16.

Общее число всех зубьев находим по формуле (2.58):

$$\sum Z = 3 \cdot 6 + 4 + 10 + 6 = 38.$$

16. Длину режущей части протяжки определяем по формуле (2.63). Шаги черновых и переходных зубьев одинаковы и равны 20 мм; шаги чистовых и калибрующих зубьев являются переменными, принимаем их из табл. 2.17: $t_1 = 14$ мм, $t_2 = 15$ мм, $t_3 = 16$ мм. Размеры профиля h , b , r , R одинаковые для всех трёх шагов, их берём из приложения 3 по меньшему шагу.

Для $t_1 = 14$ мм: $h = 6$ мм, $b = 6$ мм, $r = 2,5$ мм, $R = 8$ мм,

$$L_p = 20 \cdot (18 + 4) + (14 + 15 + 16) \cdot 3 + 14 + (14 + 15 + 16) \cdot 2 = 679 \text{ мм.}$$

Новые два варианта рассчитываем для

$$Z_{p2} = Z_p + 1 = 6 + 1 = 7 \text{ и } Z_{p3} = Z_p + 2 = 8.$$

Из формулы (2.7) находим шаг черновых зубьев для обоих вариантов:

$$t_{02} = \frac{125}{7} = 17,86 \text{ мм; } t_{03} = \frac{125}{8} = 15,63 \text{ мм.}$$

Значение шага округляем до ближайшего меньшего значения, т.е. $t_{02} = 17$ мм, $t_{03} = 15$ мм. По приложению 3 определяем соответствующие этим шагам глубины профиля стружечных канавок (берём большее значение).

Для $t_{02} = 17$ мм $h_2 = 7$ мм, для $t_{01} = 15$ мм $h_1 = 6$ мм. По формуле (2.5) находим при $K = 3$:

$$S_{z02} = \frac{0,785 \cdot 7^2}{(3 \cdot 125)} = 0,1 \text{ мм}; \quad S_{z03} = \frac{0,785 \cdot 6^2}{(3 \cdot 125)} = 0,075 \text{ мм}.$$

Принимаем $S_{z03} = 0,07$ мм. С п. 11 расчёт 2 и 3 варианта продолжаем как для 1 варианта. Результаты расчёта сведены в табл. 2.25.

Сравнив основные показатели L_p , b , S_{z0} и Z , видим, что оптимальный вариант – 2-й, так как протяжка наименьшей длины. Определение остальных элементов конструкции протяжки производим только для этого варианта.

Таблица 2.25

Искомый параметр	Вариант		
	1	2	3
Z_p	6	7	8
t_0 , мм	20	17	15
h_0 , мм	9	7	6
b_0 , мм	6	6	5,5
S_{z0} , мм	0,15	0,1	0,07
Z_c	3	2	2
P , мм	164 281,45	191 032,576	153 983,088
A , мм	2,03	2,03	2,03
$A_{п1}$, мм	0,16	0,14	0,14
$A_{ч1}$, мм	0,10	0,10	0,10
A_{01} , мм	1,77	1,79	1,79
$A_{0ст1}$, мм	0,27	0,19	0,11
i_0	6	9	13
Z_0	18	18	26
$Z_{п1}$	4	4	4
$Z_{ч1}$	10	10	10
Z_K	6	6	6
Z	38	38	46
$S_{zп}$ на группах: 1-й	0,05	0,04	0,04
2-й	0,03	0,03	0,03
S_{z1} , мм, (число групп)	0,02(1) 0,01(2) 0,005(2)	0,02(1) 0,01(2) 0,005(2)	0,02(1) 0,01(2) 0,005(2)
$t_q(t_3, t_2, t_1)$	16, 15, 14	14, 13, 12	13, 12, 11
$t_K(t_3, t_2, t_1)$	16, 15, 14	14, 13, 12	13, 12, 11
$h_{ч1}$, мм	4,5	5,5	4,5
$b_{ч1}$, мм	4,5	4,0	4,0
l_0 , мм	360	306	390
l_q , мм	149	129	119

Окончание табл. 2.25

Искомый параметр	Вариант		
	1	2	3
$l_{п1}$, мм	80	68	60
$l_{к1}$, мм	90	78	72
$L_{п1}$, мм	679	581	642

17. Диаметр калибрующих зубьев $D_K = D_{max} = 56,03$ мм.

18. Число выкружек и их ширину на черновых зубьях определяем по приложению 4: $n = 12$, $a = 7,5$ мм.

19. Число выкружек на переходных и чистовых зубьях определяем по табл. 2.19: $N = 12$, $a_1 = 6$ мм.

20. Диаметр и длину передней направляющей находим согласно п. 19 алгоритма расчёта: $D_{п.н} = 54,00e8$, $l_{п.н} = 0,75 \cdot 125 = 93,75$ мм.

21. Длину переходного конуса выбираем по табл. 2.21 $l_{п.к} = 20$ мм.

22. Расстояние от переднего торца протяжки до первого зуба определяем по формуле (2.102): $L_1 = 160 + 25 + 40 + 125 + 25 = 375$ мм.

23. Диаметр и длину задней направляющей находим согласно п. 22 и 23 алгоритма расчёта: $D_{з.н} = 56,03f7$, $l_{з.н} = 45$ мм (см. табл. 2.22).

Протяжку выполняем с задним хвостовиком. Диаметр заднего хвостовика принимаем по ГОСТ 4044-70 (см. табл. 2.7) меньшим, чем диаметр переднего хвостовика $d_{з.хв} = 36$ мм, длину заднего хвостовика берём по табл. 2.24 $l_{з.хв} = 125$ мм.

24. Общую длину протяжки рассчитываем по формуле (2.104):

$$L = 375 + 581 + 45 + 125 = 1126 \text{ мм}.$$

Принимаем $L = 1125$ мм.

25. Возвращаемся к п. 17 и определяем диаметры зубьев. Результат сводим в табл. 2.26.

Таблица 2.26

Номер зуба	Диаметр D , мм	Номер зуба	Диаметр D , мм	Номер зуба	Диаметр D , мм	Номер зуба	Диаметр D , мм
1	54,20	11	55,20	21	55,93	31	56,03
2	54,18	12	55,18	22	55,91	32	56,03
3	54,40	13	55,40	23	55,97	33	56,03
4	54,38	14	55,38	24	55,97	34	56,03
5	54,60	15	55,60	25	55,99	35	56,03
6	54,58	16	55,58	26	55,99	36	56,03
7	54,80	17	55,79	27	56,01	37	56,03
8	54,78	18	55,77	28	56,01	38	56,03
9	55,00	19	55,87	29	56,02		
10	54,98	20	55,85	30	56,02		

2.3.2. Расчёт прямобочной шлицевой протяжки

Исходные данные

1. Протягиваемая заготовка: материал – сталь 40X; твёрдость HB ≤ 229; состояние – после отжига; диаметр отверстия до протягивания $D_0 = 54,8H11^{(+0,19)}$, внутренний диаметр шлицев $d = 56H7^{(+0,03)}$, наружный диаметр шлицев $D = 65H10^{(+0,12)}$, ширина шлицевых впадин $b = 10F10^{(+0,071)_{+0,013}}$; число шлицев $z = 8$; размер фаски $0,5 \times 45$; параметр шероховатости $R_a \leq 2,5$ мкм по d ; $R_z \leq 20$ мкм по d_0 и по D ; длина протягивания $L_d = 60$ мм.

2. Станок горизонтально-протяжной, модель 7Б56; тяговая сила $Q = 19\,600$ Н; максимальная длина хода штока $L_{\max} = 1600$ мм; диапазон рабочих скоростей 1,15...11,15 м/мин; состояние – удовлетворительное.

3. Производство – крупносерийное.

4. Длина протяжки, допустимая возможностями инструментального производства и заточного отделения, $L_{\max} = 1600$ мм.

Порядок расчёта. Расчёт начинаем с установления схемы расположения зубьев на протяжке, группы обрабатываемости и группы качества. Принимаем предварительную схему расположения зубьев ФКШ. Окончательно схема расположения зубьев будет установлена после расчёта длины круглой части. Если $L_k > L_d$, то фасочные зубья следует расположить между переходными и чистовыми круглыми, т.е. принять схему КопФКчкШ.

1. Группа обрабатываемости – 1-я (см. табл. 2.2)

2. Группу качества устанавливаем для каждой поверхности шлицевого отверстия отдельно по табл. 2.4. Так как центрирование производится по внутреннему диаметру $d = 56H7$ и параметр шероховатости поверхности выступов $R_a \leq 2,5$ мкм, то группа качества поверхности выступов – 2-я, боковых сторон и поверхностей впадин – 3-я.

3. Материал рабочей части протяжки (передний конус, передняя направляющая и задний) – сталь Р6АМ5 (см. табл. 2.5).

4. Конструкция протяжки – с приваренным хвостовиком, материал хвостовика – сталь 40X. Конструкцию хвостовика и размеры принимаем по ГОСТ 4044-70 или по табл. 2.7.

Диаметр переднего хвостовика $d_{\text{хв}} = 50$ мм, диаметр заднего $d_{\text{з.хв}} = 25$ мм.

Силу, допустимую прочностью переднего хвостовика, рассчитываем по формуле (2.1), приняв площадь опасного сечения $F_{\text{оп}} = 1134,1 \text{ мм}^2$ по табл. 2.7 и при $[\sigma]_p = 300 \text{ МПа}$:

$$P_{\text{хв}} = 300 \cdot 1134,1 = 340\,230 \text{ Н.}$$

5. Передние и задние углы зубьев протяжки выбираем по табл. 2.8: $\gamma_o = \gamma_n = \gamma_{\text{ч}} = \gamma_{\text{к}} = 20^\circ$, $\alpha_o = \alpha_n = 3^\circ$, $\alpha_{\text{ч}} = 2^\circ$, $\alpha_{\text{к}} = 1^\circ$.

6. Скорость резания (см. табл. 2.9) для круглой части, которая имеет наиболее высокую группу качества (2-ю), $V = 7$ м/мин. Так как в табл. 2.2 сталь 40X отмечена звёздочкой (вязкая), то снижаем скорость на 20 %, т.е. $V = 7 \cdot 0,8 = 5,6$ м/мин.

7. Определяем подачу черновых зубьев по средней наработке между двумя отказами по приложению 2. Сначала устанавливаем наработку чистовой части при $V = 5,6$ м/мин, $T = 79$ мин, для черновых зубьев при $V = 5,6$ м/мин, $T = 84$ мин и $S_{20} = 0,25$ мм на зуб на сторону. Нарботка с учётом поправочных коэффициентов, принятых по табл. 2.10, составляет

$$T_{\text{м.н}} = 84 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 66,4 \text{ м.}$$

Для круглой части, предназначенной для обработки поверхности 2-й группы качества, подачу черновых зубьев ограничиваем по рекомендациям табл. 2.11: $S_{20} = 0,19$ мм.

8. Определяем глубину стружечной канавки по формуле (2.2), приняв предварительно коэффициент помещаемости $K = 3$ согласно рекомендациям методики.

Для круглых зубьев

$$h = 1,1283 \cdot \sqrt{3 \cdot 60 \cdot 0,18} = 6,59 \text{ мм.}$$

По приложению 3 принимаем ближайшую большую глубину стружечной канавки $h = 7$ мм.

Для фасочных и шлицевых зубьев

$$h = 1,1283 \cdot \sqrt{3 \cdot 60 \cdot 0,19} = 7,569 \text{ мм.}$$

По приложению 3 принимаем $h = 8$ мм. Глубину стружечной канавки, допустимую жёсткостью протяжки (диаметр сечения по дну стружечной канавки менее 40 мм), определяем по формуле (2.4). Для фасочных и круглых зубьев

$$h_{\text{ж}} = 0,23 \cdot 54,8 = 12,604 \text{ мм.}$$

Для шлицевых

$$h_{\text{ж}} = 0,23 \cdot 56 = 12,88 \text{ мм.}$$

Так как $h_{\text{ж}} > h$, то выбранную канавку $h = 8$ мм принимаем для дальнейших расчётов. Если бы оказалось, что $h_{\text{ж}} < h$, то подачу уменьшают по формулам (2.5), (2.6).

9. Определяем шаг черновых зубьев t_0 и число одновременно работающих зубьев Z_p . Шаг черновых зубьев принимаем по приложению 3 – наименьший из всех имеющихся и соответствующий данной глубине профиля: $h = 8$ мм, $t_0 = 18$ мм. Остальные элементы профиля: $b = 6$ мм, $r = 4$ мм, $R = 12$ мм.

Число одновременно работающих зубьев рассчитываем по формуле (2.7):

$$Z_p = 60/18 = 3,33.$$

Если Z_p получается нецелым, то дробную часть не учитывают. Принимаем $Z_p = 3$.

10. Определяем максимально допустимую силу резания P_{\max} , являющуюся наименьшей из трех сил $P_{\text{ст}}$, $P_{\text{хв}}$, $P_{\text{оп}}$:

$$P_{\text{ст}} = 0,8Q = 0,8 \cdot 196\,000 = 156\,960 \text{ Н},$$

$$P_{\text{хв}} = 340\,230 \text{ Н}.$$

По формуле (2.10), приняв $[\sigma]_p = 400 \text{ МПа}$, находим

$$P_{\text{оп}} = 0,785 [\sigma]_p (d_0 - 2h)^2 = 0,785 \cdot 400 (54,8 - 2 \cdot 8)^2 = 472\,708 \text{ Н}.$$

Следовательно, принимаем $P_{\max} = P_{\text{ст}} = 156\,960 \text{ Н}$.

11. Определим числа зубьев в группе Z_c по формуле (2.13) для каждой части протяжки отдельно, подставив в формулу (2.14) вместо B_{\max} значения $B_{\text{ф max}}$, $B_{\text{к max}}$, $B_{\text{ш max}}$. Максимальную длину режущих кромок на фасочных зубьях определяют приближенно по формуле (2.15):

$$B_{\text{ф max}} = b + 2c + (d - d_0) = 10 + 2 \cdot 0,5 + (56 - 54,8) = 12,2 \text{ мм},$$

где $c = 0,5 \text{ мм}$ из табл. 2.20.

По табл. 2.14 при $B_{\text{ф max}} \leq 9$ и $D = 25 - 54 \text{ мм}$ допускается $Z_c = 1$. Максимальную длину режущих кромок на круглых зубьях определяем по формуле (2.17)

$$B_{\text{к max}} = \pi d/z - (b + 2c) = 3,14 \cdot 56/8 - (10 + 2 \cdot 0,5) = 10,98 \text{ мм}.$$

Максимальная длина режущих кромок на шлицевых зубьях

$$B_{\text{ш max}} = b_{\max} = 10,071 \text{ мм}.$$

Удельную силу резания g_0 в формуле (2.14) определяем из табл. 2.12: для $\gamma = 20^\circ$ и $S_{z0} = 0,19 - g_0 = 362 \text{ Н/мм}$; поправочные коэффициенты находим по табл. 2.13: $K_{\text{рм}} = 1,0$; $K_{\text{рп}} = 1,0$; $K_{\text{рк}} = 1,1$ для фасочных и шлицевых зубьев, так как группа качества для них - 3-я; для круглых при второй группе качества $K_{\text{рк}} = 1,0$. Поправочный коэффициент $K_{\text{ро}} = 1$ для СОЖ, принятой по табл. 2.10 (сульфофрезол):

$$Z_{\text{с.ф}} = (12,2 \cdot 8 \cdot 362 \cdot 4 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1) / 156\,960 = 0,9, \text{ принимаем } Z_{\text{с.ф}} = 1;$$

$$Z_{\text{с.к}} = (10,98 \cdot 8 \cdot 362 \cdot 4 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1) / 156\,960 = 0,86, \text{ принимаем } Z_{\text{с.к}} = 1;$$

$$Z_{\text{с.ш}} = (10,071 \cdot 8 \cdot 362 \cdot 4 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1) / 156\,960 = 0,82, \text{ принимаем } Z_{\text{с.ш}} = 1.$$

12. Силу протягивания на каждой части протяжки рассчитываем по формулам (2.27)–(2.30):

$$P_{\text{ф}} = B_{\text{ф max}} Z_{\text{с.ф}} g_0 (Z_p + 1) K_p / Z_{\text{с.ф}} = 12,2 \cdot 8 \cdot 362 \cdot 4 \cdot 1/1 = 141\,325 \text{ Н};$$

$$P_{\text{ш}} = B_{\text{ш max}} Z_{\text{с.ш}} g_0 (Z_p + 1) K_p / Z_{\text{с.ш}} = 10,071 \cdot 8 \cdot 362 \cdot 4 \cdot 1/1 = 108\,662 \text{ Н};$$

$$P_{\text{к}} = B_{\text{к max}} Z_{\text{с.к}} g_0 (Z_p + 1) K_p / Z_{\text{с.к}} = 10,98 \cdot 8 \cdot 362 \cdot 4 \cdot 1/1 = 126\,384 \text{ Н}.$$

Так как силы резания на каждой части протяжки не превышают $P_{\max} = 156\,960 \text{ Н}$, то пересчитывать g_0 и определять новое значение подачи S_{z0} не нужно.

13. Распределяем припуск между разными частями протяжки. Припуск на фасочную часть определяем по формуле (2.33), где $D_{\text{ф}}$ находим по формуле (2.34), а диаметр окружности D_E , проходящей через точку пересечения исходных профилей фаски и прямобоочного паза, по формулам (2.35)–(2.37):

$$\sin \lambda = \frac{7,071 + 2 \cdot 0,5}{56,03} = 0,1440478; \lambda = 8,28^\circ;$$

$$\text{ctg} \lambda_e = \frac{(7,071 + 2 \cdot 0,5) \cdot \text{ctg}(8,2821451^\circ) + 1 + 2 \cdot 0,5 \cdot \text{ctg} 47^\circ}{7,071} = 7,97; \lambda_e = 7,15^\circ;$$

$$D_E = B / \sin \lambda_e = 7,071 / \sin 7,15^\circ = 56,82 \text{ мм};$$

$$D_{\text{ф}} = D_E + 0,4 = 56,82 + 0,4 = 57,2 \text{ мм};$$

$$A_{\text{ф}} = D_{\text{ф}} - D_{0 \min} = D_E + 0,4 - D_{0 \min} = 57,2 - 54,8 + 0,12 = 2,52 \text{ мм}.$$

Припуск на круглую часть находим по формуле (2.46):

$$A_{\text{к}} = d_{\max} - D_{0 \min} = 56,03 - 54,8 = 1,23 \text{ мм}.$$

Припуск на черновые зубья определяется по формуле (2.48):

$$A_{\text{к0}} = 1,23 - (0,24 + 0,12) = 0,87 \text{ мм},$$

где $A_{\text{к.п}} = 0,24 \text{ мм}$ из табл. 2.15, $A_{\text{к.ч}} = 0,12 \text{ мм}$ из табл. 2.16.

Припуск на шлицевую часть находим по формуле (2.49), а диаметр первого шлицевого зуба $D_{\text{ш1}}$ по формуле (2.50):

$$A_{\text{ш}} = D_{\max} - D_{\text{ш1}} = 65,12 - 57,18 = 7,94 \text{ мм};$$

$$D_{\text{ш1}} = D_E + 2 \cdot S_{z0} = 56,8 + 2 \cdot 0,19 = 57,18 \text{ мм}.$$

Припуск на черновые шлицевые зубья определяем по формуле (2.55), в которой $A_{\text{ш.п}} = 0,24 \text{ мм}$ берем из табл. 2.15, $A_{\text{ш.ч}} = 0,08 \text{ мм}$ – из табл. 2.16:

$$A_{\text{ш.0}} = A_{\text{ш}} - A_{\text{ш.п}} - A_{\text{ш.ч}} = 7,94 - 0,24 - 0,08 = 7,62 \text{ мм}.$$

14. Находим число групп черновых зубьев i_0 , остаточный припуск $A_{\text{ост}}$ и его распределение. Число групп черновых зубьев i_0 определяем по формуле (2.56), подставив в неё соответствующие значения A_0 и S_{z0} , принятые для каждой части:

$$i_{\text{ф}} = A_{\text{ф}} / 2S_{z\text{ф}} = 2,52 / 2 \cdot 0,19 = 6,6.$$

Принимаем $i_{\text{ф}} = 6$. Находим остаточный припуск по формуле (2.57):

$$A_{\text{ост ф}} = 2,52 - 2 \cdot 0,19 \cdot 6 = 0,24 \text{ мм}.$$

Добавляем один зуб с подачей $S_{z\text{ф}} = 0,12 \text{ мм}$.

$$i_{\text{к.0}} = A_{\text{к.0}} / 2S_{z0} = 0,87 / 2 \cdot 0,19 = 2,29, \text{ принимаем } 2,$$

$$A_{\text{ост к}} = 0,87 - 2 \cdot 0,19 \cdot 2 = 0,11 \text{ мм}.$$

Так как $A_{\text{ост к}} < 2S_{\text{ш1}}$ (см. табл. 2.15), то добавляем один переходный зуб с подъемом $0,055 \text{ мм}$. Тогда $i_{\text{кп}} = 3$.

$$i_{\text{ш.0}} = A_{\text{ш.0}} / 2S_{z0} = 7,62 / 2 \cdot 0,19 = 20,05, \text{ принимаем } 20;$$

$$A_{\text{ост ш}} = A_{\text{ш.0}} - 2S_{z0} \cdot i_0 = 7,62 - 2 \cdot 0,19 \cdot 20 = 0,02 \text{ мм}.$$

Этот остаточный припуск будет срезан переходными зубьями.

15. Общее число зубьев определяют по формуле (2.60), число фасочных зубьев – по формуле (2.64), число круглых – по формуле (2.62) и число шлицевых – по формуле (2.63):

$$Z_{\text{ф}} = 7 \cdot 1 = 7.$$

Число круглых черновых зубьев рассчитывается по формуле (2.65):

$$Z_{\text{к.0}} = 2 \cdot 1 = 2.$$

Число круглых переходных зубьев $Z_{\text{к.п}} = 2$ из табл. 2.15 плюс один зуб для срезания остаточного припуска:

$$Z_{к.п} = 3.$$

Число круглых чистовых $Z_{к.ч} = 4$, калибрующих $Z_{к.к} = 4$:

$$Z_{к} = 2 + 3 + 4 + 4 = 13.$$

Число черновых шлицевых зубьев определяем по формуле (2.66):

$$Z_{ш.о} = 20 \cdot 1 + 1 = 21.$$

Число шлицевых переходных зубьев из табл. 2.15 $Z_{ш.п} = 4$, число шлицевых чистовых зубьев $Z_{ш.ч} = 2$, число шлицевых калибрующих $Z_{ш.к} = 3$:

$$Z_{ш} = 21 + 4 + 2 + 3 = 30,$$

$$\Sigma Z = 7 + 13 + 30 = 50.$$

16. Подъемы переходных зубьев круглой и шлицевой частей принимаем по табл. 2.15: для круглых $S_{п1} = 0,08$ мм, $S_{п2} = 0,04$ мм, для шлицевых $S_{п1} = 0,08$ мм, $S_{п2,3} = 0,04$ мм.

Подъемы чистовых зубьев круглой и шлицевой частей принимаем по табл. 2.16: для круглых $S_{зч} = 0,02$ мм (два зуба); $S_{зч} = 0,01$ мм (два зуба); для шлицевых $S_{зч} = 0,02$ мм (два зуба).

17. Определяем длину режущей части протяжки L_p , шаг и профиль чистовых круглых и шлицевых зубьев. Сначала находим длину фасочной части по формуле (2.70), круглой части – по формуле (2.71), шлицевой части – по формуле (2.74):

$$l_{\phi} = t_o \cdot Z_{\phi} = 18 \cdot 7 = 126 \text{ мм.}$$

Для круглой и шлицевой частей находим шаг чистовых зубьев по табл. 2.17 (берём средний шаг t_2). Шагу $t_o = 18$ мм соответствует шаг чистовых зубьев $t_{к.ч} = t_{к.ш} = t_2 = 14$ мм. Остальные элементы стружечной канавки чистовых зубьев берём из приложения 3: $h = 6$ мм, $r = 3$ мм, $b = 4,5$ мм, $R = 10$ мм. Тогда

$$l_k = t_o(Z_{к.о} + Z_{к.п}) + t_{ч}(Z_{к.ч} + Z_{к.к} - 1) =$$

$$= 18(2 + 3) + 14(4 + 4 - 1) = 178 \text{ мм;}$$

$$l_{ш} = t_o(Z_{ш.о} + Z_{ш.п}) + t_{ч}(Z_{ш.ч} + Z_{ш.к} - 1) =$$

$$= 18(21 + 4 + 1) + 14(2 + 3 - 1) = 524 \text{ мм;}$$

$$L_p = l_{\phi} + l_k + l_{ш} = 126 + 178 + 524 = 828 \text{ мм.}$$

18. Рассчитываем дополнительные варианты, увеличивая число одновременно работающих зубьев:

2-й вариант – $Z_p = 4$; 3-й вариант – $Z_p = 5$.

Для дополнительных вариантов рассчитываем шаги черновых зубьев по формуле $t_o = \frac{L_d}{Z_p}$ и берём ближайшие большие к ним значения из приложения 3:

$$2\text{-й вариант} - t_o = \frac{60}{4} = 15; \quad 3\text{-й вариант} - t_o = \frac{60}{5} = 12.$$

Найдём глубины стружечных канавок, соответствующие этим шагам из приложения 3: h равны соответственно 6 и 5 мм.

Рассчитываем подачи для каждого варианта по формуле (2.5): S_{zo} равно соответственно 0,15 и 0,11 мм/зуб на сторону.

Находим, как и в первом варианте, все необходимые параметры протяжек. Результаты расчётов сведены в табл. 2.27.

Принимаем для каждой части протяжки оптимальный вариант по критерию наименьшей длины. Для фасочной части принимаем 1-й вариант, а для круглой и шлицевой – 2-й.

Так как длина круглой части $l_k = 171$ мм, что превышает $1,5L$, то черновые и переходные зубья выполняем по групповой схеме ($Z_{с.к} = 2$), пересчитываем их число и помещаем перед фасочными зубьями (схема КопФКчкШ):

$$Z_{к.о} = 3 \cdot 2 = 6; \quad Z_{к.п} = 2 \cdot 2 = 4.$$

Длину круглой черновой и переходной, а также чистовой и калибрующей частей рассчитываем с учётом выхода шлифовального круга при шлифовании бокового профиля фасочных зубьев:

$$L_{к.о} + l_{к.п} = 15(6 + 4) + 2 = 152 \text{ мм;}$$

$$L_{к.ч} + l_{к.к} = 12(4 + 4 - 1) + 5 = 89 \text{ мм.}$$

Таблица 2.27

Искомый параметр	Вариант			Искомый параметр	Вариант		
	1	2	3		1	2	3
Z_p	4	5	6	$A_{ост.ш}$, мм	0,02	0,12	0,14
t_o , мм	18	15	12	i_{ϕ}	6	9	12
h_o , мм	8	6	5	$i_{ко}$	2	3	4
b_o , мм	6	5	4	$i_{шо}$	20	25	34
S_{zo} , мм	0,19; 0,25	0,15	0,11	Z_{ϕ}	7	18	24
$Z_{с.ф}: Z_{с.к}: Z_{с.ш}$	1:1:1	2:1:1	2:2:2	$Z_{ко}$	2	6	8
A_{ϕ} , мм	2,52	2,52	2,52	$Z_{шо}$	21	25	68
$A_{кз}$, мм	1,23	1,23	1,23	$Z_{кп}$	3	4	2
$A_{кпз}$, мм	0,24	0,24	0,18	$Z_{кч}$	4	4	4
$A_{кчз}$, мм	0,12	0,12	0,12	$Z_{кк}$	4	4	4
$A_{к.о}$, мм	0,87	0,87	0,97	$Z_{к}$	13	18	18
$D_{ш1}$, мм	57,18	57,10	57,02	$Z_{шп}$	4	4	4
$A_{шз}$, мм	7,94	8,02	8,10	$Z_{шч}$	2	2	2
$A_{шпз}$, мм	0,24	0,24	0,18	$Z_{шк}$	3	3	3
$A_{шчз}$, мм	0,08	0,08	0,08	$Z_{ш}$	30	34	77
$A_{ш.о}$, мм	7,62	7,62	7,68	ΣZ	50	65	119
$i_{\phi np}$	5	8	11	$L_{\phi з}$, мм	126	270	288
$i_{ко np}$	2	2	3	$t_{ч}, t_{кз}$, мм	14	12	9
$i_{шо np}$	20	25	34	$h_{ч}, b_{ч}$, мм	6; 4,5	5; 4	3,6; 3,5
$A_{ост.ф}$, мм	0,24	0,12	0,10	$L_{к}$, мм	178	171	192
$A_{ост.кз}$, мм	0,11	0,27	0,21	$L_{шз}$, мм	524	498	912

Определяем общее число зубьев:

$$\sum Z = Z_{к.о} + Z_{к.п} + Z_{ф} + Z_{к.ч} + Z_{к.к} + Z_{ш} = 6 + 4 + 7 + 2 + 4 + 34 = 57.$$

Аналогично определяем длину режущей части:

$$L_p = (l_{к.о} + l_{к.п})n + l_{ф} + (l_{к.ч} + l_{к.к})n + l_{ш.п} = 152 + 89 + 126 + 498 = 865 \text{ мм.}$$

19. Рассчитываем силу протягивания по формулам (2.27), (2.28), (2.30), приняв среднюю длину режущей кромки на фасочных зубьях:

$$B_{\phi} = (10 + 12,2)/2 = 11,1 \text{ мм;}$$

$$P_{\phi} = (11,1 \cdot 8 \cdot 286 \cdot 4 \cdot 1)/1 = 101587 \text{ Н;}$$

$$P_k = (10,98 \cdot 8 \cdot 286 \cdot 5 \cdot 1)/1 = 125840 \text{ Н;}$$

$$P_{ш} = (10,71 \cdot 8 \cdot 286 \cdot 5 \cdot 1,1)/1 = 125839 \text{ Н.}$$

20. Диаметры калибрующих зубьев:

$$D_{к.к} = 56 + 0,030 = 56,03 \text{ мм; } D_{ш.к} = 65 + 0,120 = 65,12 \text{ мм.}$$

Находим диаметры всех зубьев и сводим в табл. 2.28 (см. п. 17 алгоритма расчёта).

Таблица 2.28

№ зуба	Вид зуба	Диаметр <i>D</i> , мм	№ зуба	Вид зубьев	Диаметр <i>D</i> , мм	№ зу- ба	Вид зуба	Диаметр <i>D</i> , мм
1	<i>K</i> _о	55,18	20	<i>K</i> _к	56,01	39		60,50
2		55,16	21		56,03	40		60,80
3		55,56	22		56,03	41		61,10
4		55,54	23		56,03	42		61,40
5		55,94	24		57,10	43		61,70
6		55,92	25		57,40	44		62,00
7	<i>K</i> _п	56,08	26	Шлицевые черновые	57,70	45		62,30
8		55,06	27		58,00	46		62,60
9		55,24	28		58,30	47		62,90
10		55,22	29		58,60	48		63,10
11	<i>Φ</i>	55,18	30		58,90	49	Шлицевые переходные	63,40
12		55,56	31		59,10	50		63,70
13		55,94	32		59,40	51		64,00
14		56,32	33		59,70	52		64,30
15		56,70	34		59,00	53	Шлицевые чистовые	64,60
16		57,08	35		59,30	54		64,90
17		57,32	36	59,60	55	Шлицевые калибрующие		65,00
18		<i>K</i> _ч	55,95	37	59,90			
19	55,99		38	60,20	57			

Примечание. Для зубьев № 1–17 задний угол $\alpha = 3^\circ \pm 30'$; допуск на диаметр 0,016 мм; для зубьев № 18, 19 $\alpha = 2^\circ \pm 30'$, допуск на диаметр 0,07 мм; для зубьев № 20–23 $\alpha = 1^\circ \pm 15'$, допуск на диаметр 0,07 мм; для зубьев № 24–52 $\alpha = 3^\circ \pm 30'$; допуск на диаметр 0,016 мм; для зубьев № 53, 54 $\alpha = 2^\circ \pm 30'$; для зубьев № 55–57 $\alpha = 1^\circ \pm 15'$, допуск на диаметр 0,07 мм.

21. Для схемы КопФКчШ согласно рекомендациям п. 17 алгоритма расчёта принимаем диаметр впадин фасочных зубьев равным диаметру последнего переходного зуба $D_{в.ф} = 55,95 \text{ d}11 \begin{pmatrix} -0,10 \\ -1,29 \end{pmatrix}$ мм, диаметр впадин

шлицевых зубьев $D_{в.ш} = 56 \text{ f}9 \begin{pmatrix} -0,03 \\ -0,04 \end{pmatrix}$ мм.

22. Число выкружек на круглых черновых и переходных зубьях и их ширину определяем по приложению 4: $n = 10$, $a = 8,5$ мм; радиус выкружки и шлифовального круга определяем по табл. 2.18: $R_n = 30$ мм, $R_k = 25$ мм.

Чистовые круглые зубья выполняются без выкружек.

Шлицевые и фасочные зубья также выполняются без выкружек, так как $Z_{с.ф} = Z_{с.ш} = 1$.

23. Диаметр передней направляющей $D_{п.н} = 54 \text{ e}8 \begin{pmatrix} -0,060 \\ -0,106 \end{pmatrix}$ мм, длина передней направляющей $l_{п.н} = l = 60$ мм, так как $l/D < 1,5$ мм.

24. Длину переходного конуса принимаем по табл. 2.21: $l_n = 20$ мм.

25. Расстояние от переднего торца протяжки до первого зуба определяем в соответствии с формулой (2.102):

$$L_1 = l_1 + l_2 + l_3 + l + 25,$$

l_1 принимаем в зависимости от диаметра хвостовика: $L_1 = 160$ мм.

Для протяжных станков 7Б56 $l_2 = 25$ мм, $l_3 = 40$ мм:

$$L_1 = 160 + 25 + 40 + 60 + 25 = 310 \text{ мм.}$$

26. Диаметр задней направляющей $D_{з.н} = 56 \text{ f}9 \begin{pmatrix} -0,03 \\ -0,14 \end{pmatrix}$ мм, длину задней направляющей принимаем по табл. 2.23: $l_{з.н} = 45$ мм. Протяжку делаем без заднего хвостовика.

27. Общую длину протяжки определяем по формуле (2.104):

$$L = L_1 + L_p + l_{з.н} + l_{з.хв} = 310 + 828 + 45 + 0 = 1183 \text{ мм.}$$

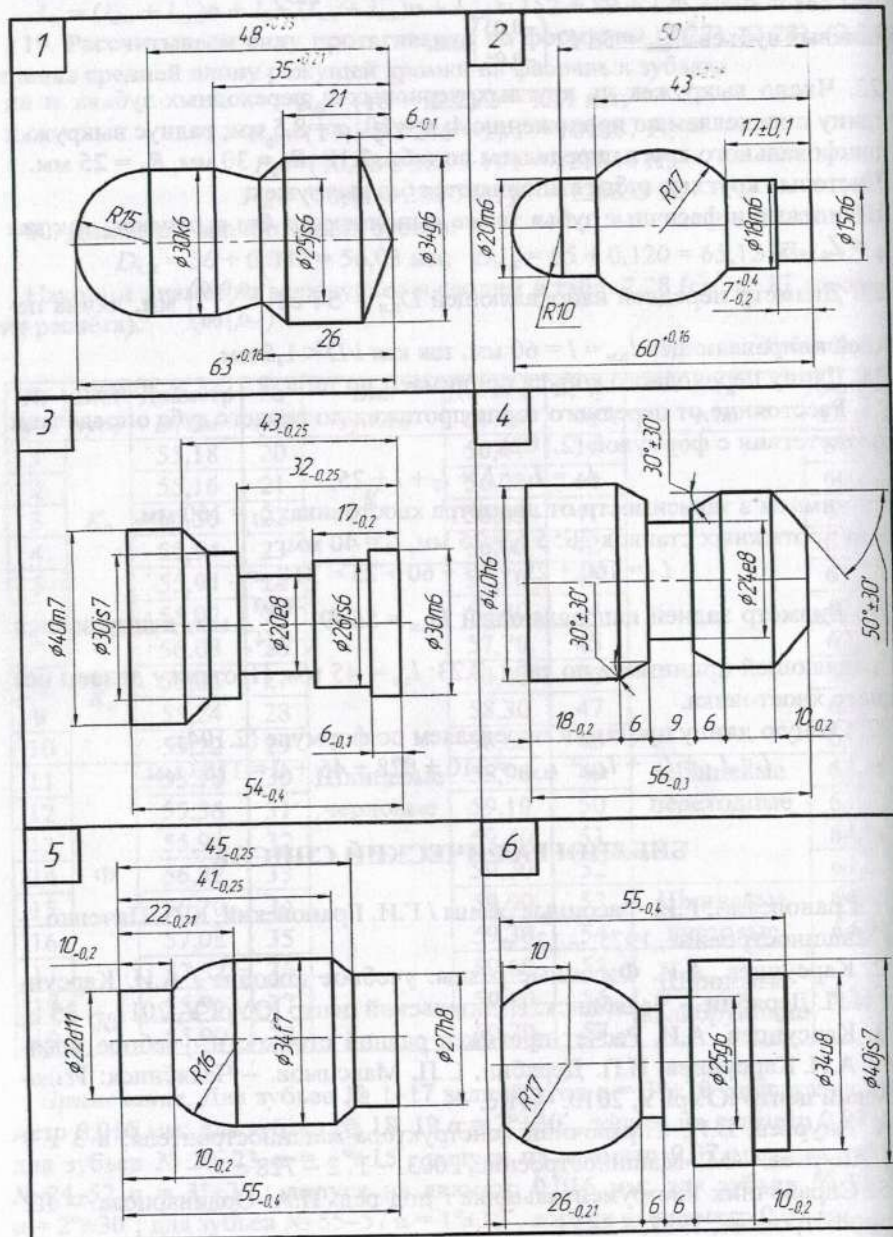
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Грановский, Г.И. Фасонные резцы / Г.И. Грановский, К.П. Паченко. – М.: Машиностроение, 1975. – 132 с.
- Карсунцев, А.И. Фасонные резцы: учебное пособие / А.И. Карсунцев, И.П. Дерябин. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. – 35 с.
- Карсунцев, А.И. Расчет протяжек равной стойкости: учебное пособие / А.И. Карсунцев, И.П. Дерябин, С.П. Максимов. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. – 61 с.
- Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3 т. / В.И. Анурьев. – М.: Машиностроение, 2003. – Т. 2 – 728 с.
- Справочник инструментальщика / под ред. И.А. Ординарцева. – Л.: Машиностроение, 1987. – 846 с.

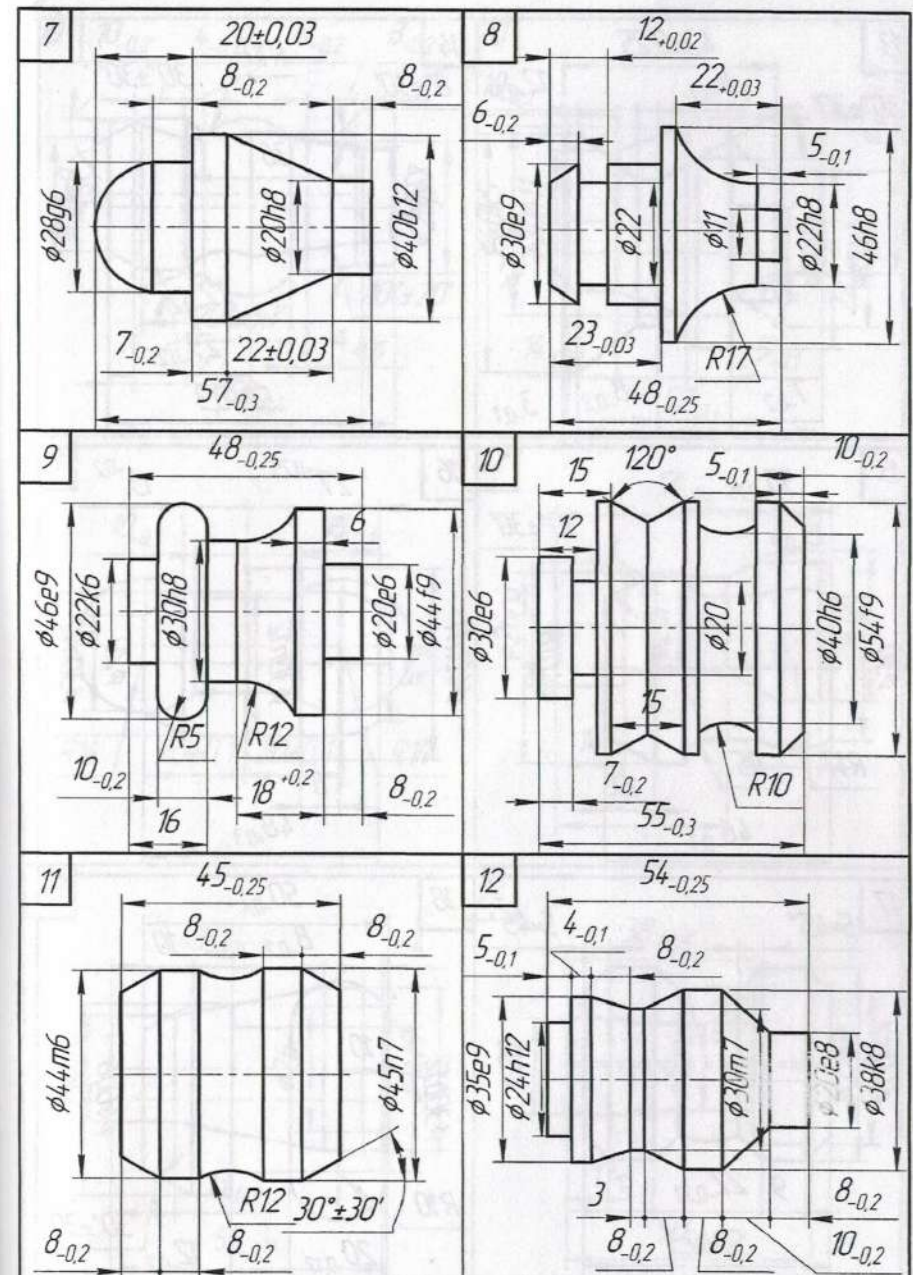
ПРИЛОЖЕНИЯ

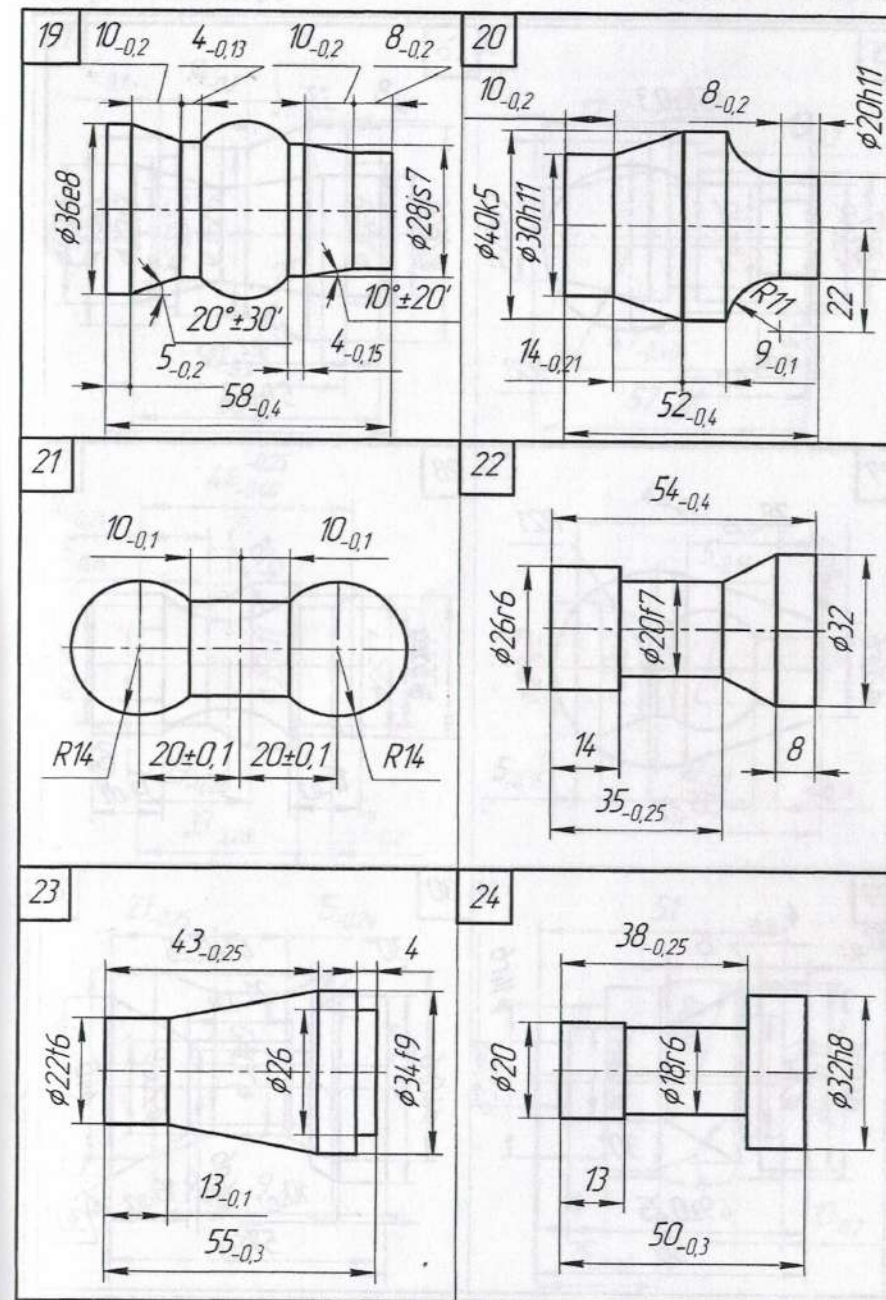
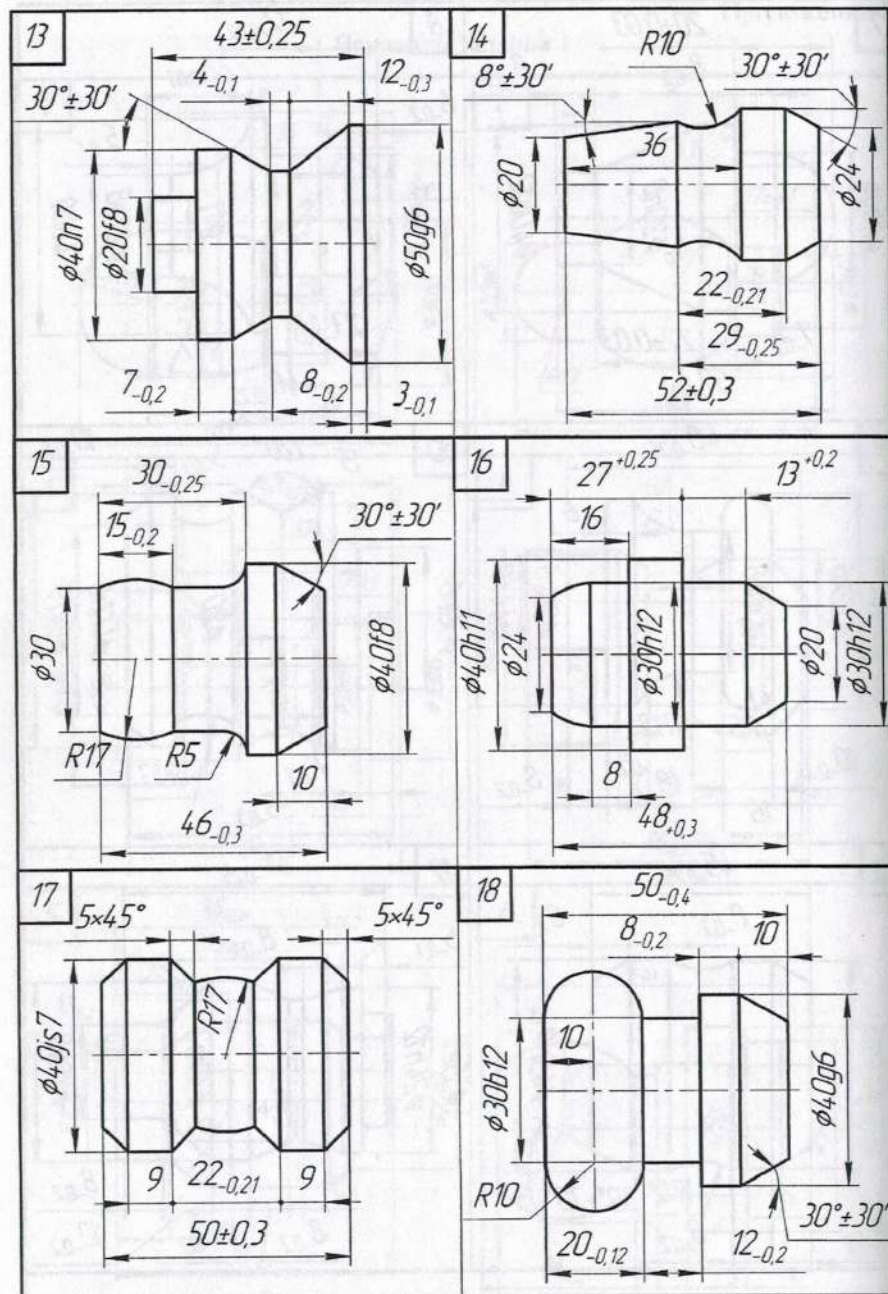
Приложение 1

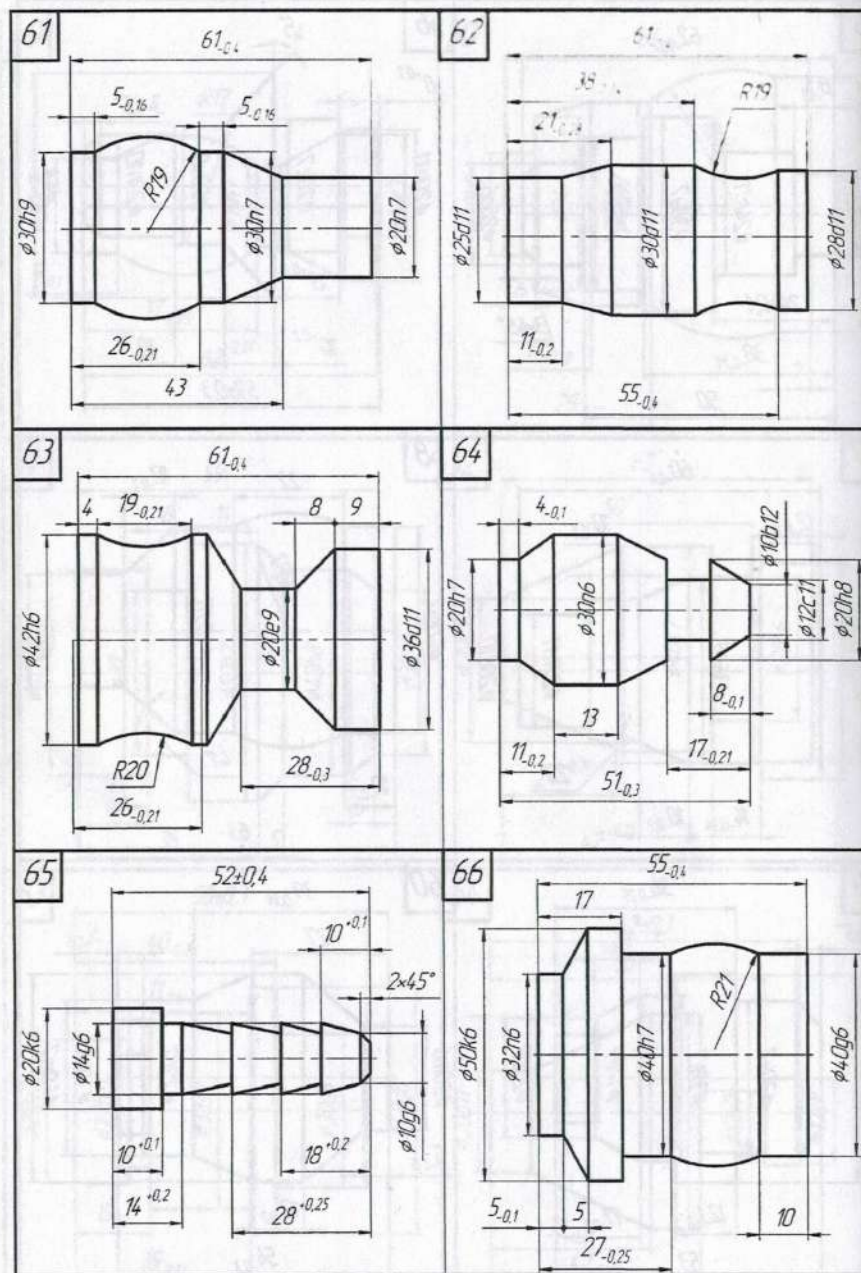
Варианты задания 1



Продолжение прил. 1







Средняя наработка протяжек из сталей P9, P18, P6M5 между отказами

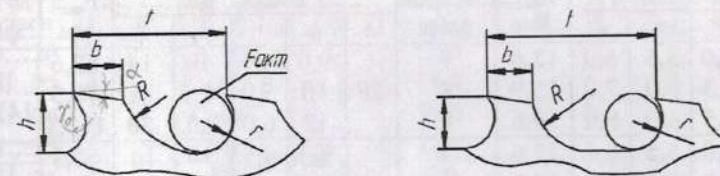
Скорость резания, м/мин	Нароботка чистой части, мин	Нароботка черновой части, мин, при подаче черновых зубьев S_{zc} , мм/зуб на сторону															
		0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	
Стали 1 группы обрабатываемости																	
1,5	167	462	427	402	383	354	333	317	304	286	265	246	212	188	169	155	
2	143	381	352	332	316	292	275	262	251	236	218	203	175	155	140	128	
3	115	290	268	253	241	223	210	200	191	180	166	155	133	118	106	97	
4	99	239	221	208	198	184	173	165	158	148	137	128	110	97	88	80	
5	87	206	191	180	171	162	149	142	136	128	118	110	95	84	76	69	
6	79	182	169	159	151	140	132	125	120	113	105	97	84	74	67	61	
7	73	164	152	143	136	126	119	113	108	102	94	88	76	67	60	55	
8	66	150	139	131	125	115	109	103	99	93	86	80	69	61	55	50	
9	64	139	129	121	115	107	100	96	92	86	80	74	64	57	51	47	
10	60	129	121	113	107	99	94	89	85	80	74	69	60	53	48	43	
11	57	121	112	106	101	93	88	84	80	75	70	65	56	49	45	41	
12	54	115	106	100	95	88	83	79	75	71	66	61	53	47	42	39	
13	52	109	101	95	90	83	78	75	71	67	62	58	50	44	40	37	
14	50	101	96	90	86	79	75	71	68	64	59	55	47	42	38	35	
15	48	99	91	86	82	76	72	68	65	61	57	53	45	40	36	33	
Стали 2 группы обрабатываемости																	
1,5	138	310	287	270	257	238	224	214	205	195	180	168	145	128	116	106	
2	118	256	237	223	212	196	185	176	169	161	149	139	119	105	95	87	
3	95	195	180	170	162	150	141	134	129	122	113	106	91	80	73	66	
4	81	161	149	140	133	124	116	111	106	101	93	87	75	66	60	55	
5	72	138	128	121	115	106	100	95	91	87	80	75	65	57	52	47	
6	65	123	115	107	101	94	89	84	81	77	71	66	57	51	46	42	
7	60	111	104	96	92	85	80	76	71	70	64	60	52	46	41	38	
8	56	101	94	88	84	78	73	70	67	64	59	55	47	42	38	34	
9	52	93	87	81	77	72	68	64	62	59	54	51	44	39	35	32	
10	49	87	81	76	72	67	63	60	58	55	50	47	41	36	32	30	
11	47	82	76	71	68	63	59	56	54	51	47	44	38	34	30	28	
12	45	77	71	67	64	59	56	53	51	48	45	42	36	32	28	26	
13	43	71	67	64	61	56	53	50	48	46	43	40	34	30	27	25	
14	41	69	64	61	58	53	50	48	46	44	41	38	32	28	26	24	
15	39	66	61	58	55	51	48	46	44	42	39	36	31	27	25	23	
Стали 3 группы обрабатываемости																	
		0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20					
1,5	113	226	209	197	187	173	163	155	149	138	127	119					
2	97	186	172	162	154	143	135	128	123	114	105	98					
3	78	142	131	124	118	109	103	98	94	87	80	75					
4	67	117	108	102	97	90	85	81	77	71	66	62					

Скорость резания, м/мин		Нарботка чистой части, мин	Нарботка черновой части, мин, при подаче черновых зубьев													
			S_{zc} , мм/зуб на сторону													
			0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20			
5	59	101	93	88	84	77	73	69	67	62	57	53				
6	54	89	83	78	74	68	65	61	59	54	50	47				
7	49	80	74	70	67	62	58	55	53	49	45	42				
8	46	74	68	64	61	56	53	51	49	45	41	39				
9	43	68	63	59	56	52	49	47	45	42	38	36				
10	41	63	59	55	52	49	46	44	42	39	36	33				
11	39	59	55	52	49	46	43	41	39	36	34	31				
12	37	56	52	49	46	43	41	39	37	34	32	29				
Стали 4 группы обрабатываемости																
		0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,10	0,12	0,15							
0,7	152	268	242	223	209	189	174	163	151							
1	120	202	183	169	158	143	132	123	114							
1,5	91	147	133	123	115	104	96	90	83							
2	75	117	106	98	92	83	76	72	66							
2,5	66	99	89	82	77	69	64	60	56							
3	57	85	77	71	67	60	56	52	48							
3,5	52	76	68	63	59	53	49	46	42							
4	47	68	61	57	53	48	44	42	38							
4,5	44	62	56	52	49	44	40	38	35							
5	41	57	52	48	45	40	37	35	32							
5,5	38	53	48	44	41	37	34	32	30							
6	36	50	44	41	38	35	32	30	28							
Стали 5 группы обрабатываемости																
		0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,10	0,12	0,15							
0,7	74	100	91	84	78	74	71	68	65							
1	59	76	68	63	59	56	53	51	49							
1,5	45	55	50	46	43	41	39	37	36							
2	37	44	40	37	34	32	31	30	29							
2,5	32	37	33	31	29	27	26	25	24							
3	28	32	29	27	25	24	23	22	21							
3,5	25	28	26	24	22	21	20	19	18							
4	23	26	23	21	20	19	18	17	17							
4,5	22	23	21	19	18	17	16	16	16							
5	20	21	19	18	17	16	15	14	14							
5,5	19	20	18	17	16	15	14	13	13							
6	18	18	17	15	14	14	13	12	12							
7	16	16	15	14	13	12	12	11	11							
8	15	15	13	12	12	11	10	10	10							
Стали 6 группы обрабатываемости																
		0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40
2	101	339	317	301	289	270	257	247	238	228	216	205	185	170	158	148
3	132	265	248	235	226	211	201	192	186	178	168	160	144	132	123	116

Скорость резания, м/мин	Нарботка чистовой части, мин	Нарботка черновой части, мин, при подаче черновых зубьев S _{zc} , мм/зуб на сторону															
		0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	
4	115	222	208	198	189	177	168	161	156	149	141	135	121	111	104	97	
5	130	194	181	172	165	155	147	141	136	130	123	117	106	97	90	85	
6	94	174	162	154	148	138	131	126	122	117	110	105	95	87	81	76	
7	87	158	148	140	135	126	120	115	111	106	100	96	86	79	73	69	
8	82	146	136	129	124	116	110	106	102	98	93	88	79	73	68	64	
9	77	136	127	120	115	108	103	98	95	91	86	82	74	68	63	59	
10	73	127	119	113	108	101	97	92	89	85	81	77	69	64	59	56	
11	70	120	112	106	102	95	91	87	84	80	76	73	65	60	56	52	
12	67	114	106	101	97	91	86	83	80	76	72	69	62	57	53	50	
13	64	108	101	96	92	86	82	79	76	73	69	66	59	54	50	47	
14	62	103	97	92	88	83	78	75	73	70	66	63	55	52	48	45	
15	60	99	93	86	85	79	75	72	70	67	63	60	54	50	46	43	
Стали 7 группы обрабатываемости																	
2	99	195	183	174	166	156	148	142	137	134	126	120	108	99	82	87	
3	81	158	143	136	130	122	116	111	107	104	99	94	84	77	72	68	
4	71	128	120	114	109	102	97	92	90	87	83	79	71	65	60	57	
5	63	112	105	99	95	89	85	81	78	76	72	69	62	57	53	50	
6	58	100	93	89	85	80	76	73	70	68	65	61	55	51	47	44	
7	54	91	85	81	78	73	69	66	64	62	59	56	50	46	43	40	
8	50	84	78	75	71	67	64	61	59	57	54	52	46	43	40	37	
9	47	78	73	69	66	62	59	57	55	53	50	48	43	40	37	35	
10	45	73	68	65	62	58	55	53	51	50	47	45	40	37	35	32	
11	43	69	64	61	59	55	52	50	48	47	44	42	38	35	33	31	
12	41	65	61	58	56	52	49	47	46	45	42	40	36	33	31	29	
13	39	62	58	55	53	50	47	45	44	43	40	38	34	31	29	27	
14	38	59	56	53	51	48	45	43	42	41	38	36	33	30	28	26	
15	37	57	54	51	49	46	43	41	40	39	37	35	32	29	27	25	
Стали 8 группы обрабатываемости																	
2	510	1033	967	919	881	825	783	751	725	687	650	618	557	511	475	446	
3	418	807	755	717	688	644	612	586	566	536	507	483	435	399	371	349	
4	363	677	634	602	577	540	513	492	475	450	426	405	365	335	311	292	
5	326	591	553	525	504	472	448	430	415	393	372	354	318	292	272	255	
6	298	529	495	470	451	422	401	384	371	351	332	316	285	262	243	228	
7	276	481	450	428	410	384	365	350	338	320	303	288	259	238	221	208	
8	259	444	415	394	378	354	336	322	311	295	279	266	239	219	204	192	
9	244	413	386	367	352	329	313	300	290	274	260	247	222	204	190	178	
10	232	387	362	344	330	309	294	281	272	257	244	232	209	192	178	167	
11	221	365	342	325	311	292	277	265	256	243	230	219	197	181	168	158	
12	212	346	324	308	295	276	263	252	243	230	218	207	187	171	159	150	
13	204	330	309	293	281	263	250	240	231	219	207	197	178	163	152	142	

Скорость резания, м/мин	Нарботка чистовой части, мин	Нарботка черновой части, мин. при подаче черновых зубьев															
		S_n , мм зуб на сторону															
		0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	
14	197	315	295	280	269	252	239	229	221	210	198	189	170	156	145	136	
15	190	302	283	269	258	241	229	220	212	201	190	181	163	150	139	131	
Стали 9 группы обрабатываемости																	
2	261	497	465	442	424	397	377	361	349	332	314	299	269	247	230	216	
3	214	388	363	345	331	310	294	282	273	259	245	233	210	193	179	168	
4	186	326	305	290	278	260	247	236	229	217	206	196	176	162	150	141	
5	167	284	266	253	242	227	217	207	200	190	180	171	154	141	131	123	
6	152	254	238	226	217	203	193	185	179	170	161	153	138	126	118	110	
7	141	232	217	206	193	185	176	168	162	155	146	139	125	115	107	100	
8	132	213	200	190	182	170	162	155	150	142	135	128	115	106	99	93	
9	125	199	186	177	169	158	151	144	139	133	125	119	108	99	92	86	
10	118	186	174	166	159	149	141	135	131	124	118	112	101	93	86	81	
11	113	176	164	156	150	140	133	128	123	117	111	106	95	87	81	76	
12	108	167	156	148	142	133	126	121	117	111	105	100	90	83	77	72	
13	104	159	149	141	135	127	120	115	111	106	100	95	86	79	73	69	
14	100	152	142	135	129	121	115	110	106	101	96	91	82	75	70	66	
15	97	145	136	129	124	116	110	106	102	97	92	87	79	72	67	63	
Стали 10 группы обрабатываемости																	
		0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20					
1	294	626	594	570	551	523	503	486	473	461	452	443					
1,5	257	508	482	463	448	425	408	394	384	375	366	359					
2	234	438	415	399	386	366	352	340	331	323	315	310					
2,5	217	389	370	356	344	326	314	303	295	283	282	278					
3	204	355	336	324	313	297	285	276	268	262	256	252					
3,5	194	328	311	300	289	274	264	255	248	242	237	232					
4	185	306	291	279	270	257	246	238	231	226	221	217					
4,5	178	288	274	263	254	242	232	224	218	213	208	204					
5	172	274	259	249	241	228	219	212	206	201	197	193					
5,5	167	260	247	237	229	217	209	202	196	192	188	184					
6	162	249	236	226	219	208	200	193	188	183	179	176					
7	154	228	218	209	202	192	184	178	173	169	166	163					
8	147	214	203	195	189	179	172	167	162	158	155	152					
9	141	202	191	184	178	169	162	157	152	149	146	143					
10	137	191	181	174	168	160	154	148	144	141	138	136					

Профиль с удлиненной стружечной канавкой (У)



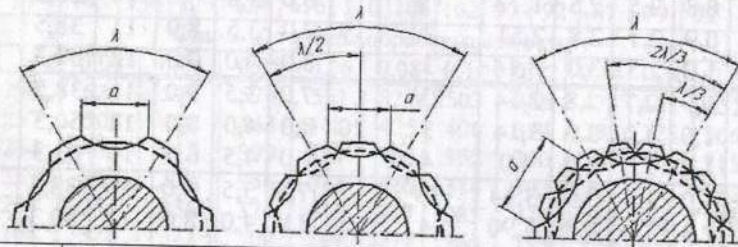
Размеры зубьев

Размеры, мм					$F_{акт}$ мм	№ про- филя	Размеры, мм					$F_{акт}$ мм	№ про- филя
t	h	r	b	R			t	h	r	b	R		
4,0	1,6	0,8	1,5	2,5	1,77	1	16	5,0	2,5	7,0	8,0	19,6	9У
	1,8	0,9	1,2	2,8	2,54	2		6,0	3,0	6,5	10	28,3	10
4,5	1,6	0,8	2,0	2,5	1,77	1	17	7,0	3,5	5,0	11	38,3	11
	1,8	0,9	1,7	2,8	2,54	2		6,0	3,0	7,5	10	28,3	10
5,0	2,0	1,0	2,0	3,0	3,14	3	18	7,0	3,5	6,0	11	38,5	11
	1,6	0,8	2,2	2,5	1,77	1У		8,0	4,0	6,0	12	50,3	12
5,5	1,8	0,9	2,2	2,8	2,54	2	19	6,0	3,0	8,5	10	28,3	10У
	2,0	1,0	2,0	3,0	3,14	3		7,0	3,5	8,0	11	38,5	11
6,0	1,6	0,8	2,5	2,5	1,77	1У	20	8,0	4,0	7,0	12	50,3	12
	1,8	0,9	2,7	2,8	2,54	2У		9,0	4,5	6,0	14	63,3	13
7	2,0	1,0	3,0	3,0	3,14	3	21	7,0	3,5	9,0	11	38,5	11У
	2,5	1,3	2,0	4,0	4,0	4		8,0	4,0	8,0	12	50,3	12
8	3,0	1,5	2,3	5,0	7,10	5	22	9,0	4,5	7,0	14	63,3	13
	2,5	1,3	4,0	4,0	4,9	4		7,0	3,5	9,0	11	38,5	11У
9	3,0	1,5	3,3	5,0	7,1	5	24	8,0	4,0	9,0	12	50,3	12У
	3,6	1,8	2,5	5,5	9,6	6		9,0	4,5	10	14	63,3	13
10	2,5	1,3	4,0	4,0	4,9	4У	25	10	5,0	8,5	16	78,5	14
	3,0	1,5	4,3	5,0	7,1	5		8,0	4,0	10	12	50,3	12У
11	3,6	1,8	4,5	5,5	9,6	6	26	9,0	4,5	10	14	63,3	13У
	4,0	2,0	3,5	6,0	12,6	7		10	5,0	10,5	16	78,3	14
11	3,6	1,8	4,5	5,5	9,6	6У	26	8,0	4,0	10,5	12	50,3	12У
	4,0	2,0	4,5	6,0	12,6	7		9,0	4,5	10	14	63,3	13У
11	4,5	2,3	4,0	7,0	15,9	8	26	10	5,0	10,5	16	78,5	14
	4,5	2,3	4,0	7,0	15,9	8		10	5,0	10,5	16	78,5	14

Размеры, мм					$F_{акт}$, мм	№ профиля	Размеры, мм					$F_{акт}$, мм	№ профиля
t	h	r	b	R			t	h	r	b	R		
12	4,0	2,0	5,5	6,0	12,6	7	28	9,0	4,5	10	14	63,6	13У 14У 15
	4,5	2,3	5,0	7,0	15,9	8		10	5,0	10,5	16	78,5	
	5,0	2,5	4,0	8,0	19,6	9		12	6,0	9,5	20	113,1	
13	4,0	2,0	5,5	6,0	12,6	7У	30	9,0	4,5	10	14	63,3	13У 14У 15
	4,5	2,3	6,0	7,0	15,9	8		10	5,0	12	16	78,5	
	5,0	2,5	5,0	8,0	19,6	9		12	6,0	11,5	20	113,1	
14	4,5	2,3	6,0	7,0	15,9	8У	32	9,0	4,5	10	14	63,3	13У 14У 15У
	5,0	2,5	6,0	8,0	19,6	9		10	5,0	12	16	78,5	
	6,0	3,0	4,5	10	28,3	10		12	6,0	9,5	20	113,1	
15	4,5	2,3	6,0	7,0	15,9	8У							
	5,0	2,5	7,0	8,0	19,6	9							
	6,0	3,0	5,5	10	28,3	10							

Приложение 4

Число и размер выкружек на черновых зубьях круглых протяжек, мм
 Секция из 2 зубьев ($z_c=2$) Секция из 3 зубьев ($z_c=3$) Секция из 4 зубьев ($z_c=4$)



Диаметр зубьев	$z_c=2$		$z_c=3$		$z_c=4$		$z_c=5$	
	N	a	N	a	N	a	N	a
6...7		2,5						
7...8		3,0						
8...9		3,5						
9...10	4	4,0						
10...11		4,5						
11...12		5,0						
12...13		5,5						
13...15		6,0						
15...16	6	4,0		8,0				
16...17		4,5		8,5				
17...18		5,0	4	9,0				
18...19		5,0		9,5				

Диаметр зубьев	$z_c=2$		$z_c=3$		$z_c=4$		$z_c=5$	
	N	a	N	a	N	a	N	a
19...20	6	5,0	4	10,5				
20...22		5,5		11,0				
22...24		6,0		12,0				
24...25		6,5		13,0				
25...26	8	5,0	6	9,0	4	15,0		
26...28		5,5		9,5		16,0		
28...30		6,0		10,0		17,0		
30...32		6,0		11,5		18,0		
32...34		6,5		12,0		19,0		
34...36		7,0		13,0		20,0		
36...38		7,5		13,0		21,0		
38...40		7,5		13,0		22,0		
40...42	10	6,5		14,0		24,0	4	30,0
42...45		7,0		15,0		26,0		
45...48		7,5		16,0		28,0		
48...50		7,5		17,0		28,0		
50...52		8,0		18,0		20,0		
52...55		8,5		19,0		21,0		
55...60	12	7,5	8	15,0	6	22,0		34,0
60...63		8,0		16,0		24,0		
63...65		8,5		17,0		25,0		
65...70		9,0		18,0		26,0		
70...75		9,5		19,0		28,0		
75...80		9,0		20,0		30,0		
80...85		9,5		21,0		32,0		
85...90		10,0		22,0		34,0		
90...95	14	10,5		24,0		36,0	6	38,0
95...100		11,0		25,0		36,0		
100...105		10,0		21,0		30,0		
105...110		11,0		22,0		32,0		
110...120		11,5		24,0		34,0		
120...125		12,0		24,0		36,0		
125...130	16	12,0	10	26,0	8	38,0		
130...140		13,0		28,0		40,0		

Продолжение прил. 5

№ вар.	Форма отверстия	Размеры отверстия, мм		Длина прот.	Материал детали	Модель станка
		D	D_0			
65		10H7	8,4H9	20	Сталь 45	7Б510
66		11,2H7	10H9	25	Сталь 20Х	7Б510
67		12,5H7	10,8H9	28	Сталь 40ХН	7Б510
68		14H7	11,8H9	28	Сталь 20Г	7Б510
69		15H7	12,6H9	31,5	Сталь 50Г	7Б510
70		16H7	14H9	35,5	Чугун СЧ 21	7Б510
71		17H7	14H9	37,5	Чугун СЧ 21	7Б510
72		18H7	15,2H9	40	Чугун СЧ 21	7Б510
73		19H7	18H9	40	Сталь 45	7Б510
74		20H7	19H9	50	Сталь 20Х	7Б510
75		22,4H7	20,4H9	50	Сталь 40ХН	7Б510
76		25H7	22,6H9	56	Сталь 20Г	7Б520
77		28H7	26,8H9	63	Сталь 50Г	7Б520
78		31,5H7	30H9	63	Чугун СЧ 21	7Б520
79		35,5H7	33H9	71	Чугун СЧ 21	7Б520
80		40H7	38H9	85	Чугун СЧ 21	7Б520

82

Окончание прил. 5

№ вар.	Форма отверстия	Размеры отверстия, мм		Длина прот.	Материал детали	Модель станка
		D	D_0			
81		42,5H7	40H9	85	Сталь 45	7Б510
82		45H7	42,8H9	95	Сталь 20Х	7Б510
83		50H7	47,2H9	100	Сталь 20Г	7Б510
84		53H7	50,2H9	112	Сталь 40ХН	7Б510
85		56H7	54H9	125	Сталь 50Г	7Б510
86		60H7	58,1H9	125	Чугун СЧ 21	7Б510
87		63H7	60,6H9	140	Чугун СЧ 21	7А540
88		71H7	69H9	160	Чугун СЧ 21	7А540
89		75H7	73,2H9	170	Сталь 45	7А540
90		80H7	77H9	190	Сталь 20Х	7А540
91		85H7	82,6H9	170	Сталь 40ХН	7А540
92		90H7	87H9	140	Сталь 20Г	МП-180
93		95H7	91H9	180	Сталь 50Г	МП-180
94		100H7	97,6H9	150	Сталь 45	МП-180
95		67H7	65H9	160	Сталь 20Х	МП-180
96		47,5H7	44,5H9	125	Сталь 40ХН	МП-180

83