

Лекция №17

Тема ВЫТЯЖКА ДЕТАЛЕЙ КОРОБЧАТОЙ ФОРМЫ

План лекции: Область применения, характеристика операции вытяжки, НДС., определение размеров заготовки, силовые параметры вытяжки, степень деформации, количество переходов, перетяжные ребра.

В зависимости от числа операций, необходимых для получения коробчатых деталей требуемых размеров, последние подразделяются на **низкие** и **высокие**. Низкие детали вытягивают за одну операцию, высокие за две и более операций.

Деталь коробчатой формы считают низкой, если ее относительная высота (отношение высоты детали H к ее ширине B) $H/B \leq (0,6 \div 0,8)$, высокой — если $H/B > (0,6 \div 0,8)$. При этом относительный угловой радиус \bar{r}_y должен быть не менее $0,1$ ($\bar{r}_y = r_y / B \geq 0,1$).

При вытяжке деталей коробчатой формы очаг пластической деформации находится в угловых участках фланца, он также охватывает зону сопряжения фланца и боковых стенок. Напряженное состояние углового участка фланца — плоское (сжато-растянутое), деформированное состояние — объемное. Стенки детали испытывают сложное и неравномерное напряженно-деформированное состояние: сжатие вдоль контура и растяжение по высоте (рис. 8.40). Чем выше деталь, тем характер распределения напряжений и деформаций более неравномерен.

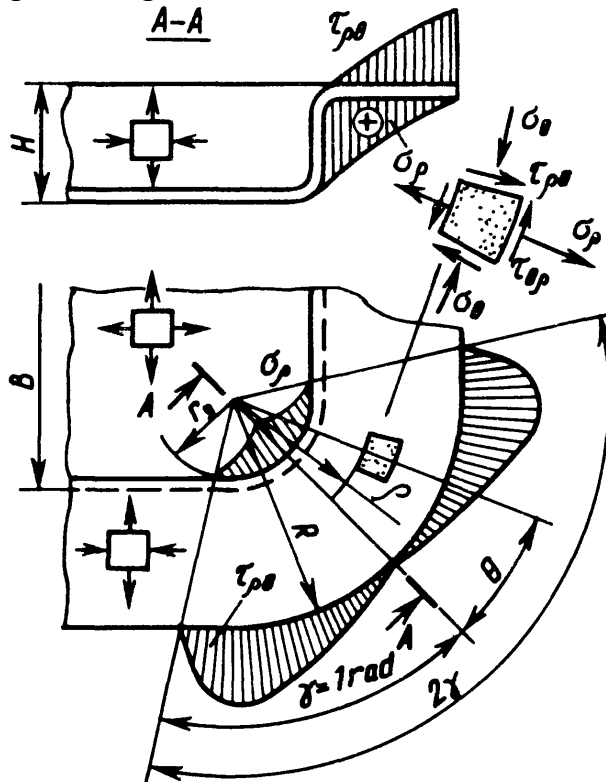


Рис. 8.40. Эпюры напряжений во фланце низкой коробчатой детали при вытяжке

При вытяжке деталей коробчатой формы в угловых и криволинейных участках фланца возникают не только нормальные напряжения σ_r и σ_θ , действующие в радиальном и окружном направлениях, но и касательные напряжения $\tau_{r\theta}$ и (по закону парности) $\tau_{\theta r}$, действующие в направлениях, ортогональных направлению нормальных напряжений (рис. 8.40). Эти касательные напряжения возникают вследствие отсутствия осевой симметрии деформирования и, следовательно, неравномерного распределения деформаций по контуру детали. На биссектрисе углового участка касательные напряжения отсутствуют (в связи с тем, что это ось симметрии данного участка), а в месте сопряжения криволинейного и прямолинейного участков контура достигают наибольшего значения.

Вследствие сплошности металла касательные напряжения постепенно убывают в двух взаимно противоположных направлениях: к биссектрисе угла 2γ (рис. 8.40) и в направлении прямолинейных участков контура.

Касательные напряжения изменяются и по ширине фланца, увеличиваясь по мере приближения к периферийной его части. Таким образом, касательные напряжения изменяются вдоль двух координат — ρ и θ (рис. 8.40).

А. Г. Овчинников получил формулу для определения радиального растягивающего напряжения, решив совместно уравнения равновесия и пластичности при граничном условии, согласно которому при $\rho=0$ и $\theta=R$ $\sigma_\rho = \mu \cdot Q / \pi \cdot R \cdot s$:

$$\sigma_\rho = \left[\sigma_s / (\gamma \cdot \sqrt{3}) \right] \cdot [\ln(R/\rho) - \theta^2] + [\mu \cdot Q / (\pi \cdot R \cdot s)].$$

Анализ этой формулы показывает, что σ_ρ увеличивается с уменьшением ρ и θ . При $\rho=r_y$ и $\theta=0$ радиальное растягивающее напряжение достигает максимума:

$$\sigma_{\rho \max} = \left[\sigma_s / (\gamma \cdot \sqrt{3}) \right] \cdot \ln(R/r_y) + \mu \cdot Q / (\pi \cdot R \cdot s). \quad (8.39)$$

Экспериментально установлено, что угол γ , определяющий протяженность очага пластической деформации, может быть принят равным одному радиану: $\gamma = 1 \text{ rad}$. В этом случае максимальное по очагу деформации радиальное растягивающее напряжение будет равно

$$\sigma_{\rho \max} = \left[\sigma_s / \sqrt{3} \right] \cdot \ln(R/r_y) + \mu \cdot Q / (\pi \cdot R \cdot s). \quad (8.39a)$$

Сравнивая полученный результат (без второго слагаемого) с формулой (8.5), можно установить, что при вытяжке коробчатых деталей напряжение $\sigma_{\rho \max}$ на биссектрисе угла 2γ в 1,73 раза меньше, чем максимальное радиальное растягивающее напряжение, возникающее при вытяжке цилиндрических деталей.

Указанное объясняется разгружающим действием касательных напряжений, возникающих вследствие отсутствия осевой симметрии деформирования при вытяжке коробчатых деталей и благоприятного направления этих напряжений к центру криволинейного участка контура на границе зон изгиба и вытяжки. Этот вывод хорошо подтверждается практикой — предельно допустимая степень деформации при вытяжке низких коробчатых деталей примерно в 1,5—2 раза выше, чем при вытяжке

цилиндрических деталей.

При вытяжке тонкостенных коробчатых деталей в угловых участках возникают окружные нормальные напряжения, большие по значению, чем напряжения, действующие вдоль прямолинейных участков. В связи с этим при разгрузке возникают различные упругие деформации в угловых и прямолинейных участках, приводящие к появлению сжимающих напряжений, способных вызвать упругий изгиб стенок. Это подтверждается тем, что даже легкое надавливание на стенку коробки сопровождается хлопком (так называемым «хлопуном»).

Хлопуны можно устранить, если при вытяжке придать стенкам коробки слегка овальную, выпуклую форму или подвергнуть ее правке растяжением стенок на 2,5—4 % в специальном штампе с раздвижным секторным пуансоном.

Определение форм и размеров заготовок. Размеры заготовок для деталей коробчатой формы определяют из условия равенства площади поверхности заготовки и вытягиваемой детали. Форма заготовок для коробчатых деталей зависит от соотношения основных размеров детали: относительной высоты (H/B), относительной ширины (B/A) и относительного радиуса скругления угловых участков коробки (r_y/B) (рис. 8.41). В зависимости от относительных размеров детали применяют различные способы построения контура заготовки. Эти способы и область их применения подробно изложены в работах [11, 18, 27 и др.].

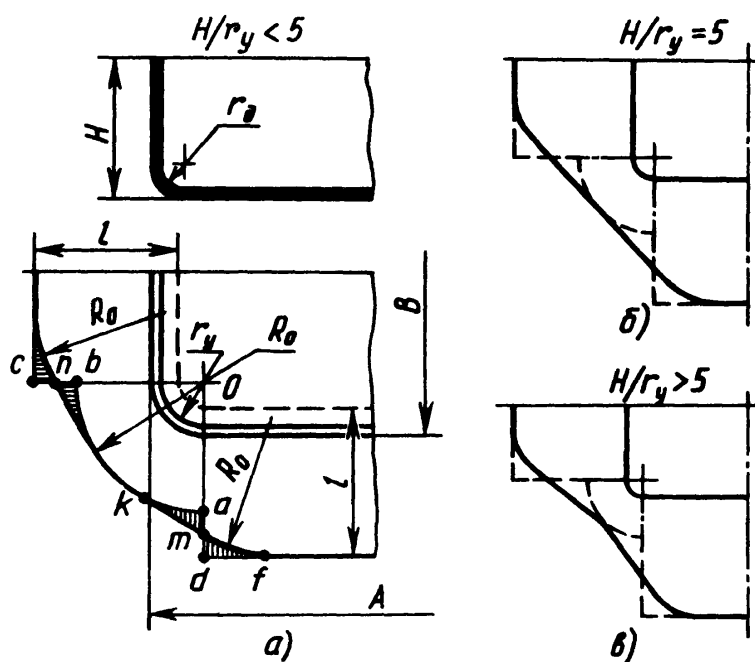


Рис. 8.41. Схемы построения угловых участков заготовок для вытяжки низких коробчатых деталей различной относительной высоты: а - $H/r_y < 5$; б - $H/r_y = 5$; в - $H/r_y > 5$

Рассмотрим некоторые частные случаи построения контуров заготовок для наиболее часто встречающихся в практике соотношений основных размеров коробчатых деталей.

Методика построения контура заготовки для низких деталей, у которых $H/r_y < 5$, была предложена В. П. Звороно и заключается в следующем (рис. 8.41, а):

1. Контур детали в плане вычерчивают в масштабе, после чего делают развертку прямолинейных участков контура детали на плоскость: длину развертки l (считая от плоского участка дна детали) определяют, как при обычной гибке:

$$l = H + 0,57 \cdot r_d.$$

2. По формуле, полученной из условия равенства поверхности заготовки и детали, определяют радиус заготовки R_0 , необходимый для получения цилиндра,

вписанного в угловой участок коробки:

$$R_0 = \sqrt{r_y \cdot (r_y + 2 \cdot H) - r_d \cdot (0,86 \cdot r_y + 0,14 \cdot r_d)},$$

где r_d — радиус скругления дна цилиндра: при малом r_d

3. Радиусом R_0 из центра O проводят дугу $a—b$. до пересечения с прямыми Oc и Od , ограничивающими прямолинейные участки контура заготовки.

4. Отрезки ad и bc делят пополам (точки m и n соответственно) и через эти точки проводят касательные к дуге ab .

5. Касательные, проведенные через точки m и n , и прямолинейные участки контура заготовки сопрягают дугами, радиус которых R_0 .

Рассмотренный способ построения контура заготовки для вытяжки низких коробчатых деталей основан на предположении, что недостаток металла (треугольник akm) компенсируют его избытком (треугольник mdf) (рис. 8.41, а).

Форма углового участка контура заготовки зависит от соотношения размеров коробки H/r_y . При $H/r_y < 5$ контур углового участка заготовки выпуклый (рис. 8.41, а), при $H/r_y = 5$ — прямолинейный (рис. 8.41, б), при $H/r_y > 5$ — вогнутый (рис. 8.41, в).

Экспериментально установлено, что для изготовления высоких квадратных деталей можно использовать заготовки в виде круга, диаметр которых определяют по условию равенства площадей поверхностей. Если не принимать во внимание радиусы скругления углов и дна и с учетом этого не назначать припуск на обрезку (что допустимо при ориентировочных расчетах), то условие равенства поверхностей будет иметь вид ,

$$0,785 \cdot D_0^2 = B^2 + 4 \cdot B \cdot H ,$$

откуда диаметр заготовки определяют по формуле:

$$D_0 = 1,13 \cdot \sqrt{B \cdot (B + 4 \cdot H)} . \quad (8.40)$$

При более точных расчетах с учетом радиусов скругления угловых участков и дна детали, равных друг другу ($r_y = r_d = r$), диаметр заготовки определяют по формуле

$$D_0 = 1,13 \cdot \sqrt{B^2 + 4 \cdot B \cdot (H_{\Pi} - 0,43 \cdot r) - 1,72 \cdot r \cdot (H_{\Pi} + 0,33 \cdot r)} , \quad (8.41)$$

где H_{Π} — высота детали с припуском на обрезку.

Заготовка для прямоугольных высоких деталей с относительно большими радиусами скругления углов ($r_y/B > 0,2$) имеет форму эллиптического овала. Степень деформации для такой заготовки на различных участках контура детали приблизительно одинакова, однако использование таких заготовок не имеет существенных преимуществ. Для вытяжки относительно высоких прямоугольных деталей применяют заготовки в виде овала, контур которого образован двумя полуокружностями и параллельными касательными к ним [18]. Размеры такой заготовки могут быть определены, если расчленить площадь дна прямоугольной детали длиной A и шириной B на три участка, два из которых представляют собой половинки дна квадратной коробки с размерами $B-B/2$, а третий — прямоугольной с размерами $(A-B)-B$. Тогда согласно вышеизложенному заготовками для двух половин условной квадратной коробки будут полукруги, диаметр которых определяют по формуле (8.40) или (8.41) с центром, совпадающим с центром условной квадратной коробки. Ширина заготовки $B_0 = 2 \cdot R_0$, а ее длина $A_0 = 2 \cdot R_0 + A - B$ (рис. 8.42, а).

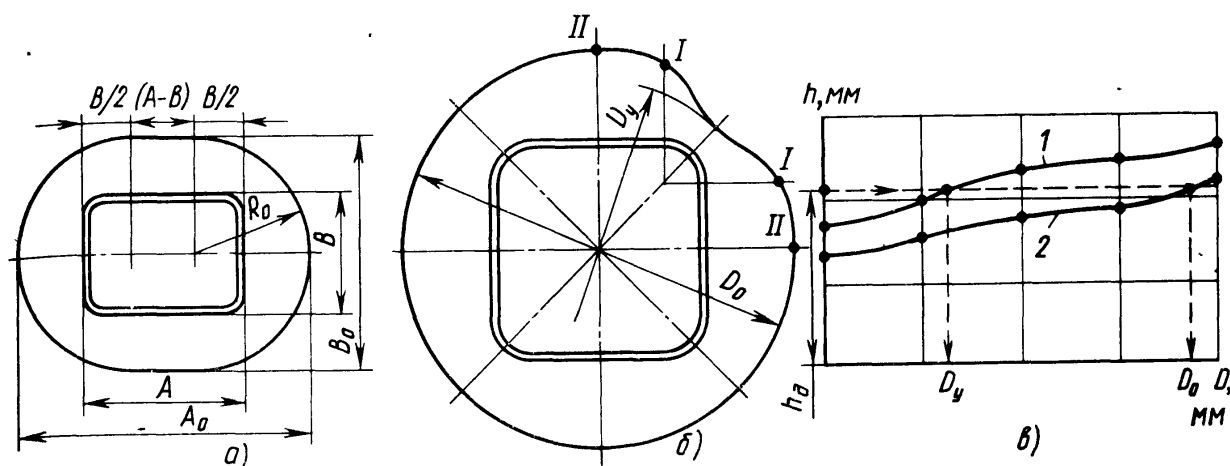


Рис. 17.2. Заготовки для прямоугольных (а), квадратных (б) высоких коробчатых деталей и зависимость высоты детали от диаметра заготовки (в)

Вследствие неодинаковых условий деформирования на различных участках контура, а также анизотропии механических свойств материала заготовки высота коробчатых деталей еще более неравномерна, чем высота осесимметричных деталей, получаемых вытяжкой. Поэтому в технологическом процессе изготовления таких деталей предусматривают обрезку неровного края. Припуск на обрезку ΔH зависит от относительной высоты детали H/B . Чем она больше, тем больше припуск. На основании опытных данных припуск на обрезку принимают равным 5—15 % высоты детали H или вычисляют по эмпирической формуле

$$\Delta H \approx 0,8 \cdot \sqrt{H}.$$

Приведенные данные служат лишь для ориентировочных расчетов размеров заготовок, которые уточняют при отработке технологического процесса вытяжки.

Получение коробчатых деталей без фестонов возможно лишь при

использовании фигурных заготовок, контур которых строят с учетом анизотропии листового металла. Методика построения контура фигурных заготовок для вытяжки квадратных деталей разработана на базе теории пластического течения металла. Эта задача решена методом проб в более сложной постановке, чем задача об определении контура фигурной заготовки для вытяжки цилиндрических деталей. Мы ограничимся рассмотрением методики построения фигурной заготовки для квадратной коробки по экспериментальным данным.

По результатам измерений высоты квадратных коробок в угловых и прямолинейных участках контура, полученных вытяжкой из круглых заготовок разного диаметра (при определенной ориентации заготовки относительно матрицы), строят графическую зависимость высоты детали от диаметра заготовки отдельно по углу и по стороне коробки (рис. 8.42, в, кривые 1 и 2 соответственно). Используя эти данные, определяют максимальный (D_0) и минимальный (D_y) размеры фигурной заготовки, показанной на рис. 8.42, б. Контур углового участка заготовки $I—I$ представляет собой косинусоиду, а оставшиеся участки $I—II$ дуги — окружности радиуса исходной заготовки [25].

При вытяжке прямоугольных деталей высота фестонов будет наименьшей, когда заготовка ориентирована направлением R_{\max}^* вдоль большей оси рабочего отверстия матрицы в виде эллипса или овала.

Силовые условия вытяжки. При вытяжке деталей коробчатой формы осевая симметрия деформирования отсутствует, поэтому радиальные растягивающие напряжения распределяются по контуру детали неравномерно. Кроме того, как показали эксперименты, во всех элементах фланца вытягиваемой детали (в том числе и прямолинейных) возникают не только растягивающие, но и сжимающие (вдоль контура) нормальные напряжения, которые убывают по мере удаления от угловых участков контура. Установить степень влияния указанных явлений на усилие вытяжки коробчатых деталей теоретическим путем пока не удастся. Поэтому данная задача решена лишь приближенно, в результате использования ряда упрощений.

При вытяжке квадратных деталей с относительно большим радиусом скругления угловых участков напряженное состояние очага деформации в углах подобно напряженному состоянию, возникающему при вытяжке цилиндрических деталей. Исходя из этого, среднее значение растягивающих напряжений приближенно равно напряжениям, возникающим при вытяжке цилиндрических деталей эквивалентного диаметра, определяемого из условия равенства периметров квадратной и цилиндрической деталей:

$$d_{\text{экв}} = 4/\pi \cdot (B - 0,43 \cdot r_y).$$

На этом основании усилие вытяжки квадратной детали определяют как произведение площади поперечного сечения условной цилиндрической детали диаметром $d_{\text{экв}}$ на наибольшее растягивающее напряжение $\sigma_{\rho \max}$:

$$P = \pi \cdot d_{\text{экв}} \cdot s \cdot \sigma_{\rho \max} = 4 \cdot (B - 0,43 \cdot r_y) \cdot s \cdot \sigma_{\rho \max}, \quad (8.42)$$

где $\sigma_{\rho \max}$ - определяют по формуле (8.39а) при условии, что $r_y = d_{\text{экв}}/2$.

При вытяжке высоких прямоугольных деталей неравномерность распределения напряжений по контуру больше, чем при вытяжке низких деталей. Если отношение сторон контура прямоугольной детали A/B достаточно велико ($A/B > 2$), то при втягивании заготовки в матрицу возникают дополнительные напряжения от действия сил трения и изгиба на прямолинейных участках контура детали. О. В. Попов предложил определять усилие вытяжки прямоугольных деталей с учетом сил трения как сумму усилий вытяжки условной квадратной детали со сторонами, равными меньшей стороне прямоугольной детали и усилия, необходимого для гибки и преодоления контактных сил трения при деформировании оставшейся центральной части детали, длиной, равной разности размеров A и B (см. рис. 8.42, а).

С учетом сделанных предпосылок и допущений формула для определения усилия вытяжки прямоугольных высоких коробчатых деталей может быть представлена в следующем виде:

$$P_{\text{в}} = 4 \cdot (B - 0,43 \cdot r_y) \cdot s \cdot \sigma_{\rho \max} + 2 \cdot (A - B) \cdot (\sigma_{\text{тр}} + \sigma_{\text{и}}) \cdot (1 + 1,6 \cdot \mu), \quad (8.43)$$

где $\sigma_{\rho \max}$ — максимальное растягивающее напряжение вытяжки в угловых участках детали; $\sigma_{\text{тр}}$ — удельное сопротивление трения от силы прижима заготовки; $\sigma_{\text{и}}$ — удельное сопротивление изгибу центральных прямолинейных участков детали при втягивании заготовки в матрицу, $\sigma_{\text{и}} \approx \sigma_s$.

Отметим, что В. П. Романовский [18] предложил расчетные формулы для определения усилия вытяжки деталей коробчатой формы, например:

$$P_{\text{в}} = L \cdot s \cdot \sigma_{\text{в}} \cdot \alpha,$$

где $\alpha = 0,3 \div 1,1$ — коэффициент, зависящий от формы и размеров детали, относительной толщины и материала заготовки, степени деформации (чем больше степень деформации, тем больше α) [18].

При вытяжке деталей коробчатой формы окружные сжимающие напряжения σ_{θ} переменны по контуру фланца, в связи с чем *усилие прижима*, обеспечивающее отсутствие складок, должно быть переменным.

Согласно данным А. А. Бебриса усилие прижима зависит от временного сопротивления материала заготовки $\sigma_{\text{в}}$, ее относительной толщины $s_{\text{отн}} = s/(A+B+4 \cdot r_y)$ и, формы участка фланца (прямолинейный, криволинейный). Им установлено, что с увеличением $\sigma_{\text{в}}$ усилие прижима на всех участках фланца увеличивается, при этом с увеличением относительной толщины заготовки усилие прижима на прямолинейных участках фланца увеличивается, а на угловых — уменьшается. С учетом этого усилие прижима можно определить, как сумму двух слагаемых:

$$Q = F_y \cdot q_y + F_{\text{пр}} \cdot q_{\text{пр}},$$

где F_y и $F_{\text{пр}}$ — площадь угловых и прямолинейных участков фланца соответственно (в начальный момент вытяжки); q_y и $q_{\text{пр}}$ — удельные усилия прижима на угловых и прямолинейных участках фланца соответственно. Удельные усилия q_y и $q_{\text{пр}}$ в зависимости от указанных факторов изменяются в

пределах: $q_y=0,24\div2,32$; $q_{пр}=0,24\div3,45$ МПа.

Коэффициент вытяжки, форма и размеры полуфабрикатов. Отношение радиуса скругления углового участка контура полуфабриката, полученного на предыдущей операции $r_{y(N-1)}$ к радиусу скругления углового участка полуфабриката, полученного после последующей операции $r_{y(N)}$, или, в частном случае, радиуса заготовки R_0 к радиусу полуфабриката после первой операции $r_{y(1)}$ называют коэффициентом вытяжки деталей коробчатой формы:

$$K_b = r_{y(N-1)} / r_{y(N)} = R_0 / r_{y(1)} \quad (1).$$

Предельное значение $K_{вп}$ зависит от характеристик механических свойств материала заготовки, ее толщины, формы и относительных размеров вытягиваемой детали. Для алюминиевых сплавов предельное значение $K_{вп} = 3,44\div2,56$, для стали 10 $K_{вп}=3,57\div2,08$ [18].

Значение K_b всегда должно быть меньше или, в крайнем случае, равно значению $K_{вп}$. В тех случаях, когда это условие не выполняется, следует применять дополнительную операцию для уменьшения углового радиуса на требуемый размер.

При вытяжке высоких деталей коробчатой формы суммарный коэффициент вытяжки можно рассматривать как отношение длины контура заготовки L_0 к длине развертки контура детали L :

$$K_s = L_0 / L$$

или как корень квадратный из отношения площади заготовки, площадь дна детали коробчатой формы $F_{дн}$:

эта зависимость предложена Боксом и Шредером.

Число операций вытяжки для получения детали с требуемыми размерами зависит от механических свойств материала заготовки, радиусов скругления ее угловых участков r_y , относительной высоты H/B соотношения размеров A/B , а также от способа вытяжки (с прижимом или без прижима заготовки).

Для определения числа операций вытяжки, необходимых для изготовления высоких коробчатых деталей, используют различные методики, основанные на экспериментальных данных.

Как уже указывалось, заготовка для прямоугольной высокой коробчатой детали имеет форму овала. Поэтому и все полуфабрикаты, полученные после первого и последующих переходов вытяжки, также имеют форму овалов (рис. 8.43, а).

Размеры полуфабрикатов определяются допустимой степенью деформации (или значением предельного коэффициента вытяжки), условием равенства площади поверхности и условием равенства степени деформации по переходам вытяжки.

Полуфабрикат на предпоследнем переходе имеет форму овала (или четырехугольника с выпуклыми сторонами и скругленными углами), который описан вокруг контура готовой детали. Предпоследний переход вытяжки выполняют без применения прижимного кольца штампа. Размеры контура полуфабриката назначают из условия сохранения устойчивости его стенками, а дно должно иметь форму и размеры готовой прямоугольной детали.

Высокие квадратные коробчатые детали, у которых $H/B > (0,6\div0,8)$,

вытягивают из круглой заготовки. Поэтому и все полуфабрикаты, получаемые после первой и последующих операций вытяжки, должны иметь форму цилиндров, размеры которых определяются так же, как и при вытяжке цилиндрических деталей. Полуфабрикат на предпоследнем переходе имеет форму цилиндра, сопряженного с квадратным дном, вписанным в поперечное сечение цилиндра, стороны которого равны сторонам поперечного сечения коробчатой детали (рис. 8.43, б). В связи с этим при вытяжке квадратных высоких коробчатых деталей коэффициент вытяжки на всех переходах, кроме последнего, принимают (или рассчитывают) по ранее рассмотренной методике для цилиндрических деталей. На последнем переходе, когда из цилиндрического полуфабриката (с квадратным дном) получают коробчатую деталь, коэффициент вытяжки K_v можно рассматривать как отношение периметров поперечных сечений предпоследнего (цилиндрического) полуфабриката к последнему (коробчатому):

$$K_v = \pi \cdot d_{N-1} / 4 \cdot B.$$

Перетяжные ребра и зазоры. В процессе вытяжки деталей коробчатой формы сопротивление втягиванию заготовки в матрицу неодинаково на различных участках ее контура: на прямолинейных участках сопротивление втягиванию меньше, чем на криволинейных участках, причем на криволинейных участках оно возрастает с уменьшением углового радиуса кривизны матрицы.

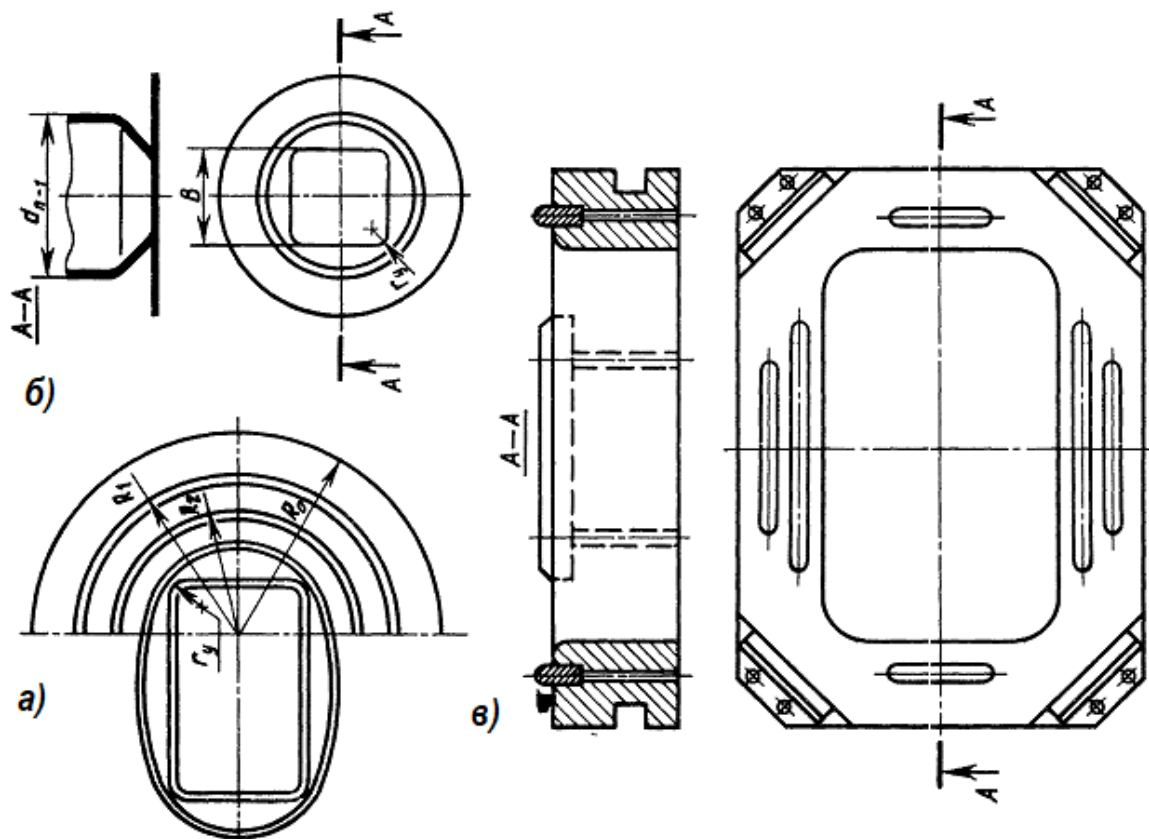


Рис. 8.43. Переходы вытяжки высоких коробчатых деталей:

а — прямоугольных; *б* — квадратных; *в* — матрица с перетяжными ребрами для вытяжки коробчатой детали

В результате этого вытянутые детали (или полуфабрикаты) имеют

неравномерную высоту: на угловых участках высота больше, а на прямолинейных — меньше. Кроме того, неравномерные по контуру матрицы условия вытягивания заготовки вызывают неравномерное напряженное состояние стенок детали, что может привести к ее разрушению.

Для создания хотя бы приблизительно одинаковых условий вытягивания заготовки в матрицу по всему контуру на прямолинейных ее участках искусственно увеличивают сопротивление вытягиванию заготовки путем использования специальных перетяжных ребер (рис. 8.43, в), которые служат своеобразным тормозом при перемещении заготовки относительно матрицы. Форма, размеры и способы закрепления перетяжных ребер рассмотрены в работе [24], число рядов ребер устанавливают экспериментально. Перетяжные ребра применяют только по мере необходимости, поскольку их установка усложняет штамп и увеличивает его стоимость.

Так как при вытяжке в угловых участках контура детали происходит естественное утолщение фланца, это явление учитывается при определении зазора между пуансоном и матрицей штампа для вытяжки: в угловых участках зазор должен быть больше, чем на прямолинейных участках контура матрицы. Согласно практическим данным на прямолинейных участках контура зазор между пуансоном и матрицей $r=1,2 \cdot s$ и на криволинейных участках $z=(1,3 \div 1,4) \cdot s$. Направление зазора безразлично на всех операциях вытяжки, кроме последней. При вытяжке деталей с требуемыми наружными размерами зазор назначают, уменьшая размеры пуансона, при вытяжке деталей с требуемыми внутренними размерами, увеличивая размеры матрицы.

Оригинальный способ вытяжки высоких квадратных деталей коробчатой формы был предложен С. А. Валиевым [5]. Сущность этого способа заключается в совмещении вытяжки плоской заготовки в конусный полуфабрикат с квадратным дном, с вытяжкой, из этого полуфабриката, квадратной высокой детали в комбинированной матрице (рис. 8.44). При таком способе вытяжки достигается расчленение процесса на отдельные, следующие друг за другом стадии, а также более равномерное, чем при

вытяжке в обычных матрицах, распределение окружных напряжений по контуру вытягиваемой детали. Последующая стадия вытяжки должна начаться только после того, как произойдет спад усилия на предыдущей стадии.

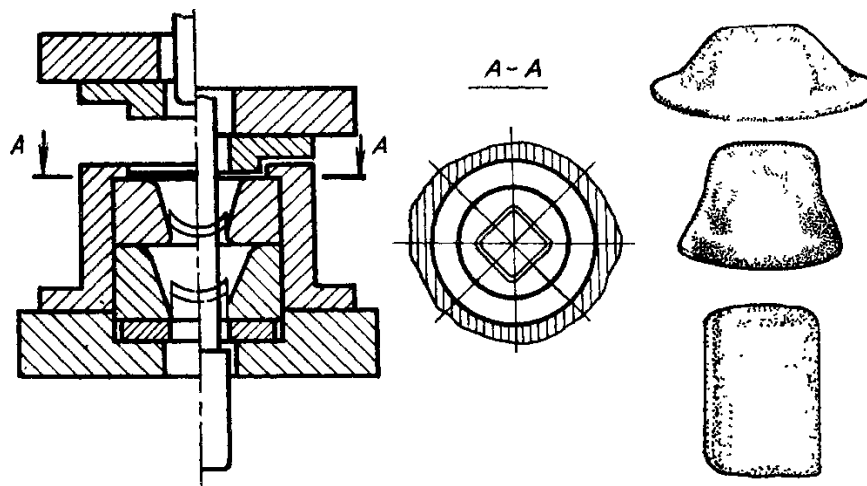


Рис. 8.44. Схема штампа с комбинированной матрицей для, вытяжки высокой квадратной коробчатой детали

Число операций вытяжки для получения детали с требуемыми размерами зависит от механических свойств материала заготовки, радиусов скругления ее угловых участков r_u , относительной высоты H/V соотношения размеров A/B , а также от способа вытяжки (с прижимом или без прижима заготовки).

Для определения числа операций вытяжки, необходимых для изготовления высоких коробчатых деталей, используют различные методики, основанные на экспериментальных данных.

Как уже указывалось, заготовка для прямоугольной высокой коробчатой детали имеет форму овала. Поэтому и все полуфабрикаты, полученные после первого и последующих переходов вытяжки, также имеют форму овалов (рис. 8.43, а).

Размеры полуфабрикатов определяются допустимой степенью деформации (или значением предельного коэффициента вытяжки), условием равенства площади поверхности и условием равенства степени деформации по переходам вытяжки.