

## Лекция №3\_2

### ТЕМА: ВЫРУБКА И ПРОБИВКА

**План лекции:** 1. Схема процесса, очаг деформации, НДС, 2. зазор при вырубке, пробивке, 3. расчет исполнительных размеров инструмента для вырубке и пробивки, 4. Энергосиловые характеристики процесса, 5. способы уменьшения деформирующего усилия

Вырубкой и пробивкой получают плоские детали из листа, а также заготовки, используемые для изготовления пространственных деталей гибкой, вытяжкой, отбортовкой и пр.

Вырубку и пробивку выполняют в штампах, рабочие органы которых (пуансон 1 и матрица 3) установлены с определенным зазором  $z$  (рис. 4.1). Лист или полосу устанавливают на матрицу 3, имеющую острые кромки. Пуансон 1, опускаясь вместе с верхней частью штампа, надавливает на лист. При этом, как при отрезке и разрезке, происходит относительное смещение металла в матрицу, заканчивающееся разрушением, т. е. вырубкой или пробивкой. Отделенная часть металла проваливается в отверстие в матрице, а отход при ходе пуансона вверх снимается с него съемником 2.

При вырубке и пробивке очаг пластической деформации охватывает всю толщу листа, примыкает к рабочим кромкам пуансона и матрицы, его контур показан пунктирными линиями на рис. 4.2. Напряжения, возникающие при Вырубке и пробивке, распределены по очагу деформации неравномерно, что, в свою очередь, вызывает неравномерное распределение деформаций в слоях металла, параллельных плоскости заготовки, и по ее толщине. Напряженное и деформированное состояние при вырубке и пробивке — **объемное**.

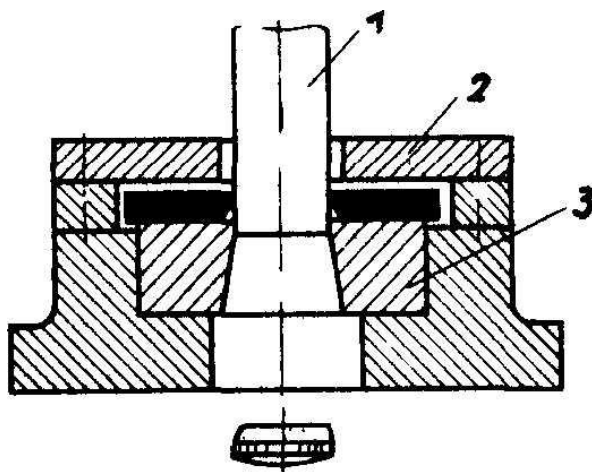


Рис. 4.1. Штамп для вырубке и пробивки

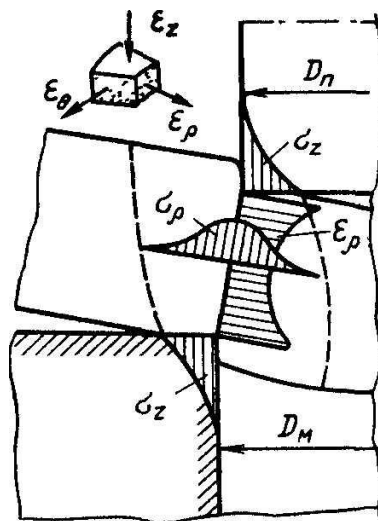


Рис. 4.2. Эпюры напряжений и деформаций по очагу деформации при вырубке и пробивке

Наибольшая деформация  $\varepsilon_r$  в радиальном направлении возникает вблизи рабочих кромок пуансона и матрицы, а наименьшая — примерно посередине расстояния между этими кромками. Эпюра распределения радиальных деформаций по толщине заготовки показана на рис. 4.2.

Неравномерность распределения деформаций и напряжений объясняется действием изгибающих моментов, возникающих при вырубке и пробивке вследствие имеющегося зазора между пуансоном и матрицей. Значение этих моментов равно произведению равнодействующих элементарных сил, приложенных к контактной поверхности заготовки с пуансоном и матрицей, на плечо, несколько большее, чем зазор между ними. При определенном изгибающем моменте отделяемая часть металла слегка изгибается и приобретает выпуклую форму. Изгиб заготовки, поворот ее сечений в пространстве вызывает отклонение центральной ее части от торца пуансона, что, в свою очередь, приводит к неравномерному распределению нормальных напряжений  $\sigma_z$  на контактной поверхности (см. рис. 4.2).

Неравномерное распределение нормальных напряжений  $\sigma_z$  вызывает неравномерное распределение радиальных напряжений  $\sigma_r$  по толщине заготовки и в слоях металла, параллельных ее плоскости. Для уменьшения искажения формы заготовки при вырубке уменьшают изгибающий момент, уменьшая зазор между пуансоном и матрицей или применяя прижим.

Наибольшая деформация в радиальном направлении возникает у рабочих кромок пуансона и матрицы, поэтому именно там зарождаются микро-, а затем макротрещины, быстро растущие в глубь металла. При слиянии трещин процесс разделения металла заканчивается. Слияние (совпадение) трещин скалывания происходит, как и при отрезке, при оптимальном зазоре  $z_{onm}$  (рис. 4.3, б), определяемом по формуле (3.2).

При зазоре  $z > z_{onm}$  скалывающие трещины соединяются в срединных слоях листа. С увеличением зазора увеличивается изгибающий момент, вызывающий увеличение растягивающих напряжений в зоне деформации, в связи с чем трещины скалывания выходят на свободные поверхности листа на некотором удалении от режущих кромок инструмента и образуют заусенец.

При зазоре  $z < z_{onm}$  скалывающие трещины не совпадают, при этом образуется два или несколько блестящих поясков, разделенных между собой зонами скалывания (рис. 4.3, а).

Оптимальный зазор при вырубке и пробивке зависит от толщины заготовки и ее механических свойств, он определяется по специальным таблицам, составленным на основании обобщения практических данных. При толщине металла 0,3—20,0 мм оптимальный зазор изменяется от 5 до 12 % от толщины листа  $s$  (меньшие значения относятся к меньшей толщине, большие — к большей).

Существует более дифференцированный подход к определению значения  $z_{onm}$  с учетом требуемой шероховатости поверхности разделения, технологического усилия и стойкости инструмента [11].

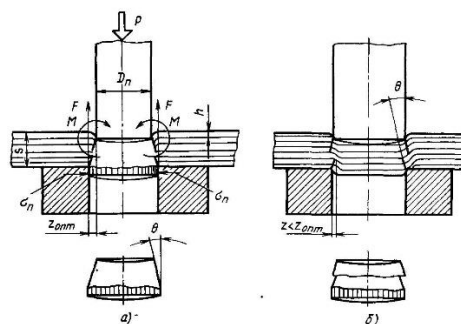


Рис. 4.3. Расположение трещин скалывания в зависимости от зазора при вырубке и пробивке

При штамповке особо тонкого металла толщиной менее 0,3 мм применяют штампы без специально предусмотренного зазора между пуансоном и матрицей. В данном случае контур сырого (незакаленного) пуансона получают путем протягивания через термически обработанную матрицу, изготовленную по специальному шаблону. В условиях высокоскоростной вырубки-пробивки (при числе двойных ходов пресса более 120 в 1 мин) из-за расширения инструмента вследствие нагрева назначают зазоры между пуансоном и матрицей, увеличенные в 1,5÷2 раза по сравнению с обычными" (оптимальными).

Как показал Ф. П. Михайленко, при увеличении зазора при вырубке и пробивке до 15—20 % по сравнению с оптимальным стойкость инструмента существенно увеличивается, однако при этом качество боковой поверхности отделяемой детали становится хуже. Зазор между пуансоном и матрицей оказывает влияние на знак и значение упругих деформаций вырубленной детали (или пробитого отверстия). С увеличением зазора возрастает изгибающий момент, в связи с чем увеличиваются растягивающие напряжения, а, следовательно, и растягивающие деформации в радиальном направлении.

После разгрузки в зонах скругления вырубленной детали и отхода возникают сжимающие упругие деформации  $\varepsilon_p$ , в результате чего диаметр детали становится меньше диаметра матрицы, а диаметр отверстия — больше диаметра пуансона. При этом деталь свободно проваливается сквозь матрицу, а отход легко снимается с пуансона.

С уменьшением зазора (по сравнению с оптимальным) изгибающий момент уменьшается и становится настолько незначительным, что растягивающие напряжения, действующие в радиальном направлении, почти не оказывают влияния на упругие деформации. Однако при этом растет шаровой тензор сжатия, в результате чего после вырубки возникают обратные по знаку растягивающие упругие деформации, приводящие к увеличению диаметра вырубленной детали и к уменьшению диаметра пробитого отверстия. При этом деталь остается в матрице, а отход плотно охватывает пуансон. Кроме того, с уменьшением зазора возрастает концентрация нормальных напряжений  $\sigma_z$  у рабочих кромок пуансона и матрицы и это вызывает быстрое их притупление и, следовательно, снижение стойкости.

Вместе с тем при малом зазоре отделяемая деталь имеет более точные

размеры и остается плоской без дополнительной правки.

## **РАСЧЕТ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ВЫРУБКИ И ПРОБИВКИ**

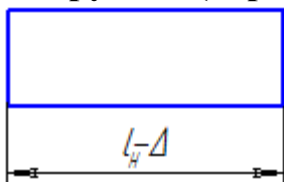
Рабочие детали (элементы) штампов для вырубки и пробивки - матрицу и пуансон можно изготавливать *совместно и раздельно*.

### **СОВМЕСТНОЕ ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПУАНСОНОВ И МАТРИЦ**

- При *совместном* изготовлении одна из рабочих деталей (сопрягаемая) дорабатывается по другой:
- При **вырубке** - пуансон по матрице (матрица определяет размер штампуемого элемента и является основной), *Изнашивание матрицы приводит к увеличению ее рабочего отверстия, поэтому исполнительные размеры рабочего отверстия матрицы для вырубки должны быть наименьшими предельными.*
- При **пробивке** - диаметр отверстия, получаемого пробивкой соответствует диаметру пуансона. *Изнашивание пуансона приводит к уменьшению его диаметра. Поэтому исполнительный размер пуансона должен быть наибольшим предельным.* Матрица подгоняется по пуансону (пуансон определяет размер отверстия, паза и является основным).

*При этом расположение полей допусков штампуемого элемента и рабочих деталей штампов соответствует схеме, показанной на рис. 2.*

**При совместном изготовлении**  
**Вырубка (вариант 1)      размер увеличивается**



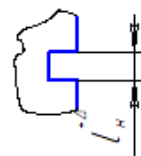
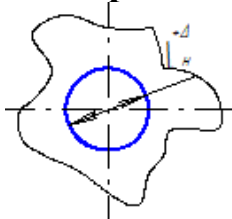
$$L_M = (L_H - \Pi_{II})^{+\delta_M}$$

$$L_M = (L_H - \Pi_{II})^{+\delta_M}$$

$$L_{II} = (L_H - \Pi_{II} - z)_{-\delta_{II}}$$

Доработка пуансона по матрице

**Пробивка (вариант 2)      размер уменьшается**



$$L_{II} = (L_H + \Pi_{II})_{-\delta_{II}}$$

$$L_{II} = (L_H + \Pi_{II})_{-\delta_{II}}$$

$$L_M = (L_H + \Pi_{II} + z)^{+\delta_M}$$

Доработка пуансона по матрице

Обозначения:  $\Pi_{II}$  — припуск на износ пуансона (матрицы);  $\delta_M$  и  $\delta_{II}$  — предельные отклонения исполнительного размера соответственно матрицы и пуансона

*Приведенные формулы применимы для случаев, когда при изнашивании рабочих деталей штампа размер  $L_H$  штампуемого элемента увеличивается (см. вариант 1) или уменьшается (вариант 2).*

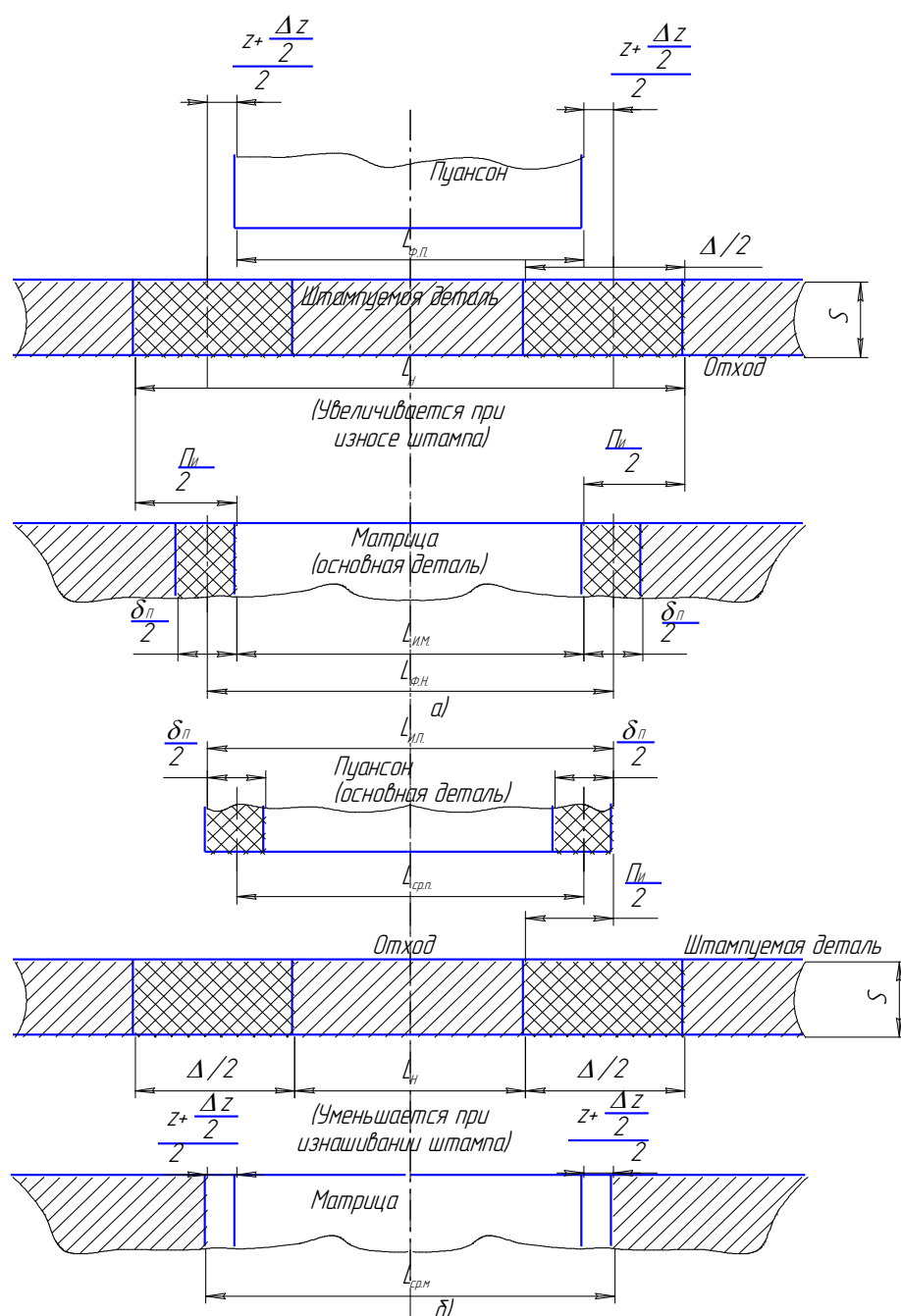
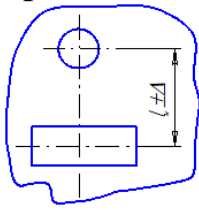


Рис. 2. Схема размеров и полей допусков штампуемой детали и рабочих деталей штампа при их совместном изготовлении:

а - при вырубке; б - при пробивке;  $L_H$  — номинальный размер штампуемого элемента;  $L_{H.M}$  — номинальный размер матрицы;  $L_{H.П}$  — номинальный размер пуансона;  $L_{Ф.М}$  — фактический размер матрицы;  $L_{Ф.П}$  — фактический размер пуансона;  $\Delta$  — допуск размера штампуемого элемента;  $\Pi_{И}$  — припуск на износ пуансона и матрицы;  $\delta_{П}$  и  $\delta_{М}$  — допуски размеров пуансона и матрицы;  $z$  и  $\Delta z$  — зазор и поле допуска зазора между матрицей и пуансоном (двусторонние) ГОСТ 25347 Подбор полей допусков по - 82 для всех значений с соблюдением условия  $(\delta'_M + \delta'_П) = \Delta Z$  не представляется возможным.

**При совместном изготовлении**      **При раздельном изготовлении**  
**Пробивка (вариант 3)**      размер не изменяется



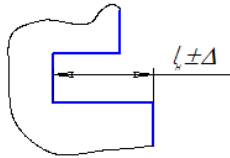
$$L_{\Pi} = L_H \pm 0,5\Delta$$

Доработка матрицы по пуансону

$$L_{\Pi} = L_H \pm 0,5\Delta$$

$$L_M = L_H \pm 0,5\Delta + z$$

**Отрезка (вариант 3)**      размер не изменяется



$$L_M = L_H \pm 0,5\Delta$$

Доработка пуансона по матрице

$$L_M = L_H \pm 0,5\Delta$$

$$L_{\Pi} = L_H \pm 0,5\Delta - z$$

Обозначения:  $\Delta$  — предельное отклонение номинального размера штампуемого элемента;  $z$  — зазор между пуансоном и матрицей.

Если же изнашивание рабочих деталей не влечет за собой изменение размера штампуемого элемента (варианты «пробивка, отрезка»), то исполнительные размеры рабочих деталей определяются по формулам приведенным в вариантах 3. При этом в качестве основной детали могут быть приняты либо пуансон, либо матрица.

Если размеры штампуемого элемента для случая вырубки (вариант «вырубка») заданы в виде  $L_n \pm \Delta$ , то их следует преобразовать к виду  $(L_n + \Delta) - 2\Delta$  и далее, рассматривая  $L_n + \Delta$  как номинальный размер и

$2\Delta$  - как его поле допуска, воспользоваться формулой (1) (см.табл. 1).

То же касается случая задания размера отверстия (вариант «пробивка») в виде  $L_n \pm \Delta$ . Его следует преобразовать к виду  $(L_n - \Delta) + 2\Delta$  и воспользоваться формулой (4) приведенной в табл. 1.

Размеры могут быть заданы также в виде  $L_{H-\Delta_1}^{-\Delta_1}$  или  $L_{H+\Delta_1}^{+\Delta_2}$  (при  $\Delta_2 > \Delta_1$ ) соответственно для вариантов 1 и 2. В этом случае следует преобразовать их к виду  $(L_H - \Delta_1)_{-(\Delta_2 - \Delta_1)}$  соответственно  $(L_H + \Delta_1)^{+(\Delta_2 - \Delta_1)}$ , а затем пользоваться формулами, считая  $L_H - \Delta_1$  и  $L_H + \Delta_1$  номинальными размерами штампуемого элемента, а  $\Delta_2 - \Delta_1$  полем их допуска.

**Предельное отклонение номинального размера и припуск на износ пуансона (матрицы) задают в соответствии полями допусков на номинальные размеры детали**

Размер штампуюемо го элемента, мм	Поля допусков номинальных размеров штампуемого элемента									
	H9; h9				H10; h10				H11; h11	
	$\Delta$	$\Pi_{\text{н}}$	$\delta_{\text{м}}$	$\delta_{\text{п}}$	$\Delta$	$\Pi_{\text{н}}$	$\delta_{\text{м}}$	$\delta_{\text{п}}$	$\Delta$	$\Pi_{\text{н}}$
Св. 1 до 3	0,025	0,025	0,008	0,005	0,040	0,040	0,011	0,008	0,060	0,060
» 3 » 6	0,030	0,030	0,009	0,006	0,048	0,048	0,014	0,010	0,075	0,075
» 6 » 10	0,036	0,036	0,011	0,008	0,058	0,058	0,017	0,012	0,090	0,090
» 10 » 18	0,043	0,043	0,012	0,009	0,070	0,070	0,021	0,015	0,110	0,100
» 18 » 30	0,052	0,052	0,016	0,012	0,084	0,084	0,025	0,019	0,130	0,120
» 30 » 50	0,062	0,062	0,019	0,014	0,100	0,100	0,030	0,022	0,160	0,440
» 50 » 80	0,074	0,074	0,022	0,017	0,120	0,100	0,030	0,022	0,190	0,170
» 80 » 120	0,087	0,087	0,026	0,019	0,140	0,120	0,035	0,030	0,220	0,170
» 120 » 180	0,100	0,100	0,030	0,022	0,160	0,140	0,035	0,035	0,250	0,200
» 180 » 250	0,115	0,100	0,030	0,022	0,185	0,145	0,035	0,035	0,290	0,240

Размер штампуюемо го элемента, мм	Поля допусков номинальных размеров штампуемого элемента									
	H9; h9				H10; h10				H11; h11	
	$\Delta$	$\Pi_{\text{н}}$	$\delta_{\text{м}}$	$\delta_{\text{п}}$	$\Delta$	$\Pi_{\text{н}}$	$\delta_{\text{м}}$	$\delta_{\text{п}}$	$\Delta$	$\Pi_{\text{н}}$
» 180 » 250	0,115	0,100	0,030	0,022	0,185	0,145	0,035	0,035	0,290	0,240
» 250 » 315	0,130	0,120	0,035	0,030	0,210	0,170	0,035	0,035	0,320	0,250
» 315 » 400	0,140	0,120	0,035	0,030	0,230	0,180	0,035	0,035	0,360	0,300
» 400 » 500	0,153	0,140	0,035	0,030	0,250	0,200	0,045	0,045	0,400	0,300

### 3.3. ЭНЕРГОСИЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА

К энергосиловым характеристикам процессов вырубки и пробивки относятся: усилие вырубки и пробивки, усилие проталкивания отделенной части металла через рабочее отверстие матрицы, усилие съема отхода (или изделия) с пуансона и работа деформирования.

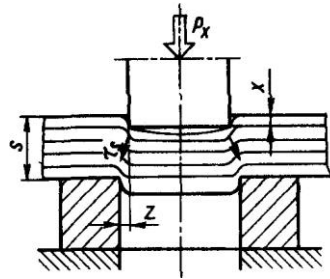


Рис. 4.5. Схема внедрения пуансона в металл при вырубке и пробивке

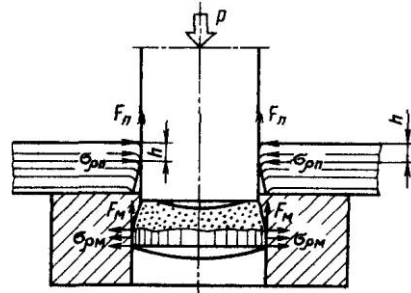


Рис. 4.6. Схема действия сил трения

Усилие вырубки и пробивки (или деформирующее усилие) зависит от сопротивления срезу  $\sigma_{cp}$  материала заготовки, толщины металла  $s$ , длины отделяемого контура  $L$ , формы и состояния рабочих кромок пуансона и матрицы и зазора между ними, скорости деформирования и глубины внедрения пуансона в металл в момент появления скалывающей трещины.

При расчетах усилие вырубки и пробивки приближенно определяют, как произведение площади боковой поверхности  $F$ , отделяемой части металла, на сопротивление срезу  $\sigma_{cp}$  с учетом притупления рабочих кромок пуансона и матрицы коэффициентом  $\omega = 1,1 \div 1,3$ :

$$P = \omega \cdot F \cdot \sigma_{cp} = \omega \cdot L \cdot s \cdot \sigma_{cp} \quad (4.9)$$

Из формулы (4.9) следует, что максимальное усилие возникает в самом начале вырубки и пробивки, когда площадь  $F$  максимальна. В реальных условиях деформирования усилие вырубки и пробивки изменяется от нуля в начале процесса до максимума, а затем начинает уменьшаться в момент появления скалывающих трещин.

Если принять допущения о том, что по поверхности раздела происходит чистый сдвиг, а радиальные относительные деформации  $\varepsilon_r$  равномерно распределены по толщине заготовки и направление главных осей в процессе деформирования остается неизменным, то формула для определения усилия вырубки и пробивки (до момента появления скалывающих трещин) может быть представлена в виде:

$$P_x = L(s - x) \cdot \tau_s,$$

где  $x$  — глубина внедрения пуансона в металл (рис. 4.5),

а  $\tau_s = 0,58 \cdot \sigma_s$  — наибольшее касательное напряжение.

При холодной вырубке и пробивке напряжение текучести увеличивается с увеличением степени деформации вследствие деформационного упрочнения металла. Если считать, что изменение  $\sigma_s$  происходит согласно степенной зависимости, предложенной С. И. Губкиным:

$$\sigma_s = \frac{\sigma_B}{1 - \psi_p} \cdot \left( \frac{\psi}{\psi_p} \right)^{\frac{\psi_p}{1 - \psi_p}}, \quad (4.10)$$

где  $\psi$  — степень деформации, эквивалентная по упрочняющему эффекту,



относительному изменению площади среза

$$\psi = \frac{F_0 - F_x}{F_0} = \frac{sL - (s-x)L}{sL} = \frac{x}{s},$$

то формула для определения усилия вырубki и пробивки с учетом упрочнения металла примет вид

$$P_x = L \cdot (s-x) \cdot \frac{0,58 \cdot \sigma_B}{1-\psi_p} \cdot \left( \frac{x}{s \cdot \psi_p} \right)^{\frac{\psi_p}{1-\psi_p}}. \quad (4.11)$$

Анализ полученной формулы указывает на существование экстремального значения  $P$ . Исследования на экстремум позволяют установить существование максимума усилия при  $x = s \cdot \psi_p$ . Подставив значение  $x$  в формулу (4.11), получим:

$$P_{\max} = 0,58 \cdot \sigma_B \cdot L \cdot s,$$

или, учитывая, что для малоуглеродистых листовых сталей  $\sigma_{op} = 0,7\sigma_B$ , имеем:

$$P_{\max} = 0,83 \cdot \sigma_{cp} \cdot L \cdot s. \quad (4.12)$$

С помощью формулы (4.12), предложенной Е. А. Поповым, можно получить лишь приближенные значения  $P_{\max}$ , так как при ее выводе был принят ряд допущений [16]. Однако она отражает физическую сущность процесса и показывает, что максимальное усилие вырубki и пробивки возникает при определенной глубине внедрения пуансона в заготовку, а не в самом начале деформирования, когда ее толщина наибольшая.

*Усилие проталкивания и съема.* При вырубке с малым зазором деталь (или заготовка) остается в матрице, а отход плотно охватывает пуансон. В результате упругих деформаций возникают контактные напряжения  $\sigma_{pm}$  и  $\sigma_{pn}$ , которые при проталкивании детали сквозь матрицу и съеме отхода с пуансона вызывают возникновение напряжений трения (рис. 4.6).

В связи с этим при рабочем ходе пуансона необходимо преодолеть не только сопротивление вырубке-пробивке  $P_T$ , но и сопротивление сил трения  $F_M$ , возникающих при перемещении детали относительно матрицы, а также сопротивление сил трения  $F_n$  на контактной поверхности пуансона и отхода металла. В этом случае усилие пресса  $P = P_T + F_M + F_n$ . При обратном ходе пуансон преодолевает только сопротивление сил трения съему отхода металла с пуансона  $F_n$ . Сумму сил  $F_M$  и  $F_n$  называют усилием проталкивания  $P_{пр} = F_M + F_n$ , а силу  $F_n$  — усилием съема  $P_{сн} = F_n$ .

Определение усилий проталкивания и съема позволяет уточнить энергосиловые характеристики вырубki и пробивки, а также получить необходимые данные для расчета на прочность и жесткость отдельных деталей штампов (съемники и их пружины, пуансонодержатели и детали их крепления и пр.).

Если считать, что отход металла соприкасается с пуансоном только блестящим пояском высотой  $h$  (см. рис. 4.6), то формула для определения усилия съема будет иметь вид:

$$P = L \cdot h \cdot \sigma_{pn} \cdot \mu.$$

Принимая  $h = 0,3 \cdot s$ ,  $p = 0,2$  и  $\sigma_{pn} \approx \sigma_{cp}$ , получаем

$$P_{сн} = 0,06 \cdot L \cdot s \cdot \sigma_{cp} = 0,06 \cdot P_T.$$

Для принятых условий деформирования усилие съема составляет 6 % от технологического усилия вырубки-пробивки.

Если силы трения, приложенные к поверхности контакта пуансона и отхода металла, равны силам трения, приложенным к поверхности контакта вырубленной детали и матрицы ( $F_{\text{п}} = F_{\text{м}}$ ), то усилие проталкивания будет равно удвоенному усилию съема ( $P_{\text{пр}} = 2P_{\text{сн}}$ ). Однако вследствие даже незначительного изгиба отделенной части металла нормальные напряжения  $\sigma_{\text{рм}}$ , приложенные к поверхности контакта вырубленной детали и матрицы, существенно уменьшаются, поэтому усилие проталкивания оказывается немногим больше усилия съема ( $P_{\text{пр}} \cong P_{\text{сн}}$ ).

Кроме рассмотренных факторов, на усилие проталкивания и съема существенно влияют: ширина перемычки между соседними отделяемыми контурами (чем она больше, тем усилие проталкивания и съема больше); форма и размеры штампуемого контура; зазор между пуансоном и матрицей; возможность перекоса отхода металла относительно пуансона и пр. Так как учет влияния этих факторов представляет определенные трудности, усилие проталкивания и съема определяют, используя экспериментальные данные, полученные в функции усилия вырубки - пробивки по следующим эмпирическим формулам:

$$P_{\text{пр}} = K_{\text{пр}} \cdot P \cdot n = K_{\text{пр}} \cdot P \cdot (h/s); \quad (4.13)$$

$$P_{\text{сн}} = K_{\text{сн}} \cdot P, \quad (4.14)$$

где  $K_{\text{пр}}$  и  $K_{\text{сн}}$  — коэффициенты (или относительные усилия) проталкивания и съема;  $n$  — число деталей, находящихся в шейке матрицы.

В зависимости от толщины металла, числа одновременно штампуемых деталей и типа штампа (простого или последовательного действия)  $K_{\text{пр}}$  изменяется от 0,02 до 0,20, а  $K_{\text{сн}}$  — от 0,05 до 0,14. Чем толще металл, тем относительное усилие съема и проталкивания больше [18].

Г. Д. Скворцовым разработана методика расчета относительных усилий съема и проталкивания на базе анализа системы «пуансон — металл», сопряженных с определенным натягом после вырубки-пробивки, с учетом относительной ширины перемычки  $b/d$  ( $d$  — диаметр штампуемого контура). Согласно его расчетам относительное усилие  $K_{\text{сн}}$  для черных и цветных металлов при изменении  $b/d$  от 0,01 до 1,0 равно 0,015—0,085, а относительное усилие  $K_{\text{пр}}$  независимо от значения  $b/d$  составляет  $0,035 \div 0,12$  [11].

*Работа деформирования.* Усилие деформирования при вырубке и пробивке изменяется по пути пуансона, причем характер его изменения (кривая рабочей нагрузки) сходен с характером изменения усилия отрезки (см. рис. 3.7). В связи с этим работа деформирования при вырубке и пробивке может быть определена по формуле (3.6), в которой усилие рассчитывается по формуле (4.9), если инструмент для вырубки и пробивки имеет плоские торцы, и по формулам (4.15)—(4.18), если рабочие кромки инструмента наклонные.

При определении работы деформирования при вырубке и пробивке по формуле (3.6, б) значение коэффициента  $\lambda$  в зависимости от толщины, рода металла и его твердости изменяется от 0,15 до 0,75. Чем толще и тверже металл, тем значение  $\lambda$  меньше [11].

## СПОСОБЫ УМЕНЬШЕНИЯ ДЕФОРМИРУЮЩЕГО УСИЛИЯ

Для уменьшения деформирующего усилия вырубки-пробивки применяют различные способы, а именно: вырубку контура по частям, вырубку-пробивку пуансонами разной длины со ступенчатым расположением рабочих кромок и вырубку-пробивку при помощи пуансонов и матриц с наклонными (скошенными) кромками. Последний способ позволяет процесс вырубки-пробивки осуществлять постепенно (как при отрезке на ножницах с наклонным ножом), а не одновременно по всему отделяемому контуру. В результате этого усилие вырубки-пробивки может быть уменьшено на 30—40 %.

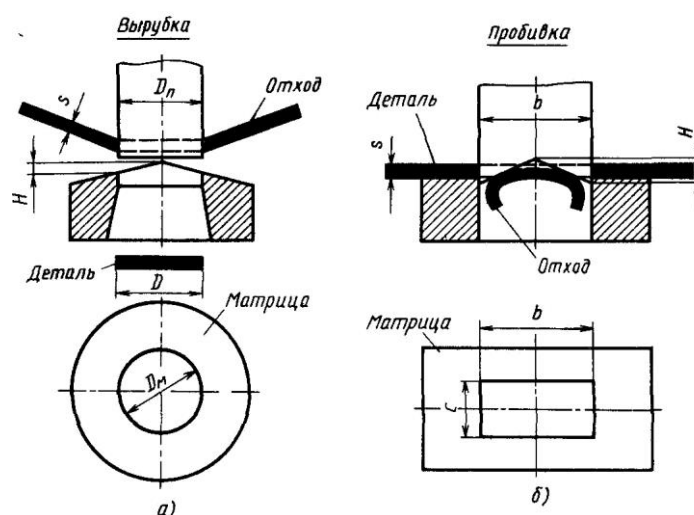


Рис. 4.7. Пуансоны и матрицы для вырубки и пробивки с наклонными (скошенными) рабочими кромками

Для создания условий, при которых горизонтальные проекции усилий вырубки и пробивки, приложенные к наклонно расположенным (скошенным) рабочим кромкам инструмента, могли бы уравниваться, скосы делают симметричными относительно оси инструмента. Это позволяет углы наклона рабочих кромок инструмента делать больше, чем при отрезке с односторонним наклоном режущей кромки ножа. В зависимости от характера операции (вырубки или пробивки) скосы выполняются на матрице или пуансоне (рис. 4.7). Применение скосов вызывает изгиб той части металла, которая соприкасается с инструментом, имеющим наклонные рабочие кромки. Поэтому при вырубке скосы делаются на матрице, а при пробивке — на пуансоне.

В области исследований процесса вырубки-пробивки инструментом со скосами наиболее известны работы Б. П. Звороно. Им предложены расчетные формулы для определения усилия вырубки-пробивки при различной форме рабочих кромок пуансонов и матриц. Например, при вырубке круглой заготовки диаметром  $D$  в матрице с двусторонним скосом (см. рис. 4.7, а) формулы для определения усилия вырубки-пробивки имеют вид:

при высоте скоса  $H$ , равной толщине металла:

$$P_T = (2/3) \cdot \pi \cdot d \cdot s \cdot \sigma_{cp}; \quad (4.15)$$

при высоте скоса  $H$ , находящейся в пределах  $0,5 \div 1,0$  толщины металла:

$$P_T = 2 \cdot s \cdot d \cdot \sigma_{cp} \cdot \arccos[(H - 0,5 \cdot s) / H]. \quad (4.16)$$

При пробивке прямоугольного отверстия с размерами  $b$  и  $c$  пуансоном с двусторонними скосами (см. рис. 4.7, б) формулы для определения усилия имеют вид:

при высоте скоса  $H$ , равной толщине металла:

$$P_T = 2 \cdot s \cdot \sigma_{cp} \cdot (b + 0,5 \cdot c); \quad (4.17)$$

при высоте скоса  $H$  больше толщины металла

$$P_T = 2 \cdot s \cdot \sigma_{cp} \cdot (b + c \cdot \frac{0,5 \cdot s}{H}) \quad (4.18)$$

При вырубке и пробивке деталей (или заготовок) диаметром свыше 250—300 мм из толстолистного металла (при  $s/D > 0,1$ ) скосы предусматривают, как правило, на рабочих кромках матрицы. Число скосов (в виде периодически повторяющихся волн) зависит от размеров матрицы, их может быть 4 и более. Относительная высота скосов  $H/s$  изменяется от 1 до 3, чем толще металл, тем относительная высота скоса меньше.

## **ОСОБЕННОСТИ ВЫРУБКИ И ПРОБИВКИ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**

Основное отличие слоистых и волокнистых пластиков от металлов заключается в том, что они состоят из слоев наполнителя (в виде бумаги, ткани и пр.) и слоев скрепляющей их фенолформальдегидной смолы.

Несмотря на то, что прессование гетинакса происходит при удельном усилии 110—160 МПа и температуре 150—160 °С, структура его неоднородна, она пронизана микротрещинами.

Эти трещины становятся очагами концентрации напряжений в зоне деформации.

- Для деталей, изготавливаемых из слоистых материалов, концентрация напряжений опасна в связи с возможным появлением трещин в процессе штамповки. Поэтому слоистые и волокнистые пластики, особенно гетинаксы, штампуют при соблюдении ряда условий

### ***Условия вырубки-пробивки слоистых пластиков:***

- Малая скорость деформирования (при числе ходов пресса не более 50 в минуту).
- предварительное сжатие заготовки в штампе между матрицей и съемником силой:

$$Q = q \cdot L \cdot s,$$

где  $L$  — периметр контура вырубки;  $q$  — давление прижима (при  $s \leq 1$  мм  $q = 6 \div 10$  МПа, при  $s = 2 \div 3$  мм  $q = 15 \div 20$  МПа).

- Применение предварительной пробивки отверстия, имеющего диаметр меньше номинального с последующей пробивкой в размер.
- Нагрев слоистых пластиков при толщине листа свыше 1,5—2 мм до температуры 90—120 °С для повышения качества поверхности разделения и уменьшения сопротивления сдвигу. Нагрев может осуществляться в электропечах и термостатах, инфракрасными лампами, между горячими плитами, в кипящей воде и пр.

## ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНАЯ И СОВМЕЩЕННАЯ (КОМБИНИРОВАННАЯ) ШТАМПОВКА

- Сущность комбинированной штамповки заключается в объединении нескольких операций в одном штампе, при этом объединяемые операции называют *переходами*.

### Например:

- если шайбу получают вырубкой на одном прессе, а затем пробивкой на другом, то это две **однопереходные операции**;
- если шайбу получают в комбинированном штампе, в котором происходит пробивка и вырубка на одном прессе, то это **двухпереходная операция**.

### Объединяться могут:

- разделительные операции с разделительными (вырубка, пробивка),
- формоизменяющие с формоизменяющими (первой и последующие переходы вытяжки),
- разделительные с формоизменяющими (вырубка, вытяжка).

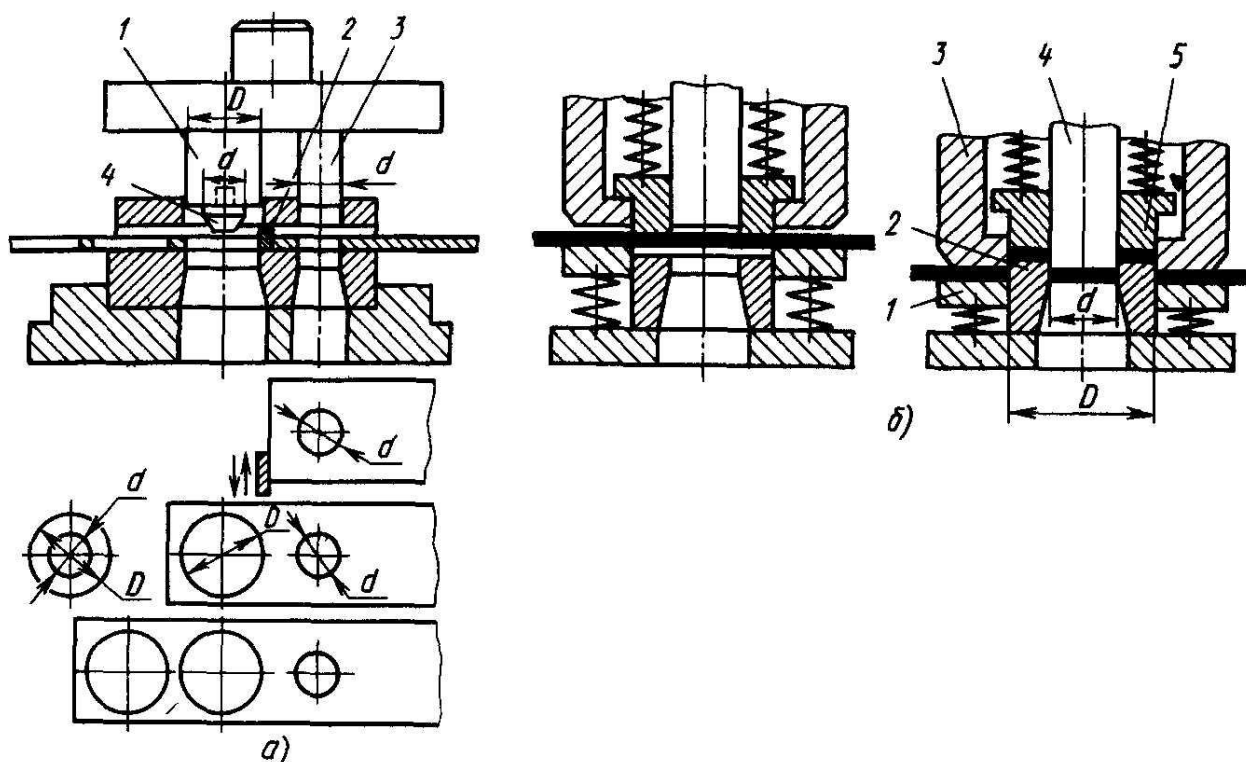
Возможности объединения операций в одном штампе зависят от соотношения внешних и внутренних размеров штампуемых деталей.

- При комбинированной штамповке отдельные ее переходы можно выполнять последовательно, при перемещении заготовки в виде полосы или ленты с одной позиции штамповки на другую, за несколько ходов пресса (**последовательная штамповка**) или одновременно, на одной позиции штамповки, за один ход пресса (**совмещенная штамповка**).

Если не принимать во внимание ходы пресса, совершаемые в самом начале штамповки (число которых на единицу меньше общего числа переходов), то при последовательной штамповке независимо от числа переходов за каждый рабочий ход пресса получают готовую деталь.

***Комбинированную штамповку выполняют в штампах последовательного и совмещенного действия.***

- В штампах последовательного действия рабочий инструмент (пуансон, матрица) расположен последовательно, один за другим (рисунок 4.9, а).
- В штампах совмещенного действия — один в другом (рисунок 4.9, б).
- Штампы совмещенного действия более компактны, чем штампы последовательного действия, их конструкция исключает возможность смещения внешнего контура штампуемой детали относительно внутреннего, равно как и изгиб детали в процессе штамповки.
- Совмещенную штамповку применяют для получения деталей с малыми допусками на эксцентricность и повышенными требованиями к плоскостности изделия. ***Трудоемкость изготовления штампов совмещенного действия в 1,5—2 раза выше, чем штампов последовательного действия.***



- Рис. 4.9. Штампы для штамповки шайбы:
- *а* — последовательного действия (1 — пуансон для вырубки; 2 — упор; 3 — пуансон для пробивки; 4 — съемник отхода; *б* — совмещенного действия (1 — съемник отхода; 2 — пуансон-матрица; 3 — матрица для вырубки; 4 — пуансон для пробивки; 5 — выталкиватель)

## МАТРИЦЫ И ПУАНСОНЫ

### Матрицы.

- Конструкция рабочего отверстия матриц для вырубки и пробивки зависит от толщины штампуемой детали (или заготовки), ее формы и размеров, требуемой точности, характера производства и других факторов. На рис. 4.10 показаны различные типы рабочих отверстий матриц для вырубки и пробивки: с призматическим пояском (*а*), конические по всей высоте (*б*), призматические по всей высоте (*в*), с цилиндрическим пояском и уширенным провальным отверстием (*г*).

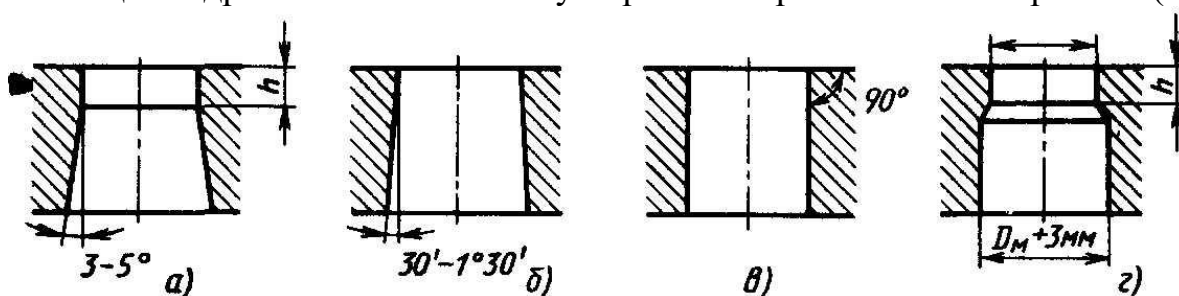


Рис. 4.10. Форма отверстий матриц для вырубки и пробивки

- Матрицы типа *а* (рис. 4.10) применяют при штамповке деталей сложной формы или повышенной точности.

Высота пояска  $h$  зависит от толщины заготовки и изменяется от 3 до 15 мм при соответственном изменении толщины заготовки от 0,5 до 10 мм.

Угол конусности провального отверстия составляет 3—5°. Данный тип провального отверстия обеспечивает стабильность размеров штампуемой детали после перешлифовки матрицы, однако долговечность матриц невелика.

- Матрицы типа *б* (рис. 4.10) применяют при получении небольших деталей простой формы и невысокой точности, так как при перешлифовке рабочее отверстие матрицы увеличивается (при сошлифовке на 3 мм размер отверстия увеличивается на 0,1 мм). Угол конусности рабочего отверстия составляет от 15' до 1°, долговечность матрицы выше, чем матрицы с рабочим отверстием типа *а* (рис. 4.10).

- Матрицы типа *в* (рис. 4.10) применяют при штамповке с обратным выталкиванием детали на поверхность матрицы (в большинстве случаев в штампах совмещенного действия).
- Матрицы типа *г* (рис. 4.10) применяют для пробивки отверстий диаметром до 40 мм. Высота  $h$  цилиндрического пояска матрицы должна быть не менее 3 мм, с увеличением толщины штампуемой детали высота пояска увеличивается; диаметр провального отверстия в матрице на 3 мм больше, чем диаметр  $d$  рабочего отверстия матрицы.

## Пуансоны.

Конструкция рабочей части пуансонов, как и матриц, зависит от диаметра пробиваемого отверстия (или вырубаемой заготовки), толщины металла, характера производства, требуемой точности размеров отверстия и пр. На рисунке . 4.10а показаны четыре типа пуансонов с различной рабочей частью.

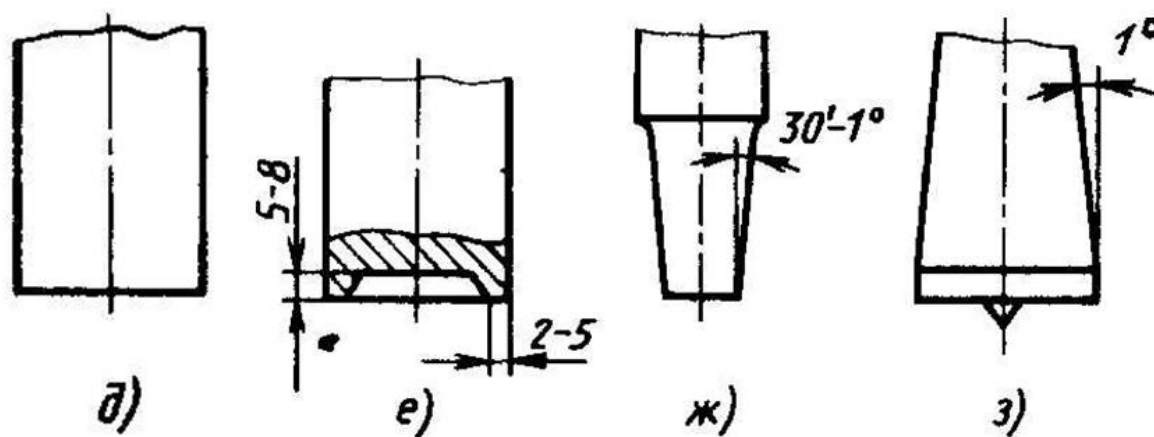


Рис. 4.10 - Типы пуансонов с различной рабочей частью



- Тип «д» наиболее прост, в связи с чем наиболее распространен.
- Тип «е». При диаметре пуансона свыше 50 мм на торцовой его части делается углубление для облегчения перешлифовки. Ширина кольцевой части пуансона должна быть шире очага пластической деформации, возникающего при вырубке-пробивке. Этому условию соответствует ширина 2—5 мм.
- Тип «ж». При пробивке отверстий в толстом листе ( $s > 8$  мм) появляется необходимость уменьшить усилие съема, для этого рабочую часть пуансона делают слегка конусной с углом наклона образующей  $30'—1^\circ$ .

Тип «з». При необходимости уменьшения усилия проталкивания и при пробивке отверстий по разметке керном (например, в мелкосерийном производстве) применяют пуансоны с обратным конусом в  $1^\circ$  и коническим выступом.

- Пробивка отверстий, диаметр которых меньше толщины заготовки, вызывает возникновение сжимающих напряжений, превышающих критические, в связи с чем происходит потеря устойчивости, завершающаяся разрушением пуансона. Поэтому основное условие при разработке конструкции штампа для пробивки относительно малых отверстий — обеспечение устойчивости пуансонов. Выполнение этого условия обеспечивается направляющими для пуансонов по всей их длине в виде телескопических втулок, набора штифтов или шайб.
- В зависимости от условий штамповки стойкость инструмента (до перешлифовки), изготовленного из инструментальной стали, составляет 50000...250000 ударов. Стойкость твердосплавного инструмента достигает 1000000 ударов и более.

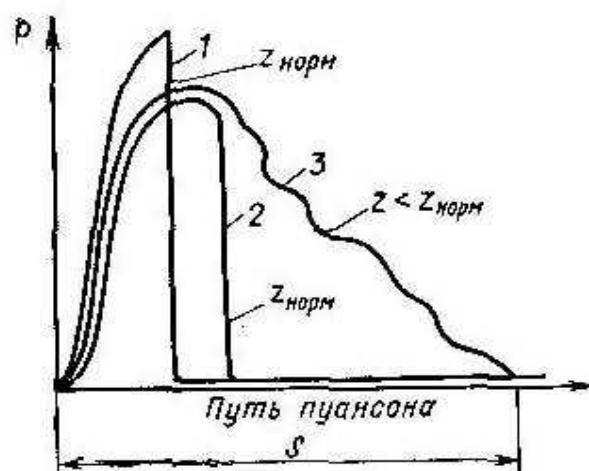
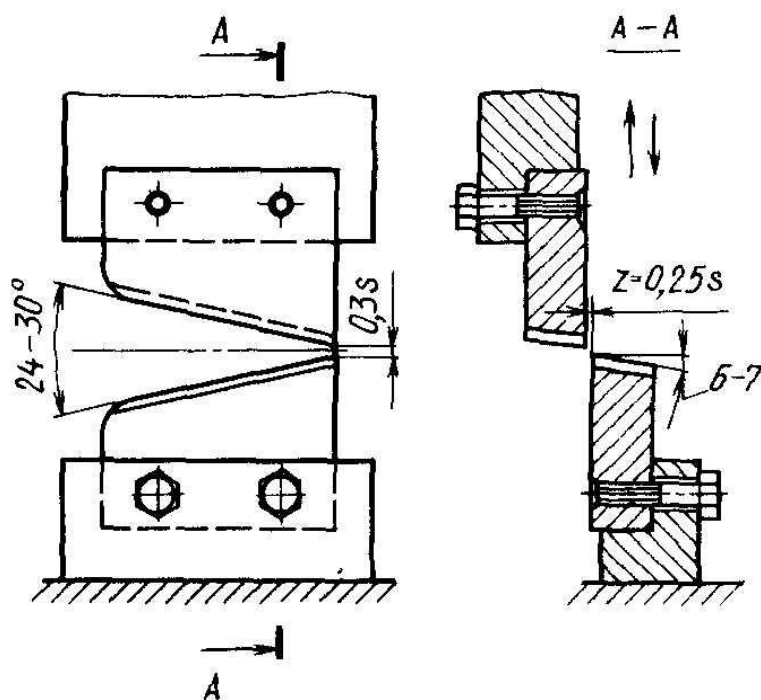


Рис. 9. Графики изменения усилия по пути в разделительных операциях:  
1 — малопластичный металл; 2 и 3 — пластичный металл



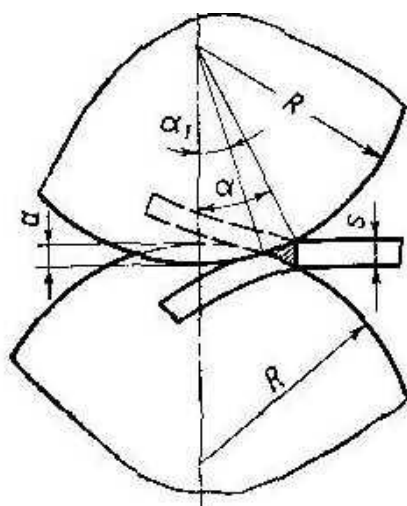


Рис. 16. Схема резания на дисковых ножницах