

Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана

К.И. Билибин, В.П. Григорьев

ХОЛОДНАЯ ШТАМПОВКА

*Рекомендовано Научно-методическим советом
МГТУ им. Н.Э. Баумана
в качестве учебного пособия по курсу
«Технология электронных средств»*

Москва
Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана
2010

УДК 621.98.044

ББК 34.623

Б61

Рецензент *И.Н. Шубин*

Билибин К.И.

Б61 Холодная штамповка: учеб. пособие по курсу «Технология электронных средств» / К.И. Билибин, В.П. Григорьев. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. - 68, [4] с.: ил.

Рассмотрены особенности деформирования материалов при обработке давлением по методу холодной штамповки. Приведены возможные конструктивные схемы и расчетные формулы, необходимые для выбора или проектирования технологической оснастки и приспособлений при производстве электронной аппаратуры.

Для студентов приборостроительных специальностей.

УДК 621.98.044
ББК 34.623

ПРЕДИСЛОВИЕ

В учебном пособии рассмотрены особенности деформирования при холодной штамповке и приведены возможные конструктивные схемы и расчетные формулы, применяемые при выборе или проектировании технологической оснастки и приспособлений для наиболее распространенных в производстве электронной аппаратуры (ЭА) технологических процессов холодной штамповки. Холодную штамповку можно разделить на объемную и листовую. Характер деформирования, применяемые материалы и конструкции инструментов и штампов для этих видов штамповки неодинаковы. Основными операциями листовой штамповки являются отрезка, вырезка, вырубка, пробивка, гибка, вытяжка, а объемной штамповки — холодное выдавливание, волочение и прокатка.

ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

S — толщина материала, м

F — площадь поперечного сечения детали, м²

V — объем детали, м³

P — расчетное усилие штамповки (вырезки, **вытяжки, гибки**), Н

E — модуль упругости при растяжении, Па

a_t — предел текучести, Па

CT_B — предел прочности (временное сопротивление **разрыву**), Па

ct_{cp} — сопротивление срезу, Па

$CT_{и}$ — сопротивление изгибу, Па

m — коэффициент вытяжки

$K = \frac{1}{m}$ — степень вытяжки

q — удельное давление, Па

ЛИСТОВАЯ ШТАМПОВКА

1. Подготовка и раскрой листового материала

Исходный материал — листовой (холоднокатаный и горячекатаный) прокат легированных сталей, цветных металлов (алюминий, медь, цинк и пр.) и их сплавов, а также неметаллические материалы (кожа, резина, фибра, картон, оргстекло, текстолит) в виде листов и пластин.

Подготовка исходного материала к последующей штамповке, как правило, включает следующие операции:

- очистка исходного материала от грязи и коррозии;
- раскрой (резка на заготовки листового материала);
- правка заготовок и снятие заусенцев.

Оборудование и оснастка для раскроя состоит из ножниц, пресов и штампов.

Раскрой исходного листового материала проводится посредством рационального разделения материала на заготовки.

Прокат для холодной штамповки чаще всего поступает в виде листов или рулонов большой площади. Для удобства его раскраивают на полосы и ленты меньших размеров. По отношению к направлению волокон проката предварительный раскрой может быть продольным, поперечным, комбинированным и косым (рис. 1).

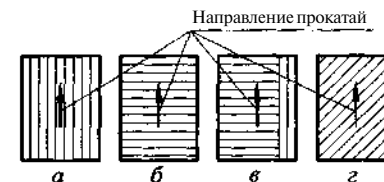


Рис. 1. Предварительный раскрой листового проката:
а - продольный; б - поперечный; в - комбинированный; г - косой

Эффективность дальнейшего раскроя полученных полос или лент существенно зависит от размеров и форм заготовок (деталей), которые требуется получить.

Показателем эффективности использования листового материала является коэффициент раскроя

$$\eta = \left(\frac{NF}{BL} \right) \cdot 100\%,$$

где N — число деталей (заготовок), которое выкроили из данной полосы; F — площадь детали (без вычета площади отверстий и вырезов в детали, если они есть); B, L — ширина и длина полосы соответственно.

На рис. 2 показаны варианты раскладки разных по форме деталей для раскроя из полосы. Максимальное значение коэффициента η получают при раскрое без отходов (рис. 2, $a - в$) или с малыми (частичными) отходами (рис. 2, $г, д$), что возможно для деталей простой формы при невысоких требованиях к точности получаемых заготовок. Для деталей с высокими требованиями к точности формы, с малыми радиусами и углами по всему контуру выкройки предусматривают припуски и перемычки между заготовками, которые и идут в отходы раскроя. Значительная экономия материала достигается при групповой раскладке (рис. 2, $и$), когда междетальные или технологические отходы от крупных деталей 1 (основных) используют для изготовления мелких деталей $2, 3, 4$ с учетом необходимой комплектности. Если для деталей (заготовок) простейшей формы основным способом выгодной раскладки является аналитический (расчетный), то для фасонных предпочтительнее графический способ.

В случае однорядного прямого раскроя с отходами (рис. 2, $е$) необходимые размеры B и L полосы определяют через габаритные размеры a и b заготовки и число N заготовок в полосе:

$$L = NT + m_2,$$

$$B = b + 2mi + 5,$$

где $T = a + m$ — шаг штамповки; 5 — допуск на полосу.

Значения m, m_1 и m_2 выбирают по справочнику [1, 2].

При однорядном наклонном и многорядном раскрое эффективность выше, но в последнем случае оборудование сложнее и дороже.

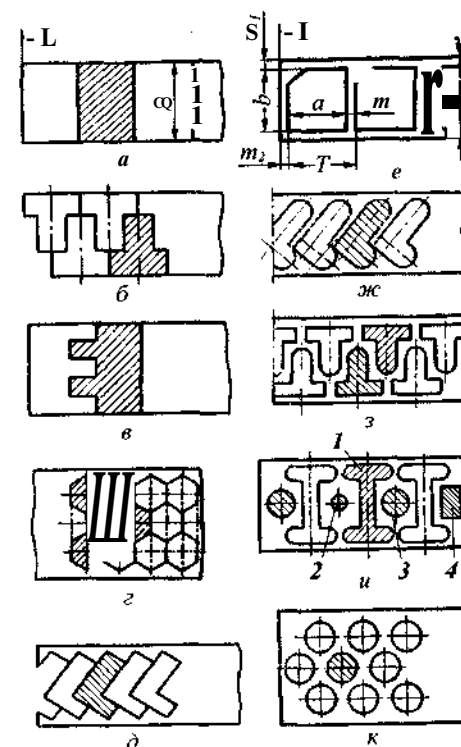


Рис. 2. Раскрой полосы на заготовки:
 $a - в$ - безотходный; $г, д$ - с малыми отходами; $е-к$ - точный

Операции листовой штамповки классифицируют на разделительные, формообразующие и сложные (комбинированные).

2. Разделительные операции листовой штамповки

Из разделительных операций листовой штамповки при производстве изделий ЭА чаще применяют:

- резку (отрезку и вырезку) листового материала ножницами;
- вырубку и пробивку в штампах;
- чистовую вырубку и пробивку;
- зачистку и калибровку.

2.1. Резка листового материала на ножницах

Разделение листа ножницами может проводиться как отрезкой, так и вырезкой. Под *отрезкой* понимают отделение листовой заготовки от листа по незамкнутому контуру, а под *вырезкой* — по замкнутому. Например, предварительный раскрой исходного листового материала на полосы осуществляют посредством отрезки, в то время как последующее получение заготовок из нарезанных полос — отрезкой или вырезкой в зависимости от геометрии заготовки и предъявляемой точности. В качестве оборудования для резки применяют гильотинные, роликовые и вибрационные ножницы.

При отрезке широких полос гильотинными ножницами с косыми ножами 1 (рис. 3,а) необходимая для резки сила определяется углом ϕ створа ножниц ($\phi = 10 \dots 30^\circ$) и толщиной S листового материала:

$$P = \frac{0,5S^2\sigma_B}{\operatorname{tg}\phi}$$

где S — толщина листа; σ_B — предел прочности материала.

Отрезанная полоса имеет «сабельность», т. е. получается кривой, что можно устранить только дополнительной операцией — правкой.

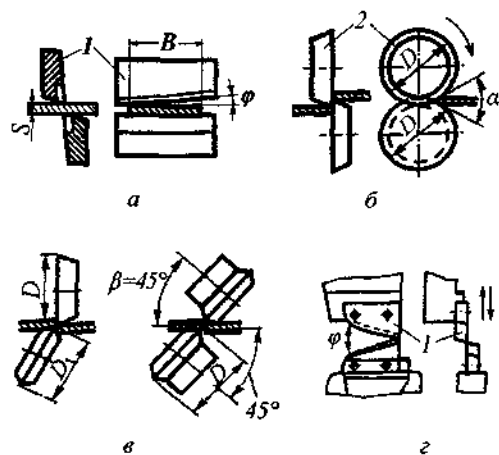


Рис. 3. Схемы ножниц:

а - гильотинные; б - дисковые с прямо поставленными ножами; в - дисковые с наклонно поставленными ножами; г - вибрационные

Отрезка на таких же ножницах при угле $\phi = 0$ (прямыми ножами) не сопровождается «сабельностью» и отличается высоким качеством. Но поскольку при этом линия реза равна всей ширине B полосы, то требуется значительная сила резки

$$P = BSa_B$$

При резке на роликовых ножницах с параллельными осями (рис. 3, б) сила P не зависит от ширины полосы B :

$$P = \frac{0,4a^2\sigma_B}{\operatorname{tga}}$$

Здесь a — угол захвата листа дисками 2. Значение a не должно превышать некоторого предельного, при котором диски не захватывают лист по причине недостаточности трения между ними и листом ($a < 20^\circ$).

В этом варианте резки также возникает явление «сабельности».

Точность резки на дисковых ножницах с прямо поставленными ножами соответствует 14-му качеству [1].

Для фигурной вырезки деталей или заготовок из листа по криволинейному контуру применяют роликовые ножницы с непараллельными (наклонными) дисками (рис. 3, в).

Другой вариант резки — на вибрационных ножницах (рис. 3, г). В этом случае ножи / наклонены один к другому на угол ϕ захвата листа. Верхний нож совершает вертикальные возвратно-поступательные движения относительно нижнего. Вибрационные ножницы высокопроизводительны, но контур реза получается рваным (в виде зазубринок). При этом варианте также возможна вырезка по криволинейному контуру.

В массовом производстве применяют многодисковые ножницы (рис. 4). Они сложнее, но более производительны, так как позволяют получить сразу несколько полос (по числу пар ножей /). Введение в эту конструкцию резиновых роликов 2 позволяет существенно уменьшить «сабельность» нарезанных полос. Необходимая для резки сила

$$P = \frac{0,AS^2\sigma_B}{\operatorname{tg}\phi} \cdot n,$$

где n — число пар ножей.

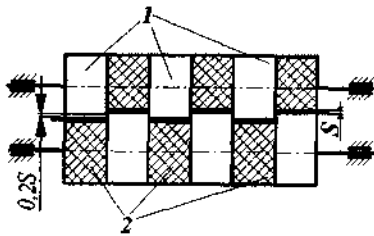


Рис. 4. Многодисковые ножницы:
1 - роликовые ножи; 2 - резиновые ролики

Точность резки на многодисковых ножницах при ширине ленты менее 50 мм составляет ($\pm 0,05 \dots 0,2$) мм. Чем тоньше материал и уже полоса, тем выше точность.

Шероховатость поверхности среза при резке на дисковых ножницах соответствует $Rz = 80 \dots 20$ [1].

2.2. Вырубка и пробивка

Вырубка — получение заготовок из листового материала, *пробивка* — получение в заготовке необходимых отверстий (конструктивных или технологических).

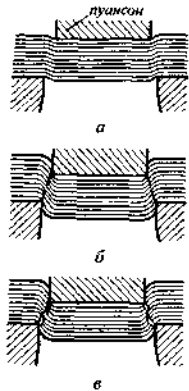


Рис. 5. Стадии деформирования материала в процессе вырубки (пробивки)

На рис. 5 схематично показаны три стадии деформирования материала заготовки в процессе вырубки (пробивки):

a — упругое деформирование (если пуансон убрать, то полоса примет прежнюю форму);

б — пластическое деформирование (если убрать пуансон, то останется вмятина в материале);

в — разрушение (скалывание) материала.

Точность резки при этом зависит от толщины листа:

13-й квалитет — при $S \wedge 1,5$ мм; 14-й квалитет — при $S \wedge 1,5$ мм.

Качество поверхности реза при односторонней резке соответствует $Rz = 160 \dots 40$, а при двусторонней $Rz = 80 \dots 20$ [1].

Для получения требуемого качества по диаметру заготовку следует обработать механически (на металлорежущих станках), произвести зачистку или калибровку.

Типы вырубных и пробивных штампов. Выбор конструкции вырубного (пробивного) штампа зависит прежде всего от необходимой точности и программы выпуска конкретной детали. При крупносерийном и массовом производстве применяют штампы с направляющими колонками, а при мелкосерийном — без направления и с направляющей плитой.

Штампы без направления просты по конструкции, но точность их невысока (рис. 6, а). Как правило, в этом случае необходима дополнительная обработка полученных деталей.

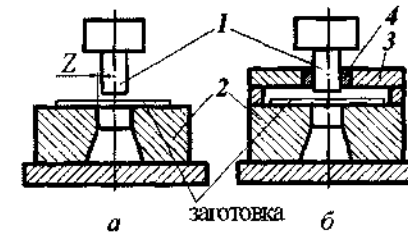


Рис. 6. Схемы вырубных (пробивных) штампов для мелкосерийного производства:

a - штамп без направления; *б* - штамп с направляющей плитой; 1 - пуансон; 2 - матрица; 3 - направляющая колонка; 4 - втулка

Штампы с направляющей плитой применяют как при мелкосерийном, так и при среднесерийном производстве (рис. 6, б). Направляющая плита 3 центрирует пуансон 1 относительно матрицы 2. Однако отверстие в направляющей плите быстро изнашивается, в результате не обеспечивается постоянство одностороннего зазора Z между матрицей и пуансоном, снижается точность получаемых размеров. С целью быстрого восстановления (ремонта) штампа в направляющую плиту запрессовывают втулку 4.

Штампы с направляющими колонками применяют при многосерийном и массовом производстве. В штампе, показанном на рис. 7, а, матрица 8 монтируется жестко на нижней плите 11 штампа, а пуансон 3 — на верхней подвижной плите 2 штампа. Хвостовик 1 верхней плиты штампа устанавливается в отверстие ползуна прессы и крепится на нем винтом.

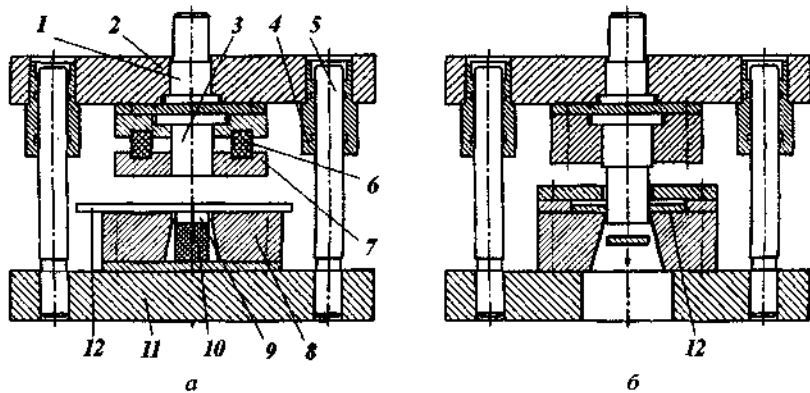


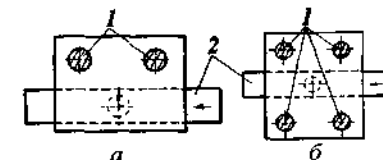
Рис. 7. Штампы с направляющими колонками: *a* - штамповка со съемником; *б* - штамповка на провал; 1 - хвостовик; 2 - верхняя плита штампа; 3 - пуансон; 4 - втулка; 5 - направляющая колонка; 6, 10 - буфер; 7 - съемник; 8 - матрица; 9 - выталкиватель; 11 - нижняя плита; 12 - полоса (заготовка)

При штамповке ползун пресса совершает возвратно-поступательное движение верхней подвижной плиты с пуансоном, обеспечивая штамповку. Перед штамповкой полоса (заготовка) 12 устанавливается на матрицу, включается пресс, верхняя плита с пуансоном по направляющим колонкам 5 опускается вниз, вырубая (пробивая) деталь. При этом полоса прижимается съемником 7 к матрице, резиновые буферы 6 сжимаются, обеспечивая необходимую силу прижатия полосы непосредственно при вырубке (пробивке), а при подъеме верхней плиты с пуансоном снимают полосу с последнего. Без прижима точность вырубки ухудшается. Вырубаемая деталь сжимает резиновый буфер 10 выталкивателя 9, который затем освобождает деталь из матрицы. Вместо резиновых буферов 6 и 10 могут использоваться другие упругие элементы, например пружины. Для поддержания соосности пуансона и матрицы и снижения трения между направляющими колонками и верхней плитой штампа в последнюю запрессованы подшипники скольжения в виде втулок 4.

Возможна работа на провал детали (рис. 7, б). В этом случае в нижней плите выполнено отверстие или паз для выгрузки готовой детали или отходов после пробивки.

Количество направляющих колонок в штампе составляет от двух до четырех. Это зависит от необходимой силы для вырубке (пробивки) и точности штамповки. На рис. 8, а показан вид сверху на штамп с двумя направляющими колонками. Такие штампы удобны в работе, так как зона штамповки открыта, но могут применяться только при вырубке (пробивке) с небольшими усилиями (до 3... 5 кН), поскольку возникает изгибающий момент на верхнюю плиту. Более силовыми (более 5 кН) являются штампы с четырьмя направляющими колонками (рис. 8, б), которые создают и необходимые условия для выполнения более точной штамповки.

Рис. 8. Зоны штамповки: *a* - в штампе с двумя колонками; *б* - в штампе с четырьмя колонками; / - направляющие колонки; 2 - полоса



Расчет силы вырубке (пробивки). Расчетная сила вырубке (пробивки)

$$P = LSG_B,$$

где L — периметр вырубаемой (пробиваемой) детали.

Общая сила P_0 штамповки (рис. 9) рассчитывается по формуле

$$P_0 = P + P_c + P_v,$$

где P_v — сила выталкивателя; P_c — сила съемника.

$$P_c = K_1 P,$$

здесь $K_1 = 0,04... 0,07$ (зависит от материала заготовки).

Сила выталкивателя

$$P_v = K_2 P,$$

здесь $K_2 = 0,1... 0,15$ (зависит от материала заготовки).

Если съемник и (или) выталкиватель выполнены из резины, то развиваемая им сила определяется площадью и упругими свойствами резины:

$$P_c = F \sigma_{сж},$$

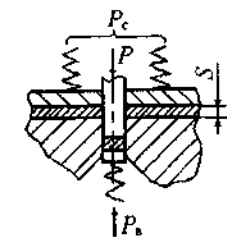


Рис. 9. Схема вырубного штампа

где F — площадь сечения $\sigma_{сж}$ (выталкивателя); $\sigma_{сж}$ — напряжение резины на сжатие.

Расчет размеров матрицы и пуансона при вырубке и пробивке. Допуски на изготовление рабочих частей пуансонов и матриц вырезных и дыропробивных штампов зависят от многих факторов: размеров и материальных свойств штампующих деталей, упругих и остаточных деформаций, возникающих при штамповке, а также типа, конструкции и стойкости самих штампов. Эти допуски рассчитывают по справочникам.

Например, для вырубания (рис. 10, а) детали 1 диаметром $\phi > 5$ из полосы 2 исполнительные размеры матрицы и пуансона определяют соответственно по формулам, [1,3]:

$$D_k = (D - A) + \delta_m \cdot D_n = (D - D' - z_{min}) - \delta_n$$

где δ_m — допуск на изготовление матрицы; z_{min} — наименьший двусторонний (диаметральный) зазор между матрицей и пуансоном; δ_n — допуск на изготовление пуансона; D' — припуск на износ ($D = 0,85; 5$ — допуск на размер, D , обычно по h12).

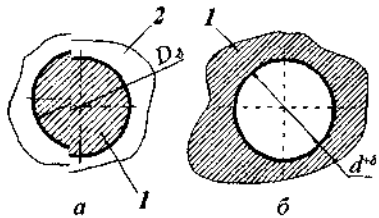


Рис. 10. Вырубка детали диаметром D из листа (а) и пробивка отверстия диаметром a в детали (б);

1 — деталь; 2 — лист

Для пробивки (рис. 10, б) в детали 1 отверстия диаметром d^{+b} исполнительные размеры пуансона и матрицы определяют по формулам

$$D_n = (d + A'') - \delta_n; \quad D_m = (d + \Delta'' + z_{min}) + \delta_m$$

Некоторые особенности вырубке и пробивки. При вырубке (пробивке) тонких материалов ($\delta < 0,2 \text{ мм}$) можно рекомендовать следующие варианты штампов-

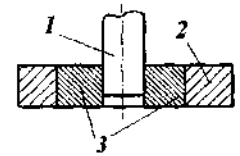


Рис. 11. Комбинированная матрица для вырубке деталей сложного контура:

1 — пуансон; 2 — обойма; 3 — легкоплавкая матрица

— пуансон изготавливают закаленным, матрицу — сырой;

— матрица заливается вокруг пуансона, установленного в обойму матрицы, легкоплавким, например, цинковым сплавом (рис. 11). Штамп позволяет производить до 5000 деталей до износа матрицы, далее следует расплавить сплав и залить снова в обойму;

— вместо направляющих скольжения используют шариковые направляющие качения (рис. 12), которые позволяют уменьшать трение и повысить точность направления и стойкость элементов направляющих. Зазор между колонкой 1 и втулкой 2 должен быть такой, чтобы шарики обеспечивали зазор 0,005... 0,007 мм [6]. Матрицу и пуансон выполняют из твердого сплава, что позволяет получать до 3 млн деталей.

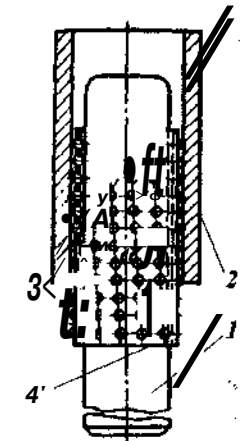


Рис. 12. Подшипник качения для направляющих колонок штампа:

1 — колонка; 2 — втулка; 3 — шарики; 4 — сепаратор

Матрицы изготавливают из легированной или высокоуглеродистой стали в виде плит с отверстиями или проемами. Основной проем матрицы соответствует конфигурации детали, другие отверстия имеют вспомогательный характер: для крепления, направления и т.д. По форме рабочей части наиболее распространенными являются матрицы двух типов: с цилиндрическим пояском и с конусом от верхней поверхности.

На рис. 13, а показана в разрезе матрица с цилиндрическим пояском. При переточке у таких матриц сохраняются постоянные размеры контура отверстия и, следовательно, не меняется зазор между матрицей и пуансоном. Недостаток их — на пуансоне необходимо создавать большую силу для вырубке. Высота пояска h обычно составляет 3... 8 мм.

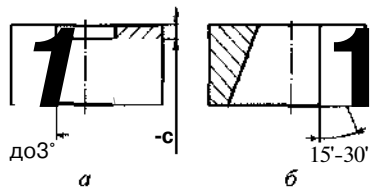


Рис. 13. Конструкции матриц для вырубных (пробивных) штампов:
a - с цилиндрическим пояском; *б* - с конусом

На рис. 13,б представлен тип матриц с конусом от верхней поверхности. В этом случае детали после вырубки легко проваливаются, усилие на пуансоне нужно гораздо меньшее. Но при переточке такой матрицы увеличивается ее рабочий проем и, следовательно, зазор между матрицей и пуансоном. При конусности 1,5...2,5° число переточек возрастает, необходимо подсаживать пуансон и следить за точностью вырубляемых деталей.

Минимальные размеры деталей, получаемых пробивкой (вырубкой) в штампах. Кроме необходимой прочности и жесткости конструкция детали должна соответствовать и технологическим возможностям бездефектного производства.

На рис. 14 [3] представлены характерные случаи ограничений на минимальные наружные размеры штампуемых деталей и их элементов и зависимость этих ограничений от материала, и толщины S листа. Здесь коэффициент K зависит от материала листа: 1 — для мягкой стали; 1,4 — для высокоуглеродистых и легированных сталей; 0,75 — для латуни и алюминиевых сплавов. В некоторых случаях удается преодолеть эти ограничения. Например, если деталь узкая и длинная (ширина B детали менее $\sqrt{0,5SK}$, то ее можно получить расплющиванием из проволоочной заготовки с последующей обрезкой по контуру).

Другими ограничениями на размеры являются минимально допустимые расстояния между пробиваемыми отверстиями и краем детали (рис. 15, а). Такие ограничения зависят от формы пробиваемых отверстий и наружного контура детали, соответственно толщины и свойств материала листа (заготовки) [3]. Размер перемычки m между отверстием и краем наружного контура детали, а также между отверстиями не только определяет возможность пробивки, но и конструкцию штампа. Если перемычка m мала, пробить одновременно несколько отверстий или контур и

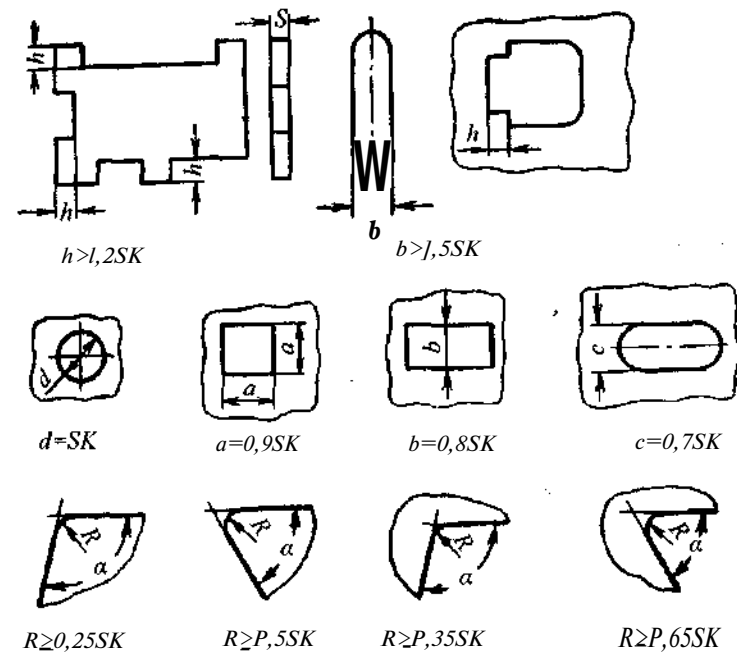


Рис. 14. Минимальные размеры деталей и их элементов, получаемых вырубкой (пробивкой)

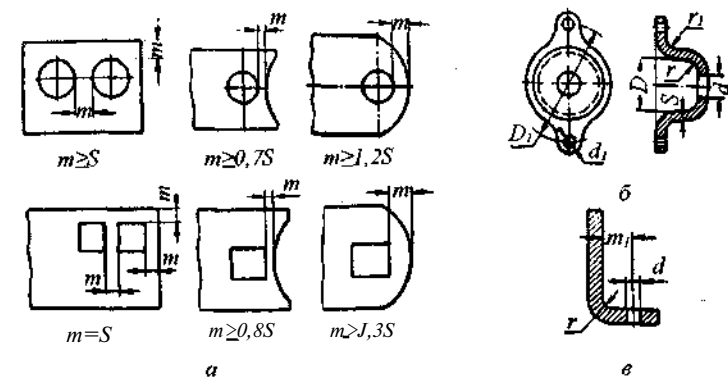


Рис. 15. Минимальные перемычки между пробиваемыми отверстиями и краем детали:
a - для плоских деталей; *б* - для вытянутых; *в* - для изогнутых

отверстие бывает невозможно из-за недостаточной прочности матрицы. В этом случае детали штампуют на нескольких штампах простого действия или на одном комбинированном штампе последовательного действия.

В случае вытянутых и изогнутых деталей необходимо выдерживать определенное расстояние между отверстиями и вертикальной стенкой детали, при котором исключалась бы возможность набега края отверстия на радиус сопряжения стенок. В противном случае пуансон при пробивке вследствие изгиба может сломаться или, наскочив на режущую кромку матрицы, вызовет выкрашивание рабочей кромки.

Минимально допустимые расстояния от оси пробиваемого отверстия до вертикальной стенки заготовки определяют по формулам:

для вытянутых деталей (рис. 15, б)

$$d < D - 2r; D_i > D + 2S + 2r_x + d_i;$$

для изогнутых деталей (рис. 15, в) $mn \wedge \alpha + 2$.

Вырубка и пробивка неметаллических материалов. Материалы типа гетинакса, текстолита, оргстекла обычно предварительно нагревают в печах инфракрасного облучения, а резину, фибру, картон — увлажняют. Штампы для вырубки деталей из неметаллических материалов имеют свои особенности. На рис. 16 показан вариант рабочей части такого штампа [5]. Здесь деталь / в виде шайбы вырубается из заготовки 2 посредством кольцевых пуансонов (внешний диаметр — пуансоном 3, внутренний диаметр шайбы — пуансоном 4).

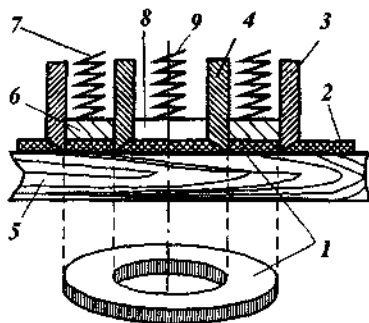


Рис. 16. Схема вырубки из неметаллических материалов:

1 - деталь (шайба); 2 - заготовка (полоса); 3, 4 - кольцевые пуансоны; 5 - неметаллическая подкладка; 6 - кольцевой выталкиватель; 7 - пружина кольцевого выталкивателя; 8 - выталкиватель отхода; 9 - пружина выталкивателя отхода

Матрицы как таковой нет, а ее роль выполняет неметаллическая подкладка 5. При этом не происходит затупление режущих кромок пуансона. По окончании вырубки и подъема пуансонов готовая шайба выталкивается кольцевым выталкивателем 6 под действием пружины 7, а отход снимается выталкивателем 8 под действием пружины 9.

2.3. Чистовая вырубка и пробивка

После обычной вырубки и пробивки срез имеет относительно неровную, криволинейную шероховатую поверхность, что неприемлемо для многих случаев листовой штамповки деталей высокого качества. Повысить качество поверхности среза можно механической доработкой на фрезерных, шлифовальных или специальных станках, но в этом случае увеличивается трудоемкость и (или) стоимость обработки.

Более эффективны различные способы чистовой вырубки и пробивки, позволяющие получить поверхность среза с шероховатостью до $Ra = 0,63 \dots 0,50 \text{ мкм}$ при точности размеров — 8... 11-й квалитет [4].

Сущность одного из способов чистовой вырубки и пробивки заключается в создании высокого давления на заготовку и изменении напряженного состояния в зоне резания [4]. В результате высокого поверхностного давления на заготовку в этой зоне возникает объемное сжатие, что способствует устойчивости пластической деформации и пластическому течению материала. Тогда возникает чистый срез по всей толщине листа. При толщине листа 1,5... 15,0 мм шероховатость среза соответствует $Ra = 0,50 \text{ мкм}$ [4].

На рис. 17 показана схема вырубки с поперечной осадкой заготовки. При этом способе вырубки прижим 2 имеет клиновое ребро 3, идущее вдоль наружной конфигурации вырубного пуансона /. При вдавливании ребра в материал листа происходит вытеснение материала заготовки к режущим кромкам, приводящее к гидростатическому давлению в зоне резания. Опускающийся вслед за этим вырубной пуансон вырезает деталь с гладкой и перпендикулярной поверхностью. При листовой вырубки и пробивке односторонний зазор между матрицей и пуансоном принимают равным 0,005... 0,010 мм, а радиус затупления режущих кромок матрицы составляет 0,1... 0,2 мм.

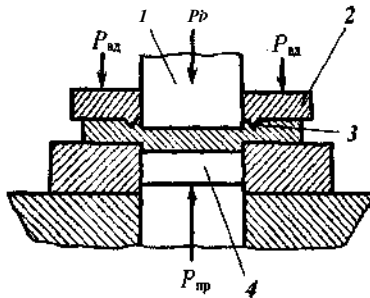


Рис. 17. Схема чистовой вырубке с поперечной осадкой заготовки: 1 - пуансон; 2 - прижим; 3 - клиновое ребро; 4 - выгалькатель

Общее усилие для чистовой вырубке в 1,5 — 3 раза превышает расчетное усилие обычной и вычисляется по формуле (рис. 17)

$$P = P_p + P_{вд} + P_{пр},$$

где P_p — усилие для разделения материала (вырубке и пробивка); P_m — усилие для вдавливания клиновое ребра; $P_{сп}$ — усилие прижима (противодавления).

Усилие для разделения материала рассчитывают по формуле

$$P_p = LS \sigma_{ср},$$

где L и S — периметр и толщина детали соответственно; $\sigma_{ср}$ — сопротивление срезу.

Сопротивление срезу при чистовой вырубке выше, чем при обычной, что объясняется изменением напряженного состояния материала в зоне среза и необходимостью существенно меньшего зазора между матрицей и пуансоном. Так, при рекомендуемом зазоре между матрицей и пуансоном $Z = 0,015$ сопротивление срезу $\sigma_{ср}$ при таком деформировании можно рассчитать по формуле [4]:

$$\sigma_{ср} = \left(\frac{S}{5d} + 1,25 \right) \sigma_T.$$

Усилие прижима определяем так:

$$P_{пр} = Fq,$$

где F — площадь детали; q — давление (30... 70 МПа), при подчеканивании $q = 100 \dots 150$ МПа.

Усилие вдавливания клиновое ребра может быть найдено по формуле:

$$P_{вк} = 4a_n 1L,$$

где L и h — длина и высота ребра. Формы и размеры клиновое ребер зависят от толщины листа.

Другим способом изменения напряженного состояния с целью снижения шероховатости поверхности среза является вырубке пуансоном больше матрицы, когда исполнительный размер (диаметр) пуансона превышает исполнительный размер матрицы (рис. 18). Между торцами пуансона и матрицы в этом случае образуется участок шириной a , находящийся в условиях всестороннего сжатия. Чем больше «отрицательный» зазор a между матрицей и пуансоном, тем выше всестороннее сжатие этого участка. Введение такого перекрытия увеличивает необходимое для деформирования усилие. Оптимальное значение зазора a определяется как минимально допустимое для исключения образования трещин опережающего разрушения, так как введение такого перекрытия увеличивает необходимые для деформирования усилия [6]. Обычно $a = (0,1 \dots 0,5)S$. При этом торец пуансона в своем нижнем положении не должен доходить до торца матрицы примерно на $0,15$.

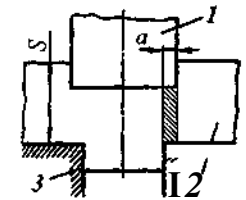


Рис. 18. Чистовая вырубке пуансоном больше матрицы: 1 - пуансон; 2 - деталь; 3 - матрица

Окончательное разделение частей заготовки происходит при обратном ходе пуансона. В зоне отрыва при этом образуется незначительный шероховатый пояс.

Для улучшения качества поверхности среза и гарантированного отделения частей заготовки применяют ступенчатые пуансоны (рис. 19), у которых нижняя ступень d_n'' равна размеру отверстия матрицы d_m , уменьшенному на значение зазора при обычной вырубке или пробивке.

Высота L_i ступени пуансона зависит от толщины детали ($Ah = 0,35$), а диаметр d_n'' верхней части его больше диаметра матрицы на $lz' = 0,5 \dots 0,6$ мм.

Усилие чистовой вырубке ступенчатым пуансоном небольших деталей ($d = 20$ мм) определяется по формуле

$$P = (2,5 \dots 2,8)LSa_n.$$

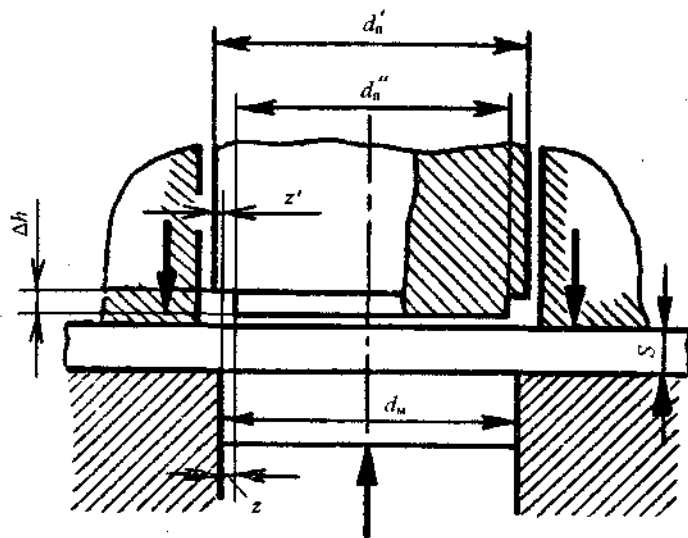


Рис. 19. Чистовая вырубка ступенчатым пуансоном

Особенностью данного способа является необходимость особо точной регулировки прессы перед штамповкой.

Для улучшения качества поверхности среза применяют смазочные материалы. Чистовая вырубка и пробивка выполняются обычно на гидравлических и механогидравлических прессах повышенной жесткости.

Достигаемая точность при штамповке пуансоном полнее матрицы соответствует 10 ... 11-му качеству, а шероховатость поверхности среза составляет $Ra = 1,00 \dots 0,32$ мкм [1].

2.4. Зачистка и калибровка

Используя операции зачистки и калибровки, можно получить достаточно хорошее качество вырубаемых деталей и менее затратным путем, без применения специализированного оборудования и высокоточных дорогих штампов.

Зачистка осуществляется срезанием припуска на боковых поверхностях детали и переводом части металла в стружку.

На рис. 20 показаны схемы деформирования по наружному и внутреннему контурам детали. Отделение стружки происходит

при зачистке наружного контура режущей кромкой матрицы, а при зачистке внутреннего контура — режущей кромкой пуансона. Достигнутая при этом чистота поверхности среза зависит от остроты режущих кромок, толщины срезаемого припуска, свойств материала и пр. Если высота срезаемого слоя соизмерима с припуском, то может сохраняться некоторая шероховатость, поэтому на заключительной стадии зачистки минимизируют срезанный припуск, причем в случае зачистки после вырубki деталь обращают шероховатым пояском к пуансону, а после пробивки — наоборот, к матрице.

Калибровка также применяется для повышения качества и точности пробиваемых отверстий. При этом возможно два варианта:

- со снятием припуска (качество полученной поверхности и необходимые припуски такие же, как и при зачистке); припуск для калибровки малых отверстий составляет 0,15 ... 0,20 мм на диаметр, а для средних как при зачистке наружного контура;

- без снятия стружки; калибровку осуществляют пуансоном-дорном (рис. 21, а); в простейшем случае — шариком заданного диаметра (рис. 21, б), который проталкивают через калибруемое отверстие.

Размеры матриц и пуансонов для зачистки и калибровки:

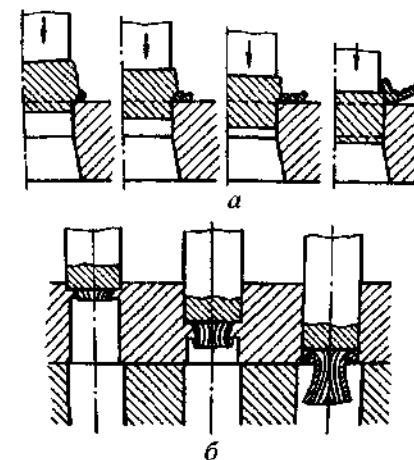


Рис. 20. Схемы зачистки со снятием стружки:
а - после вырубki; б - после пробивки

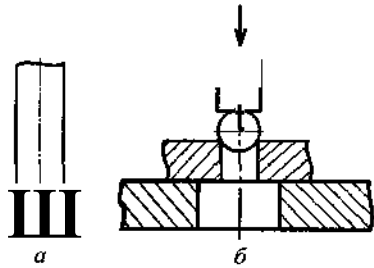


Рис. 21. Калибровка без снятия припуска:
а - пуансон-дорн; б - шариком

- 1) при зачистке наружного диаметра

$$D_M = d + z + y; \quad D_n = d + y;$$

- 2) при калибровке отверстия

$$D_M = d - y; \quad D_n = d - (z + y),$$

где D_M и D_n — исполнительные размеры матрицы и пуансона; z — технологический зазор при вырубке или пробивке; y — припуск на зачистку или калибровку; d — окончательный размер зачищаемой (калибруемой) детали. Для калибровки отверстий с грубыми допусками необходимо иметь комплект дорнов (шариков с постепенно увеличивающимся через 0,02... 0,04 мм диаметром).

3. Формообразующие операции листовой штамповки

3.1. Гибка

Особенности гибки листового материала. Гибка является одной из распространенных операций при производстве корпусных деталей ЭА.

Формовка при гибке происходит в результате упругопластической деформации, протекающей различно с каждой из сторон изгибаемой детали (заготовки). Следует отличать гибку с малым радиусомгиба при большой степени пластической деформации от гибки с большим радиусом закругления при небольшой степени деформации.

При гибке узких полос происходит сильное искажение исходного прямоугольного сечения полосы (рис. 22). Оно представляет

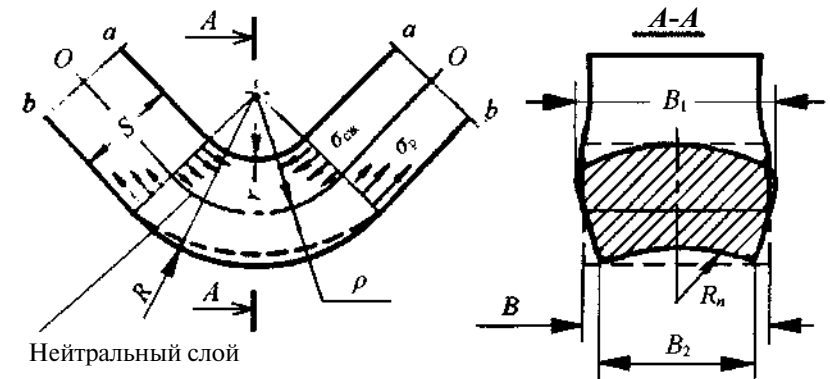


Рис. 22. Схема напряженного и деформированного состояния заготовки при гибке

собой уменьшение толщины S листа в зонегиба, уширение внутренней стороны $a - a$ изгиба ($B' > B$) и сужение наружной стороны изгиба $b - b$ ($B2 < B$) с образованием поперечной кривизны радиусом R_n .

Максимальное утонение листа происходит при малых радиусахгиба и может достигать 0,255, а при $g \wedge bS$ утонением можно пренебречь.

Между внутренней и наружной поверхностями изгиба, претерпевающими в процессе деформации максимальные по сечению полосы напряжения сжатия $\sigma_{сж}$ и растяжения $\sigma_{р}$, находится нейтральный слой $O - O$, который в процессе гибки не изменяет своей длины. Радиус ρ этого нейтрального слоя ориентировочно можно определить по формуле

$$\rho = r + xS,$$

где g — внутренний радиусгибки; x — коэффициент смещения нейтрального слоя, зависящий от соотношения g/S и определяемый по справочнику. В табл. 1 приведены значения коэффициента x для сталей 10 - 20 [4].

Минимально допустимые радиусыгибки. Возможности процесса гибки листового материала в значительной степени зависят от заданного чертёжом детали радиусагиба. При гибке с малыми

Таблица 1

Значения коэффициента x при гибке на 90° (для сталей 10 — 20)

r/S	x	r/S	x	r/S	x	r/S	x
0,05	0,27	0,30	0,36	0,80	0,408	2,0	0,45
0,10	0,30	0,40	0,37	1,00	0,42	2,5	0,46
0,15	0,32	0,50	0,38	1,2	0,43	3,0	0,47
0,20	0,33	0,60	0,39	1,5	0,44	4,0	0,47
0,25	0,35	0,70	0,40	1,8	0,45	5,0	0,48

радиусами в зонегиба возникают значительные напряжения сжатия $a_{сж}$ и растяжения a_p , из которых наиболее опасными являются напряжения растяжения a_p на внешней (обращенной к матрице) поверхности листа (см. рис. 22).

При превышении этими напряжениями допустимого предела текучести a_t материала с внешней стороны гибки происходит разрушение (растрескивание) листа.

Минимально допустимое значение радиуса r гибки при заданной толщине S листа зависит от следующих факторов:

— пластичности материала заготовки (для менее пластичных материалов во избежание трещин при гибке значение r должно быть увеличено);

— угла гибки (для больших угловгиба значения r должно быть увеличено).

— расположения линии гибки относительно направления проката (рис. 23): при расположении линии гибки $n - n$ под углом 45° или по направлению проката радиус гибки необходимо увеличить в 1,2 — 1,5 раза.

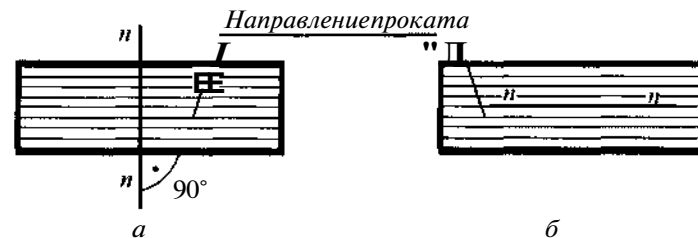


Рис. 23. Гибка вдоль и поперек проката

Значения минимального радиуса гибки приведены в табл. 2. Эти значения относятся к радиусам, оформляемым пуансоном [3].

Таблица 2

Минимальные относительные радиусы гибки r/S .

Материал	Состояние материала			
	Отожженный или нормализованный		Наклепанный	
	Расположение: линии гибки			
	поперек волокон проката	вдоль волокон проката	поперек волокон проката	вдоль волокон проката
Сталь:				
15, 20, Ст. 3	0,1	0,5	0,5	1,0
45, 50, Ст. 6	0,5	1,0	1,0	1,7
Сталь коррозионно-стойкая	-	-	2,5	6,5
Медь М1, М2, М3	0	0,3-0,5	1,0	2,0
Латунь Л62, Л68	0	0,3-0,4	0,5	0,8
Бронза БрОФ 6,5-0,15	0,5	1,2	-	—
Алюминиевые сплавы:				
Д1	0,5	1,0	1,5	2,2
Д16М	1,0	1,5	1,5	2,5
Д16Т	2,0	3,0	3,0	4,0

Необходимо отметить, что механические свойства материала заготовки в ходе гибки претерпевают существенные изменения, материал наклепывается.

Пружинение при гибке. Так как возникающие в толще листа напряжения различны по значению и знаку — от максимума на поверхности листа до равных нулю в средней части сечения (см. рис. 22), то следует, что гибка сопровождается как пластическими, так и упругими деформациями. По окончании гибки упругая деформация устраняется, вследствие чего изменяются размеры заготовки в сравнении с заданными инструментом. Такое изменение угловых размеров и радиусов кривизны при снятии деформирующих нагрузок называют *пружинением*.

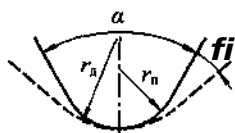


Рис. 24. Пружинение при гибке:
 r_d - радиус детали;
 r_n - радиус пуансона

Обычно пружинение оценивают в угловых единицах и характеризуют значением, на которое следует уменьшить угол пуансона для получения требуемого по чертежу угла гибки. Угол (3 пружинения (односторонний) (рис. 24) определяют аналитически, экспериментально или по номограмме (рис. 25), где r_d и r_n — радиус детали (по чертежу) и пуансона соответственно.

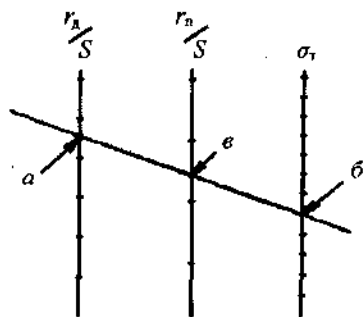


Рис. 25. Номограмма для расчета угла пружинения:
 a - точка определяется по чертежу детали; b - точка характеризует* напряжение σ_T текучести материала детали; β - результат

Для V-образной (одноугловой) гибки [4]

$$\operatorname{tg} \beta = 0,375 \frac{l}{kS} \cdot \frac{\sigma_T}{E};$$

для П-образной (двуугловой) гибки

$$\operatorname{tg} \beta = 0,75 \frac{l_1}{kS} \cdot \frac{\sigma_T}{E},$$

где k — коэффициент, определяющий положение нейтрального слоя, $k = 1 - x$; l — расстояние между опорами (губками матрицы); l_1 — плечо гибки ($h = r_n + r_m + 1,255l_1$); r_n и r_m — радиусы пуансона и губок матрицы соответственно.

При гибке деталей большого радиуса пружинение достигает значительного значения.

В этом случае с учетом пружинения корректируется не только угол, но и радиус закругления пуансона гибочного штампа. Так,

при гибке заготовок прямоугольного сечения откорректированное значение радиуса r_n пуансона можно определить по формуле [4]

$$r_n = \left[r_d^{-1} + 3\sigma_T (ES)^{-1} \right]^{-1}.$$

Когда в результате расчетов получаем, что $r_n = r_d/2$, является предельным, так как при таком и большем значении заданного по чертежу детали радиуса r_d изгиба не происходит. Если же необходимо получить деталь, изогнутую большим радиусом, изгиб производят с одновременным растяжением или сжатием [6].

Определение размеров заготовки для гибки. При расчете размеров плоской заготовки для детали, подлежащей гибке, длину заготовки принимают равной сумме прямых и радиусных участков уже изогнутой детали.

Длину радиусных участков рассчитывают по длине нейтрального слоя $O-O$ с радиусом $p = r + xS$, где коэффициент x зависит от соотношения r/S .

Тогда длина заготовки для детали на рис. 26, a будет

$$L = l_1 + l_2 + l_3 = h + h + j^{\frac{\pi\phi}{180}}(r + xS).$$

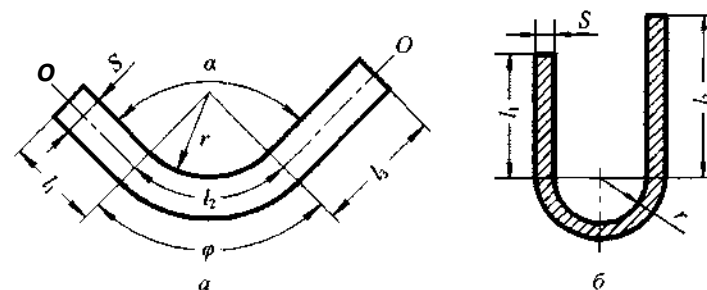


Рис. 26. Размер заготовки для гибки:
 a — на угол ϕ ; b - на угол ($\phi = 180^\circ$)

Угол ϕ изогнутого участка детали можно выразить через внутренний угол a гибки: $\phi = 180^\circ - a$.

Если $\phi = 180^\circ$ (рис. 26, b), то длина заготовки

$$L = l_1 + \pi(r + xS) + l_3.$$

Расчет усилия гибки. Усилие P гибки зависит от ее вида. Для свободной гибки (рис. 27, а)

$$P = BS\kappa_b k,$$

где B , S — ширина и толщина листовой заготовки; κ — коэффициент, выбираемый по справочнику в зависимости от отношения I/S , здесь I — расстояние между опорами (сторонами матрицы), обычно $I = (15 - 20)S$.

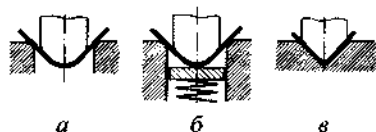


Рис. 27. Виды гибки: а - свободная; б - с поджимом; в - с калибровкой

Свободная гибка применяется лишь для деталей невысокой точности (14-й квалитет), так как допускает смещение заготовки [4].

Для гибки с поджимом (рис. 27, б)

$$P = BS < 3 \kappa_b k + P_n,$$

Наличие поджима P_n обеспечивает получение заготовки с равными плечами (заготовка в процессе гибки не смещается).

Гибка с поджимом применяется для деталей повышенной точности (12... 13-й квалитет) [4].

Для гибки с калибровкой (рис. 27, в)

$$P = qF,$$

где q — удельное давление калибровки, $q = 10 \dots 100$ МПа; F — площадь под пуансоном.

Введение калибровки позволяет получить изделия высокой точности (8... 11-й квалитет) [4]. Гибка с калибровкой — самый точный способ гибки.

3.2. Вытяжка

Вытяжка предназначена для получения полых изделий. На рис. 28 показаны типы деталей, получаемых вытяжкой. Для вытяжки используют вытяжные прессы. При этом способе получения



Рис. 28. Типы деталей, получаемых вытяжкой

деталей применяют в основном пластичные металлы и сплавы: малоуглеродистые стали и цветные металлы и их сплавы.

Перед вытяжкой поверхности заготовок для уменьшения трения смазывают (солидол, смазки на основе графита) либо покрывают другими пластичными материалами (например, меднение стали). Вытяжкой можно изготавливать детали толщиной от 0,02 до 30 мм и размерами от миллиметра до нескольких метров. Различают вытяжку без утонения стенок и вытяжку с утонением. В первом случае толщина материала заготовки не изменяется.

Способы расчета размеров заготовки для вытяжки.

При расчете заготовки для вытяжки без утонения применяют критерий равенства площадей детали и заготовки с учетом отходов на обрезку в размер:

$$F_3 \approx F_d + F_{отх},$$

где F_3 — площадь заготовки; F_d — площадь детали; $F_{отх}$ — площадь отходов ($F_{отх} \approx 0,05 F_d$).

Для расчета F_d деталь разбивают на элементарные фигуры (рис. 29), площади поверхностей которых приведены в справочниках по холодной штамповке [1].

Для вытяжки полой детали в виде тела вращения необходима заготовка в виде круга, диаметр D_3 которого определяют исходя из рассчитанной площади F_3 заготовки:

$$F_3 = \frac{\pi}{4} D_3^2,$$

$$D_3 = \frac{4}{\pi} \sqrt{F_d + F_{отх}} \approx 1,13 \sqrt{\sum_{i=1}^n F_i + F_{отх}}.$$

Если деталь имеет сложную поверхность, то для расчета ее площади F_d можно воспользоваться правилом Гюльдена (рис. 30): «площадь, образованная любой плоской кривой при вращении ее

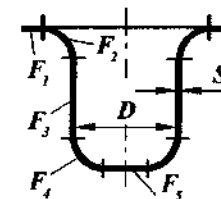


Рис. 29. Расчет заготовки для вытяжки по критерию равенства площадей

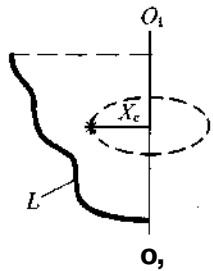


Рис. 30. Расчет заготовки для вытяжки по правилу Гюльдена

относительно оси симметрии $O1 - O1$ равна длине L этой кривой, умноженной на длину окружности $2\pi X_c$, образуемой центром тяжести X_c этой кривой при вращении вокруг оси симметрии $O1 - O1$.

Кривую разбивают на элементарные участки l_1, l_2, \dots, l_n , для каждого из которых по справочнику находят центры тяжести x_1, x_2, \dots, x_n , тогда искомую площадь F_a детали определяют в виде суммы элементарных площадей:

$$LX_c = l_1x_1 + l_2x_2 + \dots + l_nx_n = \sum_{i=1}^n l_i x_i,$$

$$F_a = 2KLX_c.$$

Расчет площади заготовки можно также вести исходя из равенства объемов заготовки и детали (для любого вида вытяжки):

$$V_3 = V_R + V_{отх}.$$

Отходы $V_{отх} \sim 5\%$ от объема детали. По рассчитанному объему заготовки

$$V_3 = \left(\frac{\pi}{4} D_3^2\right) S,$$

определяем диаметр заготовки

$$D_3 \approx 1,14 \sqrt{\frac{V_d + V_{отх}}{S}}.$$

Кроме того, площадь заготовки можно рассчитать исходя из равенства масс заготовки и детали (для любого вида вытяжки):

$$G_3 = G_d + G_{отх},$$

$$G_3 = \left(\frac{\pi}{4} D_3^2\right) S \gamma,$$

$$D_3 \approx 1,13 \sqrt{\frac{G_d + G_{отх}}{5\gamma}}.$$

Отходы $G_{отх} \sim 5\%$ массы детали, где γ — плотность материала детали.

Вытяжка без утонения. В рассматриваемом случае толщина S стенки и доньшка отформованной детали постоянны и равны примерно толщине S исходного материала (рис. 31, а).

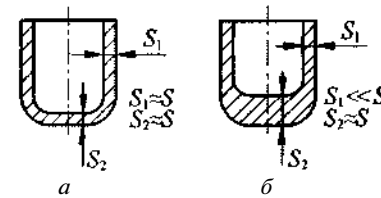


Рис. 31. Способы вытяжки: а - без утонения; б - с утонением

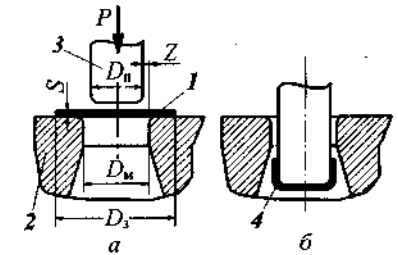


Рис. 32. Схема процесса первой вытяжки:

/ - плоская заготовка; 2 - матрица; 3 - пуансон; 4 - деталь

На рис. 32 показана схема процесса вытяжки полой детали без фланца. Например, чтобы получить деталь 4 типа стакана, необходимо взять плоскую круглую заготовку 1 диаметром D_3 , установить ее между матрицей 2 и пуансоном 3 и приложить к пуансону необходимое для формирования усилие P (рис. 32, а). Пуансон протолкнет заготовку через матрицу и в результате деформирования в зазоре между матрицей и пуансоном будет отформована деталь 4 (рис. 32, б).

Диаметр D_m отверстия матрицы оформляет внешнюю поверхность вытягиваемой детали, а пуансон диаметром d_n — внутреннюю. При вытяжке происходит пластическое перераспределение материала заготовки, при котором ее диаметр непрерывно уменьшается, а разные участки вытягиваемой детали испытывают разные напряжения (рис. 33):

— дно и стенки испытывают напряжения растяжения σ_p , вызывающие утонение дна и стенок детали;

— во фланце детали в радиальном направлении возникают напряжения растяжения $\sigma_{сж}$, а в окружном — сжатия $\sigma_{сж}$. Под действием напряжений $\sigma_{сж}$ фланец утолщается, а при тонком материале

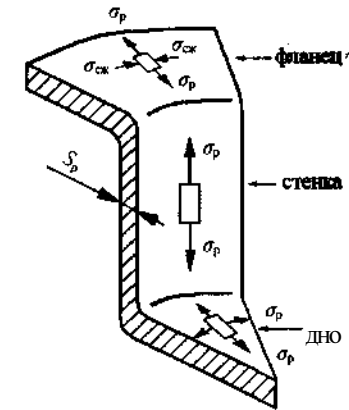


Рис. 33. Внутренние напряжения в вытягиваемой детали

ле и большой степени деформации на его поверхности образуются складки (рис. 34).

Для предупреждения складкообразования при отношении $S/D_3 < 0,02$ вытяжку проводят с применением прижима заготовки к матрице (рис. 35).

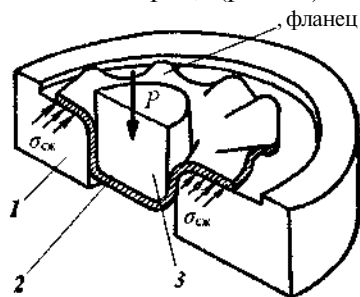


Рис. 34. Образование складок при глубокой вытяжке: / - матрица; 2 - заготовка; 3 - пуансон

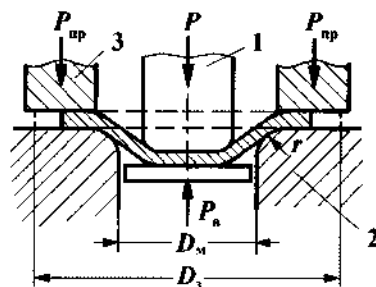


Рис. 35. Вытяжка с прижимом: / - пуансон; 2 - матрица; 3 - прижим

Размеры матрицы и пуансона для вытяжки цилиндрических деталей без утонения рассчитывают по следующим формулам [1]:

— при вытяжке детали с заданным допуском по наружному диаметру D_g (рис. 36, а)

$$D_M = (D - 0,85) + 5_M,$$

$$D_n = (D - 0,86 - 2Z) - 5_n;$$

— при вытяжке детали с заданным допуском по внутреннему диаметру $d^{+0,05}$ (рис. 36, б)

$$D_n = (d + 0,5\delta) - 5_n;$$

$$D_M = (d + 0,5\delta + 2Z) + \delta_M,$$

где D и d — номинальные размеры детали; D_n и D_M — исполнительные размеры матрицы и пуансона; Z — односторонний зазор между матрицей и пуансоном ($Z \ll 1,055$).

Расчет необходимого числа операций вытяжки для превращения плоской заготовки в объемную деталь является наиболее ответственной задачей, так как от него зависят и длительность технологического процесса, и число потребных штампов, и качество формовки.

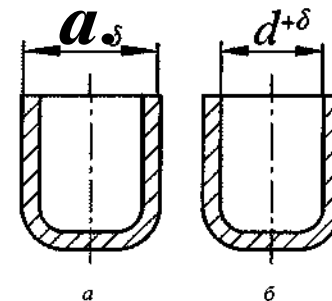


Рис. 36. Расчет исполнительных размеров матрицы и пуансона при вытяжке без утонения при задании допусков:

а - на наружный диаметр детали; б - на внутренний диаметр детали

Необходимость нескольких операций вытяжки можно определить по соотношению высоты h и диаметра d вытягиваемой детали (рис. 37):

- если $h/d < 0,6$, достаточно одной операции;
- если $h/d > 0,6$, необходимо несколько операций.

Число операций вытяжки во втором случае (глубокая вытяжка) можно определить по формуле [4]

$$n - 1 \approx \frac{\ln d_n - \ln(m_1 D_3)}{\ln m_2},$$

где n — общее число операций вытяжки; d_n — диаметр готовой детали; D_3 — диаметр заготовки; m_1 — коэффициент вытяжки на первой операции (свертке) ($m_1 = 0,52 \dots 0,58$); m_2 — коэффициент вытяжки при второй и последующих операциях ($m_2 \approx \text{табл. } \dots \text{ ss } m_2 = 0,78 \dots 0,8$).

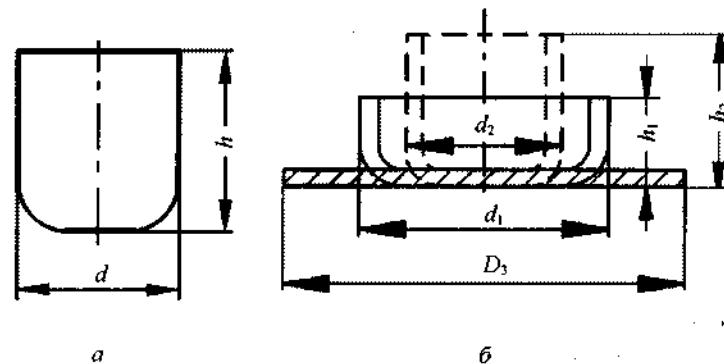


Рис. 37. Определение количества вытяжек:

а - размеры детали, б - последовательность многократной вытяжки

Если суммарный (общий) коэффициент $m = d/D_3 < ?_п$, то принимается решение о многооперационной вытяжке. Число необходимых операций вытяжки может быть уменьшено, если после каждой вытяжки проводить отжиг. Для цилиндрических колпачков вытяжка без прижима возможна:

при первой операции, если

$$\frac{d_1}{d_0} > 0,02; \quad \frac{d_1}{D_3} > 0,55;$$

при n -й операции, если

$$\frac{S}{d_{n-1}} > 0,015; \quad \frac{d_n}{d_{n-1}} \geq 0,78,$$

где d_1 — диаметр полуфабриката после первой вытяжки; d_{n-1} — диаметр полуфабриката после $(n-1)$ -й операции; d_n — диаметр детали после n -й операции.

Если $\frac{d_i}{d_{i-1}} < 0,01 \dots 0,0125$; $\frac{d_i}{d_{i-1}} < 0,78$, то применяется вытяжка с прижимом.

Расчетное усилие для вытяжки зависит от геометрии вытягиваемой детали и прочности материала заготовки и может быть определено по формуле

$$P = Fna_b = LSno_b,$$

где F — площадь поперечного сечения вытягиваемой детали (рис. 38); L — периметр сечения вытягиваемого тела; S — толщина; o_b — предел прочности; n — коэффициент, зависящий от количества вытяжек.

В случае вытяжки с прижимом (см. рис. 35) общее усилие

$$P = P_4 + P_{-4} + P$$

$$P_{-4} = \dots + P_{-1} + P_{-2} + P_{-3} + P_{-4}$$

$$P_{-1} = qF,$$

где P — расчетное усилие вытяжки; P_{-1} — усилие прижима; q — удельное давление прижима (1...3 МПа); P_{-2} — усилие выталкивателя; F — площадь под прижимом,

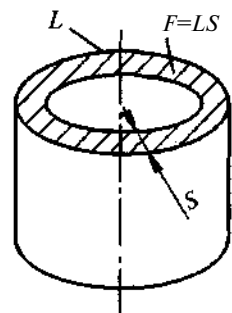


Рис. 38. Расчет площади поперечного сечения вытягиваемой детали

$F = \frac{\pi}{4} [D_M^2 - (A_i + 2r)^2]$, здесь D_M — диаметр матрицы, r — радиус матрицы.

Вытяжка с утонением. Вытяжку с утонением проводят в штампах с зазором между матрицей и пуансоном меньшим толщины S исходной заготовки. В результате получают деталь с толщиной стенки S_i , существенно меньшей толщин S материала и S_2 дна детали (см. рис. 31,6).

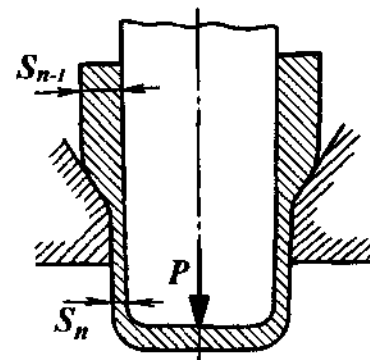


Рис. 39. Схема вытяжки с утонением

Заготовку для первой вытяжки с утонением получают обычной вытяжкой (сверткой).

Необходимое число операций вытяжки с утонением определяют по формуле [1]:

$$n = \frac{\lg S_n - \lg S_i}{\lg(100 - 100/e)}$$

где e — степени деформации;

$$\varepsilon = \frac{F_{n-1} - F_n}{F_{n-1}} \cdot 100\% \approx \frac{S_{n-1} - S_n}{S_{n-1}} \cdot 100\%.$$

Здесь S_{n-1} и S_n — толщина стенки до и после n -й вытяжки (рис.39); F_{n-1} и F_n — площадь поперечного сечения до вытяжки и после ($F_{n-1} = L_{n-1} \cdot S_{n-1}$; $F_n = L_n \cdot S_n$).

Допустимые значения степени деформации ε приводятся в справочнике [4].

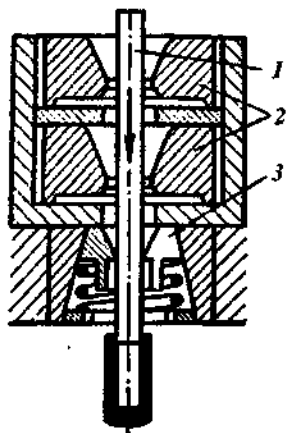


Рис. 40. Вытяжка с утонением до $\frac{D}{2}$ ГП^К; а^л н^{ко} П^{Рехо} - ^{ТМ*} матриц меньше наружного диаметра колпачка-заготовки, а зазор между пуансоном и матрицей меньше толщины стенок колпачка-заготовки, изменяется сечение (т. е. уменьшается диаметр колпачка-заготовки и толщина стенки с одновременным увеличением высоты вытягиваемой детали). Непосредственно за матрицами устанавливается кулачковый съемник 3, охватывающий пуансон. При обратном ходе пуансона деталь опирается на нижнюю кромку съемника и снимается с пуансона.

Для изготовления тонкостенных деталей возможно применение одновременной протяжки одним пуансоном через две или три матрицы с постепенным утонением стенок заготовки за счет уменьшения диаметров матриц (рис. 40). В матрицу закладывают заготовку, имеющую вид колпачка. Пуансон заходит в колпачок-заготовку с небольшим зазором. При рабочем движении ползуна прессы пуансон / проталкивает колпачок-заготовку через одну или две, а иногда и три матрицы 2, расположенные одна над другой на одной оси с пуансоном. Поскольку диаметр рабочей части матриц меньше наружного диаметра колпачка-заготовки, а зазор между пуансоном и матрицей меньше толщины стенок колпачка-заготовки, изменяется сечение (т. е. уменьшается диаметр колпачка-заготовки и толщина стенки с одновременным увеличением высоты вытягиваемой детали).

Непосредственно за матрицами устанавливается кулачковый съемник 3, охватывающий пуансон. При обратном ходе пуансона деталь опирается на нижнюю кромку съемника и снимается с пуансона.

Вытяжки с утонением высоких деталей разного диаметра имеют следующие преимущества перед обычной:

- более высокую степень деформации, позволяющую сократить число операций вытяжки;
- применение простых штампов со сменной матрицей и пуансоном;
- возможность полной автоматизации технологического процесса на прессах простого действия.

Необходимость применения прижимов зависит от толщины и пластичности материала заготовки.

Иногда две операции вытяжки объединяют в одну совмещенно-реверсивную операцию, выполняемую за один рабочий ход прессы, причем вторая вытяжка совершается в направлении, обратном

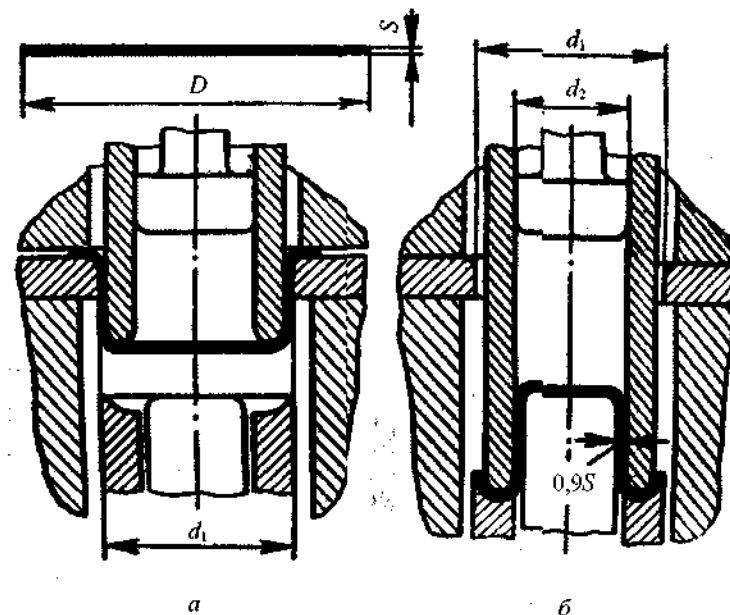


Рис. 41. Схема совмещенно-реверсивной вытяжки: а - первая прямая вытяжка б - вторая реверсивная вытяжка

первой, и сопровождается выворачиванием заготовки (рис. 41). Так можно получить более высокую степень деформирования. За одну подобную операцию можно получить деталь высотой h до $0,25d$.

Специальные способы вытяжки. *Вытяжка с местным подогревом и охлаждением заготовки.* Этот способ состоит в получении максимальной разницы между сопротивлением деформированию фланцевой (плоской) чюти заготовки / прочностью дна и стенок заготовки за счет создания оптимального градиента температуры в объеме заготовки в течение процесса деформирования.

С этой целью в штампе для вытяжки (рис. 42) в прижим 5 (складкодержатель) и матриц 1 в зоне контакта с фланцем заготовки вмонтированы трубчатые электронагреватели б, а полый пуансон 2 охлаждается, например, холодной проточной водой. Кроме того, в зоне формирования степеней заготовки матрица также может иметь канал для охлаждения 4 В таком случае матрица может вы-

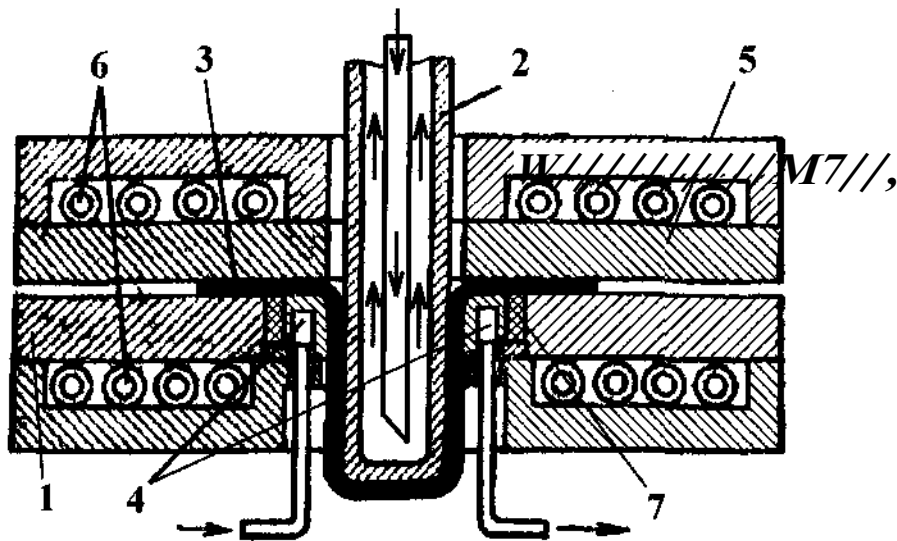


Рис. 42. Схема штампа для вытяжки с подогревом:
 / - матрица; 2 - пуансон; 3 - деталь; 4 - канал для охлажденной жидкости; 5 - прижим; 6 - электронагреватели; 7 - теплоизоляционные прокладки

полняться составной, а ее нагреваемая и охлаждаемая части разделяют теплоизоляционными прокладками 7.

В результате возникают условия для создания большей деформации без утонения или разрушения материала. Подобная вытяжка применяется для материалов с низкой пластичностью в холодном состоянии (титановые и магниевые сплавы).

Например, для магниевого листа марки МА8 коэффициент вытяжки на первой операции составляет $0,38 \dots 0,45$, на последующих $0,54 \dots 0,64$.

Между первой и второй операциями вытяжки заготовки подвергают промежуточному отжигу при $260 \dots 350 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение одного часа.

Развитием данного способа является вытяжка с применением глубокого холода, когда полый вытяжной пуансон охлаждается жидким кислородом (температура кипения $-183 \text{ }^\circ\text{C}$) или жидким азотом (температура кипения $-195 \text{ }^\circ\text{C}$), при этом фланец заготовки можно не нагревать. В результате значительно упрочняется опасное сечение и боковые стенки вытягиваемой заготовки,

Гидравлическая вытяжка. Данный вид вытяжки проводится давлением жидкости на деформируемый металл. Различают два способа:

- когда жидкость выполняет роль пуансона, вдавливая заготовку в полость матрицы;
- когда жидкость (в резиновом чехле) служит матрицей, обтягивающей заготовку вокруг металлического или деревянного пуансона.

На рис. 43, а показана схема штампа плунжерного типа для вытяжки по первому способу [6]. Штамп состоит из контейнера 1 с жидкостью, плунжера 2 с матрицей 3. При опускании матрицы с плунжером под действием усилия ползуна прессы жидкость деформирует заготовку 4, заставляя ее заполнять полость матрицы. Обратный ход матрицы с плунжером происходит за счет пружины 5.

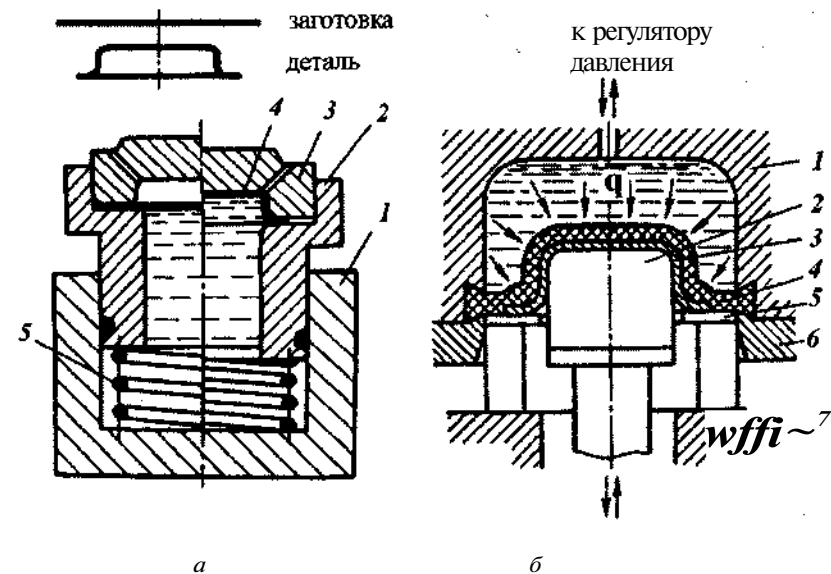


Рис. 43. Гидравлическая вытяжка:
 а - жидкость в роли пуансона (1 - контейнер с жидкостью, 2 - плунжер, 3 - матрица, 4 - заготовка, 5 - пружина); б - жидкость в роли матрицы (1 - матрица, 2 - пуансон, 3 - заготовка, 4 - резиновая диафрагма, 5 - прижимное кольцо, 6 - манжетное кольцо, 7 - стол прессы)

Первый способ гидравлической вытяжки применяют для конических, сферических, параболических и других деталей, где требуется несколько операций обычной вытяжки. Рабочей жидкостью является масло, заключенное в резиновый чехол.

Особенности такого способа гидравлической вытяжки:

- отсутствие металлического пуансона и, следовательно, необходимости пригонки его к матрице;
- возможность обходиться вообще без пресса (например, в штампе, сжатом между двумя плитами);
- равномерное давление на заготовку и возможность изготовления пустотелых деталей сложной формы за одну операцию.

Рабочее давление создается насосом высокого давления (5... 20 МПа) или рабочим ходом механического или гидравлического пресса.

Сменные матрицы изготавливают из чугуна, пластика или твердой древесины (в зависимости от масштаба производства и требуемой точности изделий), а диафрагмы — из натурального каучука твердостью 40... 50 по Шору. Стойкость таких диафрагм достигает 5000 штамповок.

Требуемое давление при гидравлической вытяжке определяют по формуле

$$P = qF_{пр} \quad **$$

$F_{пр}$ — проекция свободной поверхности вытягиваемой детали;
 q — давление жидкости в конечный момент вытяжки.

$$q = (S/r)a_B,$$

здесь S — толщина материала; r — радиус закругления у дна детали.

Для вытяжки сферической детали

$$q = 3,2(S/d_M)\sigma_B,$$

где d_M — диаметр матрицы.

На рис. 43,6 приведена схема процесса вытяжки по второму способу. Заготовку 3 укладывают на прижимное кольцо 5, установленное на столе 7 пресса. Пуансон 2 деформирует заготовку, которая обтягивается вокруг него резиновой диафрагмой 4, прикрепленной к корпусу матрицы 1 манжетным кольцом 6.

При этом способе гидравлической вытяжки высокое гидростатическое давление жидкости (до 70... 120 МПа) обеспечивает

сильный прижим заготовок к пуансону, препятствуя растяжению и утонению. Более благоприятное напряженно-деформированное состояние заготовки в процессе вытяжки позволяет увеличить степень вытяжки ($K = 2,35 \dots 2,45$).

В табл. 3 приведены коэффициенты вытяжки при штамповке эластичной (жидкостной) матрицей стальных листов и листов из цветных металлов [4].

Таблица 3

Предельные и рекомендуемые коэффициенты вытяжки при штамповке эластичной или жидкостной матрицей

Штампующий материал	Коэффициент вытяжки $m_i = d\sqrt{D}$	
	предельный	рекомендуемый
Дюралюмин	0,43	0,46
Медь	0,42	0,45
Алюминий	0,41	0,44
Коррозионно-стойкая сталь	0,41	0,43
Стали 10-20	0,42	0,45

Вытяжка эластичным инструментом. Такая вытяжка широко используется в серийном и мелкосерийном производстве для изготовления полых деталей из тонкого листа.

Как и при гидравлической вытяжке, резина может выполнять функцию пуансона или матрицы.

Штампы с резиновым пуансоном весьма просты и дешевы, так как их можно изготавливать из дерева или легкоплавких цинковых сплавов.

В некоторых случаях роль матрицы выполняет резина, заключенная в резиновую обойму (контейнер) и обтягивающая листовую заготовку по цилиндрическому (или другой формы) пуансону.

При глубокой вытяжке необходимо обеспечить высокое давление резины, заключенной в контейнер. Это достигается применением в штампах подвижных прижимов, через которые передается усилие на резиновую матрицу. Для осуществления вытяжки давление со стороны матрицы должно плавно возрастать в течение

процесса от нуля до максимального, зависящего от материала, размеров и конфигурации детали (для алюминиевых сплавов — до 50 МПа, для низкоуглеродистых сталей — до 70 МПа).

Вытяжка деталей из плоской заготовки происходит следующим образом (рис.44,я) [6]. При опускании контейнера 1, прикрепленного к ползуну гидравлического пресса, резина 2 приходит в соприкосновение с плоской заготовкой, расположенной на прижимном кольце 3, преодолевает сопротивление гидравлической подушки пресса, которое передают толкатели 4. Толкатели проходят через отверстия в подштамповочной плите 5, на которой расположен пуансон 6. При опускании контейнера резина деформирует заготовку, обтягивая ее вокруг пуансона (рис. 44, б).

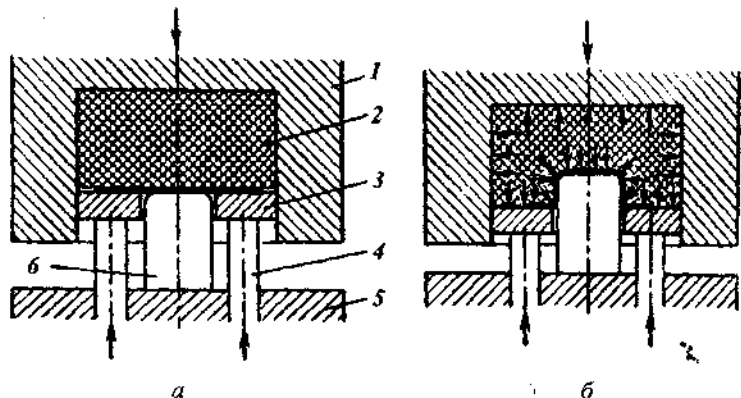


Рис. 44. Схема вытяжки эластичной матрицей: а - начальный момент; б - завершение (/ - контейнер, 2 - резина, 3 - прижимное кольцо, 4 - толкатель, 5 - подштамповочная плита, 6 - пуансон)

Усилие прижима и, соответственно, давление резиновой матрицы в процессе вытяжки можно регулировать по заданному закону. Степень вытяжки в таком случае может быть существенно увеличена ($K = 2, 2 \dots 2,3$).

Требуемые усилия пресса определяют по формуле

$$P = qF,$$

где F — площадь резины; q — давление резины.

Давление резины зависит от материала заготовки, коэффициента вытяжки и относительной толщины заготовки (табл. 4) [4].

Таблица 4

Наибольшее давление резины при вытяжке сплава Д16

Коэффициент вытяжки	Давление резины при относительной толщине заготовки $(S/D) \cdot 100$			
	1,30	1,00	0,66	0,40
0,60	26	28	32	36
0,50	28	30	34	38
0,44	30	32	35	40

При вытяжке прямоугольных коробок давление резины достигает 35 МПа для алюминия и 50 МПа для Д16.

Резина может быть заменена вязкой жидкостью (глицерин, масло) в резиновом чехле, или гидропластом.

В настоящее время начали применять вытяжку полиуретаном. Он обладает высокой упругостью, износоустойчивостью, большим сопротивлением разрыву и истиранию, стоек к воздействию масла и температуры, не имеет пористости (за исключением специально приготовленных вспененных полиуретанов), поэтому при деформировании не меняет свой объем, т. е. для него справедливы условия несжимаемости и постоянства объема.

В табл. 5 приведены параметры вытяжки полиуретаном сталей и алюминиевых сплавов [4].

Таблица 5

Параметры вытяжки полиуретаном

Материал	Предельная глубина вытяжки h/d	Предельный коэффициент вытяжки	Толщина заготовки, мм	Минимальный радиус закругления у фланца, мм
Сплав АМц	1,00	0,45	4,0	2
Сплав Д16АМ	0,75	0,50	1,0	3
Сталь 08кп	0,70	0,50	0,5	4
Сталь 1Х18Н9Т	0,53	0,65	0,5	8

Вытяжка взрывом. Эта штамповка основана на деформации листовой заготовки давлением ударной волны, образующейся при

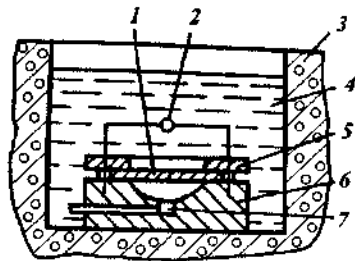
взрыве взрывчатых веществ (ВВ). В качестве ВВ используют бризантные взрывчатые вещества — тротил, тетрил, гексоген, аммонит, аммонал и другие в виде порошка, прессованных брикетов, литых зарядов разной формы. Форма заряда определяется конфигурацией штампуемой детали. В ряде случаев, например при формовке тонкостенных деталей из пластичных материалов в качестве ВВ используют газовые смеси и порох. Поджигание инициирующего заряда осуществляется посредством электрического тока или огнепроводного (бикфордова) шнура.

Время детонации ВВ составляет 20 — 30 мкс, а время деформации детали — миллисекунды, т.е. примерно в 100 раз больше. Давление взрыва действует на заготовку лишь в начальный момент, после чего металл заготовки движется до соприкосновения с матрицей под действием сообщенной ему кинетической энергии. По мере распространения ударной волны ее скорость и создаваемое давление быстро затухают, поэтому зачастую применяют двукратную взрывную установку.

Вытяжку взрывом используют для получения как крупногабаритных, так и небольших деталей при толщине материала свыше

2 мм. К достоинствам такой штамповки следует отнести экономическую эффективность и возможность получения деталей из высокопрочных сплавов.

На рис. 45 представлена схема установки для вытяжки взрывом [6]. Листовую заготовку / укладывают на матрицу 6, прижимают прижимным кольцом 5 и на определенном расстоянии от поверхности заготовки устанавливают заряд ВВ 2 с электродетонатором. Затем матрицу с заготовкой и зарядом опускают в бассейн 3 с водой 4. Из нижней полости матрицы через клапан 7 посредством вакуум-насоса откачивают воздух, чтобы он не препятствовал перемещению заготовки. После чего через детонатор взрывают ВВ. Образовавшаяся в результате ударная волна деформирует заготовку.



с. 45. Установка для вытяжки взрывом:

1 - заготовка; 2 - заряд ВВ; 3 - бассейн; 4 - вода; 5 - прижимное кольцо; 6 - матрица; 7 - клапан

Вытяжка электрогидравлическим разрядом. Это способ формовки высоковольтным электрическим разрядом в воде. В основу его положен электрогидравлический эффект, открытый Л.А. Юткиным, советским изобретателем.

Электрогидравлическая вытяжка имеет ряд преимуществ перед вытяжкой взрывом:

- лучшая управляемость процессом (изменением числа и места разрядов);
- возможность варьирования энергией импульса;
- возможность применения многократного разрядного импульса.

На рис. 46 [6] показана схема установки штамповки электрогидравлическим разрядом в закрытом объеме, которая включает повышающий трансформатор 1, выпрямитель 10, переменное сопротивление 11, батарею конденсаторов 2, ионный разрядник 3 и электроды 4, помещенные в резервуар 9, наполненный жидкостью (водой) 5. Заготовку 8 устанавливают на матрицу 7 и прижимают прижимным кольцом 6. Существует также система вакуумирования полости матрицы (не показана).

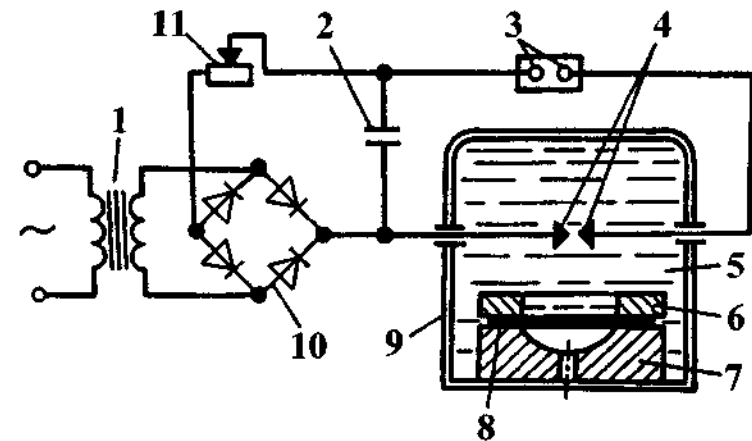


Рис. 46. Вытяжка электрогидравлическим разрядом:

1 - повышающий трансформатор; 2 - батарея конденсаторов; 3 - ионный разрядник; 4 - электроды; 5 - жидкость (вода); 6 - прижимное кольцо; 7 - матрица; 8 - заготовка; 9 - резервуар; 10 - выпрямитель; 11 - переменное сопротивление

Энергия для электрического разряда накапливается в высоковольтной батарее конденсаторов (30000 ... 40000 В). Накопленная энергия (30 ... 120 КДж) создает между электродами мгновенный разряд длительностью (0,00002... 0,0003) с, вызывающий ударную волну в жидкости. Деформирование заготовки происходит под воздействием ударной волны, гидропотока и давления при расширении газового пузыря.

При разряде должна строго соблюдаться определенная полярность: острое (+), плоскость (-). При обратной полярности разряд не сопровождается электрогидравлическим эффектом.

При штамповке деталей из плоских заготовок в качестве отрицательного электрода может быть использован заземленный корпус заготовки. При штамповке деталей типа оболочек положительный электрод помещают внутрь заготовки, в качестве отрицательного электрода можно использовать корпус установки. Наиболее перспективно применение электрогидравлической установки для изготовления крупногабаритных деталей: от 400 x 400 до 1300 x 1800 мм.

4. ОБЪЕМНАЯ ШТАМПОВКА

4.1. Холодное выдавливание

Посредством холодного выдавливания изготавливают тонкостенные детали преимущественно из листовых заготовок в результате пластического истечения материала в зазор между пуансоном и матрицей. На рис. 47 приведены типы деталей, получаемых холодным выдавливанием.

Процесс заключается в следующем. Заготовку, имеющую объем, равный объему детали с припуском на обрезку, помещают в гнездо матрицы и под давлением пуансона металл переводится в

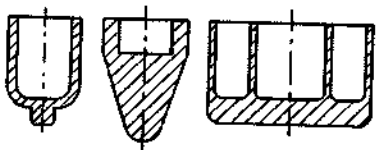


Рис. 47. Типы деталей, получаемых холодным выдавливанием

весьма пластичное состояние и выдавливается в кольцевой зазор между матрицей и цилиндрической частью пуансона.

Материал для холодного выдавливания должен обладать хорошей пластичностью (алюминий, медь, цинк и их сплавы, а также некоторые малоуглеродистые стали). Процесс холодного выдавливания относится к высокопроизводительным.

Существуют три способа холодного выдавливания:

- прямое (рис. 48), когда течение материала направлено в сторону рабочего движения пуансона;
- обратное (рис. 49), когда течение металла идет в направлении, обратном рабочему ходу пуансона;
- комбинированное, представляющее собой сочетание прямого и обратного выдавливания.

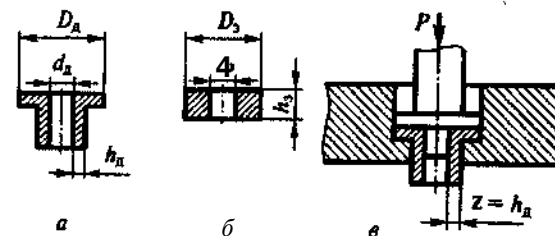


Рис. 48. Прямое холодное выдавливание: а - деталь; б - заготовка; в - схема процесса

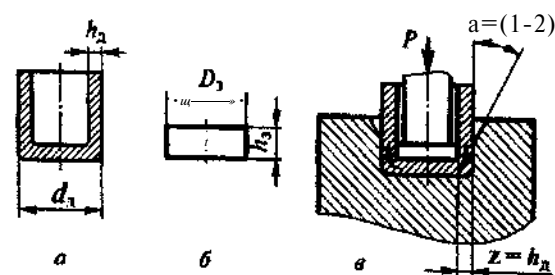


Рис. 49. Обратное холодное выдавливание: а - деталь; б - заготовка; в - схема процесса

При прямом выдавливании используется заготовка в виде диска или толстостенного колпачка. В результате получают тонкостенную гильзу с доньшком. При этом утонение стенок детали относи-

тельно толщины стенок заготовки составляет от 1:4 до 1:25 при сравнительно небольших усилиях пресса [4].

Обратное выдавливание необходимо для получения цилиндрических и призматических полых деталей диаметром до 120 мм и толщиной стенок 1,5... 0,08 мм при отношении высоты детали к диаметру до 8 : 1.

Комбинированное выдавливание применяют для изготовления деталей более сложной формы: с фигурным дном, с всевозможными отрезками, выступами, шипами или дном, расположенным внутри гильзы.

В справочниках по холодной штамповке приведены допустимые степени деформации при холодном выдавливании в зависимости от материала и формы получаемой детали.

Расчет размеров заготовки при холодном выдавливании основан на равенстве объемов V_0 детали и V_3 заготовки с учетом припуска $V_{отх}$ на отходы (примерно 5% V_0):

$$V_3 = V_a + V_{отх}$$

При этом наружный и внутренний диаметр заготовок для холодного выдавливания назначают с учетом необходимости некоторых зазоров (0,1... 0,3 мм) между заготовкой, матрицей и пуансоном:

$$D_3 = D - (0,1...0,3),$$

$$d_3 = d + (0,1...0,3).$$

Необходимое для выдавливания усилие определяют по формуле

$$P = qF,$$

где q — удельное давление при холодном выдавливании; F — площадь под пуансоном.

В табл. 6 приведены значения удельного давления q в зависимости от материала заготовки [1].

Количество переходов выдавливания определяется допустимой степенью деформации K материала заготовки, которая зависит от пластичности материала

$$K = 100 \% (F_3 - F_n) / F_3,$$

где F_3 — сечение заготовки до вытяжки; F_n — сечение вытянутой детали; $if = 50.. 90\%$.

Таблица 6

Удельное давление q для холодного выдавливания, МПа

Материал	Способ	
	прямой	обратный
Алюминий	400... 700	800... 1200
Медь	800... 1000	1500... 2000
Латунь Л68	1000... 1600	1800... 2500
Стали 10- 15	1200... 2000	2000... 3000

Для обеспечения правильного течения металла и его задержки в заданной зоне деформирования пуансоны могут иметь в торцевой части микрорельеф, например, в виде неглубоких проточек (рис. 50, а). С целью облегчения процесса обратного холодного выдавливания матрицы, как правило, изготавливают с заходным конусом (рис. 50, б).

Между заготовкой и стенками пуансона и матрицы возникает большое трение, поэтому эти стенки изготавливают с высокой чистотой поверхности ($Ra = 2,5 \dots 0,63$ мкм), а заготовки смазывают или покрывают более пластичным материалом (меднят, фосфотируют).

Смазка должна выдерживать высокие рабочие давления и не терять вязкости при нагреве. Выбор смазки определяется прежде всего материалом заготовки:

— для алюминия и его сплавов — 20 %-ный раствор животного жира в бензоле или смесь цилиндрического масла с воском (1:1), иногда используют цинковую пудру;

— для меди и ее сплавов — животные жиры или графитовая смазка (5 частей графита + 2 части машинного масла);

— для цинка — животные жиры, ланолин, тальк;

— для сталей применяют фосфатирование поверхности заготовки (заготовку погружают в кислый фосфатный раствор) с последующей пропиткой мыльной эмульсией.

Наличие несмазанных мест заготовки ведет к браку (отрывы, перекосы).

Штампы для холодного выдавливания выполняют только с направляющими колонками.

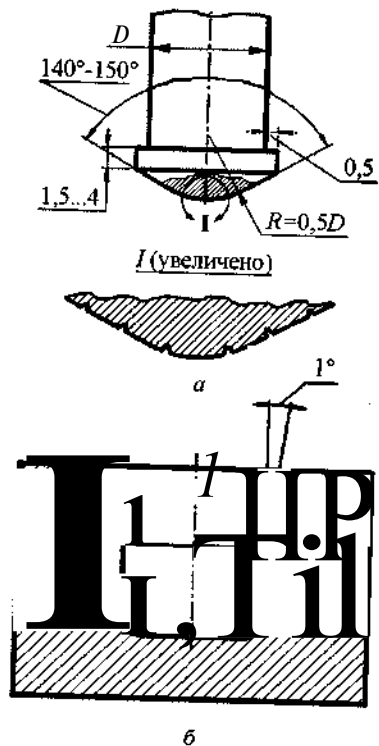


Рис. 50. Рабочие инструменты для холодного выдавливания:
a - пуансон (прямая схема); *б* - матрица с заходным конусом (обратная схема)

4.2. Холодная высадка

Холодная высадка по характеру идентична выдавливанию. Процесс высокопроизводительный и безотходный.

На рис. 51, *я* и *б* показаны две полые детали, полученные высадкой, и заготовки для этих деталей.

Расчет размеров заготовки для высадки проводится из условия равенства объемов заготовки и получаемой детали.

Число операций высадки зависит от геометрии и размеров высаживаемого участка детали и толщины заготовки. Так, показанные на рис. 51 детали при выполнении условий $K < (1,5 \dots 1,6)S$, $L < (2 \dots 2,5)S$ могут быть получены за одну операцию высадки. При больших значениях K и L необходим предварительный

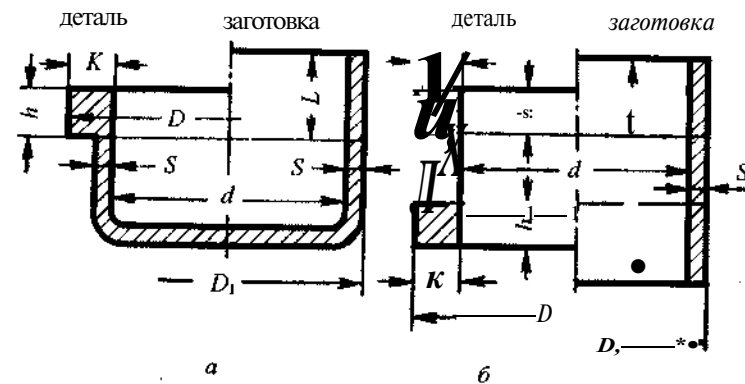


Рис. 51. Заготовки и полые детали, получаемые высадкой:
a - колпачок; *б* - втулка

нагрев заготовки или высадка за несколько операций.

Холодная высадка стандартных стержневых (крепежных) деталей и им подобным (рис. 52) обычно осуществляется на холодновысадочных прессах-автоматах или в штампах на обычных кривошипных прессах. Для высадки таких деталей используют калиброванный материал преимущественно круглого сечения: стали, алюминиевые, медные сплавы и др. Для определения числа переходов (операций) высадки таких деталей можно пользоваться данными табл. 7 [3].



рис. 52. Стержневые детали, получаемые высадкой

Определение числа переходов высадки

Таблица 7

Число переходов	Относительные размеры высаживаемой части заготовки и высаживаемой головки		
	h/d	D/h	D/d
1	2,5	4,5	2,2
2	2,5-5,0	4,5-8,5	2,2-2,6
3	5-8	8,5-10	2,6-4,0

В таблице применены следующие обозначения: D и h — диаметр и высота формируемой головки; d — диаметр заготовки; h_0 — длина заготовки, необходимая для высадки головки, $h_0 = \frac{4V}{\pi d^2}$, где V — объем высаживаемой головки.

При высадке за один переход применяют одноударные холодно-высадочные автоматы, в противном случае — многоударные (двухударные, трехударные и т. д.).

На рис. 53 показана схема высадки заклепки на одноударном автомате. Пруток / роликами 2 механизма подачи через отверстие отрезной матрицы 3 подается до упора 4, после чего вращение роликов автоматически прекращается и от прутка ножом 5 отрезается заготовка, которая, будучи захвачена захватом 6, переносится на линию высадки. При движении пуансона 7 к матрице 8 заготовка сначала заталкивается в матрицу до упора в выталкиватель 9, а затем происходит высадка головки. При возврате пуансона в исходное положение высаженная деталь выталкивается из матрицы

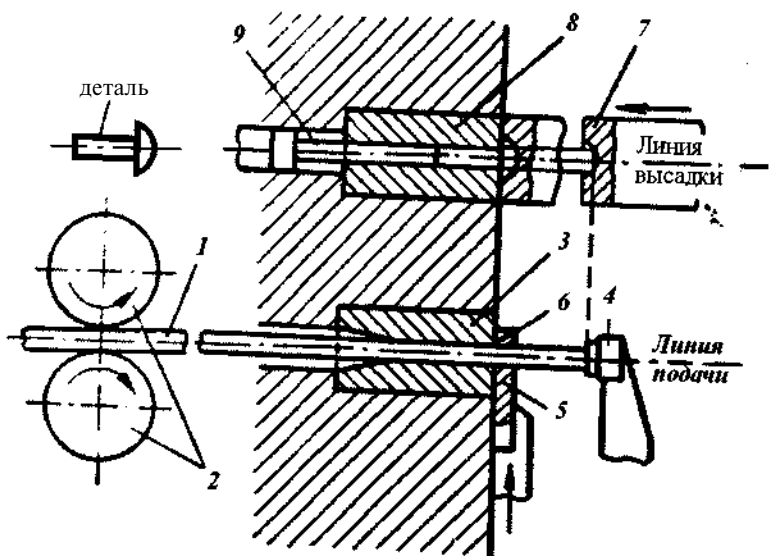


Рис. 53. Схема процесса высадки:

1 - проволока (пруток); 2 - ролики; 3 - отрезная матрица; 4 - упор, определяющий длину заготовки; 5 - нож; 6 - захват; 7 - пуансон для осаживания головки; 8 - матрица; 9 - выталкиватель

и цикл повторяется. Усилие высадки крепежных деталей ориентировочно можно рассчитать по формуле

$$P = (0,5 \dots 0,6) G_r D^2,$$

где a_r — предел текучести; D — диаметр заготовки.

Иногда высадку проводят с нагревом (электровысадка), что позволяет реализовать большую степень деформации за один переход.

4.3. Волочение

Волочение применяют для получения профильных заготовок и сплошных или полых деталей, сечение которых по всей длине постоянно.

Волочением обрабатывают различные марки сталей и цветных металлов (медные и алюминиевые сплавы и т. д.). Сортамент изделий, получаемых волочением, весьма разнообразен: проволока диаметром 0,002... 10 мм, всевозможные профили и прутки диаметром 3 ... 150 мм, трубы от капиллярных до 500 мм (рис. 54).

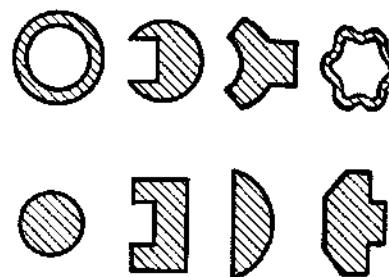


Рис. 54. Примеры профилей, получаемых волочением

При волочении заготовку протягивают через постепенно сужающееся отверстие в инструменте, называемом волокой или фильерой.

Волоки бывают цельные, составные регулируемые и роликовые [7]. На рис. 55, а показана цельная волока. Цельные волоки применяют для волочения простых по форме профилей (круг, прямоугольник, шестигранник, труба). Такая волока представляет собой кольцо, рабочее отверстие которого состоит из входной

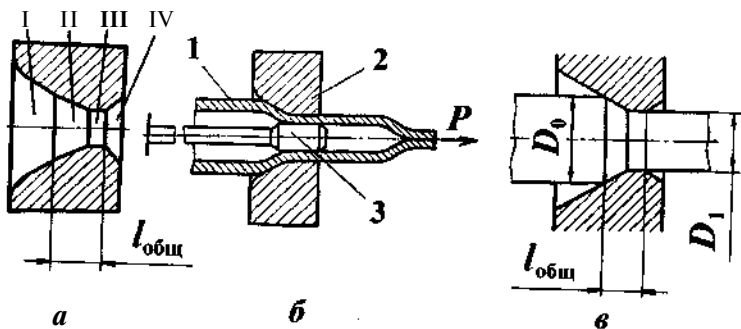


Рис. 55. Схемы волочения:

a - цельная волока; *б* - схема волочения трубы; *в* - схема волочения проволоки

(смазочной) зоны I, деформирующей зоны II, калибрующего цилиндрического пояса III и выходного конуса IV. Материалом для изготовления служат инструментальная сталь, металлокерамика и технические алмазы (для волочения проволоки диаметром менее 0,2 мм). Если при волочении труб (рис. 55, б) необходимо уменьшить не только внешний диаметр трубы I, но и толщину стенки трубы, то волочение выполняют с внутренней оправкой. В этом случае профиль получаемой трубы определяется зазором между волокой 2 и оправкой 3.

Для волочения проволоки и других профилей, сматываемых в бунты, используют барабанные станы (рис. 56) [7]. В таком стане исходную заготовку в виде бунта укладывают на вертушку 1. Предварительно заостренный конец проволоки пропускают через отверстие в волоке 2 и закрепляют на барабане 3, приводимом во

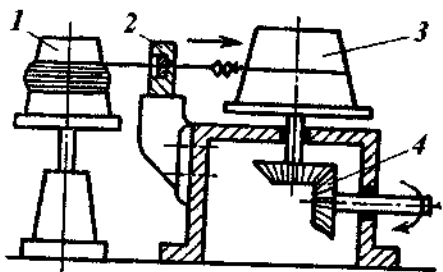


Рис. 56. Барабанный стан для волочения проволоки:

1 - вертушка; 2 - волока; 3 - барабан; 4 - редуктор

вращение электродвигателем (не показан) через редуктор 4. Станы для многократного волочения имеют до 20 барабанов с установленными перед каждым из них волоками.

Число проходов для получения заданного профиля определяется допустимым относительным обжатием ϵ за один проход по формуле:

$$\epsilon = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \cdot 100\% = \frac{D_0^2 - D_1^2}{D_0^2} \cdot 100\%,$$

где F_0 и F_1 — площади поперечного сечения до и после данного перехода; D_0 и D_1 — диаметры действительного или приведенного к кругу сечения прутка до и после данного перехода (см. рис. 55, в).

Для фасонных профилей ϵ за один проход составляет: стали 6... 20%, латуни - 10... 25%.

Скорость волочения для прутков из стали — 6... 20 м/мин, а для труб из цветных металлов и сплавов — 15... 50 м/мин.

Точность волочения (в поперечном сечении) соответствует 8... 9-му качеству. Например, стальная проволока диаметром 1,0—1,5 мм имеет допуск 0,02 мм.

Шероховатость поверхности после волочения $Ra = 2,5... 6,3$ мкм.

Волочение осуществляется с обильной смазкой.

Усилие волочения ориентировочно может быть рассчитано по формуле

$$P = F_1 \sigma_T (1 + A f \operatorname{ctg} \alpha) \ln \xi,$$

где f — коэффициент трения в волоке; $\operatorname{ctg} \alpha = \frac{2l_{\text{общ}}}{A - r}$; $l_{\text{общ}}$ — общая длина участка деформации в волоке, которая включает общую длину деформирующей зоны II и калибрующего пояса III (см. рис. 55, а); A — числовой коэффициент, равный отношению периметра сечения протянутого фасонного профиля к длине окружности равновеликого по площади круга (при волочении круглых прутков $A = 1$).

4.4. Прокатка

По характеру перемещения металла в очаге деформации прокатка может быть продольной, поперечной и поперечно-винтовой.

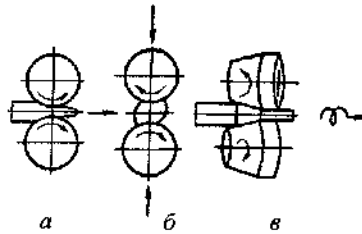


Рис. 57. Схемы прокатки:
а - продольная; б - поперечная; в - поперечно-винтовая

При продольной прокатке (рис. 57, а) валки вращаются в противоположных направлениях с одинаковыми скоростями. Оси валков параллельны, расстояние между ними не меняется. Металл деформируется в основном в продольном направлении.

При поперечной прокатке (рис. 57, б) валки вращаются с одинаковой скоростью в одном направлении. Оси валков также параллельны. Прокатываемая заготовка круглого сечения вращается в валках и по мере уменьшения расстояния между ними обжимается по диаметру. Обжатие при этом сопровождается вытяжкой в поперечном направлении (вдоль оси заготовки).

При поперечно-винтовой прокатке (рис. 57, в) валки вращаются с одинаковой скоростью в одну сторону. Оси валков не параллельны друг другу. Заготовка подается по направлению биссектрисы угла, образованного осями валков. Вследствие флекса осей валков заготовка получает вращательно-поступательное движение, обжимаясь при этом по диаметру. В результате создаются благоприятные условия деформирования в осевом направлении под действием осевой составляющей окружной скорости валков.

При производстве изделий ЭА в настоящее время применяется в основном продольная и поперечная прокатки. Продольную используют в производстве мембран, пластин конденсаторов переменной емкости, для упрочнения материала (получения необходимых механических свойств и однородной структуры, необходимой толщины), а также изготовления мелких специальных профилей и тонких лент.

Посредством продольной прокатки получают тонкие ленты. На рис. 58 приведена кинематическая схема шарикового прокатного стана, позволяющего раскатать проволоку в плоскую ленту [3].

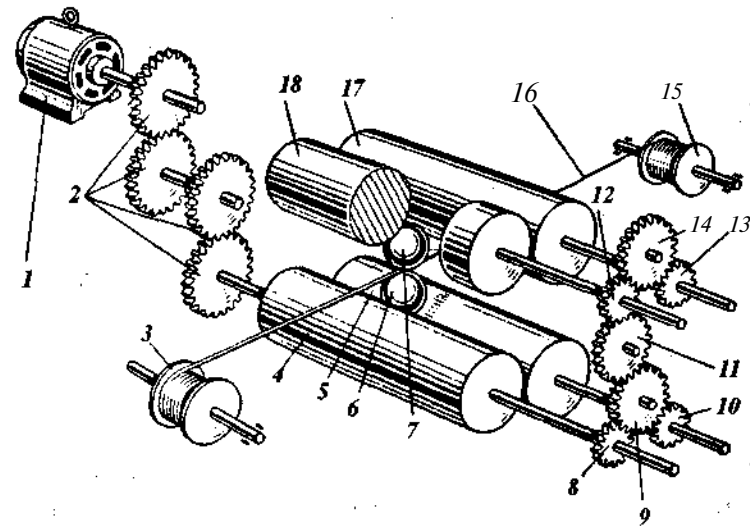


Рис. 58. Кинематическая схема шарикового прокатного стана:
1 - электродвигатель; 2 - редуктор; 3 - катушка; 4, 5 - нижние ролики; 6, 7 - шарики; 8 - 14 - зубчатые шестерни; 15 - приемная катушка; 16 - проволока; 17, 18 - верхние ролики

Принцип действия стана заключается в следующем. От электродвигателя / через редуктор 2 вращение передается ролику 4 и через шестерни 8, 9 и 10 — ролику 5. От ролика 5 через шестерни 9, 11 и 12 получает вращение ролик 18 и далее — через шестерни 13 и 14 — ролик 17. Между парой нижних роликов 4 и 5 расположен шарик 6, а между верхними роликами 17 и 18 — шарик 7. Продольное перемещение шарика вдоль оси роликов ограничивается с каждой стороны специальными упорами, устанавливаемыми в обойме. Нижняя пара роликов с шариком 6 установлена в корпусе стана, верхняя пара с шариком 7 — в шарнирно закрепленном в корпусе откидном рычаге, который с определенным усилием прижимает шарик 7 к шарикам 6.

При вращении роликов шарики, прижимаемые один к другому, начинают вращаться, увлекают проволоку 16, сматывающуюся с катушки 15, и прокатывают ее, обжимая до требуемого сечения. Прокатанная лента наматывается на катушку 3. На каждом шарике сделана плоская лыска, которой он прижимается к одному

из боковых упоров, чем обеспечивается вращение шариков вокруг постоянной оси (повышает точности прокатки).

Режимы продольного прокатывания рассчитывают по следующим формулам [3]:

$$\delta = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \cdot 100\%; \quad f = \frac{l_1}{l_2}; \quad P = \sigma q_1 q_2 C,$$

где δ — относительное обжатие по высоте, %; F_0 — сечение поперечное до прокатывания; F_1 — сечение поперечное после прокатывания; f — коэффициент вытяжки по длине; l_1 и l_2 — длины после прокатывания и до него; p — удельное давление; q_1 и q_2 — коэффициенты, определяемые по опытным данным; C — коэффициент, учитывающий условия работы (со смазкой $C = 1$, без смазки $C = 1,33$).

Поперечное прокатывание находит применение при изготовлении деталей приборов со сложным профилем в осевом сечении. При этом режимы прокатки и геометрию роликов устанавливают опытным путем.

Точность обработки при прокатки — 8... 11-й квалитет.

Шероховатость $Ra = 1,25... 0,32$ мкм

5. КОМБИНИРОВАННАЯ ШТАМПОВКА

Под комбинированной штамповкой понимают метод объединения простых технологических операций с целью снижения их стоимости и трудоемкости при одновременном повышении точности изготовления. Это основной метод механизации и автоматизации процессов холодной штамповки. Комбинированная штамповка реализуется на универсальных прессах. При массовом производстве применяют также комбинированную штамповку на многопозиционных прессах и специальных прессах-автоматах.

В производстве малогабаритных, как правило, изделий электронной техники чаще используют именно универсальные штампы, поскольку в таких штампах можно реализовать многооперационный процесс листовой штамповки, исключив межоперационную транспортировку заготовок.

По характеру совмещения операций (переходов) во времени различают штампы [1]:

- простого действия (однооперационные);
- последовательного действия (детали изготавливают за несколько переходов при последовательном перемещении заготовки);
- совмещенного действия (детали изготавливают за один ход пресса с концентрично расположенными пуансонами при неизменном положении заготовки);
- последовательно-совмещенного действия (изготовление деталей происходит путем сочетания последовательной и совмещенной штамповки).

Простые (однооперационные) штампы применяют лишь в единичном и мелкосерийном производстве или при невозможности технологического объединения операций. Использование комбинированных штампов последовательно-совмещенного действия бывает экономически оправданным в случае крупносерийного и массового производства. На рис. 59 показаны три варианта изготовления шайбы.

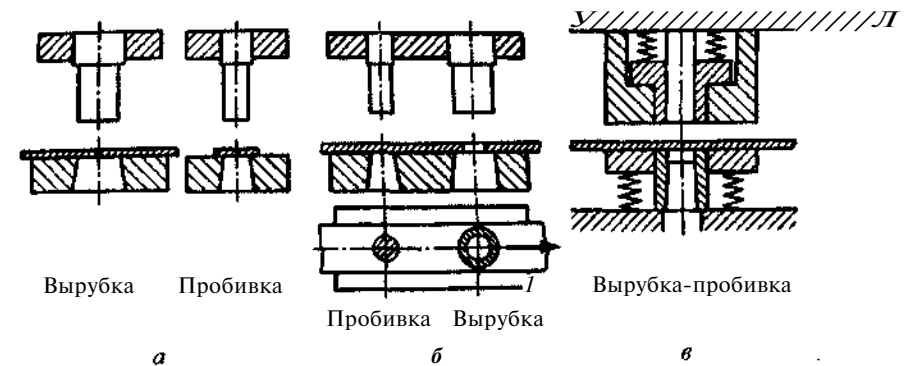


Рис. 59. Изготовление шайбы в штампах разного действия: а - простого; б - последовательного; в - совмещенного

В штампах простого действия (рис. 59, а) выполняют одну операцию в одной позиции за один ход ползуна и поэтому необходимы два штампа: в первом выполняется вырубка круглой заготовки по наружному контуру, во втором — пробивка отверстия.

В штампе последовательного действия (рис. 59, б) в первой позиции выполняется пробивка отверстия в исходном материале, во второй — вырубка детали по наружному контуру за тот же ход ползуна пресса.

В штампе совмещенного действия (рис. 59, в) при изготовлении шайбы происходят одновременно вырубка по наружному контуру и пробивка отверстия.

5.1. Штампы последовательного действия

Комбинированная штамповка в штампах последовательного действия осуществляется по одной из четырех схем.

1. Штамповка ведется из полосы (ленты); вырезка по наружному контуру (отрезка) готовых деталей осуществляется на последнем переходе.

2. Штамповка ведется из полосы (ленты); вырезка по наружному контуру предшествует формоизменяющим переходам, после чего заготовка впрессовывается обратно в ленту (полосу) и перемещается в ней на последующие переходы.

3. Штамповка ведется из полосы (ленты); вырезка заготовки по наружному контуру проводится перед формоизменяющими переходами, передача заготовки на формоизменяющие переходы осуществляется специальными механизмами штампа.

4. Штамповка ведется из предварительно изготовленной штучной заготовки; подача заготовки в штамп проводится вручную или специальным загрузочным устройством, а заготовок с одного перехода на другой — вручную или специальным механизмом.

Первая схема наиболее распространена. Основное ограничение этой схемы — габаритные размеры детали (линейный размер в направлении подачи должен быть не менее 200 мм) и толщины детали (должна быть более 0,2 мм).

На рис.60 показаны примеры применения первой схемы последовательной штамповки:

a — для изготовления детали, требующей пробивки и отрезки (особенность схемы — одновременное изготовление двух деталей);

б — для штамповки деталей, требующих пробивки нескольких отверстий (особенность схемы — расстояние между отверстиями и между контуром и отверстиями малы, поэтому пробивка отверстий идет в два перехода);

в — для изготовления деталей, требующих пробивки, гибки и вырезки (деталь изготавливается за три перехода):

1 — пуансоны 1 пробивают два отверстия;

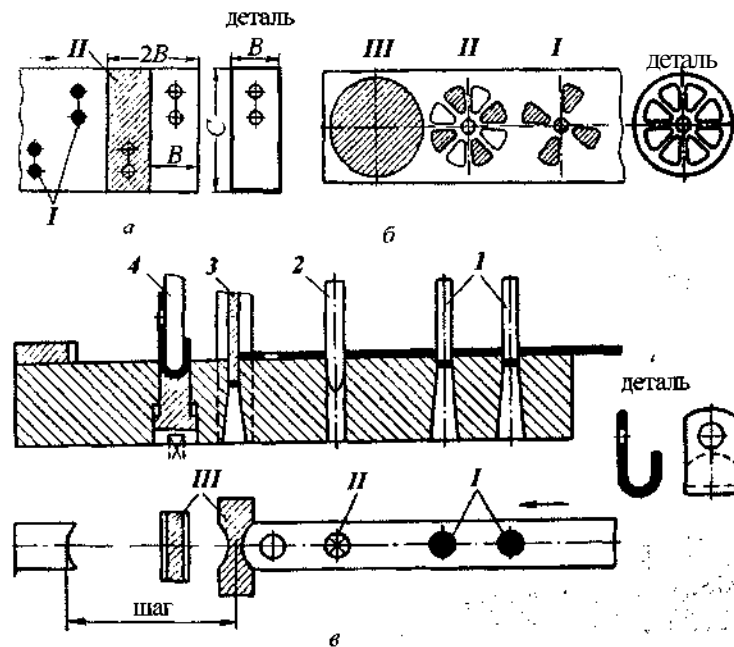


Рис. 60. Порядок штамповки в штампах последовательного действия: *a* — при пробивке и отрезке; *б* — при пробивке нескольких отверстий и вырезке; *в* — при пробивке, отрезке и гибке

II — ловитель 2 фиксирует правильность перемещения полосы, а пуансон 3 обрезает конец полосы по радиусу;

III — пуансон 3 отрезает заготовку, а пуансон 4 подвергает ее гибке).

Вторая схема последовательной штамповки — для деталей, требующих одного формоизменяющего перехода (гибка, вытяжка) или при толщине 0,3... 2 мм. На рис. 61, *a* показана последовательность штамповки шайбы-звездочки по второй схеме, а на рис. 61, *б* — устройство штампа для ее изготовления за четыре перехода:

I — пуансон / пробивает отверстия;

II — пуансон 2 вырезает шайбу-звездочку по наружному контуру, вырезанная шайба-звездочка впрессовывается выталкивателем 3 обратно в полосу;

III — пуансон 4 проводит гибку лепестков шайбы-звездочки;

IV — выталкиватель 5 извлекает из полосы шайбу-звездочку

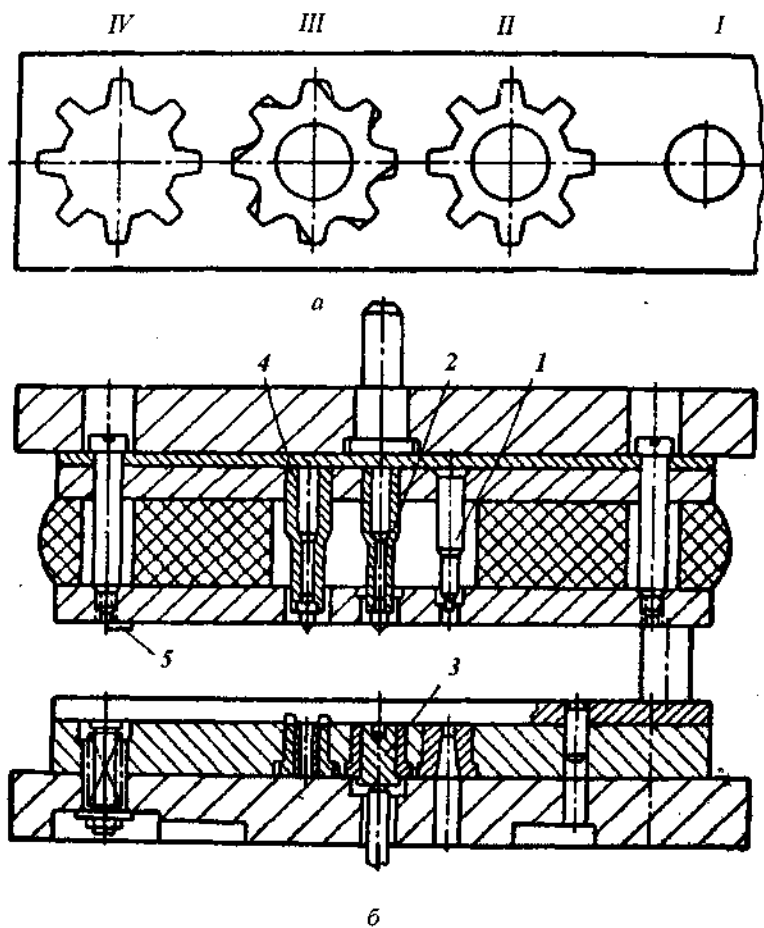


Рис. 61. Штамп последовательного действия с запрессовкой заготовки в полосу:

а - последовательность штамповки; б - устройство штампа (1, 2, 4 - пуансоны, 3, 5 - выталкиватели)

на поверхность матрицы, откуда она удаляется (например, струей сжатого воздуха).

Третью схему применяют в тех случаях, что и вторую, но для более толстого материала (0,5... 6 мм). При использовании третьей схемы последовательной штамповки передача вырезанной заготовки на формоизменяющие переходы может осуществляться

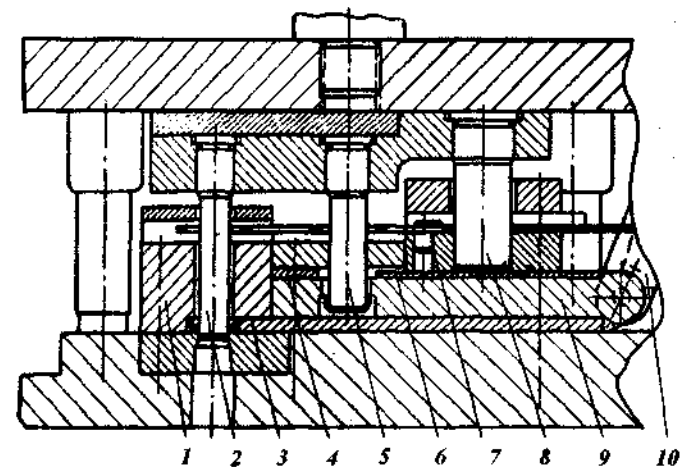


Рис. 62. Штамп последовательного действия с двумя шиберами:

1 - съемник готовых деталей; 2, 5, 8 - пуансоны; 3, 6 - шиберы; 4 - упорная планка; 7 - упор; 9 - подставка; 10 - рычаг

ся шиберами, револьверными или грейферными механизмами. На рис. 62 показан в разрезе комбинированный штамп для изготовления колпачка, в котором используют два шибера [1]. Штамп работает следующим образом. Полоса подается до упора 7, после чего пуансоном 8 вырезается заготовка. Заготовка подается на верхнюю плоскость шибера 6, который в период, когда верхняя часть штампа находится в нижнем положении, сдвинут влево. При подъеме верхней части штампа шибера 6 поворачивает рычаг 10, который одним концом связан с вилкой, представляющей единое целое с шиберами 6 и 3; шибера 6 и 3 сдвигаются вправо. В результате заготовка соскальзывает с шибера 6 на подставку 9. При последующей подаче полосы с пробитым в ней отверстием к упору 7 и опускании ползуна пресса шибера 6 перемещает вырезанную заготовку до упорной планки 4. Когда заготовка достигает упорной планки 4, происходит одновременная вырезка второй заготовки и вытяжка ранее вырезанной заготовки пуансоном 5, после чего она попадает на шибера 3. При подъеме верхней части штампа и перемещении шибера 6 и 3 вправо заготовка, подвергнутая вытяжке, соскальзывает с шибера 3 на нижнюю плиту, а вновь вырезанная заготовка — на подставку. При

подаче полосы еще на один шаг и очередном движении верхней части штампа вниз заготовка, прошедшая операцию вытяжки шибром 3, подается к лобовой стенке паза съемника 1, после чего при помощи пуансона 2 пробивается отверстие. Готовые детали снимаются со штампа посредством специального устройства (не показано).

Четвертую схему применяют для деталей, требующих формоизменяющих переходов, чаще всего при гибке. Такую схему используют обычно для заготовок средних размеров при числе переходов не более трех. На рис. 63 представлен такой комбинированный штамп с ручной загрузкой для изготовления втулок. Штамповка происходит в три перехода:

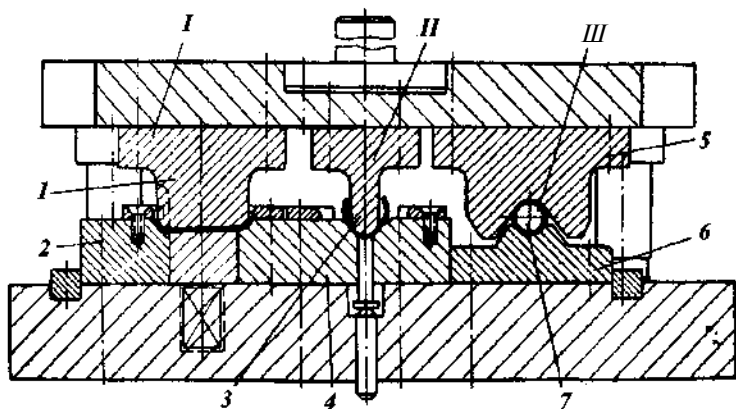


Рис. 63. Штамп последовательного действия с ручной загрузкой штучных заготовок:

1, 3, 5 - пуансоны; 2, 4, 6 - матрицы; 7 - оправка

I — заготовку укладывают в первый гибочный ручей штампа, где пуансон 1 на матрице 2 проводит подгибку концов плоской заготовки;

II — полученный полуфабрикат вручную перекалывают во второй ручей, где пуансон 3 на матрице 4 придает ему коробчатую форму;

III — в третьем ручье пуансоном 5 на матрице 6 и оправке 7 детали придает окончательную форму.

Такой способ оправдан для втулок диаметром 40... 80 мм при серийном производстве.

5.2. Штампы совмещенного действия

В штампе совмещенного действия, показанном на рис. 64 [1], пуансон 1, установленный на наружном ползуне прессы, на матрице 2 проводят вырезку заготовки, а пуансон 3, установленный на внутреннем ползуне, в матрице 4 делает вытяжку колпачка. Деталь удаляется выталкивателем 5.

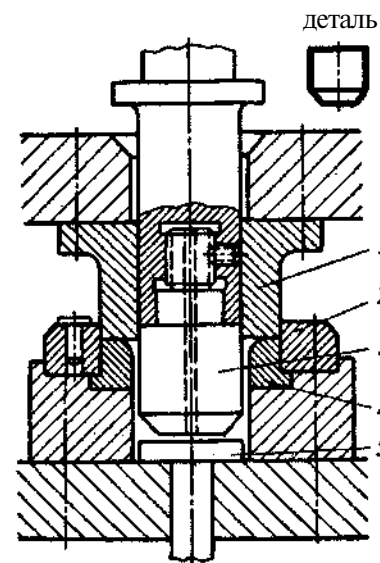


Рис. 64. Штамп совмещенного действия:

1, 3 - пуансоны; 2, 4 - матрицы; 5 - выталкиватель

В результате вырубка и вытяжка колпачка происходит за один ход прессы без перемещения заготовки. Число разделительных и формоизменяющих операций не превышает четырех. Возможность совмещения операций зависит от толщины штампуемого материала (обычно не более 8 мм) и размеров детали. Преимущество таких штампов — высокая точность взаимного расположения внутренних и наружных поверхностей детали. Сложности возникают при автоматизации подачи полосы и удалении отштампованной

детали. В зависимости от размеров штампуемой детали и типа производства подобные штампы могут быть однорядными и многорядными (последние — только в массовом производстве для деталей малых размеров). Во многих случаях оправдано рабочие части штампа изготавливать из твердых сплавов.

5.3. Штампы последовательно-совмещенного действия

На рис. 65 показан штамп последовательно-совмещенного действия для изготовления стойки, в котором объединены переходы пробивки, отрезки и гибки.

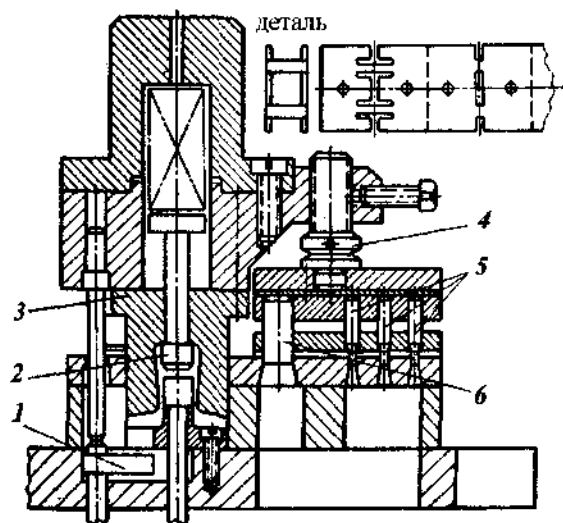


Рис. 65. Штамп последовательно-совмещенного действия:
1 - выталкиватель; 2, 3, 5, 6 - пуансоны; 4 - соединитель

Работает штамп следующим образом. Полоса вручную подается до временного упора, выдвигаемого нажимом руки. Пуансонами 5 пробиваются за первый ход пресса два круглых и три прямоугольных отверстия. Полоса перемещается до второго временного упора и за второй ход ползуна пресса пуансонами 6 пробиваются еще четыре прямоугольных отверстия. Временный упор освобождается от нажима руки и пружиной отводится в исходное положение, а полоса подается до постоянных упоров. При третьем ходе ползуна

пресса происходят отрезка и гибка пуансоном 3, выдавливание ребер жесткости пуансоном 2 и удаление отштампованной детали — выталкивателем 1, находящимся под действием пружины. После подачи полосы до упора за каждый последующий ход пресса получают одну деталь. В данном штампе можно выделить два основных узла: узел, получающий привод непосредственно от ползуна пресса, в котором осуществляют формоизменяющие переходы, и узел дыропробивных пуансонов, получающих привод от ползуна пресса через соединитель 4.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Малое А.Н.* Технология холодной штамповки / А.Н. Малов. М.: Машиностроение, 1969.
2. *Гриднев В.Н.* Методические указания для курсового проектирования по курсу Технология производства ЭВА. Разд.: Проектирование операций холодной листовой штамповки / В.Н. Гриднев, В.Г. Ковалев, Е.В. Кротова, Ю.И. Нестеров, В.В. Холевин. М.: Изд-во МВТУ им. Н.Э. Баумана, 1984.
3. *Арутюнова И.А.* Технология материалов в приборостроении / И.А. Арутюнова, А.К. Белопухов, Р.М. Гоцеридзе, А.Н. Малов, П.Н. Орлов, А.Н. Чеканов; под ред. А.Н. Малова. М.: Машиностроение, 1969.
4. *Романовский В.П.* Справочник по холодной штамповке. 6-е изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979.
5. *Билибин К.И.* Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры: учеб. для вузов / К.И. Билибин, А.И. Власов, Л.В. Журавлева, Э.В. Мысловский, О.Д. Парфенов, Е.В. Пирогова, В.А. Шахнов, В.В. Шерстнев; под общ. ред. В.А. Шахнова. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. (Сер. Информатика в техническом университете).
6. *Попов Е.А.* Технология и автоматизация листовой штамповки: учеб. для вузов / Е.А. Попов, В.Г. Ковалев, И.Н. Шубин. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003.
7. *Барсукова Т.М.* Технология конструкционных материалов: учеб. для вузов / Т.М. Барсукова, Л.Н. Бухаркин, А.М. Дальский, Н.П. Дубинин, В.П. Каширцев, И.Г. Кременский, Э.Л. Макаров, Е.А. Попов, Ю.А. Степанов; под ред. А.М. Дальского. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1993.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ	4
Листовая штамповка	5
1. Подготовка и раскрой листового материала	5
2. Разделительные операции листовой штамповки	7
2.1. Резка листового материала на ножницах	8
2.2. Вырубка и пробивка	10
2.3. Чистовая вырубка и пробивка	19
2.4. Зачистка и калибровка	22
3. Формообразующие операции листовой штамповки	24
3.1. Гибка	24
3.2. Вытяжка	31
4. Объемная штамповка	48
4.1. Холодное выдавливание	48
4.2. Холодная высадка	52
4.3. Волочение	55
4.4. Прокатка	57
5. Комбинированная штамповка	60
5.1. Штампы последовательного действия	62
5.2. Штампы совмещенного действия	67
5.3. Штампы последовательно-совмещенного действия	68
Литература	70

Учебное издание

Билибин Константин Иванович
Григорьев Виктор Петрович

ХОЛОДНАЯ ШТАМПОВКА

Редактор *В.М. Царев*
Корректор *Е.М. Федорова*
Компьютерная верстка *В.И. Товстоног*

Подписано в печать 06.09.2010. Формат 60x84/16.
Усл. печ. л. 4,19. Тираж 100 экз. Изд. № 167.
Заказ 609

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана.
Типография МГТУ им. Н.Э. Баумана.
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5.