

## Лекция №20

### Тема Отбортовка отверстий

**План лекции:** 1.Схема процесса, НДС зоны пластической деформации, 2.Усилие, Степень деформации, влияние формы пуансона на усилие и устойчивость процесса, особые способы отбортовки, 3.технологические расчеты. 4.Отбортовка с утонением

Отбортовкой получают горловины на плоских заготовках или на заготовках одинарной (цилиндр, конус) и двойной (сфера и пр.) кривизны, в которых, как правило, имеется технологическое отверстие, эквидистантное контуру горловины. В процессе отбортовки одновременно увеличивают технологическое отверстие и изгибают заготовку на рабочей кромке матрицы, а затем спрямляют ее при перемещении относительно рабочей кромки пуансона. Начальная стадия процесса отбортовки показана на рис. 9.1, а, а конечная на рис. 9.1,б. Зона пластической деформации при отбортовке представляет собой кольцевой участок, ограниченный радиусами  $r_{от}$  и  $R$  (рис. 9.1, а). Напряженное состояние зоны пластической деформации — плоское, характеризуемое двухосным растяжением в радиальном и окружном направлениях. В связи с этим пластичность материала заготовки невысокая, высота горловины, полученная отбортовкой, составляет всего 0,2—0,3 ее диаметра. При отбортовке в холодном состоянии происходит упрочнение металла и уменьшение толщины заготовки в зоне деформации (утонение борта). Эти явления оказывают противоположное влияние на максимальные, радиально направленные растягивающие напряжения  $\sigma_{r \max}$  — утонение заготовки уменьшает, а упрочнение увеличивает значение  $\sigma_{r \max}$ . Если считать, что влияние упрочнения и утонения на  $\sigma_{r \max}$  компенсируют друг друга, то в анализе напряженного состояния их можно не принимать во внимание [22].

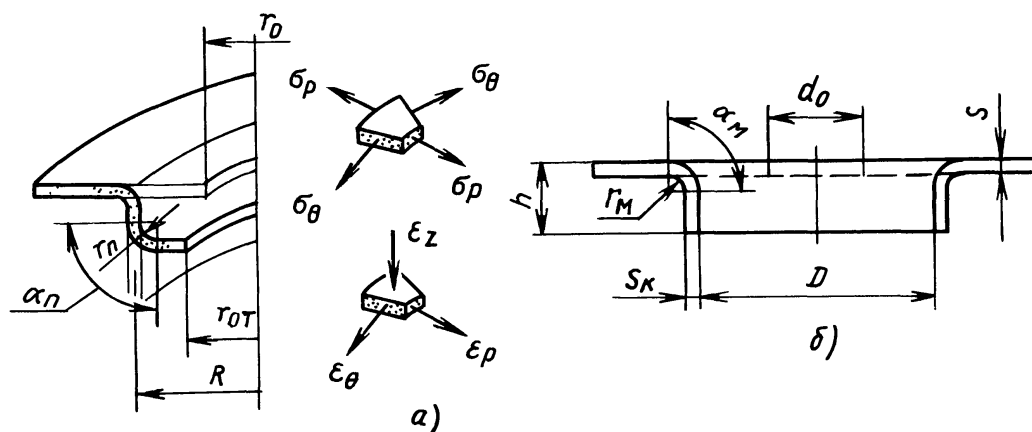


Рис. 9.1. Стадии отбортовки: а — начальная; б — конечная

С учетом напряжений, возникающих в заготовке на всех стадиях процесса, а также с учетом дополнительных напряжений, вызванных силами контактного трения, формула для определения наибольшего радиального растягивающего напряжения в «пиковый» момент отбортовки (когда угол охвата заготовкой рабочих кромок матрицы и пуансона  $\alpha_m = \alpha_n = 90^\circ$ ), полученная инженерным, методом, имеет вид

$$\sigma_{\rho \max} = \sigma_s \cdot \left( 1 - \frac{r_0}{R} + \frac{s}{2 \cdot r_{\text{п}} + s} + \frac{s}{4 \cdot r_{\text{м}} + 2 \cdot s} \right) \cdot (1 + 1,6 \cdot \mu), \quad (9.1)$$

где  $r_0 = r + 0,57 \cdot (r_{\text{м}} + r_{\text{п}} + s)$  — радиус технологического отверстия в заготовке в «пиковый» момент отбортовки;  $R$  — радиус горловины.

В формуле (9.1) двучлен  $(1 - r_0/R)$  представляет собой степень деформации, слагаемые  $s/(2r_{\text{п}} + s)$  и  $s/(4 \cdot r_{\text{м}} + 2 \cdot s)$  учитывают изгиб заготовки на кромках пуансона и матрицы соответственно, а множитель  $(1 + 1,6 \cdot \mu)$  — контактное трение на рабочей кромке пуансона [22]. Более точно величину  $\sigma_{\rho \max}$  с учетом влияния упрочнения металла и утонения борта можно определить по методике, приведенной в работе [16]. Деформирующее усилие отбортовки цилиндрическим пуансоном с плоским торцом в «пиковый» момент процесса при условии, что  $(R - r_0) > r_{\text{п}}$ , определяется по формуле

$$P_{\text{от}} = 2 \cdot \pi \cdot \omega \cdot R \cdot s \cdot \sigma_{\rho \max}, \quad (9.2)$$

где  $\sigma_{\rho \max}$  — максимальное радиальное растягивающее напряжение, определяемое по формуле (9.1).

Деформирующее усилие отбортовки приближенно можно определить, используя формулу (9.1), исключив в ней второе и третье слагаемые и множитель  $(1 + 1,6 \cdot \mu)$ , которые учитывают влияние напряжения изгиба и контактного трения:

$$P_{\text{от}} = 2 \cdot \pi \cdot s \cdot \sigma_{\text{в}} \cdot (1 - R). \quad (9.3)$$

Влияние неучтенных факторов (в том числе упрочнения) в формуле (9.3) компенсируется тем, что вместо напряжения текучести  $\sigma_{\text{в}}$  входящего в формулу (9.1), принято временное сопротивление разрыву  $\sigma_{\text{в}}$ .

Существенное влияние на усилие отбортовки оказывает форма рабочей части пуансона. На рис. 9.2 показан график изменения усилия по ходу при отбортовке цилиндрическим (а), сферическим (б), параболическим (в) и коническим (г) пуансонами. Наименьшее усилие отбортовки требуется при штамповке параболическим и коническим пуансонами.

Деформирующее усилие отбортовки коническим пуансоном:

$$P_{\text{от}} = \pi \cdot R \cdot s \cdot \sigma_{\text{в}} \cdot \left[ \left( 1 - \frac{r_0}{R} \right) \cdot \sin \varphi + (1 - \sin \varphi) \cdot \ln(R/r_0) \right] \cdot (\sin \varphi + \mu \cdot \cos \varphi) \cdot \left( 1 + \sqrt{\frac{r_0}{R - (R - r_0) \cdot \sin \varphi}} \right), \quad (9.4)$$

где  $\varphi$  — угол наклона образующей пуансона.

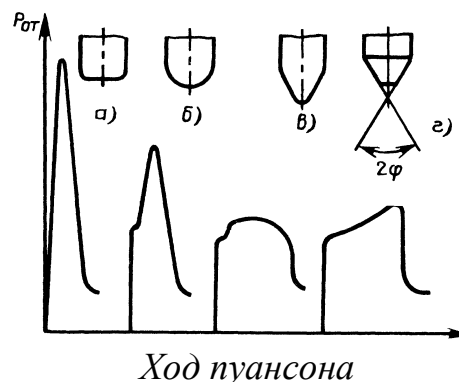


Рис. 9.2. Зависимость усилия отбортовки от хода пуансона

Применение пуансона с углом  $\varphi=30^\circ$  позволяет снизить усилие отбортовки при отношении  $r/R=0,6$  примерно в 1,5 раза по сравнению с усилием, необходимым для отбортовки цилиндрическим пуансоном с плоским торцом и малым радиусом скругления кромки.

Форма рабочей части пуансона влияет на точность размеров и форму образующей горловины. При отбортовке цилиндрическим пуансоном с плоским торцом и относительно малым радиусом скругления рабочей кромки поверхность горловины становится бочкообразной, при этом ее диаметр увеличивается в зоне изгиба и борт отходит от пуансона. Такой дефект недопустим, если горловина предназначена для соединения с другими деталями резьбой или неподвижной посадкой.

Вышеизложенное объясняется действием изгибающего момента, образованного радиальными напряжениями  $\sigma_r$  и контактными силами трения в конечный момент отбортовки. Чем больше зазор между пуансоном и матрицей, тем изгибающий момент больше и тем больше искажается форма борта. Бочкообразность горловины устраняют путем увеличения радиуса скругления рабочей кромки пуансона. При отбортовке полусферическим или коническим пуансоном форма борта остается прямолинейной.

Наибольшая высота горловины  $h_{\max}$ , полученная отбортовкой без дефектов в виде трещин у кромки, зависит от равномерного относительного удлинения кольцевого участка заготовки, граничащего с технологическим отверстием, значение которого, в свою очередь, зависит от степени деформации, характеристик механических свойств материала заготовки и относительной толщины стенки борта горловины  $s/D$ .

Существенное влияние на значение относительного равномерного удлинения оказывает состояние материала заготовки у кромки технологического отверстия. Если упрочнение металла у кромки отверстия незначительно или совсем отсутствует (что может быть при получении отверстия сверлением или пробивкой с последующей зачисткой, а также в результате отжига заготовки после пробивки), то относительное удлинение значительно больше, чем при отбортовке отверстия, полученного пробивкой в штампе, когда ширина упрочненного кольцевого участка заготовки, граничащего с отверстием, соизмерима с ее толщиной.

Относительное удлинение краевой части горловины при отбортовке существенно больше относительного удлинения при растяжении стандартного образца. Это объясняется неравномерным характером распределения деформаций по высоте горловины: периферийный слой деформируется больше, чем слои заготовки, более удаленные от кромки отверстия, в результате чего последние сдерживают деформацию периферийного слоя, увеличивая этим его относительное равномерное удлинение.

Относительное удлинение кольцевого участка заготовки, граничащего с технологическим отверстием, определяется зависимостью

$$\delta_\theta = D/d_0 - 1,$$

где  $d_0$  — диаметр технологического отверстия;  $D$  — диаметр горловины. Отношение  $D/d_0$ , называется коэффициентом отбортовки  $K_{\text{от}}$ .

В связи с отсутствием методики учета влияния концентраторов напряжений и деформационного упрочнения вдоль кромки технологического отверстия, полученного пробивкой, сверлением или каким-либо другим способом, аналитическая функция (в явном виде) для определения коэффициента отбортовки пока не получена.

Предельная степень деформации может быть определена в результате использования метода В. Л. Колмогорова для определения ресурса пластичности. Для этого достаточно получить поле распределения деформаций тем или иным способом и построить диаграмму пластичности для данной марки и толщины металла.

Для определения допустимого коэффициента отбортовки используют экспериментальные данные в виде таблиц или графических зависимостей. Анализ этих данных показывает, что с увеличением относительной толщины заготовки  $s/D$  значение предельно допустимого коэффициента отбортовки  $K_{от}$  увеличивается (рис. 9.3, а).

В связи с тем, что продольная относительная деформация  $\delta_r$  по очагу деформации изменяет свой знак (у кромки горловины — сжатие, а затем на определенном расстоянии от него и далее — растяжение), максимальная разница между длиной развертки образующей борта и шириной деформируемого участка заготовки составляет примерно 10 %. Используя эти данные, диаметр технологического отверстия можно определить из условия равенства длины развертки борта ширине деформируемого участка заготовки (см. рис. 9.1, б):

$$d_0 = D + 2,4 \cdot s + 0,9 \cdot r_m - 2 \cdot h. \quad (9.5)$$

Применение формулы (9.5) возможно, если требуемая высота горловины не превышает предельно допустимую ( $h < h_{max}$ )

$$h_{max} = \frac{D(1 - 1/K_{от}) + 2,4s + 0,9r_m}{2} \quad (9.6)$$

где  $K_{от}$  — коэффициент отбортовки, определяемый согласно экспериментальным данным, имеющимся в справочной литературе [24]. Более корректное решение задачи по определению диаметра технологического отверстия получают при использовании условия неизменности объема детали до и после деформации. Однако результаты измерений высот горловин, полученных отбортовкой, показали, что отклонения расчетных [по формуле (9.5)] и опытных данных (при  $(s/D) \cdot 100 \leq 5$ ) не превышают 6%. Поэтому формула (9.5) приемлема для практического использования. Высота борта обычно не превышает 0,3 диаметра горловины  $D$ . Если технологическое отверстие подвергнуть зачистке, высота борта увеличивается до  $(0,3—0,4) \cdot D$ . В том случае, когда требуемая высота горловины больше предельно возможной ( $h > h_{max}$ ), горловину получают предварительной вытяжкой цилиндрического углубления (за одну или несколько операций по схеме вытяжки деталей с широким фланцем) высотой  $h'$  с последующей пробивкой технологического отверстия и отбортовкой его (см. рис. 9.3, б). Высота углубления  $h'$ , обеспечивающая получение требуемой высоты горловины после отбортовки, определяется зависимостью

$$h' \approx h - 0,28 \cdot D \cdot (K_{от} - 1) / K_{от}, \quad (9.7)$$

которая получена при условии, что диаметр технологического отверстия  $d_0 = (D + s) / K_{от}$ , и радиус скругления дна углубления  $r_{п} = (D - d_0) / 2$ .

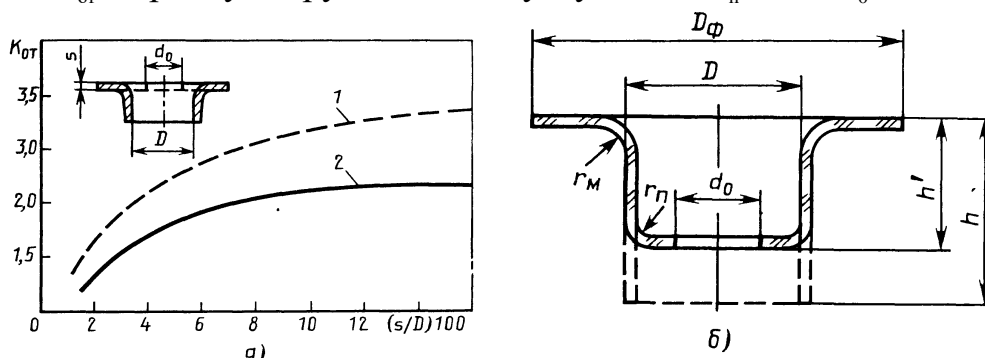


Рис. 9.3. Зависимость допустимого коэффициента отбортовки от относительной толщины заготовки для стали 08: 1 — отверстие получено пробивкой, 2 — сверлением (а) и схема получения горловины вытяжкой и отбортовкой (б)

Штампы для отбортовки без утонения сходны по своей конструкции со штампами для первой операции вытяжки, используемыми на кривошипных прессах простого действия (рис. 9.4). Отличие заключается в том, что на пуансоне закрепляется фиксатор, диаметр которого равен диаметру технологического отверстия  $d_0$ . Зазор между пуансоном и матрицей принимается равным толщине металла, диаметр пуансона  $D_{п}$  соответствует диаметру горловины  $D$ . Радиус скругления пуансона  $r_{п}$  принимается равным 6—8 толщинам заготовки.

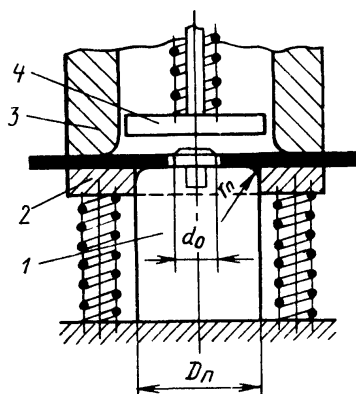


Рис. 9.4. Схема штампа для отбортовки:

1 — пуансон; 2 — съемник; 3 — матрица; 4 — выталкиватель

**Отбортовка плоских кольцевых заготовок.** При штамповке плоских кольцевых заготовок возможны различные варианты формоизменения, а именно: 1) вытяжка цилиндрической детали диаметром  $d$  при неизменном диаметре отверстия  $d_0$  (рис. 9.5, а); 2) вытяжка цилиндрической детали сопровождается увеличением диаметра  $d_0$  (рис. 9.5, б); 3) отбортовка горловины диаметром  $D$ , сопровождающаяся уменьшением диаметра заготовки  $D_0$  (рис. 9.5, в); 4) отбортовка горловины при неизменном диаметре заготовки  $D_0$  (рис. 9.5, г).

Характер формоизменения зависит от соотношения диаметральных

размеров кольцевой заготовки и, следовательно, от значения технологического усилия, необходимого для штамповки. Соотношение между усилием вытяжки и отбортовки можно установить, используя ранее приведенные приближенные формулы (8.24) и (9.3). Сделав сокращения и приняв  $d_0=D$ , получим

$$P_B / P_{OT} = (K_B - 1) \cdot K_{OT} / (K_{OT} - 1). \quad (9.8)$$

При равных друг другу усилиях вытяжки и отбортовки начало обоих процессов равновероятно. Это условие ( $P_B = P_{OT}$ ) позволяет найти функциональную связь  $K_B = 2 - 1/K_{OT}$  используя которую можно построить граничную кривую, разделяющую области отбортовки и вытяжки (рис. 9.5, д). Область соотношений  $K_B$  и  $K_{OT}$ , лежащая под граничной кривой, характеризует отбортовку, область над кривой — вытяжку.

Более детальное исследование формоизменения кольцевых заготовок выполнено 3. Марчиньяком (ПНР), его результаты представлены в виде граничных кривых, разделяющих поле графика в осях  $K_B - 1/K_{OT}$  (см. рис. 9.5, а) на пять областей, каждая из которых соответствует различным вариантам формоизменения (см. рис. 9.5, а ... г). График состоит из двух зон. Зона А (верхняя часть графика) соответствует разрушению заготовки (трещины, отрыв дна), зона В — штамповке без разрушения.

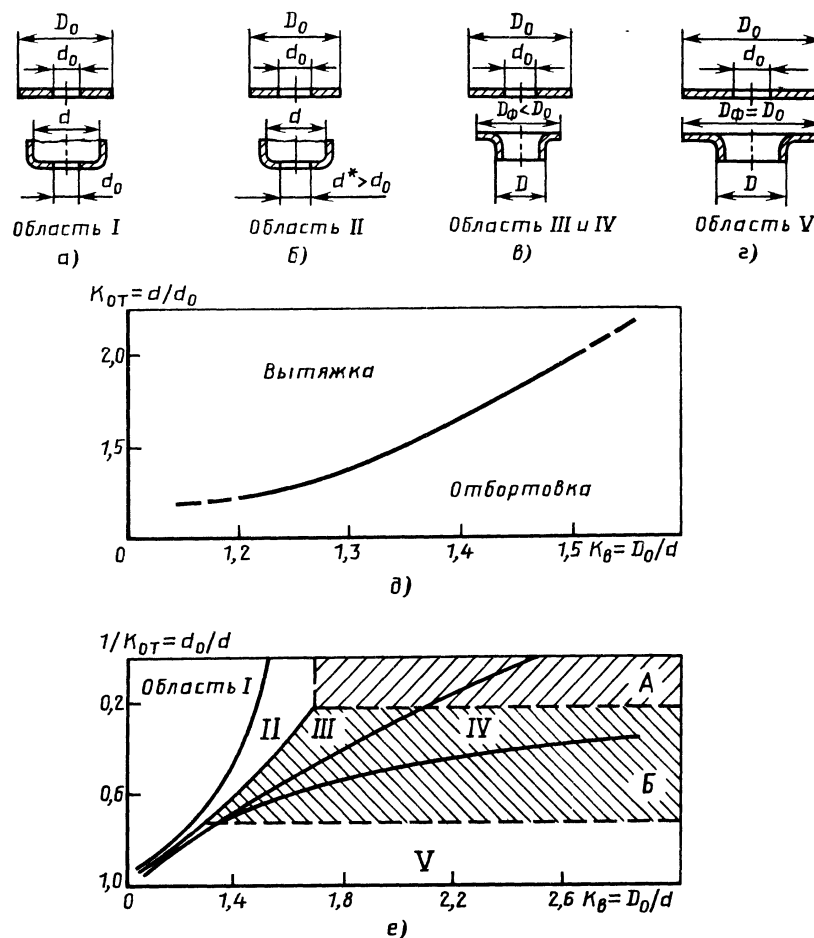


Рис. 9.5. Отбортовка плоских кольцевых заготовок: а-г — возможные варианты формоизменения; д — граничная кривая разделения области отбортовки и вытяжки; е — граничные кривые по 3. Марчиньяку (ПНР)

Нанеся на график точку с координатами  $d_0/d$  и  $D_0/d$ , можно установить характер формоизменения кольцевой заготовки. Из графика следует, что собственно отбортовка возможна только в области V, когда  $D_{\phi}=D_0$ . При других соотношениях диаметров  $D$ ,  $d$  и  $d_0$  (области III и IV) процесс отбортовки ведут с жестким прижимом (защемлением) фланца.

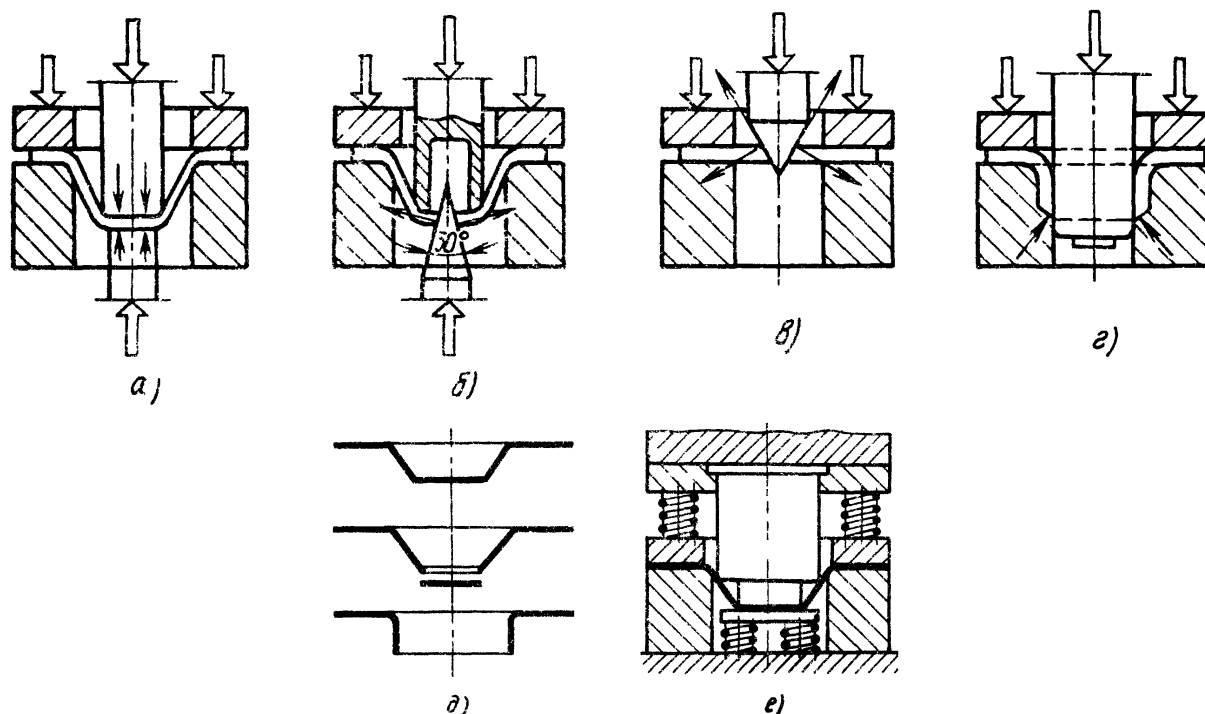


Рис. 9.6. Особые способы отбортовки

Особые способы отбортовки. Кроме рассмотренной традиционной отбортовки плоской заготовки с предварительно пробитым отверстием существуют другие способы получения горловин. К их числу относятся: отбортовка с наложением сжимающих осевых нормальных давлений по кромке отверстия (рис. 9.6, а), отбортовка с наложением сжимающих радиальных давлений по кромке отверстия (рис. 9.6, б), отбортовка с предварительным выравниванием боковой поверхности отверстия конусным пуансоном (рис. 9.6, в), отбортовка с наложением нормальных осевых напряжений в конечный момент деформирования (рис. 9.6, г), совмещение отбортовки с предварительной формовкой выступа для горловины и пробивкой отверстия (рис. 9.6, д) и др. Наложение сжимающих давлений на очаг деформации способствует повышению пластичности и, следовательно, повышению предельно допустимой степени деформации. Выглаживание кромки отверстия коническим пуансоном устраняет микротрещины, появляющиеся при пробивке технологического отверстия, что также способствует повышению степени деформации.

С. З. Юдович и В. Ф. Писков предложили выполнять формовку, пробивку и отбортовку в штампе совмещенного действия, особенность которого заключается в том, что пробивка отверстия осуществляется пуансоном без матрицы, острые кромки которого надрезают обтянутую вокруг него заготовку, а затем отделяют отход (рис. 9.6, е).

Отбортовкой можно получить горловины не только на плоских, но и на

цилиндрических пустотелых заготовках (рис. 9.7). Данным способом изготавливают, например, отростки различного вида для приварки трубопроводов. Для того чтобы горловина имела приблизительно одинаковую высоту по всему контуру, технологическое отверстие должно иметь форму овала, большая ось которого расположена вдоль оси симметрии цилиндрической заготовки, длину можно определить из условия равенства длины развертки борта ширине деформируемого участка заготовки (как при отбортовке круглого отверстия) по формуле (9.5), а длину малой оси  $b$  определяют из того же условия по формуле (см. обозначения на рис. 9.7, а)

$$b = (D_H - s) \cdot \cos \frac{(2 \cdot D_H + 2 \cdot r_H) \cdot \arccos(d_B + 2 \cdot r_H) / (D_H + 2 \cdot r_H) - 2 \cdot h}{D_H - s}. \quad (9.9)$$

Если на чертеже детали имеется только размер  $H$  (рис. 9.7, а), а высота цилиндрического пояска  $h$  отсутствует, последняя определяется по формуле

$$h = (H - 0,5 \cdot s) \cdot \left[ D + (D + 2 \cdot r) \cdot \sqrt{1 - \left( \frac{d + 2 \cdot r}{D + 2 \cdot r} \right)^2} \right],$$

где  $D$ ,  $r$  и  $d$  — срединные размеры поперечного сечения заготовки.

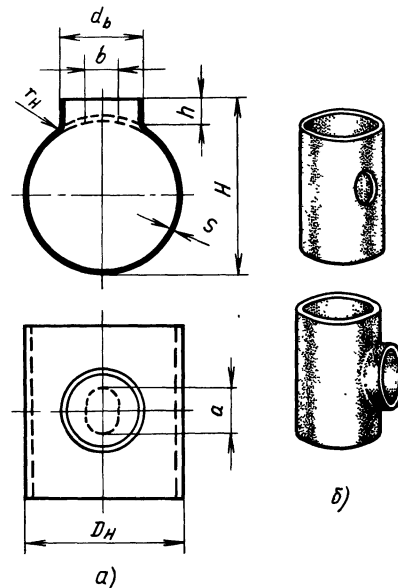


Рис. 9.7. Горловина на цилиндрической пустотелой заготовке

Для изготовления горловин небольших тройников из трубчатых цилиндрических заготовок (рис. 9.7, б) в мелкосерийном производстве применяют штампы с разъемной матрицей, в которых пуансоном для отбортовки служит шарик, заталкиваемый в технологическое отверстие клином, совершающим возвратно-поступательное движение внутри заготовки. Существуют более сложные конструкции штампов для отбортовки, применяемые для изготовления толстостенных тройников большого диаметра.

Горловины диаметром до 500 мм на трубах большого диаметра и длины можно получать развальцовкой на специальных станках мод. ТЗО-Т500 (Финляндия), оснащенных комбинированным, легко переналаживаемым, вращающимся инструментом (рис. 9.8, а). При опускании инструмента происходит сверление технологического отверстия сверлом 2, при этом пальцы 3 втянуты регулирующим конусом 4 в корпус 1 (рис. 9.8, б). После



окончания сверления корпус 1 перемещается внутрь трубы, при помощи регулирующего конуса 4 из него выдвигают пальцы 3 и настраивают на развальцовку горловины требуемого диаметра. Затем инструмент перемещают вверх, пальцы для развальцовки контактируют струбой, постепенно развальцовывая горловину (рис. 9.8, в). В течение всего процесса развальцовки труба прочно закреплена на столе станка.

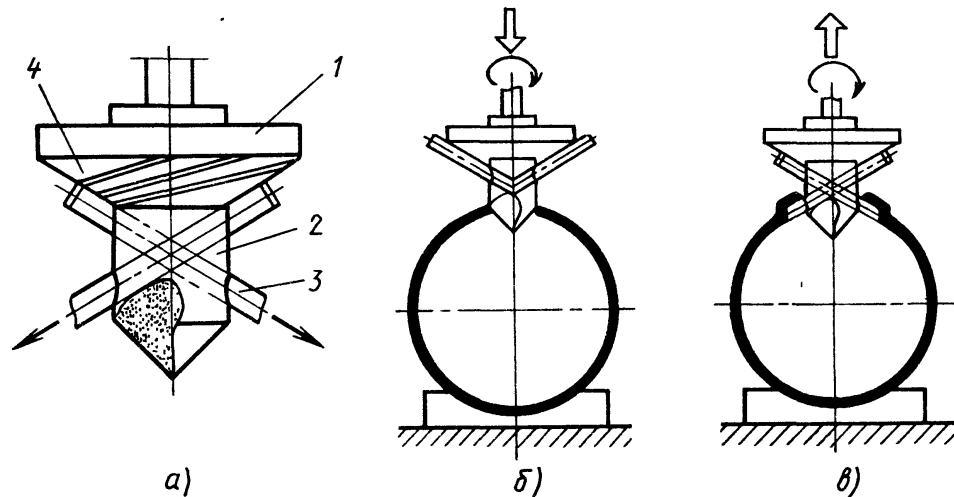


Рис. 9.8. Схема развальцовки горловины на трубах методом «Т-ДРИЛЛ»

Время обработки стальной трубы при диаметре горловины 54 мм составляет 15—30 с, при диаметре горловины 500 мм — 10—20 мин. Если диаметр горловины превышает 100—120 мм, технологическое отверстие фрезеруют, после чего развальцовывают. Рассмотренный способ получения горловин запатентован в Финляндии, где он получил название «Т -ДРИЛЛ».

**Отбортовка с утонением.** Если требуется получить высокую горловину, ее изготавливают в штампе с односторонним зазором между пуансоном и матрицей меньше первоначальной толщины заготовки ( $z < s$ ). При этом увеличение высоты горловины происходит вследствие преднамеренного уменьшения толщины борта. Такой способ формоизменения называется отбортовкой с утонением.

Детали, полученные данным способом, имеют высокую точность диаметральных размеров горловины (8—10-й квалитет) и высокую чистоту поверхности ( $Ra = 3,2 \div 1,6$ ). Кроме того, в результате холодной пластической деформации твердость горловины увеличивается на 30—40 % по сравнению с твердостью заготовки.

Отбортовку с утонением выполняют конусным пуансоном. Вначале осуществляется отбортовка без утонения, а затем, когда в матрицу войдет цилиндрическая его часть, начинается отбортовка с утонением (рис. 9.9, а).

Степень деформации при отбортовке с утонением характеризуется двумя показателями — коэффициентом отбортовки без утонения  $K_{от} = D/d_0$  ( $d_0$  — диаметр технологического отверстия;  $D$  — диаметр горловины, полученной без утонения) и коэффициентом отбортовки с утонением (или коэффициентом утонения), который представляет собой отношение толщины исходной заготовки к толщине стенки горловины (после утонения)  $K_{оту} = s/s_d$ .

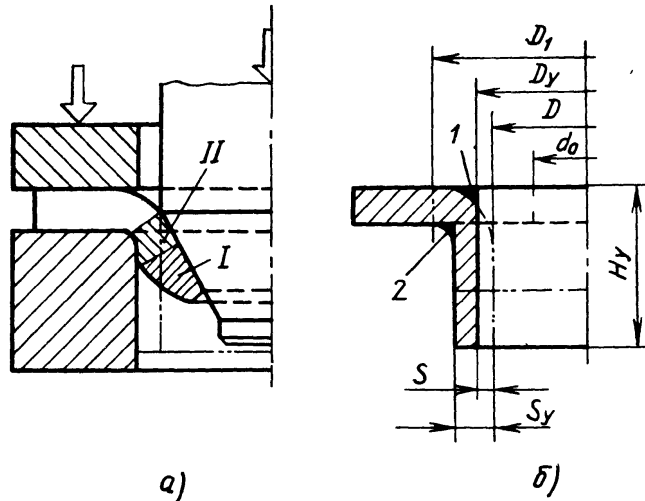


Рис. 9.9. Схема отбортовки с утонением:

*a* — начальная стадия, *б* — конечная стадия

Очаг пластической деформации при отбортовке с утонением состоит из участка I, в пределах которого осуществляется отбортовка без утонения, и участка II, где происходит преднамеренное утонение борта (рис. 9.9, *a*). На участке I очага пластической деформации возникает плоское напряженное состояние, на участке II — объемное.

Анализ напряженно-деформированного состояния очага деформации позволил установить оптимальные условия отбортовки с утонением. На базе этого анализа после принятия ряда упрощающих допущений получена формула для определения оптимального угла наклона образующей конусного пуансона для отбортовки  $\alpha_{\text{опт}}$ , при котором технологическое усилие наименьшее:

$$\cos \alpha_{\text{опт}} \approx 1 - 0,5 \cdot \mu \cdot [2 - \ln(s/s_d)] \cdot \ln(s/s_d), \quad (9.10)$$

где  $s_d$  — толщина борта горловины, полученная после отбортовки с утонением.

При  $\mu=0,1$  и  $s/s_d=0,5$   $\alpha_{\text{опт}} \approx 20^\circ$ . Из формулы (9.10) следует, что оптимальный угол наклона образующей пуансона увеличивается с увеличением коэффициента трения и степени деформации.

Деформирующее усилие, необходимое для отбортовки с утонением, приближенно можно определить как произведение площади поперечного сечения горловины на среднее по очагу деформации напряжение текучести:

$$P_{\text{от}} \approx \pi \cdot (D_y + s_y) \cdot s_y \cdot \sigma_{s(\text{cp})}. \quad (9.11)$$

Если принять степенную аппроксимацию диаграммы упрочнения и считать, что относительная степень деформации  $\psi_{\text{cp}} = (s - s_y)/2 \cdot s$ , то среднее значение напряжения текучести будет равно

$$\sigma_{s(\text{cp})} = \frac{\sigma_B}{1 - \psi_p} \cdot \left( \frac{s - s_y}{2 \cdot s \cdot \psi_p} \right)^{\psi_p / (1 - \psi_p)}.$$

Более точно деформирующее усилие отбортовки может быть определено как алгебраическая сумма сил, создаваемых растягивающими напряжениями в стенке горловины, и сил трения, возникающих на контактной поверхности пуансона и детали.

Наибольшая высота горловины  $H_{\max}$ , получаемая отбортовкой с утонением, зависит от равномерного относительного удлинения материала заготовки, состояния кромки технологического отверстия (как при отбортовке без утонения) и относительного утонения стенки горловины. При утонении, превышающем допустимое ( $K_{\text{оту}}=s/s_y$ ), возможен отрыв горловины от фланца детали.

Если известно значение  $K_{\text{оту}}$ , то наибольшую высоту горловины можно определить из условия равенства объемов заготовки (с технологическим отверстием) и детали:

$$H_{\max} = \frac{(D_y + 2 \cdot s / K_{\text{оту}})^2 - d_0^2}{(4 \cdot s / K_{\text{оту}}) \cdot (D_y + s / K_{\text{оту}})} \cdot s, \quad (9,12)$$

где  $d_0$  — диаметр технологического отверстия;

$D_y$  — внутренний диаметр горловины.

При составлении уравнения равенства объемов сделано допущение о том, что заготовка жесткопластическая, разделенная на жесткую и пластическую зоны цилиндрической поверхностью диаметром  $D$  и высотой  $s$ , а объемы кольцевых участков 1 и 2 с внутренними диаметрами  $D$  и  $D_y$  соответственно равны друг другу (на рис. 9.9, б поперечные сечения их зачернены).

Допустимое уменьшение толщины стенки горловины определяется на основании экспериментальных данных, для пластичных материалов  $K_{\text{оту}}=2,0 \div 1,66$ . Диаметр  $d_0$  технологического отверстия в заготовке, обеспечивающий получение горловины требуемой высоты, определяют по формуле (9.5), как при отбортовке без утонения, с учетом того, что  $D = D_y - 2s(1-1/K_{\text{оту}})$ .

Штамп для отбортовки с утонением стенки имеет конструктивную особенность, заключающуюся в том, что вследствие высоких радиальных давлений на матрицу ее бандажируют.