

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ордена ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА

Ю. А. КОПЫТИН, Б. Н. УЛАНОВ

# РАСЧЕТ ПРОТЯЖЕК

*Учебное пособие*

УДК 621.919.2(075)

Копытин Ю. А. Уланов Б. Н. *Расчет протяжек*: Учебное пособие / Куйбыш. авиац. ин-т. Куйбышев, 1989. С. 48.

Учебное пособие по курсу «Резание, режущий инструмент и станки» содержит основные определения процесса протягивания, методику расчета и проектирования круглых протяжек, включает рекомендации для расчета других наиболее распространенных типов протяжек, а также справочный материал, используемый при расчетах.

Пособие предназначено для студентов III—V курсов, выполняющих домашние задания и курсовые работы, а также может быть полезно при дипломном проектировании.

Рецензенты: Кравченко Б. А., Тарасов А. В.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Куйбышевского ордена Трудового Красного Знамени авиационного института имени академика С. П. Королева

## 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, ОТНОСЯЩИЕСЯ К ПРОТЯГИВАНИЮ

### 1.1. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОТЯГИВАНИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТ

*Протягивание* является одним из наиболее высокопроизводительных процессов обработки деталей резанием. Высокая производительность процесса протягивания объясняется тем, что в работе одновременно находится несколько зубьев инструмента с большой суммарной длиной режущих кромок. Протягивание позволяет получать поверхности высокой точности (7—8-й квалитет) и низкой шероховатости ( $R_a$  0,63...25 мкм). Можно выделить два основных вида протягивания: для обработки отверстий различной формы — *внутреннее* и для обработки наружных поверхностей — *наружное*.

Протягивание производится на вертикальных и горизонтальных протяжных станках. Наиболее распространены горизонтально-протяжные станки, которые в основном приспособлены для обработки отверстий. Вертикальные станки занимают меньшую площадь, удобны в обслуживании и находят преимущественное применение при массовом изготовлении легких и средних по весу деталей, особенно при наружном протягивании.

Процесс протягивания происходит следующим образом: обрабатываемая деталь (рис. 1) с предварительно изготовленным отверстием насаживается на переднюю направляющую часть протяжки, затем протяжка, пропущенная в отверстие переходной втулки и передней части станка, присоединяется к тяговому патрону станка. После этого включается рабочий ход станка, и протяжка протаскивается сквозь отверстие в детали. Когда протяжка полностью пройдет через отверстие в детали и снимет весь припуск металла, рабочий ход станка выключается и деталь снимается со станка.

Следовательно, процесс протягивания характеризуется простотой рабочего хода, отсутствием движения подачи как отдельного движения, кратчайшей траекторией резания каждого зуба, равной длине обрабатываемой поверхности.

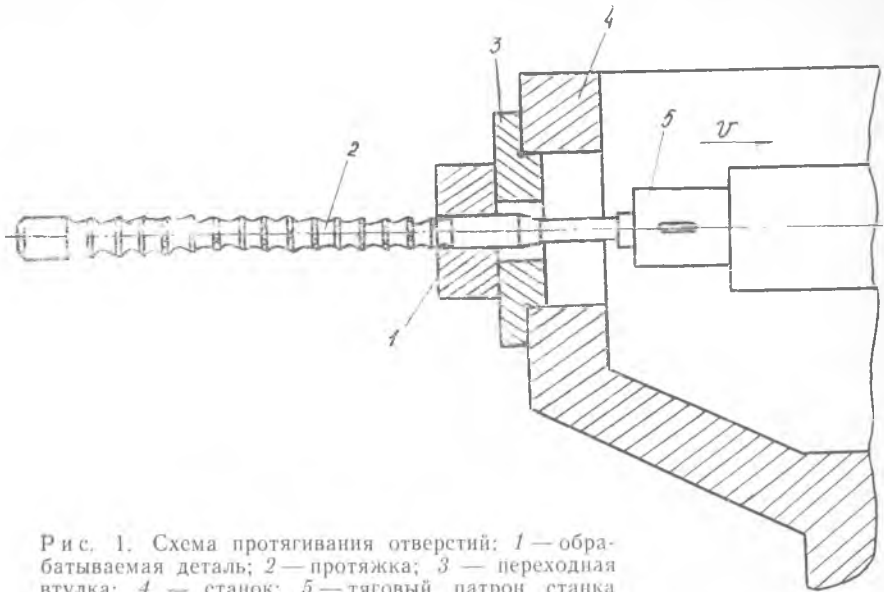


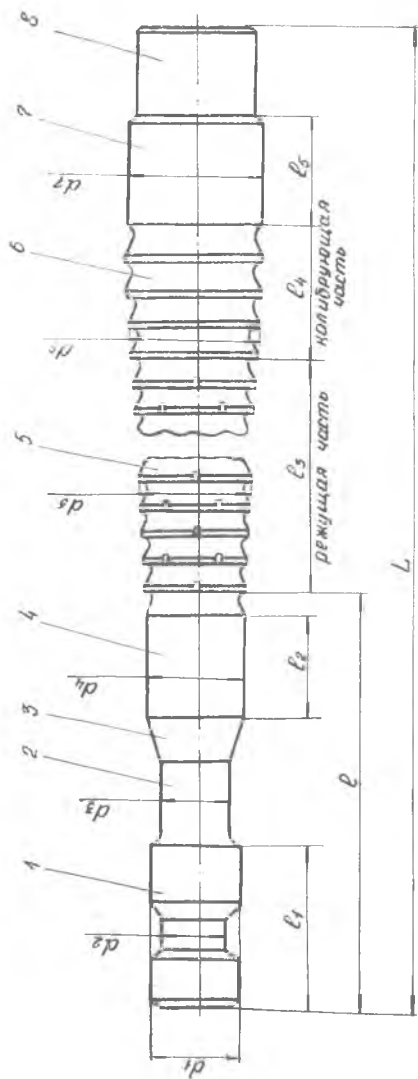
Рис. 1. Схема протягивания отверстий: 1 — обрабатываемая деталь; 2 — протяжка; 3 — переходная втулка; 4 — станок; 5 — тяговый патрон станка

При протягивании используется специальный режущий многолезвийный инструмент — *протяжка*. Протяжки представляют собой длинные стержни или полосы, выполненные из инструментальной стали и имеющие большое количество поперечных режущих кромок. Основные части протяжки показаны на рис. 2. *Хвостовик* служит для закрепления протяжки в патроне станка. Размеры хвостовиков стандартизированы. Протяжки, обрабатываемые при изготовлении в центрах (цилиндрические, квадратные, шлицевые и т. п.), имеют цилиндрические хвостовики (ГОСТ 4044-70). Для протяжек, поперечное сечение которых представляет собой прямоугольник, трапецию и т. п. применяются призматические хвостовики (ГОСТ 4043-70). Фрагменты стандартов на хвостовики протяжек приведены в табл. П1 и табл. П2.

*Шейка* является вспомогательным элементом, связывающим хвостовик с направляющей и рабочей частями протяжки. Длина ее зависит от толщины стола и опорного кольца протяжного станка. Обычно на ней маркируют протяжку.

*Передний конус* облегчает направление детали или протяжки в момент входа направляющей части в предварительно подготовленное отверстие.

*Передняя направляющая часть* служит для центрирования обрабатываемого отверстия относительно оси протяжки, а так-



Р и с. 2. Основные части протяжки: 1—хвостовик; 2—шейка; 3—передний конус; 4—передняя направляющая часть; 5—режущая часть; 6—калибрующая часть; 7—задняя направляющая часть; 8—опорная цапфа

же исключает перекося детали на протяжке. Форма направляющей части должна соответствовать форме предварительно подготовленного отверстия.

Режущая часть с большим количеством зубьев обеспечивает срезание оставленного припуска. Размеры зубьев режущего участка протяжки (рис. 3) постепенно изменяются. Первый зуб имеет форму и размеры предварительного отверстия, а послед-

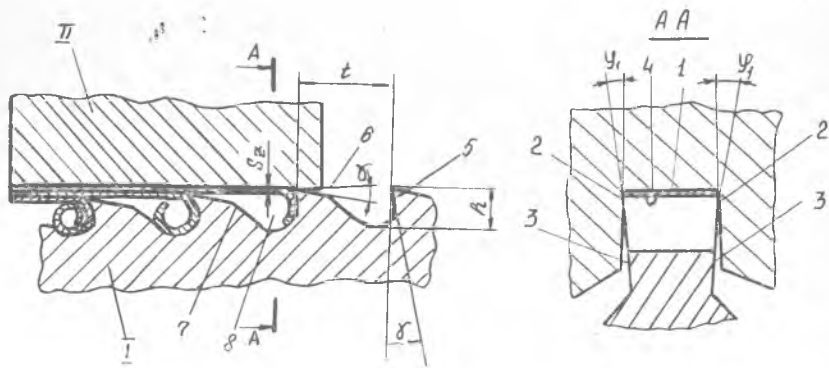


Рис. 3. Схема резания и элементы зуба протяжки; 1 — протяжка; II — обрабатываемая деталь;  $S_z$  — подача на зуб

ний — форму и размеры готового отверстия детали II. Все промежуточные зубья увеличиваются в своих размерах на величину подачи на зуб  $S_z$  от размера первого зуба до последнего, в результате чего и осуществляется последовательное срезание припуска.

На рис. 3 показаны элементы зуба протяжки: 1 — главная режущая кромка; 2 — переходные режущие кромки; 3 — вспомогательные кромки; 4 — стружкоразделительная канавка; 5 — передняя поверхность; 6 — задняя поверхность; 7 — спинка зуба; 8 — стружечная канавка. Размеры зубьев характеризуются основными величинами:  $t$  — шаг зубьев протяжки;  $h$  — глубина впадины зуба. Стружкоразделительные канавки необходимы для разделения стружки по ширине с целью облегчения ее удаления из канавок развертки после обработки детали.

Калибрующий участок протяжки имеет небольшое количество одинаковых зубьев, размеры и форма которых соответствуют размерам и форме готового отверстия. Калибрующий участок служит для заглаживания поверхности, полученной режущими зубьями и гарантирует получение размеров готового отверстия. Калибрующие зубья необходимы также для пополнения режущих зубьев из-за потери ими своих размеров при переточках.

*Задняя направляющая часть* поддерживает протяжку и препятствует повреждению обработанной поверхности при выходе последнего зуба из отверстия.

*Опорная цапфа* служит для поддержания скользящим люнетом тяжелых и длинных протяжек, без которого они сильно провисают и образуют неправильное отверстие. На корогких и жестких протяжках опорная цапфа не делается.

Являясь, в основном, специальным инструментом для обработки определенных деталей, протяжки имеют относительно высокую стоимость. Поэтому применение протягивания эффективно при серийном и массовом производстве изделий. Следует отметить, что протягивание экономически выгодно и при единичном, и мелкосерийном производстве при условии нормализации размеров и форм отверстий изготавливаемых деталей.

## 1.2. СХЕМЫ РЕЗАНИЯ

Схема резания при протягивании определяется последовательностью резания поперечного сечения металла, оставленного как припуск на изготовление детали, и во многом определяет конструкцию режущей части протяжки.

Обработка деталей протягиванием осуществляется по трем основным схемам: обыкновенная или профильная; групповая или прогрессивная; генераторная.

*Обыкновенная* или *профильная схема* (рис. 4,а) характеризуется срезанием каждым зубом тонких и широких слоев металла, параллельных обработанной поверхности. Зубья такой протяжки не участвуют в образовании готовой поверхности, кроме последнего зуба, который, снимая приходящийся на него припуск, придает поверхности ее окончательную форму и размеры. Данная схема резания применяется при протягивании простых по форме поверхностей — цилиндрических, квадратных, шестигранных отверстий и плоскостей. Протягивание сложных профилей по этой схеме резания нецелесообразно, так как изготовление каждого зуба по сложному профилю затруднено.

По второй схеме — *групповой* или *прогрессивной* (рис. 4,б) — широкие слои металла срезаются не каждым зубом, а группой из нескольких зубьев. Первые зубья групп прорезают в металле канавки, а последующие — оставшиеся промежутки между канавками. Уменьшение ширины среза, приходящееся на каждый зуб, позволит значительно увеличить подачу на зуб, что, в свою очередь, приведет к уменьшению числа режущих зубьев

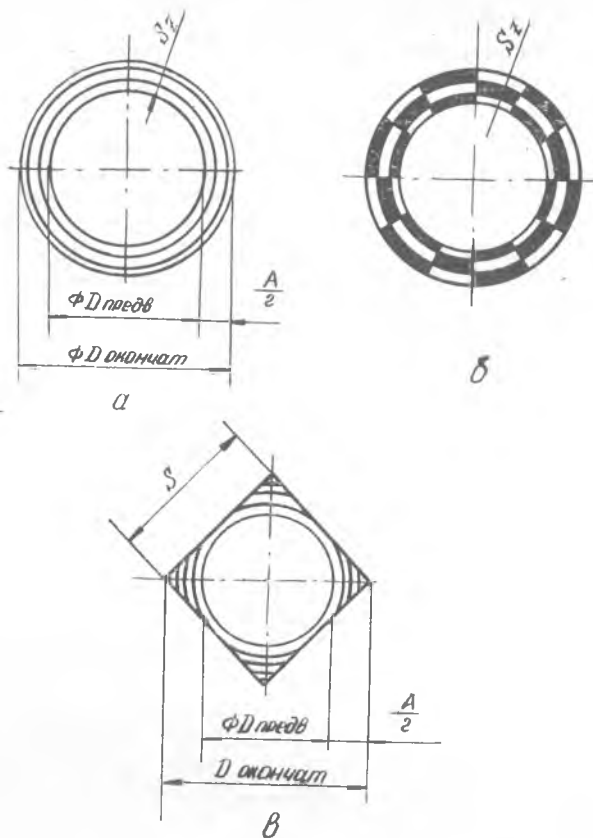


Рис. 4. Схемы протягивания: *а* — профильная; *б* — групповая или прогрессивная; *в* — генераторная

и повышению производительности обработки вследствие снижения общей длины протяжки. Кроме того, зубья протяжки группового резания, имеющие большой подъем на зуб, при обработке поверхности после литья или штамповки врезаются в металл под коркой — в результате стойкость инструмента повышается. Однако при обработке по групповой схеме на поверхности остаются продольные риски из-за неточности изготовления отдельных зубьев протяжки. Для получения поверхности высоких классов шероховатости и точности протяжка должна снабжаться дополнительными зубьями, работающими по профильной схеме.

*Генераторная схема* (рис. 4,в) характеризуется срезанием припуска относительно узкими и тонкими слоями, перпендику-



лярными или наклонными к обрабатываемой поверхности. В этой схеме каждый зуб, срезая свой припуск, участвует в образовании окончательной поверхности.

Генераторная схема широко применяется при протягивании квадратных отверстий, так как режущие кромки у протяжки очерчены дугами окружности и поэтому более технологичны в изготовлении. Протяжкам, работающим по генераторной схеме, присущи некоторые достоинства протяжек группового резания: так, уменьшение длины режущих кромок по мере приближения к углам квадрата позволяет увеличить подачу на зуб, сократить число режущих зубьев и общую длину протяжки.

## 2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОТЯЖЕК

### 2.1. ОБЩАЯ СХЕМА РАСЧЕТА ПРОТЯЖЕК ДЛЯ ОТВЕРСТИЯ

Проектирование протяжек требует комплексного решения ряда вопросов, специфических для этого вида инструмента. Протяжки являются сугубо специальным инструментом. Выбор их параметров зависит от размеров обрабатываемой детали и станка, применяемого для протягивания.

Основными этапами расчета протяжек являются определение подачи на зуб и расчет стружечных канавок для размещения в них стружки, определение силы резания, расчет на прочность и определение общей длины протяжки.

Для расчета протяжки должны быть заданы следующие исходные данные: форма и размеры отверстия до и после протягивания, свойства обрабатываемого материала, тяговое усилие станка, наибольшая длина его хода и вид смазочно-охлаждающей жидкости.

Порядок проектирования рассмотрим на примере расчета цилиндрической протяжки.

Определение припуска под протягивание  $A$ . Исходное отверстие под протягивание является круглым. Оно может быть обработано предварительно или получено сверлением. Припуск под протягивание можно определить по формуле

$$A = 0,005 D + (0,1 \dots 0,2) \sqrt{L_{от}^-},$$

где  $D$  — диаметр получаемого отверстия,  $L_{от}$  — длина отверстия.

Определение размеров передней направляющей части. Диаметр передней направляющей части протяжки  $d_4$  равен наименьшему диаметру предварительного отверстия, т. е.  $d_4 = D_{min}$  с допуском на изготовление  $e_8$ .

При протягивании деталь с предварительным отверстием некруглой формы (прямоугольной, овальной и т. д.), форма и размеры передней направляющей должны соответствовать форме и размерам этого предварительного отверстия.

Длина передней направляющей части  $l_2$  должна быть не меньше длины протягиваемого отверстия и не менее 20 мм для проверки правильности изготовления предварительного отверстия по всей длине. Если протягиваемое отверстие большой длины, то передняя направляющая часть делается не более (1...1,5)  $d_4$ .

Определение типа и размеров хвостовика. Протяжки, обрабатываемые при изготовлении в центрах (цилиндрические, квадратные, шлицевые), имеют цилиндрические хвостовики (ГОСТ 4044-70). Диаметр цилиндрического хвостовика принимается равным ближайшему меньшему стандартному значению по сравнению с диаметром передней направляющей части протяжки и выполняется с допуском на изготовление  $e_8$ .

Определение расстояния до первого зуба протяжки. Расстояние до первого зуба протяжки зависит от конструктивных особенностей станка и длины протягиваемой детали. Для наиболее распространенных станков его можно определить по формуле

$$l = 280 + L_{от}.$$

Определение шага режущих зубьев. Шаг режущих зубьев подсчитывается по формуле  $t_p' = m \sqrt{L_{от}}$ , где  $m = 1,25...1,5$ .

Чем крупнее партия деталей, подлежащих обработке, тем большее значение  $m$  принимается при расчете. По полученному значению  $t_p'$  выбирается большее значение гостированного шага  $t_p$  (для круглых протяжек ГОСТ 20365—74). Фрагменты данного стандарта приведены в табл. ПЗ.

Определение числа одновременно работающих зубьев. Максимальное число одновременно работающих зубьев вычисляется по формуле  $Z_{max} = L_{от}/t_p + 1$ . У полученного значения  $Z_{max}$  дробная часть отбрасывается. Необходимо стремиться к значению  $Z_{max} = 3...8$ , так как при значениях  $Z_{max} < 3$  появляются вибрации вследствие резкого изменения нагрузки, а при  $Z_{max} > 8$  увеличивается шероховатость полученной поверхности из-за плохих условий смазки. Поэтому, если  $Z_{max} < 3$ , нужно уменьшить шаг  $t_p$  или протягивать сразу по несколько деталей. Если  $t_p > L_{от}$ , то детали между собой нужно жестко крепить, в противном случае возможны провалы деталей между зубьями и поломка протяжки. При обработке прерывистых отверстий нужно выбирать шаг

режущих зубьев таким, чтобы на каждом пояске работал обязательно один зуб.

Определение формы и размеров профиля стружечной канавки. Форма, размеры и профиль стружечной канавки протяжки определяют по ГОСТ 20365—74 исходя из  $t_p$ . Фрагмент данного ГОСТа приведен в табл. П3. Из таблицы определяется глубина стружечной канавки  $h_k$  и площадь сечения стружечной канавки  $F_k$ .

Определение подъема на зуб на сторону  $S_z$ . Величина подъема на зуб на сторону определяет подачу при протягивании. При выборе величины  $S_z$  следует учитывать, что при больших значениях  $S_z$  уменьшается длина протяжки, но увеличивается тяговое усилие и протяжка испытывает большие напряжения.

Для большинства видов протяжек подъем на зуб делается у всех режущих зубьев одинаковым, за исключением нескольких последних зубцов, у которых подача на зуб постепенно уменьшается в направлении к калибрующим зубьям. Эти зубцы называются *переходными* и необходимы для плавного уменьшения нагрузки и получения более высокого класса шероховатости обработанной поверхности. Расчет величины подъема на зуб производят, исходя из двух условий: возможности размещения снятой стружки в стружечной канавке и по прочности протяжки в наиболее слабых сечениях.

Исходя из условия размещения стружки в канавке, величину подъема на зуб вычисляют по формуле

$$S_{zk} = F_k / KL_{от},$$

где  $F_k$  — площадь сечения стружечной канавки,

$K$  — коэффициент заполнения стружечной канавки (выбирается по табл. П4).

Из условия прочности протяжки величину подъема на зуб вычисляют по наименьшему из двух допустимых усилий в сечении выточки хвостовика  $F_x$  и впадины первого зуба  $F_{01}$ .

Величину подъема на зуб определяют, исходя из прочности протяжки, вычисляют по наименьшему из двух допустимых усилий в сечении выточки хвостовика  $F_x$  и впадины первого зуба  $F_{01}$ .

Наибольшее усилие, допустимое хвостовиком,  $P_x = F_x \cdot \sigma_x$ , где  $F_x$  — площадь сечения протяжки по выточке хвостовика (см. табл. П1),  $\sigma_x$  — допустимое напряжение на растяжение материала хвостовика (табл. П5).

Наибольшее усилие, допустимое по прочности, в сечении протяжки по впадине первого зуба

$$P_1 = F_1 \sigma_1 = \frac{\pi(D_{01} - 2h)^2}{4} \sigma_1,$$

где  $F_1$  — площадь сечения протяжки по впадине первого зуба,  $D_{01}$  — диаметр первого зуба протяжки, равный диаметру отверстия до протягивания и диаметру передней направляющей части,  $h$  — глубина стружечной канавки,  $\sigma_1$  — допустимое напряжение на растяжение материала режущей части протяжки (см. табл. П5).

Расчетное усилие  $P_p$  равно наименьшему из  $P_x$ ;  $P_1$ ;  $0,9 P_c$ , где  $P_c$  — тяговое усилие выбранного станка (см. табл. П6). Расчетное усилие равно силе резания при протягивании. Величина подъема на зуб, допустимая по силе резания, определяется по формуле

$$S_{zp} = \left( \frac{P_p}{C_p \pi D_0 Z_{\max} K_\gamma K_c K_v} \right)^{1/x},$$

где  $P_p$  — расчетное усилие,  $D_0$  — начальный диаметр протягиваемого отверстия,  $Z_{\max}$  — максимальное число одновременно работающих зубьев протяжки,  $C_p$  — постоянная, зависящая от обрабатываемого материала и формы протяжки (табл. П7),  $X$  — показатель степени (см. табл. П7),  $K_\gamma$ ,  $K_c$ ,  $K_v$  — поправочные коэффициенты на изменение условий протягивания, при которых определялась постоянная  $C_p$  (табл. П8).

Выбор схемы резания. Если при расчете величины подъема на зуб оказалось, что  $S_{zp} \geq S_{zk}$ , то следует применять одинарную схему резания. Если же  $S_{zp} < S_{zk}$ , то при конструировании протяжки следует применять групповую схему резания.

Особенности проектирования протяжек групповой схемы резания будут рассмотрены ниже.

Определение размеров режущих зубьев. Диаметр первого зуба принимается равным наименьшему диаметру предварительного отверстия, диаметр каждого последующего зуба увеличивается на  $2 S_z$  для протяжек двухстороннего резания. На последних 2—3-х зубьях, предшествующих калибрующим зубьям, подъем на зуб постепенно уменьшают в целях плавного снижения усилия протягивания.

Вычисленные размеры зубьев заносятся в таблицу на чертеже.

Определение числа режущих зубьев. Число режущих зубьев определяется по формуле

$$Z_p = \frac{A}{2 S_z} + (2 \dots 3).$$

Определение длины режущей части протяжки. Длина режущей части протяжки определяется по формуле

$$l_p = t_p (Z_p - 1).$$

Определение размеров калибрующих зубьев. Для обеспечения наибольшей долговечности внутренней протяжки размер калибрующих зубьев необходимо принимать равным наибольшему допустимому размеру готового отверстия  $D_{\max}$  с учетом деформации, возникающей при протягивании:

$$d_0 = D_{\max} \pm \delta,$$

где  $\delta$  — остаточная деформация при «разбивании» отверстия (—), при «усадке» — (+). Знак  $\delta$  — зависит от размеров детали, обрабатываемого материала, качества изготовления протяжки и степени ее затупления.

При протягивании тонкостенных деталей наблюдается «усадка» из-за значительных упругих деформаций стенок обрабатываемой детали. Протягивание толстостенных деталей и особенно деталей из пластичных материалов характеризуется «разбиванием» отверстия из-за налипания обрабатываемого материала на зубья протяжки. Для протяжек длиной  $L < 800$  мм следует задавать  $\delta = 0,005 \dots 0,01$  мм, при  $L > 800$  мм —  $\delta = 0,01 \dots 0,015$  мм.

Указанные величины  $\delta$  учитываются только при протягивании отверстий 7...8 квалитетов точности. При обработке отверстий с большими допусками (10 квалитет и грубее) диаметр калибрующих зубьев определяется по формуле

$$d_0 = D_{\max} - (0,01 \dots 0,015).$$

Схема расположения полей допусков отверстия и калибрующих зубьев протяжки приведена на рис. 5. Число калибрующих зубьев выбирается по табл. П9. Шаг калибрующих зубьев  $t_k$

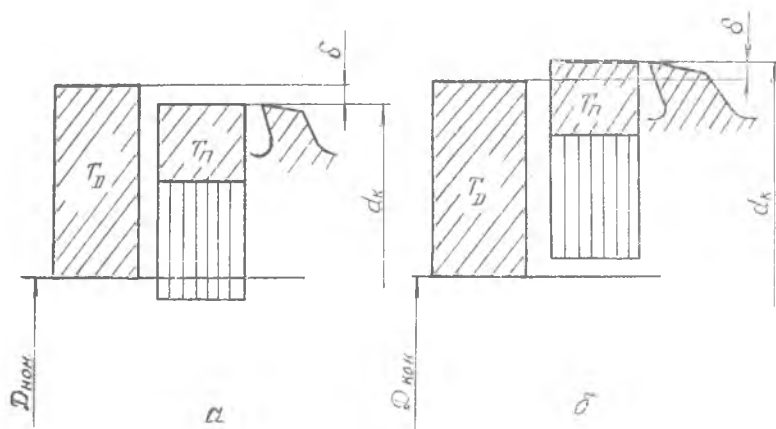


Рис. 5. Размер калибрующих зубьев протяжки: а — в случае разбивки; б — в случае усадки

принимается равным шагу режущих зубьев для всех видов протяжек кроме протяжек для обработки точных отверстий (7...9 качества), для которых он берется равным:

$$t_k = (0,6 \dots 0,7) t_p.$$

Длина калибрующей части протяжки определяется по формуле

$$l_4 = t_k z_k.$$

Определение геометрии режущей части зубьев протяжки. Величину переднего угла режущей и калибрующей части протяжки выбирают согласно данным табл. П10. Задний угол зубьев протяжек должен быть: для черновых и переходных 3°, чистовых 2°, калибрующих 1°. Величина фаски  $f$  на режущих зубьях допускается не более 0,05 мм; на калибрующих зубьях ее плавно увеличивают от первого калибрующего зуба к последнему с 0,2 до 1,0 мм.

Определение количества и размеров стружкоразделительных канавок. Зубья режущей части протяжек обычно имеют стружкоразделительные канавки, которые предназначены для деления широкой стружки на отдельные узкие. Они облегчают работу протяжки и создают лучшие условия размещения стружки во впадине зуба. Количество и размеры стружкоразделительных канавок приведены в табл. П11.

Протяжки всех типов для обработки чугуна и других хрупких материалов можно изготавливать без стружкоразделительных канавок. Стружкоразделительные канавки делают в шахматном порядке на соседних зубьях и только на режущем участке протяжки. Направление канавок должно быть параллельно направлению движения протяжки, дно канавки располагается параллельно задней грани. Располагать дно канавки параллельно оси протяжки допускается при сравнительно малых шагах, затрудняющих выход шлифовального круга при изготовлении.

Определение конструктивных размеров задней направляющей части. Для цилиндрических, шлицевых, эвольвентных, гранных протяжек задняя направляющая часть имеет форму цилиндра с диаметром  $d_7$ , равным наименьшему диаметру протянутого отверстия (для гранных протяжек — наименьшему диаметру вписанной окружности). Для протяжек фасонной формы задняя направляющая часть должна соответствовать форме протянутого отверстия с размерами, равными наименьшим размерам протянутого отверстия. Длина задней направляющей  $l_5$  должна быть достаточной, чтобы обеспечить хорошее направление в готовом отверстии.

Длину задней направляющей части протяжки определяют по формуле

$$l_5 = (0,5 \dots 1,0) L_{от}.$$

При отсутствии опорной цапфы для люнета (см. рис. 2) длина задней направляющей должна быть не меньше  $0,5 d_7$  и не менее 20 мм. При протягивании прерывистых отверстий (с выточкой) длина задней направляющей части должна быть больше длины выточки. Допустимые отклонения на поперечные размеры задней направляющей задаются по виду допуска  $e 8$ .

Определение общей длины протяжки. Общая длина протяжки определяется как сумма длин режущего и калибрующего участка, расстояние до первого зуба и длины заднего направляющего участка:  $L = l + l_3 + l_4 + l_5$ .

Длина протяжки не должна превышать длину хода станка и допустимую длину из условий жесткости, которая может быть определена как  $L_{доп} = 40 d_4$ . Если общая длина протяжки превышает наибольшую длину хода станка или  $L_{доп}$ , то делают комплект протяжек. Общее число зубьев делится на принятое число протяжек в комплекте таким образом, чтобы длины протяжек комплекта получились одинаковыми.

В результате проведенных расчетов изготавливается чертеж протяжки. Типовое оформление чертежа приводится в соответствующем разрабатываемой протяжке ГОСТе.

## 2.2. ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ПРОТЯЖКИ ГРУППОВОГО РЕЗАНИЯ

Протяжки группового резания работают по принципу разделения ширины срезаемого слоя. Протяжки имеют зубья 4-х видов: обдирочные или черновые, переходные, чистовые и калибрующие. Обдирочные и переходные зубья работают секциями, имеющими несколько зубьев одинакового диаметра, но с режущими кромками, смещенными по ширине среза. Подача осуществляется увеличением диаметра зубьев каждой секции.

Для разделения стружки по ширине на черновых и переходных прорезных зубьях делаются дуговые углубления — выкрушки с задним углом  $4 \dots 6^\circ$ .

Схема расположения режущих кромок у круглых протяжек группового резания представлена на рис. 6. Последний зуб каждой секции выполняется с круговой кромкой и называется *зачистным*, он имеет, как правило, диаметр на  $0,03 \dots 0,05$  мм меньше, чем прорезные зубья той же секции.

Как уже отмечалось (см. п.1.2), групповая схема резания часто позволяет сократить длину режущей части протяжки, поэтому при конструировании протяжек для цилиндрических отвер-

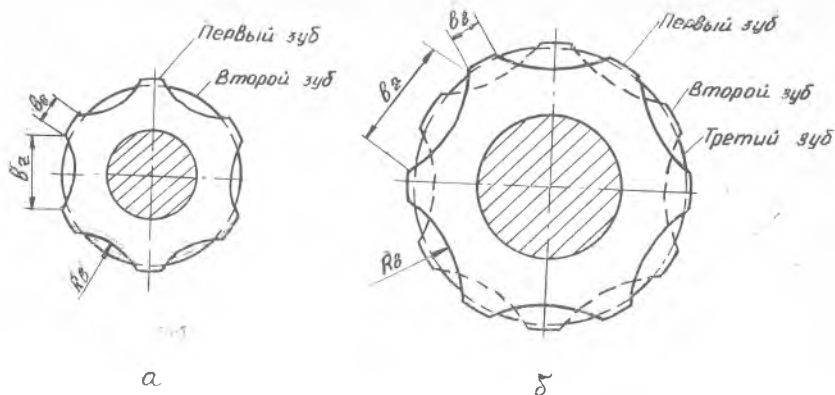


Рис. 6. Расположение режущих кромок круглой протяжки группового резания: а — секция из 2-х зубьев ( $Z_c = 2$ ); б — секция из 3-х зубьев ( $Z_c = 3$ )

стей желательно провести сравнение расчетных длин протяжек одинарной и групповой схем резания. Расчет длины протяжки групповой схемы резания ведется в следующей последовательности.

1. Полный припуск распределяем на припуски, снимаемые черновыми, переходными и чистовыми секциями режущей части протяжки. Припуск, снимаемый черновыми зубьями, представляет собой разность между полным припуском  $A$  и припусками, приходящимися на переходные  $A_{пер}$  и чистовые  $A_{чист}$  зубья, т. е.  $A_{чер} = A - (A_{пер} + A_{чист})$ . Припуск на переходные секции, а также количество секций выбирается по табл. П12.

Припуск на чистовые зубья  $A_{чист}$  составляет 0,14...0,15 мм при протягивании отверстий 7-го качества, 0,1...0,12 мм для 8—9-го квалитетов и 0,04...0,05 мм для отверстий 10 и более грубых квалитетов.

2. Конструкцию и размеры хвостовика, передней и задней направляющих частей протяжки ведем так же, как и при конструировании протяжки одинарной схемы резания.

3. Определяем шаг черновых зубьев протяжки для групповой схемы резания по формуле

$$t_p' = m\sqrt{L_{от}},$$

где  $m = 1,45...1,9$ .

По полученному значению расчетного шага  $t_p'$  выбираем ближайшее значение шага  $t_p$  из табл. П3. (Данные таблицы взяты из ГОСТ 20365-74).

4. Из табл. П3 определяем параметры  $h_k$  и  $F_k$  для стру-



жечной канавки и из табл. П4 — величину коэффициента заполнения стружечной канавки  $K$ .

5. Определяем наибольшее число одновременно работающих зубьев по формуле  $Z_{\max} = L_{\text{от}}/t_p + 1$ .

6. Определяем подачу, допустимую по размещению стружки в стружечной канавке,  $S_{\text{зк}} = F_k/KL_{\text{от}}$ .

7. Определяем подачу, допустимую по усилию резания,

$$S_{\text{зр}} = \left( \frac{P_p n_{\text{гр}}}{C_p \pi D_0 Z_{\max} K_{\gamma} K_c K_v} \right) \frac{1}{X},$$

где значения  $P_p$ ,  $C_p$ ,  $D_0$ ,  $K_{\gamma}$ ,  $K_c$ ,  $K_v$ ,  $X$  выбираются аналогично тем же значениям, что и при расчете протяжки одинарного резания (п.8);  $n_{\text{гр}}$  — число зубьев в группе, выбирается методом последовательного приближения, начиная с  $n_{\text{гр}} = 2$ .

8. Выбирая меньшую из допустимых подач  $S_{\text{зк}}$  и  $S_{\text{зр}}$ , определяем примерную длину режущей части черновых секций протяжки по формуле

$$l_{\text{р чер}} = \frac{A_{\text{чер}} t_p n_{\text{гр}}}{2 S_{\text{з мин}}}$$

9. Проверяем возможность увеличения числа зубьев в черновой секции путем повторного расчета пп.7 и 8 при увеличении  $n_{\text{гр}}$  на 1. Увеличивая число зубьев в секции, мы увеличиваем  $S_{\text{зр}}$ . Однако величина  $S_{\text{зр}}$  не может превышать  $S_{\text{зк}}$ , т. к. в этом случае срезанная стружка не поместится в стружечной канавке.

Первая черновая секция у протяжек группового резания обычно делается двухзубой с подачей на зуб меньшей, чем  $S_{\text{з}}$  остальных черновых зубьев.

Припуск на первую черновую секцию можно определить по формуле

$$A_{\text{чер1}} = \frac{(1,5 \dots 2,5) S_{\text{з чер}}}{Z_{\text{чер}}},$$

где  $S_{\text{з чер}}$  — подача на зуб на основных черновых секциях;  
 $Z_{\text{чер}}$  — количество зубьев в основных черновых секциях.  
 Следовательно, подача на зуб в первой черновой секции будет

$$S_{\text{з чер}} \approx 0,5 S_{\text{з чер}}.$$

Окончательно определяем длину черновой режущей части протяжки:

$$l_{\text{р чер}} = l_{\text{р чер1}} + l_{\text{р чер}} = 2 l_p + \frac{(A_{\text{чер}} - A_{\text{чер1}}) t_p n_{\text{гр}}}{2 S_{\text{з мин}}}$$

10. Определяем длину переходной части протяжки.

Размеры стружечных канавок, передний и задний углы у переходных зубьев имеют такие же величины, как и у черновых.

Подача на зуб на первой переходной секции  $S_{z \text{ пер1}}$  берется обычно  $0,5 S_{z \text{ чер}}$  и в дальнейшем уменьшается до  $0,03...0,05$  мм на последней переходной секции. Число зубьев в переходных секциях обычно равно 2. Чистовые зубья имеют подачу на зуб  $S_{z \text{ чист}} = 0,01...0,02$  мм, делаются с выкрушками, но не разделяются на секции. Число выкрушек у чистовых зубьев равно числу принятых чистовых зубьев.

Шаг у чистовых и калибрующих зубьев делается укороченным:  $t_{\text{чист}} = t_k \approx 0,7t$ , где  $t$  — шаг черновых зубьев.

В зависимости от  $t_{\text{чист}}$  по табл. ПЗ выбираются остальные элементы стружечной канавки. Длина переходной части протяжки будет

$$l_{p \text{ пер}} = t_{\text{пер}} \cdot Z_{\text{пер}} + t_{\text{чист}} Z_{\text{чист}}.$$

11. Определяем общую длину режущей части протяжки:

$$l_3 = l_{p \text{ чер}} + l_{p \text{ пер}}.$$

Сравнивая длину режущей части протяжки группового резания и длину режущей части протяжки одинарного резания, делаем заключение о принятой схеме резания. Следует выбирать ту схему резания, в которой режущая часть протяжки, а следовательно и вся протяжка, короче.

12. Расчет калибрующей части протяжки производится по тем же зависимостям, что и для обычных круглых протяжек одинарного резания.

13. Количество дуговых канавок-выкрушек на прорезных зубьях и равное им количество режущих кромок подсчитывается по формуле  $N_z = \pi D / Z_c b_v$ , где  $b_v = (1,1...1,3 \sqrt{D})$  — ширина каждого режущего участка;  $Z_c$  — число зубьев в секции.

Расчетное число  $N_z$  округляется до ближайшего большего целого числа.

Ширина выкрушек определяется зависимостью  $b_z = \pi D / N_z \times (Z_c - 1 / Z_c)$  и округляется до 0,5 (см. рис. 6). Значения радиуса выкрушек  $R_v$  в зависимости от  $b_z$  приведены в табл. П13.

### 3. ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ПРОТЯЖЕК ДРУГИХ ВИДОВ

#### 3.1. ШПОНОЧНЫЕ ПРОТЯЖКИ

Для протягивания шпоночных канавок в цилиндрических отверстиях применяются протяжки с цилиндрическим телом (рис. 7,а) и плоским телом (рис. 7,б,в). Наибольшее распространение получили протяжки с плоским телом, направляемые

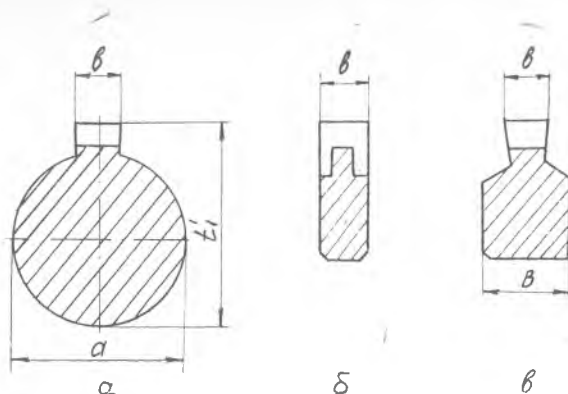


Рис. 7. Поперечное сечение шпоночных протяжек

прямоугольным пазом адаптера, на котором устанавливается протягиваемая деталь (рис. 8). Протяжки с плоским телом могут быть двух видов:

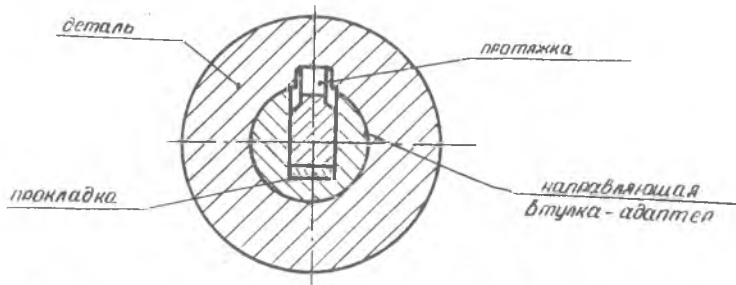


Рис. 8. Поперечное сечение плоской протяжки при работе с адаптером

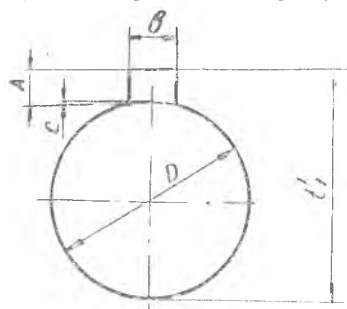
протяжки с тонким телом — ленточные (см. рис. 7,б), у которых толщина тела  $B$  равна ширине зубцов  $b$ ;

протяжки с утолщенным телом (см. рис. 7,в), т. е. протяжки, толщина тела которых больше ширины зубцов.

Протяжки с утолщенным телом применяются чаще, так как они более жестки и выдерживают большие нагрузки, но их нельзя использовать при протягивании шпоночных пазов у малых отверстий.

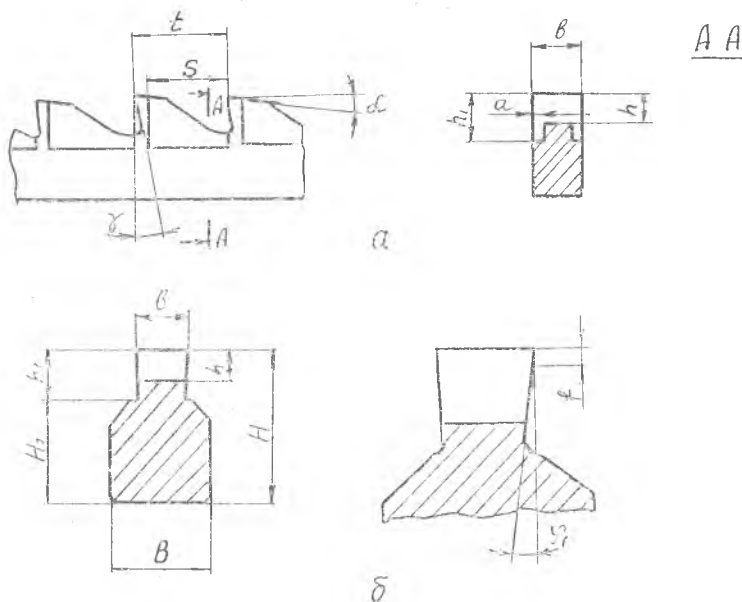
Ширина тела  $B$  утолщенной протяжки принимается равной:  $B \approx b + (2 \dots 6)$  мм. Допуск на ширину тела протяжки устанавливается по виду допуска  $g6$ . Высота зубчатой части  $h_1$  должна быть больше глубины стружечной канавки  $h$  и берется равной:  $h_1 \geq 1,25h$ .

Расчет протяжки производится по той же схеме, что и для круглых протяжек. Припуск для протягивания шпоночного паза определяется (рис. 9) как  $A = t_1' - D + c$ , где  $t_1'$  — размер паза под шпонку;  $D$  — диаметр отверстия;  $c$  — величина стрелки дуги окружности, соответствующей ширине шпоночного паза (величина этой стрелки определяется по формуле  $c = 0,5(D - \sqrt{D^2 - b^2})$ ).



Р и с. 9. Определение припуска для шпоночных протяжек

Для уменьшения трения по боковым режущим кромкам у шпоночных протяжек выполняются элементы поднутрения (рис. 10), размеры которых выбираются по следующим данным: угол поднутрения  $\varphi_1 = 1...3$ ; ленточка у вершины зуба  $f = 0,8...1$  мм; глубина лысок  $a = 0,05...0,1$  мм; высота лысок  $h_2 = h + (0,5...1)$  мм; длина лысок  $S = t - (2,5...3)$  мм.



Р и с. 10. Элементы поднутрения зубьев шпоночных протяжек: а — для ленточных протяжек; б — для протяжек с угольщенным телом

У шпоночной протяжки, работающей по групповой схеме резания, черновые и переходные зубцы выполняются секциями, состоящими из 2-х зубьев.

Первый зуб 1 (рис. 11) каждой секции снабжен боковыми скосами под углом  $20...25^\circ$ , в результате чего он срезает узкую стружку и не касается боковых сторон шпоночного паза. Второй зуб 2 имеет режущую кромку полной ширины и срезает две стружки с краев канавки (каждый второй зуб секции выполняется на  $0,015...0,02$  мм ниже первого). Ширина режущей кромки первого зуба секции принимается равной  $0,6...0,7$  ширины шлицевого паза.

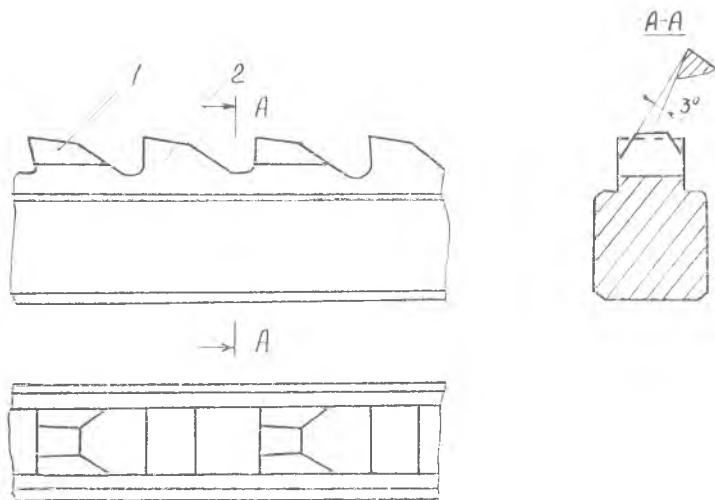


Рис. 11. Секции шпоночной протяжки группового резания

Подъем на секцию черновых зубьев шпоночной протяжки группового резания для обработки стали берется  $0,3...0,4$  мм. Для переходных секций подъем на секцию постепенно снижается. Чистовые зубья делаются с подъемом  $0,015...0,02$  мм и при ширине шпоночного паза до 10 мм не разделяются на секции. Калибрующие зубья не имеют подъема. Стружкоразделительных канавок у таких протяжек не делают. У шпоночных протяжек задняя направляющая не делается, а длина последнего калибрующего зуба увеличивается на  $15...20$  мм.

Остальные элементы протяжки рассчитываются по общей схеме.

### 3.2. ШЛИЦЕВЫЕ ПРОТЯЖКИ

В основе проектирования шлицевых протяжек лежат те же принципы, что и для круглых протяжек. Шлицевые протяжки так же проектируются и работают по одинарной и групповой схемам резания. Причем, протяжка может быть комбинированная, удаляющая припуск на цилиндрическом участке по внутреннему диаметру отверстия и формирующая шлицевые впадины. Когда из-за ограничения длины невозможно сделать и применить одну длинную протяжку, проектируется комплект протяжек из двух—четырёх штук, которые работают последовательно одна за другой.

Последовательность удаления припуска и способ образования отверстия могут быть разные. На рис. 12 показано два способа удаления припуска шлицевой протяжкой.

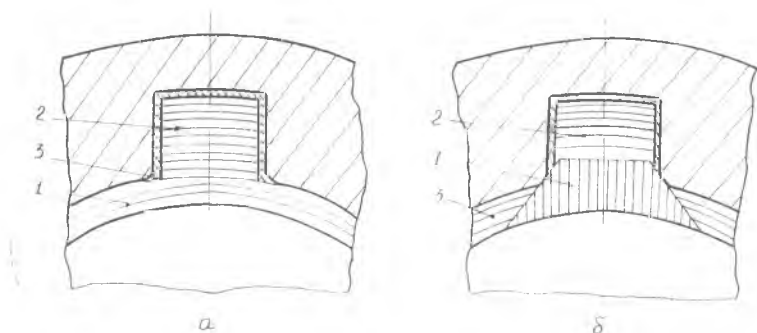


Рис. 12. Способы удаления припуска шлицевыми протяжками

Первый способ (рис. 12,а) рекомендуется для коротких отверстий. Сначала подготавливается цилиндрическое отверстие 1, затем прорезаются шлицевые впадины 2 и срезаются фаски 3 у основания шлицев. Впадина формируется постепенно путем последовательного срезания слоев каждым зубом или группой зубьев.

По второму способу (рис. 12,б) сначала протяжка работает фасочными зубьями 1, затем образуются пазы 2 и в последнюю очередь протягиваются цилиндрические отверстия 3. Припуск получается разорванным по окружности. Это позволяет при конструировании протяжки увеличить толщину срезаемого слоя каждым зубом, что приводит к уменьшению количества зубьев, а следовательно, и к уменьшению длины протяжки. Этим способом рекомендуется удалять припуск для шлицевых отверстий длиной более 30 мм. Чтобы получить боковые стороны впадины

равными, последние чистовые зубья режущей части протяжки по всему контуру делаются большей высоты и толщины. Размеры калибрующих зубьев будут равны размерам последнего чистового зуба.

Расчет режущей части шлицевых протяжек ведется для каждого вида зубьев (фасочных, цилиндрических, шлицевых) отдельно по той же схеме, что и при расчете простой круглой протяжки.

Величина максимально допустимого подъема на зуб на сторону при ограничении по силе резания определяется по формуле, аналогичной формуле для расчета круглых протяжек,

$$S_{zр} = \left( \frac{P_p}{C_p B_p Z_{\max}} \right)^{1/x},$$

где  $B_p$  — наибольшая ширина срезаемого слоя.

Для различных способов обработки величина  $B_p$  будет различна.

При обработке по способу фаски — пазы — цилиндр величина определяется:

а) для фасочных зубьев

$$B_p = (b_{ш} + 2f + 0,5) n_z,$$

где  $b_{ш}$  — ширина шлица,  $f$  — величина фаски,  $n_z$  — число протягиваемых шлицев;

б) для шлицевых зубьев  $B_p = B_{ш} n_z$ ;

в) для круглых зубьев  $B_p = \pi d_{в} - (b_{ш} + 2f) n_z$ , где  $d_{в}$  — внутренний диаметр шлицевого отверстия.

Величина припусков, снимаемых круглыми и шлицевыми зубьями, определяется так же, как при расчете круглых и шпоночных протяжек. Величина припуска, снимаемого фасочными зубьями, определяется как  $\Delta = d_{в \min} + 2f + 0,3 - D_{01}$ , где  $d_{в \min}$  — минимальная величина диаметра внутреннего отверстия,  $D_{01}$  — диаметр исходного отверстия.

У основания шлицевых выступов протяжки делаются продольные канавки для выхода шлифовального круга шириной 1...1,2 мм, глубиной 0,8...1 мм и углом профиля 50...60°. Диаметр окружности впадин  $d_{вп}$  между шлицевыми выступами принимается равным минимально допустимому внутреннему диаметру шлицевого отверстия с видом допуска  $d11$ . Ширина шлицевых выступов и элементы поднутрения по боковым режущим кромкам рассчитываются для шлицевых протяжек по тем же зависимостям, что и для шпоночных протяжек.

Остальные элементы протяжки рассчитываются по общей схеме.

### 3.3. КВАДРАТНЫЕ И ШЕСТИГРАННЫЕ ПРОТЯЖКИ

Рассмотрим конструктивные особенности протяжки для квадратного и шестигранного отверстий, работающей по генераторной схеме (см. рис. 4,в). Форма зубьев протяжки для квадратного отверстия приведена на рис. 13. Главные режущие кромки *1* располагаются на углах квадрата и имеют форму концентрических окружностей, диаметр которых увеличивается от первого зуба к последующим на величину подъема.

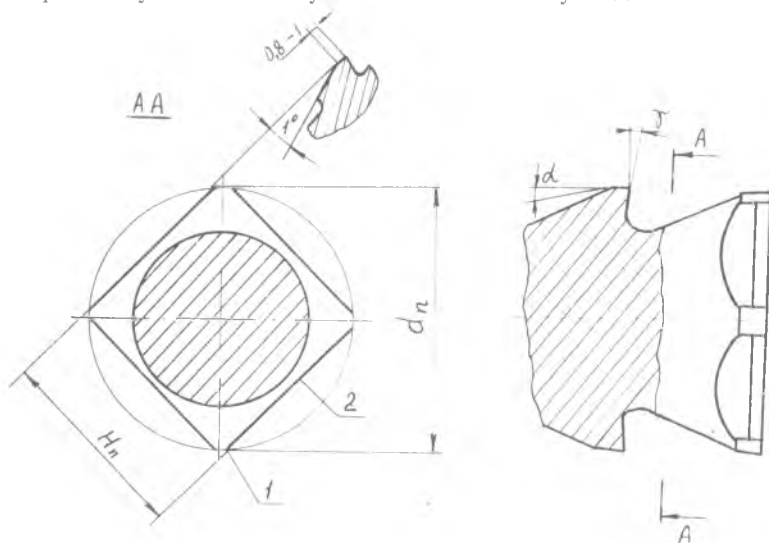


Рис. 13. Элементы зуба квадратной протяжки

Прямые стороны квадрата *2* являются вспомогательными кромками. Расстояние между ними является шириной стороны квадрата *H*, оно постоянно по всей длине протяжки и определяется из условия  $H = H_{\max} \pm \delta_s$ , где  $H_{\max}$  — наибольший допустимый размер между гранями отверстия;  $\delta_s$  — величина разбивания или усадки отверстия по размеру *H*.

В том случае, когда диаметр предварительного отверстия меньше *H*, первые зубья у протяжки изготавливаются круглыми с диаметром, равным диаметру предварительного отверстия. Плоские участки появляются у зуба, диаметр которого  $d_n > H$ .

Так как протяжка работает по генераторной схеме, расчет режущей части отличается от общей схемы. Как видно из схемы резания (см. рис. 4,в), если конструировать протяжку с одинаковым подъемом на зуб для всей режущей части, то площадь поперечного сечения среза будет уменьшаться от первого зуба к последнему. Это приводит к уменьшению сил резания к концу



процесса протягивания. Если поддерживать сечение среза постоянным за счет увеличения подъема на зуб для каждого последующего за первым зуба, то можно сократить длину режущей части протяжки.

Однако изменяющийся подъем на зуб, причем на очень малую величину, усложняет изготовление протяжки, поэтому обычно все зубья протяжки разбивают на ступени с постоянной подачей на зуб. Подача же на отдельных ступенях разная и увеличивается от первой к последней. Количество ступеней принимается равным 3 для квадратных отверстий с размером  $H < 15$  мм и 4 — для  $H > 15$  мм.

Величины подач  $S_z$  для каждой ступени квадратных протяжек приведены в табл. П14, а шестигранных в табл. П15. Они рассчитаны из условия, что силы протягивания на первых зубьях всех ступеней одинаковы или близки по величине. По величине подъема на зуб (подачи) определяется сила резания, которая сравнивается с наибольшими допустимыми усилиями, выдерживаемыми протяжкой в наиболее опасных сечениях — сечение шейки хвостовика и сечение впадины первого зуба (см. «Общая схема расчета»), и проверяется по тяговому усилию станка. Если сила резания больше, чем минимальное из перечисленных допустимых усилий, то величина подачи берется меньше.

Силу резания при протягивании можно подсчитать из следующих соображений. Так как первый зуб или несколько первых зубьев круглые, а сила протягивания на первых зубьях всех ступеней примерно одинакова, то силу протягивания для квадратной протяжки можно подсчитать с достаточной точностью по формуле  $P \approx C_p HS_z^x Z_i K_f K_c K_v$ . Диаметр первого зуба любой ступени подсчитывается по формуле  $d_m = \eta_m H + 2 S_{zm}$ , где  $m$  — номер ступени,  $\eta_m$  — коэффициент, учитывающий степень увеличения подачи на зуб от ступени к ступени, приведенный в табл. П14.

Количество режущих зубьев  $Z_m$  в каждой ступени, кроме последней, определяется из условия

$$Z_m = \frac{(d_{m+1} - 2 S_{z(m+1)}) - (d_m - 2 S_{zm})}{2}$$

где  $d_{m+1}$  и  $S_{z(m+1)}$  — диаметр и подача на первом зубе последующей ступени;  $d_m$  и  $S_{zm}$  — диаметр и подача на первом зубе рассчитываемой ступени.

Для первой ступени добавляется один зуб, диаметр которого принимается равным наименьшему диаметру предварительного отверстия.

Для последней ступени

$$Z_m = \frac{d_k - (d_m - 2S_{zm})}{S_{zm}} + (2...4),$$

где  $d_k$  — диаметр калибрующего зуба протяжки. Дополнительные два — четыре зуба являются переходными, с уменьшенной величиной подачи.

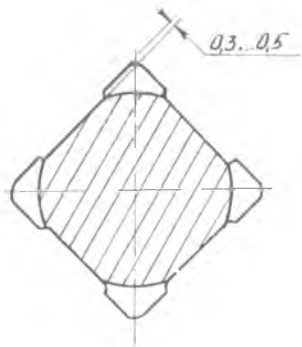


Рис. 14. Продольная канавка квадратных протяжек

Для уменьшения трения по вспомогательным плоским кромкам затачивается задний угол  $\alpha_1 = 1^\circ$  после ленточки шириной 0,08...1 мм.

Глубина впадины зуба  $h$  у граничных протяжек имеет переменную величину по длине режущей кромки: наибольшую величину по дуговым кромкам и наименьшую у середины плоских граней. Возможны случаи, когда на середине плоских граней впадина совсем отсутствует. Для уменьшения трения такая протяжка снабжается продольной канавкой (рис. 14) глубиной до 0,5 мм.

Остальные элементы рассчитываются по общей схеме расчета протяжек для отверстий.

### 3.4. НАРУЖНЫЕ ПРОТЯЖКИ

Наружные протяжки применяются для обработки наружных поверхностей — плоскостей, пазов, зубьев колес, различных многогранных и радиусных поверхностей. Протяжки жестко закрепляются на ползуне протяжного станка, за счет чего обеспечивается их правильное взаимное положение относительно обрабатываемой детали, поэтому наружные протяжки имеют только режущие и калибрующие зубья и не нуждаются в других частях, присущих внутренним протяжкам.

Конструкция протяжки. Она в значительной мере определяется схемой резания. При наружном протягивании так же, как и при внутреннем, в зависимости от размера и профиля обрабатываемой поверхности применяют одинарную, групповую и генераторную схемы резания. Наибольшее распространение получили протяжки для обработки плоскостей или их сочленений под различными углами.

Для обработки сравнительно широких плоскостей с небольшим припуском (рис. 15.а) целесообразно применять протяжки одинарного резания с профильным методом образования поверхности. В этом случае режущие зубья имеют стружкоразделительные канавки, срезающие слои толщиной 0,02...0,2 мм.

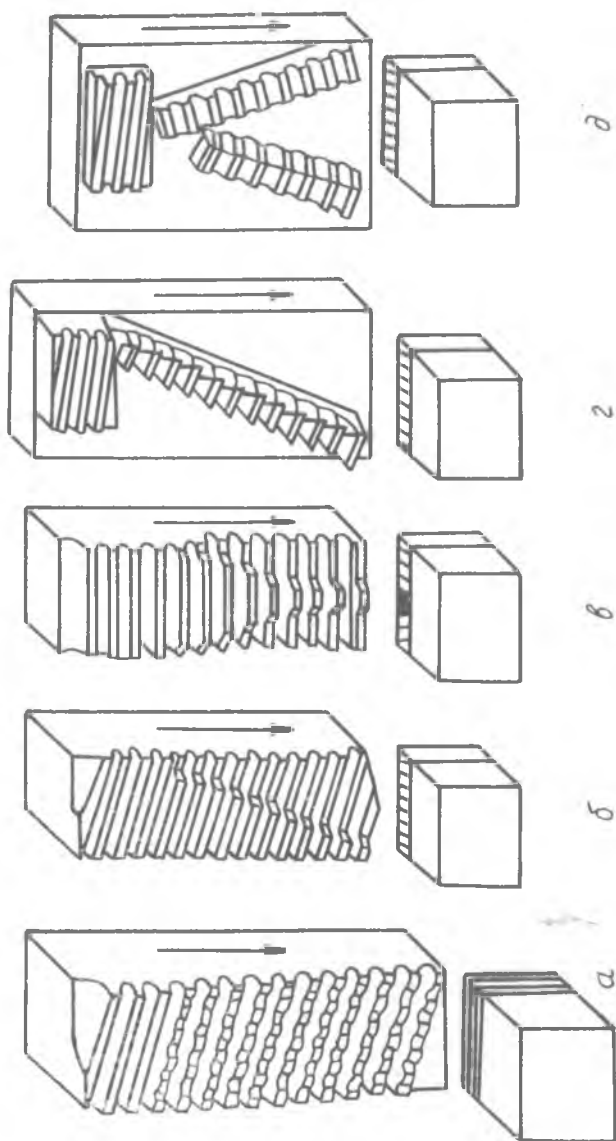


Рис. 15. Плоские наружные протяжки

Узкие плоскости с большим припуском можно протягивать тоже по одинарной схеме резания, но генераторным, т. е. последовательным методом (рис. 15,б,в,г,д). Такие протяжки применяются для обработки заготовок, полученных послековки и штамповки. Они срезают боковыми кромками короткие, но толстые слои  $a = 0,15 \dots 1,0$  мм. Плоские протяжки могут быть цельные, составные и секционные. Протяжки с последовательным методом образования поверхности подразделяются на прямые (см. рис. 15,б,в) и наклонные (см. рис. 15,г,д). Каждые из них могут быть односторонними (см. рис. 15,б,г) и двусторонними (см. рис. 15,в,д). Односторонние протяжки создают боковую силу резания, направленную перпендикулярно движению протяжки. Она увеличивается, когда зубья наклонны к направлению движения протяжки. Направление наклона зубьев должно быть таким, чтобы боковая сила резания прижимала протяжку к опорной поверхности, воспринималась жесткой опорой и более прочной частью обрабатываемой детали. Двусторонние протяжки являются более производительными, уравнивают боковые силы резания, но требуют большей мощности станка.

Цельные протяжки (рис. 16,а) обычно имеют размеры до 500 мм и применяются для обработки простых поверхностей

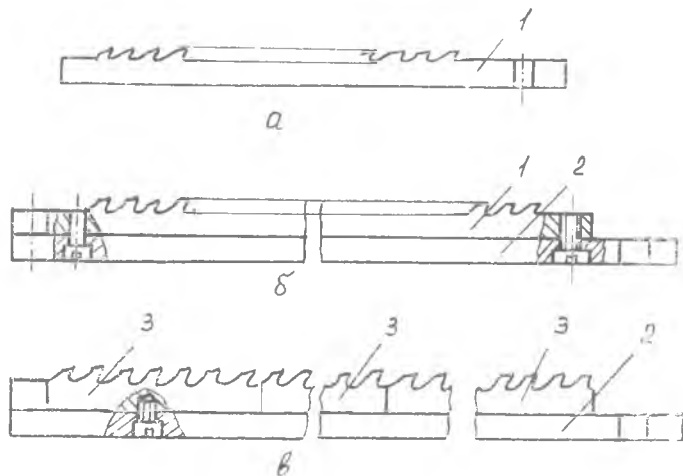


Рис. 16. Конструкции плоских протяжек: а — цельные; б — составные; в — секционные

(плоскостей, уступов, канавок). Составные протяжки (рис. 16,б) выполняются из двух соединенных между собой частей: самой протяжки 1 из инструментальной стали и корпуса 2 из конструкционной стали. Секционные протяжки (рис. 16,в) отличаются от

составных тем, что сама протяжка состоит из отдельных секций 3, смонтированных на общем корпусе 2. Такая конструкция облегчает изготовление протяжки, отдельные секции могут иметь различную форму режущей части для обработки различных участков фасонных поверхностей. Отдельные секции таких протяжек могут располагаться одна за другой (последовательное расположение секций) и обрабатывать поочередно одну и ту же поверхность детали (рис.17,а) или располагаться параллельно одна другой (параллельное расположение секций) и одновременно обрабатывать несколько участков сложной поверхности (рис.17,б).

Расчет конструктивных элементов. Одной из сложных задач конструктора при проектировании протяжки для наружного протягивания является разбивка обрабатываемого профиля на такие отдельные его элементы, при которых сконструированная для каждого элемента протяжка была бы наиболее простой при изготовлении и удобной в эксплуатации. Расчет ведется по следующей схеме.

1. Выбирается величина припуска под протягивание  $A$ .
2. По табл. П17 выбирается величина подъема на зуб  $S_z$ .
3. Размер стружечных канавок и максимальное число одновременно работающих зубьев подсчитывается по общей схеме расчета протяжек.

4. Рассчитывается величина наибольшей силы протягивания  $P_{\max}$  и наклона канавок.

У протяжек с режущими кромками, перпендикулярными оси, сила протягивания определяется по формуле  $P_{\max} = C_p S_z X \sum b_{\max} K_\gamma K_c K_v$ , где  $\sum b_{\max}$  — наибольшая общая длина режущих кромок протяжки, одновременно находящихся в работе;  $C_p$ ;  $X$ ;  $K_\gamma$ ;  $K_c$ ;  $K_v$  — выбираются по табл. П7 и табл. П8. У протяжек с длиной режущей кромки свыше 10...12 мм с целью осуществления более плавной работы режущие зубья могут быть выполнены наклонными (см. рис. 15,а). Равномерное протягивание будет в том случае, когда суммарная длина режущих кромок, находящихся в работе, а следовательно, и сила резания при протягивании постоянны. Условие выполняется, если поперечный шаг  $t_n$  зубьев протяжки кратен ширине обрабаты-

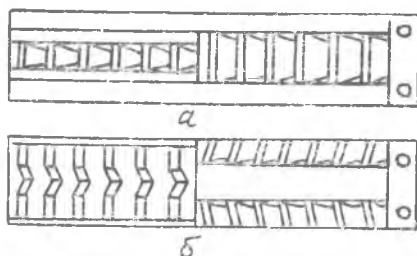


Рис. 17. Секционные протяжки: а — с последовательным расположением секций; б — с параллельным расположением секций

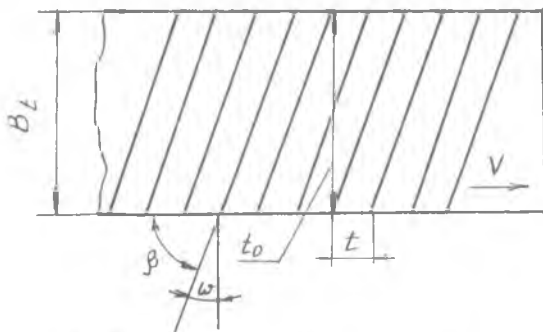


Рис. 18. Расположение зубьев наружной протяжки

мой плоскости  $B$  (рис. 18):  $K = B/t_n$ ,  $t_n = t \cdot \operatorname{tg} \beta$ , где  $K$  — коэффициент равномерности — целое число 2, 3, 4...,  $\beta$  — угол наклона зубьев  $\operatorname{tg} \beta = B/Kt$ , где  $t$  — расчетный шаг зубьев протяжки.

Подбирая соответствующую величину угла  $\beta$  или шага  $t$ , можно добиться равномерности силы протягивания. Если величина  $K$  не является целой, то длина режущих кромок, одновременно находящихся в работе, является переменной.

Наибольшая сила резания при протягивании определяется по формуле

$$P_{\max} = C_p S_z^X \Sigma b_{\max} K_\beta \cos \omega K_\gamma K_c K_v,$$

где  $\Sigma b_{\max}$  — наибольшая общая длина режущих кромок протяжки, одновременно находящихся в работе;  $K_\beta$  — коэффициент, зависящий от наклона зубьев, определяется по табл. П18. Величины  $C_p$ ,  $X$ ,  $K_v$ ,  $K_\gamma$ ,  $K_c$  выбираются по табл. П7 и табл. П8.

5. Высоту первого зуба  $H_1$  принимают исходя из конструктивных соображений в зависимости от применяемых приспособлений.

6. Размер калибрующих зубьев  $H_k = H_1 + A$ . Число калибрующих зубьев принимается равным 4...5.

7. Определяется общая длина протяжки по формуле (рис. 19)

$$L = t (Z_p - 1 + Z_k) + 1,2t + \beta \operatorname{tg} \omega.$$

8. Элементы профиля зубьев в осевом сечении протяжки определяются по общей схеме расчета, за исключением заднего угла, который принимается равным 7...10°.

9. Определяется расположение канавок для дробления стружки. Канавки расположены в шахматном порядке только на режущих зубьях. Оси канавок всегда направлены вдоль оси протяжки, независимо от наклона зубьев.

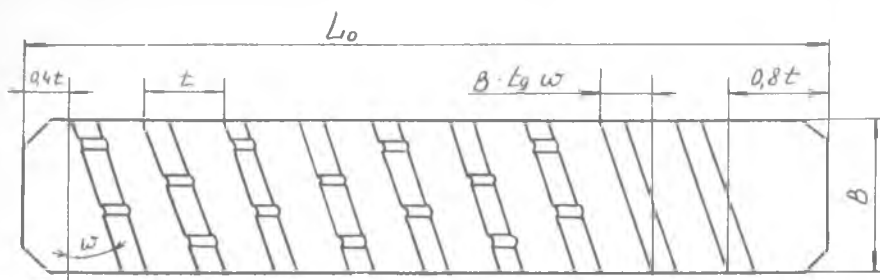


Рис. 19. Схема для расчета длины наружной протяжки

Элементы крепления протяжек. Их выбирают в зависимости от конструкции каретки станка. Протяжки крепятся на плитах, монтируемых на каретке станка, крепление должно быть жестким. Основные силы при протягивании должны восприниматься упорными планками, врезанными в плиту или державку, а болты работать только на сжатие или растяжение, но не на срез.

Образец рабочего чертежа протяжки представлен на рис. 20 (см. вкладку).

### СТАНДАРТЫ

ГОСТ 20364--74	Протяжки круглые.
20365--74	Конструкция и размеры.
18217--80	Протяжки шпоночные. Конструкция и размеры.
18218--80	Протяжки шпоночные с утолщенным телом. Конструкция и размеры.
24818--81	Протяжки для 6-ти шлицевых отверстий. Конструкция и размеры
24819--81	Протяжки для 8-ми шлицевых отверстий. Конструкция и размеры.
24821--81	Протяжки для цилиндрических отверстий. Технические требования
9126--76	Протяжки для шлицевых отверстий с прямоугольным профилем. Технические требования.
16491--80	Протяжки шпоночные. Технические требования.
7943--78	Протяжки для квадратных отверстий со стороной от 10 до 60 мм. Конструкция и размеры.
4043--70	Хвостовики плоские для протяжек.
4044--70	Хвостовики круглые для протяжек.
14034--74	Центровые отверстия.
26478--85	Протяжки для квадратных отверстий со стороной от 10 до 60 мм. Конструкция и размеры.
26480--85	Протяжки для квадратных отверстий со стороной от 10 до 60 мм. Конструкция и размеры.

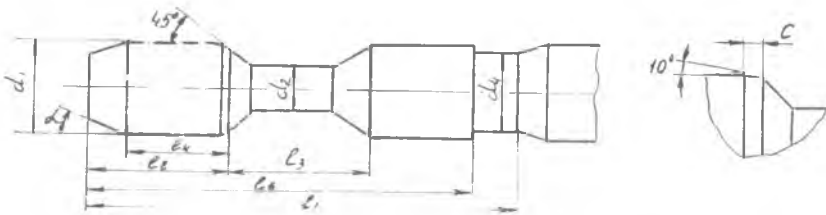
## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Щеголев А. В.* Конструирование протяжек. Л.: Машгиз, 1960. 352 с.
- Семенченко И. И., Матюшин В. М., Сахаров Г. Н.* Проектирование металлорежущих инструментов. М.: Машгиз, 1963. 952 с.
- Климов В. И.* и др. Справочник инструментальщика — конструктора. М.: Машгиз, 1958. 608 с.
- Алексеев Г. А., Аршинов В. А., Кричевская Р. М.* Конструирование инструмента. М.: Машиностроение, 1979. 384 с.
- Кирсанов Г. Н.* Руководство по курсовому проектированию металлорежущих инструментов. М.: Машиностроение, 1986. 288 с.
- Иноземцев Г. Г.* Проектирование металлорежущих инструментов. М.: Машиностроение, 1984. 272 с.
- Пронкин Н. Ф.* Протягивание протяжками из твердых сплавов. М.: Машиностроение, 1966. 108 с.
- Нефедов Н. А., Осипов К. А.* Сборник задач и примеров по резанию металлов и режущему инструменту. М.: Машиностроение, 1984. 400 с.

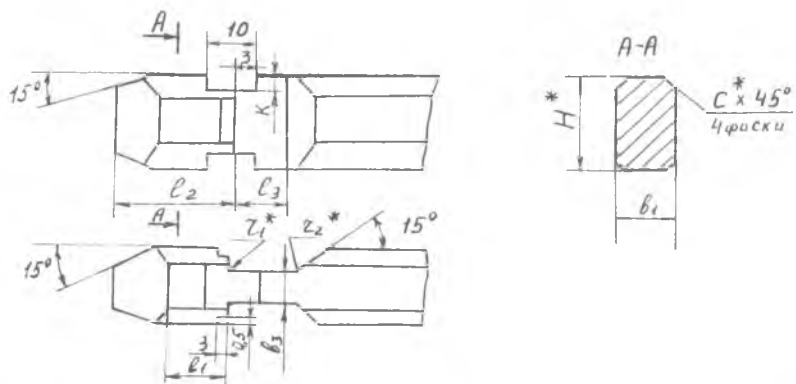


Таблица ПИ

Хвостовики круглые ГОСТ 4044—70 (размеры в мм)  
Тип 2, исполнение 1

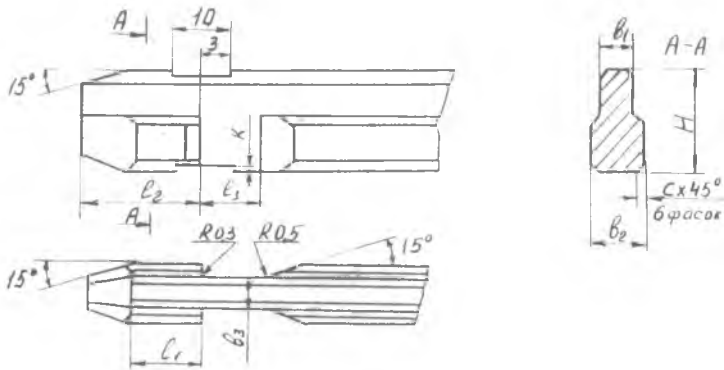


$d_1$	$d_2$	$d_4$	$l_1$	$l_2$	$l_3$	$l_4$	$l_6$	$C$	$\alpha$	Площадь по сечению размера, $d_2$ , мм <sup>2</sup>
предельные отклонения										
$e 8$	$c 11$	$-0,5$ $-1,0$								
12	8	12	120	20	20	12	100	0,5	10	50,3
14	9,5	14								70,9
16	11	16								95,0
18	13	18								132,7
20	15	20	140	25	25	16	120	1,0	20	176,7
22	17	22								227,0
25	19	25								283,5
28	22	28								380,1
32	25	32	160	32	32	20	140	1,5	30	490,9
36	28	36								615,7
40	32	40								804,2
45	34	45								907,9
50	38	50	180	50	50	32	160	2,0	30	1134,1
56	42	56								1385,4
63	48	63								1809,6
70	53	70								2206,2
80	60	80	210	40	40	25	190	2,0	30	2827,4
90	70	90								3848,4
100	75	100								4417,9

Хвостовики плоские ГОСТ 4043—70 (размеры в мм)  
Тип 1

$b_1$   $b_2$	$H_1$ , не бо- лес	$l_1$ , не ме- нее	$l_2$ , не ме- нее	$l_3$	$C$	$K$	$r_1$	$r_2$	Площадь по сечению размера $H_3$ , мм <sup>2</sup>
4   2,5	7				0,5				22,5
5   3,2	11								35,2
6   4,0	15	14	20	16		0,2	0,2	0,6	50,0
7   4,5	16				0,8				62,0
8   5,0	18								90,0
10   7,0	22								154,0
12   8,0	28								224,0
14   10,0	30			18					300,0
16   12,0	36								402,5
18   13,0	40	17	25			0,15	0,3	1,0	520,0
20   15,0									675,0
22   16,5	45			22					732,0
24   18,0									900,0
25   19,0	50				1,0				950,0
28   21,0	55								1155,0
32   24,0									1440,0
36   28,0		20	30	28		0,2	0,4	1,6	1680,0
40   32,0	60								1920,0
45   36,0									2160,0
50   40,0		28	40	36		0,25	0,5	2,5	2400,0

Хвостовик... плоские ГОСТ 4043—70 (размеры в мм)  
Тип II



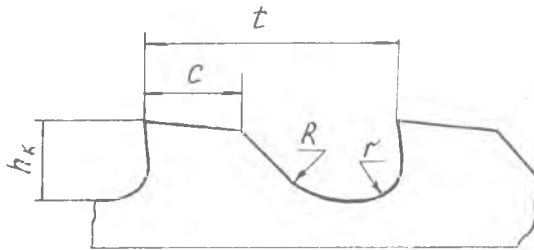
(Размеры *l* установлены для хвостовиков шпоночных протяжек)

$b_1$	$b_2$	$b_3$	<i>l</i> , не более	$l_1$ , не менее	$l_2$ , не менее	$l_3$	<i>c</i>	Площадь по сечению размера, $b_3$ , мм <sup>2</sup>
2,0	3	1,5	4	14	20	16	0,3	6
2,5	4	2,5	5					12,5
3,0		6	15,0					
4,0	6	4,0	7				0,5	36,0
5,0	8	5,0	11					55,0
6,0	10	6,0	15				0,8	90,0
7,0		7,0	16					112,0
8,0	12	8,0	18				114,0	
10	15	10	22				220,0	

Продолжение прил.

Таблица ПЗ

Размеры стружечных канавок, мм



$t$	$h_k$	$C$	$r$	$R$	$F_k, \text{мм}^2$
4,5	2	1,5	1	2,5	3,14
6	2	2	1	4	3,14
	2,5		1,25		4,91
8	2,5	3	1,25	5	4,91
	3		1,5		7,07
10	3	3	1,5	7	7,07
	4		2		12,56
12	3	4	1,5	8	7,07
	4		2		12,56
14	3	4	1,5	10	7,07
	4		2		12,56
	5		2,5		19,63
	6		3		28,27
16	4	4,5	2	12	12,56
	5		2,5		19,63
	6		3		28,27
	7		3,5		38,48
18	5	6	4,5	12	19,63
	6		3		28,27
	7		3,5		38,48

Продолжение прил.

Таблица П4

Величина коэффициента заполнения стружечной камеры К

Толщина стружки, мм		Обрабатываемый материал				
		сталь $\sigma_s$ , МПа			чугун, бронза	медь, латунь, алюми- ний
		до 400	свыше 400 до 700	свыше 700		
Протяжки одинарного резания	До 0,03	3	2,5	3	2,5	2,5
	Свыше 0,03 до 0,07	4	3	3,5	2,5	3
	Свыше 0,07	4,5	3,5	4	2	3,5
Протяжки группового резания	Свыше 0,07 до 0,1	3	3	3	3	3
	Свыше 0,1 до 0,15	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
	Свыше 0,15	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2

Таблица П5

Допустимые напряжения на растяжение, МПа

Материал протяжки	Часть протяжки	
	хвостовая, $\sigma_x$	режущая, $\sigma_1$
Углеродистая сталь	250	—
Инструментальная леги- рованная сталь	250	300
Быстрорежущая сталь диаметром, мм:		
до 15	300	450
свыше 15	300	400

Продолжение прил.

Таблица П6

Номинальные тяговые силы  $P$  и наибольшие длины ходов протяжных станков

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

Постоянная  $C_p$  и показатель степени  $X$  для расчета сил резания при протягивании

Наименование	Твердость по Бринеллю, НВ	Предел прочности, МПа	$C_p$			$X$
			Шпачные и пазовые протяжки	Шлицевые протяжки	Круглые протяжки	
Сталь углеродистая конструкционная	200	700	1770	2120	7000	0,85
	200...230 230	700—800 800	2020 2500	2300 2840	7620 8420	
Сталь легированная конструкционная	200	700	2020	2300	7620	0,85
	200...230 230	700—800 800	2500 2820	2840 3150	8420 10000	
Сталь хромомolibденовая	250...270	—	—	—	8000	0,8
Сталь хромоникелемolibденовая	280...310	—	—	—	9100	0,87
Чугун	200	—	1150	1250	3000	0,73
	200	—	1370	1500	3540	

Поправочные коэффициенты для силы протягивания

Переменный параметр	K <sub>T</sub>		K <sub>D</sub>		K <sub>C</sub>	
	для стали	для чугуна	для стали	для чугуна	для стали	для чугуна
Передний угол, γ°:	5	1,13	1,1			
	10	1	1			
	15	0,93	0,95			
	20	0,85	—			
Степень затупления:	острая			1		
	затупленная			1,15	1,15	
Смазочно-охлаждающая жидкость:						
СФ					1	—
ЭМ					1	0,9
РМ					0,9	—
БС					1,3	1

\* СФ—сульфурезол; ЭМ—10—20% эмульсия; РМ—растительное масло;  
БС—без смазочно-охлаждающей жидкости.



Продолжение прил.

Таблица П9

*Число калибрующих зубьев  
у различных типов протяжек*

Тип протяжек	$Z_n$
Цилиндрическая для отверстий 7...9 квалитетов	7...8
Цилиндрическая для отверстий 10 и грубее квалитетов	5...6
Шлицевая, острошлицевая, эвольвентная	5
Гранная, шпоночная	4
Предварительная (из комплекта) всех типов	2...3

Таблица П10

*Величина переднего угла  $\gamma$   
режущих зубьев протяжки*

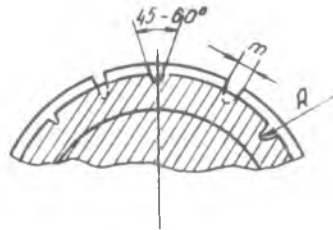
Обрабатываемый материал	$\gamma^\circ$
Сталь с $\sigma_s$ до 600 МПа	15...18
—»— с $\sigma_s$ от 600 до 1000 МПа	12...15
—»— с $\sigma_s$ свыше 1000 МПа	8...10
Чугун с НВ до 150	8...10
—»— с НВ свыше 150	4...8
Алюминий	12...15
Бронза	0...5
Баббит	10...15
Медь красная	15
Латунь хрупкая	2
—»— мягкая	6

Продолжение прил.

Таблица III

Количество стружкоразделительных канавок

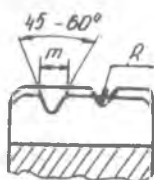
а) Для цилиндрических протяжек



Диаметр протяжки, мм	Коли- чество канавок	Диаметр протяжки, мм	Коли- чество канавок
От 10 до 13	6	Свыше 45...50	22
Свыше 13...16	8	50...55	24
16...20	10	55...60	28
20...25	12	60...65	30
25...30	14	65...70	32
30...35	16	70...75	34
35...40	18	75...80	36
40...45	20	80...85	38

Продолжение прил.  
Окончание табл. П11

б) Для шпоночных и шлицевых  
протяжек  
Тип I



Тип II



Длина режущей кромки, мм	Тип исполнения	Количество канавок для	
		нечетного зуба	четного зуба
Свыше 6...10	I	1	1
10...20	II	2	1
20...30	II	3	2
30...45	II	4	3
45...60	II	6	5

Таблица П12

*Припуск на переходные зубья  $A_{пер}$   
для протяжек группового резания  
и число переходных секций  $i_{пер}$*

Подача на черновую секцию $S_{z, чер}$ , мм	Переходные секции	
	$A_{пер}$ , мм	$i_{пер}$
Свыше 0,06...0,08	0,08...0,10	1
0,08...0,1	0,16...0,18	2
0,1...0,12	0,22	2
0,12...0,14	0,24	2
0,14...0,16	0,34	3
0,16...0,18	0,38	3
0,18...0,20	0,46	3
0,20...0,22	0,50	3
0,22...0,24	0,52	3
0,24...0,26	0,64	4
0,26...0,28	0,66	4
0,28...0,30	0,70	4

Продолжение прил.

Таблица П13

Радиусы выкрушек  $R_B$ , мм

Ширина выкрушки $b_z$ , мм	Диаметр протяжки, мм					
	до 10	10...18	18...30	30...50	50...80	80...120
До 3	30	30				
Свыше 3...4	30	30	36			
4...6	30	30	36	36		
6...8		30	36	36	36	
8...10			36	36	36	42
10...12				42	42	42
12...15				42	48	48
15...20				42	48	54

Таблица П14

Подача на зуб для квадратных протяжек по ступеням, мм

Размер отверстия $H$ , мм	Подача на зуб по ступеням			
	$S_{z I}$	$S_{z II}$	$S_{z III}$	$S_{z IV}$
9	0,015	0,025	0,04	—
12	0,015	0,03	0,05	—
14	0,02	0,035	0,06	—
17	0,02	0,03	0,04	0,08
19	0,02	0,035	0,05	0,09
22	0,025	0,04	0,06	0,1
24	0,025	0,04	0,06	0,1
27	0,03	0,05	0,08	0,12
32	0,03	0,06	0,09	0,15

Продолжение прил.

Таблица П15

Подачи на зуб шестигранных протяжек  
по ступеням, мм

Размер отверстия, H, мм	Подача на зуб по ступеням		
	$S_{z1}$	$S_{z11}$	$S_{z111}$
14	0,02	0,04	—
17	0,02	0,045	—
22	0,025	0,045	0,075
27	0,03	0,045	0,09
32	0,03	0,06	0,1
36	0,035	0,065	0,115
41	0,035	0,07	0,12
46	0,045	0,075	0,125
50	0,05	0,1	0,15

Таблица П16

Коэффициент  $\eta_m$

Номер ступени	Квадратные протяжки		Шестигранные протяжки	
	3 ступени	4 ступени	2 ступени	3 ступени
I	1	1	1	1
II	1,06	1,045	1,039	1,023
III	1,15	1,105	—	1,058
IV	—	1,190	—	—

Окончание прил.

Т а б л и ц а П 17

*Величина подъема на зуб  $S_z$  для протяжки  
наружного протягивания, мм*

Обрабатываемый материал	Величина $S_z$
Сталь	0,05...0,08
Чугун и бронза	0,06.. 0,12
Латунь	0,06...0,15
Алюминивые сплавы	0,06...0,2

Т а б л и ц а П 18

*Значения коэффициента  $K_\beta$  для стали и чугуна*

$\beta$	90°	75°	60°	45°
$K_\beta$	1	1,04	1,08	1,11

## О Г Л А В Л Е Н И Е

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, ОТНОСЯЩИЕСЯ К ПРОТЯГИВАНИЮ . . . . .	3
1.1. Технология протягивания, оборудование и инструмент . . . . .	3
1.2. Схемы резания . . . . .	7
2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОТЯЖЕК . . . . .	9
2.1. Общая схема расчета протяжек для от- верстия . . . . .	9
2.2. Цилиндрические протяжки группового резания . . . . .	15
3. ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ПРОТЯЖЕК ДРУГИХ ВИДОВ . . . . .	18
3.1. Шпоночные протяжки . . . . .	18
3.2. Шлицевые протяжки . . . . .	22
3.3. Квадратные и шестигранные протяжки . . . . .	24
3.4. Наружные протяжки . . . . .	26
Библиографический список . . . . .	32
Приложение . . . . .	33

*Юрий Александрович Копытин,  
Борис Николаевич Уланов*

#### РАСЧЕТ ПРОТЯЖЕК

Редактор Е. Д. Антонова  
Техн. редактор Н. М. Каленюк  
Корректор Н. С. Куприянова

Свод. тем. пл. № 80  
Сдано в набор 9.08.89 г. Подписано в печать 3.10.89 г.  
ЕО 00307. Формат 60×84 1/16. Бумага оберточная.  
Гарнитура литературная. Печать высокая.  
Усл. п. л. 2,9. Уч.-изд. л. 2,8. Т. 1000 экз.  
Заказ 627. Цена 15 к.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени  
авиационный институт им. академика С. П. Королева,  
443086. Куйбышев, Московское шоссе, 34.

---

Тип. ЭОЗ КуАИ, 443001, г. Куйбышев,  
ул. Ульяновская, 18.