

М. Е. Зубцов

# ЛИСТОВАЯ ШТАМПОВКА

ИЗДАНИЕ ТРЕТЬЕ,  
ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ

*Допущено Министерством высшего и среднего специального  
образования СССР в качестве учебника  
для студентов вузов, обучающихся по специальности  
«Машины и технология обработки металлов давлением»*



ЛЕНИНГРАД «МАШИНОСТРОЕНИЕ»  
ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ 1980

ББК 27.4.3я7

З-91

УДК 621.96/98 (075)

Рецензент Кафедра «Машины и технология  
обработки металлов давлением» ЛПИ им. М. И. Калинина

**Зубцов М. Е.**

З-91 Листовая штамповка: Учебник для студентов вузов,  
обучающихся по специальности «Машины и технология обра-  
ботки металлов давлением». — 3-е изд., перераб. и доп. — Л.:  
Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1980. — 432 с., ил.

В пер.: 1 р. 20 к.

З  $\frac{31205-084}{038(01)-80}$  84-80. 2704030000

ББК27.4.3я7  
6П4.2

© Издательство «Машиностроение», 1980 г.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В решениях XXV съезда КПСС указывается, что основной задачей промышленности является более полное удовлетворение потребностей народного хозяйства и населения в высококачественной продукции, обеспечение технического перевооружения и интенсификации производства во всех отраслях. Для выполнения этих задач необходимо широкое внедрение прогрессивных технологических процессов, создание комплексной механизации и автоматизации процессов и совершенствование управления производством. Непрерывный рост основных отраслей промышленности, в которых удельный вес штампованных листовых деталей составляет 60—80% (и даже 95—98% при изготовлении предметов народного потребления), потребует значительного увеличения и совершенствования производства деталей, получаемых путем листовой штамповки. [Использование листовой штамповки — одного из наиболее прогрессивных методов обработки деталей, в котором имеются самые благоприятные условия для максимальной механизации и автоматизации производственных процессов, — будет способствовать быстрейшему выполнению задач по повышению эффективности производства и качества выпускаемой продукции.]

Настоящая книга является учебником по листовой штамповке для студентов высших технических учебных заведений.

Учебник построен на материалах отечественных заводов, научно-исследовательских институтов и проектных организаций, а также исследовательских работ и многолетнего производственного и педагогического опыта автора. Широко использован опыт рабочих — новаторов производства. Нашли также отражение последние достижения зарубежной техники в области листовой штамповки.

В книге частично использованы материалы, помещенные в ранее изданных трудах автора. Однако они подверглись коренной переработке, обусловленной развитием науки и техники в области листовой штамповки. В книге рассмотрены в новом аспекте такие вопросы как штамповка деталей в мелкосерийном и опытно-производственных, групповые методы штамповки и штамповка по элементам, высокоэнергетические — импульсные способы штамповки, штамповка с применением ультразвука, автоматизация технологической подготовки производства и проектирования

штампов с использованием электронно-вычислительных машин, применение полиуретана в конструкциях штампов, комплексная механизация и автоматизация процессов листовой штамповки на базе использования автоматических роторных линий и промышленных роботов.

В учебнике технологические расчеты выделены в самостоятельную часть, а конструктивные вопросы и методы проектирования штампов и расчеты основных деталей их на прочность рассмотрены отдельно. Такое распределение материалов соответствует программе Министерства высшего и среднего специального образования СССР.

Книга состоит из двух частей: технология листовой штамповки, включающая разделы первый—пятый; конструкция штампов и методы их проектирования, механизация и автоматизация процессов листовой штамповки, включающая разделы шестой и седьмой.

Единицы физических величин в книге даны в системе СИ.

## ВВЕДЕНИЕ

Штамповка является одним из видов обработки металлов давлением, производимой при помощи штампов на прессах. Штамповка может производиться как из объемной заготовки — катаного, тянутого, прессованного прутка или толстой полосы, так и из листовой заготовки — листового материала. Первый процесс называют объемной штамповкой, второй — листовой штамповкой. В зависимости от толщины листа (заготовки) штамповку условно делят на тонколистовую ( $s < 4$  мм) и толстолистовую, причем листовой металл толщиной свыше 15—20 мм обычно штампуют в горячем виде.

Холодная штамповка представляет собой процесс изготовления самых разнообразных по назначению, форме и размерам деталей из листовой или из объемной заготовки в холодном состоянии.

Кузнечная обработка железа применялась еще в Древней Руси. Археологическими раскопками, проведенными советскими учеными, установлено, что кузнечная обработка в сочетании с термической были известны предкам славян, жившим на территории Древней Руси еще в первом тысячелетии до нашей эры, а в Сибири с обработкой железа были знакомы даже 3300—3400 лет тому назад [32].

Начало штамповки на Руси относится к IX—X вв. Уже тогда в Киеве, Чернигове и др. такие изделия, как шлемы, мечи, клинки и другие предметы вооружения из железа и стали изготавливались методом штамповки при помощи бородков (пуансонов) и форм (матриц). К тому же периоду относятся ковка и чеканка цветных (медь) и благородных (золото, серебро) металлов в холодном и горячем состоянии для самых разнообразных целей.

Особым искусством русских мастеров того времени являлась выковка посуды из тонких листов металла. Чеканка первоначально производилась нанесением узора стальными пуансонами (IX—X вв.). В X в. появляется плоскорельефная чеканка с образованием рисунка, возвышающегося над плоскостью детали. С XI в. развивается искусство выпуклой чеканки, известное преимущественно по новгородским образцам, выполненным мастерами — художниками чеканочного дела.

В Московском государстве в XV—XVI вв. для производства оружия (защитного вооружения — панцирей, шлемов и т. д.) применялись методы штамповки с использованием подкладных штампов. К этому же периоду относится штамповка — чеканка монет в Московском государстве, в то время как за границей монеты еще отливались. Однако это производство не было массовым, им занимались лишь ремесленники, работая вручную.

До Великой Октябрьской социалистической революции листовая штамповка применялась в незначительных масштабах, пре-

имущественно в производстве аппаратов, небольших электрических машин и мелких изделий.

Основное развитие в нашей стране листовая штамповка получила в период пятилеток и после Великой Отечественной войны. В настоящее время листовая штамповка нашла широкое применение почти во всех областях металлообработки. Удельный вес штампованных листовых деталей в основных отраслях нашей промышленности составляет (в %):

В электромашиностроении . . . . .	60—70
» приборостроении . . . . .	70—75
» аппарато- и телефоностроении, в радиотехнике и электронике . . . . .	75—80
» точной индустрии (пишущие машины и пр.) . . . . .	80—85
» производстве предметов широкого народного потребления . . . . .	95—98

За годы пятилеток и в послевоенный период построены крупнейшие штамповочно-прессовые цехи на первоклассных тракторных и автомобильных заводах.

Такое широкое развитие листовой штамповки объясняется целым рядом ее достоинств. К основным из них относятся:

1) возможность получения достаточно прочных и жестких, но легких по массе конструкций деталей при небольшом расходе материала;

2) взаимозаменяемость получаемых холодной листовой штамповкой деталей вследствие их большой точности и однообразия;

3) большая производительность и низкая стоимость штампуемых деталей;

4) возможность применения малоквалифицированной рабочей силы (кроме установщиков);

5) сравнительно небольшие потери материала при правильном построении технологических процессов и раскрое материала;

6) благоприятные условия для механизации и автоматизации процессов штамповки и создания автоматических линий и участков.

За последние годы значительно возросла производительность труда в результате широкого применения полной или частичной механизации и автоматизации процессов листовой штамповки, а также прогрессивных и скоростных методов штамповки.

Разработаны также конструкции штампов и технических средств, позволяющие с успехом применять листовую штамповку не только в массовом и крупносерийном, но также в серийном и мелкосерийном производстве. Все это способствует успешному использованию листовой штамповки во всех областях металлообработки.

## Раздел первый

# КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ И ОПЕРАЦИЙ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ И ПРИМЕНЯЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ

## Глава 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

### § 1. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ И ОПЕРАЦИЙ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

Все холоднштамповочные операции могут быть разбиты на следующие основные группы: разделительные, формоизменяющие, комбинированные и штампо-сборочные операции.

К разделительным операциям, связанным с отделением одной части материала от другой по замкнутому или незамкнутому контуру, относятся отрезка, вырубка (вырезка), пробивка, над-резка, разрезка, обрезка, зачистка, чистовая вырубка и просечка.

К формоизменяющим операциям, в процессе которых плоская или полая заготовка превращается в пространственную деталь требуемой формы без изменения толщины материала, относятся гибка, вытяжка, правка, рельефная формовка, отбортовка, формовка, обжим и раздача, а также вытяжка с утонением материала (протяжка).

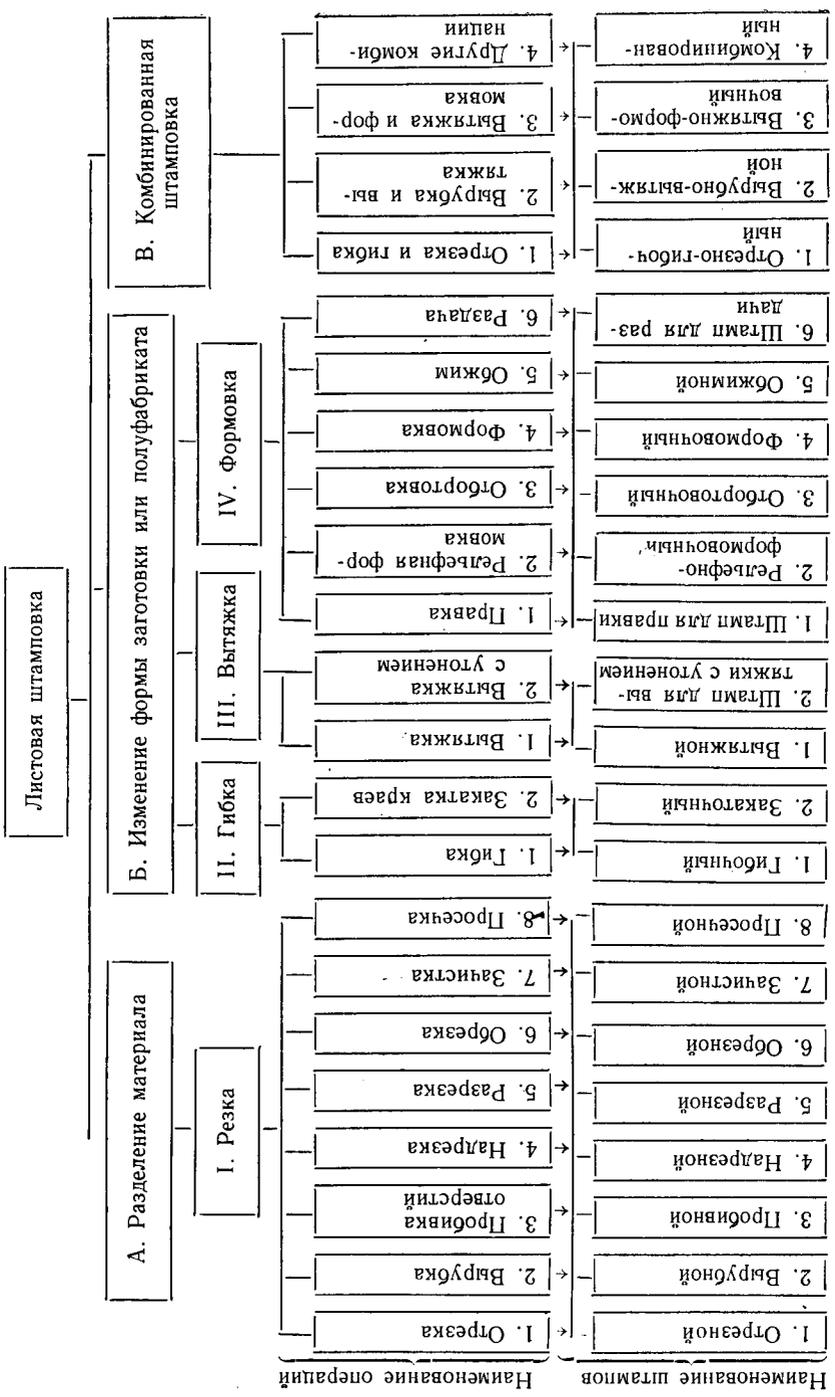
Комбинированная штамповка представляет собой совмещение нескольких технологически различных отдельных операций штамповки в одну, например: отрезки и гибки, вырубки (вырезки) и вытяжки, вытяжки и рельефной формовки и других возможных комбинаций.

В зависимости от способа совмещения операций комбинированную штамповку разделяют на совмещенную, последовательную и совмещенно-последовательную.

При совмещенной штамповке деталь получается за один ход пресса и за одну установку заготовки в штампе. При последовательной штамповке деталь получается из заготовки отдельными пуансонами за несколько ходов пресса при перемещении ее вдоль штампа, причем после установившегося процесса за каждый ход пресса получается готовая деталь.

При совмещенно-последовательной штамповке деталь получается за несколько переходов сочетанием в одном штампе совмещенной и последовательной штамповки.

1. Классификация процессов, операций и наименования штампов по листовой штамповке



К штампо-сборочным операциям, которые предназначаются для соединения нескольких деталей в одно изделие (узел), относятся запрессовка, клепка, закатка, фальцовка, холодная пластическая сварка и др.

В настоящее время установлена единая терминология операций листовой штамповки. В табл. 1 приведена классификация этих операций (без штампо-сборочных), которая в зависимости от способа действия внешних сил на металл и характера производимой ими деформации разбита на три раздела (А, Б, В) и четыре группы (I—IV). Каждая группа состоит из ряда технологических операций.

А. Разделение (разъединение) материала:

I. Резка.

Б. Изменение формы заготовки или полуфабриката:

II. Гибка.

III. Вытяжка.

IV. Формовка.

В. Комбинированная штамповка: отрезка и гибка, вырубка (вырезка) и вытяжка, вытяжка и рельефная штамповка и т. д.

Кроме операций, приведенных в табл. 1, в листовой штамповке применяются заготовительные, жестяно-медницкие, давяльно-накатные, вспомогательные и отделочные операции. Для выполнения указанных штамповочных операций пользуются различными машинами и станками, как-то: ножницами с параллельными, наклонными и дисковыми ножами; прессами кривошипными (эксцентриковыми) простого, двойного и тройного действия и гидравлическими; прессами с автоматической подачей материала и полуфабриката, автоматами и полуавтоматами; машинами и станками для правки и гибки листов, для профилирования лент и другими специальными станками и машинами для обработки листовых материалов давлением.

Штампующие изделия изготавливаются при помощи специальных инструментов — штампов, подразделяемых в зависимости от характера и рода операций на вырубные (вырезные), гибочные, вытяжные, формовочные и др. (см. табл. 1). Указанные штампы могут быть простые — однооперационные и сложные — многооперационные и комбинированные.

## § 2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

Листовая штамповка, как указывалось выше, имеет весьма широкое применение во всех отраслях машиностроения, приборостроения, радиотехнической, электронной и металлообрабатывающей промышленности.

Диапазон размеров штампуемых листовых деталей очень большой — по габаритным размерам от нескольких миллиметров до 6—7 м; по толщине от десятых долей миллиметра до 100 мм

и выше. Точность изготовления деталей достигает при обычной штамповке 4—5-го классов, а при зачистке, чистовой вырубке и калибровке 3—2-го классов точности по ГОСТу.

Технология листовой штамповки и конструкция штампового инструмента устанавливаются в зависимости от размеров и формы штампуемой детали, точности штамповки, а также от серийности производства. В массовом и крупносерийном производствах оправдывают себя высокая автоматика процессов, а также сложные и дорогостоящие штампы, так как стоимость изготовления штампов, приходящаяся на единицу отштампованного изделия, весьма мала и незначительно влияет на общую стоимость выпускаемой продукции. В мелкосерийном, а иногда и в серийном, и опытных производствах холодная листовая штамповка в случае применения обычных конструкций штампов экономически невыгодна.

В настоящее время разработан ряд новых видов холодной листовой штамповки, экономически эффективных даже в мелкосерийном и опытных производствах. К ним относятся штамповка резиной и полиуретаном, штамповка жидкостью и гидростатическая, штамповка с подогревом фланца, штамповка с глубоким охлаждением заготовки, групповые методы штамповки и штамповка по элементам, высокоэнергетические — импульсные методы штамповки (гидровзрывная, электрогидравлическая, взрывом газов, электромагнитная), штамповка с применением ультразвука и др.

Технология, конструкция штампов, технические средства и схемы установок для осуществления этих процессов изложены в соответствующих разделах книги.

В табл. 2 приведена ориентировочная характеристика серийности холодного листоштамповочного производства [18].

Отметим, что деление деталей на серийность в известной мере условно, так как это во многом зависит от вида производства — машиностроение, приборостроение, радиотехника и др. В автостроении по данным Гипроавтопрома [70] имеется несколько иное деление на серийность.

2. Характеристика серийности холодного листоштамповочного производства

Характер производства	Число деталей, тыс. шт./год		
	Особо крупные и крупные детали (630—2000 мм)	Средние детали (250—630 мм)	Мелкие (90—250) и особо мелкие детали (до 90 мм)
Мелкосерийное	До 2	До 5	До 10
Серийное	Св. 2 до 20	Св. 5 до 50	Св. 10 до 100
Крупносерийное	» 20 » 300	» 50 » 1000	» 100 » 5000
Массовое	» 300	» 1000	» 5000

## Глава 2. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ И МЕТОДЫ ИХ ИСПЫТАНИЙ

### § 3. ХАРАКТЕРИСТИКА ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И ВЫБОР ИХ МАРОК

При выборе материала для изготовления какого-либо штампованного изделия необходимо учитывать следующее:

1) механическую прочность, твердость, ударную вязкость (все виды машино- и приборостроения);

2) сопротивляемость коррозии (химические и медицинские приборы и пр.);

3) теплопроводность и теплостойкость (приборы, котлы, посуда домашнего обихода);

4) электро- и магнитопроводность (электротехнические изделия);

5) масса (авто- и авиастроение);

6) износоустойчивость и долговечность (транспортные средства, хозяйственные приборы).

Помимо этих свойств, на выбор материала в зависимости от вида и конструкции изделия оказывают решающее влияние и технологические факторы, связанные с характером и степенью производимой деформации. Технологические свойства металла зависят от механических свойств, химического состава, структуры и величины зерна, направления волокон при прокатке — анизотропии металла, термообработки, степени деформации (наклепа).

Механические и технологические свойства металла характеризуются главным образом прочностными показателями — пределом текучести  $\sigma_T$  и временным сопротивлением разрыву  $\sigma_b$  и пластическими — относительным удлинением  $\delta$  и относительным сужением  $\psi$ . Важным показателем является также и модуль упругости  $\Pi = dS/de$ , где  $S$  — истинное напряжение;  $e$  — истинная деформация (см. § 5). В зависимости от назначения и условий работы изделия, а также технологии штамповки металл подбирается с теми или иными механическими и технологическими характеристиками.

При разделительных операциях металлы с высоким пределом текучести дают чистый срез; для формоизменяющих операций (гибки, вытяжки, формовки) желателен низкий предел текучести металла, что способствует уменьшению упругой деформации после штамповки. Этот фактор особенно важен при гибке, где упругие деформации (пружинение) сказываются наиболее сильно.

Глубокая вытяжка как без утонения, так и с утонением стенок протекает тем лучше, чем больше относительное удлинение и чем больше разница между временным сопротивлением разрыву и пределом текучести данного металла. Достаточно хорошим

отношением можно считать, когда  $\sigma_T/\sigma_B \leq 0,65$  (см. табл. 3) при относительном удлинении  $\delta_{10} > 28\%$  и числе Эриксона не ниже 11,5 мм (для толщин  $s = 1$  мм). Этим создается широкий диапазон для деформирования без нарушения целостности металла.

Весьма важно при выборе материала учитывать и такие его технологические свойства как легкость последующей обработки и отделки после штамповки, а также пригодность для механических соединений (клепки, пайки и сварки). Наконец, существенное значение имеют экономические факторы, зависящие от количества изделий, подлежащих изготовлению.

Чтобы правильно выбрать и использовать материал, наиболее полно отвечающий перечисленным выше требованиям, необходимо знать, какие из материалов, производимых отечественной промышленностью, могут быть применены для изготовления деталей штамповкой, какими свойствами они обладают и как эти свойства определить. Для штамповки применяется большое количество металлов, а также неметаллических материалов, как-то: прессшпан, гетинакс, текстолит, фибра, картон, бумага, пергамент, кожа, резина, сукно и т. д. Механические свойства их приведены в гл. 20.

Металлы, применяемые в штамповочном производстве, можно разбить на две основные группы: 1) черные (прокатные) металлы — прокатная сталь с различным содержанием углерода и других элементов; 2) цветные (прокатные) металлы и их сплавы.

#### Черные (прокатные) металлы

Эти металлы подразделяются на сталь — углеродистую обыкновенного качества, углеродистую качественную конструкционную, легированную конструкционную, высоколегированную и сплавы — коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные (деформируемые).

**Сталь листовая углеродистая качественная (конструкционная) и обыкновенного качества общего назначения (ГОСТ 16523—70).** Эта сталь изготавливается из углеродистой конструкционной стали марок 05кп, 08кп, 08пс, 08, 10кп, 10пс, 10, 15кп, 15пс, 15, 20кп, 20пс, 20, 25—50 с химическим составом по ГОСТ 1050—74 и из углеродистой стали обыкновенного качества марок Ст0, Ст1—Ст5 с химическим составом по ГОСТ 380—71.

По степени способности к вытяжке в холодном состоянии листовой материал марок 08, 10, 15 и 20 всех степеней раскисления (кп, пс и др.) подразделяется на группу Г — глубокую и Н — нормальную вытяжку.

По степени отделки поверхности листы подразделяются на четыре группы: I, II, III, IV — особо высокая, высокая, повышенная и нормальная отделка поверхности. Листы первых двух групп изготавливаются холоднокатаными, третьей группы — холодно- и горячекатаными, а четвертой группы — горячекатаными.

По степени точности прокатки листовая сталь делится на три группы: А, Б, В — высокая, повышенная и обычная точность прокатки.

Углеродистая сталь обыкновенного качества в зависимости от назначения и гарантируемых характеристик согласно ГОСТ 380—71 подразделяется на три группы.

*Группа А* — сталь, поставляемая по механическим свойствам — Ст0, Ст1—Ст6 и способ изготовления — в мартеновских печах или в бессемеровских конверторах (кипящая — кп, спокойная, полуспокойная — пс), указывается в сертификате.

*Группа Б* — сталь, поставляемая по химическому составу — МСт0, МСт1кп—МСт6; БСт0, БСт3кп—БСт6.

*Группа В* — сталь, поставляемая по механическим свойствам и по химическому составу (ВСт2кп, ВСт3кп—ВСт5).

Из указанных марок стали путем прокатки изготавливаются листовая и полосовая стали, применяемые для штамповки из них различных деталей.

Сталь углеродистая обыкновенного качества (и низколегированная) горячекатаная тонколистовая толщиной 0,9—3,9 мм изготавливается из мартеновской или бессемеровской стали.

Декапированная тонколистовая сталь толщиной 0,25—3,00 мм изготавливается из мягкой мартеновской или бессемеровской стали. После прокатки ее отжигают и травлением очищают от окалины. Применяется она для производства посуды, арматуры и других аналогичных изделий, изготавливаемых путем штамповки.

Кровельная листовая сталь толщиной 0,35—0,80 мм применяется для покрытия крыш и производства неотчетственных и простых штампованных изделий.

Черная полированная жесть (отожженная) толщиной 0,25—0,50 мм (№ 25—50) изготавливается из мягкой углеродистой стали и применяется для деталей, изготавливаемых вытяжкой, а также прокладок, облицовок и т. п. изделий.

Оцинкованная тонколистовая сталь толщиной 0,4—1,6 мм применяется преимущественно для изготовления изделий домашнего обихода.

Белая жесть толщиной 0,20—0,50 мм (№ 20—50) применяется для изготовления консервных коробок, бидонов и других штампованных изделий.

Сталь листовая луженая изготавливается толщиной 0,4—1,0 мм и применяется для предметов домашнего обихода.

Сталь углеродистая обыкновенного качества (и низколегированная) горячекатаная толщиной 4—160 мм и широкополосная (универсальная) сталь толщиной 4—60 мм и шириной 160—1050 мм поставляется по химическому анализу (группа Б) или по механическим свойствам (группа А) всех марок, предусмотренных ГОСТ 380—71. Эта сталь применяется для горячей штамповки и для металлических конструкций.

Углеродистая качественная конструкционная сталь применяется при изготовлении штамповкой ответственных изделий. Она изготавливается в мартеновских и электрических печах (спокойная, кипящая и полуспокойная).

Стали марок 05кп, 08кп, 10кп, 15кп и 20кп изготавливаются кипящими (кп) — с малым содержанием кремния ( $<0,03\%$  для марок 05кп и 08кп и  $<0,07\%$  для марок 10кп, 15кп и 20кп). Такая сталь при выплавке продолжает раскисляться и в изложницах. При этом дополнительно выгорает углерод и кремний и при остывании не дает остаточной усадочной раковины. Сталь получается с хорошими пластическими свойствами и отличается высокой свариваемостью.

Листовая сталь марок 08кпГ, 10кпГ, 15кпГ и 20кпГ используется для тяжелых вытяжных работ; марок 10Н, 15Н, 20Н — для различных штампованных изделий; марок 25—40 — для лонжеронов и рам легковых и грузовых автомобилей, а также для других изделий металлообрабатывающей промышленности; марок 40—70 — для плоских ответственных деталей высокой прочности (из сталей марок 45—50 штампуются пластины цепей для комбайнов и др.).

Сталь с повышенным содержанием марганца по ГОСТ 1050—74 (марок 60Г, 65Г, 70Г) в листовой штамповке имеет сравнительно меньшее применение, чем сталь с нормальным содержанием марганца. Сталь 65Г применяется для изготовления тарельчатых пружин к штампам.

При длительном лежании холоднокатаных листов имеет место явление естественного старения, которое приводит к изменению физико-механических свойств стали, т. е. к образованию линий сдвигов или полос скольжений (в виде лучей и извилин) на поверхности деталей при вытяжке их, что с декоративной стороны недопустимо. Для устранения вредного влияния последствий естественного старения тонколистовую сталь перед штамповкой подвергают дрессировке, подкатке в холодном состоянии с относительным обжатием 0,5—1,5%. При этом интервал времени между операциями должен быть не более 24 ч. Подкатка осуществляется при помощи вальцовочной машины с особым подъемным валиком, установленной рядом с вытяжным прессом. Благодаря образовавшемуся вследствие этого в поверхностных слоях металла наклепу, явно выраженная площадка текучести, появляющаяся на диаграмме при испытании образцов на растяжение, выравнивается (исчезает) и линии сдвигов не возникают. Однако подкатка не гарантирует полностью избежать явления естественного старения металла.

Поэтому для холодной штамповки глубоких и сложных по вытяжке деталей типа автомобильных кузовов, радиаторов, оперения автомобиля применяют тонколистовую холоднокатаную малоуглеродистую качественную (нестареющую) сталь, поставляемую по ГОСТ 9045—70. Согласно этому ГОСТу выпускается

сталь следующих марок: 08кп, 08пс, 08Фкп, 08Ю. Содержание углерода в этих сталях не превышает 0,08%, серы не более 0,03%, фосфора не более 0,02%.

Нестарение этих сталей достигается раскислением (удалением кислорода) в процессе выплавки: сталь 08Фкп раскисляется присадкой ванадия (0,02—0,04% V), сталь 08Ю раскисляется алюминием (0,02—0,07% Al).

Листы указанных марок сталей поставляются после рекристаллизационного отжига и дрессировки.

По степени способности к вытяжке сталь подразделяется на три категории: ВГ — весьма глубокой вытяжки; СВ — сложной вытяжки и ОСВ — особо сложной вытяжки.

Техническими требованиями к этой стали регламентируется:  $\sigma_T = 200 \div 210$  МПа,  $\sigma_B = 260 \div 340$  МПа,  $\delta_{10} = 42 \div 44\%$ ,  $\sigma_T/\sigma_B = 0,66 \div 0,70$ , HRB 30/100 45—48.

Сталь поставляется в листах и рулонах толщиной 0,5—3,0 мм.

По степени отделки поверхности сталь подразделяется на три группы: I, II, III — особо высокая, высокая, повышенная. Сталь по ГОСТ 9045—70 имеет высокие пластические свойства (глубина выдавливания сферической лунки по Эриксену 11,2 мм при  $s = 1,0$  мм), при штамповке не склонна к появлению полос скольжения и деформационному старению. Поэтому эта сталь успешно применяется при весьма глубокой и сложной по форме вытяжке деталей.

При глубокой вытяжке деталей типа гильз применяется нестареющая сталь марок 18ЮА и 11ЮА.

Широкое применение в листовой штамповке получил также материал в виде ленты (рулонный материал). Ленты изготавливаются как из углеродистой стали обыкновенного качества по ГОСТ 380—71, так и из качественной стали по ГОСТ 1050—74 и ГОСТ 16523—70. Лента стальная низкоуглеродистая холоднокатаная классифицируется по механическим свойствам по ГОСТ 503—71 на следующие группы (по степени твердости): особо мягкая Ом, мягкая М, полумягкая ПМ, пониженной твердости ПТ, твердая Т. По качеству поверхности лента подразделяется на три класса: I, II, III; по точности изготовления — лента нормальной точности Н, повышенной точности по ширине ВШ, по толщине ВТ, по ширине и толщине В; по характеру кромок — лента необрезная НО, обрезная О. Размеры ленты по ширине составляют 4—300 мм, а по толщине — 0,05—3,60 мм. Эта лента предназначена для штамповки деталей в машино- и приборостроении, для изготовления труб и других металлических изделий широкого потребления.

Лента стальная холоднокатаная из углеродистой качественной конструкционной стали выпускается по сортаменту согласно ГОСТ 8597—57 под наименованием — сталь рулонная холоднокатаная (Рх). Лента изготавливается шириной 200—2300 мм и толщиной 0,2—4,0 мм. Она бывает повышенной точности

прокатки А и нормальной точности Б. Эта лента (рулоны) применяется для штамповки ответственных деталей в авто- и приборостроении.

**Сталь легированная конструкционная.** Марки и технические требования для этой стали устанавливаются по ГОСТ 4543—71, а для тонколистовой легированной конструкционной стали — по ГОСТ 1542—74. По этим ГОСТам поставляются легированные стали, применяемые для листовой штамповки, следующих марок: марганцовистая 15Г, 20Г, 50Г, 10Г2А и 12Г2А; хромокремнемарганцовая 20ХГСА, 25ХГСА, 30ХГСА, 35ХГСА и хромокремнемарганцовоникелевая 30ХГСН2А (30ХГСНА).

Малоуглеродистые марганцовистые стали марок 10Г2А и 12Г2А обладают высокой пластичностью и хорошей свариваемостью. Они применяются для изготовления штампо-сварных деталей. Сталь 10Г2А обеспечивает прочность штампо-сварных деталей примерно 400—600 МПа, сталь 12Г2А — примерно 600—800 МПа.

Легированные стали марок 20ХГСА, 25ХГСА и 30ХГСА применяются для изготовления ответственных штампованных и сварных деталей. Сталь 25ХГСА в отожженном состоянии обладает хорошей пластичностью и хорошей свариваемостью, после штамповки и термической обработки обеспечивается прочность порядка 1300 МПа. Сталь 30ХГСА в отожженном состоянии имеет удовлетворительную штампуемость и свариваемость, после штамповки обрабатывается на прочность 1400 МПа. Высокопрочная сталь марки 30ХГСН2А по штампуемости подобна стали марки 30ХГСА. Она применяется для изготовления самых ответственных деталей. После термической обработки деталей обеспечивается прочность порядка 1400—1800 МПа.

**Стали высоколегированные и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные (деформируемые).** Марки и технические требования для этих сталей устанавливаются по ГОСТ 5632—72, а для тонколистовой стали — по ГОСТ 3582—52. Для листовой штамповки из сталей мартенситно-ферритного и мертенситного класса применяются главным образом хромистые (безникелевые) нержавеющие стали марок 12Х13, 20Х13, 30Х13 и 40Х13. Они упрочняются закалкой и имеют в отожженном состоянии удовлетворительную штампуемость.

Из сталей аустенитного класса в листовой штамповке широко применяются нержавеющие стали марок 12Х18Н9, 17Х18Н9, 12Х18Н9Т, 08Х18Н10, 08Х18Н10Т, 12Х18Н10Т. Эти стали на никелевой и хромоникелевой основе не упрочняются закалкой и имеют в закаленном состоянии высокую пластичность и штампуемость.

В ненагартованном состоянии указанные нержавеющие стали имеют относительное удлинение  $\delta_{10} = 36 \div 65\%$  и относительное сужение  $\psi = 50 \div 75\%$  при  $\sigma_b = 600 \div 900$  МПа; отношение  $\sigma_T/\sigma_b$  составляет 0,45—0,48;  $e_b = 20 \div 35\%$ .

Листы из нержавеющей стали выпускаются толщиной 0,8—4,0 мм горяче- и холоднокатаные. Лента нержавеющей стали изготавливается толщиной 0,1—2,0 мм и шириной до 400 мм.

Ленты из стали марок 12X13, 20X13 и 30X13 поставляются в отожженном состоянии мягкими, ленты из стали марок 12X18H9 (1X18H9) и 17X18H9 (2X18H9) поставляются как в закаленном состоянии — мягкими, так и без термообработки — в нагартованном и полунагартованном состоянии; лента из стали марки 12X18H9T (X18H9T) — только в закаленном состоянии — мягкой. Ленты из нержавеющей стали используются для штамповки лонжеронов и рам автомобилей и для других деталей с высокими антикоррозионными свойствами.

Тонколистовая электротехническая кремнистая сталь в зависимости от процента содержания кремния в стали изготавливается марок 1211, 1212, 1213, 1311, 1312, 2212—2412, 3411—3413 толщиной 0,2—0,5 мм. Эти марки стали применяются для штамповки пластин статора и ротора электромашин различной мощности. Также используется тонколистовая электротехническая низкоуглеродистая сталь типа Армко марок Э, ЭА, ЭАА толщиной 0,2—4,0 мм.

#### Цветные (прокатные) металлы и их сплавы

Для штамповки изделий из цветных металлов наибольшее распространение в промышленности получили медь, никель, алюминий, магний и их сплавы, а также титан и его сплавы. Медные листы марок М1, М2 и М3 изготавливаются холоднокатаными и горячекатаными и могут быть мягкими и твердыми. Из этих материалов штамуются электротехнические изделия.

Широкое распространение в промышленности получили медноцинковые сплавы — латуни марок Л96, Л90 (томпак), Л80 (полутомпак), Л70, Л68, Л63 и ЛС59-1. Латунные листы могут быть мягкими, полутвердыми и твердыми. Латуни марок Л70, Л68 и Л63 мягкие применяются для глубокой вытяжки. Из них штамуются электротехнические и радиоизделия, детали часов, гильзы, посуда, крышки авторучек и автокарандашей и др. Латунь марки ЛС59-1 хорошо обрабатывается давлением в горячем состоянии, несколько хуже в холодном.

Листовой цинк марок Ц1, Ц2, Ц3 и Ц4 применяется для изготовления игрушек. Листовой свинец и фольга марок С1, С2, С3 и С4 используется для прокладок и в серно-кислотных установках.

Сплавы меди с оловом, никелем, алюминием, так называемые бронзы, применяются для холодной штамповки. В этом случае используются бронзы, содержащие только до 7% олова. Бронзы марок БрОЦ4-3 и БрОФ6,5—0,25 применяются для штамповки плоских пружин электротехнических приборов и телефонных аппаратов. Из алюминиевых (безоловянистых) бронз в листовой штамповке используются бронзы марок БрА5 и БрА7. Бронза БрА7 применяется для изготовления специальных пружин.

Никель марок Н1, Н2 и Н3 обладает высокой прочностью и хорошей пластичностью как в горячем, так и в холодном состоянии. Никель имеет также и высокую химическую стойкость, поэтому его используют для изготовления лабораторных приборов, всевозможной химической посуды и т. д. Из никелевых сплавов широко используются в листовой штамповке мельхиор и нейзильбер. Мельхиор марки МН19 и нейзильбер марки МНЦ15-20 применяются для изготовления электротехнических приборов, деталей часов, ювелирных изделий, столовых приборов и др.

Алюминий и его сплавы получили широкое применение в промышленности благодаря их особым свойствам (легкости, пластичности, хорошей тепло- и электропроводности и сопротивляемости коррозии). Из алюминия марок А1, А2, А3, АД и АД1 изготавливаются всевозможные детали автомобилей и самолетов, детали аппаратов, полые тонкостенные цилиндры, изделия домашнего обихода и др. Из алюминиевых сплавов наибольшее распространение получил дуралюмин марок Д1, Д6, Д16 и сплав В95. Для повышения прочности дуралюмин подвергается термической обработке — закалке и старению. Чтобы повысить коррозионную стойкость, дуралюминиевые листы покрывают (плакируют) тонким слоем алюминия (альклед). Дуралюмин широко используется в самолетостроении, а также при изготовлении деталей моторных лодок, приборов и посуды.

Сплав марки АМц применяется для изготовления чайных и столовых ложек. Сплав марки АМг используется для деталей, получаемых рельефной формовкой и неглубокой вытяжкой.

В отечественной промышленности широкое применение также получили и сплавы на магниевой основе. Основным достоинством является их низкая плотность, составляющая 1750—1830 кг/м<sup>3</sup>.

Для листовой штамповки применяются магниево-марганцевые сплавы, из которых наибольшее распространение получили сплавы МА1 и МА8. Эти сплавы в холодном состоянии обладают низкой пластичностью, поэтому для штамповки вытяжкой их нагревают до соответствующей оптимальной температуры — 360—380° С. При этих температурах достигается степень деформации в 2,0—2,5 раза большая, чем при комнатной температуре.

Титан и сплавы на его основе все шире используются в штамповочном производстве; применяют главным образом сплавы марок ВТ1-1, ВТ1-2, ВТ5 и ОТ4-1. Титан обладает высокой прочностью, например сплав ВТ1-1 имеет  $\sigma_b = 360 \div 480$  МПа при  $\delta_{10} \geq 25 \div 30\%$  и малой плотности 4500 кг/м<sup>3</sup>, поэтому он является ценным материалом для изготовления ответственных деталей в самолетостроении и в других видах производства. Титан и его сплавы в холодном состоянии мало пластичны, поэтому некоторые операции штамповки из нелегированного титана проводят с подогревом до 350—370° С, а из его сплавов при 425—540° С.

Из цветных металлов находят также применение монель-металл (НМЖМц 28-2,5-1,5), ковар (Н30К18), пермалой (Н78) и нихром (Х20Н80).

Из тугоплавких металлов стали применять молибден, тантал, ниобий, цирконий и их сплавы при штамповке деталей для электронной и электровакуумной техники.

В промышленности также широко применяется биметалл (заменитель цветных металлов) главным образом сочетание стали с медью. Основной слой листа — среднюю часть — составляет малоуглеродистая сталь ( $C < 0,15\%$ ), а с обеих сторон он покрывается томпаком Л90, составляющим 10—15% от общей толщины листа. Прокатка производится в горячем состоянии. Из листов биметалла изготавливают походные котлы, электротехнические и радиоизделия, охотничьи гильзы, а также некоторые детали автотракторной промышленности. Применяются и другие виды биметаллов, например сочетания углеродистой стали с нержавеющей, углеродистой стали с никелем и др. Используются также полосы с полимерным покрытием (металлопласт), толщина покрытия 0,3 мм при толщине стальной полосы 0,5—1,0 мм.

#### У § 4. СОРТАМЕНТ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Применяемый в штамповочном производстве материал (по виду заготовки) разделяется на листы, полосы, ленты (рулоны) и штучные заготовки.

† Нормальные размеры листов —  $710 \times 1420$ ,  $1000 \times 2000$ ,  $1250 \times 2500$ ,  $1500 \times 3000$ ,  $2000 \times 5000$  мм. По особому заказу согласно ГОСТам выпускаются листы и сверхнормальных размеров.

Полосы изготавливаются шириной до 200 мм (определяемой раскромом материала) и длиной до 2000 мм (длина листа). Короткие полосы приводят к большим отходам, длинные (более 2,0 м) — к неудобству в работе.

Ленты изготавливаются различной ширины (до 2300 мм) и длиной обычно в несколько десятков метров, в связи с чем они применяются в виде рулонов. Длина рулона из тонких материалов доходит до 300 м. В массовом производстве наиболее целесообразным является ленточный — рулонный материал, так как для каждого размера заготовки можно заказать ленту соответствующей ширины, сокращая таким образом до минимума отходы и получая более качественный и равномерный по толщине материал. Кроме того, лента дает возможность широко пользоваться различными типами автоматических подач, которые значительно увеличивают производительность, уменьшают затраты на рабочую силу и способствуют обеспечению безопасности в работе. Применение ленты позволяет перейти и на многопрессовое обслуживание.

## § 5. МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Основным требованием, предъявляемым к материалам, является их пригодность к штамповке и последующей эксплуатации. Выявление этой пригодности материала к той или иной штамповочной операции весьма сложно и требует проведения целого ряда испытаний, основными из которых являются следующие:

- 1) общие — установление формы, размеров и состояния поверхности листа;
- 2) химические — определение состава и сопротивляемости коррозии;
- 3) металлографические — исследование макро- и микроструктуры;
- 4) механические — определение твердости, предела текучести; временного сопротивления разрыву, относительного удлинения и сужения, а также модуля упругости;
- 5) технологические — выявление способности металла к пластической деформации.

### Внешний вид, форма и размеры листового материала

По форме, размерам и допускам листовой материал должен удовлетворять нормам соответствующих стандартов на сортамент данного материала. В зависимости от характера операций листовой штамповки требования, предъявляемые к форме и размерам материала, являются различными. Так, к материалам, предназначенным для вытяжных работ, предъявляются более жесткие требования к равномерности по толщине и к допуску на толщину.

Поверхность материала при визуальном осмотре должна быть совершенно гладкой, чисто прокатанной, без складок, закатов, плен, пузырей, грубых царапин, трещин, раковин, расслоений и др. Кроме того, она должна быть совершенно свободной от ржавчины, окалины и всевозможных вкраплений или неметаллических включений не только до штамповки, но и после нее.

### Химический анализ листового материала

При химическом анализе устанавливается число и процентное содержание отдельных элементов в металле, предусмотренное ГОСТом. Надлежащий химический состав материала является важным условием обеспечения качественной штамповки.

К химическим исследованиям относится также испытание материала на сопротивляемость коррозии, мерой которой является потеря массы металла на 1 см<sup>2</sup> его поверхности в определенной среде за некоторый промежуток времени.

Для определения способности материала к пластическому деформированию весьма важное значение имеет металлографическое исследование (макро- и микроструктура). Исследование макроструктуры позволяет обнаружить в металле волокнистость, усадочные раковины, рыхлости, пустоты, трещины, шлаковые включения, а также установить характер поверхности среза при вырубке, направление волокон при гибке, вытяжке и других операциях, наличие разрывов и начавшихся трещин.

Исследование микроструктуры является более универсальным средством определения пригодности материала для штамповки. Оно устанавливает характер структуры (равноосность и равномерность зерен), размер зерен, наличие или отсутствие в стали строчечности, перлита (пластинчатый, зернистый) и т. д.

Наиболее благоприятной структурой стали, обеспечивающей высокую ее пластичность — штампуемость, является ферритная структура либо структура феррита и зернистого перлита. Пластинчатый перлит хотя деформируется удовлетворительно, но при штамповке дает худшие результаты, чем зернистый. Находящийся в листовой стали углерод в виде свободного цементита ( $Fe_3C$ ) является вредной структурной составляющей и отрицательно влияет на вытяжные свойства металла. Структурно свободный цементит в листовой стали оценивается по ГОСТ 5640—68 в зависимости от протяженности его включений по шестибальной шкале при увеличении в 500 раз.

Одним из важнейших факторов, определяющих пригодность материала к той или иной штамповочной операции, является размер зерна, влияющий на пластичность и на состояние поверхности заготовки. Размер зерна оценивается по баллам путем сравнения с микрофотографиями, приложенными к соответствующим ГОСТам. Металлы с очень мелким или крупным зерном обладают низкой пластичностью на вытяжных операциях. Крупнозернистая структура материала приводит к образованию шероховатой поверхности отштампованной детали. Размер зерна в значительной степени влияет и на механические качества материала и изготавливаемой детали. Крупнозернистый металл обладает меньшей прочностью и твердостью по сравнению с мелкозернистым.

Микроструктура тонколистовой стали регламентируется ГОСТ 5639—65 по восьмибальной шкале при увеличении в 100 раз.

Наиболее благоприятным материалом, особенно для вытяжных работ, в зависимости от толщины листа является материал с размерами зерна в пределах 6—8 баллов по ГОСТу. При этом для малоуглеродистой листовой стали толщиной до 1,5—2,0 мм размер зерна (по диаметру) составляет 0,026—0,037 мм, что соответствует 7—6 баллам по ГОСТу, для листов толщиной от 2 до

4—5 мм—0,037—0,052 мм, что соответствует 6—5 баллам по ГОСТу. Степень разносности должна составлять для группы стали ВГ — 1,2, а для групп Г и Н — 1,4—1,5 (ГОСТ 16523—70), что способствует улучшению качества поверхности листа.

### ✓ Механические свойства

**а Испытание на растяжение.** В практике механических испытаний установился ряд общепринятых характеристик материала, получаемых при его разрыве растяжением. К числу наиболее важных характеристик материала, определяющих его пригодность к листовой штамповке, относятся показатели прочности [предел текучести  $\sigma_T$ , временное сопротивление разрыву  $\sigma_B$ , истинное сопротивление разрыву  $S_B$  ( $\sigma_{ш}$ )], показатели пластичности (относительное удлинение  $\delta$ , относительное сужение  $\psi$ , истинное относительное удлинение  $e = \ln \frac{1}{1-\psi}$ , полное относительное удлинение  $e_{полн} = \psi/(1-\psi)$ , истинная деформация в устойчивой зоне растяжения — равномерная деформация —  $\psi_B$ ,  $e_B$  и  $e_{B полн}$ ) и связанной с ними твердости, а также модуль упругости  $P$ . Чем больше значения  $\psi$ ,  $e$ ,  $e_{полн}$ ,  $\psi_B$ ,  $e_B$ ,  $e_{B полн}$ , тем выше штампуемость металла. Чем больше  $P$ , тем большей склонностью к упрочнению обладает металл.

В табл. 3 приводится классификация стали по механическим и технологическим свойствам, в соответствии с приведенными основными характеристиками.

**3. Классификация листовой стали по механическим и технологическим признакам**

Характер штамповочной операции	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\frac{\sigma_T}{\sigma_B}$	$\delta_{10}^{\circ}$ , %	$e_B^{\circ}$ , %	$\psi$ , %	$HRB$
Весьма глубокая вытяжка и очень сложная штамповка	<320	<200	≤0,60	≥40	≥25	≥65	≤45
Глубокая вытяжка и сложная штамповка	350—600	200—350	0,60—0,65	20—38	15—24	55—65	50—60
Обычная несложная штамповка	>600	>400	0,75	<20	<15	<55	>60

Для испытания листовых материалов, предназначенных для листовой (холодной) штамповки, применяют плоские образцы. Испытание проводят на обычных разрывных машинах или с применением соответствующих приспособлений к ним.

Методика и образцы для испытания на растяжение в СССР изготавливаются согласно ГОСТ 11701—66. Форма и размеры образца приведены на рис. 1.

Следует указать, что на временное сопротивление разрыву  $\sigma_b$  размер и форма образцов влияния не оказывает. Относительное же удлинение  $\delta$  резко изменяется с изменением соотношения между поперечным сечением образца и его длиной, поэтому обязательно следует выдерживать стандартный размер образца, расчетная длина которого  $l_0$  определяется (при 10-кратном образце) по формуле  $l_{0,10} = 11,3 \sqrt{F_0} = 11,3 \sqrt{b_0 s_0}$ , а при 5-кратном образце по формуле

$$l_{0,5} = 5,65 \sqrt{b_0 s_0}, \quad (1)$$

где  $b_0$  — первоначальная ширина образца, мм;  $s_0$  — первоначальная толщина образца, мм.

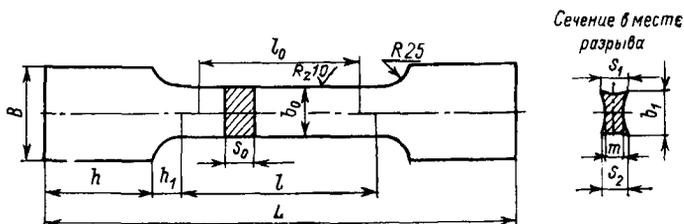


Рис. 1. Плоский образец для испытания на разрыв

При испытании плоских образцов первоначальное прямоугольное сечение образца  $F_0$  искажается, что представляет известное затруднение для определения площади сечения после разрыва  $F_1$ . Поэтому площадь поперечного сечения шейки вычисляется по приближенной формуле

$$F_1 = b_1 (s_1 + s_2 + 2m)/4 \quad (2)$$

или по более точной зависимости

$$F_1 = b_{cp} s_{cp}. \quad (3)$$

Здесь  $b_1$  — наибольшая ширина образца в месте разрыва, мм (см. рис. 1);  $s_1$  и  $s_2$  — наибольшие толщины на концах сечения, мм;  $m$  — наименьшая толщина в средней части сечения, мм;  $b_{cp}$  и  $s_{cp}$  — средние значения по ширине образца (по трем замерам) и по толщине образца (при 6—8 замерам), мм.

На рис. 1 обозначены:  $l_0$  — расчетная длина;  $l$  — гарантированная (расчетная) длина;  $h_1$  — расстояние от выступа до начала закругления;  $h$  — длина головки, равная 50—70 мм;  $L$  — общая длина образца;  $b_0$  — ширина образца (берется по ГОСТу в зависимости от толщины  $s_0$ );  $B$  — ширина головки образца.

Пригодность материалов, предназначенных для листовой штамповки, определяют не по условным характеристикам  $\sigma$  и  $\delta$ , а по истинным (или эффективным) напряжениям и деформациям.

По результатам обработки данных испытаний плоских образцов на растяжение строятся соответствующие диаграммы (кривые) истинных напряжений и деформаций, которые можно выразить соответствующим уравнением, обычно в виде степенной зависимости

$$\sigma_s = C\varepsilon^n, \quad (4)$$

где  $C$  и  $n$  — постоянные величины для данного металла;  $\varepsilon$  — величина деформации любого вида.

Эти кривые строятся либо в координатах  $\sigma_s$  и  $\psi$  (кривые второго вида), либо в координатах  $\sigma_s$  и  $e$ . В первом случае уравнение кривой упрочнения представляется в виде

$$\sigma_{si} = S_B \left( \frac{\psi_i}{\psi_B} \right)^n = \frac{\sigma_B}{1 - \psi_B} \left( \frac{\psi_i}{\psi_B} \right)^{\frac{\psi_B}{1 - \psi_B}}, \quad (5)$$

а во втором случае — в виде

$$\sigma_{si} = S_B \left( \frac{e_i}{e_B} \right)^{n'} = S_B \left( \frac{e_i}{e_B} \right)^{\ln \frac{1}{1 - \psi_B}}. \quad (6)$$

Здесь  $\sigma_{si}$  — напряжение текучести — истинное напряжение в любой момент растяжения образца, МПа;  $\psi_i$  — относительное сужение в любой момент растяжения образца в относительных единицах;  $e_i$  — истинное относительное удлинение в любой момент растяжения образца в относительных единицах.

В некоторых случаях для упрощения расчетов вместо кривых упрочнения пользуются условной, так называемой «экстраполированной», прямой упрочнения в координатах  $\sigma_s$  и  $\psi$ , тогда

$$\sigma_{si} = \sigma_{\tau_0} + P\psi_i = \frac{\sigma_B}{(1 - \psi_B)^2} (1 - 2\psi_B + \psi_i), \quad (7)$$

где  $\sigma_{\tau_0}$  — «экстраполированный» предел текучести при растяжении, равный  $\sigma_B (1 - 2\psi_B)/(1 - \psi_B)^2$ ;  $P$  — модуль упрочнения, равный  $\sigma_B/(1 - \psi_B)^2$ .

Отметим, что напряженно-деформированное состояние при растяжении плоских образцов можно установить по искажению квадратной координатной сетки, которая была нанесена при помощи намазанного валика и координатной пластинки до начала испытания [88, 89].

**Испытание на твердость.** Это испытание применяется преимущественно для определения прочностных характеристик металла  $\sigma_T$  и  $\sigma_B$ . Испытание на твердость осуществляется на специальных приборах по способам Бринеля, Роквелла и Виккерса.

Испытанию твердости по Бринелю ( $H_B$ ) подвергается листовой металл толщиной не менее 2 мм, так как при более тонких металлах на результатах испытания сильно сказывается твердость подставки самого прибора.

На приборе Роквелла можно испытывать листовой металл не тоньше 0,5 мм, если испытания производятся шариком с диамет-

тром 1,59 мм (шкала *B*, для мягкого металла) и не тоньше 0,8 мм, если испытания производятся алмазным конусом с углом  $120 \pm 1,5^\circ$  (шкала *C*, для твердого металла). Для более тонкого листового металла этот способ не дает точных результатов.

Для испытания на твердость тонких листов толщиной от 0,15 мм и выше применяют прибор Виккерса (*HV*). Испытания производятся алмазным наконечником в форме квадратной пирамиды с углом при вершине в  $136^\circ$  под действием нагрузки в зависимости от толщины и твердости материала в пределах 50—1200 Н. Для получения данных о твердости материала толщиной менее 0,15 мм применяют методы испытания так называемых малых нагрузок и на микротвердость.

### Технологические свойства

Более полное представление о пригодности металла для штамповки может быть получено технологическими испытаниями (пробами), под которыми понимается выявление способности листового металла подвергаться пластическим деформациям, аналогичным тем, которые он испытывает в процессе технологической обработки.

Наиболее распространенными технологическими испытаниями являются следующие: испытание на срез — для вырубных работ; испытание на перегиб — для гибочных работ; испытание на глубину вытяжки — для вытяжных работ.

**Испытание на срез.** Испытание на срез имеет целью более точно установить сопротивление испытываемого материала разделению — срезу штамповочным вырубным (пробивным) инструментом. Испытание обычно производится на обыкновенной универсальной испытательной машине (или лучше на прессе Гагарина), на которой устанавливается специальный экспериментальный вырубной штамп [26].

**Испытание на перегиб.** Такое испытание служит для определения способности металла подвергаться изгибу и применяется для листового металла толщиной не выше 6 мм. Сущность этого испытания заключается в том, что отрезанный от листа или ленты образец зажимают в щеках специальных тисков или прибора и перегибают в одном и в другом направлениях на  $90^\circ$  (рис. 2). Допускается не более 60 перегибов в минуту (за один перегиб считается загиб на  $90^\circ$  и разгиб на  $90^\circ$ ). Общее число перегибов указывается в технических условиях на материал. Радиус закругления губок  $r$  выбирается в зависимости от толщины материала и составляет: 2, 4, 6, 8 и 10 мм. Признаком пригодности материала после выполнения заданного числа перегибов служит отсутствие в месте перегиба расслоений, отслаиваний, надрывов, трещин и излома.

**Испытание вытяжных свойств.** Для установления пригодности материала к вытяжным операциям листовой штамповки

применяются три основных вида испытаний: 1) испытание на глубину выдавливания сферической лунки; 2) испытание на глубину вытяжки колпачка; 3) растягивание отверстия. √

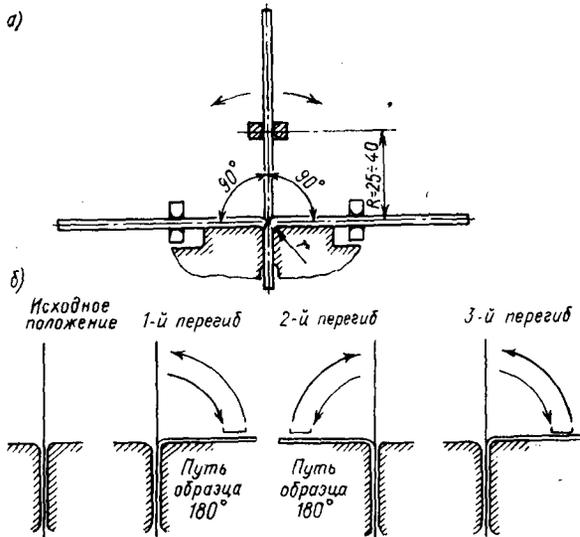


Рис. 2. Испытание на перегиб: а — схема испытания; б — последовательность перегибов

В СССР как стандартное и обязательное при приемке листового материала установлено испытание на выдавливание сферической лунки на приборе Эриксона или на машине МТЛ-10Г (по

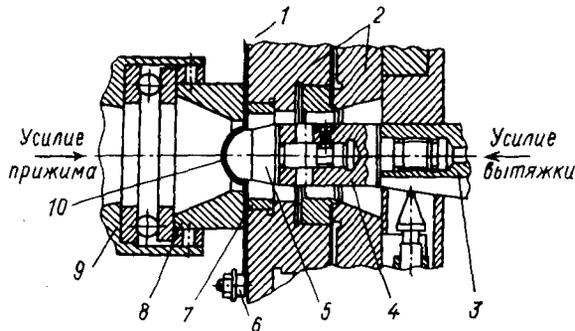


Рис. 3. Схема испытаний на глубину выдавливания сферической лунки по Эриксену

ГОСТ 10510—74). На машине МТЛ-10Г можно произвести все три вышеуказанных вида испытаний.

Сущность испытания на приборе Эриксона или на машине МТЛ-10Г (рис. 3) заключается в том, что в квадратной или круг-

лой заготовке 1 размером  $30 \times 30$  или  $70 \times 70$  мм, вырезанной из испытуемого материала и сильно зажатой между вкладышем 7, кольцом 2 гидравлической месдозы прижима и матрицей 8 (закрепленной в матрицедержателе 9), выдавливается пуансоном 5, закрепленным в надставке 4 шпинделя 3 прибора, сферическая лунка 10 до момента появления на ней первой трещины. Заготовка устанавливается до упора 6. На приборе Эриксона появление трещины наблюдается в зеркальце, установленном на корпусе прибора.

Однако испытание на глубину выдавливания сферической лунки имеет недостатки: оно не является полным воспроизведением процесса вытяжки. Это объясняется тем, что между испытанием по Эриксону и операцией вытяжки существует лишь внешнее подобие, в то время как напряженно-деформированное состояние при этих процессах совершенно различное. При выдавливании сферической лунки материал в очаге деформации подвергается действию радиальных и тангенциальных растягивающих напряжений (с сильным утонением материала в центре заготовки), а при обычной вытяжке — действию радиального растяжения и тангенциального сжатия. Испытание на глубину выдавливания сферической лунки сравнительно хорошо моделирует процесс вытяжки только при штамповке сферических, параболических и других подобных деталей, а также при гидравлической вытяжке. Все большее распространение получает также испытание на глубину вытяжки колпачка, практически воспроизводящее полностью процесс вытяжки, методика испытаний которых разработана ЦНИИТмашем, однако это испытание пригодно только в условиях однооперационного процесса.

Глубина выдавливания сферической лунки для толщин 0,5—2,0 мм в зависимости от рода материала составляет 8,0—15,0 мм [32].

Отметим, что вытяжные свойства листового металла в условиях многооперационного процесса без применения межоперационных отжигов следует устанавливать по итоговому коэффициенту вытяжки ( $m_{\text{общ}} = m_1 \cdot m_2 \dots m_n$ ). Определяя вытяжные свойства по этому методу, можно убедиться в том, что у стали они выше, чем у латуни, в то время как при однооперационном процессе (также при испытании на глубину выдавливания по методу Эриксона) получается наоборот.

Способность листового металла к пластическому формоизменению — гибке, вытяжке и формовочным операциям, главным образом при штамповке деталей сложной формы, значительно зависит и от анизотропии механических свойств металла. Анизотропия металла состоит в том, что при прокатке лист приобретает различные механические свойства в разных направлениях по отношению к направлению прокатки — вдоль, поперек и под углом. Анизотропия является следствием образовавшейся в процессе прокатки текстуры — предпочтительной ориентировки зерен

обрабатываемого металла. Анизотропия зависит от режимов прокатки и последующей термической обработки.

Анизотропию механических свойств листовых металлов принято характеризовать коэффициентом анизотропии (или показателем анизотропии)  $a$ , представляющим собой отношение логарифмических деформаций  $\epsilon$  по ширине  $b$  и толщине  $s$  образца при испытании его на растяжение

$$a = \frac{\epsilon_b}{\epsilon_s} = \frac{\ln(b_1/b_0)}{\ln(s_1/s_0)} = \ln \frac{b_1}{b_0} : \ln \frac{l_0 b_0}{l_1 b_1}, \quad (8)$$

где  $l_0$ ,  $b_0$ ,  $s_0$ ,  $l_1$ ,  $b_1$ ,  $s_1$  — соответственно (расчетная) длина, ширина и толщина образца до и после его растяжения — разрыва.

Переход в правой части уравнения (8) вместо толщины на длину (на основе равенства объемов) вызван тем, чтобы исключить влияние погрешности при измерении толщины тонколистового металла на коэффициент анизотропии. Для изотропного металла отношение (8) равно единице.

Рассматривают нормальную анизотропию (трансверсально изотропное тело), когда коэффициент анизотропии практически одинаков в различных направлениях прокатки, но отличен от единицы, и плоскостную анизотропию, когда коэффициент анизотропии неодинаков в различных направлениях прокатки в плоскости листа.

Коэффициент анизотропии для большинства листовых металлов, используемых при штамповке, изменяется от 0,2 до 2,7 [105].

Для определения показателя анизотропии из листа вырезают образцы в трех-четырёх направлениях: вдоль направлений прокатки, поперек и под углом (обычно под углом 45 и 135°), испытывают их на растяжение и определяют значения  $a_0$ ,  $a_{45^\circ}$ ,  $a_{90^\circ}$  и  $a_{135^\circ}$ , по которым строят фигуру (диаграмму) данного металла. Затем находят среднее значение коэффициента анизотропии  $a_{cp}$ , определяемое как среднее арифметическое из значений коэффициентов анизотропии в различных направлениях в плоскости листа по формуле

$$a_{cp} = \frac{a_0 + a_{45} + a_{90}}{3} \quad \text{или} \quad a_{cp} = \frac{a_0 + a_{45} + a_{90} + a_{135}}{4}. \quad (8')$$

Анизотропия механических свойств листовых металлов оказывает большое влияние на процессы штамповки и, главным образом, на штампуемость и глубокую вытяжку деталей из анизотропных листов. В большинстве случаев анизотропия вызывает затруднения в создании устойчивых технологических процессов листовой штамповки и выборе их параметров. При вытяжке плоскостная анизотропия проявляется в образовании складок и фестонов (неровностей) по краю деталей, что вызывает необходимость в обрезке края их и к потере металла, затрудняет съем деталей с пуансона после вытяжки, а также к проявлению иногда

расслоений и наплывов. Степень образования фестонов при глубокой вытяжке деталей зависит от степени анизотропии металла и от технологических параметров вытяжки.

Степень фестонообразования определяется по формуле

$$E_1 = (h_{\max} - h_{\min})/h_{\text{ср}} = \Delta h/h_{\text{ср}}, \quad (9)$$

где  $h_{\max}$  и  $h_{\min}$  — максимальная (по фестону—выступу) и минимальная (по впадине) высота вытянутой детали;  $h_{\text{ср}}$  — средняя высота детали;  $\Delta h$  — высота фестона.

Уменьшения фестонообразования при вытяжке можно достигнуть уменьшением до минимума степени текстуры и, в частности, разбросом этой текстуры относительно направления прокатки, для чего в процессе прокатки меняют направление подачи заготовки (сляба) в валки — вдоль, поперек и под углом с последующей эффективной термической обработкой.

С технологической стороны уменьшить фестонообразование можно ограничением течения фланца заготовки или усилением течения металла через кромку пуансона с увеличенным радиусом закругления кромок при обильной смазке, а также при вытяжке с утонением. Уменьшить фестонообразование можно также, применяя профильную заготовку (вместо круглой) с поправкой на фестонообразование, однако это несколько усложняет конструкцию вырубного штампа и составляет некоторое затруднение при укладке заготовки в фиксирующее кольцо вытяжного штампа.

Наряду с некоторыми отрицательными моментами исследованиями установлено [46, 95, 105], что, иногда плоскостная анизотропия оказывает и положительное влияние на процесс вытяжки: она обеспечивает большую степень вытяжки, повышает устойчивость стенки вытягиваемой детали, облегчает вытяжку некоторых деталей сложной формы и позволяет получать детали с большей конструктивной жесткостью. *И*

Доказано также, что помимо анизотропии большое значение для улучшения штампуемости листового металла имеет величина наибольшего равномерного удлинения  $\delta_v$ , допускаемого металлом до образования шейки при растяжении образца. Чем больше  $\delta_v$  ( $\epsilon_v$ ) при одних и тех же характеристиках металла, тем лучше должна быть его штампуемость [46].

На основании результатов штамповки сложных автомобильных деталей, произведенной на Московском автомобильном заводе им. Ленинского комсомола, и механических испытаний установлена целесообразность оценки вытяжных свойств листового металла по совокупности значений равномерного удлинения  $\delta_v$  и коэффициента анизотропии  $a$ . При этом коэффициенты анизотропии остаются постоянными при значительных однородных деформациях, поэтому их удобно определять при деформации образца, соответствующей наибольшему равномерному удлинению. Для определения  $\delta_v$  и  $a$  предусматривается испытание на растяжение не обычных, а удлиненных образцов, рабочая длина

которых  $l = 10b_0$  ( $b_0 = 20$  мм — ширина рабочей части образца). Для устранения влияния головок образца на точность испытаний расчетная длина  $l_0 = 8b_0$  удаляется с каждой стороны на расстояние  $b_0$  от мест сопряжения закруглений с прямолинейной частью образца. До испытания с обоих концов расчетной длины откладываются участки длиной  $l' = 2b_0$ . Если разрыв образца происходит не по середине образца, то  $\delta_v$  и  $a$  следует определять на участке, находящемся на большей части разорванного образца. Равномерное удлинение вычисляется по формуле  $\delta_v = (l_k - l_v)/l_v$  ( $l_v$  и  $l_k$  — соответственно начальная и конечная длина расчетного участка образца).

Установлено, что наиболее пригодны для вытяжки стали с показателями анизотропии  $a_{cp} = 1,2 \div 1,7$  и с равномерным удлинением  $\delta_v > 20\%$ . Например, картер автомобиля «Москвич» хорошо вытягивается из стали 08кпВГ толщиной 1,5 мм, имевшей коэффициенты анизотропии (по оси  $x$  и  $y$ )  $a_x > 1,5$ ;  $a_y > 1,7$  при равномерном удлинении  $\delta_v > 25\%$ .

## Раздел второй

# РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

## Глава 3. РЕЗКА ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА НОЖНИЦАМИ

### § 6. РЕЗКА ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА НОЖНИЦАМИ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ НОЖАМИ

Ножницы с параллельными ножами служат для резки сравнительно узких и толстых полос, а также неметаллических материалов.

#### Процесс резки

При работе на ножницах с параллельными ножами (угол резания  $\varphi = 90^\circ$ ), разрезаемая полоса или заготовка, помещаемая между ножами (рис. 4, а), подвергается вертикальному давлению, возрастающему от нуля до величины, равной сопротивлению металла срезу (скалыванию). Вслед за тем части *A* и *B* отделяются друг от друга, давая излом (поверхность среза), зависящий от рода материала и от ряда факторов, влияющих на процесс резки.

Если рассматривать плоскость разреза листа (рис. 4, б), то можно заметить в ней четыре зоны деформации: *C* — зона закругления, *E* — зона разреза, *G* — зона скалывания и *F* — зона смятия от нижней опоры ножа.

Зоны деформации дают представление о последовательности стадии процесса резки ножницами. В первый момент, когда ножи начинают давить на металл, имеет место упругая деформация, дальнейшее опускание ножа приводит к пластической деформации в виде сдвига. При наличии большого зазора между ножами (свыше 10% от толщины металла), особенно у пластичных металлов, дальнейшее протекание пластического сдвига сопровождается изгибом и растяжением волокон с последующим разрезанием их (появлением скалывающих трещин), после чего наступает разделение металла.

Схема распределения внешних сил при резке ножницами с параллельными ножами (рис. 5) приведена в работе [29, 32, 104]. При проникновении ножей в разрезаемый металл на

определенную величину равнодействующая  $P$  давления ножа на поверхность разрезаемого металла будет приложена не на острие ножей, а на некотором расстоянии от плоскости среза. Поэтому создается опрокидывающий момент  $Pa$ , который будет поворачивать металл по направлению стрелок (рис. 5). Повороту

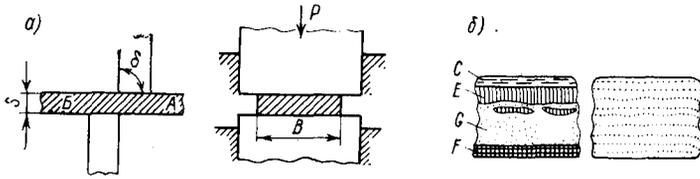


Рис. 4. Резка металла ножницами с параллельными ножами

противодействуют сами ножи вследствие того, что они вдавились в металл на некоторую глубину. Противодействующий момент определяется парой сил  $Tb$ , направленной перпендикулярно к плоскости среза.

Разрезаемый металл, очевидно, будет поворачиваться до тех пор, пока не будет достигнуто равенство моментов

$$Pa = Tb, \quad (10)$$

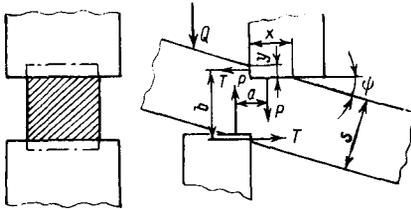


Рис. 5. Схема действия сил на металл при резке ножницами с параллельными ножами

где  $a$  — плечо пары сил  $P$ ;  $b$  — плечо пары сил  $T$ .

Для предохранения материала от опрокидывания на ножницах ставится специальный прижим усилием  $Q$ . Кроме того, на ножах создают передний угол  $\gamma$  (см. рис. 7) для уменьшения плеча  $a$  (см. рис. 5).

Боковое давление на нож  $T = b\psi$  ( $\psi$  — угол поворота разрезаемого металла). В среднем угол  $\psi$  при резке толстых металлов без прижима составляет около  $10-20^\circ$ , а при резке с прижимом — около  $5-15^\circ$ . Соответственно этим значениям  $\psi$  распирающая ножи сила  $T \approx (0,10 \div 0,18) P$  ( $P$  — усилие, потребное для разрезки материала).

#### Усилие и затрачиваемая работа

Технологическое (расчетное) усилие резки (при нормальных условиях работы)  $P$  (в Н) при резке ножницами с параллельными ножами определяется из выражения

$$P = F_0 \tau_0 = B s \tau_0, \quad (11)$$

где  $F$  — площадь среза,  $\text{мм}^2$ ;  $B$  — ширина полосы или листа, мм;  $s$  — толщина полосы или листа, мм;  $\tau_0$  — сопротивление срезу (резке), МПа.

Однако на практике условия резания могут несколько изменяться вследствие затупления режущих кромок ножей, изменения величины зазора между ножами, неравномерности толщины и качества поверхности полосы или листа и т. д. Поэтому действительное усилие резки может увеличиться на 20—30%. При подборе и расчете ножниц, прессов и других машин-орудий, применяемых при штамповке, следует пользоваться формулой

$$P_p = kP, \quad (12)$$

где  $P_p$  — действительное усилие резки;  $k$  — поправочный коэффициент, учитывающий влияние вышеприведенных факторов на процесс резки в производственных условиях и изменяющийся в зависимости от них в пределах 1,0—1,3.

Значения сопротивления срезу (резке)  $\tau_0$  для различных материалов приведены в табл. 4.

Работа, затрачиваемая при резке ( $A_n$ ), определяется произведением усилия ( $P$ ) на длину пути ножа, на котором это усилие действует. Из рассмотрения кривых резки на ножницах (рис. 6, кривая 1) вытекает, что работу  $A_n$ , затрачиваемую на резку, следует определять из выражения

$$A_n = \int_0^{i_k} P di = \int_0^{i_k} F_0 \tau_0 di, \quad (13)$$

где  $P$  — усилие резки в данный момент;  $i$  — абсолютное значение переменной величины углубления ножа в металл (до его разрушения);  $i_k$  — конечное значение этой величины (глубина проникновения ножа в момент отделения — отрыва одной части металла от другой);  $\tau_0$  — сопротивление срезу (резке) в данный момент.

Так как выражение (13) не поддается интегрированию, ибо кривая резки (на условной диаграмме) не может быть выражена в виде уравнения, то работу резки легче всего вычислить графически — измерением площади, ограниченной кривой, или аналитически как сумму отдельных работ на каждом участке углубления ножа, т. е.

$$A_n = P_1 i_1 + P_2 i_2 + \dots + P_n i_n. \quad (14)$$

Если принять, что  $i_1 = i_2 = \dots = i_n$ , а конечное значение как максимум  $i = i_k = s$ , то средняя ордината кривой усилия резки определится из выражения

$$P_{cp} = (P_1 + P_2 + \dots + P_n) / n_{уч}, \quad (15)$$

где  $n_{уч}$  — число условно принятых участков.

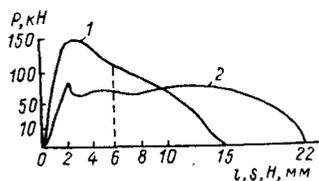


Рис. 6. Кривые резки мягкой стали:

1 — параллельными ножами ( $s = 15$  мм,  $B = 45$  мм,  $\delta = 85^\circ$ ); 2 — наклонными ножами ( $s = 15$  мм,  $B = 100$  мм,  $\phi = 10^\circ$ ,  $\delta = 80^\circ$ )

Работа резки  $A_n$  (в Дж)

$$A_n = P_{cp}s/1000 = \lambda Ps/1000, \quad (16)$$

где  $s$  — в мм,  $P$  — в Н.

Коэффициент  $\lambda$  — отношение среднего усилия  $P_{cp}$  к максимальному  $P$ ; он выражает отношение площади прямоугольника  $P_{cp}s$ , равновеликой площади под кривой резки, к площади прямоугольника  $Ps$ .

Путем рассмотрения и планиметрирования ряда опытных диаграмм усилий резки<sup>1</sup> автору удалось установить, что среднее усилие резки  $P_{cp}$  (если превратить площадь под кривой в равновеликую площадь прямоугольника  $P_{cp}s$ ) в зависимости от толщины и твердости металла составляет от 0,75 до 0,30 от максимального усилия  $P$ . Для сильно наклепанных и хрупких материалов  $P_{cp}$  менее 0,30 $P$ . Таким образом, с достаточной для практики степенью точности коэффициент  $\lambda$  в формуле (16) может быть выбран в зависимости от толщины материала  $s$ :

Толщина материала, мм	Коэффициент $\lambda$
<2	0,75—0,55
От 2 до 4	0,55—0,45
>4	0,45—0,30

Следует иметь в виду, что для мягких и более тонких материалов необходимо брать значения коэффициентов  $\lambda$ , близкие к верхним пределам, а для более твердых — близкие к нижним пределам. Зная величину работы  $A_n$ , затрачиваемой для осуществления данного процесса, можно найти по известным формулам, применяемым для расчета электропривода, и необходимую мощность машины (ножниц, пресса) и электродвигателя [26, 29].

## § 7. РЕЗКА ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА НОЖНИЦАМИ С НАКЛОННЫМИ НОЖАМИ (ГИЛЬОТИННЫМИ НОЖНИЦАМИ)

### Процесс резки

Для уменьшения потребного усилия резки применяют ножницы с наклонными ножами, у которых ножи ставят под некоторым углом наклона  $\varphi$  друг к другу (рис. 7).

Особенностью гильотинных ножниц является то, что одновременно резке подвергается не вся ширина листа, а только определенная его часть, являющаяся постоянной величиной для данного угла наклона и типа ножниц. Поэтому усилие резки на большей части хода (перемещения) верхнего ножа остается постоянным и не зависит от ширины листа. Это усилие во много раз меньше усилия, потребного для разрезки того же материала на ножницах с параллельными ножами. В холодном виде на

<sup>1</sup> Диаграммы получены автором при вырубке штампами, но с известным допущением применимы и к ножницам.



Недостатком ножниц с наклонными ножами является отгиб отрезаемого материала в направлении движения ножа и скручивание полосы. Для тонких листов это не имеет большого значения, но толстые листы могут иногда искривиться настолько, что их приходится подвергать правке перед штамповочной операцией. Применение специальных прижимных устройств (механических, пневматических) позволит свести к минимуму указанные недостатки этих ножниц.

Для резки материала в упор на ножницах имеются переставляющиеся передние и задние упоры. Резку листового материала на ширину до 500 мм производят с задним упором, на большую ширину полосы — передним упором.

Ножи параллельных и наклонных ножниц изготавливают из стали марок У8А, 4ХС, 6ХС, 5ХВ2С и Х12Ф1 (для тонких листов). Твердость ножей после закалки должна быть в пределах  $HRC\ 54-60$ . В настоящее время ножи делают наварными (составными), причем основание их изготавливают из стали 20.

#### Усилие и затрачиваемая работа

Технологическое (расчетное) усилие резки является функцией площади среза и сопротивления материала срезу (резке); при этом при наклонно поставленных ножах площадь среза зависит от толщины материала и от угла наклона ножа. Если с известным допущением принять, что процесс резки ножницами с наклонными ножами происходит так же, как и при резке ножницами с параллельными ножами, и сопротивление срезу (резке) в обоих случаях имеет одно и то же значение, то усилие резки определяется следующим образом.

Рассмотрим бесконечно малый элемент площади среза  $df$ , находящийся на расстоянии  $x$  от какой-то промежуточной точки  $O_1$  (см. рис. 7). На этом рисунке для упрощения выводов показана схема уже надрезанного участка, площадь которого геометрически равнозначна участку, находящемуся под ножом. Усилие  $dP$  для разрезки элемента  $df$  при проникновении ножа на глубину  $y$  достигает при ширине полосы  $dx$  величины

$$dP = df\tau_0 = ydx\tau_0. \quad (17)$$

Из подобия треугольников имеем

$$y/e = x/x_1 \quad \text{или} \quad y = ex/x_1,$$

где  $e$  — наибольшая глубина проникновения края ножа в каждый отдельный момент;  $x_1$  — ширина промежуточного элемента при опускании ножа на величину  $e$ .

Подставив значение  $y$  в выражение для  $dP$ , найдем

$$dP = \tau_0 \frac{e}{x_1} x dx. \quad (18)$$

Если допустить, что  $\lim e = i_k \approx s$ , то очевидно, что  $\lim x = e \operatorname{ctg} \varphi = b = s/\operatorname{tg} \varphi$ , а

$$P = \int_{x=0}^{x=b} \tau_0 \frac{e}{b} x dx = \left[ \tau_0 \frac{e}{b} \frac{x^2}{2} \right]_{x=0}^{x=b} = \tau_0 \frac{eb}{2} = \frac{i_k b \tau_0}{2}, \quad (19)$$

где  $b$  — ширина всего элемента при опускании ножа на толщину материала  $s$ .

Подставив значения  $\lim e = i_k = s$  и  $b = s/\operatorname{tg} \varphi$  в уравнение (19), найдем, что технологическое (расчетное) усилие при резке ножницами с наклонными ножами будет

$$P = \frac{i_k s \tau_0}{2 \operatorname{tg} \varphi} = \frac{0,5 s^2 \tau_0}{\operatorname{tg} \varphi}. \quad (20)$$

Следует отметить, что действительная площадь деформируемого металла — площадь среза в рассматриваемой проекции будет несколько меньше, чем площадь треугольника ( $bs/2$ ), находящегося между ножами, однако нас интересует возможно максимальное значение срезаемой площади. Учитывая, как и раньше, поправочный коэффициент  $k$ , имеющий те же значения от 1,0 до 1,3, усилие для расчета машины (ножниц) на прочность определим из выражения

$$P_p = kP = 1,3P. \quad (21)$$

Приведенный метод расчета можно распространить и для случая резки на гильотинных ножницах с переменным углом наклона верхнего ножа, например выполненным по некоторой кривой, для чего следует площадь среза определить только по другим предельным значениям  $e$  и  $x$ .

А. И. Целиков определяет усилие резки для толстых материалов ( $s > 6$  мм), исходя из понятия об удельной работе резки, по формуле

$$P = \frac{s^2}{\operatorname{tg} \varphi} \int \tau_0 de = \frac{s^2}{\operatorname{tg} \varphi} \rho; \quad (22)$$

$$P_p = k_0 P, \quad (23)$$

где  $\rho$  — удельная работа резки, составляющая в зависимости от рода разрезаемого материала от 13 для дуралюмина до  $150 \cdot 10^6$  Дж/м<sup>3</sup> для стали ШХ10;  $k_0$  — коэффициент запаса, равный 1,2—1,8.

Анализируя формулу (20), можно заметить, что усилие резки уменьшается с возрастанием угла наклона ножей  $\varphi$ .

Работа, затрачиваемая на разрезку листа, равна, как известно, произведению усилия  $P$  на пройденный ножом путь  $H$  (рис. 7).

Из рис. 8 видно, что пройденный путь  $H = B \operatorname{tg} \varphi$ . Работа в этом случае  $A'_n$  (в Дж) равна

$$A'_n = \frac{PH}{1000} = \frac{PB \operatorname{tg} \varphi}{1000}. \quad (24)$$

К этому же выводу можно прийти, если рассмотреть кривые рис. 8 и 6 (кривая 2), полученные опытным путем. Приведенные кривые отличаются от кривой 1 (рис. 6) тем, что усилие резки остается постоянным на большей части хода ножа.

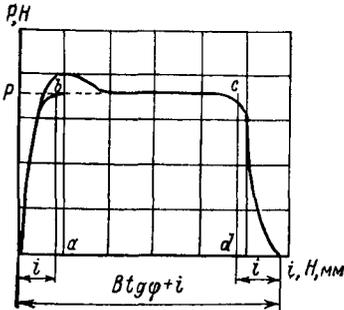


Рис. 8. Диаграмма резки ножницами с наклонными ножами ( $abcd$  — площадь под кривой резки без учета величины входа и схода ножей)

Характерно отметить, что при резке листового материала толщиной до 3 мм на ножницах с наклонными ножами усилие резки уменьшается в 50—60 раз по сравнению с потребным усилием при резке ножницами с параллельными ножами, в то время как затрачиваемая работа на разрезку, вычисленная по приведенным формулам (16) и (24), теоретически в обоих случаях совпадает. Практически, в связи с отгибом листа при резке на гильотинных ножницах, затрачиваемая работа  $A'_n$  будет на 10—15% больше, чем при резке на ножницах с параллельными ножами  $A_n$ .

Разновидностью ножниц с наклонными ножами являются вибрационные ножницы, у которых нижний наклонный нож закреплен на станине неподвижно, а верхний наклонный нож совершает возвратно-поступательное (вибрирующее) движение, передаваемое ему от специального кулачкового механизма. Число двойных ходов верхнего ножа составляет 1200—2500 в минуту. Длина ножей равна 25—40 мм. Угол створа (наклона) обоих ножей  $\varphi$  составляет 24—30°, а передний угол  $\gamma$  равен 6—7°. Ход ножниц изменяется от 2 до 4 мм.

Вибрационные ножницы применяются главным образом для резки криволинейных контуров (внешних и внутренних) с радиусами закругления не менее 12—15 мм. При малых подачах они могут быть использованы и для прямолинейной резки заготовок. Работа на вибрационных ножницах производится по разметке или по шаблону с ручной (принудительной) подачей материала к нолам ножниц. Толщина разрезаемого материала обычно не превышает 3 мм, точность размеров вырезаемых заготовок (деталей) соответствует примерно 9-му классу. Усилие резки здесь определяется при прямолинейной резке как и для гильотинных ножниц, а при круговой резке как для дисковых ножниц произведением сопротивления срезу  $\tau_0$  на мгновенную площадь среза.

Особенность настройки вибрационных ножниц состоит в том, что перекрытие ножей мало (1,0—1,5 мм) или совсем отсутствует, а зазор между ними значительно больше номинального, составляющий 0,20—0,25 толщины материала [1]. Это вызвано необходимостью обеспечения возможности поворота заготовки относительно кромок ножей в процессе резки.

К числу недостатков вибрационных ножниц следует отнести то, что ножи быстро изнашиваются, а на вырезанных заготовках появляются заусенцы и зарубы, требующие иногда даже дополнительной обработки на фрезерных станках, что ограничивает их применение только в условиях мелкосерийного производства. Ножи этих ножниц изготавливаются из стали тех же марок как и для гильотинных ножниц при твердости после термообработки HRC 58—60.

## § 8. РЕЗКА ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА ДИСКОВЫМИ НОЖИЦАМИ

### Процесс резки

Процесс резки дисковыми ножницами осуществляется вращающимися круглыми ножами. Верхние и нижние дисковые ножи вращаются принудительно в разные стороны с одинаковой угловой скоростью. Разрезаемый материал передвигается за счет трения металла о ножи. Дисковые ножницы подразделяются

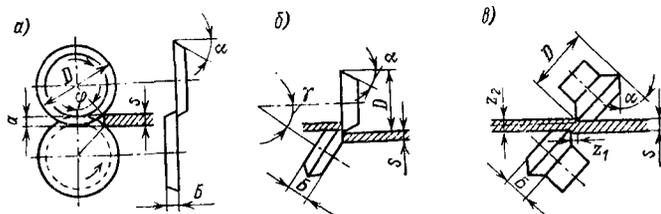


Рис. 9. Схема работы и конструктивные (рабочие) элементы ножей парнодисковых ножниц

по количеству ножей на однодисковые (второй нож — неподвижный — выполнен в виде полосы и прикреплен к столу), парнодисковые и многодисковые. В штамповочных цехах используются главным образом парнодисковые и многодисковые ножницы.

**Парнодисковые ножницы.** Эти ножницы имеют два вращающихся дисковых ножа — верхний и нижний. Они бывают трех типов: с параллельным расположением ножей (осей), с одним наклонным и двумя наклонными ножами.

*Первая группа ножниц* (рис. 9, а) применяется для резки листов на полосы и для вырезки круглых заготовок с выходом на

край листа из материала толщиной 2,5—30 мм со скоростью резки от 20 до 5 м/мин. Скорость резки листов толщиной ниже 2,5 мм достигает 60—90 м/мин. У парнодисковых ножиц угол захвата  $\varphi < 14^\circ$  (10—14°). Заход (перекрывание) ножей для стали, лагуни  $a = (0,2 \div 0,3) s$ , для мягких металлов — меди  $a = (0,3 \div 0,5) s$ . Конструктивные размеры ножей принимают в зависимости от толщины разрезаемого материала  $s$ . При  $s$  от 2,5 до 30 мм  $D = 90 \div 425$  мм,  $B = 23 \div 80$  мм; угол скоса  $\alpha = 1^\circ - 1^\circ 30'$ . Наименьший диаметр вырезаемой заготовки для толщин 2,5—20 мм  $D_3 = 200 \div 950$  мм.

*Вторая группа дисковых ножиц* с наклонным нижним ножом (рис. 9, б) применяется для резки полос и круглых дисковых и кольцевых заготовок из материалов толщиной  $s = 2,5 \div 30$  мм. Скорость резки от 20 до 5 м/мин. Угол наклона  $\gamma = 30 \div 40^\circ$ . Диаметр и толщина ножей для материалов толщиной 2,5—20 мм  $D = 70 \div 380$  мм,  $B = 17 \div 67$  мм; угол скоса  $\alpha = 1^\circ 30' \div 2^\circ$ . Наименьший диаметр вырезаемой заготовки  $D_3 = 170 \div 800$  мм.

*Третья группа* — ножницы с наклонным расположением верхнего и нижнего ножей (рис. 9, в) применяются для резки круглых, кольцевых и криволинейных заготовок с малым радиусом. Криволинейная поверхность задней режущей грани ножей обеспечивает свободный поворот материала. Толщина разрезаемого материала такими ножницами может быть до 20 мм, скорость резки 10—1,25 м/мин. Диаметр и толщина ножей для материалов толщиной 2,5—20 мм составляют:  $D = 52 \div 250$  мм;  $B = 11 \div 56$  мм; угол скоса  $\alpha = 6 \div 10^\circ$ . Зазор  $z_1 \leq 0,2s$ ; зазор  $z_2 \leq 0,3s$ . Наименьший диаметр вырезаемой заготовки  $D_3 = 130 \div 600$  мм.

Положение ножей парнодисковых ножниц устанавливается в зависимости от толщины разрезаемого материала. Работа на парнодисковых ножницах осуществляется по разметке вручную или с помощью специальных приспособлений.

Производительность дисковых ножиц при продольной резке листов и лент больше производительности гильотинных ножниц, но они имеют тот недостаток, что отрезаемые ими полосы получают искривление и нуждаются в правке.

Для уменьшения искривления и отгибания листа или ленты при его выходе из дисков иногда дается небольшое смещение оси верхнего диска по отношению к нижнему или со стороны отрезаемой кромки устанавливают дисковый нож меньшего диаметра. Точность резки парнодисковыми ножницами может быть доведена до 8-го класса. При замене дисковых ножей профильными роликами, применяя соответствующие приспособления на этих машинах, можно также производить и разные профилировочные работы: подсечку, отбортовку, зиговку, закатку бортов и т. д. (см. § 71).

**Многодисковые ножницы.** Эти ножницы имеют несколько пар дисковых (роликовых) ножей (рис. 10, б). Они применяются для разрезки листов и лент в рулонах на полосы, а также для обрезки

полос по ширине. Толщина разрезаемого материала до 3 мм. Скорость резки 24 м/мин.

Количество одновременно устанавливаемых пар ножей зависит от того, на какое количество полос разрезается лист или лента, а также и от мощности ножниц. Число пар ножей берется на одну больше числа полос. Расстояние между ножами устанавливают по требуемой ширине разрезаемой полосы при помощи мерных распорных колец. Для уменьшения искривления полос и образования заусенцев во время резки на металлические распорные кольца насаживают резиновые кольцевые прижимы (рис. 10, а). Угол резания у ножей многодисковых ножниц  $\delta = 90^\circ$ . Размер ножей может быть принят:  $D = (70 \div 40) s$ ;  $B = 15 \div 30$  мм.

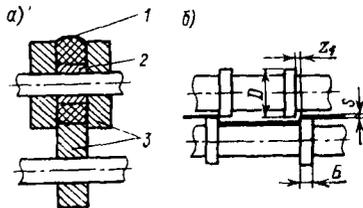


Рис. 10. Многодисковые ножницы:  
1 — резина; 2 — распорное кольцо;  
3 — ножи

Перекрытие  $a$  берется в зависимости от толщины материала в пределах от  $-0,5s$  до  $+0,5s$ . Зазор  $z_1 = (0,1 \div 0,2) s$  (рис. 10, б).

Производительность, качество поверхности среза и точность резки на многодисковых ножницах значительно выше, чем на парнодисковых и на гильотинных ножницах. Многодисковые ножницы обеспечивают 7-й класс точности. Качество и точность здесь достигаются благодаря двустороннему резу по всей ширине полосы и надежному прижиму материала резиновыми кольцами в процессе резки. Ножи дисковых ножниц изготавливаются из стали тех же марок, как и ножи ножниц с параллельными и наклонными ножами.

#### Усилие, работа и мощность

Усилие резки дисковыми ножницами можно определить из рис. 11. На рисунке видно, что разрезаемый материал соприкасается с дисковыми ножами по дугам  $ABC$  и  $FEC$ . Ввиду небольшого угла захвата  $\varphi$  ( $\varphi = 10 \div 14^\circ$ ) и незначительной длины этих дуг по сравнению с радиусами дисков, приравниваем эти дуги соответствующим хордам  $AC$  и  $FC$ . Полученный треугольник  $ACF$  представляет собой площадь среза, которую ножи непрерывно срезают при своем вращении; действительная площадь среза будет несколько меньше.

Для упрощения выводов, как и при резке ножницами с наклонными ножами, рассматриваем уже надрезанные участки с двух сторон заготовки. Рассуждая аналогичным образом, усилие резки определяем по формуле

$$P = 2 \int_{x=0}^{x=b} \tau_0 \frac{e}{b} x dx = 2 \left[ \tau_0 \frac{e}{b} \frac{x^2}{2} \right]_{x=0}^{x=b} = 2\tau_0 \frac{eb}{2} = 2 \frac{ibb\tau_0}{2}, \quad (25)$$

где  $e$  — глубина проникновения ножей в какой-то промежуточный момент при ширине  $x = x_1$ .

Если допустить, что максимально  $\lim e = i_k \approx s/2$  и  $b = s/2 \operatorname{tg} \varphi$ , то, подставив эти значения в уравнение (25), найдем, что усилие резки

$$P = 2i_k \frac{s}{2 \operatorname{tg} \varphi} \tau_0 = \frac{0,50s^2 \tau_0}{2 \operatorname{tg} \varphi}. \quad (26)$$

С учетом поправочного коэффициента  $k = 1,3$  расчетное усилие

$$P_p = kP \approx 1,3P. \quad (27)$$

Угол захвата  $\varphi$  — средний угол зоны резки — можно с некоторым допущением приравнять углу начала резки  $\varphi_1$ , который

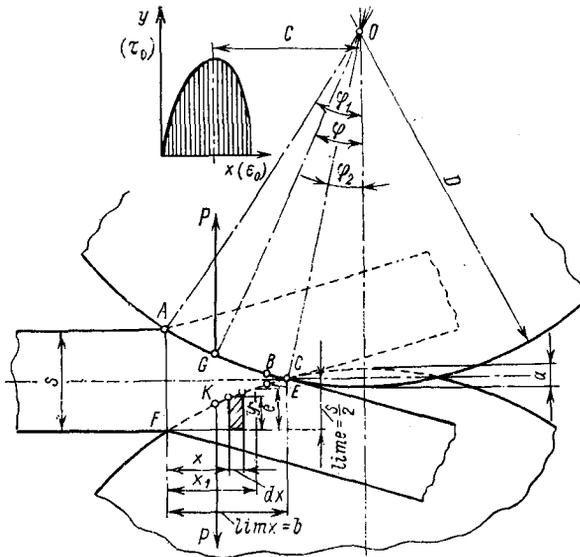


Рис. 11. Схема к расчету усилия резки дисковыми ножницами

определяется по заданному диаметру дисков  $D$  и величине перекрытия  $a$  из зависимости

$$\cos \varphi \approx \cos \varphi_1 = \frac{D - a - s}{D} = 1 - \frac{a + s}{D}. \quad (28)$$

Более точно угол  $\varphi$  можно определить как среднее значение угла начала резки  $\varphi_1$  и угла конца резки  $\varphi_2$ :

$$\cos \varphi = 1 - \frac{(1 - \epsilon_0/2)s + a}{D}. \quad (29)$$

Из формул (28) и (29), зная  $a$ ,  $\varepsilon_0 = i_k/s$  и угол захвата  $\varphi$ , можно найти и диаметр дисков ножниц  $D$ .

Точка приложения равнодействующего усилия резки дисковыми ножницами совпадает приближенно с центром тяжести треугольника  $ACF$  или с центром тяжести эпюры (см. рис. 11). Равнодействующая усилия резки на каждый диск (по аналогии с прокаткой) направлена вертикально и находится на прямой, проходящей через точки  $G$  и  $K$ .

Необходимый для вращения каждого диска момент (в Дж) определится уравнением

$$M = Pc = P \frac{D}{2} \sin \varphi, \quad (30)$$

где  $c$  — плечо силы  $P$  относительно оси диска, м;  $D$  — диаметр диска, м.

Подставив в уравнение (30) значение силы  $P$  с учетом коэффициента  $k$ , получим формулу для определения крутящего момента дискового ножа

$$M = kPc \approx 0,125ks^2\tau_0 D \cos \varphi. \quad (31)$$

Потребную мощность для вращения обоих дисков найдем в зависимости от затрачиваемой работы  $A_n$  (в Дж) на разрезку полосы длиной  $L$  (в м), которая определяется из выражения

$$N = \frac{A}{75\eta} \frac{v}{L} = \frac{2M}{75\eta} \frac{2v_0}{D}. \quad (32)$$

Здесь  $v_0$  — окружная скорость дисков, м/с, равная  $\pi Dn/60$  (где  $n$  — частота вращения, об/мин);  $v$  — скорость движения материалов, м/с, равная  $v_0 \cos \varphi$ ;  $\eta$  — к. п. д. дисковых ножниц (учитывает потерю на трение в подшипниках и к. п. д. передаточного механизма), в среднем равный 0,7—0,8.

Подставив в уравнение (32) значения  $M$  по формуле (31), найдем окончательно мощность привода дисковых ножниц из зависимости

$$N = \frac{0,50ks^2\tau_0 v}{75\eta} \approx \frac{0,65s^2\tau_0 v}{75\eta} \approx \frac{0,064s^2\tau_0 v}{\eta} \text{ кВт}. \quad (33)$$

*Пример.* Определить усилие резки, момент вращения дисковых ножей и мощность привода для разрезки листа при следующих данных:  $B = 1000$  мм,  $s = 2$  мм,  $\tau_0 = 400$  МПа. Принимаем диаметр дискового ножа  $D = 55s = 110$  мм; величину захода  $a = 0,3s = 0,6$  мм;  $\eta_{\text{ср}} = 0,70$ ; скорость резки  $v = 0,8$  м/с.

По формуле (29) находим сначала средний угол захвата

$$\cos \varphi = 1 - \frac{(1 - \varepsilon_0/2)s + a}{D} = 1 - \frac{(1 - 0,55/2)2 + 0,3 \cdot 2}{110} = 0,981$$

или  $\varphi = 11^\circ$ .

Усилие резки (давление на диски) определяем по формулам (26) и (27)

$$P_p = kP = \frac{0,50ks^2\tau_0}{2 \operatorname{tg} \varphi} = \frac{0,50 \cdot 1,3 \cdot 4 \cdot 400}{2 \cdot 0,194} = 2700 \text{ Н}.$$

Момент вращения дисков определяем по формуле (31)

$$M = kPc \approx 0,125ks^2\tau_0 D \cos \varphi = 0,125 \cdot 1,3 \cdot 4 \cdot 40 \cdot 0,11 \cdot 0,981 = 28 \text{ Дж.}$$

Мощность привода с учетом к. п. д. находим по формуле (33)

$$N = \frac{0,65s^2\tau_0 v}{75\eta} = \frac{0,65 \cdot 4 \cdot 40 \cdot 0,8}{75 \cdot 0,7} \approx 1,2 \text{ кВт.}$$

## Глава 4. РЕЗКА (ВЫРУБКА) ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА ШТАМПАМИ

### § 9. ХАРАКТЕРИСТИКА ОПЕРАЦИЙ ГРУППЫ РЕЗКИ — РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ ШТАМПАМИ

Резка — вырубка представляет собой процесс отделения одной части материала от другой по замкнутому или незамкнутому контуру при помощи штампов на механических — кривошипных

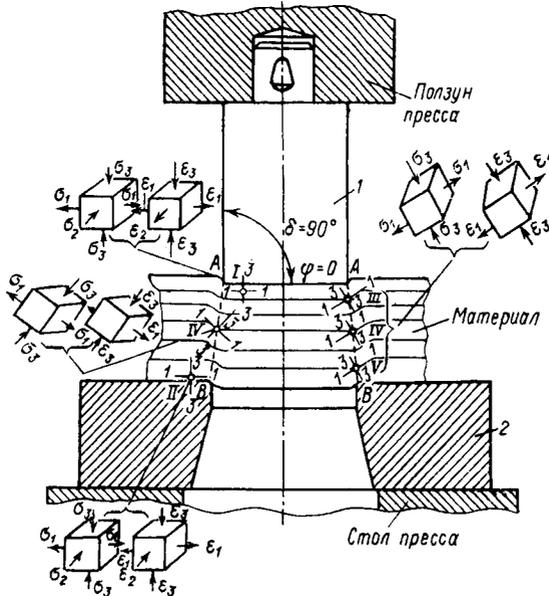


Рис. 12. Схема вырубki металла штампом и образующееся при этом напряженно-деформированное состояние ( $\sigma$  — напряжения,  $\epsilon$  — деформации)

(эксцентриковых) или гидравлических прессах. В штампах в отличие от ножниц роль верхнего перемещающегося режущего ножа выполняет пуансон 1, а нижнего неподвижного — матрица 2 (рис. 12). При этом пуансон имеет меньшие размеры, чем матрица, и образуется так называемый зазор.

В зависимости от назначения и характера выполняемой работы операции группы резки разделяют на следующие.

*Отрезка* — полное отделение одной части материала от другой по незамкнутому контуру, по прямой или по кривой линии (рис. 13, а). Эта операция производится на отрезном штампе из мерной полосы или листа без боковых отходов.

*Вырубка* — полное отделение металла по замкнутому контуру (рис. 13, б), при котором отделяемая часть заготовки является изделием. Вырубка является наиболее распространенной операцией из группы резки; она производится при помощи вырубного штампа.

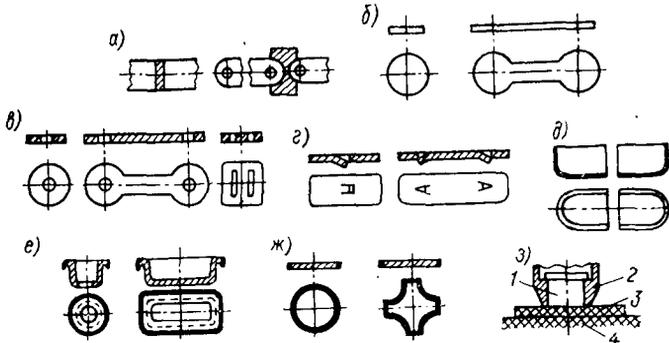


Рис. 13. Схемы разделительных операций

*Пробивка* — операция, имеющая целью получение в вырубленной детали или в листе отверстия путем отделения при помощи пробивного штампа части материала по замкнутому контуру (рис. 13, в). Отличие этой операции от вырубки состоит в том, что при вырубке часть материала, проталкиваемая пуансоном в матрицу, является деталью, а оставшаяся на матрице часть — отходом; при пробивке же, наоборот, провалившаяся через матрицу часть материала является отходом, а оставшаяся на ней — изделием.

*Надрезка* — операция, при которой происходит частичное отделение материала по незамкнутому контуру, без удаления остатков. Надрезка применяется для получения отогнутых язычков в детали (рис. 13, г) и производится специальным надрезным штампом.

*Разрезка* — разделение плоских, гнутых или полых заготовок на две или несколько отдельных деталей. Такую операцию приходится использовать при изготовлении несимметричных изделий. Для этого вначале штампуют симметричную заготовку, а затем ее уже разрезают на несколько несимметричных деталей (рис. 13, д). Подобная схема операций значительно упрощает процесс штамповки деталей и снижает трудоемкость изготовления штампов.

*Обрезка* (обрубка) — полное отделение неровного края или лишнего металла по наружному контуру плоских, гнутых или вытянутых изделий (рис. 13, *е*). Схема процесса обрезки не отличается от вырубki, разница заключается лишь в конструкциях штампов.

*Зачистка* — небольшая обрезка заранее предусмотренного припуска на плоских заготовках — деталях с целью получения точных размеров и формы, острых кромок и гладкой перпендикулярной поверхности среза (рис. 13, *ж*). Зачистку можно производить как по наружному, так и по внутреннему контуру при помощи специальных зачистных штампов.

Если зачистка производится одновременно с вырубкой (пробивкой) из полосы (детали) одними и теми же матрицей и пуансоном, то такую обработку называют чистой вырубкой или пробивкой (см. гл. 5).

*Просечка* — отделение листовых неметаллических материалов по замкнутому контуру при помощи просечных — ножевых штампов. Эта операция производится трубчатыми стальными пуансонами 2 (рис. 13, *з*), без применения стальной матрицы. Роль последней выполняют пластины из неметаллических материалов 3, которые укладываются на подкладную пластину 4 (фибра, дерево). Вырезанная деталь удаляется из пуансона выталкивателем 1.

По характеру деформации вышеуказанные разделительные операции (кроме зачистки и просечки) ничем не отличаются друг от друга.

Перечисленные операции в целях увеличения производительности можно объединить либо по принципу последовательной штамповки, либо по принципу совмещенной штамповки. В первом случае объединенные операции называют последовательной штамповкой — вырубкой, во втором — совмещенной вырубкой:

## § 10. ДЕФОРМАЦИЯ И НАПРЯЖЕНИЯ В МЕТАЛЛЕ ПРИ РЕЗКЕ — ВЫРУБКЕ ШТАМПАМИ

### Деформации и напряжения

При вырубке или пробивке круглых деталей штампами в металле возникает следующее напряженно-деформированное состояние (см. рис. 12).

В верхней зоне под рабочей плоскостью пуансона (малый материальный объем 1) в направлении 3 главной оси, совпадающей с нормалью к поверхности штампа, возникает напряжение сжатия; в радиальном направлении 1 главной оси (в плоскости чертежа) — напряжение растяжения и в тангенциальном направлении 2, перпендикулярном плоскости чертежа (перпендикулярном первым двум напряжениям), — незначительное сжатие. Соответственно выбранным главным направлениям вдоль оси 3 появляется деформация сжатия, вдоль оси 1 — деформация растяжения, а в направ-

лении оси 2 — незначительная деформация растяжения. Согласно установленной классификации [87], в верхней зоне металла под пуансоном будет сдвиг, смежный со сжатием.

В нижней зоне над матрицей (малый объем II) в металле возникает в нормальном направлении 3 напряжение сжатия, в направлении оси 1 — напряжение растяжения и в тангенциальном направлении 2 — незначительное сжатие. Соответственно, вдоль оси 3 имеется деформация сжатия, вдоль оси 1 — деформация растяжения и вдоль оси 2 — незначительная деформация сжатия. Следовательно, в этой зоне будет сдвиг, смежный с растяжением.

В слоях металла на образующей поверхности разделения металла в направлении 3 главной оси, расположенной к линии АВ примерно под углом  $45^\circ$  (малые объемы III—V), возникают напряжения и деформации сжатия, а в перпендикулярном направлении вдоль оси 1 — растяжения. Деформация и напряжение в тангенциальном направлении 2 невелики и могут быть приняты равными нулю. Такое напряженно-деформированное состояние соответствует (близко) сдвигу. Таким образом можно установить, что при вырубке круглых деталей в плоскости диаметрального сечения заготовки по линии разделения металла между режущими кромками пуансона и матрицы АВ возникает плоское напряженно-деформированное состояние, близкое к сдвигу.

На основе проведенных исследований и в соответствии со схемой разрушения пластичного металла можно представить, что процесс резки — вырубки штампами протекает в три стадии следующим образом.

*Первая стадия* — упругая деформация и начало пластической деформации; пуансон вначале производит сжатие металла, появляется упругий прогиб, и металл слегка выдавливается в отверстие матрицы.

*Вторая стадия* — развитие пластической деформации; вблизи режущих кромок пуансона и матрицы создается концентрация напряжений, которая вызывает течение металла и образование зоны смятия. Это местное смятие будет развиваться до тех пор, пока по всей толщине металла не возникнут напряжения, достаточные для возникновения линий скольжения, которые, в свою очередь, образуют узкую пластическую зону в виде параллелепипеда (при отрезке) или объемное кольцо (при вырубке круглых деталей). В результате этих явлений развивается деформация сдвига, сопровождаемая изгибом и растяжением волокон, особенно при большом зазоре (свыше 20% для материалов толщиной до 10 мм), вплоть до начала образования скальвающих трещин.

*Третья стадия* — разделение металла; при дальнейшем опускании пуансона в момент, когда давление его будет соответствовать максимальному напряжению — сопротивлению срезу (сдвигу), в металле у режущих кромок штампа появляются скальвающие трещины, после чего происходит полное отделение вырубаемого (пробиваемого) контура.

Для окончательного удаления вырубленной детали из заготовки необходимо преодолеть сопротивление сил трения, возникающих между поверхностями среза взаимно смещенных частей, а также между металлом и рабочими частями штампа. Пластическая деформация элементарных слоев металла, происшедшая под давлением пуансона, создает вблизи кромок вырубленной детали или

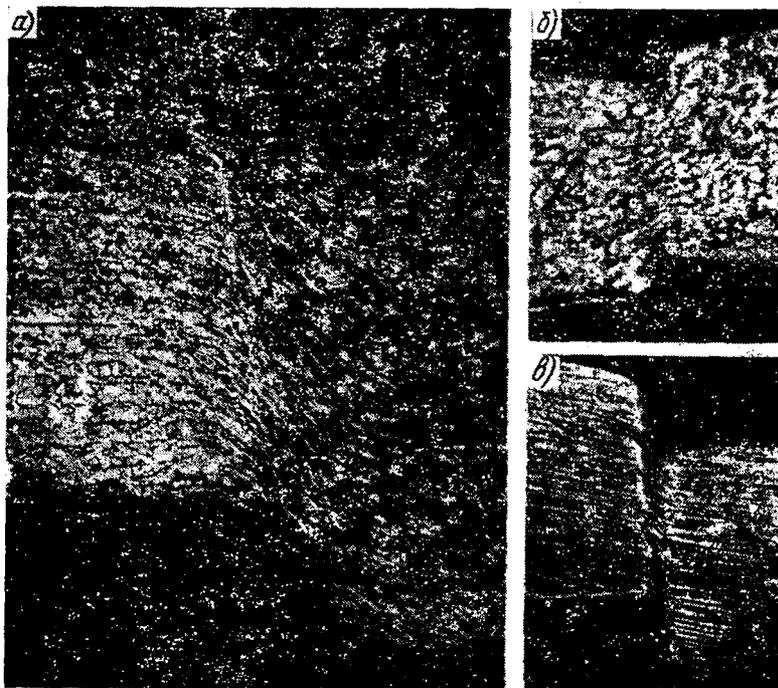


Рис. 14. Макроснимки, иллюстрирующие процесс вырубki кружков штампами

пробитого отверстия зону наклепанного металла. Твердость этой зоны у поверхности среза повышается примерно на 40—60% по сравнению с твердостью исходного металла. Глубина зоны деформации или глубина поврежденного слоя, расположенного перпендикулярно оси пуансона, получается с каждой стороны линии разделения металла *AB* в зависимости от глубины внедрения пуансона в металл в пределах 30—60% толщины металла.

Опытами установлено, что в начале вырубki — при незначительном погружении пуансона в металл, у режущих кромок пуансона и матрицы возникают два самостоятельных семейства кривых равных деформаций — сдвигов в виде овалов. При дальнейшем внедрении пуансона кривые сдвигов распространяются в глубь металла и деформацией охватывается больший объем металла;

кривые равных сдвигов последовательно встречаются между собой, в результате чего происходит образование скалывающих трещин и разделение металла. Эти кривые ограничивают зоны деформации и глубину поврежденного слоя в вырубленной или пробитой заготовке (детали). Поврежденный слой металла можно отжигать или удалять последующей зачисткой.

На рис. 14, а приводится шлиф (макроструктура), полученный при проведении опытов по вырубке из стали ( $s = 2,2$  мм, при зазоре в 15% от  $s$  и диаметре матрицы 30 мм). Шлиф наглядно иллюстрирует момент деформации металла после образования трещины и перед разделением материала. Благодаря наличию достаточного зазора (15% от  $s$ ) наряду с очевидным сдвигом, характерным для процесса вырубki, можно заметить также некоторый изгиб и растяжение волокон. На рис. 14, б и в приведены шлифы лагуны в различных стадиях вырубki ( $s = 1,5$  мм, зазор между матрицей и пуансоном 8,7% от  $s$ , диаметр матрицы 60 мм). Из рис. 14 видно, что при указанном зазоре, являющемся для данного материала нормальным, имеет место деформация сдвига.

Соответственно вышеуказанным трем стадиям разделения металла поверхность среза вырубленной детали при нормальном зазоре будет также иметь три зоны: 1) слегка погнутая и закругленная с нижней поверхности детали; 2) чисто срезанная режущими кромками матрицы блестящая цилиндрическая полоска, ширина которой характеризует величину углубления пуансона в металл до момента образования скалывающих трещин; 3) слегка шероховатая коническая поверхность скалывания матового цвета. Те же зоны, но только в обратном порядке наблюдаются при пробивке отверстия.

#### Характер поверхности среза и изменения усилия вырубki при различных условиях

На рис. 15 показан характер поверхности среза и изменения усилия при проникновении пуансона в металл при различных условиях. Рис. 15, а характеризует поверхность среза и измене-

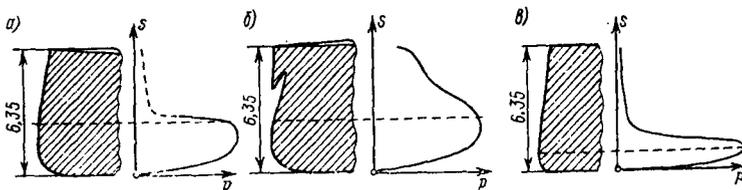


Рис. 15. Характер поверхности среза и кривые изменения усилия

ния усилия при нормальном зазоре <sup>1</sup>, когда трещины, идущие от пуансона и матрицы, совпадают. На рис. 15, б показаны срез

<sup>1</sup> Понятие о нормальных (оптимальных) зазорах уточняется в § 14. Там же приводятся данные по определению величины этих зазоров для различных материалов и толщин.

и изменение усилия при вырубке мягкого металла при малом зазоре (2,7% от толщины), а на рис. 15, в — при вырубке хрупкого материала. Следует отметить, что у хрупких и наклепанных металлов изгиб и растяжение волокон в процессе вырубке почти не наблюдаются. При этом глубина проникновения пуансона в металл до начала его разрушения значительно меньше, чем у пластичных материалов.

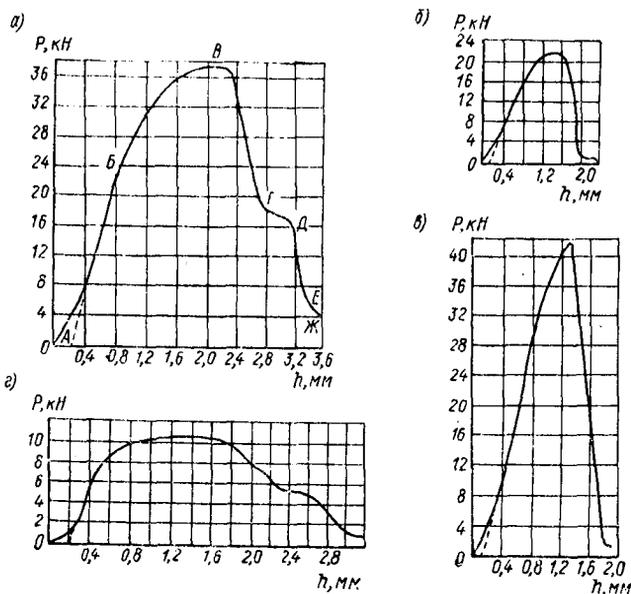


Рис. 16. Машинные диаграммы вырубке штампом: а — сталь марки Ст3 ( $s = 3$  мм,  $z = 0,18$  мм,  $P = 33\,500$  Н,  $\tau_0 = 320$  МПа); б — латунь мягкая Л63 ( $s = 2$  мм,  $z = 0,18$  мм,  $P = 21\,500$  Н,  $\tau_0 = 252$  МПа); в — латунь твердая ЛС59-1 ( $s = 2,9$  мм,  $z = 0,33$  мм,  $P = 42\,400$  Н,  $\tau_0 = 360$  МПа); г — алюминий мягкий АД1 ( $s = 2,9$  мм,  $z = 0,18$  мм,  $P = 10\,200$  Н,  $\tau_0 = 88$  МПа)

В соответствии с описанным механизмом вырубке кривые усилий в зависимости от условий вырубке имеют различный характер. Автором был получен ряд кривых усилий при вырубке деталей из различных материалов толщиной  $s = 0,5 \div 4$  мм.

На рис. 16 представлены машинные кривые — диаграммы «усилие — ход пуансона» при вырубке различных материалов (сталь, латунь, алюминий), полученные на прессе Гагарина. Как видно из этих кривых, в зависимости от пластических свойств материала изменяются характер кривой усилия вырубке и продолжительность приложения максимального усилия. У материалов средней твердости (рис. 16, а) выявляется закругленный участок у точки, отвечающей максимальному усилию; у наклепанного (твердого)

материала появляется резко выраженная пика усилия (рис. 16, *в*); у отожженного и пластичного материала (мягкая сталь и латунь, алюминий) имеет место растянутый участок — площадка максимального усилия (рис. 16, *б* и *г*).

На этих кривых можно усмотреть характерные для процесса вырубki участки на продолжении всего цикла работы. Участок *АВ* (рис. 16, *а*) характеризует упругую зону (первая стадия); от точки *Б* и *В* имеет место участок пластической деформации и начало образования скальвающих трещин (вторая стадия), в точке *В* усилие вырубki достигает максимальной величины *P*. По мере дальнейшего сдвига сила *P* будет уменьшаться, причем точка *Г* соответствует концу сдвига — полному разрушению материала. При дальнейшем движении пуансона (в интервале между точками *Г* и *Д*) он преодолевает в основном силу трения взаимно смещенных частей металла и усилие вталкивания детали в отверстие матрицы. Участок кривой *ЕЖ* показывает усилие, необходимое для проталкивания детали через отверстие матрицы.

Необходимо отметить, что машинные диаграммы (рис. 16) фиксируют также и перемещения за счет упругой деформации частей пресса и деталей самого штампа. При опытах автора последнее составляло для пресса Гагарина 0,02—0,8 мм при нагрузках 2000—45 000 Н.

Исходя из представления о физической природе пластической деформации и разрушения металлов, можно заключить, что для большинства пластичных металлов, подвергающихся вырубке, по-видимому, будет справедлива схема разрушения путем среза — внутрикристаллическое разрушение в результате появления вначале большого количества микросрезов (микротрещин), переходящих затем в макротрещины. Для некоторых хрупких материалов, а также при наличии большого зазора процесс вырубki может осуществляться частично и путем отрыва. В этом случае будет иметь место как внутрикристаллическое, так и межкристаллическое разрушение или их совместное действие.

## § 11. УСИЛИЕ И ЗАТРАЧИВАЕМАЯ РАБОТА ПРИ ВЫРУБКЕ ШТАМПАМИ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ (ПЛОСКИМИ) РЕЖУЩИМИ КРОМКАМИ

Потребное усилие при вырубке штампами так же, как и при резке ножницами, зависит от формы режущих кромок пуансона и матрицы, которые могут быть плоскими — параллельными или скошенными — наклонными. У штампов с параллельными режущими кромками угол створа (наклона)  $\varphi = 0$ , а угол резания  $\delta = 90^\circ$  (см. рис. 12).

Технологическое (расчетное) усилие вырубki (в Н) при работе такими штампами определяют по формуле

$$P = F_0 \tau_0 = u s \tau_0, \quad (34)$$

где  $F_0$  — площадь среза, мм<sup>2</sup>;  $u$  — длина контура (периметр) вырубаемой детали, мм;  $s$  — толщина материала, мм;  $\tau_0$  — сопротивление срезу (вырубке), полученное в лабораторных (идеальных) условиях работы, МПа.

На сопротивление металла срезу (вырубке) штампами оказывает влияние ряд факторов.

Факторы, связанные с материалом, формой и размерами детали: механические свойства металла и глубина проникновения пуансона в металл; толщина вырубаемого материала; форма и размеры вырубаемого контура.

Факторы, связанные с конструкцией штампа: величина зазора; конструкция (форма проходного отверстия) матрицы.

Условия вырубки: скорость деформации (деформирования); смазка материала и инструмента; состояние режущих кромок пуансона и матрицы; степень твердости этих кромок и др.

#### Сопротивление вырубке $\tau_0$ в зависимости от механических свойств материала

Опытами установлено, что с увеличением прочности материала ( $\sigma_B, s_B$ ) и уменьшением пластичности ( $\psi_B, e_B, \psi, i_m$ ) сопротивление срезу — вырубке  $\tau_0$  (условное) и  $t_0$  (истинное) увеличивается. Величина углубления пуансона в металл при вырубке в момент образования скалывающихся трещин  $i_m$  может быть отнесена к показателям пластичности металла, так как она до некоторой степени характеризует способность вырубаемого материала к пластическим деформациям. Эта величина, таким образом, может служить характеристикой механических свойств материала. Для каждого материала при определенном зазоре  $z$  углубление  $i_m$  является величиной постоянной.

Из практики известно, что для твердых металлов величина проникновения пуансона меньше, чем для мягких металлов. Она зависит также и от толщины материала  $s$ : с уменьшением  $s$  относительная глубина проникновения увеличивается. Таким образом, определение  $i_m$  должно производиться при учете рода материала, его толщины и величины зазора.

Значения  $i_m$  для различных материалов приведены в табл. 4.

Истинное сопротивление срезу (вырубке)  $t_0$  (которое относится к сечению в каждый данный момент времени  $F$ ) можно определить по формуле

$$t_0 = P/\pi d (s - i). \quad (35)$$

Значения  $t_0$  можно определить также по условным  $\tau_0$  (отношенным к первоначальной площади среза  $F_0$ ), для чего следует воспользоваться формулой

$$t_0 = \tau_0 [s/(s - i)]. \quad (36)$$

Если для каждого найденного значения  $t_0$  определить степень деформации  $\psi_{\text{выр}}$ , выражающуюся соотношением

$$\psi_{\text{выр}} = (F_0 - F)/F_0 = [\pi ds - \pi d(s - i)]/\pi ds = i/s, \quad (37)$$

то по значениям  $t_0$  и  $\psi_{\text{выр}}$  можно построить кривые вырубки.

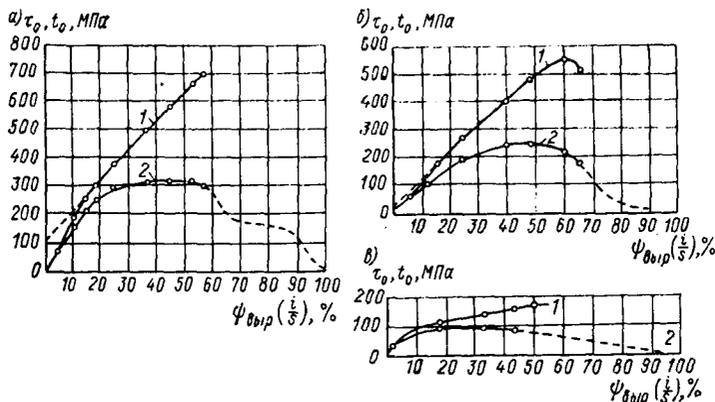


Рис. 17. Кривые сопротивления вырубке в условных и истинных координатах для различных металлов: а — сталь средней твердости Ст3 ( $s = 3$  мм); б — латунь мягкая Л63 ( $s = 2$  мм); в — алюминий мягкий АД1 ( $s = 2,9$  мм)

1 — в координатах  $t_0 - \psi_{\text{выр}}$ ; 2 — в координатах  $\tau_0 - \psi_{\text{выр}}$

На рис. 17 построены кривые вырубки в условиях и истинных координатах для различных материалов. Как следует из рисунка, при степенях деформации, отвечающих глубине проникновения пуансона к моменту максимального усилия, величины истинных напряжений  $t_0$  значительно больше условных  $\tau_0$ . В расчетах, следовательно, необходимо пользоваться первыми.

#### Влияние толщины материала $s$ на $\tau_0$

При одних и тех же механических свойствах материала с увеличением его толщины сопротивление вырубке несколько уменьшается. Это явление объясняется тем, что при вырубке толстых материалов создаются более благоприятные условия для образования сдвигов, чем при вырубке тонких материалов. Кроме того, тонкие листы более чувствительны к воздействию режущих кромок штампа во время вырубке, вследствие чего имеет место более сильное упрочнение (наклеп), чем у толстых материалов.

#### Влияние формы и размеров вырубаемого контура на $\tau_0$

На основании ряда опытов можно сделать вывод, что с увеличением размеров вырубаемых деталей сопротивление вырубке несколько уменьшается. Так, при вырубке из стали толщиной

0,5—3,5 мм кружков диаметром  $d = 30$  мм  $\tau_0$  будет на 2—3% больше, чем при  $d = 60$  мм, т. е. здесь сказывается относительная толщина  $s/d$ . Форма вырубаемого контура также влияет на  $\tau_0$ . Так, при вырубке круглых деталей касательные напряжения по всему периметру распределяются равномерно; при сложных контурах касательные напряжения в различных участках его будут неодинаковы. Кроме того, при некруглой форме вырубке существенную роль может сыграть и неравномерность распределения зазора по контуру вследствие сложности контура, что в известной мере влияет на сопротивление вырубке. Поэтому во всех подобных случаях для того, чтобы не усложнять расчетной схемы, удобнее всего говорить относительно некоторого среднего сопротивления вырубке. Последнее будет равно отношению усилия вырубке  $P$  к площади среза  $F_0$ .

#### Влияние величины зазора между матрицей и пуансоном на $\tau_0$

Величина зазора  $z$  оказывает существенное влияние на протекание процесса разделительных операций и в том числе на сопротивление вырубке  $\tau_0$ . Опытами установлено, что наименьшее

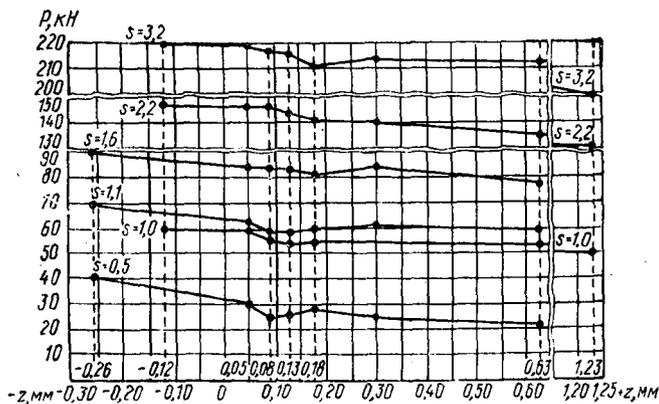


Рис. 18. Кривые зависимости усилия вырубке от величины зазора. Материал — сталь; матрица с цилиндрическим пояском;  $D_M = 60$  мм,  $h = 4$  мм

значение  $\tau_0$  получается при некоторых средних зазорах для каждого материала и толщины (5—16% от  $s$ , для  $s$  от 1 до 10—12 мм). При малых зазорах ( $z < 5\%$  от  $s$ ) и достаточно больших зазорах ( $z > 20—30\%$  от  $s$ ) сопротивление вырубке  $\tau_0$ , а с ним и общее усилие вырубке становятся большими, чем при оптимальных значениях зазора. Объясняется это тем, что помимо касательных напряжений появляются дополнительные напряжения от трения

(при  $z < 5\%$  от  $s$ ) и изгиба (при  $z > 20\text{--}30\%$  от  $s$ ), вследствие чего общее сопротивление вырубке, определяемое по приведенному напряжению, увеличивается на 15--20%. Отсюда становится очевидной выгодность работы при нормальных (оптимальных) зазорах.

Зазор (или некоторый интервал их), при котором сопротивление и усилие вырубki принимают минимальные значения, называют оптимальным или нормальным. Для каждого материала и толщины существуют свои оптимальные величины зазоров.

Опытные кривые, полученные автором, при вырубке деталей из стали (рис. 18) и из цветных металлов и их сплавов подтверждают изложенное.

#### **Влияние конструкции матрицы (формы проходного отверстия) на $\tau_0$**

Наиболее распространенными являются матрицы, рабочее отверстие которых выполнено в виде цилиндрического пояска, и матрицы с рабочим отверстием в виде конуса. На основании исследований можно заключить, что при вырубке деталей в матрице с цилиндрическим пояском сопротивление вырубке выше, чем при вырубке в матрице с конусом. Это объясняется тем, что у матриц второго типа имеется более свободный выход деталей из рабочего отверстия. Поэтому при вырубке деталей на провал (через отверстие) с успехом применяют подобную конструкцию. Матрицы с рабочим отверстием в виде цилиндрического пояска применяют обычно при вырубке с обратным выталкиванием детали (не на провал), а также для точных работ.

#### **Влияние условий работы на $\tau_0$**

На сопротивление вырубке также оказывает влияние скорость деформирования, смазка материала и штампа, состояние режущих кромок пуансона и матрицы, степень твердости режущих кромок и др.

**Скорость деформирования.** Скорость деформирования, под которой обычно понимают скорость перемещения ползуна прессы, влияет на сопротивление материала вырубке. При рассмотрении операций вырубki на кривошипных (эксцентриковых) прессах следует иметь в виду, что скорость движения ползуна зависит от угловой скорости главного вала, угла поворота кривошипа и отношения радиуса кривошипа  $R$  к длине шатуна  $L$ .

Процесс резки металла обычно осуществляется в тот момент, когда ползун находится вблизи нижней мертвой точки. В этом случае вырубка заготовки (детали) происходит при минимальном заходе пуансона в матрицу, а это обуславливает получение сравни-

тельно малых скоростей резки даже при больших числах двойных ходов ползуна прессы. В этих случаях процесс резки протекает без каких-либо существенных изменений.

При одновременной вырубке и вытяжке, когда процесс резки осуществляется не в нижней мертвой точке, а при таком угле поворота кривошипа, при котором скорости ползуна относительно большие, необходимо учитывать поправку на сопротивление материала резке (вырубке). С увеличением скорости вырубке  $\tau_0$  возрастает. При этом она может быть определена по формуле

$$\tau_{0v} = \alpha_v \tau_0. \quad (38)$$

Величина скоростного коэффициента  $\alpha_v$  зависит от линейной скорости и хода ползуна, а также от толщины вырубаемой заготовки.

При работе на кривошипных (эксцентриковых) прессах с числом двойных ходов ползуна (оборотов вала)  $n$  до 140 в минуту, длиной хода  $H = 50$  мм и скоростью (средней) перемещения ползуна  $v_n = 0,18$  м/с  $\alpha_v = 1,06 \div 1,09$ . При работе на быстроходных штамповочных автоматах с числом двойных ходов ползуна  $n = 300 \div 600$  об/мин и  $v_n = 0,50 \div 0,75$  м/с  $\alpha_v = 1,12 \div 1,15$ .

**Смазка материала и инструмента.** Смазка при вырубке оказывает влияние на усилие проталкивания детали, а следовательно, и на усилие вырубке и на сопротивление вырубке. На основании исследований можно заключить, что при работе без смазки усилие проталкивания возрастает на 30—40% по сравнению с усилием проталкивания со смазкой. Это приводит к увеличению общего усилия вырубке на 3—6% по сравнению с усилием при работе со смазкой. *Состояние режущих кромок инструмента (штампа)* также сказывается на  $\tau_0$ . Экспериментально установлено, что работа с тупыми режущими кромками инструмента требует больших усилий, чем вырубке с острыми кромками (примерно на 10—12%).

#### Связь между величинами $\tau_0$ и $\sigma_B$

Для практических расчетов необходимо знать соотношение между сопротивлением вырубке  $\tau_0$  (условным) и временным сопротивлением разрыву данного материала  $\sigma_B$  (условным). Эксперименты, проведенные автором, позволяют сделать следующие весьма важные для практики выводы:

1) величины сопротивления срезу (вырубке)  $\tau_0$  для материалов толщиной 0,5—4,0 мм при небольших скоростях деформаций (0,15—0,20 мм/с) ниже их временного сопротивления разрыву  $\sigma_B$ ;

2) сопротивление вырубке  $\tau_0$  (при единичной работе) в зависимости от рода и толщины материала, диаметра вырубаемой де-

тали (отношение  $s/d$ ), величины зазора, а также и от других рассмотренных выше факторов составляет:

	$\tau_0$
Для стали . . . . .	(0,75÷0,90) $\sigma_B$
» латуни Л63 . . . . .	(0,65÷0,75) $\sigma_B$
» алюминия мягкого . . . . .	(0,75÷0,90) $\sigma_B$
» алюминия твердого . . . . .	(0,55÷0,70) $\sigma_B$
» дуралюмина мягкого . . . . .	(0,65÷0,75) $\sigma_B$
» дуралюмина твердого . . . . .	(0,60÷0,65) $\sigma_B$
» нержавеющей стали 12Х13 и 12Х18Н9 . . . . .	(0,68÷0,72) $\sigma_B$
» шарикоподшипниковой стали ШХ15 . . . . .	(0,72÷0,78) $\sigma_B$
» титана марок ВТ1-1 и ВТ1-2 . . . . .	(0,65÷0,70) $\sigma_B$

Верхние предельные значения следует принимать для более тонких материалов ( $s$  от 0,5 до 2 мм), нижние — для более толстых ( $s$  от 2 до 4 мм и выше).

#### Определение действительных значений сопротивления вырубке $\tau_d$ и общего усилия вырубки $P_d$

В производственных условиях, с учетом влияния перечисленных факторов, действительное сопротивление вырубке  $\tau_d$  и общее усилие вырубки  $P_d$  будет выше, чем в лабораторных (идеальных) условиях работы. Их значения можно определить, воспользовавшись так называемым дифференциальным, или коэффициентным, методом. Этот метод заключается в том, что действие каждого фактора, влияющего на искомую величину, учитывается некоторым определенным коэффициентом:  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n$ .

Произведение указанных коэффициентов дает общий коэффициент  $k$ , который как показали проведенные автором опыты, колеблется в зависимости от условий работы в пределах 1,0—1,3. Тогда действительное сопротивление срезу (вырубке)  $\tau_d$  определится из выражения

$$\tau_d = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 \alpha_6 \tau_0 = k \tau_0 = (1,0 \div 1,3) \tau_0, \quad (39)$$

а действительное усилие вырубки (в производственных условиях), которое принимается как расчетное усилие  $P_p$  для выбора оборудования, будет

$$P_p = P_d = u s \tau_d = u s k \tau_0 = (1,0 \div 1,3) u s \tau_0. \quad (40)$$

В табл. 4 приводятся значения сопротивления срезу (вырубке)  $\tau_0$  и глубины проникновения пуансона в металл в момент достижения максимального усилия вырубки (появления скалывающих трещин)  $i_m$  для различных материалов толщиной 0,5—4,0 мм. Верхние пределы для  $\tau_0$  относятся к более тонким материалам ( $s < 2$  мм), нижние — к более толстым ( $s$  от 2 до 4 мм и выше).

Умножив  $\tau_0$  на коэффициент  $k$ , получим действительное значение сопротивления вырубке  $\tau_d$ . Глубина проникновения пуансона в металл в момент его разделения  $i_k$  будет на 10—20% больше  $i_m$ . Работу, затрачиваемую при вырубке, можно определить по формуле (16).

**4. Значения сопротивления срезу (вырубке)  $\tau_0$  и глубина проникновения пуансона в металл в момент достижения максимального усилия вырубki  $i_m$  для различных металлов**

Материал	Металл мягкий (отожженный)			Металл твердый (наклепанный)		
	$\tau_0$ , МПа	$(i_m/s)$ 100, %		$\tau_0$ , МПа	$(i_m/s)$ 100, %	
		$s \leq 4$ мм	$s \geq 4-10$ мм		$s \leq 4$ мм	$s \geq 4-10$ мм
Сталь декапированная и сталь 08	250—280	60—65	—	320—350	50	—
Стали 10кп; 15 кп; Ст1	280—300	55—50	—	350—380	50	—
Сталь 20; Ст2; кровельная сталь	300—320	50	45	380—420	45	38
Сталь 25; Ст3	320—350	47	40	420—450	40	28
Сталь 30; Ст4	350—380	45	33	450—500	35	22
Сталь 35; Ст5	400—450	40	27	500—550	30	17
Стали 40—45; Ст6	450—500	35	22	550—580	28	15
Кремнистая сталь	350—400	—	—	500—550	—	—
Нержавеющая сталь	520	40	—	560	—	—
Нержавеющая сталь 12Х18Н9; 12Х13	360—380	45	—	—	—	—
Шарикоподшипниковая сталь ШХ15	460—520	30	—	—	—	—
Медь М1; М2; М3	180—220	55	—	250—280	30	—
Латунь Л63; Л68	220—280	50—55	50	350—400	30—20	20
Алюминий АД; АД1	70—90	65—55	60	110—150	50—40	30
Дуралюмин Д1; Д16	140—180	50—38	35	260—380	35—25	25
Никель	350	—	—	480	—	—
Нейзильбер	280—360	—	—	450—560	—	—
Мельхиор	260	—	—	400	—	—
Титан ВТ1-1	410—480	35	—	—	—	—
Титан ВТ1-2	510—590	30	—	20	25	—
Цинк	120	50	—	—	—	—
Свинец	20—30	50	—	—	—	—
Олово	30—40	40	—	—	—	—

## § 12. ВЫРУБКА ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА ШТАМПАМИ С НАКЛОННЫМИ РЕЖУЩИМИ КРОМКАМИ

### Процесс вырубке

При вырубке (пробивке) листового материала штампами с параллельными режущими кромками процесс резки начинается одновременно по всему периметру контура, вследствие чего усилие резки может достигнуть весьма значительных величин, превышающих усилие, допускаемое прессом. Для облегчения условий

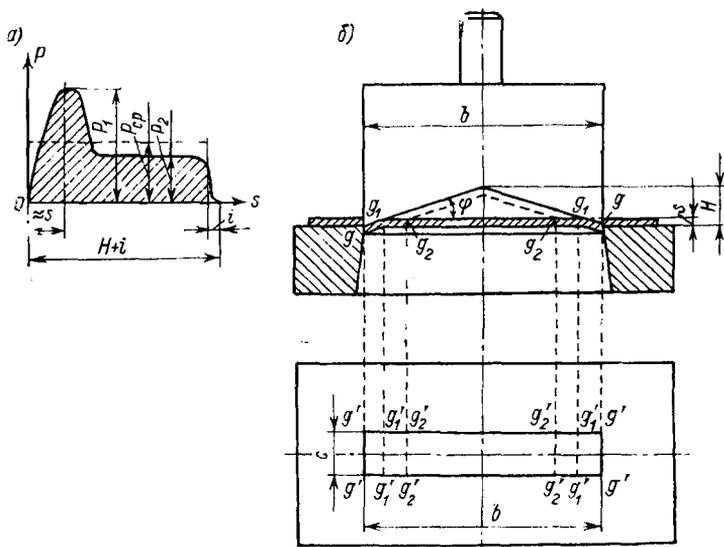


Рис. 19. Вырубка прямоугольной детали пуансоном с наклонными режущими кромками: *a* — кривая усилия вырубке; *б* — схема к расчету усилия (по оси абсцисс — путь пуансона  $l = H + i$ ; по оси ординат — усилие  $P$ )

резки, обеспечения плавной работы прессы и уменьшения потребного усилия вырубке (пробивке) применяют штампы со скошенными — наклонными режущими кромками на матрице или на пуансоне.

Величину скоса матрицы или пуансона  $H$  в таких штампах обычно берут в пределах  $(1 \div 3) s$ , угол скоса — наклона  $\varphi$  соответственно в пределах  $2-8^\circ$ . Для материалов толщиной  $s$  до 3 мм принимают  $H = (3 \div 2) s$ ,  $\varphi = 5 \div 2^\circ$ , тогда усилие вырубке снижается на 45—30% по сравнению с усилием вырубке при работе штампами с плоскими пуансонами. Для материалов толщиной  $s$  свыше 3—4 мм берут  $H = (2 \div 1) s$ ,  $\varphi = 8 \div 5^\circ$ , при этом усилие вырубке снижается на 65—50%.

Наклон (скос) на матрице или на пуансоне лучше делать двусторонним (рис. 19, б), так как наличие симметричного скоса

с обеих сторон препятствует возникновению боковых усилий, имеющих место при одностороннем скосе, который приводит к за-рубанию кромок инструмента.

#### Усилие и затрачиваемая работа

**Методика определения усилия при вырубке прямоугольных деталей.** В излагаемых ниже выводах допускается с целью упрощения, что процесс резки штампами с наклонными режущими кромками происходит так же, как и при вырубке штампами с параллельными режущими кромками, и сопротивление материала вырубке в обоих случаях имеет одно и то же значение. Усилие вырубке при работе такими штампами с наклонными кромками пуансона (матрицы) можно определить двумя методами: графо-аналитическим (приближенным) и аналитическим.

Графо-аналитический метод заключается в том, что для ряда положений пуансона  $g, g_1, g_2$  и т. д. (рис. 19, б), соответствующих определенному углублению его в металл, устанавливают периметр захватываемых пуансоном участков вырубаемого контура. Зная периметр, можно определить и пропорциональное ему усилие в каждый момент вырубке. Из рис. 19, б видно, что в начале резки при опускании пуансона на величину, близкую к толщине материала, периметр вырубаемого контура будет наибольшим. Его можно определить, спроектировав крайние точки на проекцию пуансона в плане. Полученная с обеих сторон пуансона ломаная линия  $g'_1g'g'_1$  в виде буквы П и является искомым периметром для первого момента. Обозначив длину этих двух участков через  $u_1$ , получим следующее приближенное выражение для определения усилия вырубке  $P_1$ :

$$P_1 = u_1 \sigma_0. \quad (41)$$

Для последующих моментов (при  $\varphi = \text{const}$ ) длина одновременно срезаемых участков при опускании пуансона на толщину материала будет постоянной  $u_2 = u_3 = \dots = u_n$ , следовательно,

$$P_2 = P_3 = \dots = P_n. \quad (42)$$

Очевидно, что  $P_1 > P_2, \dots, P_n$ .

Для определения усилия аналитическим путем при вырубке прямоугольными пуансонами с наклоном режущих кромок внутрь следует рассматривать отдельно усилие в первоначальный момент и усилие в последующие моменты.

Из рис. 19, б видно, что в первый момент пуансон одновременно срезает две боковые грани шириной  $s$  и надрезает четыре участка на углах длиной  $s/\text{tg } \varphi$ . Следовательно, в этот момент имеет место одновременная вырубка плоским (срезание двух боковых граней — усилие  $P'_1$ ) и скошенным (надрезание четырех угловых участков — усилие  $P''_1$ ) пуансонами.

Тогда, используя формулы (20) и (21), находим, что полное усилие для первого момента вырубki равно

$$P_{1в} = P'_1 + P''_1 = 2c\sigma_0 + (4 \cdot 0,5s^2\tau_0)/\operatorname{tg} \varphi = \\ = 2(c + s/\operatorname{tg} \varphi) \sigma_0 = u_{1пр} \sigma_0, \quad (43)$$

где  $u_{1пр}$  — приведенный периметр для первого момента вырубki.

Для последующих моментов усилие вырубki будет значительно меньше и имеет постоянную величину

$$P_2 = P_3 = \dots = P_n = mP''_1 = (m4 \cdot 0,5s^2\tau_0)/\operatorname{tg} \varphi, \quad (44)$$

где угол наклона  $\varphi$  берется в градусах.

В формулу (44) введен эмпирический коэффициент  $m$ , учитывающий влияние изгибающих сил, неравномерность распределения зазоров и т. д. На основании опытных данных автора, коэффициент  $m$  для материалов толщиной 0,5—4,0 мм в зависимости от угла наклона  $\varphi$  (2; 4; 6°) колеблется в пределах 1,05—1,25.

При вырубке пуансоном с наклонными режущими кромками кроме резки имеет место изгиб отделяемых концов детали. Отделяемую часть детали можно рассматривать как консольную балку, защемленную одним концом, на которую действует сила  $P_{1г}/2$  на расстоянии  $x = b = s/\operatorname{tg} \varphi$  (рис. 19, б). В этом случае полное усилие вырубki для первого момента определится из выражения

$$P_1 = P_{1в} + P_{1г} = 2(c + s/\operatorname{tg} \varphi) \sigma_0 + \frac{1,3c\sigma_0 \varepsilon}{3} (1,5 + \varepsilon_в) \operatorname{tg} \varphi, \quad (45)$$

где  $\varepsilon_в$  — относительное удлинение материала при растяжении образца в момент начала образования шейки.

Отметим, что  $P_{1г}$  по сравнению с  $P_{1в}$  для тонких материалов невелико, порядка 3—5%. При практических расчетах (когда вводится общий поправочный коэффициент  $k$ ) этим усилием можно пренебречь. Очевидно, расчет пресса следует производить по наибольшему усилию для первого момента  $P_1$  (рис. 19, а) с учетом поправочного коэффициента  $k$ .

Проведенные автором исследования по вырубке прямоугольных деталей пуансоном с наклонными режущими кромками показывают, что в этом случае при угле наклона  $\varphi = 2^\circ$  требуемое усилие вырубki снижается на 17—25% по сравнению с плоским пуансоном; при угле наклона  $\varphi = 4^\circ$  — на 45—55%, а при  $\varphi = 6^\circ$  — на 55—65%. Верхние пределы соответствуют тонким материалам (толщиной до 1,5 мм), нижние — более толстым (толщиной 1,5—3,5 мм).

**Методика определения усилия при вырубке круглых деталей.** Ниже рассматриваются методы определения усилия вырубki для трех типов пуансонов (или матриц), имеющих различные режущие кромки, чаще всего встречающихся на практике при вырубке

круглых деталей: цилиндрических пуансонов с наклоном режущих кромок внутрь; цилиндрических пуансонов с наклоном режущих кромок наружу; пуансонов, у которых режущие кромки образованы пересечением двух цилиндров со взаимно перпендикулярными осями.

Усилие вырубki при цилиндрическом пуансоне (радиусом  $R$ ) с наклоном режущих кромок внутрь (рис. 20) аналитическим спо-

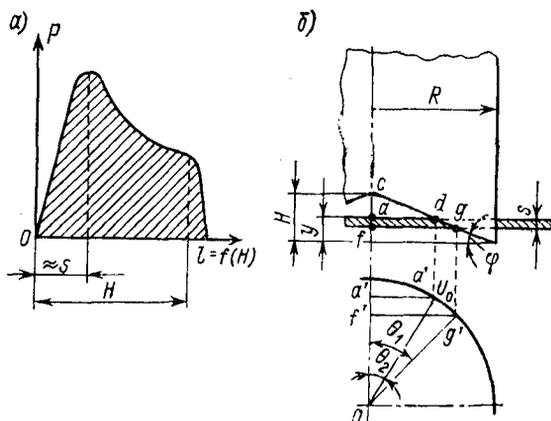


Рис. 20. Вырубка круглой детали пуансоном с наклоном режущих кромок внутрь:  $a$  — кривая усилия вырубki;  $b$  — схема к расчету усилия (по оси абсцисс — путь пуансона  $l$ ; по оси ординат — усилие  $P$ )

собом можно определить для любого момента резки, исходя из геометрических соотношений верхней и нижней проекций на рис. 20,  $b$ , по формуле

$$P = 4m_0u_0s\tau_0 = 4m_0R(\theta_1 - \theta_2)s\tau_0 = \\ = 4m_0R \left[ \arcsin \frac{H-y+s}{H} - \arcsin \frac{H-y}{H} \right] s\tau_0 = u_{\text{ип}}s\tau_0, \quad (46)$$

где  $H$  — высота наклона режущих кромок;  $y$  — переменная величина, зависящая от глубины опускания пуансона;  $m_0$  — коэффициент, учитывающий, что элементарная срезаемая площадка не равна площади прямоугольника  $u_0s_0$ , а меньше ( $m_0$  для материалов толщиной  $s$  до 2 мм равен 0,60—0,55, а для  $s$  от 2 до 4 мм — 0,55—0,50).

Максимальное усилие вырубki при работе таким пуансоном получается при  $y \approx s$  в начале (рис. 20,  $a$ ) резки и составляет при  $R = 30$  мм и угле наклона  $\varphi = 4 \div 6^\circ$  для материалов толщиной 0,5—3,5 мм 40—55% от усилия вырубki плоским пуансоном; при дальнейшем опускании пуансона усилие вырубki уменьшается.

Для цилиндрических пуансонов с наклоном режущих кромок наружу (рис. 21, б) усилие вырубki можно определить по формуле

$$P = 4m_0 u_0 s \tau_0 = 4m_0 R \left[ \arccos \frac{y-s}{H} - \arccos \frac{y}{H} \right] s \tau_0 = u_{np} s \tau_0. \quad (47)$$

Максимальное усилие вырубki при таком пуансоне получается в конце резки при  $y = H$  (рис. 21, а). Потребное усилие снижается при углах  $\varphi = 4 \div 6^\circ$  для одних и тех же материалов на 40—60% по сравнению с плоским пуансоном.

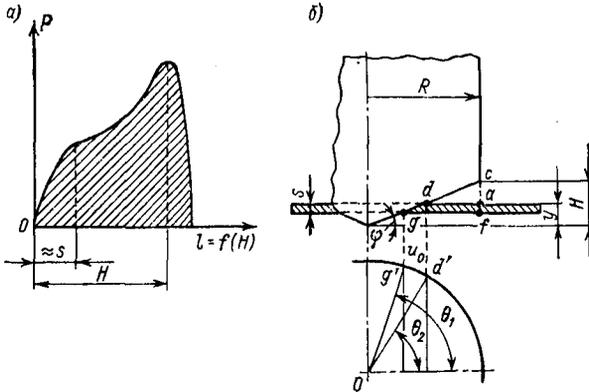


Рис. 21. Вырубка круглой детали пуансоном с наклоном режущих кромок наружу: а — кривая усилия вырубki; б — схема к расчету усилия

Следует отметить, что формулы (46) и (47) справедливы лишь при условии, что  $H \geq i_k \approx s$ . При несоблюдении этого условия они не являются точными и расчет усилия вырубki в этом случае лучше вести, как при вырубке плоским пуансоном, так как при  $H < s$  угол наклона  $\varphi$  получится небольшим.

Для пуансонов с переменным углом наклона режущих кромок от  $\varphi$  до 0, образованных пересечением двух цилиндров со взаимно перпендикулярными осями (рис. 22, б), усилие вырубki определяют из зависимости

$$P = 4m_0 R \left[ \arcsin \frac{r \sin \varphi_1}{R} - \arcsin \frac{r \sin \varphi_2}{R} \right] s \tau_0 = u_{np} s \tau_0. \quad (48)$$

Кривая усилия резки в этом случае будет иной, чем в двух предыдущих. Ее отличие заключается в наличии двух максимумов на кривой  $Oabcd$  (рис. 22, а), что вызывается особенностью формы режущих кромок пуансона (при этом величина  $H$  должна быть больше  $s$ ). Максимальное усилие вырубki при таком пуансоне снижается на 50—60% по сравнению с плоским пуансоном. В приведенных выше трех случаях пресс также следует подбирать по наибольшему усилию с учетом коэффициента  $k$ .

Скосы режущих кромок могут выполняться как на пуансоне, так и на матрице. В последнем случае подсчет усилия вырубki производится точно таким же путем, как и при вырубке пуансоном со скошенными режущими кромками. Указанные методы определения усилия остаются в силе и для вырубki деталей более сложной формы.

Вопрос о том, на какой рабочей части штампа должен быть выполнен скос, решается следующим образом. Если необходимо

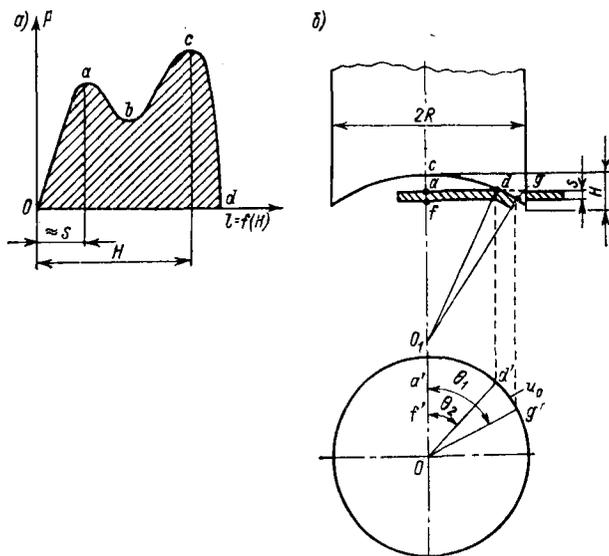


Рис. 22. Вырубка круглой детали пуансоном, режущие кромки которого образованы пересечением двух цилиндров: *a* — кривая усилия вырубki; *b* — схема к расчету усилия

вырубить деталь, то скос придают матрице, а пуансон изготавливается плоским. В этом случае деталь будет также плоской, а отход полосы — изогнутым. Если требуется получить ровную деталь с отверстием, то скос придают пуансону. При этом изогнутым получается отход, выталкиваемый из матрицы.

Во многопуансонных штампах, применяемых главным образом при пробивке отверстий, усилие вырубki можно уменьшить за счет ступенчатого расположения пуансонов, так как тогда максимальные усилия вырубki от каждого пуансона не совпадают во времени и не суммируются. Разность в высотах пуансонов достигается укорочением пуансона меньшего диаметра на  $(0,8 \div 0,5) s$ .

При вырубке деталей из толстого листа штампами с плоскими пуансонами, а также в случае применения скошенных режущих кромок, во избежание перегрузки прессы, следует в каждом от-

дельном случае сопоставлять кривую усилия резки — вырубки с кривой допустимых усилий пресса по условиям прочности вала. Следует иметь в виду, что максимальное усилие, развиваемое прессом (гарантированное паспортом пресса), получается близко к концу хода ползуна пресса. Во всех прочих положениях ползуна допустимое усилие пресса будет меньше.

Кроме того, пресс необходимо выбирать не только по максимальному усилию, но и по затрачиваемой работе на вырубку. При этом следует учесть, что усилия вырубки за один двойной ход пресса не складываются, а работы вырубки суммируются.

**Работа при вырубке штампами с наклонными режущими кромками.** Затрачиваемую работу при вырубке штампами с наклонными режущими кромками можно определить графически — измерением площади, ограниченной кривой вырубki, и аналитически — исходя из среднего усилия для данного процесса резки.

Среднее усилие определяется из выражения

$$P_{cp} = (P_1 + P_2 + \dots + P_n)/n_{yч}, \quad (49)$$

а работа (в Дж) по формуле

$$A'_н = P_{cp} H / 1000,$$

или по формуле

$$A'_н = P_{cp} (H + i_k) / 1000, \quad (50)$$

где  $H$  — высота наклона режущих кромок пуансона или матрицы, мм;  $i_k$  — глубина опускания в момент отделения металла, мм;  $n_{yч}$  — число условно принятых участков, равное  $H/s$ ; для прямоугольных деталей  $n_{yч} = b \operatorname{tg} \varphi / 2s$ .

Если исходить из того, что работа резки при вырубке штампами с наклонными режущими кромками должна быть несколько больше, чем при вырубке штампами с параллельными режущими кромками, вследствие отгиба листа, то

$$A'_н = (1 + 0,02\varphi) A_n, \quad (51)$$

где  $1 + 0,02\varphi$  — поправочный коэффициент, учитывающий влияние изгиба полосы на величину работы;  $\varphi$  — угол наклона режущих кромок пуансона или матрицы, град.

*Пример.* Определить усилие и затрачиваемую работу для вырубki прямоугольной пластины с размерами  $b = 120$  мм,  $c = 40$  мм; матрица с пояском; пуансон с углом наклона режущих кромок  $\varphi = 6^\circ$ . Материал — Ст3;  $s = 2,2$  мм;

$$\sigma_B = 430 \text{ МПа}; \delta_{10} = 26\%; \epsilon_B = \delta_B = 0,8\delta_{10} = 0,20; \tau_0 = 350 \text{ МПа}.$$

Усилие вырубki для первого (максимального) момента без учета изгиба концов

$$P_{1в} = 2(c + s/\operatorname{tg} \varphi) s \tau_0 = 2 \left( 40 + \frac{2,2}{0,105} \right) 2,2 \cdot 350 = 94 \text{ 000 Н}.$$

Усилие для отгиба надрезанных концов

$$P = \frac{1,3cs\sigma_B}{3} (1,5 + 0,8\delta_{10}) \operatorname{tg} \varphi = \frac{1,3 \cdot 40 \cdot 2,2 \cdot 430}{3} \times \\ \times (1,5 + 0,8 \cdot 0,26) 0,105 = 2950 \text{ Н.}$$

Полное усилие вырубki с учетом отгиба концов

$$P_1 = P_{1в} + P_{1г} = 94\,000 + 2\,950 = 96\,950 \text{ Н.}$$

Расчетное усилие для подбора оборудования  $P_p = kP_1 = 1,3 \cdot 96\,950 = 126\,500 \text{ Н}$ . Усилие вырубki снижается примерно на 60% по сравнению с усилием вырубki плоским пуансоном, где  $P_p = kP = 1,3 \cdot 246\,400 = 320\,320 \text{ Н}$ .

Усилие вырубki для последующих моментов

$$\frac{m4 \cdot 0,5s^2\tau_0}{\operatorname{tg} \varphi} = \frac{1,05 \cdot 4 \cdot 0,5 \cdot 2,2^2 \cdot 350}{0,105} = 33\,880 \text{ Н.}$$

Число участков (условно принятое) для полной вырубki

$$n_{\text{уч}} = \frac{b \operatorname{tg} \varphi}{2s} = \frac{120 \cdot 0,105}{2 \cdot 2,2} = 2,86.$$

Среднее усилие

$$P_{\text{ср}} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{n_{\text{уч}}} = \frac{P_1 + P_2 + 0,86P_2}{2,86} = \\ = \frac{96\,950 + 33\,880 + 0,86 \cdot 33\,880}{2,86} = 55\,800 \text{ Н.}$$

Затрачиваемая работа на вырубку

$$A'_n = \frac{P_{\text{ср}} 0,5b \operatorname{tg} \varphi}{1000} = \frac{55\,800 \cdot 60 \cdot 0,105}{1000} = 349 \text{ Дж.}$$

В этом случае работа вырубki получается несколько большей (примерно на 12—14%, в соответствии с коэффициентом  $1 + 0,02\varphi$  при  $\varphi = 6^\circ$ ), чем при работе штампами с параллельными режущими кромками, где  $A_n = 300 \text{ Дж}$ , вследствие учета дополнительного усилия на отгиб надрезанных концов и на преодоление трения (коэффициент  $m$ ).

### § 13. УСИЛИЯ ДЛЯ ПРОТАЛКИВАНИЯ ИЗДЕЛИЯ И СНЯТИЯ МАТЕРИАЛА С ПУАНСОНА

В процессе вырубki деталь после ее отделения от заготовки (полосы) получает некоторые упругие деформации (упругое последствие), которые приводят к ее застреванию в матрице. Аналогичное явление имеет место с материалом (заготовкой), остающимся на пуансоне. Для проталкивания детали через матрицу и съема материала с пуансона необходимо приложить определенные усилия.

Усилие для проталкивания изделия (или отхода) через отверстие матрицы  $Q_{\text{пр}}$  и усилие снятия материала с пуансона  $Q_{\text{сн}}$  в основном зависят от рода материала, его толщины, формы и размеров вырубаемого контура, от величины зазора (в сильной степени) и степени смазки материала (коэффициента трения). Усилие  $Q_{\text{пр}}$  зависит также и от формы проходного отверстия матрицы.

Если рассматривать тот случай работы штампа, когда притупление режущих кромок пуансона и матрицы не имеет места, когда отсутствуют изгиб полосы или кружка и приходится преодолевать только упругие деформации, тогда усилие проталкивания или усилия снятия можно определить аналитически, исходя из известных положений теории упругости. Схема расчета будет следующей.

Зная величину упругих деформаций — пружинения  $\delta$ , определяем радиальные напряжения  $q$ , действующие по торцу вырубленной детали или полосы, затем, помножив  $q$  на коэффициент трения для данного материала  $\mu$  и на соответствующую площадь проталкивания  $F_{\text{пр}}$  или съема  $F_{\text{сн}}$ , получим усилия  $Q_{\text{пр}}$  или  $Q_{\text{сн}}$ .

Величину упругих деформаций  $\delta$  можно определить теоретически [32, 93] или непосредственно из опыта, замерив диаметры нескольких деталей (отверстий) после вырубки (пробивки). На основании проведенных автором опытов установлено, что значения коэффициента трения в случае работы без смазки при проталкивании  $\mu_{\text{пр}}$  колеблются в пределах 0,18—0,35; при снятии  $\mu_{\text{сн}}$  — от 0,22 до 0,42. В среднем можно принять  $\mu_{\text{сн}} = \mu_{\text{пр}} = 0,20 \div 0,25$ . Наличие смазки снижает коэффициент трения на 20—40%.

На практике, ввиду притупления режущих кромок пуансона и матрицы и появления в результате этого заусенцев, а также вследствие изгиба кружка или полосы и ряда других факторов, действительное усилие проталкивания и съема может быть несколько выше того, которое получается при нормальных условиях работы.

#### Определение усилия для проталкивания изделия через матрицу

Для определения усилия проталкивания принимаем схему, согласно которой круглая пластина — кружок находится в запрессованном состоянии в отверстии матрицы, и на боковую поверхность (торец) этого кружка действует равномерно распределенное давление  $q$  (рис. 23). Поскольку толщина пластины мала по сравнению с диаметром, можно считать, что в данном случае имеет место плоское напряженное состояние, при котором напряжения  $\sigma_2 = \sigma_1$ , перпендикулярное к плоскости пластины, отсутствует.

Рассматривая условия равновесия выделенного элемента кружка, отстоящего на расстоянии  $r$  от его центра, и решая уравнения теории упругости, связывающие напряжения с деформациями, находим величину пружинения (упругой деформации) кружка по формуле

$$U_{\text{max}} = \frac{\delta}{2} = R \frac{1 - \mu_0}{E} q, \quad (52)$$

где  $E$  — модуль упругости при растяжении;  $\mu_0$  — коэффициент Пуассона;  $R$  — радиус кружка.

Отсюда напряжение на поверхности среза (проталкивания) кружка

$$q = \frac{E}{1 - \mu_0} \frac{U_{\max}}{R} = q_{\text{пр}}. \quad (53)$$

Зная величину  $q_{\text{пр}}$ , можно определить общее усилие для проталкивания детали при единичной работе, т. е. когда через матрицу проталкивается каждый кружок в отдельности:

$$Q_{\text{пр}} = F_{\text{пр}} q_{\text{пр}} \mu_{\text{пр}} = 2\pi R s q_{\text{пр}} \mu_{\text{пр}} = 2\pi R s \frac{E}{1 - \mu_0} \frac{U_{\max}}{R} \mu_{\text{пр}}. \quad (54)$$

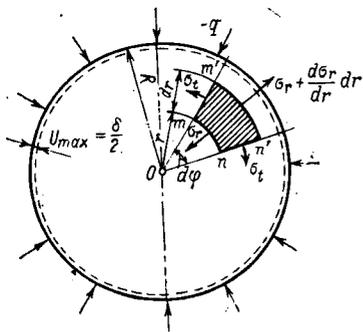


Рис. 23. Деформации и напряжения в кружке при проталкивании через матрицу (к расчету усилия проталкивания  $Q_{\text{пр}}$ )

Усилие проталкивания при непрерывной работе  $Q_{\text{пр.н}}$ , когда в отверстии матрицы будет находиться одновременно несколько заготовок  $n$ , будет, очевидно, больше  $Q_{\text{пр}}$ .

В матрице с цилиндрическим пояском при числе одновременно находящихся в ней деталей, равном  $n = h/s$  (где  $h$  — высота цилиндрического пояса матрицы), усилие проталкивания  $Q_{\text{пр.н}}$  определится из выражения

$$Q_{\text{пр.н}} = Q_{\text{пр}} n = F_{\text{пр}} q_{\text{пр}} \mu_{\text{пр}} n = 2\pi R s q_{\text{пр}} \mu_{\text{пр}} n. \quad (55)$$

Если в процессе проталкивания изделия через матрицу произойдет значительное защемление металла, так что наружные слои металла кружка будут доведены до состояния текучести, усилие проталкивания можно ориентировочно определить из выражения

$$Q_{\text{пр}} = (0,6 \div 0,7) F_{\text{пр}} \sigma_{\text{T}} \mu_{\text{пр}} = (0,6 \div 0,7) \mu s \sigma_{\text{T}} \mu_{\text{пр}}, \quad (56)$$

где  $\sigma_{\text{T}}$  — предел текучести металла;  $\mu_{\text{пр}}$  — коэффициент трения, равный 0,2—0,3; (0,6 ÷ 0,7) — коэффициент, учитывающий, что не вся поверхность проталкивания доводится до состояния текучести.

Вследствие того, что усилие проталкивания зависит в основном от тех же факторов, что и усилие вырубki, на практике, для упрощения расчетов,  $Q_{\text{пр}}$  принято определять в процентном отношении от усилия вырубki

$$Q_{\text{пр}} = k_{\text{пр}} P, \quad (57)$$

где  $k_{\text{пр}}$  — коэффициент, учитывающий влияние приведенных выше факторов; для материалов толщиной 0,5—4,0 мм он равен для стали 0,03—0,07; для меди и латуни 0,02—0,04; для алюминия 0,03—0,05; для дуралюмина 0,03—0,07. Для более тонких материалов следует брать значения  $k_{\text{пр}}$  ближе к верхнему пределу, а для более толстых — ближе к нижнему пределу.

При малых зазорах (от 5%  $s$  и ниже)  $Q_{\text{пр}}$  возрастает в 1,5—2,5 раза; при больших зазорах (более 20%  $s$ )  $Q_{\text{пр}}$  приближается к нулю. При наличии смазки усилие проталкивания можно уменьшить на 20—40%.

В случае, когда производится выталкивание изделия из матрицы в направлении, обратном движению пуансона, усилие  $Q_{\text{выт}}$  вследствие выпучивания и распора детали будет больше на 40—60% по сравнению с  $Q_{\text{пр}}$ .

В матрицах, где конус начинается у самой режущей кромки, по мере проталкивания усилие  $Q_{\text{пр}}$  убывает, а в матрицах с цилиндрическим пояском  $Q_{\text{пр}}$  остается примерно постоянным.

Общее усилие проталкивания при работе на матрицах с конусом также будет значительно ниже, чем на матрицах с цилиндрическим пояском (примерно на 3—5%).

#### Определение усилия для снятия материала с пуансона

При выводе расчетных формул для определения усилия снятия материала с пуансона принимаем схему, согласно которой полоса (заготовка) после вырубki представляется как тонкая шайба радиусом  $R$ , напессованная на вал — пуансон радиусом  $R_0$  (рис. 24).

Усилие съема для этого случая можно найти исходя из условий, что давление на наружной поверхности заготовки равно нулю, а на внутренней будет действовать равномерно распределенное давление  $q$ . Используя для этого случая известные формулы из теории упругости, после соответствующих решений и преобразований получим выражение для определения величины упругой деформации отверстия:

$$U_{\text{max}} = \frac{\delta}{2} = Re_t = \frac{1}{E} \frac{qR_0}{R^2 - R_0^2} [(1 - \mu_0)R_0^2 + (1 + \mu_0)R^2]. \quad (58)$$

Отсюда радиальное напряжение на внутренней поверхности отверстия будет

$$q = \frac{EU_{\text{max}}}{R_0} \frac{R^2 - R_0^2}{[(1 - \mu_0)R_0^2 + (1 + \mu_0)R^2]} = q_{\text{сн}}. \quad (59)$$

Тогда усилие для снятия материала с пуансона определится из выражения

$$\begin{aligned} Q'_{\text{сн}} &= F_{\text{сн}} q_{\text{сн}} \mu_{\text{сн}} = 2\pi R_0 s q_{\text{сн}} \mu_{\text{сн}} = \\ &= 2\pi R_0 s \frac{EU_{\text{max}}}{R_0} \frac{R^2 - R_0^2}{[(1 - \mu_0)R_0^2 + (1 + \mu_0)R^2]} \mu_{\text{сн}}, \end{aligned} \quad (60)$$

где  $\mu_{\text{сн}}$  — коэффициент трения при съеме материала с пуансона. Здесь, так же как и при проталкивании, если в процессе снятия материала с пуансона слой металла, прилегающие к нему,

будут доведены до состояния текучести, можно пользоваться выражением, аналогичным формуле (56):

$$Q_{сн} = (0,6 \div 0,7) F_{сн} \sigma_{тл} \mu_{сн} = (0,6 \div 0,7) u \sigma_{тл} \mu_{сн}. \quad (61)$$

Усилие  $Q_{сн}$  зависит в основном от тех же факторов, что и усилие  $Q_{пр}$  (за исключением формы проходного отверстия матрицы). Кроме того, при сьеме материала с пуансона заметное влияние на  $Q_{сн}$  оказывает величина перемычки  $a$  и изгиб самой полосы (заготовки).

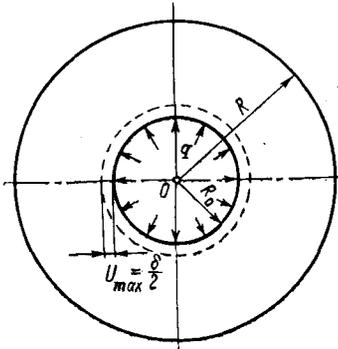
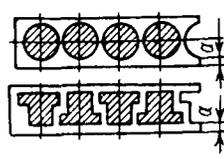
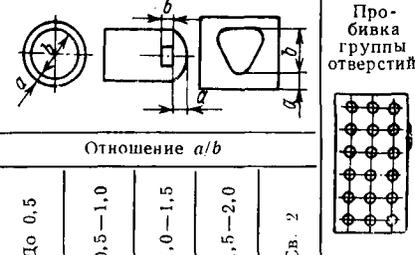


Рис. 24. Деформации и напряжения в шайбе при снятии ее с пуансона после пробивки (к расчету усилия снятия материала с пуансона  $Q_{сн}$ )

Из анализа формул (59) и (60) видно, что с увеличением перемычки  $a$  равносильное увеличение радиуса  $R$ , значения  $q_{сн}$  и  $Q_{сн}$  возрастают. Однако при значительной перемычке ее дальнейшее увеличение не приводит к возрастанию  $q_{сн}$  и  $Q_{сн}$ . Практически, при  $R_0/R = 0,10$  величина  $Q_{сн}$  принимает почти постоянное значение. Это положение находит подтверждение и на практике при пробивке отверстий в больших листах. Таким образом, для уменьшения потребного усилия снятия материала с пуансона (кроме экономических соображений) целесообразно работать при наименьших возможных перемычках.

Для уменьшения потребного усилия снятия материала с пуансона (кроме экономических соображений) целесообразно работать при наименьших возможных перемычках.

### 5. Значения коэффициентов $k_{сн}$ при смазке материала

Материал	Съем отхода  Вырубка детали в полосе Перемычка $a$ , нормальная  	Съем детали					
		Пробивка отверстий в детали  					
		Отношение $a/b$					
		До 0,5	0,5—1,0	1,0—1,5	1,5—2,0	Св. 2	
Сталь	0,03	0,04	0,045	0,05	0,06	0,07	0,07
Латунь, медь, цинк	0,02	0,03	0,035	0,04	0,05	0,06	0,06
Алюминий, дуралюмин	0,025	0,045	0,05	0,06	0,07	0,08	0,08

Усилие съема (снятия) материала с пуансона можно также определить по эмпирической формуле

$$Q_{\text{сн}} = k_{\text{сн}} P, \quad (62)$$

где  $k_{\text{сн}}$  — коэффициент, учитывающий влияние различных факторов на величину  $Q_{\text{сн}}$ .

В табл. 5 приведены значения  $k_{\text{сн}}$  в зависимости от величины перемычки при вырубке деталей со смазкой из полосы, а также при пробивке отверстий в детали. При отсутствии смазки усилие съема увеличивается на 20—40%. По мере уменьшения перемычки усилие съема соответственно снижается.

При работе на простом или на совмещенном штампе, когда для проталкивания деталей и снятия полосы применяется буферное устройство,  $Q_{\text{пр}}$  и  $Q_{\text{сн}}$  суммируются с усилием вырубki  $P$  и учитываются при расчете штампа и выборе общего усилия прессы.

#### § 14. ЗАЗОРЫ МЕЖДУ МАТРИЦЕЙ И ПУАНСОНОМ ПРИ ВЫРУБКЕ

Под технологическим зазором понимают положительную или отрицательную разность рабочих размеров матрицы и пуансона  $z$  (рис. 25, а).

Зазор оказывает сильное влияние на величину потребного усилия и работы вырубki, качество поверхности среза, точность получаемой детали, износ и стойкость штампа. В большинстве случаев наибольшее значение на практике имеет качество изделия. К последнему при вырубке деталей

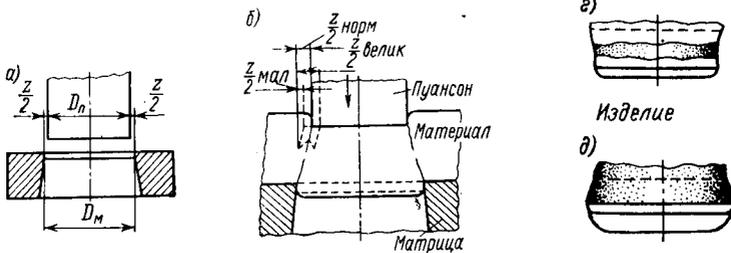


Рис. 25. Зазор между матрицей и пуансоном (а), совпадение и несовпадение скальвающих трещин (б) и форма поверхности среза вырубленной детали при нормальном (в), малом (г) и большом (д) зазорах

или пробивке отверстий предъясняются зачастую высокие требования. Они сводятся к тому, чтобы поверхность среза была чистой, без рванин и трещин, без заусенцев. Деталь по возможности должна быть плоской.

Решающее значение в вопросе качества вырубki (пробивки) оказывает величина зазора. При нормальном зазоре трещины, идущие от режущих кромок пуансона и матрицы, совпадают (рис. 25, б),

что и способствует образованию качественной, без рванин, трещин и заусенцев поверхности среза. Такая поверхность показана на рис. 25, в. Верхняя часть детали имеет размеры, соответствующие размерам пуансона, а нижняя — матрицы. Как видно из рис. 25, в, часть детали, обращенная к матрице, имеет характерный блестящий поясок с небольшим закруглением в углу; часть, обращенная к пуансону, является слегка конической и шероховатой. Боковая поверхность детали (поверхность среза) получается, таким образом, не строго вертикальной, однако по своему виду вполне удовлетворительной.

Следует отметить, что удовлетворительная форма поверхности среза получается при острых режущих кромках штампа даже и при достаточно больших зазорах — до 30% от толщины.

При малом зазоре (рис. 25, г) скалывающие трещины не совпадают, а идут как бы параллельно на некотором расстоянии друг от друга. При окончательном разрыве металл между этими трещинами образует рванину и слоистость на поверхности среза. В результате этого в верхней части детали образуется второй блестящий поясок с протянутым заусенцем, неровным зубчатым краем и небольшим конусным уширением кверху.)

В случае большого зазора (рис. 25, д) при очень тонком материале (до 1,5 мм) происходит вытягивание металла в зазор между матрицей и пуансоном с последующим обрывом. Изделие при этом выходит с рваными заусенцами, имеющими вид затянутых краев. Очень большие зазоры (свыше 30—40% от толщины) при вырубке более толстых материалов приводят к образованию сильно закругленной кромки детали со стороны матрицы и кромки отверстия со стороны пуансона.

На качестве поверхности среза сказывается и притупление режущих кромок пуансона и матрицы, а также неравномерное распределение зазора по контуру вырубки. В последнем случае часть контура может получиться удовлетворительной, а другая — с заусенцем. Кроме того, неравномерный зазор приводит к затуплению части режущих кромок.

Неправильный зазор и тупые режущие кромки штампа увеличивают потребное усилие и работу вырубки.

#### **Установление величины зазора между матрицей и пуансоном**

Величина зазора зависит от механических свойств и толщины материала, а также режима работы прессы — числа двойных ходов ползуна в минуту.)

В зависимости от рода и толщины материала величина зазора (для толщин от 0,5 до 10—12 мм) колеблется в пределах 4—16% толщины материала. При выборе зазора стремятся к установлению оптимальной его величины, при которой удовлетворяются основные четыре условия качественной вырубки, а именно: наименьшее

усилие вырубки, высокое качество поверхности среза изделия, наибольшая точность штамповки и, как следствие, наиболее высокая стойкость штампа.

При использовании более толстого материала диапазон оптимальных зазоров больше, чем тонкого. Это связано с меньшим влиянием затупления режущих кромок инструмента по мере его работы на образование заусенцев при вырубке толстых материалов. При сравнительно острых режущих кромках штампа тонкий материал также позволяет производить работу при определенных интервалах величины зазора. Таким образом, качественная вырубка может производиться в некотором интервале зазоров как для толстых, так и для тонких металлов. Поэтому целесообразно установить следующие понятия:

1) *минимальное значение оптимального зазора* (для каждого материала и толщины)  $z_{\min}$ , при котором торцовая кромка среза становится почти перпендикулярной к плоскости детали без заметного образования заусенцев;

2) *максимальное значение оптимального зазора*  $z_{\max}$ , при котором поверхность среза остается удовлетворительной, хотя и не является вертикальной.

Так как по мере работы (износа) штампа зазор между матрицей и пуансоном увеличивается, то для вновь изготовленного штампа следует задавать зазор, близкий к минимальному ( $z_{\min}$ ). Зазоры задают в зависимости от рода и толщины материала. С увеличением твердости и толщины материала величина зазора в процентном отношении к толщине материала увеличивается.

Зазор можно определить из зависимости

$$z = ms, \quad (63)$$

где  $m$  — переменный коэффициент, учитывающий род и толщину материала.

В табл. 6 приведены значения минимальных и максимальных начальных двусторонних диаметральных зазоров для различных материалов при работе на прессах с числом ходов 120—140 в минуту. Для ножниц, а также для односторонних отрезных штампов зазор следует брать равным половине  $z_{\min}$ .

Оптимальная величина зазоров  $z_{\min}$  при вырубке на повышенном числе двойных ходов пресса ( $n > 140$  об/мин) должна быть увеличена по сравнению с табличными данными в 1,5—2,0 раза. Например, для углеродистой стали толщиной до 2 мм оптимальный зазор составляет 15—20% от толщины материала.

Увеличение  $z_{\min}$  обеспечивает нормальный процесс вырубki при повышенных скоростях, так как в противном случае будет иметь место «заедание» пуансона в матрице, которое получается вследствие того, что пуансон и матрица, разогреваясь, неравномерно увеличивают свои размеры.

**6. Минимальные и максимальные начальные двусторонние зазоры между матрицей и пуансоном вырубных и пробивных штампов, мм**

Толщина материала $s$ , мм	Материал					
	Сталь мягкая (марок 08, 10, 15, Ст1, Ст2), медь, мягкая латунь, алюминий		Сталь средней твердости (марок 20, 25, 30, 35, Ст3, Ст4), твердая латунь		Сталь твердая (марок 40, 45, 50, Ст5, Ст6 и выше), твердая бронза	
	$z_{\min}$	$z_{\max}$	$z_{\min}$	$z_{\max}$	$z_{\min}$	$z_{\max}$
0,2	0,005	0,020	0,010	0,025	0,010	0,030
0,3	0,010	0,030	0,015	0,035	0,015	0,035
0,4	0,015	0,035	0,020	0,040	0,025	0,045
0,5	0,020	0,040	0,025	0,050	0,030	0,055
0,6	0,025	0,050	0,030	0,060	0,040	0,070
0,8	0,030	0,065	0,040	0,080	0,050	0,090
1,0	0,040	0,080	0,050	0,100	0,060	0,110
1,2	0,060	0,120	0,070	0,130	0,080	0,160
1,5	0,075	0,140	0,090	0,165	0,100	0,195
1,8	0,090	0,160	0,110	0,200	0,130	0,230
2,0	0,100	0,180	0,120	0,220	0,140	0,260
2,5	0,125	0,225	0,150	0,275	0,175	0,325
3,0	0,150	0,270	0,180	0,330	0,210	0,390
3,5	0,210	0,350	0,245	0,420	0,280	0,490
4,0	0,240	0,400	0,280	0,480	0,320	0,560
4,5	0,270	0,450	0,315	0,540	0,360	0,630
5,0	0,300	0,500	0,350	0,600	0,400	0,700
6,0	0,400	0,660	0,500	0,800	0,500	0,900
7,0	0,500	0,770	0,600	0,900	0,600	1,100
8,0	0,600	0,880	0,700	1,100	0,700	1,200
9,0	0,700	1,000	0,800	1,300	0,900	1,400
10,0	0,800	1,200	0,900	1,400	1,000	1,600
12,0	1,000	1,500	1,100	1,700	1,200	2,000
14,0	1,400	2,000	1,500	2,100	1,700	2,200
16,0	1,600	2,300	1,800	2,400	2,000	2,600
18,0	2,400	2,800	3,000	3,400	3,400	3,800
22,0	3,500	4,000	4,100	4,600	4,700	5,200
26,0	4,500	5,000	5,300	5,800	6,200	6,700

**Установление направления зазора**

Выше было отмечено, что величина вырубаемой детали зависит от размера матрицы, а величина пробиваемого отверстия — от размера пуансона. Это позволяет вывести правило, устанавливающее направление зазора в зависимости от того, какие размеры детали необходимо выдержать — наружные или внутренние. В случае вырубки наружного контура номинальные размеры детали  $D_n$  придаются матрице  $D_m = D_n$ , а зазор  $z$  осуществляется за счет уменьшения размеров пуансона  $D_n$ , т. е.  $D_n = D_n - z$ . При пробивке отверстия его номинальные размеры  $d_n$  придаются пуансону  $d_n$ , а зазор  $z$  осуществляется за счет увеличения размеров матрицы  $d_m$ , т. е.  $d_m = d_n + z$ .

## § 15. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ — РАБОЧИХ РАЗМЕРОВ ПУАНСОНОВ И МАТРИЦ ВЫРУБНЫХ И ПРОБИВНЫХ ШТАМПОВ

При определении исполнительных — рабочих размеров пуансонов и матриц для разделительных операций следует исходить из размеров штампуемого изделия, его точности (допуска на изготовление изделия) и характера износа штампа. Для получения штампуемого изделия с заданной степенью точности необходимо предусмотреть правильный выбор (назначение) зазоров и допусков на рабочие размеры штампа. При этом допуски на рабочие размеры пуансонов и матриц должны задаваться в таких пределах, чтобы они обеспечили получение оптимальных зазоров.

### Допуски на исполнительные — рабочие размеры пуансона и матрицы при вырубке и пробивке круглого контура

На рис. 26 дана схема расположения допусков на пуансон и матрицу при вырубке круглого наружного контура (а) и пробивке круглого отверстия (б). Учитывая, что износ матрицы приводит к увеличению ее размеров, а износ пуансона — к уменьшению,

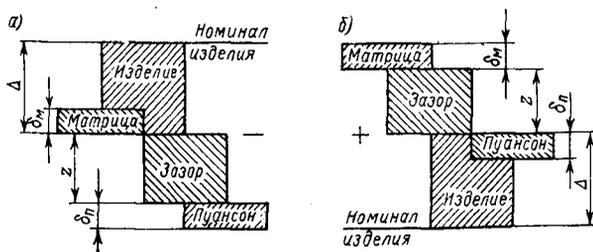


Рис. 26. Схема расположения допусков на исполнительные — рабочие размеры пуансона и матрицы при вырубке (пробивке) круглого контура

номинальные размеры их задаются соответственно: минимальный — для матрицы и максимальный — для пуансона.

Как видно из рис. 26, размеры пуансонов и матриц определяются по следующим формулам:

при вырубке наружного контура

$$D_m = (D_n - \Delta')^{+\delta_m}; \quad (64)$$

$$D_n = (D_n - \Delta' - z_{\min})_{-\delta_n}; \quad (65)$$

при пробивке отверстий

$$d_n = (d_n + \Delta')_{-\delta_n}; \quad (66)$$

$$d_m = (d_n + \Delta' + z_{\min})^{+\delta_m}. \quad (67)$$

Здесь  $D_{\text{п}}, D_{\text{м}}, d_{\text{п}}, d_{\text{м}}$  — диаметры пуансонов и матриц при вырубке и пробивке;  $D_{\text{н}}, d_{\text{н}}$  — номинальные диаметры изделия;  $z_{\text{мин}}$  — минимальный (гарантированный) зазор между матрицей и пуансоном;  $\Delta'$  — припуск на износ инструмента;  $\delta_{\text{п}}, \delta_{\text{м}}$  — допуск на изготовление соответственно пуансона и матрицы. Поле допуска штампуемой детали  $\Delta$  (наружный контур или отверстие) задается чертёжом.

При определении исполнительных размеров штампа следует учесть и припуск на износ  $\Delta'$ , который определяется в зависимости от требуемой точности штамповки детали: для 2—3-го классов точности при  $\Delta \leq 0,1$  мм  $\Delta' = \Delta$ ; для 5—7-го классов при  $\Delta > 0,1$  мм  $\Delta' = 0,8\Delta$  (схема расположения допусков на рис. 26 дана при  $\Delta' = \Delta$ ).

Сумма допусков на изготовление матрицы и пуансона не должна превышать допуска на зазор  $\delta_{\text{п}} + \delta_{\text{м}} \leq (z_{\text{max}} - z_{\text{мин}})$ , причем  $\delta_{\text{п}} \approx 0,5\delta_{\text{м}}$ . Допуск  $\delta_{\text{м}}$  берут по 2-му классу точности при вырубке контура из тонких материалов ( $s$  до 4 мм); при  $s > 4$  мм и для крупногабаритных деталей  $\delta_{\text{м}}$  берут по 3-му классу точности. При вырубке фигурного контура уже при  $s > 3$  мм  $\delta_{\text{м}}$  можно брать по 3-му классу точности. При пробивке отверстия в соответствии с толщиной материала принимают допуск  $\delta_{\text{п}}$  по 2 и 3-му классам точности.

Допуски на изготовление пуансона и матрицы выбираются по соответствующим таблицам допусков по ГОСТу в зависимости от класса точности и номинальных размеров пуансона и матрицы.

*Пример.* Вырубается шайба с наружным диаметром  $D_{\text{н}} = 60$  мм, внутренним  $d_{\text{н}} = 30$  мм и толщиной  $s = 2,2$  мм. Материал — сталь средней твердости. Допуск на изделие задан по 5-му классу точности (60С<sub>5</sub> и 30А<sub>5</sub>).

Следовательно,  $\Delta_{60} = 0,40$  мм,  $\Delta'_{60} = 0,8\Delta_{60} = 0,32$  мм;  $\Delta_{30} = 0,28$  мм;  $\Delta'_{30} = 0,8\Delta_{30} = 0,23$  мм. По табл. 6 для толщины материала 2,2 мм (берем ближайшее меньшее значение — 2,0 мм) находим  $z_{\text{мин}} = 0,12$  мм. Затем по таблицам допусков для размеров 60 и 30 мм находим соответствующие значения  $\delta_{\text{м}}$  и  $\delta_{\text{п}}$  (округляя их):  $\delta_{\text{м}60} = 0,05$  мм;  $\delta_{\text{п}60} = 0,03$  мм;  $\delta_{\text{м}30} = 0,037$  мм;  $\delta_{\text{п}30} = 0,02$  мм.

По формулам (64) и (65) для наружного контура с учетом припуска на износ имеем:

$$D_{\text{м}} = (60 - 0,32)^{+0,05} = 59,68^{+0,05} \text{ мм};$$

$$D_{\text{п}} = (60 - 0,32 - 0,12)_{-0,03} = 59,56_{-0,03} \text{ мм}.$$

По формулам (66) и (67) для отверстия имеем:

$$d_{\text{п}} = (30 + 0,23)_{-0,037} = 30,23_{-0,037} \text{ мм};$$

$$d_{\text{м}} = (30 + 0,23 + 0,12)^{+0,02} = 30,35^{+0,02} \text{ мм}.$$

**Допуски на исполнительные — рабочие размеры пуансона и матрицы при вырубке и пробивке некруглого — сложного контура**

**Вырубка наружного контура.** При вырубке наружного контура все размеры и допуски, связанные с вырубкой детали, проставляют на чертеже матрицы. На чертеже пуансона делают примечание: «Пуансон пригнать по матрице с зазором  $z_{\text{мин}}$ ».

Различают три вида рабочих размеров матриц (рис. 27, б):

1) увеличивающиеся ( $a - a_4$ );

2) уменьшающиеся ( $b - b_1$ );

3) не изменяющиеся ( $c - c_1$ ;  $f$ ) при износе и перешлифовке матрицы.

В зависимости от указанной характеристики размеров допуски на рабочие размеры матрицы проставляют исходя из следующих правил.

Для увеличивающихся размеров номинальный размер матрицы принимают равным нижнему предельному размеру вырубаемой

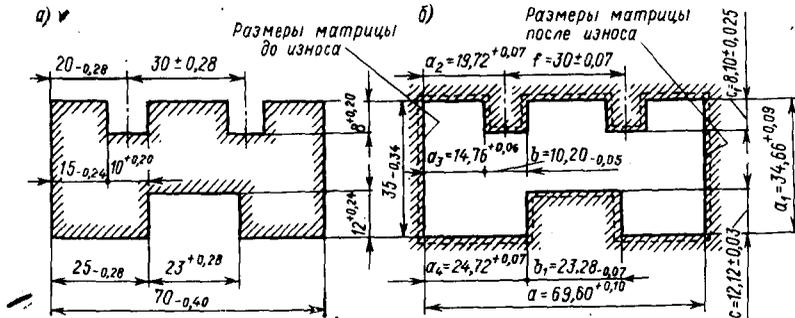


Рис. 27. Схема простановки допусков на исполнительные — рабочие размеры матрицы при вырубке детали сложного контура

детали; допуск на матрицу устанавливают в плюс от номинала (в тело матрицы) и численно равным 25% от допуска на деталь.

Для уменьшающихся размеров номинальный размер матрицы принимают равным верхнему предельному размеру детали; допуск на матрицу берут в минус от установленного номинала (в тело матрицы) и численно равным тоже 25% от допуска на деталь.

Для неизменяющихся размеров (размеры  $c - c_1$ ) номинальный размер матрицы берут равным нижнему предельному размеру вырубаемой детали плюс половина допуска на деталь.

Допуск на изготовление матрицы делают симметричным и равным  $\pm 25\%$  от допуска на деталь. Для размеров  $f$  принимают номинал  $\pm 25\%$  от допуска на деталь.

На рис. 27, б показан пример расчета и простановки размеров и допусков на матрице при вырубке детали сложной формы из стали толщиной 2 мм (рис. 27, а). Допуски на деталь заданы по 5-му классу точности.

**Пробивка отверстия.** При пробивке отверстия сложного контура все размеры и допуски проставляют на чертеже пуансона, а на чертеже матрицы делают примечание: «Матрицу пригнать по пуансону с зазором  $z_{\min}$ ». Здесь также все рабочие размеры пуансона разбивают на три вида (рис. 28, б):

1) уменьшающиеся ( $a' - a_4$ );

2) увеличивающиеся ( $b' - b'_i$ );

3) не изменяющиеся ( $c' - c'_i$ ;  $f'$ ) при износе и перешлифовке боковых граней пуансона.

Для уменьшающихся размеров номинальный размер пуансона принимают равным верхнему предельному размеру пробиваемого отверстия; допуск на пуансон направлен в минус от установленного номинала (в тело пуансона) и численно равен 25% от допуска на отверстие.

Для увеличивающихся размеров номинальный размер пуансона берут равным нижнему предельному размеру пробиваемого

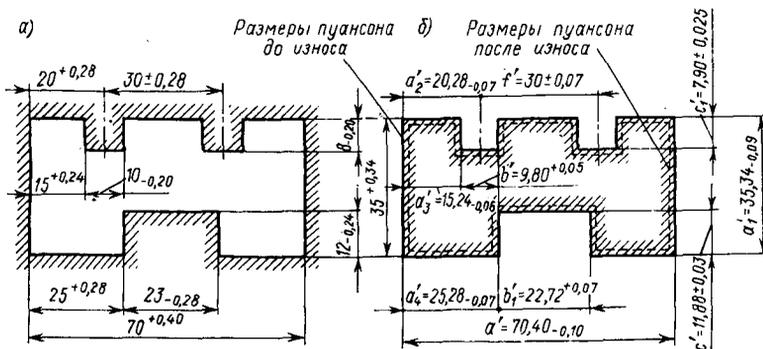


Рис. 28. Схема простановки допусков на исполнительные — рабочие размеры пуансона при пробивке отверстия сложного контура

отверстия; допуск на пуансон направлен в плюс от номинала отверстия (т. е. в тело) и численно равен 25% от допуска на отверстие.

Для неизменяющихся размеров ( $c' - c'_i$ ) номинальный размер пуансона берут равным нижнему предельному размеру пробиваемого отверстия плюс половина допуска на соответствующий размер отверстия.

Допуск на пуансон располагают симметрично и берут его равным  $\pm 25\%$  от допуска на отверстие. Для размеров  $f'$  принимают номинал  $\pm 25\%$  от допуска на отверстие.

На рис. 28, б дан пример расчета и простановки размеров и допусков на пуансоне при пробивке отверстия сложной формы в стальной детали толщиной 2 мм (рис. 28, а). Допуски на отверстие заданы по 5-му классу точности.

При изготовлении сложных по конфигурации составных матриц и пуансонов можно их рабочие части шлифовать по заданным расчетным размерам, без подгонки матрицы к пуансону или пуансона к матрице.

## § 16. ТОЧНОСТЬ ПРИ ВЫРУБКЕ И ПРОБИВКЕ

Под точностью изготовления детали обычно принято понимать степень приближения ее формы и размеров, полученных при штамповке, к заданным чертежом форме и номинальным размерам.

Так как при вырубке (пробивке) номинальные размеры вырубленной детали придают матрице, а пробиваемого отверстия — пуансону, то под точностью штамповки также понимают степень приближения (отклонение) формы и размеров вырубленных деталей и пробиваемых отверстий от формы и размеров матрицы и пуансона.

На точность штамповки деталей, получаемых вырубкой и пробивкой; влияет ряд факторов, связанных с материалом (деталью), штампом, прессом и условиями работы.

Основными из них являются следующие:

1) род материала и его состояние (нормальный, отожженный, наклепанный — подкатанный), влияющие на упругие деформации его;

2) технология прокатки (прокатка в горячем или холодном состоянии, различное напряженно-деформированное состояние, создающееся при прокатке узких или широких полос или листов), направление прокатки — анизотропия металла;

3) конфигурация и размеры штампуемых деталей;

4) технологический процесс штамповки (раздельная или совмещенная штамповка);

5) конструкция штампа (с прижимом материала или без него, с направляющими колонками или без них и т. д.);

6) зазор между матрицей и пуансоном и равномерность его распределения по контуру;

7) форма и наклон проходного отверстия матрицы;

8) исходное состояние штампа и его стойкость;

9) конструкция и состояние пресса (жесткость станины, степень изношенности частей пресса, точность направления ползуна пресса и т. д.);

10) условия работы и аккуратность при установке заготовок и снятия вырубленных деталей после штамповки (главным образом для крупногабаритных деталей из тонкого материала). При вырубке наружного контура на точность штамповки частично влияет также и величина перемычки.

В зависимости от рода (состояния) и толщины материала получаем те или иные упругие деформации (пружинение материала), которые влияют на изменение размеров после вырубки (пробивки) деталей (отверсти) штампом. Чем мягче материал, тем меньше абсолютные значения отклонений размеров вырубленных деталей от номинального диаметра изделия или от размера штампа.

С увеличением относительной толщины металла  $[s/D$  в абсолютных единицах или  $(s/D) 100\%$ ] максимальные значения отклонений уменьшаются, как это видно из опытных кривых (см. рис. 29).

*Технология прокатки листов* в горячем или холодном состоянии, без отжига или с применением отжига после прокатки при том или ином термическом режиме влияет на структуру и на анизотропию металла. Анизотропия металла заключается в том, что механические свойства металла в различных направлениях

прокатки неодинаковые: в продольном направлении прочностные показатели ( $\sigma_t$ ,  $\sigma_B$ ) ниже, чем в поперечном направлении, а пластические показатели ( $\delta$ ), наоборот, выше, чем в поперечном направлении (например, у котельной стали, электротехнической стали марок 1211, 1212, 1213, 1311, 1312 и др.).

При вырубке мелких и средних деталей с размером до 150—200 мм упругие деформации (упругое последствие) не так сильно влияют на изменение размеров отштампованных деталей. При вырубке крупногабаритных деталей с размером свыше 300 мм напряженно-деформированное состояние металла при прокатке листа и анизотропия металла значительно влияют на упругие деформации и на отклонение размеров вырубленных деталей от номинального диаметра изделия или от размеров штампа.

По опытным данным автора, при вырубке статорных листов — колец с наружным диаметром 990 мм и внутренним диаметром 728 мм из сталей 1212, 1311 и 1411 толщиной 0,5 мм размеры кольца в продольном направлении прокатки были ниже номинального диаметра изделия и штампа, а в поперечном направлении, наоборот, выше.

Под углом 45° к направлению прокатки одни размеры кольца находятся выше, другие ниже номинального диаметра изделия и штампа, т. е. получается овал или эллипс с большей осью в поперечном и с меньшей осью в продольном направлении.

У отожженных листов деформация и овальность кольца получается меньше, чем у листов в состоянии поставки; у подкатанных (наклепанных в холодном состоянии листов), наоборот, — больше. В среднем отклонения размеров для диаметров 700—900 мм при  $s < 2$  мм составляют 0,06—0,08% от диаметра.

*Конфигурация и размеры штампуемых деталей* влияют на точность изготовления их: простая форма и небольшие размеры детали позволяют обеспечить более высокий класс точности, чем для деталей сложной формы и с большими размерами.

*Технологический процесс штамповки*, а также раскрой материала и связанная с технологией процесса конструкция штампа влияют на точность штамповки.

При раздельной штамповке деталей (для изготовления которых необходимо несколько операций) на обычных штампах точность изготовления получается ниже, чем при совмещенной штамповке.

Для обеспечения повышенной точности штамповки (3—4-й классы) при вырубке или пробивке деталей из тонкого материала ( $s < 2$  мм) следует применять штампы с направляющим устройством (колонки) и с прижимом материала во время работы. Такая же точность обеспечивается и при одновременной вырубке и пробивке на совмещенных штампах.

Средняя точность штамповки (5—7-й классы) обеспечивается при изготовлении мелких и средних деталей (с размером до 150—200 мм и при  $s < 4$  мм) как на раздельных штампах, так и на последовательно действующих; при штамповке более крупных де-

талей (размером свыше 300 мм) — только на штампах с прижимом материала и на совмещенных штампах.

При данной конструкции штампа большое влияние на точность штамповки оказывает *величина зазора между матрицей и пуансоном*, а также равномерное распределение зазора по контуру. Влияние зазора на точность вырубке и пробивке особенно ощутимо при штамповке мелких и средних деталей с размером до 150—200 мм.

Кривые, приведенные на рис. 29 и 30, характеризуют отклонение размеров детали при вырубке и пробивке в зависимости от величины зазора, рода и толщины материала и размеров детали ( $d$  и  $D$ ). Как следует из рис. 29,  $a$ — $b$ , положительным отклонениям размеров детали при вырубке (увеличению размеров) соответствуют меньшие значения зазоров, а отрицательным — большие значения. При пробивке отверстий имеет место обратная зависимость (рис. 30).

Каждому металлу данной толщины соответствует только одно значение зазора, при котором размеры вырубленной детали совпадают с размерами матрицы, а размеры пробиваемого отверстия — с пуансоном; в остальных случаях имеет место отклонение размеров. Характерно, что зазоры, определяющие совпадение размеров детали с размерами штампа, либо равны оптимальным зазорам, при которых усилие вырубке имеет наименьшее значение, либо очень близки к ним.

Оптимальными (по точности вырубке) зазорами называются такие, при которых происходит наибольшее приближение размеров детали (отверстия) к размерам матрицы (пуансона) или, в идеальном случае, их полное совпадение.

Для установления зависимости отклонений размеров вырубляемых деталей  $\delta_1$  и пробиваемых отверстий  $\delta_2$  от величины зазора  $z$  рассмотрим опытные кривые (рис. 29 и 30). Легко заметить, что все они имеют общий характер. Большинство кривых приближается по виду к кубической параболе [26].

Матрица с цилиндрическим пояском и равномерное распределение зазора по контуру также способствуют получению деталей более высокого качества и более точных.

Достижимая точность и соответствующее качество поверхности среза при вырубке (пробивке) обеспечиваются при условии работы на прессах с достаточной жесткостью станины и с надежным направлением ползуна, а также при работе на штампах с относительно острыми режущими кромками при достаточной их твердости после термической обработки (закалки и отпуска).

При вырубке крупногабаритных деталей, особенно из тонких металлов (например, листов статора и ротора электромашин) для повышения точности штамповки следует обратить внимание на аккуратность работы при установке заготовок на штамп и снятия вырубленных деталей после штамповки, применяя специальные приспособления.

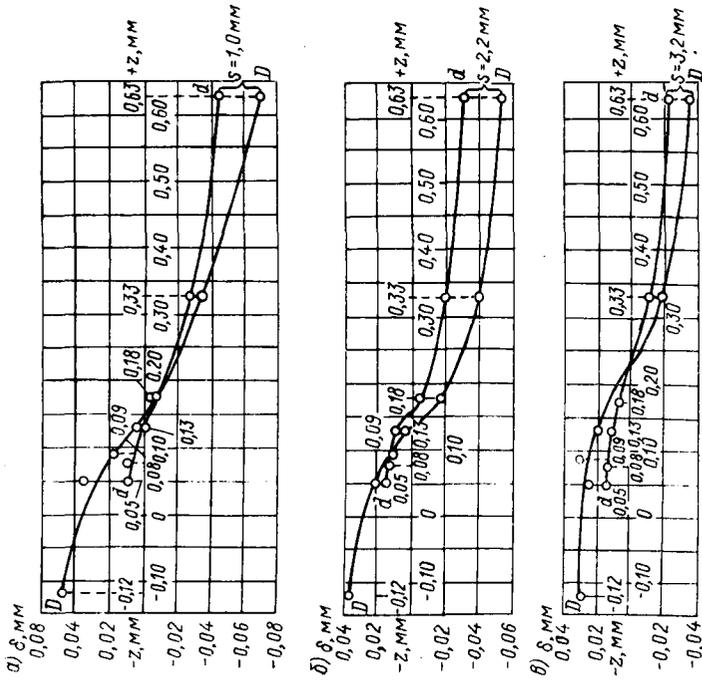


Рис. 29. Кривые отклонений размеров детали после вырубке в зависимости от величины зазора, толщины материала и размеров детали. Матрица с цилиндрическим пояском,  $h = 4$  мм,  $D = 60$  мм,  $d = 30$  мм. Материал — сталь Ст3

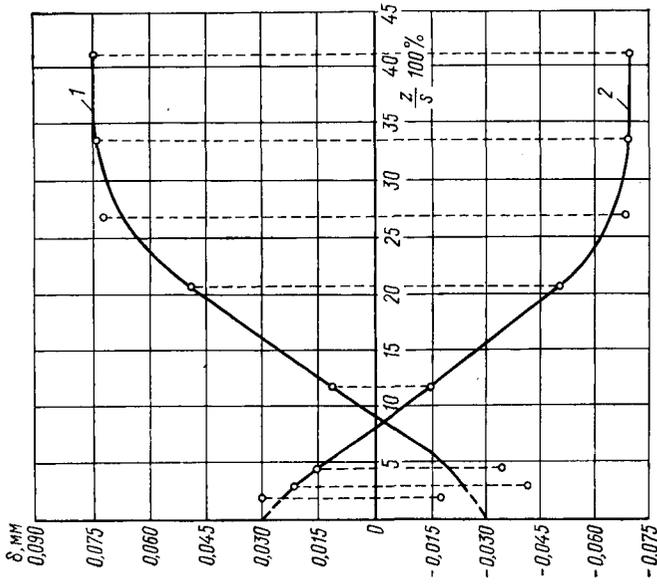


Рис. 30. Кривая отклонения размеров детали и отверстия после вырубке и пробивки в зависимости от величины зазора. Матрица с цилиндрическим пояском;  $h = 4$  мм,  $d = 30$  мм. Материал — сталь 45,  $s = 3$  мм:

1 — пробивка; 2 — вырубка

Точность штамповки — вырубки листов статора и ротора электромашин можно также повысить, применяя совмещенный штамп с подпружиненным пневматическим буфером или тарельчатыми пружинами — «плавающей» матрицей, на которой производится вырубка контура и пазов статора, валового и вентиляционных отверстий ротора с одновременным разделением статорного кольца от ротора, применяемых на некоторых заводах [32].

Допускаемые отклонения для плоских деталей при работе на вырубном штампе обычной точности по наружным размерам деталей 10—150 мм и при толщине штампуемого материала 0,5—6,0 мм составляют 0,12—0,50 мм, а по внутренним размерам (отверстий) для тех же толщин материала — 0,05—0,25 мм.

При работе на вырубном штампе повышенной точности отклонения размеров составляют соответственно 0,03—0,20 мм и 0,02—0,15 мм, а на зачистном штампе — 0,012—0,060 мм [32].

## **Глава 5. ЧИСТОВАЯ ВЫРУБКА И ПРОБИВКА. ЗАЧИСТНЫЕ ОПЕРАЦИИ**

### **§ 17. ЧИСТОВАЯ ВЫРУБКА И ПРОБИВКА**

Вырубка и пробивка деталей из листового материала вследствие наличия зазора между матрицей и пуансоном дает неровную поверхность среза: часть детали, обращенная к матрице, имеет блестящий пояс (зона среза) с небольшим закруглением в углу; часть детали, обращенная к пуансону, — слегка коническую шероховатую поверхность (зона скалывания). Шероховатость поверхности в среднем можно принять для блестящего пояса соответствующей  $Ra\ 2,5 \div 0,63$  (6—7-й классы), а для зоны скалывания —  $Rz\ 80 \div 20$  (3—5-й классы) по ГОСТ 2789—73.

В случае отступления от нормальных зазоров при вырубке (пробивке), на поверхности среза дополнительно получаются завалы, вырывы и значительные заусенцы. Такие неровности и дефекты недопустимы при изготовлении точных деталей (3—2-го классов точности по ГОСТу и с параметром шероховатости поверхности  $Ra\ 0,63 \div 0,32$ ), которые должны иметь перпендикулярную, чистую и гладкую поверхность среза по всей высоте детали (отверстия).

Наиболее экономичными способами, обеспечивающими выполнение перечисленных требований к штампуемым деталям, в крупносерийном и массовом производстве является зачистка и чистовая вырубка и пробивка.

Сущность процесса чистовой вырубki сводится к тому, чтобы возможно максимально увеличить высоту блестящего пояса — вплоть до полной толщины заготовки и свести к минимуму высоту — зону скалывания, имеющую место при обычной вырубке или пробивке.

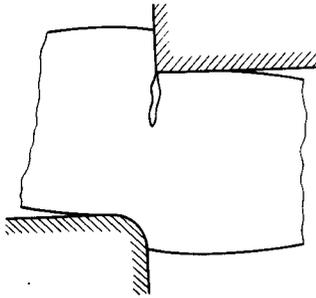


Рис. 31. Схема образования трещины при вырубке на матрице с закругленной кромкой

Увеличение высоты блестящего пояса можно осуществить, если скалывающие трещины, которые опережают разрушение, возникнут при большей, чем при обычной вырубке или пробивке, глубине внедрения острых режущих кромок штампа в металл. Последнее может быть достигнуто или уменьшением деформации вблизи режущих кромок, или увеличением пластичности металла. Уменьшение деформации или концентрации напряжений можно осуществить притуплением или

закруглением одной из режущих кромок штампа (рис. 31). Этот способ называется также чистовой вырубкой с обжимкой.

Увеличение пластичности, а следовательно, уменьшение влияния растягивающих напряжений на процесс деформации, достигается изменением схемы напряженного состояния в зоне резки металла. Имеются три способа уменьшения влияния растягивающих напряжений: чистовая вырубка пуансоном больше (полнее) матрицы; чистовая вырубка со сжатием или поперечной осадкой; чистовая вырубка обжимкой через две матрицы. †

#### Чистовая вырубка с заваленными режущими кромками — вырубка с обжимкой

При вырубке таким способом линии скалывания как бы образуются между уширенной частью завала кромки матрицы и пуансоном, вследствие чего вырубаемая деталь в начальный момент процесса имеет в нижней своей части размеры несколько большие, чем размеры матрицы (рис. 32, а).

Под давлением пуансона излишек металла ( $ABC$ ), проходя через матрицу, обжимается и деталь приобретает гладкую блестящую поверхность. Отход получается с затянутым вниз острым заусенцем.

Форма завала матрицы подбирается в зависимости от рода и толщины вырубаемого материала, а также и от формы изделия. Высота завала  $h'$  берется в пределах 0,2—0,5 толщины материала, ширина  $AC$  — в пределах 0,1—0,2 толщины материала.

Вырубку с зачисткой производят также на матрице с закругленными режущими кромками. В этом случае радиус закругления

матрицы для материалов толщиной до 6 мм составляет  $(0,2 \div 0,3) s$ . Высота цилиндрического вертикального пояска матрицы, следующего за радиусом закругления, должна быть равна двум толщинам материала; угол поднутрения матрицы принимается равным  $1-2^\circ$  на сторону. Пуансон пригоняется к матрице с минимальным зазором  $0,01-0,02$  мм независимо от толщины материала.

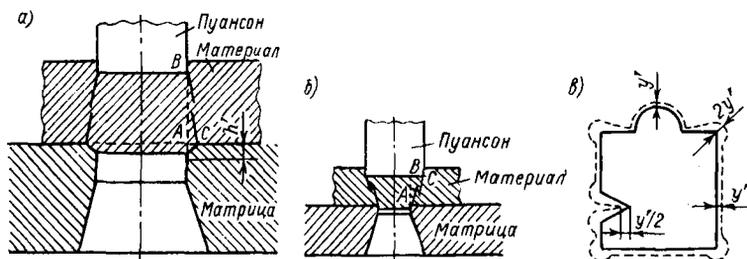


Рис. 32. Схемы чистой вырубki с обжимкой (а), пуансоном больше матрицы (б) и распределение припуска на зачистку деталей сложной конфигурации пуансоном больше матрицы (в)

Матрица закаливается до твердости  $HRC\ 62-64$  и внутренняя рабочая ее поверхность тщательно обрабатывается до шероховатости  $Ra\ 0,16-0,10$ . Это обеспечивает стойкость матрицы до 30 000 деталей без ее перешлифовки. Указанный способ чистой вырубki применяется в приборостроении и часовой промышленности при изготовлении деталей типа рычагов, храповиков, небольших шестерен малого модуля и других деталей из цветных металлов, а также из мягкой стали. Шероховатость поверхности среза  $Ra\ 0,63-0,32$ .

Точность штампуемых деталей соответствует 4—3-му классам. При этом следует иметь в виду, что вследствие упругих деформаций деталь после выхода из матрицы увеличивается в размерах на  $0,02-0,06$  мм.

#### Чистовая вырубка пуансоном больше матрицы

По этому способу при незначительном перекрытии (на одну сторону) торцом пуансона отверстие матрицы  $b < 0,10s$  можно считать, что здесь так же, как и при обычной штамповке, образуются скалывающие трещины, идущие от пуансона к матрице, но уже с обратным углом наклона (рис. 32, б). В этом случае имеется как бы обратный отрицательный зазор между пуансоном и матрицей.

В начале процесса пуансон осуществляет вырубку детали, а затем, при дальнейшем опускании, — зачистку. Так как пуансон не должен доходить до плоскости (зеркала) матрицы, на некоторую величину — «недоход»  $h_n$ , равным  $(0,10 \div 0,15) s$ , то окончательная зачистка и проталкивание детали через отверстие матрицы,

в связи с образовавшимся отходом — тонким ободком, лежащим на ней, производится последующей деталью. При большем перекрытии пуансоном отверстия матрицы, когда  $b > (0,10 \div 0,12) s$ , следует принять, что в процессе чистовой вырубке [75] заготовка шириной  $b$ , заключенная между торцом пуансона и плоскостью матрицы, сжимается (осаживается) в осевом направлении и, следовательно, в соответствии с условием постоянства объема растягивается (уширяется) в радиальном, а также и в тангенциальном направлениях (рис. 33). Последнее вызывается всесторонним неравномерным сжатием, которое значительно повышает пластичность металла, что способствует увеличению степени деформации

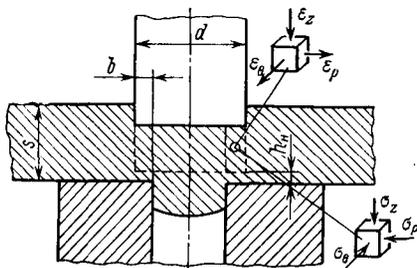


Рис. 33. Напряженно-деформированное состояние металла при чистовой вырубке пуансоном больше матрицы

до момента начала разрушения, т. е. увеличению высоты блестящего пояска [1, 75].

Таким образом, в результате применения вырубке пуансоном больше матрицы можно получить детали с гладкой блестящей боковой поверхностью среза. При этом наилучшие результаты получаются при чистовой вырубке деталей из цветных металлов и их сплавов (алюминия, дуралюмина, латуни, нейзильбера и др.).

Разница в размерах пуансона и матрицы для круглых деталей обычно на практике составляет на диаметр  $(0,1 \div 0,2) s$ .

Для деталей сложной конфигурации разница  $y'$  ( $b'$ ) на одну сторону составляет для материалов толщиной  $0,5-3,0$  мм  $0,10-0,25$  мм, а для толщин  $3,0-6,0$  мм —  $0,30-0,55$  мм [32]. В местах острых и резких переходов по наружным углам  $y'$  (см. рис. 32) следует принимать в  $1,5-2,0$  раза больше приведенных, а по внутренним углам — уменьшить вдвое.

Усилие при чистовой вырубке круглых деталей (с перекрытием пуансона по диаметру до  $0,2s$  при  $s$  до  $3$  мм) по опытным данным автора будет на  $20-50\%$  больше усилия вырубке при обычной штамповке.

Для деталей сложной конфигурации в зависимости от величины припуска на одну сторону  $y'$  усилие для чистовой вырубке  $P'_{\max}$  составляет [32, 106]:

	$P'_{\max}$
Для алюминия . . . . .	$(1,30 \div 1,60) P_{\max}$
» латуни . . . . .	$(2,25 \div 2,80) P_{\max}$
» нейзильбера . . . . .	$(2,30 \div 2,50) P_{\max}$
» малоуглеродистой стали . . . . .	$(2,40 \div 2,60) P_{\max}$

Здесь  $P_{\max}$  — максимальное усилие вырубке при штамповке с нормальным зазором.

Большее значение  $P'_{\max}$  следует принимать для металла, имеющего поверхностный наклеп.

Достоинствами приведенного способа чистовой вырубki являются хорошая поверхность среза с шероховатостью до  $Ra$  0,63—0,25 и незначительная утяжка, составляющая не более 10—15% от толщины материала. К его недостаткам относятся затруднение при вырубке контуров, имеющих глубокие впадины; повышенное усилие вырубki и пониженная стойкость штампа.

При проектировании штампа необходимо учитывать, что деталь по выходе из матрицы увеличивается в размерах на 0,02—0,06 мм.

### Чистовая вырубка со сжатием

Чистовая вырубка со сжатием (или с поперечной осадкой) является наиболее совершенным способом получения деталей с гладкой и хорошей поверхностью среза. При этом способе удельное усилие, передаваемое прижимным кольцом на заготовку, должно быть не менее предела текучести  $\sigma_t$  штампуемого металла. Для локализации сжимаемых напряжений в очаге деформации на прижимном кольце делают клиновидные ребра для чистовой вырубki материалов  $s$  до 3—4 мм, а для более толстых материалов аналогичные ребра делают также и на матрице, профиль которых показан на рис. 34. При таком высоком давлении, которое создается со стороны прижимного кольца, в очаге деформации заготовки возникает объемное-напряженное состояние (неравномерное сжатие), повышающее пластические свойства металла, благодаря чему степень деформации до момента начала разрушения металла повышается, а следовательно, увеличивается и высота блестящего пояса, характеризующая шероховатость боковой поверхности отделяемой части металла.

Чистовая вырубка со сжатием осуществляется в штампах, устанавливаемых на специальных прессах тройного действия, автономно развивающих усилие вырубki, усилие прижима и усилие проталкивания. Такие прессы выпускаются в СССР и за рубежом (фирмы «Файнтул», «Шмид» (Швейцария), ПНР и др.). Последовательность движения рабочих элементов штампа для чистовой вырубki следующая. Сначала прижимное кольцо 5 прижимает полосу (заготовку) 3 к матрице 2, при котором происходит внедрение клиновидного ребра 4 в заготовку. Затем пуансон 6 вырубает деталь по контуру и заталкивает ее в матрицу 2, преодолевая противодействие контрпуансона (выталкивателя) 1. При

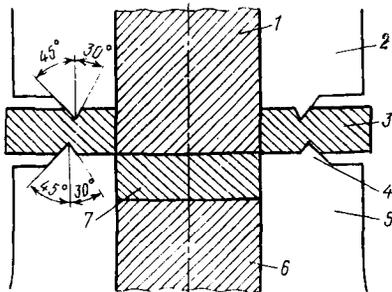


Рис. 34. Схема чистовой вырубki со сжатием

обратном ходе заготовка освобождается от прижимного кольца 5, а деталь выталкивается из матрицы 2 контрпуансоном 1 и удаляется из рабочего пространства штампа сдуванием сжатым воздухом при штамповке мелких деталей, а более крупные детали удаляются при помощи автоматически действующего рычажного сбрасывателя.

Чистовой вырубкой изготавливаются детали из цветных металлов и их сплавов, а также из низко- и среднеуглеродистых марок стали толщиной до 10—12 мм. Шероховатость поверхности соответствует  $Ra$  1,25—0,63 для цветных металлов и  $Ra$  2,5—1,25 для стали по всей толщине материала за один ход пресса.

Опыты, проведенные в ЛМИ [36, 38, 39], показали, что этим способом можно штамповать также детали и из труднодеформируемых сталей 45—50 и ШХ15, причем обеспечивается шероховатость  $Ra$  2,5—2,0.

В отличие от обычных штампов режущие кромки матрицы при вырубке и пуансона при пробивке в штампах для чистовой вырубки (пробивки) закругляют радиусом, равным 0,05—0,10 от толщины материала, что улучшает качество поверхности среза. Штампы имеют повышенную жесткость и прочность.

#### **Чистовая вырубка способом обжимки через две матрицы (вырубка с одновременной зачисткой)**

По этому способу, предложенному В. И. Пичугиным (ВНИТИ-прибор) [36], вырубку деталей можно проводить без воздействия на заготовку усилия прижима. Здесь прижим служит только для съема полосы с пуансона и предохранения ее от изгиба в процессе вырубки, что способствует повышению точности вырубленных деталей.

При этом напряженное состояние трехосного сжатия в зоне разрушения металла достигается обжатием вырубленной заготовки в матрице с конической формой отверстия (по аналогии с чистовой вырубкой пуансоном полнее матрицы). Осуществляется этот процесс на обычных кривошипных (эксцентриковых) прессах простого действия за один ход ползуна пресса. Сначала из полосы вырубается заготовка 4 (рис. 35), которая при проталкивании ее пуансоном 7 через коническое отверстие вырубной матрицы 1 сжимается по контуру, а затем припуск обрезается в зачистной (чистой) матрице 2. В момент обрезки припуска 5 на заготовку действуют сдвигающие усилия рабочих кромок пуансона 7 и зачистной матрицы 2, а перпендикулярно к ним — возникающие сжимающие напряжения со стороны конусных стенок вырубной матрицы 1. Полоса с пуансона после вырубки — зачистки снимается съемником 6, работающим при помощи винтов 8 от резинового буфера, а выталкивание зачищенной детали из матрицы 2 производится выталкивателем 3, действующим от поперечины в ползуне пресса или лучше от полиуретанового буфера, так как тогда детали получаются более плоскими.

Коническое отверстие вырубной матрицы в зависимости от рода и толщины материала берут в пределах  $1-3^\circ$ . Для цветных металлов толщиной  $1-3$  мм угол наклона берут  $1,0-1,5^\circ$ , а для стали —  $1,5-3,0^\circ$ .

Зазор между вырубной матрицей и пуансоном в зависимости от угла наклона конического отверстия матрицы и ее толщины получается значительно больше, чем для обычного вырубного штампа. Зазор между зачистной матрицей и пуансоном составляет независимо от толщины вырубаемого материала  $0,008-0,010$  мм. Величину обрезаемого одностороннего припуска  $\Delta/2$  делают  $0,4-0,5$  мм.

Опыты, проведенные автором по чистой вырубке с обжимкой через две матрицы (при диаметре детали  $d = 30$  мм, толщине вырубной матрицы 8 мм, угле наклона отверстия  $1,5^\circ$  и толщине зачистной матрицы 20 мм), показали, что сопротивление срезу  $\tau_0$  при вырубке заготовки близко соответствует значениям  $\tau_0$ , как и при обычной вырубке, и его можно определить из зависимости  $\tau_0 = (0,80 \div 0,90) \sigma_v$ . Сопротивление срезу при зачистке  $\tau_{0 \text{ зач}}$  на  $5-6\%$  меньше, чем  $\tau_0$ . При этом при определении  $\tau_0$  по максимальному усилию вырубке  $P_{\text{выр}}$  площадь среза следует устанавливать по наибольшему диаметру вырубной матрицы  $d_{\text{м выр}}$ , где помимо величины зазора  $z_v$  учитывается также и двусторонний припуск на зачистку  $\Delta$ , т. е.  $z_{\text{в полн}} = z_v + \Delta$ ; толщину материала следует брать исходную  $s$ .

При расчете сопротивления срезу при зачистке  $\tau_{0 \text{ зач}}$  по усилию  $P_{\text{зач}}$  площадь зачистки определяется по диаметру зачистной матрицы  $d_{\text{м зач}}$ ; толщину срезаемого кольцевого обода можно принять равной толщине материала. Что касается затрачиваемой работы при зачистке по этому способу, то она значительно больше, чем при обычной вырубке, примерно в  $2,5-3,0$  раза, так как она складывается из трех видов работ: на вырубку заготовки, на обжимку ее и на зачистку. Это следует учесть при расчете и подборе электродвигателя пресса для этого процесса.

Для пластичных металлов (алюминия, латуни, железа Армко, малоуглеродистой стали 10, 15, 20) толщиной до 3 мм получается перпендикулярная, гладкая и чистая поверхность среза по боковой поверхности детали, достигающая  $Ra 1,25-0,32$ . С применением силового полиуретанового прижима точность штамповки значительно повышается: точность штамповки по диаметру ( $d = 30$  мм) имеет 2—2а классы точности; неплоскостность детали по высоте составляет не более 5% по отношению к толщине детали  $s$ . Величина заусенца не превышает 3% от  $s$ .

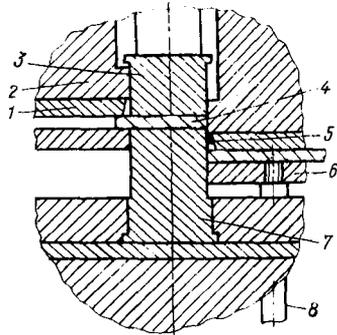


Рис. 35. Схема чистой вырубке способом обжимки через две матрицы

При штамповке малопластичных металлов и особенно труднодеформируемой стали марок 45—50, ШХ15 шероховатость поверхности составляет  $Ra$  2,5—1,25. Точность штамповки по диаметру 30 мм 2а класса точности, неплоскостность детали не превышает 6%, а величина заусенца не более 4% от  $s$ .

#### Чистовая пробивка пуансоном со специальной формой торца

Одновременная пробивка с зачисткой отверстия по этому способу производится пуансонами, имеющими специальную форму торца: ступенчатым пуансоном, пуансоном с заваленными режущими кромками, с конусообразным и с остrokонечным профилем [32, 106].

При ступенчатом пуансоне сначала отделяется отход, пробиваемый выступом на торце, а затем срезается припуск на стенках отверстия. Этот способ применяется для зачистки отверстий диаметром до 12—15 мм в деталях из цветных металлов и мягкой стали толщиной 0,8—3 мм. Шероховатость поверхности после зачистки соответствует  $Ra$  0,63—0,25. Ступенчатым пуансоном можно также производить и чистовую вырубку деталей. Недостатком рассматриваемого способа является то, что по мере работы штампа режущая кромка зачистного уступа пуансона быстро затупляется, затруднена также и перешлифовка пуансона по мере его притупления. Пуансон с заваленными (закругленными) режущими кромками применяется для пробивки и зачистки отверстий диаметром  $d > 3s$  для алюминия, мягкого дуралюмина и мягкой стали. Радиус закругления рабочих кромок пуансона принимают равным  $(0,3 \div 0,5) s$ . Для относительно более толстых материалов ( $d < 3s$ ), а также для латуни и бронзы лучший результат дают пуансоны, заточенные под углом  $120^\circ$ .

Пуансоны с конусообразным торцом и с остrokонечным профилем на практике применяются сравнительно реже, чем предыдущие два способа чистовой пробивки отверстий.

Для одновременной чистовой вырубki и пробивки применяется двойной или реверсивный способ вырубki, осуществляемый при помощи специальных штампов совмещенного типа на гидравлических прессах тройного действия [31, 32]

### § 18. ЗАЧИСТНЫЕ ОПЕРАЦИИ. ЗАЧИСТКА СНЯТИЕМ ПРИПУСКА

Зачистка деталей снятием припуска может производиться как по наружному, так и по внутреннему контурам. Она применяется для получения перпендикулярной, чистой и гладкой поверхности среза, повышенной точности формы и размеров контура и отверстий. Зачистке снятием припуска подвергаются как металлы, так и многие неметаллические материалы (гетинакс, фибра, текстолит и др.).

Зачистка по наружному контуру может быть выполнена несколькими способами:

1) пуансоном меньше матрицы, когда матрица имеет размеры зачищаемой детали, а пуансон сделан на 0,008—0,010 мм меньше этих размеров (рис. 36, а);

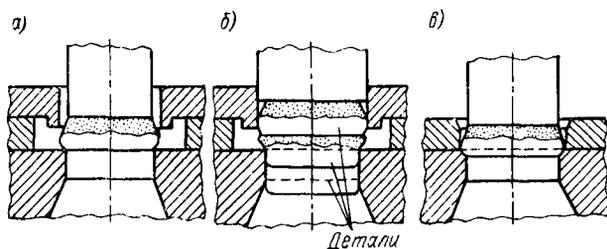


Рис. 36. Схема зачистки снятием припуска

2) пуансоном больше матрицы, когда матрица имеет размеры зачищаемой детали, а пуансон — размеры заготовки, поступающей на зачистку (рис. 36, б);

3) обжимкой в конусной матрице или с заваленными режущими кромками (рис. 36, в);

4) вырубкой с зачисткой двумя матрицами, расположенными вертикально одна над другой (см. рис. 39).

Зачистка по внутреннему контуру осуществляется двумя способами:

1) зачистка отверстий срезанием припуска (калибровка);

2) одновременная пробивка и зачистка пуансонами со специальной формой торца.

#### Зачистка деталей по наружному контуру пуансоном меньше матрицы

Этот способ зачистки является наиболее распространенным и широко применяется в приборостроении и в точной индустрии.

Процесс зачистки детали по наружному контуру схематически показан на рис. 37. На матрицу 2 устанавливается предварительно вырубленная заготовка 3, имеющая размеры, большие матрицы на величину припуска на зачистку. При нажатии пуансона 1 на заготовку 3 режущие кромки матрицы 2 вдавливаются в металл. При этом зона деформации распространяется не на всю толщу металла, а лишь на некоторый элемент.

Когда сопротивление металла срезу в зоне деформации будет преодолено, произойдет отделение элемента  $n_1$  от заготовки по плоскости АВ под углом  $\beta$ . При дальнейшем опускании пуансона и проникновении режущих кромок матрицы в металл элемент  $n_1$  будет перемещаться по плоскости матрицы ВС в направлении от детали. Одновременно от нее будут отделяться все новые и новые

элементы  $n_2$ ,  $n_3$  и т. д. Это отделение будет происходить до тех пор, пока не срежется весь слой заготовки.

В начале срезания каждый элемент отделяется по замкнутой фигуре, но по мере удаления стружки от поверхности заготовки происходит ее разрыв.

В зависимости от формы контура обрабатываемой детали, рода и толщины материала зачистка может быть однократной и многократной. Количество необходимых зачистных операций устанавливают из следующих соображений. Для простого контура детали (без острых углов) толщиной до 3 мм для всех металлов

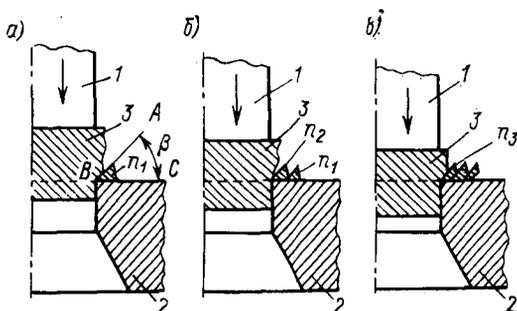


Рис. 37. Схема процесса срезания при зачистке: а — начальная стадия; б и в — промежуточные стадии

ограничиваются одной зачистной операцией; для деталей толщиной свыше 3 мм применяют двукратную зачистку. В случае сложного контура (с острыми углами) для деталей из твердой стали толщиной до 3 мм требуются две зачистные операции; для всех металлов толщиной свыше 3 мм необходимо применять 2—3 зачистные операции. Необходимость снятия дополнительного слоя при многократной зачистке для получения достаточно чистой поверхности должна быть учтена при назначении припуска на вырубку.

Чистота зачистки зависит от рода зачищаемого металла, состояния рабочих кромок матрицы и от припуска на зачистку.

**Припуск на зачистку.** Деталь после вырубki имеет вследствие неперпендикулярности поверхности среза два размера: один по матрице  $D_m$ , другой по пуансону —  $D_n = D_m - z$  ( $z$  — зазор между матрицей и пуансоном). Для проведения качественной зачистки необходимо срезать с заготовки часть, соответствующую величине  $z$ , и некоторый дополнительный припуск  $y$ .

Общая величина зачистки (суммарный припуск  $\Delta$ ) будет

$$\Delta = z + y. \quad (68)$$

Размеры вырубного штампа для деталей, подвергающихся последующей зачистке (рис. 38):

$$D_n = D_H + y; \quad (69)$$

$$D_m = D_H + (y + z) = D_H + \Delta, \quad (70)$$

где  $D_H$  — номинальный размер изделия после зачистки;  $D_n$  — размер пуансона вырубного штампа (для вырубki заготовки);  $D_m$  — размер матрицы вырубного штампа.

Величина припуска на зачистку зависит в основном от толщины и рода материала, контура детали, а также от конструкции загрузочного устройства.

Величину припуска  $y$  на диаметр или на обе стороны зачищаемой детали для материалов толщиной 0,5—10,0 мм берут в следующих пределах [32, 106]: для латуни и мягкой стали  $y = 0,10 \div 0,40$  мм при зазоре вырубного штампа  $z = (0,05 \div 0,07)$  с; для стали средней твердости  $y = 0,15 \div 0,50$  мм при  $z = (0,09 \div 0,11)$  с; для твердой стали  $y = 0,15 \div 0,60$  мм при  $z = (0,12 \div 0,15)$  с.

При многократной зачистке припуски распределяют так: на первой зачистке 60%, на второй — 25—30%, на третьей — 15—10% от общего припуска, принятого для многократной зачистки. Заготовку в зачистном штампе следует укладывать на матрицу широкой (закругленной) частью вниз, т. е. зачистку производят в том же направлении, что и вырубку; зачистную матрицу изготовляют с цилиндрическим пояском высотой  $h = 6 \div 8$  мм и  $Ra$  0,16—0,10.

Для твердой стали лучшая шероховатость поверхности получается при небольшом закруглении матрицы радиусом 0,2—0,3 мм.

Зазор между матрицей и пуансоном зачистного штампа берут в пределах 0,008—0,010 мм независимо от толщины и рода материала.

Шероховатость поверхности среза при этом способе зачистки достигает для латуни  $Ra$  0,63—0,32; для мягкой стали  $Ra$  1,25—0,50; для твердой стали  $Ra$  2,50—1,25. Точность штамповки 3—2-й классы точности. Увеличение в размерах деталей после выхода из матрицы при этом способе зачистки и острых режущих кромках штампов ничтожно — оно составляет 0,005 мм, при заваленных режущих кромках — 0,020—0,025 мм.

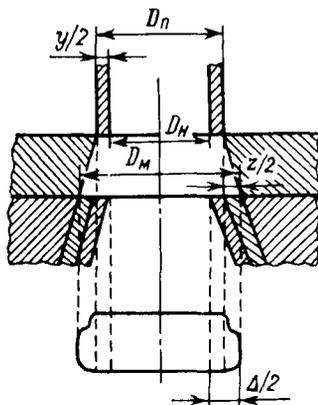


Рис. 38. Схема к назначению размеров пуансона и матрицы для вырубki детали под зачистку

**Усилие для зачистки.** Усилие, необходимое для зачистки детали  $P_{зач}$ , можно приближенно определить из зависимости

$$P_{зач} = P'_{зач} + Q_{пр. зач} = u \Delta \tau_0 + Q_{пр. зач}. \quad (71)$$

Усилие для проталкивания зачищаемой детали через отверстие матрицы  $Q_{пр. зач}$  в 2,0—2,5 раза больше, чем  $Q_{пр}$  при вырубке. Усилие  $Q_{пр. зач}$  можно определить из зависимости

$$Q_{пр. зач} = (0,15 \div 0,20) P'_{зач} (s/\Delta) = (0,15 \div 0,20) u s \tau_0. \quad (72)$$

После подстановки этого значения  $Q_{пр. зач}$  в уравнение (71) получим удобную формулу для расчета усилия зачистки

$$P_{зач} = u [\Delta + (0,15 \div 0,20) s] \tau_0, \quad (73)$$

где  $u$  — периметр зачистки;  $\Delta$  — суммарный припуск на зачистку;  $\tau_0$  — сопротивление срезу.

#### Зачистка наружного контура пуансоном больше матрицы

В этом случае предварительно вырубленную заготовку с размером больше зачистной матрицы на величину припуска  $2y'$  укладывают в гнездо загрузочной планки на матрицу (см. рис. 36, б). При зачистке первой детали пуансон не доходит до плоскости матрицы на величину  $h_n = (0,10 \div 0,15) s$ . Затем, при очередном ходе ползуна прессы, последующая заготовка, проталкивая предыдущую в матрицу, производит ее зачистку. Оставшийся вокруг контура отход в виде ободка (фланца) как бы отбортовывается и образует заусенец, который потом уже отдельно снимается. Припуски на зачистку на обе стороны  $2y'$  здесь устанавливают из тех же зависимостей, как и для второго способа чистовой вырубке (стр. 85). Этот способ зачистки применяется главным образом для цветных металлов и их сплавов. Достоинствами его являются хорошая шероховатость поверхностей  $Ra 0,63—0,32$  и меньшая стоимость изготовления рабочих частей зачистного штампа, так как не требуется строгой пригонки пуансона к матрице. Форма проходного рабочего отверстия матрицы и шероховатость поверхности здесь такие же, как и для первого способа зачистки.

#### Зачистка наружного контура обжатием

Такая зачистка производится прогонкой вырубленной заготовки через матрицу с обратным конусом в  $1—2^\circ$ , переходящим затем в цилиндр, или (чаще) через матрицу с закругленными (заваленными) режущими кромками радиусом  $(0,2 \div 0,3) s$  (см. рис. 36, в).

Припуск на обжатие не должен превышать 0,06—0,08 мм на сторону во избежание поломки пуансона под действием значительных усилий, возникающих на этой операции. Зазор между матрицей и пуансоном берут порядка 0,01 мм.

Зачистка обжатием применяется преимущественно для стальных изделий, как окончательная чистовая операция. Матрицу для зачистки алюминиевых деталей (ложек) делают не с закругленными кромками, а в виде фаски с размерами, равными по вертикали  $(0,3 \div 0,5) s$ , по горизонтали  $0,1s$  (на сторону).

За рубежом зачистку мелких деталей производят на специальных репассажных прессах с виброползуном, совершающим 700—1000 коротких ударов в минуту при подаче на  $0,05$  мм за один ход пресса [31, 32].

#### Одновременная вырубка с зачисткой наружного контура двумя вертикально расположенными матрицами

Такая комбинация операций может производиться как по принципу объединения вырубке с зачисткой пуансоном больше матрицы (рис. 39), так и по принципу зачистки обжатием.

На нижней плите 4 штампа закреплены две матрицы: верхняя 2 — вырубная и нижняя 5 — зачистная. К вырубной матрице снизу

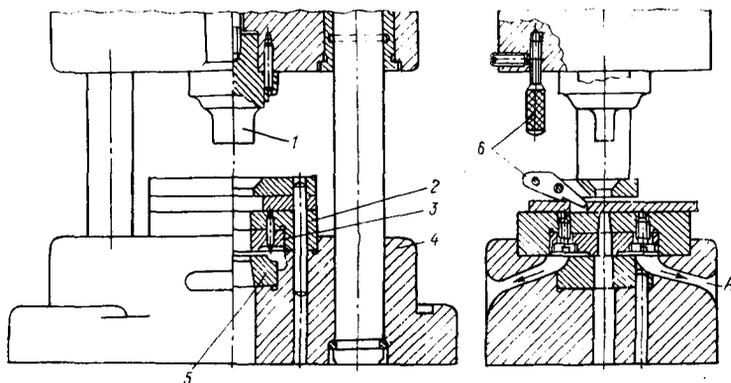


Рис. 39. Вырубка с зачисткой двумя вертикально расположенными одна над другой матрицами

в расточку крепится загрузочная планка 3, установленная так, что между ней и зачистной матрицей имеется просвет, несколько меньший, чем толщина заготовки, на  $0,2—0,3$  мм. Рабочие отверстия обеих матриц и планки строго сцентрированы, что обеспечивает снятие равномерного слоя металла при зачистке.

Детали, вырубаемые из полосы пуансоном 1 и первой матрицей 2, опускаются сквозь планку 3 к зачистной матрице 5. Когда пространство в отверстия матрицы и планки будет заполнено, при каждой следующей вырубке одна из деталей, лежащих на плоскости зачистной матрицы, будет проталкиваться через нее слоем вырубленных деталей, находящихся под давлением пуансона. Одновременно с проталкиванием производится зачистка,

причем припуск в виде стружки будет принудительно (самопроталкиванием) выходить в просвет между планкой и матрицей по стрелке *A*. Упор *б* — автоматический, действующий от пресса.

Указанный способ одновременной вырубке с зачисткой можно применять для деталей простой формы толщиной 0,5—5,0 мм, а для деталей усложненной формы только до 2 мм, причем отношение ширины к толщине детали в самых узких местах ее должно быть не менее шестикратной величины. Вторым условием является

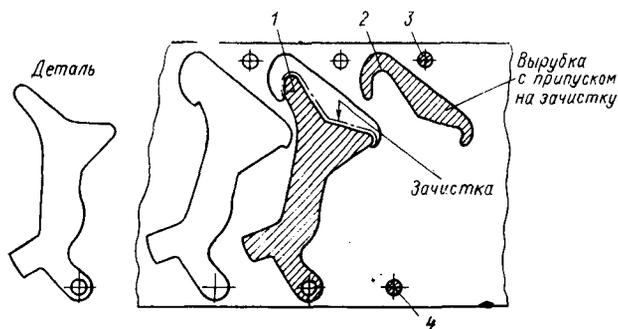


Рис. 40. Последовательная вырубка с зачисткой

также и то, чтобы величина завалов на вырубленной детали не превосходила 0,1 мм, так как при больших завалах будет получаться искривление детали и значительные заусенцы при зачистке.

В некоторых случаях требуется зачистить не весь контур детали, а только лишь часть или несколько его участков. Эта операция может быть выполнена в последовательном вырубном — зачистном штампе (рис. 40). Здесь пуансон 2, пробивая отверстие, образует в полосе участки, подлежащие зачистке, с необходимым припуском. Вырубной пуансон 1 при следующем шаге отделяет от полосы весь контур детали. При этом с предварительно пробитого участка отделяется только припуск, оставленный под зачистку. Дополнительная точная фиксация полосы производится ловителями, входящими в заранее пробитые в нее пуансонами 3 и 4 отверстия. Подобные штампы должны быть тщательно изготовлены и иметь надежную фиксацию полосы по шагу.

#### Зачистка деталей по внутреннему контуру срезанием припуска (калибровка)

Этот способ обработки применяется для зачистки точных отверстий небольшого диаметра (до 5 мм) при штамповке деталей приборов и часовых механизмов.

Зачистка отверстий производится пуансоном без зачистной матрицы (рис. 41). Матрицей здесь служит обыкновенная плита

с соответствующими углублениями и укрепленными на ней фиксирующими штифтами или планкой. Обычно диаметр лунки в плите  $D$  берется в полтора раза больше диаметра калибруемого отверстия  $d$ , т. е.  $D \geq 1,5d$ .

Возможность зачистки отверстий одним пуансоном без матрицы объясняется тем, что здесь снимаются стружки незначительной толщины и требуемое усилие для отделения стружки в несколько раз меньше того, которое необходимо для изгиба детали в зоне калибруемого отверстия. Процесс срезания припуска при калибровке отверстия сходен с процессом зачистки по наружному контуру, с той лишь разницей, что последовательное образование кольцевых элементов стружки происходит внутри отверстия, вследствие чего стружка не разрывается, а остается целой в виде трубки до конца процесса. Последний ее элемент образуется с нижней стороны. Срезанная трубчатая стружка имеет блестящую внутреннюю поверхность и матовую наружную.

На рис. 41 показаны три последовательные момента образования стружки при зачистке отверстия.

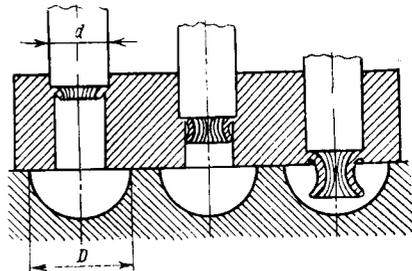


Рис. 41. Процесс образования стружки при зачистке отверстия (калибровке)

Припуск на калибровку зависит главным образом от толщины и рода материала, а также от величины припуска на зачистку после предварительной пробивки или сверления отверстия.

Величина припуска на калибровку отверстий (на обе стороны)  $\Delta'$  для материалов толщиной 0,5—3,5 мм в случае предварительной пробивки отверстий точными штампами при расстоянии между центрами базирующих и зачищаемых отверстий  $l$  от 10 до 40 мм составляет 0,10—0,20 мм, а при сверлении по закерненным углублениям — 0,16—0,20 мм. Для  $l$  от 40 до 100 мм  $\Delta'$  соответственно равна 0,12—0,22 мм и 0,20—0,30 мм.

Припуск задают на максимальный размер отверстия, получающегося в заготовке со стороны матрицы при пробивке. Заготовка при зачистке укладывается на матрицу, как и при пробивке, т. е. закругленными кромками вверх к пуансону.

Величина усадки отверстия после калибровки составляет для цветных металлов 0,005—0,012 мм, для стали — 0,008—0,015 мм.

Точность обработки отверстия диаметром до 5 мм и точность расстояния между отверстиями (до 100 мм) при калибровке — 0,01—0,03 мм. Шероховатость поверхности после обработки  $Ra$  1,25—0,32. Калибровочный пуансон закалывают до  $HRC$  62—64, рабочую поверхность его обрабатывают на шероховатость  $Ra$  0,16—0,10. Процесс пробивки и зачистки пуансоном со специальной формой торца изложен в § 17.

Помимо зачистки в качестве отдельной операции стали применять полировку в штампах. Она проводится после зачистки снятием припуска для сглаживания всех вертикальных рисок и горизонтальных полос, которые могли образоваться при зачистке деталей и отверстий из сравнительно твердых металлов — стали и латуни. Наружная полировка производится прогонкой зачищенной детали через матрицу с обратным конусом (около  $1^\circ$ ), переходящим затем в цилиндр.

Полировка отверстий осуществляется пуансоном с закругленными рабочими кромками радиусом, равным толщине материала.

Припуск на полировку как по наружному, так и по внутреннему контурам, берут в пределах 0,08—0,10 мм на обе стороны. Шероховатость поверхности полировочных матриц и пуансонов должна быть не ниже  $Ra\ 0,16$ —0,08, что обеспечит шероховатость поверхности обработанных деталей и отверстий до  $Ra\ 0,32$ —0,16.

## Глава 6. РАСКРОЙ ЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА ПРИ ШТАМПОВКЕ — ВЫРУБКЕ

### § 19. РАСКРОЙ ЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА ПРИ ВЫРУБКЕ ДЕТАЛЕЙ

Раскрой материала, его выбор зависит в большей степени от конструкции штампуемой детали, что следует учитывать при разработке конструкции детали.

Показателем, характеризующим экономичность раскроя, является коэффициент использования материала  $\eta$ , представляющий собой отношение полезной площади детали  $F_0$  к площади заготовки  $F_3$  для изготовления этой детали при вырубке, т. е.

$$\eta = (F_0/F_3) 100\% \quad (74)$$

Технологичность конструкции детали, удачное ее расположение на полосе и на листе, минимальная возможная величина перемычки между деталями и максимальное использование отходов на другие детали способствуют повышению общего коэффициента использования материала при вырубке.

#### Раскрой листового материала при вырубке круглых деталей

Вырубку круглых деталей можно производить в один, два и несколько рядов при параллельном и шахматном расположении их. Круглые изделия диаметром свыше 150 мм обычно вырезают в один ряд, при меньших размерах выгоднее штамповать в несколько рядов в шахматном порядке — многорядный шахматный раскрой.

Коэффициенты использования материала при параллельном расположении круглых деталей на полосе (ленте) определяют из следующих зависимостей:

при однорядном раскрое (рис. 42, а)

$$\eta_1 = \frac{F_{01}}{F_{31}} = \frac{0,785D^2}{(D + a_1)(D + 2a)} 100\%; \quad (75)$$

при двухрядном раскрое (рис. 42, б)

$$\eta_2 = \frac{F_{02}}{F_{32}} = \frac{2 \cdot 0,785D^2}{(D + a_1)(2D + 2a + a_1)} 100\%, \quad (76)$$

при  $n$ -рядном раскрое

$$\eta_n = \frac{F_{0n}}{F_{3n}} = \frac{n \cdot 0,785D^2}{(D + a_1)[nD + 2a + (n - 1)a_1]} 100\%. \quad (77)$$

Здесь  $D$  — диаметр вырубаемого кружка;  $a$  — величина перемычки от края полосы;  $a_1$  — величина перемычки между вырубными кружками;  $D + a_1 = A$  — продольный шаг подачи материала;  $n$  — число рядов на полосе при параллельном раскрое.

На рис. 42 обозначено:  $B_1, B_2, \dots, B_n$  — ширина полосы при соответствующем параллельном раскрое.

При шахматном расположении круглых деталей на полосе (ленте) коэффициенты использования материала определяют по следующим формулам:

при двухрядном шахматном раскрое (рис. 43, а)

$$\eta'_2 = \frac{F'_{02}}{F'_{32}} = \frac{2 \cdot 0,785D^2}{(D + a_1)[(D + 2a) + (D + a_1) \cos \alpha]} 100\%; \quad (78)$$

при трехрядном шахматном раскрое (рис. 43, б)

$$\eta'_3 = \frac{F'_{03}}{F'_{33}} = \frac{3 \cdot 0,785D^2}{(D + a_1)[(D + 2a) + 2(D + a_1) \cos \alpha]} 100\%, \quad (79)$$

а при  $n'$ -рядном шахматном раскрое

$$\eta'_{n'} = \frac{F'_{0n'}}{F'_{3n'}} = \frac{n' \cdot 0,785D^2}{(D + a_1)[(D + 2a) + (n' - 1)(D + a_1) \cos \alpha]} 100\%. \quad (80)$$

Здесь  $\alpha$  — угол прямоугольного треугольника  $ГЕЖ$ ; из построения  $\alpha = 30^\circ$ ,  $\beta = 60^\circ$ ;  $n'$  — число рядов на полосе при шахматном раскрое.

На рис. 43 обозначено:  $b, c, e$  — стороны прямоугольного треугольника;  $B'$  — поперечный шаг подачи материала [ $B' =$

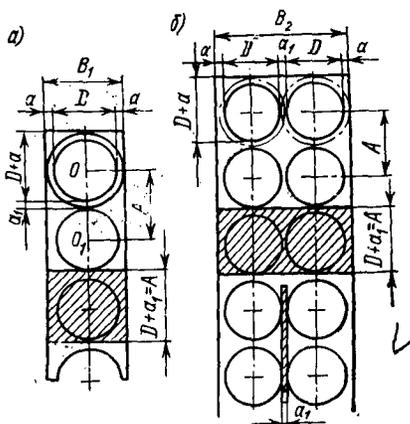


Рис. 42. Параллельное расположение круглых деталей при вырубке



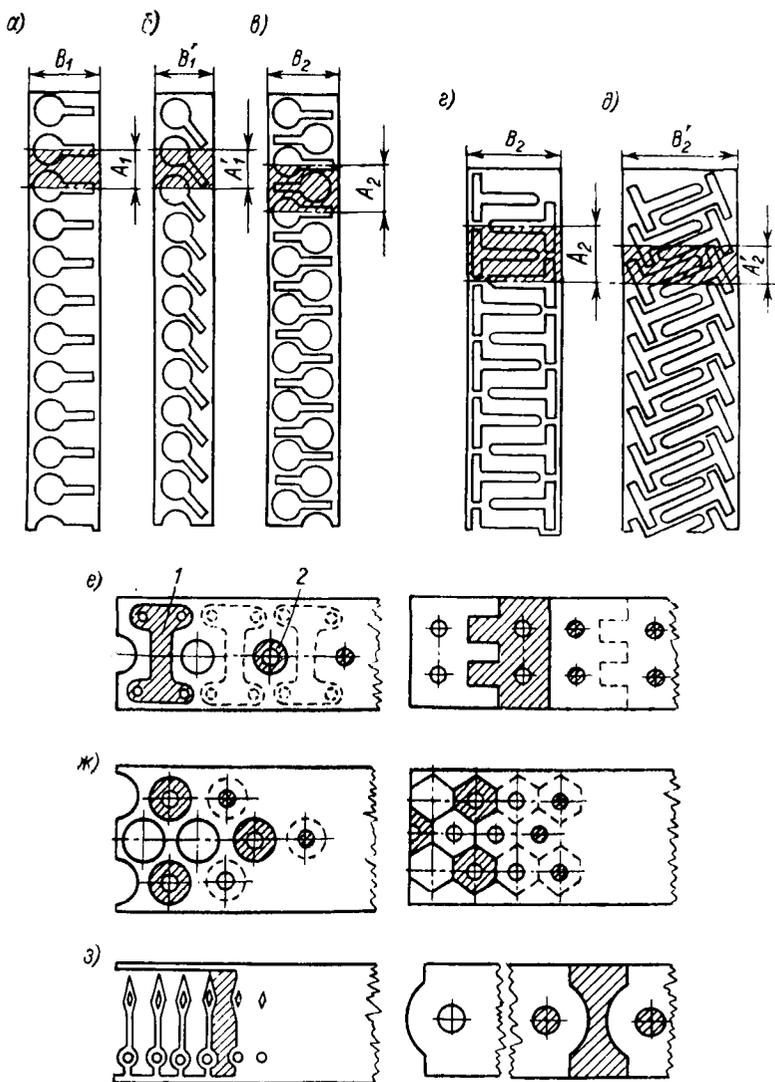


Рис. 44. Основные виды раскроя материала при вырубке фигурных деталей:  $A_1, A_1', A_2, A_2'$  — продольный шаг подачи материала;  $B_1, B_1', B_2, B_2'$  — ширина полосы при различном раскрое

этому часто приходится пользоваться графическим методом, который заключается в следующем. Из бумаги или кальки вырезают несколько шаблонов вырубаемой фигуры. Затем, придав шаблонам различное взаимное расположение, определяют требуемую площадь заготовки, следя за тем, чтобы между контурами, а также от края полосы оставалась перемычка, соответствующая данной толщине листа. Расположение фигур, при котором получается наименьший расход материала на одно изделие, и определяет наивыгоднейшую схему раскроя.

Вырубку прямоугольных и фигурных деталей производят, используя различные виды раскроя (рис. 44): прямой (а), наклонный (б), встречный прямой (в и г), встречный наклонный (д), комбинированный (е), многорядный (ж), с вырезкой перемычки (з). Кроме того, по способу вырубki раскрой бывает с перемычками и без перемычек. Из рис. 44 видно, что первый вариант раскроя (а) самый неэкономичный, второй вариант (б) дает экономию по сравнению с первым около 18%, третий вариант (в) — около 35%; вариант (д) более экономичный, чем вариант (г). Раскрой с вырезкой перемычек (рис. 44, з) применяется при изготовлении мел-

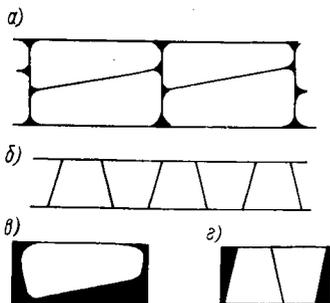


Рис. 45. Примеры раскроя материала при вырубке крупных деталей

ких и узких деталей типа часовых стрелок, а также при отрезке от полосы деталей типа планок или скобяных изделий. При вырубке заготовок и грубых деталей применяют малоотходную и безотходную штамповку. При этом рекомендуется использовать принцип двухшаговой безотходной вырубki, так как тогда качество поверхности среза детали и стойкость штампа не снижаются по сравнению с качеством поверхности, полученной при штамповке с перемычкой.

На рис. 45 приведены примеры раскроя материала с перемычками и безотходного при вырубке крупных деталей — заготовок для автомобильного крыла и для верха капота двигателя (рис. 45, а, б). На рис. 45, в и г показаны те же заготовки при раскрое из стандартного листа. При окончательном выборе варианта раскроя материала должны учитываться также сложность изготовления и стоимость штампа, а также его стойкость в работе.

#### Раскрой листа

Как указывалось выше, наиболее распространенной заготовкой при вырубке является полоса, получаемая обычно из листа. Разрезку листа на полосы нужно производить с таким расчетом, чтобы от него оставалось возможно меньше отходов. При этом

следует учитывать, что расположить полосу на листе можно и в продольном и в поперечном направлениях. Вопрос о целесообразном раскрое листа приходится решать в каждом отдельном случае, учитывая как экономию металла, так и производительность труда. Если позволяют габаритные размеры ножниц, то лучше всего располагать полосы вдоль длинной стороны листа, так как продольный раскрой листа всегда производительнее поперечного. Если вырубаемые детали подвергаются при после-

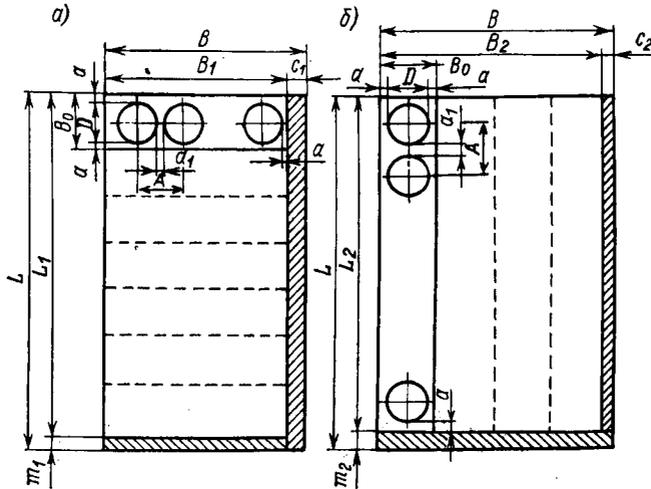


Рис. 46. Схемы поперечного и продольного раскроя листа

дующей обработке процессу гибки, то необходимо считаться и с расположением осей симметрии деталей относительно направления прокатки листа.

На рис. 46 представлены поперечный и продольный раскрой листа для вырубке кружков одного и того же диаметра  $D$ .

Из рис. 46, а видно, что количество деталей  $n_d$ , получаемых из одной полосы при поперечном раскрое,

$$n_d = \frac{B_1 - a}{A} = \frac{B - (a + c_1)}{D + a}.$$

Количество полос, получаемых из листа  $n_{II}$ ,

$$n_{II} = \frac{L_1}{B_0} = \frac{L - m_1}{D + 2a},$$

где  $c_1$  и  $m_1$  — отходы при раскрое по ширине и длине листа;  $a$  — ширина перемычки по краю, которая при выводах принимается равной  $a$ ;  $A$  — шаг подачи при вырубке, равный  $D + a_1$ ;  $B_0$  — ширина полосы, равная  $D + 2a$ ;  $B_1$  — ширина листа без отхода  $c_1$ ;  $L_1$  — длина листа без отхода  $m_1$ ;  $B$  и  $L$  — полная ширина и полная длина листа.

Общее количество деталей  $N_d$ , получаемых из листа,

$$N_d = n_d n_n = \frac{B - (a + c_1)}{D + a} \frac{L - m_1}{D + 2a}. \quad (82)$$

Коэффициент использования материала при поперечном раскрое листа определится по формуле

$$\eta_n = \frac{N_d F_{01}}{F_n} = \frac{N_d 0,785 D^2}{BL} = \frac{B - (a + c_1)}{D + a} \frac{L - m_1}{D + 2a} \frac{0,785 D^2}{BL} 100\%. \quad (83)$$

Аналогичным образом определяют  $\eta'_n$  и при продольном раскрое листа (рис. 46, б).

Количество деталей  $n'_d$ , получаемых из полосы,

$$n'_d = \frac{L_2 - a}{A} = \frac{L - (a + m_2)}{D + a}.$$

Количество полос из листа  $n'_n$

$$n'_n = \frac{B_2}{B_0} = \frac{B - c_2}{D + 2a}.$$

Общее количество деталей  $N'_d$ , получаемых из листа,

$$N'_d = n'_d n'_n = \frac{L - (a + m_2)}{D + a} \frac{B - c_2}{D + 2a}. \quad (84)$$

Здесь  $c_2$  и  $m_2$  — отходы при продольном раскрое по ширине и длине листа  $B, L$ ;  $B_2$  и  $L_2$  — ширина и длина листа без отходов.

Коэффициент использования материала при продольном раскрое (рис. 46, б) определяется по формуле

$$\eta'_n = \frac{N'_d F_{01}}{F_n} = \frac{N'_d 0,785 D^2}{BL} = \frac{L - (a + m_2)}{D + a} \frac{B - c_2}{D + 2a} \frac{0,785 D^2}{BL} 100\%. \quad (85)$$

Сопоставляя значения коэффициентов  $\eta_n$  и  $\eta'_n$  и учитывая при этом возможность рационального использования концевых отходов листов для вырубki других деталей, можно в каждом конкретном случае решить вопрос о целесообразности того или иного варианта раскроя с точки зрения экономии металла, производительности труда и имеющегося в цехе оборудования. Данный метод определения коэффициента  $\eta$  при раскрое листа пригоден и для деталей других конфигураций.

При вырубке крупногабаритных круглых деталей, а также когда при параллельном раскрое получают большие отходы по краям заготовки, экономию металла часто удается получить за счет применения косога раскроя полос из листа (рис. 47). Используя лист шириной 800 мм вместо 1000 мм при той же длине

его 3000 мм, получаем коэффициент использования материала  $\eta$ , составляющий 70% (в первом случае он составлял только 57%).

На производстве часто применяют групповой раскрой, когда лист раскраивают на полосы неодинаковой ширины, из которых получают различные детали. При групповом раскрое часто удается получить более высокий коэффициент использования листа и этим сэкономить металл. При крупносерийном и массо-

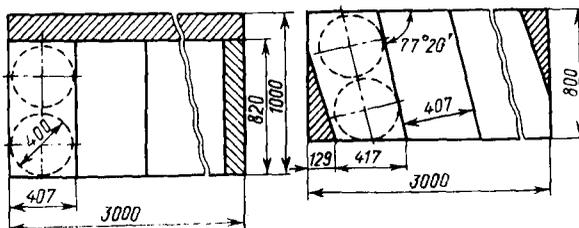


Рис. 47. Косой раскрой полос из листа при вырубке круглых деталей большого диаметра

вом производстве следует стремиться заменить листовой материал лентой и широкими рулонами, так как это позволяет получить наиболее выгодный раскрой материала и максимально автоматизировать процессы штамповки.

С целью комплексной механизации и автоматизации раскроя заготовок для крупногабаритной штамповки применяются специальные раскройные агрегаты с программным управлением для раскроя различной стали [70, 78].

## § 20. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ПЕРЕМЫЧКИ И РАСЧЕТ ШИРИНЫ ПОЛОСЫ

Величина перемычки оказывает существенное влияние на процесс вырубki и качество изделий. С точки зрения усилия, необходимого для снятия материала с пуансона, выгоднее работать с возможно наименьшими перемычками. Перемычки, кроме того, являются прямой потерей материала, а потому их ширина должна быть наименьшей. Однако она не может быть произвольно мала. Перемычка должна обеспечить достаточную жесткость и прочность ленты при работе с тем, чтобы она не разорвалась при подаче, не втянулась в матрицу, не вызвала образования заусенцев и ранения рук рабочего. Перемычки необходимы также для обеспечения вырубki детали по полному контуру при неточном изготовлении заготовки и неточной подаче.

Величина перемычки влияет также и на стойкость штампа: при недостаточной ширине перемычки стойкость штампов уменьшается.

Величина перемычки в основном зависит от толщины и рода материала, от размеров и формы вырубаемой детали, от типа раскроя и способа подачи полосы. Для материалов толщиной  $s$  от 0,2 до 0,5 мм перемычка между деталями  $a_1$  составляет 1,2—2,5 мм, а по краям  $a$  соответственно равно 1,5—3,0 мм; при  $s$  от 0,5 до 4,0 мм  $a_1$  составляет  $(2,0 \div 0,8) s$ , а  $a$  составляет  $(2,5 \div 0,9) s$ ; при  $s$  свыше 4 до 10 мм  $a_1$  берут в пределах  $(0,8 \div 0,7) s$ , а  $a$  — в пределах  $(0,9 \div 0,8) s$  [32, 79].

Величина гарантийного зазора  $b_0$  между направляющими линейками штампа  $B_{шт}$  и наибольшей возможной шириной полосы  $B$  при штамповке без бокового прижима полосы составляет для одностороннего раскроя 0,5—1,0 мм при ширине  $B$  до 100 мм и 1,0—1,5 мм при ширине  $B$  свыше 100 мм; при встречном раскрое  $b_0$  соответственно равно 1,5—2,0 и 2—3 мм [32].

# Раздел третий

## ФОРМОИЗМЕНЯЮЩИЕ ОПЕРАЦИИ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

### Глава 7. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ ДЛЯ ФОРМОИЗМЕНЯЮЩИХ ОПЕРАЦИЙ

#### § 21. УРАВНЕНИЯ РАВНОВЕСИЯ

Для формоизменяющих операций разработаны общие теоретические положения для расчетов напряжений и деформаций, основанные на принципе совместного решения уравнений равновесия для элементарного объема, выделенного в очаге деформации, и уравнений пластичности. Имеется и другой метод, основанный на принципе построения полей линий скольжения, так называемый метод характеристик.

Для расчета напряжений и деформаций осесимметричных деталей при гибке, вытяжке, отбортовке, обжиме и раздаче Е. А. Поповым [92] установлены общие уравнения равновесия. Для этого рассматривается уравнение равновесия в полярных координатах с учетом влияния сил трения элемента (рис. 48), выделенного в участке очага деформации, имеющего постоянную кривизну в меридиональном сечении. Принято, что толщина заготовки постоянна и значительно меньше радиусов кривизны в меридиональном (радиальном)  $R_\rho$  и широтном (окружном)  $R_\theta$  сечениях; меридиональные напряжения  $\sigma_\rho$  и широтные напряжения  $\sigma_\theta$  равномерно распределены по толщине заготовки и являются главными нормальными напряжениями.

Далее принято, что все нормальные напряжения положительны, а касательные напряжения  $\mu\sigma_n$  совпадают по направлению с проекцией напряжений  $\sigma_\theta$  на касательную к образующей. Все элементарные силы, включая и силу трения, отнесены к срединной поверхности элемента.

Уравнения равновесия следующие:

при проектировании сил на нормаль к поверхности заготовки

$$\sigma_n f_3 - 2\sigma_\rho f_1 d\alpha/2 - 2\sigma_\theta f_2 d\beta/2 = 0; \quad (86)$$

при проектировании сил на касательную к поверхности заготовки в меридиональном сечении

$$\sigma_p f_1 + d(\sigma_p f_1) - \sigma_p f_1 - 2\sigma_\theta f_2 d\theta/2 - \mu\sigma_n f_3 = 0. \quad (87)$$

Выявив соотношения между углами  $d\alpha$ ,  $d\beta$  и  $d\gamma$  и определив площади  $f_1$ ,  $f_2$  и  $f_3$ , после подстановки найденных значений в уравнение равновесия (86) получим

$$\sigma_n R_p R_\theta d\alpha d\beta - \sigma_p R_\theta d\beta d\alpha - \sigma_\theta R_p d\alpha d\beta = 0. \quad (88)$$

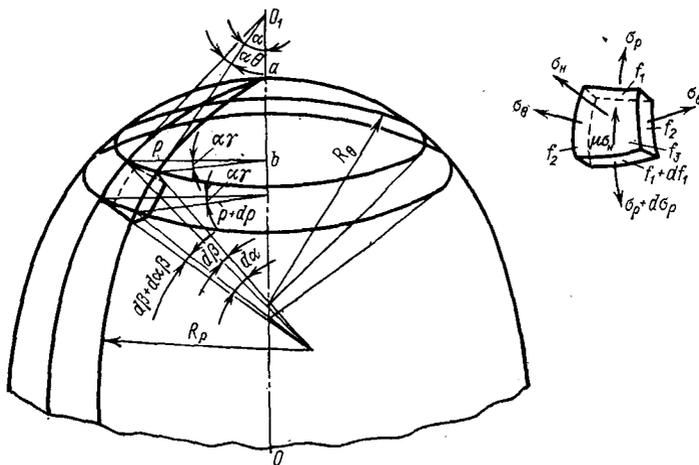


Рис. 48. Форма очага деформации при штамповке осесимметричных деталей

После сокращения и преобразований формулы (88) получим известное из безмоментной теории оболочек уравнение Лапласа

$$\frac{\sigma_n}{s} - \frac{\sigma_p}{R_p} - \frac{\sigma_\theta}{R_\theta} = 0. \quad (89)$$

Подставив значения площадей  $f_1$ ,  $f_2$  и  $f_3$  в уравнение (87), произведя сокращения и поделив полученное выражение почленно на  $s d\rho$ , имеем

$$\rho \frac{d\sigma_p}{d\rho} + \sigma_p - \sigma_\theta - \mu\sigma_n \frac{\rho}{s \sin \alpha} = 0, \quad (90)$$

где  $\alpha$  — угол между касательной к поверхности элемента и осью симметрии  $OO_1$ .

Подставив значение  $\sigma_n$  из (89) в (90), получим

$$\rho \frac{d\sigma_p}{d\rho} + \sigma_p - \sigma_\theta - \frac{\mu\rho}{\sin \alpha} \left( \frac{\sigma_p}{R_p} + \frac{\sigma_\theta}{R_\theta} \right) = 0. \quad (91)$$

Уравнение (91) является общим уравнением равновесия элемента заготовки постоянной толщины выделенного в пространственном участке очага деформации при осесимметричном деформировании заготовки с учетом наличия сил трения на контактной поверхности. В идеальных условиях, когда трение отсутствует ( $\mu = 0$ ), уравнение (91) примет вид

$$\rho \frac{d\sigma_\rho}{d\rho} + \sigma_\rho - \sigma_\theta = 0 \quad \text{или} \quad \frac{d\sigma_\rho}{d\rho} + \frac{\sigma_\rho - \sigma_\theta}{\rho} = 0. \quad (92)$$

Если осесимметричная оболочка имеет переменную толщину вдоль образующей, то можно найти общее уравнение равновесия и для этого случая

$$\rho \frac{d\sigma_\rho}{d\rho} + \sigma_\rho \left(1 + \frac{\rho}{s} \frac{ds}{d\rho}\right) - \sigma_\theta - \frac{\mu\rho}{\sin \alpha} \left(\frac{\sigma_\rho}{R_\rho} + \frac{\sigma_\theta}{R_\theta}\right) = 0. \quad (93)$$

Во всех уравнениях равновесия для плоского напряженного состояния при листовой штамповке имеются два неизвестных напряжения  $\sigma_\rho$  и  $\sigma_\theta$ . Для нахождения их необходимо иметь второе уравнение, которое восполняется условием пластичности.

## § 22. УСЛОВИЯ ПЛАСТИЧНОСТИ И УРАВНЕНИЯ СВЯЗИ МЕЖДУ НАПРЯЖЕНИЯМИ И ДЕФОРМАЦИЯМИ

Условия пластичности устанавливают соотношения между напряжениями, при которых металл переходит из упругого состояния в пластическое, поэтому эти условия называют также и предельным состоянием тела. Из имеющихся теорий (гипотез) по определению условий пластичности наибольшее распространение в листовой штамповке получили теории максимальных касательных напряжений и энергетическая.

Согласно первой теории пластическое состояние тела наступает и поддерживается тогда, когда одно из главных касательных напряжений  $\tau_{\max}$  достигает определенной величины, равной половине напряжения текучести  $\sigma_s$  металла в момент деформации (при линейном напряженном состоянии), или если одна из разностей двух главных нормальных напряжений  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$  равна напряжению текучести  $\sigma_s$  независимо от значений двух других разностей главных напряжений

$$\tau_{\max} = (\sigma_1 - \sigma_3)/2 = \sigma_s/2 \quad \text{или} \quad \sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_s. \quad (94)$$

Применительно к полярным координатам

$$\sigma_\rho - \sigma_\theta = \sigma_s. \quad (95)$$

Это условие пластичности применимо только для плоского напряженного состояния, так как в нем не учитывается влияние среднего по величине напряжения.

Вторая теория (энергетическая) — условие постоянства удельной энергии изменения формы. Согласно этой теории (гипотезы) предполагается, что для перехода металла в пластическое состояние необходимо накопить в единице объема вещества некоторое постоянное количество потенциальной энергии независимо от схемы напряженного состояния. Это условие пластичности в общем случае для объемной схемы напряженного состояния будет

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2\sigma_s^2$$

или

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} = \sigma_s, \quad (96)$$

где  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  — главные нормальные напряжения.

Подставив в формулу (96) вместо  $\sigma_1, \sigma_2$  и  $\sigma_3$  напряжения  $\sigma_\rho, \sigma_z$  и  $\sigma_\theta$ , получим условие пластичности в полярных координатах. Уравнение (96) также показывает, что при пластическом состоянии интенсивность напряжений  $\sigma_i$  равна напряжению текучести  $\sigma_s$ . Этим условием учитывается и влияние среднего главного напряжения  $\sigma_2$ , которое находится в пределах  $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$  или  $\sigma_1 < \sigma_2 < \sigma_3$ . При этом следует учитывать не только их абсолютную величину, но и знаки напряжений, т. е. рассматривать алгебраическую величину напряжений.

При  $\sigma_2 = \sigma_1$  или  $\sigma_2 = \sigma_3$  уравнение (96) приобретает вид уравнения (94). Следовательно, в этих случаях уравнение пластичности по теории наибольших касательных напряжений совпадает с условием пластичности по энергетической теории, т. е. является его частным случаем.

При среднем значении  $\sigma_2 = (\sigma_1 + \sigma_3)/2$  уравнение (96) получает более упрощенный вид

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{2}{\sqrt{3}}\sigma_s = \beta\sigma_s. \quad (97)$$

Применительно к полярным координатам

$$\sigma_\rho - \sigma_\theta = \beta\sigma_s. \quad (98)$$

Здесь  $\sigma_1, \sigma_3$  и  $\sigma_\rho, \sigma_\theta$  — крайние главные напряжения;  $\beta$  — коэффициент, учитывающий влияние среднего главного напряжения  $\sigma_2$  (или  $\sigma_z$ ) и колеблющийся в пределах от  $\beta = 1$ , когда два напряжения равны между собой, до  $\beta = 2/\sqrt{3} = 1,15$  — при плоской деформации.

Связь между напряжениями  $\sigma$  и деформациями  $\varepsilon$  в области упругих деформаций подчиняется, как известно, закону Гука  $\sigma = E\varepsilon$ . При пластическом деформировании связь между ними более сложная, но она приближенно может быть установлена из зависимости [88, 89]

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2} = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{\varepsilon_2 - \varepsilon_3} = \frac{\sigma_3 - \sigma_1}{\varepsilon_3 - \varepsilon_1} = \frac{2}{3} \frac{\sigma_i}{\varepsilon_i}, \quad (99)$$

а в полярных координатах

$$\frac{\sigma_\rho - \sigma_z}{\varepsilon_\rho - \varepsilon_z} = \frac{\sigma_z - \sigma_\theta}{\varepsilon_z - \varepsilon_\theta} = \frac{\sigma_\theta - \sigma_\rho}{\varepsilon_\theta - \varepsilon_\rho} = \frac{2}{3} \frac{\sigma_i}{\varepsilon_i}. \quad (100)$$

Здесь коэффициент пропорциональности  $2/3 (\sigma_i/\varepsilon_i)$ , являющийся в упругой зоне постоянной величиной, в пластической зоне он становится переменным, различным для разных точек пластически деформируемого тела.

В некоторых работах [7, 92] соотношения (99) приравняются к коэффициенту пропорциональности  $2G'$ , где  $G'$  — модуль деформации второго рода (величина переменная), равный одной трети модуля деформации первого рода  $E'$ . Это аналогично тому, как и в области упругих деформаций, где модуль упругости второго рода  $G$  связан с модулем упругости первого рода (модуль Юнга)  $E$  зависимостью  $G = E/2 (1 + \mu_0)$ , который при коэффициенте Пуассона  $\mu_0 = 0,5$  становится равным одной трети  $E$ . Наряду с интенсивностью напряжений  $\sigma_i$ , определяемой уравнением (96), существует и характеристика интенсивность деформации  $\varepsilon_i$ , или обобщенной деформации, которая определяется из зависимости

$$\varepsilon_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2}, \quad (101)$$

а в полярных координатах

$$\varepsilon_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_\rho - \varepsilon_z)^2 + (\varepsilon_z - \varepsilon_\theta)^2 + (\varepsilon_\theta - \varepsilon_\rho)^2}. \quad (102)$$

Интенсивность напряжений  $\sigma_i$  и интенсивность деформаций  $\varepsilon_i$  связаны между собой [7, 16, 92] соотношением  $\sigma_i = E' \varepsilon_i$ , которое называется обобщенным уравнением связи между напряжением и деформацией.

### § 23. УСЛОВИЕ ПЛАСТИЧНОСТИ И СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ НАПРЯЖЕНИЯМИ И ДЕФОРМАЦИЯМИ АНИЗОТРОПНОГО ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА

Анизотропия металла играет существенную роль в процессах пластического формоизменения. При значительной анизотропии механических свойств металла приведенное выше условие пластичности для изотропного металла может оказаться неприменимым для анизотропного металла. В этом случае условие пластичности составляется на основе теории пластичности анизотропного металла, предложенной Р. Хиллом [100] и получившей дальнейшее развитие в работах [14; 46; 76; 95; 105; 113] и др. По этой теории пластичности анизотропия прокатного листа характеризуется шестью параметрами анизотропии  $F, G, H, L, M, N$ , входящими в условие пластичности, записанное по

аналогии с энергетическим условием пластичности (Губера—Мизеса) в прямоугольных координатах для изотропного тела:

$$F(\sigma_y - \sigma_z)^2 + G(\sigma_z^2 - \sigma_x^2) + H(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 2L\tau_{yz}^2 + 2M\tau_{zx}^2 + 2N\tau_{xy}^2 = 1, \quad (103)$$

где  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$  — компоненты тензора напряжений. Это условие описывает состояние анизотропного листа, обладающего тремя взаимно ортогональными плоскостями симметрии механических свойств в каждой точке, так называемого ортотропного тела. Здесь в качестве осей координат приняты главные оси анизотропии, совпадающие с направлением прокатки (ось  $X$ ), с перпендикулярным — поперечным направлением прокатки в плоскости листа (ось  $Y$ ) и с нормальным направлением к плоскости листа (ось  $Z$ ).

Для осесимметричной деформации, когда касательные напряжения  $\tau_{xy}, \tau_{yz}$  и  $\tau_{zx}$  равны нулю, а остаются только главные нормальные напряжения  $\sigma_x, \sigma_y$  и  $\sigma_z$ , условие пластичности (103) принимает вид

$$F(\sigma_y - \sigma_z)^2 + G(\sigma_z - \sigma_x)^2 + H(\sigma_x - \sigma_y)^2 = 1. \quad (104)$$

Для изотропного металла  $F = G = H = 1/2\sigma_3^2$ , и условие пластичности анизотропного металла (104) переходит в условие пластичности Губера—Мизеса для изотропного металла (96). Параметры анизотропии  $F, G$  и  $H$ , входящие в условие пластичности (104), можно определять при испытании образцов, вырезанных вдоль осей  $X, Y, Z$ .

При испытании образца, вырезанного вдоль оси  $X$ , напряжения  $\sigma_y = \sigma_z = 0$ , и тогда из уравнения (104) находим

$$1/\sigma_{sx}^2 = G + H. \quad (105)$$

Аналогично, при испытании образцов, вырезанных вдоль оси  $Y$  и  $Z$ , получим

$$1/\sigma_{sy}^2 = H + F; \quad (106)$$

$$1/\sigma_{sz}^2 = F + G = 1/\sigma_{sy}^2(1 + a_y) = 1/\sigma_{sx}^2(1 + a_x). \quad (107)$$

Соотношения между приращениями компонентов тензора деформаций и компонентов тензора напряжений записываются в виде [95; 100]

$$d\epsilon_x = d\lambda [H(\sigma_x - \sigma_y) + G(\sigma_x - \sigma_z)]; \quad (108)$$

$$d\epsilon_y = d\lambda [F(\sigma_y - \sigma_z) + H(\sigma_y - \sigma_x)]; \quad (109)$$

$$d\epsilon_z = d\lambda [G(\sigma_z - \sigma_x) + F(\sigma_z - \sigma_y)], \quad (110)$$

где  $\lambda$  — коэффициент пропорциональности.

Если принять, что в процессе деформирования соотношения между приращениями деформаций  $d\epsilon_x, d\epsilon_y, d\epsilon_z$  остаются по-

стоянными, то в интегральной форме эти соотношения можно записать в следующем виде:

$$\varepsilon_x : \varepsilon_y : \varepsilon_z = [H(\sigma_x - \sigma_y) + G(\sigma_x - \sigma_z)] : [F(\sigma_y - \sigma_z) + H(\sigma_y - \sigma_x)] : [G(\sigma_z - \sigma_x) + F(\sigma_z - \sigma_y)]. \quad (111)$$

Уравнения (108) — (111) позволяют оценить состояние анизотропии листового металла экспериментальным путем.

При растяжении образца, ось которого совпадает с направлением прокатки (осью  $X$ ), определяем значение  $\sigma_{sx}$  по (105), а затем из зависимости (111), учитывая, что  $\sigma_y = \sigma_z = 0$ , получаем соотношения между деформациями разрываемого образца по его ширине (в поперечном направлении  $Y$ )

$$a_x = \varepsilon_y / \varepsilon_z = H/G, \quad (112)$$

где  $\varepsilon_y$  — логарифмическая деформация в направлении ширины  $b_{0y}$  разрываемого образца, равная  $\ln(b_y/b_{0y})$ ;  $\varepsilon_z$  — логарифмическая деформация в направлении толщины  $s_{0y}$  этого же образца, равная  $\ln(s_y/s_{0y})$ ;  $a_x$  — коэффициент анизотропии, равный  $\frac{\ln(s_y/b_{0y})}{\ln(b_y/s_{0y})}$ .

Тогда из уравнения (105) с учетом соотношения (112) получаем

$$G = \frac{1}{\sigma_{sx}^2 (1 + a_x)}; \quad (113)$$

$$H = \frac{a_x}{\sigma_{sx}^2 (1 + a_x)}. \quad (114)$$

Зная  $G$  и  $H$ , можно найти параметр  $F$  путем испытания образца, вырезанного из того же листа вдоль оси  $Y$ . Из формулы (111) при  $\sigma_x = \sigma_z = 0$  имеем

$$a_y = \varepsilon_x / \varepsilon_z = H/F, \quad (115)$$

где  $\varepsilon_x$  — логарифмическая деформация по ширине теперь уже  $b_{0x}$  разрываемого образца, равная  $\ln(b_x/b_{0x})$ ;  $\varepsilon_z$  — логарифмическая деформация по толщине  $s_{0x}$  того же образца, равная  $\ln(s_x/s_{0x})$ ;  $a_y$  — коэффициент анизотропии, равный  $\frac{\ln(b_x/b_{0x})}{\ln(s_x/s_{0x})}$ .

Тогда из выражения (106) с учетом соотношения (115) получаем

$$F = \frac{1}{\sigma_{sy}^2 (1 + a_y)}; \quad (116)$$

$$H = \frac{a_y}{\sigma_{sy}^2 (1 + a_y)}. \quad (117)$$

Из уравнений (113), (114) и (116), (117) находим

$$\frac{\sigma_{sx}}{\sigma_{sy}} = \sqrt{\frac{a_x(1 + a_y)}{a_y(1 + a_x)}}. \quad (118)$$

Аналогично из уравнений (107) и (118) находим

$$\frac{\sigma_{sz}}{\sigma_{sx}} = \sqrt{\frac{a_y(1+a_x)}{a_x+a_y}}; \quad (119)$$

$$\frac{\sigma_{sz}}{\sigma_{sy}} = \sqrt{\frac{a_y(1+a_y)}{a_x+a_y}}. \quad (120)$$

Чем больше отношения, приведенные в уравнениях (119) и (120), по сравнению с единицей, тем меньше убывает толщина листа в процессе растяжения и, следовательно, тем большие деформации могут быть получены в плоскости листа, что благоприятно влияет на процессы гибки и вытяжки деталей сложной формы.

## Глава 8. ГИБКА ЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА

### § 24. ХАРАКТЕРИСТИКА ГИБОЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ И НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕТАЛЛА ПРИ ГИБКЕ

Гибка — технологическая операция листовой штамповки, в результате которой из плоской или из изогнутой заготовки при помощи штампов получается изогнутая пространственная деталь.

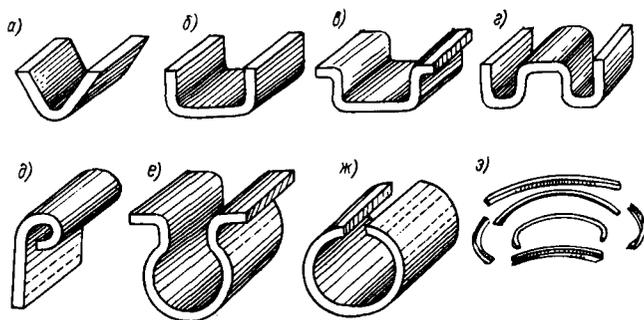


Рис. 49. Различные формы деталей, получаемых при гибке

Гибка может быть одноугловая, двухугловая, четырехугловая и многоугловая (рис. 49, а—г). К гибке также относятся операции по закатке — завивке края на плоской заготовке, например при изготовлении разных оконных и дверных петель, хомутиков, незамкнутых трубочек и т. д. (рис. 49, д—ж).

Гибка может производиться одновременно и с другими операциями — отрезкой, вырубкой, пробивкой. Штамповку длин-

ных и узких деталей из тонколистового материала с большим радиусом осуществляют гибкой с растяжением материала (рис. 49, з). Гибка производится на кривошипных (эксцентриковых) прессах, на горизонтально-гибочных машинах, на гидропрессах, а также на специальных гибочных станках-автоматах.

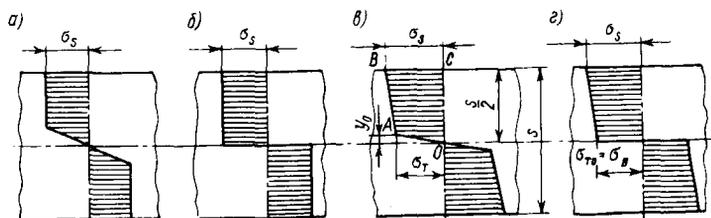


Рис. 50. Упрощенные эпюры нормальных напряжений в бруске (полосе) при гибке: а — упруго-пластический изгиб; б — полностью пластический изгиб без учета упрочнения металла; в — с учетом упрочнения металла по диаграмме  $OABC$  ( $y_0$  — упругий участок); г — полностью пластический изгиб с учетом упрочнения металла

В зависимости от характера деформаций, имеющих место по толщине изгибаемой заготовки на разных стадиях ее деформирования, различают упругий, упруго-пластический и пластический изгиб. Последние два вида изгиба могут быть без упрочнения и с упрочнением (рис. 50).

При гибке в зоне изгиба возникают вначале упругие, а затем пластические деформации, в результате чего заготовка получает большие прогибы, которые сохраняются и после снятия внешних нагрузок.

Установлено, что деформация заготовки происходит вблизи углов гибки — очагов деформации (рис. 51). В процессе гибки слои (волокна) металла, расположенные у внутренней поверхности (со стороны пуансона с меньшим радиусом кривизны)  $aa$ , испытывают сжатие в продольном направлении и растяжение в поперечном, а слои, расположенные у внешней поверхности (со стороны матрицы с большим радиусом кривизны)  $bb$  — растяжение в продольном направлении и сжатие в поперечном. Между растянутыми и сжатыми слоями находится нейтральный слой  $OO$ , не изменяющийся по длине, положение которого определяется радиусом кривизны  $\rho$  (рис. 52). Кроме того, при гибке, особенно толстого материала, ширина полосы у наружной (растянутой) поверхности уменьшается, а у внутренней увеличивается — происходит уширение заготовки.

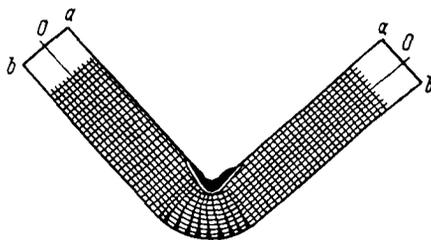


Рис. 51. Деформация металла при изгибе ( $OO$  — нейтральный слой)

В зависимости от отношения внутреннего радиуса  $r$  изгибаемой заготовки к ее толщине  $s$  в металле возникает различное напряженно-деформированное состояние. При  $r/s > 5$  деформация металла происходит в условиях линейного изгиба, а при  $r/s < 5$  — в зависимости от отношения ширины заготовки  $b$  к ее толщине

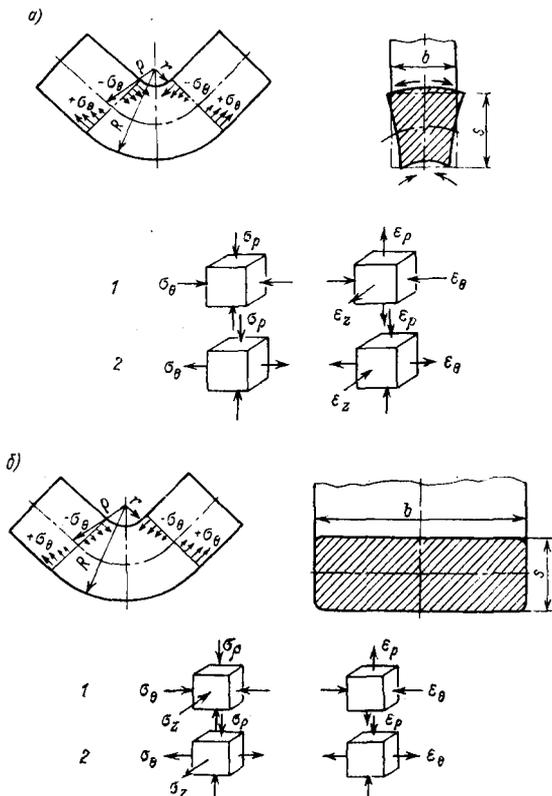


Рис. 52. Схемы напряженного ( $\sigma$ ) и деформированного ( $\epsilon$ ) состояний металла при гибке узких (а) и широких (б) полос:

1 — внутренняя сжатая часть; 2 — наружная растянутая часть

$s$  — гибки узких или широких полос имеет место различное объемное напряженно-деформированное состояние.

На рис. 52 приведены схемы напряженного ( $\sigma$ ) и деформированного ( $\epsilon$ ) состояний при изгибе узких и широких полос [79]. Из этих схем видно, что при гибке узких полос ( $b < 3s$ ) с достаточной толщиной материала  $s$  имеет место плоско-напряженное и объемно-деформированное состояние (рис. 52, а), а при гибке широких полос ( $b > 3s$ ) — объемно-напряженное и плоско-деформированное состояние, вследствие появления поперечного напря-

жения  $\sigma_z$  (рис. 52, б). Последнее возникает потому, что при гибке широких полос поперечная деформация вдоль линии изгиба (поперек полосы) затруднена. Часто для оформления четкого угла при гибке применяют калибрующий (чеканящий) удар. В этом случае напряженное состояние деформированного металла резко меняется. Во всех местах, находящихся под давлением пуансона, возникает объемное напряженное состояние всестороннего неравномерного сжатия.

## § 25. ПОЛЕ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ ИЗГИБЕ МОМЕНТОМ

Для осуществления процесса изгиба необходимо приложить изгибающий момент, хотя в общем случае изгиб может производиться одновременным действием моментов, а также продольных и поперечных сил. В основу теоретического анализа гибки положена гипотеза плоских сечений, согласно которой считается, что сечения, перпендикулярные к срединной поверхности заготовки, остаются плоскими в процессе изменения кривизны при изгибе. Опытами установлено, что эту гипотезу можно считать справедливой и при конечных пластических деформациях изгиба.

Для установления основных закономерностей, управляющих процессом изгиба, выявления поля напряжений и деформаций рассмотрим вначале случай пластического изгиба широкой полосы (пока без учета явления анизотропии механических свойств листового материала) действием только одного изгибающего момента [75; 92].

Распределение напряжений по толщине заготовки можно найти из совместного решения дифференциальных уравнений равновесия и уравнения пластичности. В рассматриваемом случае, учитывая постоянство кривизны по всей длине изгибаемой заготовки (по углу), для анализа поля напряжений используем полярную систему координат с полюсом, совпадающим с центром кривизны заготовки в данный момент деформирования. При этом следует учесть, что при изгибе моментом, ввиду отсутствия перерезывающих сил, касательные напряжения  $\tau_{\theta\rho}$  отсутствуют и напряжения  $\sigma_\theta$  и  $\sigma_\rho$  являются главными нормальными напряжениями. Уравнение равновесия (рис. 53) получит вид

$$\rho \frac{d\sigma_\rho}{d\rho} + \sigma_\rho - \sigma_\theta = 0. \quad (121)$$

Уравнение пластичности (97) для объемного напряженного состояния в упрощенном виде по энергетической теории и при условии, что  $\sigma_\theta$  и  $\sigma_\rho$  являются крайними главными напряжениями без учета упрочнения, будет

$$\sigma_\theta - \sigma_\rho = \pm \beta \sigma_s, \quad (122)$$

где знак плюс относится к зоне растяжения в тангенциальном направлении ( $\rho > \rho_H$ ), а знак минус — к зоне сжатия в тангенциальном направлении ( $\rho < \rho_H$ ).

Ввиду того, что при изгибе широкой заготовки аксиальные деформации  $\epsilon_z$  равны нулю, что соответствует условию плоского деформированного состояния, коэффициент  $\beta$ , учитывающий влияние среднего главного напряжения  $\sigma_z$ , будет равен 1,15.

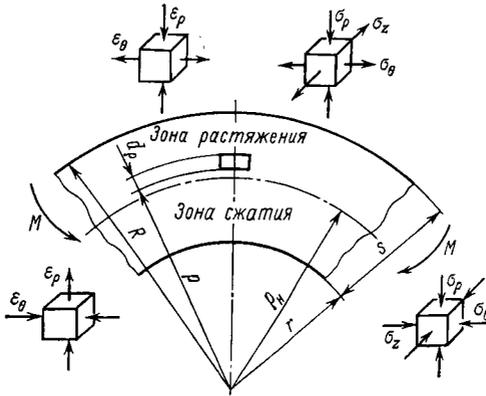


Рис. 53. Схема напряженного и деформированного состояния металла при гибке широких полос для составления уравнения равновесия

Подставляя значения  $\sigma_\theta$  из уравнения (122) в (121) с учетом знаков напряжений, получим

$$\frac{d\sigma_\rho}{d\rho} - \beta \frac{\sigma_s}{\rho} = 0,$$

откуда

$$d\sigma_\rho = \beta\sigma_s \frac{d\rho}{\rho}. \quad (123)$$

После интегрирования получим

$$\sigma_\rho = \beta\sigma_s \ln \rho + C. \quad (124)$$

Произвольная постоянная  $C$  интегрирования определяется из граничных условий, по которым для зоны растяжения на наружной поверхности (при  $\rho = R$ ) напряжение  $\sigma_\rho = 0$ , т. е.  $C = -\beta\sigma_s \ln R$ . Тогда радиальные напряжения

$$\sigma_\rho = -\beta\sigma_s \ln (R/\rho). \quad (125)$$

Подставляя значение  $\sigma_\rho$  в уравнение пластичности (122), получим выражение для тангенциальных напряжений

$$\sigma_\theta = \beta\sigma_s [1 - \ln (R/\rho)]. \quad (126)$$

Аналогично определяются уравнения для напряжений  $\sigma_\rho$  и  $\sigma_\theta$  и для зоны сжатия, при этом произвольная постоянная интегрирования отыскивается из граничных условий для внутренней поверхности, по которым при  $\rho = r$  напряжение  $\sigma_\rho = 0$ . Тогда

$$\sigma_\rho = -\beta\sigma_s \ln(\rho/r); \quad (127)$$

$$\sigma_\theta = -\beta\sigma_s [1 + \ln(\rho/r)]. \quad (128)$$

Из формул (125) и (127) видно, что напряжения  $\sigma_\rho$  возрастают по абсолютной величине по мере удаления от поверхности заготовки в ее толщину. На нейтральной поверхности при  $\rho = \rho_n$  напряжения  $\sigma_\rho$ , определяемые из формул (125) и (127) для зон растяжения и сжатия, равны между собой. Если приравнять эти напряжения, получим  $\sigma_s \ln(R/\rho_n) = \sigma_s \ln(\rho_n/r)$ . Тогда из этого выражения легко получить формулу для определения радиуса нейтральной поверхности напряжений [76; 100]

$$\rho_n = \sqrt{Rr}. \quad (129)$$

Подставив значение  $\rho_n$  из формулы (129) в (125) или (127), найдем наибольшую (по абсолютному значению) величину  $\sigma_\rho$ , действующую на нейтральной поверхности,

$$\sigma_{\rho \max} = -\beta\sigma_s \ln \sqrt{R/r} \approx -0,5\beta\sigma_s \ln(R/r). \quad (130)$$

Так как  $\ln \sqrt{R/r} \approx \sqrt{R/r} - 1$ , то после разложения корня в ряд и, имея в виду, что  $R = r + s$  и  $\sqrt{1 + r/s} \approx 1 + s/2r$ , после подстановки этих значений в формулу (130), получим

$$\sigma_{\rho \max} \approx -\beta\sigma_s s/2r. \quad (131)$$

Из формулы (131) видно, что при  $r/s > 5$  (при  $\beta = 1,0$ ) максимальное значение (по абсолютной величине) напряжения  $\sigma_\rho$  на нейтральной поверхности напряжений  $\sigma_{\rho \max} < 0,1\sigma_s$ ; в этом случае влиянием напряжений  $\sigma_\rho$  на тангенциальные напряжения  $\sigma_\theta$  можно без большой погрешности пренебречь, а напряжение  $\sigma_\theta$  принять постоянным и равным  $\sigma_s$ . Из формулы (131) также вытекает, что при  $r/s > 5$  схема напряженного состояния близка к линейной и для практических расчетов можно использовать формулы, получаемые на основании теории линейного изгиба. В этом случае нейтральная поверхность напряжений  $\rho_n$  совпадает с нейтральной поверхностью деформаций  $\rho_d$  и со средней поверхностью заготовки  $\rho_{cp} = 0,5(R + r) = r + 0,5s$ .

При  $r/s < 5$  влияние  $\sigma_\rho$  на величину и распределение напряжений  $\sigma_\theta$  по толщине заготовки становится значительным, а нейтральная поверхность напряжений смещается от срединной поверхности к центру кривизны, достигая значения  $s/2$  при  $r/s = 0$ . В последнем случае нейтральная поверхность переходит на внутреннюю поверхность заготовки, что обычно имеет место при условиях гибки с растяжением.

На рис. 54 показаны (с учетом и без учета упрочнения) эпюры распределения напряжений  $\sigma_p$  и  $\sigma_\theta$  по толщине заготовки при изгибе моментом, когда  $r/s > 5$  (линейное напряженное состояние) и при  $r/s = 1$  (объемное напряженное состояние). Из эпюр видно, что при изгибе моментом по малому радиусу без упрочнения на поверхностях заготовки тангенциальное напряжение  $\sigma_\theta$  равно  $\sigma_s$ ; по мере удаления от свободных поверхностей напряжение  $\sigma_\theta$  убывает в зоне растяжения и возрастает (по абсолютному значению) в зоне сжатия. Радиальное напряжение  $\sigma_p$

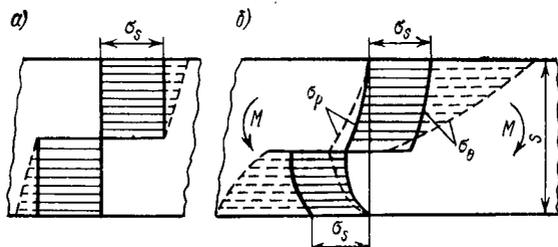


Рис. 54. Эпюры напряжений при гибке: а — изгиб при  $r/s > 5$ ; б — при  $r/s = 1$ ; — — — — изгиб без упрочнения; - - - - - изгиб с упрочнением

на наружных поверхностях равно нулю, а на нейтральной поверхности имеет свое наибольшее значение.

Величину (аксиальных) напряжений  $\sigma_z$ , действующих вдоль образующей срединной поверхности при изгибе моментом, найдем из условия плоской деформации, при которой принимается, что  $\sigma_z = (\sigma_p + \sigma_\theta)/2$ .

Используя выражения (125) — (128), после некоторых преобразований находим:

для зоны тангенциального растяжения

$$\sigma_z = 0,5\beta\sigma_s [1 - 2 \ln (R/\rho)]; \quad (132)$$

для зоны тангенциального сжатия

$$\sigma_z = -0,5\beta\sigma_s [1 + 2 \ln (R/\rho)]. \quad (133)$$

Следует отметить, что при изгибе широкой полосы напряжения  $\sigma_z$  на ее боковых поверхностях равно нулю, а по мере удаления от них имеются зоны, в которых напряжения  $\sigma_z$  изменяются от нуля до значений, определяемых формулами (132) и (133).

Приведенный анализ полей напряжений при изгибе широкой полосы был выполнен без учета влияния упрочнения металла, поэтому полученные зависимости справедливы для горячего деформирования. В условиях холодного деформирования упрочнение приводит к увеличению напряжения текучести, а следовательно и к увеличению напряжений, действующих в изгибаемой полосе.

Для отыскания поля напряжений при изгибе с упрочнением необходимо, чтобы была задана кривая упрочнения материала заготовки и, кроме того, было известно распределение деформаций по высоте. При этом делаются некоторые допущения, считая, что поворот сечений, перпендикулярных к срединной поверхности, происходит относительно точек, расположенных на нейтральной поверхности напряжений в конечный момент деформирования, пренебрегая зоной немонотонной деформации. Это равнозначно тому положению, что нейтральные слои напряжений и деформаций совпадают, т. е.  $\rho_n = \rho_d = \rho_{cp}$ .

Принимается также, что материал заготовки одинаково упрочняется при растяжении и сжатии, а по упрочняющему эффекту тангенциальная деформация при изгибе эквивалентна линейной деформации при растяжении или сжатии. При таких допущениях можно будет найти величины относительных линейных  $\epsilon_\theta$  и истинных или логарифмических  $e$  деформаций при изгибе в тангенциальном направлении.

Относительные тангенциальные линейные деформации растяжения для любого слоя, характеризуемого текущим радиусом  $\rho$ , определяются из зависимости [16]

$$\epsilon_\theta = (\rho\alpha - \rho_n\alpha)/\rho_n\alpha = (\rho - \rho_n)/\rho_n = \rho/\rho_n - 1, \quad (134)$$

т. е. деформация волокон пропорциональна их расстоянию от нейтрального слоя и обратно пропорциональна радиусу его кривизны.

Наибольшие деформации будут иметь место на наружных поверхностях, как наиболее удаленных от нейтрального слоя, тогда (при  $\rho_n = \rho_{cp} = r + s/2$ )

$$\epsilon_{\theta \max} = \epsilon_r = s/2\rho_n = s/2\rho_{cp} = s/2(r + s/2) = 1/(2r/s + 1). \quad (135)$$

Большие пластические деформации определяются истинными или логарифмическими деформациями по формуле

$$e_\theta = \ln(\rho/\rho_n). \quad (136)$$

Кривую упрочнения при изгибе можно аппроксимировать прямой линией или степенной зависимостью. В первом случае, уравнение прямой, аппроксимирующей кривую упрочнения в координатах напряжение—истинные (логарифмические) деформации, может быть записано в виде

$$\sigma_s = \sigma_{\tau_0} \pm \Pi e_\theta = \sigma_{\tau_0} \pm \Pi \ln(\rho/\rho_n), \quad (137)$$

где  $\sigma_{\tau_0}$  — экстраполированный предел текучести, равный  $\sigma_b (1 - 2\psi_b)/(1 - \psi_b)^2$ ;  $\Pi$  — средний модуль упрочнения (тангенс угла наклона прямой к оси деформаций), равный  $\sigma_b/(1 - \psi_b)^2$ .

Условие пластичности (122) при подстановке в него напряжение текучести с учетом упрочнения (137) получит вид

$$\sigma_\theta - \sigma_\rho = \pm \beta \sigma_s = \pm \beta [\sigma_{\tau_0} \pm \Pi \ln(\rho/\rho_n)]. \quad (138)$$

В уравнениях (137) и (138) знак плюс перед квадратной скобкой и в скобках относится к зоне растяжения, где тангенциальная деформация положительная ( $\rho > \rho_n$ ), а знак минус — к зоне сжатия, где тангенциальная деформация отрицательная ( $\rho < \rho_n$ ).

Решая уравнение равновесия (121) совместно с условием пластичности (138) после интегрирования и отыскания значения произвольной постоянной интегрирования с использованием граничных условий, по которым для зоны тангенциального растяжения при  $\rho = R$  напряжение  $\sigma_\rho = 0$ , а для зоны тангенциального сжатия при  $\rho = r$  напряжение  $\sigma_\rho = 0$ , находим формулы, характеризующие распределение напряжений  $\sigma_\rho$  и  $\sigma_\theta$  по толщине заготовки при гибке моментом с учетом упрочнения.

Для зоны растяжения:

$$\sigma_\rho = -\beta \left( \sigma_{\tau_0} + \frac{\Pi}{2} \ln \frac{\rho R}{\rho_n^2} \right) \ln \frac{R}{\rho}; \quad (139)$$

$$\sigma_\theta = \beta \left[ \sigma_{\tau_0} \left( 1 - \ln \frac{R}{\rho} \right) + \frac{\Pi}{2} \left( 2 \ln \frac{\rho}{\rho_n} - \ln \frac{\rho R}{\rho_n^2} \ln \frac{R}{\rho} \right) \right]; \quad (140)$$

для зоны сжатия:

$$\sigma_\rho = -\beta \left( \sigma_{\tau_0} + \frac{\Pi}{2} \ln \frac{\rho_n^2}{\rho r} \right) \ln \frac{\rho}{r}; \quad (141)$$

$$\sigma_\theta = -\beta \left[ \sigma_{\tau_0} \left( 1 + \ln \frac{\rho}{r} \right) + \frac{\Pi}{2} \left( 2 \ln \frac{\rho_n}{\rho} + \ln \frac{\rho_n^2}{\rho r} \ln \frac{\rho}{r} \right) \right]. \quad (142)$$

Как видно, полученные формулы (139) — (142) переходят в формулы (125) — (128) при  $\Pi = 0$  (случай деформирования без учета упрочнения) с заменой  $\sigma_{\tau_0}$  на напряжение текучести  $\sigma_s$ .

Радиус нейтральной поверхности напряжений  $\rho_n$  при деформировании с учетом упрочнения определяется по формуле (129), как и для случая деформирования без учета упрочнения [76].

Задача по отысканию поля напряжений с учетом упрочнения по степенной зависимости, как наиболее точной, решается аналогично, как и в случае линейной аппроксимации кривой упрочнения, о чем подробно рассматривается в работе [75].

На рис. 54 были приведены эпюры распределения напряжений  $\sigma_\rho$  и  $\sigma_\theta$  по толщине заготовки при  $r/s > 5$ , когда влиянием напряжения  $\sigma_\rho$  можно пренебречь (линейное напряженное состояние) и при относительно малом отношении  $r/s$  (объемное напряженное состояние), как без учета, так и с учетом упрочнения. В последнем случае напряжения определяются по формулам (139) — (142).

## § 26. ПЛАСТИЧЕСКИЙ ИЗГИБ АНИЗОТРОПНОГО ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА

Листовые металлы обладают значительной анизотропией механических свойств в различных направлениях прокатываемого листа. Эти особенности необходимо учитывать при разработке технологических процессов при гибке или вытяжке деталей сложной формы из широкой полосы или непосредственно из листа.

Рассмотрим случай изгиба моментом (чистый изгиб) широкой анизотропной полосы или листа (при условии плоской деформации), исходя из теории пластичности анизотропного металла, предложенной Р. Хиллом (см. § 23) и получившей дальнейшее развитие применительно к гибке в работе [113].

Пусть анизотропный лист с осями анизотропии  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  подвергается деформации чистого изгиба в плоскости  $ZX$ . Ось анизотропии  $Y$  тогда перпендикулярна плоскости течения. Так как при изгибе широкой полосы деформации в направлении, перпендикулярном плоскости действия момента, весьма малы, то ими можно пренебречь и принять  $d_{ey} = 0$ .

Из формулы (109) получаем

$$\sigma_y = \frac{H\sigma_x + F\sigma_z}{F + H}. \quad (143)$$

Подставив значение  $\sigma_y$  из (143) в условие пластичности (104), после ряда преобразований и сокращений получаем

$$\frac{FG + GH + HF}{F + H} (\sigma_x - \sigma_z)^2 = 1. \quad (144)$$

Согласно выражению (106)

$$\sigma_{sy} = \frac{1}{\sqrt{F + H}}; \quad (145)$$

и условие пластичности преобразуется к виду

$$\sigma_x - \sigma_z = \pm \sigma_{sy} \frac{F + H}{\sqrt{FG + GH + HF}}. \quad (146)$$

Решение задачи по пластическому изгибу будем вести с использованием полярных координат, ориентированных таким образом, что плоскость  $\rho\theta$  совпадает с плоскостью анизотропии  $ZX$ . Тогда, заменив в уравнении (146) индексы  $z$  и  $x$  соответственно на  $\rho$  и  $\theta$ , будем иметь

$$\sigma_\theta - \sigma_\rho = \pm \sigma_{sy} \frac{F + H}{\sqrt{FG + GH + HF}}. \quad (147)$$

Здесь знак плюс относится к зоне растяжения, а знак минус — к зоне сжатия.

Характерно, что при  $F = G = H$  и  $\sigma_{sy} = \sigma_{sz} = \sigma_{sx}$  (изотропный металл) уравнение (104) превращается в условие пластичности по энергетической теории, как и для изотропного металла, при котором  $\sigma_{\theta} - \sigma_{\rho} = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_s = 1,15\sigma_s$ .

Решая выражение (147) совместно с уравнением равновесия (92) и используя те же граничные условия как и при изгибе широкой полосы из изотропного металла без упрочнения, получаем формулы для определения распределения напряжений по толщине заготовки с учетом также и анизотропии металла.

Для зоны растяжения:

$$\sigma_{\rho} = -\sigma_{sy} \frac{F + H}{\sqrt{FG + GH + HF}} \ln \frac{R}{\rho}; \quad (148)$$

$$\sigma_{\theta} = \sigma_{sy} \frac{F + H}{\sqrt{FG + GH + HF}} \left(1 - \ln \frac{R}{\rho}\right). \quad (149)$$

Для зоны сжатия:

$$\sigma_{\rho} = -\sigma_{sy} \frac{F + H}{\sqrt{FG + GH + HF}} \ln \frac{\rho}{r}; \quad (150)$$

$$\sigma_{\theta} = -\sigma_{sy} \frac{F + H}{\sqrt{FG + GH + HF}} \left(1 + \ln \frac{\rho}{r}\right). \quad (151)$$

Сопоставляя выражения (125) — (128) и (148) — (151), можно убедиться в том, что, применяя условие пластичности для анизотропного металла в расчетах для пластического изгиба, получаем решения, аналогичные полученным как и для изотропного металла, но учитывающие векториальность свойств деформируемого металла.

Следует отметить, что, используя ту же приведенную методику, можно с некоторым допущением (считая, что кривая упрочнения применима и для анизотропного металла) установить распределение напряжений по толщине заготовки и для случая пластического изгиба анизотропного металла с учетом также и упрочнения, для чего следует в формулах (139)—(142) перед скобками и коэффициентом  $\beta$  подставить значение общего параметра, характеризующего влияние анизотропии механических свойств металла на процесс гибки в виде коэффициента  $A = (F + H)/\sqrt{FG + GH + HF}$ .

Параметры анизотропии  $F$ ,  $G$ ,  $H$  можно найти по результатам испытания на растяжение удлиненных образцов, вырезанных в плоскости листа вдоль оси  $X$  — вдоль направления прокатки и вдоль оси  $Y$  — поперек направления прокатки (см. § 5 и 23).

Учитывая явление анизотропии металла, а также вследствие того, что при гибке возникают значительные растягивающие напряжения на наружной поверхности изгибаемых полос, нужно

стремиться к тому, чтобы ребро гибки было расположено поперек волокон заготовки (перпендикулярно к направлению прокатки) или под углом, близким к  $90^\circ$ , иначе возможен излом материала (рис. 55, а).

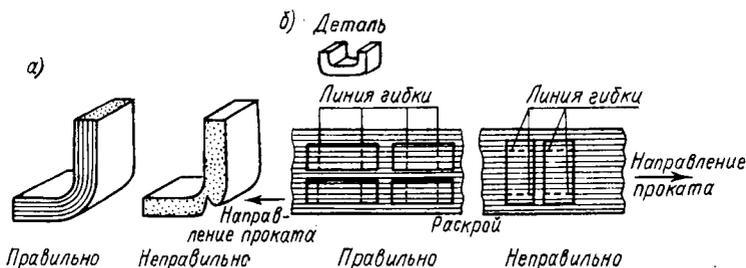


Рис. 55. Влияние направления прокатки на процесс гибки

На рис. 55, б показаны правильное и неправильное расположение в полосе (листе) заготовок, предназначенных для последующей гибки. На образование изломов (трещин) большое влияние оказывает радиус закругления пуансона  $r_1$ . Если деталь должна быть изогнута в двух направлениях, то располагать ее в полосе следует таким образом, чтобы ось гибки составляла с направлением прокатки угол  $45^\circ$ .

## § 27. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗГИБАЮЩЕГО МОМЕНТА ПРИ ГИБКЕ

Зная распределение напряжений по толщине заготовки из формул (140) и (142), можно определить изгибающий момент, необходимый для осуществления пластического изгиба. В общем случае изгибающий момент, приходящийся на единицу ширины изгибаемой полосы, может быть найден как сумма моментов, создаваемых напряжениями  $\sigma_\theta$ , определяемых интегралами  $\int \sigma_\theta \rho d\rho$  для участков, в которых знак напряжений  $\sigma_\theta$  и характер функциональной зависимости  $\sigma_\theta = f(\rho)$  постоянны. Момент, действующий на единицу ширины заготовки,

$$M = \int_{\rho_H}^R \sigma_{\theta \text{ раст}} \rho d\rho + \int_r^{\rho_H} \sigma_{\theta \text{ сжат}} \rho d\rho. \quad (152)$$

Подставляя в уравнение (152)  $\sigma_{\theta \text{ раст}}$  из уравнения (140),  $\sigma_{\theta \text{ сжат}}$  из уравнения (142),  $\rho_H$  из уравнения (129), получим формулу для определения изгибающего момента при гибке с упрочнением [113]

$$M = \beta \left[ \sigma_{\tau 0} \left( \frac{R-r}{2} \right)^2 + \Pi \left( \frac{R^2+r^2}{4} \ln \sqrt{\frac{R}{r}} - \frac{R^2-r^2}{8} \right) \right]. \quad (153)$$

При изгибе без упрочнения из формулы (153) находим, приняв

$$\sigma_{\tau 0} = \sigma_s, \\ M = \beta \left[ \sigma_s \left( \frac{R-r}{2} \right)^2 \right] = \beta \sigma_s \frac{s^2}{4}. \quad (154)$$

Из формулы (154) следует, что момент, необходимый для пластического изгиба без упрочнения, не изменяется в процессе деформирования по мере увеличения кривизны заготовки, начиная от значений, при которых упруго деформированная часть ее пренебрежимо мала. В практике изгиба листов в холодном состоянии в связи с упрочнением металла изгибающий момент увеличивается.

Особенности гибки продольными и поперечными силами, а также узкой полосы рассмотрены в работах [55; 75].

В условиях практики обычно имеет место изгиб по сравнительно большому радиусу ( $r > 5s$ ), когда применима теория линейного изгиба, и тогда изгибающий момент можно определить в более упрощенном виде. Примем, что кривая — эпюра распределения напряжений как в верхней части полосы, так и в нижней относительно нейтрального слоя напряжений имеет такой же вид, как и кривая растяжения при статическом испытании образца с учетом также и упрочнения металла по линейной аппроксимации или по степенной зависимости, при этом пренебрегая ввиду незначительной величины упругим участком кривой, составляющим не более 1%. На рис. 56 показана подобная эпюра по прямой (а) и по кривой (б) упрочнения.

Исходя из условия равенства действующего изгибающего момента в рассматриваемом сечении моменту внутренних сил, можно вывести уравнение для определения величины момента и сил, действующих при пластическом изгибе.

Рассматривая изгиб бруса (полосы) прямоугольного сечения (рис. 56, а), находим, что момент внутренних сил в зоне растяжения

$$M_p = \int_0^{s/2} \sigma_{sy} b y dy = \int_0^{s/2} (\sigma_{\tau 0} + y\Pi) b y dy, \quad (155)$$

где  $\Pi = (\sigma_s - \sigma_{\tau 0})/0,5s$  — модуль упрочнения (выражая  $s$  в отвлеченных единицах и считая его равным единице).

Интегрируя уравнение (155) по частям, получим

$$M_p = \frac{bs^2}{8} \sigma_{\tau 0} + \frac{bs^3}{8 \cdot 3} \Pi. \quad (156)$$

Так как в зоне сжатия изгибающий момент будет таким же, как и в зоне растяжения, то суммарный момент всего сечения будет равен удвоенному значению момента по выражению (156)

$$M_p = \frac{bs^2}{4} \sigma_{\tau 0} + \frac{bs^3}{12} \Pi. \quad (157)$$

Заменив в формуле (157) произведение  $0,5/s\Pi$  его выражением  $\sigma_s - \sigma_{\tau 0}$ , получим формулу для определения изгибающего момента бруса (полосы) прямоугольного сечения в виде

$$M = \frac{bs^2}{4} \sigma_{\tau 0} + \frac{bs^2}{6} \sigma_s - \frac{bs^2}{6} \sigma_{\tau 0} = \frac{bs^2}{6} (\sigma_s + 0,5\sigma_{\tau 0}) = W (\sigma_s + 0,5\sigma_{\tau 0}), \quad (158)$$

а при гибке балок или прутков круглого сечения в виде

$$M = W (\sigma_s + 0,7\sigma_{\tau 0}), \quad (159)$$

где  $W$  — момент сопротивления бруса (полосы), равный для прямоугольного сечения  $bs^2/6$ , а для круглого  $0,1d^3$  ( $d$  — диаметр прутка);  $\sigma_{\tau 0}$  — экстраполированный предел текучести, опре-

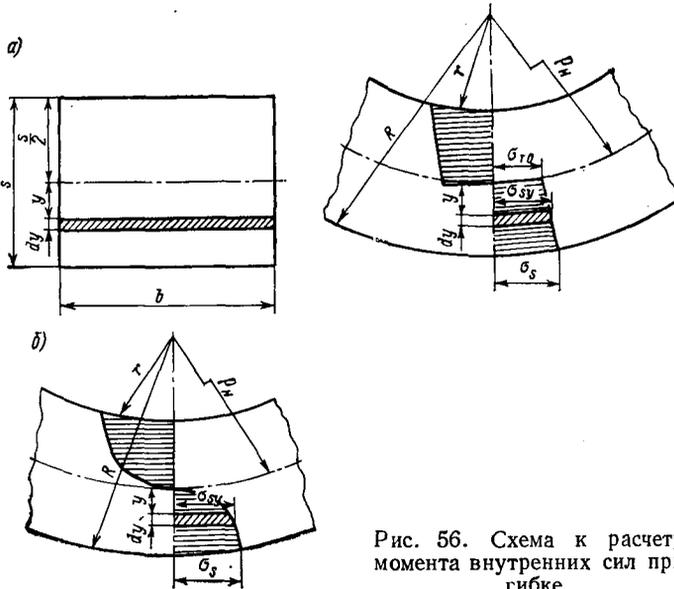


Рис. 56. Схема к расчету момента внутренних сил при гибке

деляемый из выражения  $\sigma_b (1 - 2\psi_b)/(1 - \psi_b)^2$ ;  $\sigma_s$  — напряжение текучести, определяемое по диаграмме истинных напряжений в зависимости от степени деформации крайних волокон при гибке  $\epsilon_r$ , которая определяется по формуле (135).

Поскольку при гибке необходимо, чтобы напряжение не превосходило  $S_b$  ( $\sigma_{ш}$ ), то при отсутствии точных данных, позволяющих по величине деформации  $\epsilon_r$  определить  $\sigma_s$ , а также для упрощения расчетов можно принять  $\sigma_s \approx S_b = (1 + \epsilon_b) \sigma_b$  и  $\sigma_{\tau 0} \approx \sigma_b$ , где  $\epsilon_b$  ( $\epsilon_{ш}$ ) — относительное удлинение данного материала при растяжении образца в момент начала образования шейки;  $\sigma_b$  — временное сопротивление разрыву (условное).

Изгибающий момент для прямоугольного сечения будет

$$M = W [(1 + \varepsilon_B) \sigma_B + 0,5\sigma_B] = \frac{bs^2}{6} (1,5 + \varepsilon_B) \sigma_B, \quad (160)$$

а для круглого сечения

$$M = W [(1 + \varepsilon_B) \sigma_B + 0,7\sigma_B] = 0,1d^3 (1,7 + \varepsilon_B) \sigma_B. \quad (161)$$

Анализируя формулы (160) и (161), приходим к выводу, что изгибающий момент в области пластических деформаций (при гибке) достигает больших значений, чем в области упругих деформаций. Это происходит вследствие того, что пластический момент сопротивления  $W_{\text{пласт}} = bs^2/4$ , в то время как при упругом изгибе момент сопротивления  $W_{\text{упруг}} = bs^2/6$ , т. е.  $W_{\text{пласт}}$  в 1,5 раза больше  $W_{\text{упруг}}$ . Кроме того, здесь также влияет и фактор упрочнения металла по мере его деформации в холодном состоянии.

### § 28. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЯ И ЗАТРАЧИВАЕМОЙ РАБОТЫ ПРИ ГИБКЕ

**Определение усилия при гибке полосы или прутка,  
зажатого одним концом**

Схему такой заготовки можно рассматривать как консольную балку, защемленную одним концом, на другом конце которой действует сила  $P$  на расстоянии  $x$ . Тогда для полосового материала будем иметь

$$M = Px = W (1,5 + \varepsilon_B) \sigma_B = \frac{bs^2 (1,5 + \varepsilon_B)}{6} \sigma_B, \quad (162)$$

откуда

$$P = \frac{bs^2 (1,5 + \varepsilon_B) \sigma_B}{6x}; \quad (163)$$

для пруткового материала

$$P = \frac{W (1,7 + \varepsilon_B) \sigma_B}{x} = \frac{0,1d^3 (1,7 + \varepsilon_B) \sigma_B}{x}. \quad (164)$$

Таким же образом выводятся формулы для определения усилия гибки в штампах.

**Определение усилия при гибке полосы на одноугловом штампе**

Данная задача сводится к случаю балки, лежащей на двух опорах с расстоянием между ними, равным  $l_x$ , и нагруженной посередине усилием  $P_0$ ; пока без учета силы трения (рис. 57, а). Применяя формулу (160), найдем, что изгибающий момент

$$M = \frac{P_0 l_x}{4} = W (1,5 + \varepsilon_B) \sigma_B = \frac{bs^2}{6} (1,5 + \varepsilon_B) \sigma_B, \quad (165)$$

откуда усилие гибки для любого положения пуансона

$$P_0 = \frac{4bs^2(1,5 + \epsilon_B) \sigma_B}{6l_x}. \quad (166)$$

Наименьшее усилие будет в начале гибки, когда  $l_x = l_0$ ; наибольшее усилие получается в конце гибки при  $l_x = l_k = 2r \sin \alpha_x/2$ .

Тогда

$$P_{0 \max} = \frac{4bs^2(1,5 + \epsilon_B) \sigma_B}{6 \cdot 2r \sin \alpha_x/2}. \quad (167)$$

Так как кроме усилия, необходимого непосредственно для гибки, приходится также преодолевать силу трения между сколь-

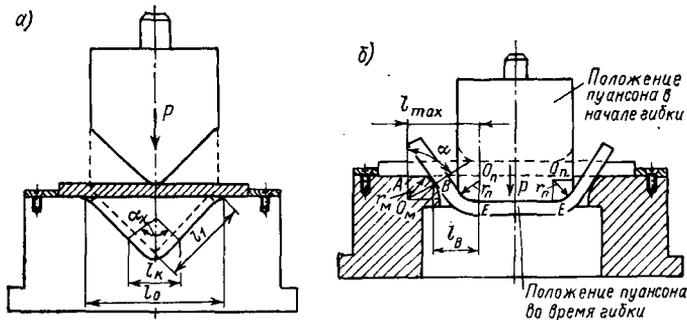


Рис. 57. Схема к расчету усилия гибки плоских деталей

зящими плоскостями детали и рабочими частями штампа (если разложить  $P_0$  на две силы, перпендикулярные к рабочим стенкам штампа), то действительное усилие  $P$  будет всегда больше на величину силы трения  $P_{тр}$ , которую при коэффициенте трения  $\mu = 0,3$  можно принять с некоторым запасом  $P_{тр} = 0,3P_0$ . Тогда

$$P = P_0 + P_{тр} = 1,3P_0. \quad (168)$$

#### Определение усилия при гибке полосы П-образной формы (типа скобы) на двухугловом штампе

Рассматриваем этот случай как балку, загибаемую вокруг рабочих кромок пуансона в двух заделанных точках  $E$  (рис. 57, б).

Из условия равенства изгибающих моментов внешних и внутренних сил можно вывести уравнение

$$M = P_0 l_B = 2W(1,5 + \epsilon_B) \sigma_B = \frac{2bs^2}{6}(1,5 + \epsilon_B) \sigma_B, \quad (169)$$

где  $l_B$  — переменное плечо, уменьшающееся по мере опускания (от максимального его значения  $O_n A$ ) пуансона и определяемое из геометрических соотношений, а именно:

$$\begin{aligned} l_B &= r_{II} + s + cs + r_M - r_{II} \sin \alpha - r_M \sin \alpha = \\ &= s + cs + r_{II}(1 - \sin \alpha) + r_M(1 - \sin \alpha). \end{aligned} \quad (170)$$

Здесь  $c$  — коэффициент, определяемый по табл. 9.

Выражение (170) получается на основании следующих соображений. По мере опускания пуансона плечо  $l_b$  уменьшается не только в результате гибки материала на закруглении матрицы, но в результате перемещения крайней точки контакта материала с закруглением пуансона.

Усилие, потребное непосредственно для гибки (при работе на провал), при любом положении пуансона

$$P_0 = \frac{2bs^2 (1,5 + \varepsilon_b) \sigma_b}{6 [s + cs + r_n (1 - \sin \alpha) + r_m (1 - \sin \alpha)]}. \quad (171)$$

Действительное усилие с учетом трения (при работе на провал)

$$P = P_0 + P_{тр} = 1,3P_0. \quad (172)$$

Наименьшее усилие гибки будет при горизонтальном положении полосы в начале гибки (при  $l_{b \max} = r_n + s + cs + r_m$ ), наибольшее — в конце, когда угол  $\alpha$  будет приближаться к  $90^\circ$  и  $\sin \alpha = 1$  (при  $l_{b \max} = s + cs$ ). Тогда

$$P_{\max} = 1,3P_{0 \max} = \frac{1,3 \cdot 2bs^2 (1,5 + \varepsilon_b) \sigma_b}{6 (s + cs)}. \quad (173)$$

В случае гибки с пружинным выталкивателем, применяемым для получения плоского дна, усилие гибки  $P'$  следует увеличить на 25—30%, тогда  $P'_{\max} = (1,25 + 1,30) P_{\max}$ .

Если деталь после гибки подвергается правке, то, поскольку правка следует за гибкой и не совпадает с ней во времени (производится в конце процесса гибки), усилие, необходимое для правки  $P_{пр}$ , определяют по формуле

$$P_{пр} = p_{пр} F_{пр}, \quad (174)$$

где  $F_{пр}$  — площадь материала, подлежащего правке,  $\text{мм}^2$ ;  $p_{пр}$  — давление правки при гибке; берется в зависимости от рода материала и его толщины в пределах 30—150 МПа, а именно:

Для алюминия АД, АД1 . . . . .	30—60
» латуни Л63 . . . . .	60—100
» сталей 10—20 . . . . .	80—120
» сталей 25—35 . . . . .	100—150

Для более толстых материалов ( $s > 3$  мм) следует брать большие значения  $P_{пр}$ . По этому максимальному усилию (поскольку усилие правки значительно больше усилия гибки) и подбирают пресс как при одноугловой, так и при двухугловой гибке.

Работу (в Дж), затрачиваемую при гибке, можно определить с достаточной для практики степенью точности из выражения

$$A_H = (P_{ср} h) / 1000 \approx (P_{\max} h) / 2 \cdot 1000, \quad (175)$$

где  $P_{\max}$  — максимальное усилие гибки, Н;  $h = l_0 + r_n + r_m$  — величина полного перемещения пуансона в матрицу (активная высота), мм;  $l_0$  — глубина матрицы, мм.

*Пример.* Определить величину усилия и затрачиваемой работы при гибке стальной скобы вида (рис. 58) с размерами  $b = 60$  мм,  $s = 3$  мм,  $l_1 = l_3 = 35$  мм,  $l_2 = 130$  мм ( $r = 2s = 6$  мм;  $R = r + s = 9$  мм). Механические характеристики материала (сталь 20) следующие:  $\sigma_B = 420$  МПа;  $\sigma_T = 250$  МПа;  $\delta_{10} = 25\%$ ;  $\epsilon_B (\delta_B) = 0,8\delta_{10} = 0,20$ ;  $\psi_B = \delta_B / (1 + \epsilon_B) = 0,20 / 1,20 = 0,17$ .

Из табл. 8 находим, что минимально допустимый радиус гибки  $r_{\min} = r_{\Pi} = 0,50s = 1,5$  мм.

Из табл. 9 устанавливаем, что  $cs = 0,1s = 0,3$  мм; радиус закругления матрицы принимаем равным  $r_M = 2s = 6$  мм, глубину матрицы  $l_0 = 20$  мм;

$$h = l_0 + r_{\Pi} + r_M = 20 + 1,5 + 6 = 27,5 \text{ мм.}$$

Тогда изгибающий момент с учетом трения (при  $\alpha = 90^\circ$  и  $\mu = 0,3$ ) при гибке на провал определится по формуле (160)  $M = \frac{1,3 \cdot 2bs^3}{6} (1,5 + \epsilon_B) \sigma_B = (1,3 \cdot 2 \cdot 60 \cdot 9^3) / 6 (1,5 + 0,20) 420 = 146$  Дж.

Если определить изгибающий момент из зависимости (153), предварительно найдя  $\sigma_{T0}$  и  $\Pi$  по формуле (7),

$$\sigma_{T0} = \frac{\sigma_B (1 - 2\psi_B)}{(1 - \psi_B)^2} = \frac{420 (1 - 2 \cdot 0,17)}{(1 - 0,17)^2} = 403 \text{ МПа;}$$

$$\Pi = \frac{\sigma_B}{(1 - \psi_B)^2} = \frac{420}{(1 - 0,17)^2} = 608 \text{ МПа,}$$

то

$$M = \beta 2b \left[ \sigma_{T0} \left( \frac{R-r}{2} \right)^2 + \Pi \left( \frac{R^2+r^2}{4} \ln \sqrt{\frac{R}{r}} - \frac{R^2-r^2}{8} \right) \right] = 1,15 \cdot 2 \cdot 60 \left[ 403 \left( \frac{9-6}{2} \right)^2 + 608 \left( \frac{9^2+6^2}{4} \ln \sqrt{\frac{9}{6}} - \frac{9^2-6^2}{8} \right) \right] = 151 \text{ Дж.}$$

Как видно из приведенных расчетов, изгибающий момент, определяемый по более точной формуле (153), имеет несколько большую величину, чем по формуле (160). Однако разница между этими величинами небольшая, меньше 4%, что указывает на возможность в практических условиях пользоваться упрощенными зависимостями.

Максимальное усилие гибки определится по формуле (173)

$$P_{\max} = P_{0 \max} = \frac{1,3 \cdot 2 \cdot 60 \cdot 3^3 (1,5 + 0,20) 420}{6 (3 + 0,3)} = 50,15 \text{ кН.}$$

При работе с противодавлением пружины, равным 25% от  $P_{\max}$  — 12,54 кН, общее усилие гибки составит  $P'_{\max} = 50,15 + 12,54 = 62,69$  кН.

Если деталь в конце хода пресса будет подвергаться правке, то усилие правки

$$P_{\text{пр}} = p_{\text{пр}} F_{\text{пр}} = 100 \cdot 60 \cdot 136 = 816 \text{ кН.}$$

По этому усилию следует подбирать пресс. Затрачиваемая работа (для первого случая)

$$A_H = \frac{P'_{\max} h}{2 \cdot 1000} = \frac{62,69 \cdot 27,5}{2 \cdot 1000} = 855 \text{ Дж.}$$

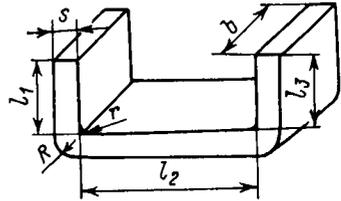


Рис. 58. Деталь к примеру для расчета усилия и затрачиваемой работы при гибке

## § 29. ПРУЖИНЕНИЕ ДЕТАЛИ ПОСЛЕ ГИБКИ

При проведении гибочных операций необходимо всегда учитывать наличие и упругих деформаций материала, вследствие которых форма изделия после гибки отличается от формы штампа. Поэтому при проектировании и изготовлении штампов для гибки следует учитывать величину пружинения материала. Для получения заданного угла и радиуса после гибки необходимо угол и радиус на штампе (на пуансоне) уменьшать на величину пружинения. Опыты показали, что величина пружинения зависит от рода и толщины материала, формы детали, относительного радиуса гибки, угла гибки, а также от силы удара. Чем выше предел текучести  $\sigma_t$  изгибаемого материала, чем больше относительный радиус  $r/s$  и меньше толщина материала  $s$  и чем больше угол гибки  $\alpha$ , тем больше пружинение при прочих равных условиях. При одноугловой гибке пружинение будет больше, чем при двухугловой. В случае двухугловой гибки на величину пружинения влияет также зазор между матрицей и пуансоном; при отрицательном зазоре (когда зазор меньше толщины материала) пружинение сводится к минимуму.

Угол пружинения может быть определен аналитически путем расчета величины напряжений и упругой деформации, а также и экспериментально посредством испытаний и замеров.

Аналитически величины остаточных напряжений и упругого пружинения, проявляющегося в изменении кривизны и угла изгиба, можно установить на основании теоремы о разгрузке [42], получившей дальнейшее развитие применительно к листовой штамповке в работе [92] и в работах [1; 16; 55; 79; 113].

Согласно этой теореме связь между напряжениями и деформациями при разгрузке подчиняется закону Гука. Если тело при нагружении испытывало неоднородную деформацию, то при разгрузке в нем возникнут остаточные напряжения, величина которых определяется как разность между напряжениями, действующими в нагруженном теле, и условиями — фиктивными напряжениями, которые возникли бы в теле при том же внешнем силовом воздействии, но при условии только упругого деформирования.

Из условия равенства момента пластического изгиба (прямоугольной полосы шириной  $b$ ) без упрочнения и фиктивного момента упругих деформаций изгиба можно найти величину напряжения  $\sigma_y$  в поверхностных слоях заготовки (при  $y = s/2$  и  $\beta = 1$ ) при фиктивном упругом изгибе (рис. 59, а)

$$(M_{\text{пласт}} = \frac{1}{4} bs^2\sigma_s) = (M_{\text{упруг}} = \frac{1}{6} bs^2\sigma_y); \quad \sigma_y = \frac{3}{2} \sigma_s. \quad (176)$$

Тогда напряжения  $\sigma'$ , возникающие в заготовке вследствие действия фиктивного упругого момента, определяются из выражения

$$\sigma' = \frac{3}{2} \sigma_s \frac{2(\rho - \rho_{\text{сп}})}{s} = 3\sigma_s \frac{\rho - \rho_{\text{сп}}}{s} = 3\sigma_s \frac{y}{s}, \quad (177)$$

где  $\rho_{\text{ср}}$  — радиус срединной поверхности заготовки;  $y$  — расстояние от срединной поверхности до рассматриваемого слоя, равное  $\rho - \rho_{\text{ср}}$ .

Распределение остаточных напряжений по толщине заготовки после разгрузки найдем из выражения

$$\sigma_{\text{ост}} = \sigma_s - \sigma' = \sigma_s - 3\sigma_s y/s = \sigma_s (1 - 3y/s), \quad (178)$$

а в наружном слое (при  $y = s/2$ ) величина остаточного напряжения равна

$$\sigma_{\text{ост}R} = \sigma_s - \frac{3}{2} \sigma_s = -\frac{1}{2} \sigma_s. \quad (179)$$

Отсюда следует, что наружный слой заготовки, который при изгибе испытывал растяжение с напряжением  $\sigma_s$ , после разгрузки

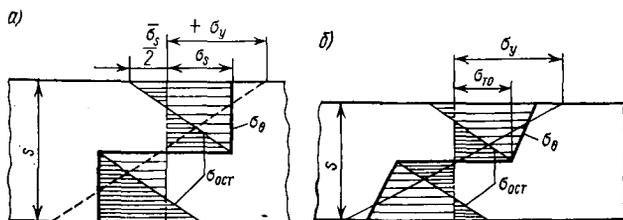


Рис. 59. Эпюры остаточных напряжений при гибке

будет испытывать сжатие с напряжением  $-0,5\sigma_s$ . Так как разгрузка происходит в условиях упругого деформирования, то изменение кривизны, возникающее при разгрузке, можно определить по формуле

$$\Delta/\rho_{\text{разгр}} = M/EJ, \quad (180)$$

где  $E$  — модуль упругости;  $J$  — момент инерции площади поперечного сечения прямоугольной полосы относительно нейтральной поверхности.

В рассматриваемом случае  $M = 0,25bs^2\sigma_s$ , а  $J = bs^3/12$ , тогда из формулы (180) получим

$$1/\rho_{\text{разгр}} = 3\sigma_s/Es. \quad (181)$$

Конечная кривизна срединной поверхности заготовки определяется как разность между кривизной под нагрузкой и изменением кривизны при разгрузке

$$1/\rho_{\text{ост}} = 1/\rho_{\text{ср}} - 1/\rho_{\text{разгр}} = 1/\rho_{\text{ср}} - M/EJ. \quad (182)$$

Решая уравнение (182) относительно остаточного радиуса кривизны  $\rho_{\text{ост}}$ , находим его значение

$$\rho_{\text{ост}} = \frac{\rho_{\text{ср}}}{1 - M\rho_{\text{ср}}/EJ}. \quad (183)$$

Зная остаточный радиус кривизны  $\rho_{\text{ост}}$ , можно определить остаточный угол  $\alpha_{\text{ост}}$  изгиба, исходя из условия, что при разгрузке длина волокна на срединной нейтральной поверхности заготовки не изменяется; тогда

$$\rho_{\text{ср}}\alpha = \rho_{\text{ост}}\alpha_{\text{ост}}. \quad (184)$$

Разность между остаточным углом  $\alpha_{\text{ост}}$  и углом  $\alpha$  изгиба представляет собой угол пружинения

$$\Delta\alpha = \gamma = \alpha - \alpha_{\text{ост}}. \quad (185)$$

Определив из уравнения (184)  $\alpha_{\text{ост}}$ , а из уравнения (183)  $\rho_{\text{ост}}$ , можно будет после подстановки их значений в формулу (185) найти угол пружинения

$$\Delta\alpha = \gamma = (1 - \rho_{\text{ср}}/\rho_{\text{ост}})\alpha = \frac{M\rho_{\text{ср}}}{EJ}\alpha. \quad (186)$$

Так как при изгибе полосы моментом  $1/\rho_{\text{разгр}} = 3\sigma_s/Es$ , то после несложных преобразований можно получить формулу для определения угла пружинения

$$\Delta\alpha = \gamma = 3 \frac{\sigma_s}{E} \cdot \frac{\rho_{\text{ср}}}{s} \alpha = 3 \frac{\sigma_s}{E} \left( \frac{r}{s} + 0,5 \right) \alpha. \quad (187)$$

Используя аналогичную методику, можно получить формулу для определения угла пружинения  $\gamma$  при изгибе с учетом влияния упрочнения металла, принимая, что кривая упрочнения аппроксимируется по линейной зависимости.

Исходя из принятой эпюры распределения напряжений с учетом упрочнения (рис. 59, б), можно найти изгибающий момент (при  $b = 1$ )

$$M = \frac{1}{4} \sigma_{\tau 0} s^2 + \frac{1}{6} \Pi \frac{s}{2r+s} s^2. \quad (188)$$

Приравняв момент по (188) фиктивному моменту упругой разгрузки, определяемому выражением  $M = \frac{1}{6} \sigma_y s^2$  (при  $b = 1$ ), находим

$$\sigma_y = \frac{3}{2} \sigma_{\tau 0} + \Pi \frac{s}{2r+s}. \quad (189)$$

Далее, по аналогии с предыдущим, можно найти угол пружинения

$$\Delta\alpha = \gamma = \frac{\frac{3}{2} \sigma_{\tau 0} + \Pi s / (2r + s)}{E} \left( \frac{r}{s} + 0,5 \right) \alpha. \quad (190)$$

Анализ формул (187) и (190) показывает, что на угол пружинения существенное влияние оказывает отношение предела текучести к модулю упругости. Упрочнение повышает предел текучести, поэтому наклепанный металл пружинит больше, чем отож-

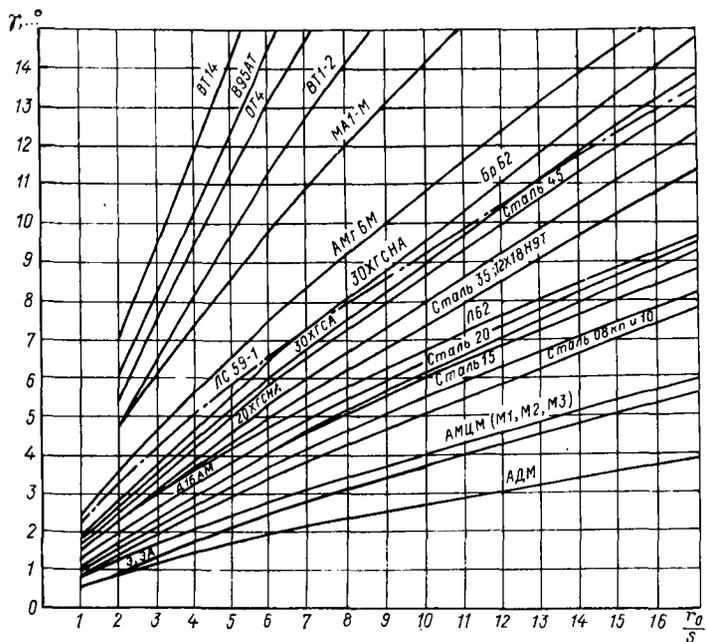


Рис. 60. Диаграмма для определения угла пружинения различных металлов при гибке на  $90^\circ$

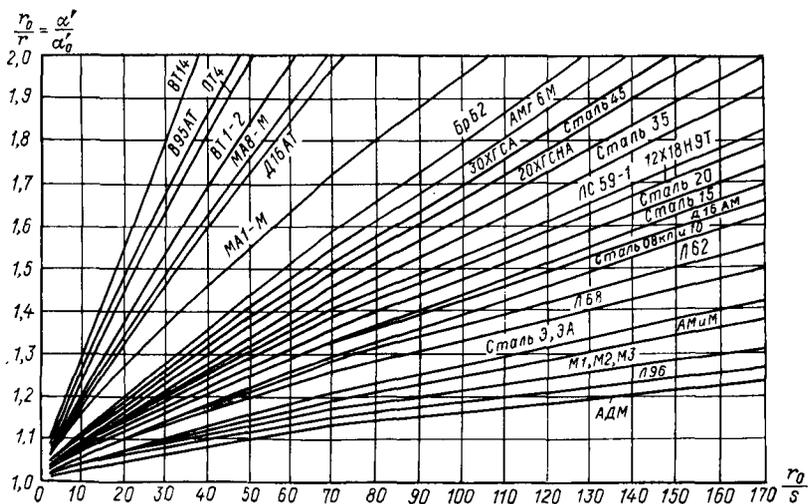


Рис. 61. Диаграмма для определения радиуса закругления после гибки при больших радиусах изгиба

женный. Более интенсивно упрочняющиеся металлы имеют большее пружинение. С увеличением угла  $\alpha$  и относительного радиуса  $r/s$  пружинение возрастает. Пружинение металла можно определить, пользуясь опытными и практическими данными.

Пружинение заготовки при гибке с относительным радиусом  $r/s < 10$  оценивают углом пружинения, который практически представляет собой разность между величиной угла изделия после гибки и углом пуансона. Изменение радиуса в этом случае незначительно и в расчет его не принимают.

Для одноугловой гибки стальных деталей угол пружинения может быть определен в зависимости от относительного радиуса  $r/s$

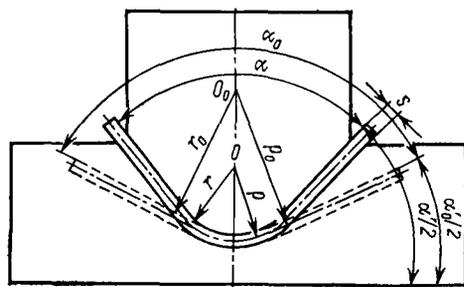


Рис. 62. Схема гибки в штампах по большому радиусу

и от угла гибки  $\alpha$  по экспериментальным данным Б. В. Рябина (см. [32]).

Углы пружинения (средние значения) для различных металлов в зависимости от толщины и внутреннего радиуса гибки ( $r$  и  $r/s$ ), полученные опытным путем, также приведены в книге автора [32].

В случае гибки в упор с чеканкой угла упругое пружинение будет меньше,

чем при свободной гибке, и оно зависит от степени чеканки и настройки пресса, вследствие чего углы пружинения устанавливаются непосредственно при испытании и доводке гибочного штампа. Если гибка производится на обычных штампах по большому радиусу ( $r/s > 10$ ), то корректировка формы гибочного инструмента на пружинение должна быть произведена не только по углу, но и по радиусу. В этом случае пружинение без учета упрочнения металла может быть подсчитано по формулам С. К. Абрамова [см. 29], совпадающим с зависимостями (185) и (187). А. Д. Комаровым выведены формулы для определения пружинения (упругой отдачи) также и с учетом упрочнения металла по степенной зависимости [47; 48]. При этом для упрощения расчетов им на основе этих формул построены диаграммы (рис. 60), позволяющие определить угол пружинения  $\gamma$  по заданному отношению  $r_0/s$  (в пределах от 1 до 17) для разных металлов и сплавов при гибке под углом  $90^\circ$ . На рис. 61 приведена диаграмма того же автора для определения отношения  $r_0/r = \alpha'/\alpha'_0$  (коэффициента упругой отдачи) при весьма больших радиусах изгиба (в пределах от 17 до 170). Здесь  $\rho$  и  $\rho_0$  ( $\rho_{\text{ост}}$ ) — радиусы кривизны нейтрального слоя до и после пружинения,  $\alpha$  и  $\alpha_0$  — углы изгиба до разгрузки (угол пуансона) и после разгрузки (требуемый угол изделия);  $\alpha'$  — угол загиба заготовки до пружинения, равный  $180^\circ - \alpha$ , а  $\alpha'_0$  — угол после пружинения, равный  $180^\circ - \alpha_0$  (рис. 62).

### § 30. УСТАНОВЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ НЕЙТРАЛЬНОГО СЛОЯ И МИНИМАЛЬНО ДОПУСТИМЫХ РАДИУСОВ ГИБКИ

Для определения размеров заготовки при гибке, а также минимального радиуса закругления пуансона необходимо знать положение нейтрального слоя деформации. Для малых упругопластических деформаций, например при гибке с относительным радиусом закругления  $r/s > 5$ , принимают, что нейтральный слой проходит по середине толщины полосы  $\rho(\rho_d) = \rho_{cp}$ , т. е. его положение определяется радиусом кривизны  $\rho = r + s/2$ . Для значительных пластических деформаций, что имеет место при гибке заготовок с относительным радиусом закругления  $r/s < 5$ , изгиб сопровождается уменьшением толщины материала и смещением нейтрального слоя в сторону сжатых волокон, а для узких полос ( $b < 3s$ ) — также изменением формы поперечного сечения. В этих случаях радиус кривизны нейтрального слоя деформации следует определять по формулам, приведенным в работах [76; 79],

$$\rho(\rho_d) = (r/s + \xi/2) \xi s b_{cp}/b, \quad (191)$$

где  $\xi = s_{yt}/s$  — коэффициент утонения материала ( $s_{yt}$  — толщина материала после гибки, мм);  $b$  — начальная ширина полосы, мм;  $b_{cp}$  — средняя ширина полосы после гибки, определяемая путем обмера, мм;  $b_{cp}/b$  — величина поперечной деформации полосы.

Учитывая, что в листовой штамповке приходится иметь дело преимущественно с гибкой широких заготовок, у которых ширина во много раз больше толщины, можно принять  $b_{cp}/b = 1$ . Тогда радиус кривизны можно определять по формуле

$$\rho(\rho_d) = (r/s + \xi/2) \xi s. \quad (192)$$

Коэффициент утонения при гибке  $\xi$  зависит от рода материала, относительного радиуса изгиба  $r/s$  и угла изгиба  $\alpha$ . Расстояние нейтрального слоя от внутренней поверхности изгибаемой заготовки при гибке широких полос находится по формуле

$$x_0 s = \rho - r = \xi^2 s/2 - r(1 - \xi). \quad (193)$$

В табл. 7 приведены значения коэффициента  $\xi$  и  $x_0$  для гибки широких заготовок из сталей 10—20.

7. Коэффициенты  $\xi$  и  $x_0$  для гибки под углом  $90^\circ$  деталей из сталей 10—20

$r/s$	0,10	0,25	0,50	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	Св. 5,0
$\xi$	0,82	0,87	0,92	0,96	0,975	0,985	0,992	0,995	0,998	1,0
$x_0$	0,30	0,34	0,38	0,42	0,44	0,45	0,47	0,475	0,48	0,5

Положение нейтрального слоя напряжения здесь может быть определено из условия распределения напряжений по сечению полосы с учетом также уменьшения толщины материала при гибке из зависимости [76]

$$\rho_n = \sqrt{Rr} = r\sqrt{1 + \xi s/r}, \quad (194)$$

где  $\rho_n$  — радиус кривизны нейтрального слоя напряжений;  $\rho_n$  находится ближе к центру кривизны изгиба, чем радиус кривизны нейтрального слоя деформации. Следовательно, по численной величине  $\rho_n$  меньше  $\rho_d$ .

Установление минимально допустимого внутреннего радиуса закругления детали, или радиуса закругления пуансона  $r_{\min}$ , имеет весьма важное значение для практики гибочных работ. Так,

8. Минимальные радиусы гибки  $r_{\min}$  (в долях от толщины материала  $s$ ) для угла гибки  $90^\circ$

Металл	Состояние металла			
	отожженный или нормализованный		наклепанный	
	Расположение линии гибки			
	поперек волокон проката	вдоль волокон проката	поперек волокон проката	вдоль волокон проката
Сталь марок: 05, 08кп	—	0,3	0,2	0,5
08, 10; Ст1, Ст2	—	0,4	0,4	0,8
15, 20; Ст3	0,1	0,5	0,5	1,0
25, 30; Ст4	0,2	0,6	0,6	1,2
35, 40; Ст5	0,3	0,8	0,8	1,5
45, 50; Ст5	0,5	1,0	1,0	1,7
55, 60; Ст7	0,7	1,3	1,3	2,0
Сталь нержавеющая	—	—	2,5	6,5
Медь М1; М2; М3	0	0,2	1,0	2,0
Латунь Л63; Л68	0	0,3—0,4	0,5	0,8
Латунь ЛС59-1	0,2	0,5	0,8	1,4
Мельхиор, Нейзильбер	0,3—0,6	0,5—1,0	—	—
Алюминий АД, АД1	0	0,3—0,4	0,5	0,8
Дуралюмин мягкий Д1; Д16М	1,0	1,5	1,5	2,5
Дуралюмин закаленный Д16Т	2,0	3,0	3,0	4,0
Магниевые сплавы МА1; МА8	Нагрев до $300^\circ\text{C}$		В холодном состоянии	
	2,0	3,0	7,0—5,0	9,0—8,0
Титановые сплавы: BT1 BT5	Нагрев до $300\text{—}400^\circ\text{C}$		В холодном состоянии	
	1,5	2,0	3,0	4,0
	3,0	4,0	5,0	6,0

при слишком малом радиусе может произойти разрыв наружных волокон материала. Поэтому минимальные радиусы гибки должны быть установлены по предельно допустимым деформациям крайних волокон. За величину деформаций следует принимать относительное сужение поперечного сечения образца  $\psi$ , полученное при испытании данного материала на растяжение. Зная  $\psi$ , можно по преобразованным формулам (191) и (192) определить минимальный радиус гибки поперек волокон проката (для  $\psi < 0,50$ ):

для малых деформаций — по приближенной формуле

$$r_{\min} = \frac{1 - 2\psi}{2\psi} s; \quad (195)$$

для больших деформаций — по более точной формуле

$$r_{\min} = \frac{\xi + 2\psi - 2}{2(1 - \psi - \xi)} \xi s. \quad (196)$$

В связи с тем, что деформации растяжения будут происходить в направлениях, по которым механические свойства металла понижены, предельно допустимые деформации  $\psi'$  в продольном направлении проката должны быть взяты меньшими:  $\psi' \approx 0,7\psi$ .

В табл. 8 приведены значения минимальных радиусов гибки для различных материалов по формулам (195) и (196).

Величина  $r_{\min}$  зависит также от угла гибки, от наличия и положения заусенцев на заготовке и др.

### § 31. ГИБКА С РАСТЯЖЕНИЕМ МАТЕРИАЛА

Узкие и длинные детали с большим радиусом ( $r > 15s$ ) обычной гибкой в штампах получить нельзя. Объясняется это тем, что при гибке деталей с малой кривизной поперечное сечение изделия приобретает главным образом упругие деформации, вследствие чего после снятия нагрузки заготовка отпружинивает и распрямляется. Поэтому штамповку подобных деталей производят методом гибки с растяжением. Принцип этого метода заключается в том, что к концам подлежащей деформированию заготовки прилагают растягивающие силы и последующую гибку осуществляют в растянутом состоянии. Это приводит к тому, что при изгибе с растяжением нейтральный слой проходит не в плоскости центра тяжести сечения, а значительно смещается к центру кривизны, причем, чем больше растягивающее (осевое) усилие, тем на большее расстояние смещается нейтральный слой. В некоторых случаях при значительном осевом усилии нейтральная линия может совпадать с внутренним краем изогнутой заготовки или может быть вообще выведена за пределы сечения, и тогда нормальные напряжения в сечении будут одного знака — растягивающие. Рис. 63 наглядно поясняет вышесказанное.

При обычной гибке на штампе (рис. 63, а) в слоях металла, расположенных над нейтральной линией  $Ox$  (треугольник  $Ovv_1$ ), возникают деформации растяжения, а в слоях под ней (треуголь-

ник  $Oz_1$ ) — сжатия. После снятия нагрузки материал в зонах растягивающих напряжений стремится занять положение по направлению стрелок  $\delta$ , в зонах сжимающих напряжений — по направлению стрелок  $\epsilon$ . Это вызывает пружинение металла и искажает форму отштампованной детали.

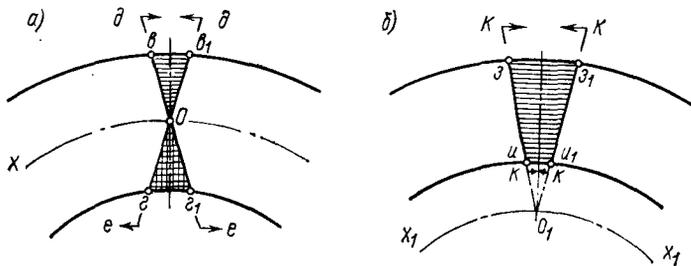


Рис. 63. Схемы распределения деформации металла при гибке

При гибке с растяжением (рис. 63, б), благодаря тому, что нейтральный слой  $O_1x_1$  находится за пределами контура заготовки, металл в зоне  $z-z_1-u-u_1$  находится в растянутом состоянии, и потому после снятия нагрузки материал стремится занять поло-

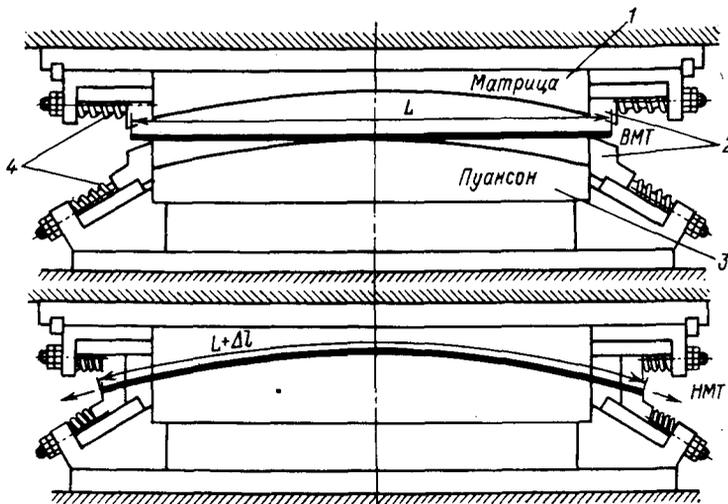


Рис. 64. Схема штампа для гибки с растяжением

жение, показанное стрелками  $\kappa$ . Но так как в последнем случае направление стрелок (деформации) на наружной и внутренней поверхностях изогнутой заготовки совпадают, то пружинение детали после штамповки получается ничтожным и размеры ее не искажаются. Кроме того, здесь возникают такие благоприятные условия, при которых приложенные дополнительные растягиваю-

щие силы создают деформации растяжения, по величине превышающие упругие, благодаря чему изгиб заготовки происходит в области пластических (остаточных) деформаций, поэтому деталь сохраняет форму, приданную ей штампом. Для того чтобы получить при гибке с растяжением пластическую деформацию по всему сечению, необходимо растянуть заготовку на 4—5% первоначальной ее длины.

Схема штампа для гибки с растяжением показана на рис. 64. При опускании верхней части штампа концы заготовки вначале заземляются зажимами 2, после чего матрица 1 обтягивает заготовку по пуансону 3. Усилие зажима, изменяющееся в зависимости от рода и толщины штампуемого материала, регулируется подтягиванием пружин 4.

### § 32. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ЗАГОТОВКИ ПРИ ГИБКЕ

Различают два основных случая гибки: 1) по кривой определенного радиуса; 2) под углом без закругления при  $r < 0,3s$ .

#### Гибка по кривой определенного радиуса

Для определения длины заготовки можно пользоваться способом развертки детали, основанном на том, что нейтральная линия сохраняет при гибке свои первоначальные размеры и расположена в местах закруглений на расстоянии  $x_0s$  от внутренней стороны изделия (рис. 65, а). Поэтому для определения длины заготовки сложной детали следует просуммировать длину прямолинейных участков загибаемого изделия с длиной закругленных участков, подсчитанных по нейтральному слою.

Для детали с одним перегибом в  $90^\circ$  (рис. 65, а) длина заготовки определяется по формуле

$$L = l_1 + l_2 + l_0 = l_1 + l_2 + \frac{\pi}{2} (r + x_0s). \quad (197)$$

Для детали с одним перегибом при угле  $\alpha$  длина заготовки определяется по формуле

$$L = l_1 + l_2 + l_0 = l_1 + l_2 + \frac{\pi\alpha}{180^\circ} (r + x_0s). \quad (198)$$

Для детали с несколькими углами  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$  длина заготовки определяется по формуле

$$L = l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n + l_{n+1} + \frac{\pi\alpha_1}{180^\circ} (r_1 + x_1s) + \frac{\pi\alpha_2}{180^\circ} (r_2 + x_2s) + \dots + \frac{\pi\alpha_n}{180^\circ} (r_n + x_ns). \quad (199)$$

Величины  $x_0, x_1, x_2, \dots, x_n$ , характеризующие положение нейтрального слоя, зависят от отношения радиуса закругления  $r$  к толщине материала  $s$  и определяются по табл. 7.

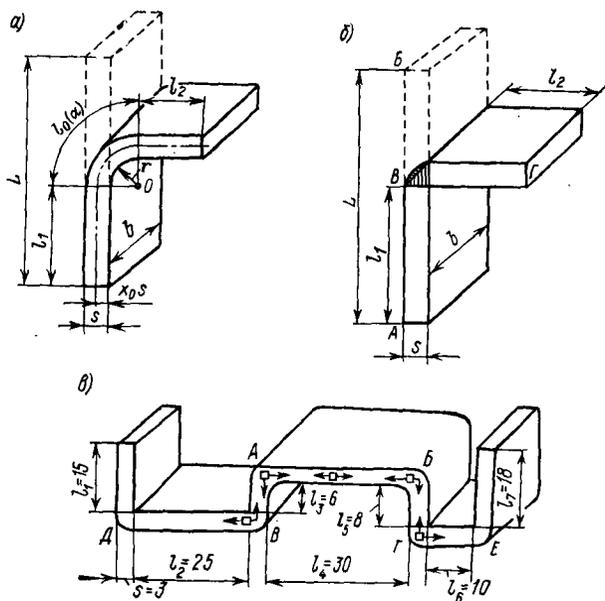


Рис. 65. Детали к расчету длины заготовки

При изготовлении сложных и ответственных изделий рекомендуется определять длину их заготовки опытным путем, так как не всегда удастся точно подсчитать ее теоретически из-за влияния некоторых факторов: свойств материала, скорости деформации, конструкции штампов, качества обработки их рабочих поверхностей и др.

#### Гибка под углом без закруглений

При гибке под углом без закруглений или с закруглениями очень малого радиуса ( $r < 0,3s$ ), что сопровождается значительным утонением металла в местах перегиба, пользоваться приведенным способом развертки для определения размера заготовки нельзя, а необходимо исходить из неизменности объема металла заготовки (рис. 65, б) до гибки  $AB$  и после гибки  $ABГ$ , с учетом соответствующих практических поправок, т. е.

$$V = Fs = V' = F's', \quad (200)$$

где  $V$  — объем заготовки;  $s$  — толщина материала заготовки;  $V'$  — объем изделия после гибки;  $F$  и  $F'$  — площадь продольного сечения заготовки (до гибки) и детали после гибки;  $s'$  — толщина материала изогнутой детали, обычно  $s' \approx s$ .

Применительно к рис. 65, б, где деталь после гибки имеет закругленную вершину угла при ширине полосы  $b = 1$  длина заготовки  $L$  определится из выражения

$$Ls = (l_1 + l_2)s + \pi s^2/4 \text{ или } L = l_1 + l_2 + 0,785s. \quad (201)$$

Как показывает опыт, формула (201) не является точной, так как уменьшение толщины имеет место и в другом (кроме угла) направлении, почему получается некоторый избыток материала, поэтому длину заготовки следует определять по формуле

$$L = l_1 + l_2 + x's, \quad (202)$$

где  $x's$  — величина прибавки материала на образование угла.

Обычно эта величина в зависимости от твердости и толщины материала принимается равной  $x's = (0,4 \div 0,6)s$  на каждый угол. При этом, чем мягче материал, тем меньше может быть прибавка, и наоборот. В среднем величина прибавки (припуска)  $x's \approx 0,5s$ .

Длина заготовки для  $n$  прямых углов, образуемых отдельно (последовательно), может быть определена по формуле

$$L = [(l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n + l_{n+1}) + n0,5s]. \quad (203)$$

При одновременной гибке углов изгиб сопровождается растяжением материала в середине и по концам участков, как показано стрелками на рис. 65, в. В этом случае растяжение материала получается на большей части изгибаемой заготовки, так что здесь образование углов идет частично за счет растяжения материала прямых участков. Поэтому для этих случаев прибавку к длине заготовки рекомендуется брать вдвое меньше, чем при последовательной гибке, т. е. принимать  $x's = (0,2 \div 0,3)s$ ; в среднем можно брать  $x's = 0,25s$ . Для упрощения расчетов по определению размеров заготовки при гибке под углом  $90^\circ$  с малыми радиусами сопряжения  $r$  полос с размерами  $a$  и  $b$  приведем номограмму (рис. 66) и расчетную формулу [111]

$$L = a + b - x, \quad (204)$$

где  $x$  — поправочный коэффициент, определяемый по номограмме.

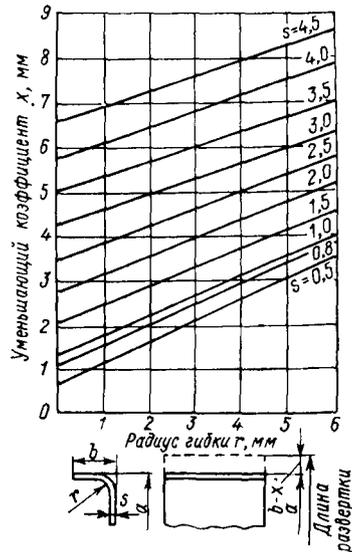


Рис. 66. Номограмма для определения размеров заготовки при гибке деталей под углом  $90^\circ$

### § 33. КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ГИБОЧНЫХ ШТАМПОВ

#### Радиусы закругления рабочих кромок матрицы и пуансона при гибке

Радиусы закругления рабочих кромок матрицы оказывают влияние на усилие гибки и на качество изгибаемых деталей. Чем меньше радиусы закругления матрицы, тем больше усилие гибки, ввиду уменьшения, с одной стороны, плеча гибки, а с другой стороны, вследствие большого сопротивления скольжению изгибаемого металла по матрице. При малых радиусах закругления матрицы могут появляться некоторые вмятины, задиры и другие де-

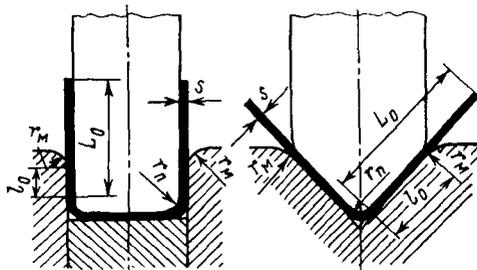


Рис. 67. Конструктивные элементы матрицы ( $r_m$ ,  $l_0$ ) и пуансона ( $r_n$ ) и размеры изгибаемой детали ( $L_0$ ,  $s$ )

фекты, ухудшающие качество деталей. Поэтому в производственных условиях выгодно работать на штампах с нормальными радиусами закругления рабочих кромок инструмента.

Теоретически нормальный радиус закругления можно определить, исходя из деформации наиболее растянутого наружного волокна по формуле

$$r_m = \frac{1 - \epsilon_r}{2\epsilon_r} s = \frac{1 - 2\psi_r}{2\psi_r} s. \quad (205)$$

Для условий нормальной гибки величину деформации  $\epsilon_r$  можно принимать равной  $1/3$ — $1/2$  от относительного удлинения при разрыве  $\delta$ , т. е.  $\epsilon_r = (1/3 \div 1/2) \delta$  или  $\psi_r = \delta / (3 + \delta) \div \delta / (2 + \delta)$ . При такой зависимости радиус  $r_m$  составит  $(2 \div 6) s$ .

Практически радиус закругления зависит и от других факторов — от длины загибаемой полки детали (рис. 67) и др. В табл. 9 приведены опытные данные по выбору радиуса закругления матрицы  $r_m$  с учетом и последних факторов.

Радиусы закругления пуансона  $r_n$  обычно принимают по внутреннему радиусу изделия. Если имеется конструктивная необходимость, то его можно брать равным  $r_{\min}$  (см. табл. 8).

9. Радиусы закруглений  $r_m$ , глубина матрицы  $l_0$  и коэффициент  $c$ , входящий в формулу (206) для определения зазора  $z_r$  (рис. 67)

Длина загибаемой полки $L_0$ , мм	Толщина материала $s$ , мм											
	До 0,5			0,5—2,0			2,0—4,0			4,0—7,0		
	$l_0$ , мм	$r_{m'}$ , мм	$c$	$l_0$ , мм	$r_{m'}$ , мм	$c$	$l_0$ , мм	$r_{m'}$ , мм	$c$	$l_0$ , мм	$r_{m'}$ , мм	$c$
10	6	3	0,10	10	3	0,10	10	4	0,08	—	—	—
20	8	3	0,10	12	4	0,10	15	5	0,08	20	8	0,06
35	12	4	0,15	15	5	0,10	20	6	0,08	25	8	0,06
50	15	5	0,20	20	6	0,15	25	8	0,10	30	10	0,08
75	20	6	0,20	25	8	0,15	30	10	0,10	35	12	0,10
100	—	—	—	30	10	0,15	35	12	0,10	40	15	0,10
150	—	—	—	35	12	0,20	40	15	0,15	50	20	0,10
200	—	—	—	45	15	0,20	55	20	0,15	65	25	0,15

Зазоры между матрицей и пуансоном при гибке

Величина зазора так же, как и радиус закругления, оказывает влияние на усилие гибки и на качество изгибаемой детали. Чем меньше зазор, тем больше усилие гибки. При малых зазорах может получиться утонение полок изделия. Кроме того, зазор при гибке П-образных деталей оказывает влияние и на угол пружинения  $\gamma$ .

Величина зазора (на одну сторону)  $z_r$  при двухугловой гибке в основном зависит от толщины, рода материала и допуска на его изготовление, а также и от длины загибаемой полки  $L_0$ . Эта зависимость выражается формулой

$$z_r = s + \delta_{\text{матер}} + cs = s_{\text{max}} + cs, \quad (206)$$

где  $z_r$  — зазор между матрицей и пуансоном на сторону, мм;  $\delta_{\text{матер}}$  — верхнее отклонение допуска на толщину металла (по ГОСТу), мм;  $c$  — коэффициент, учитывающий уменьшение трения изгибаемой детали о рабочую поверхность матрицы; коэффициент  $c$  находится по табл. 9 (по В. Т. Мещерину [см. 32]).

В табл. 9 приводятся также значения глубины гибочной матрицы  $l_0$  в зависимости от длины загибаемой полки  $L_0$ .

Для ориентировочных расчетов величину зазора можно определить из следующих соотношений:

для цветных металлов (медь, латунь, алюминий)  $z_r = (1,0 \div 1,1) s$ ;

для стали  $z_r = (1,05 \div 1,15) s$ .

Направление зазора устанавливают в зависимости от того, какой размер требуется выдержать по чертежу детали. Зазор

назначают за счет пуансона в том случае, когда требуется сохранить наружный размер детали, и за счет матрицы, когда требуется выдержать внутренний размер детали.

**§ 34. ТОЧНОСТЬ ПРИ ГИБКЕ.  
ДОПУСКИ НА ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ—РАБОЧИЕ  
РАЗМЕРЫ ПУАНСОНОВ И МАТРИЦ ГИБОЧНЫХ  
ШТАМПОВ**

**Точность при гибке**

На точность штампованных деталей, получаемых гибкой, влияет ряд факторов, основными из которых являются род материала и его состояние (упругие и пластические свойства); форма и геометрические размеры деталей (толщина, линейные размеры); структура технологического процесса (количество и последовательность операций); тип штампа и точность его изготовления, стойкость рабочих частей штампа; конструкция и состояние пресса; условия работы и погрешности, вызываемые неправильной установкой штампа, неаккуратной укладкой заготовки при фиксации, неодинаковой силой удара и др. При гибке деталей их неточность складывается из двух видов погрешностей: погрешности формы и размерные погрешности.

**Погрешности формы.** Погрешности формы зависят от рода (упругости) материала и его толщины, относительного радиуса  $r/s$ , направления волокон, величины зазора и от силы удара пресса. Отклонения от заданной формы, связанные с пружинением материала, рассматривались в § 29. Дополнительно только укажем, что рассеивание угла пружинения при отношениях  $r/s$  от 0,5 до 4,0 составляет:

Для мягких материалов . . . . .	От $\pm 15'$ до $\pm 1^\circ$
» металлов средней твердости . . . . .	» $\pm 30'$ до $\pm 2^\circ$
» твердых металлов . . . . .	» $\pm 1$ до $\pm 4^\circ$

При  $r/s > 4$  рассеивание угла пружинения составляет 8—10% от угла пружинения  $\gamma$ . Для уменьшения величины пружинения применяют после гибки калибровочные операции; для деталей типа скобы иногда применяют обратный небольшой изгиб средней полки, чем также достигается уменьшение пружинения изделия.

**Размерные погрешности.** Эти погрешности зависят от типа штампа (с прижимом или без него) и от точности его изготовления, от точности укладки заготовки и ее устойчивости в процессе гибки. Они выражаются в отклонении по длине детали и по высоте ее полки, в отклонениях расстояния между отверстиями или расстояния от полки до оси отверстия и др. Погрешности, связанные с изготовлением рабочих частей штампа и их износом, ограничиваются заданием необходимых допусков.

Допускаемые отклонения наружной высоты полок угольников и скоб  $H$  (при  $H \geq r + 2s$ ) в зависимости от толщины и условий работы составляют (в мм) [29]:

$s$ , мм	С прижимом и фиксацией на отверстии	С прижимом	Без прижима
От 1 до 3	0,07—0,17	0,15—0,37	0,30—0,45
» 3 » 6	0,17—0,40	0,37—0,80	0,75—1,60
» 6 » 10	0,40—0,67	0,80—1,35	1,60—2,70

**Допуски на исполнительные — рабочие размеры пуансонов и матриц гибочных штампов**

Допуски на изготовление рабочих размеров одноугловых штампов назначают чаще всего в угловом исчислении, исходя из величины рассеивания угла пружинения. Допуски на рабочие размеры пуансонов и матриц двухугловых штампов для получения деталей типа скобы устанавливают в зависимости от того, какой размер изделия по техническим условиям требуется выдер-

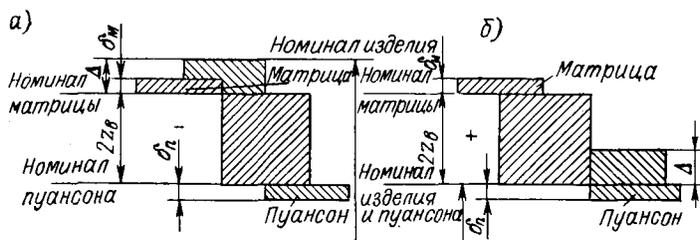


Рис. 68. Схемы расположения допусков на исполнительные — рабочие размеры матрицы и пуансона штампа для гибки скобы

жать точно — наружный ( $A$ ) или внутренний ( $B$ ). Рабочие размеры пуансона и матрицы штампа определяют по следующим формулам:

а) для получения изделия с точными наружными размерами (рис. 68, а) с учетом припуска на износ матрицы  $\Delta' = 0,8\Delta$

$$A_m = (A_n - \Delta')^{+\delta_m} = (A_n - 0,8\Delta)^{+\delta_m}; \quad (207)$$

$$B_n = (A_n - \Delta - 2z_r)_{-\delta_n} = (A_n - 0,8\Delta - 2z_r)_{-\delta_n}; \quad (208)$$

б) для получения изделия с точными внутренними размерами (рис. 68, б) с учетом припуска на износ пуансона  $\Delta' = 0,2\Delta$

$$B_n = (B_n + \Delta')_{-\delta_n} = (B_n + 0,2\Delta)_{-\delta_n}; \quad (209)$$

$$A_m = (B_n + \Delta' + 2z_r)^{+\delta_m} = (B_n + 0,2\Delta + 2z_r)^{+\delta_m}. \quad (210)$$

(При  $\Delta < 0,1$  мм  $\Delta'$  можно не учитывать и принять схему, как на рис. 68).

Здесь  $A_m$  и  $B_n$  — размеры матрицы и пуансона;  $A_n$  и  $B_n$  — номинальные наружные (для случая а) и внутренние (для случая б)

размеры изделия — скобы;  $\Delta$  — поле допуска на изготовление изделия, берется по 4—5-му классам точности по ГОСТу или по вышеприведенным данным;  $\Delta'$  — припуск на износ матрицы или пуансона;  $\delta_m$  и  $\delta_n$  — допуск на изготовление соответственно матрицы или пуансона по 2—3-му классам точности.

## Глава 9. ПРОЦЕСС ВЫТЯЖКИ ЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА

### § 35. ХАРАКТЕРИСТИКА ВЫТЯЖНЫХ ОПЕРАЦИЙ

Вытяжка — это процесс превращения плоской или полый заготовки в открытое сверху полое изделие, осуществляемый при помощи вытяжных штампов. Исходя из формы и технологических особенностей листовой штамповки, полые детали, получаемые вытяжкой, можно разделить на несколько основных групп: 1) детали, имеющие форму тела вращения; 2) детали коробчатой формы; 3) детали сложной формы.

Детали, имеющие форму тела вращения, могут быть с фланцем или без фланца, с плоским или с фасонным дном (рис. 69, *a—д*).

Детали коробчатой формы могут иметь квадратные, прямоугольные, криволинейные боковые стенки с фланцем или без фланца; дно у них может быть плоское или фасонное (рис. 69, *e—э*).

Детали сложной формы могут быть полусимметричные, имеющие только одну плоскость симметрии (корпус и крыша кабины автомобиля, рис. 69, *и*), и несимметричные (крыло автомобиля, рис. 69, *к*).

В зависимости от формы детали заготовка подвергается либо вытяжке в чистом виде, либо вытяжке в сочетании с формовкой, гибкой и обжимом или с отбортовкой.

Вытяжку производят на кривошипных прессах двойного и тройного действий, кулисных прессах двойного действия с подвижным нижним столом, кривошипных прессах простого действия (одноходовых) с пневматическим или гидropневматическим устройством (подушкой), а также на гидропрессах простого и двойного действий.

Особую группу составляют операции обтяжки — получение полых деталей криволинейной формы путем растяжения материала и обтягивания его вокруг специального обтяжного шаблона — болвана (рис. 69, *л*). Обтяжка производится на специальных обтяжных гидропрессах.

По характеру и степени деформации различают: 1) вытяжку без утонения стенок; 2) вытяжку с утонением стенок (протяжку) и 3) комбинированную вытяжку.

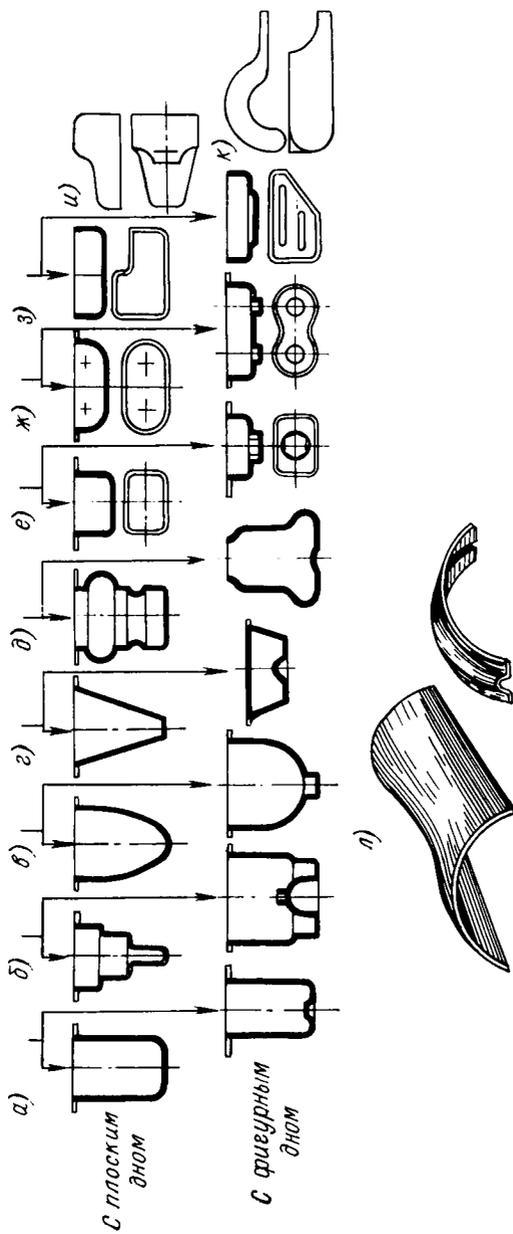


Рис. 69. Полые детали различной формы (а—л), получаемые вытяжкой

В первом случае вытяжка происходит без заранее обусловленного изменения толщины материала стенки изделия, но при значительном уменьшении диаметра заготовки; во втором — вытяжка осуществляется за счет заранее предусмотренного уменьшения толщины стенки вытягиваемого полуфабриката при незначительном уменьшении его диаметра. Комбинированная вытяжка характеризуется одновременным значительным уменьшением диаметра и толщины стенки вытягиваемого полуфабриката.

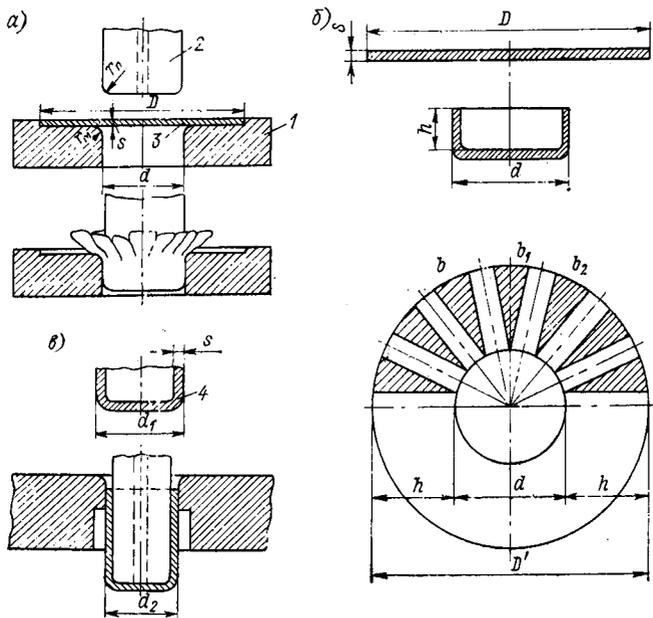


Рис. 70. Схема процесса вытяжки:  $d_1$  — диаметр полый заготовки после первой операции;  $d_2$  — диаметр полый заготовки после второй операции

В зависимости от относительной толщины заготовки или полуфабриката вытяжку производят с применением или без применения прижима (см. § 46). Так как при вытяжке происходит втягивание материала заготовки 3 пуансоном 2 с закруглением  $r_n$  большего диаметра  $D$  в матрицу 1 с закруглением  $r_m$ , имеющую меньший диаметр  $d$  (рис. 70, а), то естественно, что по краю вытянутого колпака образуются складки (гофры) за счет наличия избыточного материала или так называемых характеристичных треугольников  $b$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ , ...,  $b_n$  (рис. 70, б), ибо для образования полого колпака диаметром  $d$  и высотой  $h$  достаточно было бы иметь заготовку диаметром  $D'$  без заштрихованных участков. Наличие избыточных треугольников приводит к необходимости вытеснения и перемещения металла при вытяжке вверх. На рис. 70, в показана вытяжка на второй операции из полый заготовки 4.

Образование складок вызывается напряженно-деформированным состоянием металла, приводящим при определенных геометрических соотношениях к потере устойчивости заготовки (рис. 70, а).

Для предотвращения образования складок применяют прижимное кольцо или складкодержатель 3, который прижимает фланец заготовки к матрице 1 таким образом, что материал не имеет воз-

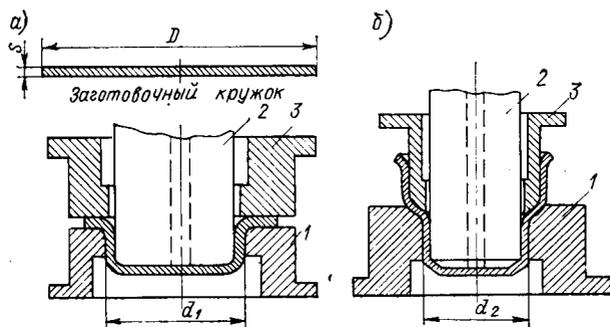


Рис. 71. Вытяжка с прижимом материала

можности образовать складки, а вынужден перемещаться под давлением пуансона 2 в радиальном направлении. Прижим материала применяется как для первой операции вытяжки, т. е. при вытяжке детали из плоской заготовки (рис. 71, а), так и при последующих операциях вытяжки из полрой заготовки (рис. 71, б).

Вытяжка без прижима применяется при изготовлении неглубоких сосудов или изделий из толстых материалов, когда складки почти не образуются или выглаживаются при прохождении через вытяжную матрицу.

### § 36. НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕТАЛЛА ПРИ ВЫТЯЖКЕ ПОЛЫХ ТЕЛ

При вытяжке плоская заготовка диаметром  $D$  (рис. 72), перемещаясь во время вытяжки, изменяет свои размеры и занимает ряд промежуточных положений. При этом материал деформированной заготовки в различных ее частях находится в разных условиях. В случае вытяжки с прижимом без утонения материала и с зазором, бóльшим толщины заготовки (для случая осесимметричного деформирования в полярной системе координат), можно принять следующую схему напряженно-деформированного состояния (рис. 72).

1. Дно частично образованного полого цилиндра — колпака (элемент а) находится в плоско-напряженном и объемно-деформированном состоянии. Так как деформация металла — двустороннее равномерное растяжение в плоскости дна и осевое сжатие составляют на первой операции всего 1—3%, то практически ими

можно пренебречь. При многооперационном процессе вытяжки уже после второй-третьей операции толщина дна заметно уменьшается, так как металл со дна постепенно поступает в зону максимального утонения (у донного закругления); интенсивность утонения дна особенно проявляется у латуни, имеющей небольшую сосредоточенную деформацию сужения (по сравнению со сталью).

2. Цилиндрическую часть полого тела, находящуюся в зазоре между матрицей и пуансоном (элемент  $b$ ), можно считать находящейся в линейно-напряженном и объемно-деформированном

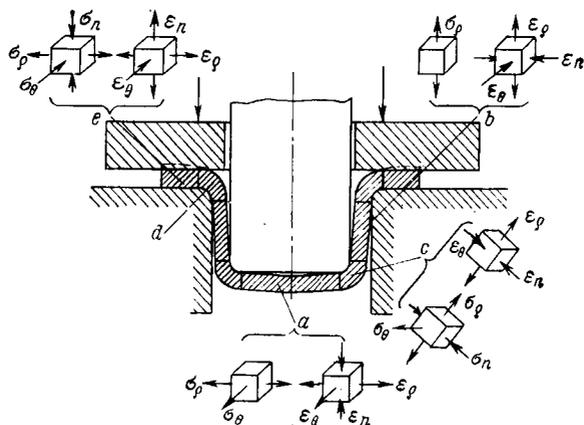


Рис. 72. Схема напряженно-деформированного состояния отдельных участков заготовки при вытяжке ( $\sigma$  — напряжения,  $\epsilon$  — деформации)

состоянии. Непосредственно у донного закругления изделия (элемент  $c$ ) в металле возникают напряжения в виде двухосного растяжения и одноосного сжатия, приводящие к значительному растяжению и утонению стенок в этом месте. Вследствие этого поперечное сечение тела здесь является наименее прочным и наиболее опасным с точки зрения отрыва дна от стенок изделия. Это опасное сечение и ограничивает возможность максимального использования пластических свойств штампуемого металла.

3. Часть, находящаяся на закруглении рабочих кромок матрицы (элемент  $d$ ), испытывает сложную деформацию, вызванную одновременным изгибом и распрямлением заготовки, наибольшим радиальным (меридиональным) растяжением и незначительным тангенциальным (окружным) сжатием.

4. Часть заготовки, находящаяся под прижимным кольцом (элемент  $e$ ), находится в объемно-напряженном и объемно-деформированном состоянии. Однако при достаточно сильном прижиме можно считать  $\epsilon_n (\epsilon_z) = 0$ . В плоскостях фланца заготовки возникают радиальные (меридиональные) растягивающие  $\sigma_r$  и тангенциальные (окружные) сжимающие  $\sigma_\theta$  напряжения, а в перпен-

дикулярном к ней направлении — осевые сжимающие напряжения  $\sigma_n$  ( $\sigma_z$ ), причем ввиду небольшой величины  $\sigma_n$  на практике им часто пренебрегают (при образовании явного клинового сечения во фланце  $\sigma_n = 0$ ).

Меридиональные растягивающие напряжения  $\sigma_r$ , вызываемые давлением пуансона у края заготовки, равны нулю; по мере удаления от края заготовки к центру матрицы они возрастают, достигая наибольшей величины на входной кромке матрицы. Тангенциальные сжимающие напряжения  $\sigma_\theta$ , наоборот, у наружного края имеют наибольшую величину, а по мере удаления от края заготовки значения их уменьшаются. В тот момент, когда край за-

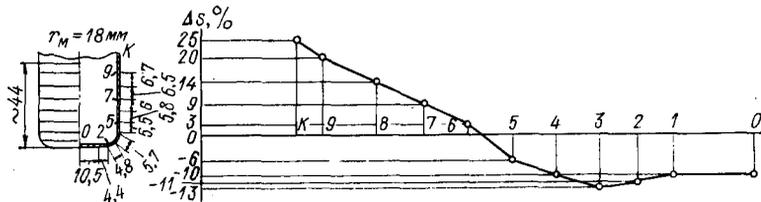


Рис. 73. Кривая изменения толщины стенки в различных частях колпака при вытяжке

готовки переместится на величину, составляющую 39% от радиуса заготовки ( $0,39 R$ ),  $\sigma_\theta$  становится равным  $\sigma_r$ . Под действием напряжений тангенциального сжатия  $\sigma_\theta$  фланец заготовки утолщается (образуя иногда как бы клиновое сечение) и упрочняется; при недостаточном прижиме и тонком материале [ $(s/D) 100 < 2$ ], это приводит, вследствие потери устойчивости, к образованию складок.

При вытяжке без прижима меняется лишь схема напряженного состояния во фланце, она характеризуется отсутствием осевого сжимающего напряжения  $\sigma_n$  ( $\sigma_z$ ). Вследствие разноименной схемы напряженно-деформированного состояния толщина стенок вытянутых изделий будет различна по всему продольному их сечению. На рис. 73 приведена кривая, показывающая, что наибольшее утонение (10—18%) происходит в месте перехода вертикальной стенки в дно колпака. В некоторых случаях (при отрыве дна) это утонение достигает 30% и более. По мере приближения к верхней кромке толщина материала непрерывно увеличивается, достигая максимальной величины на краях сосуда. Это утолщение обычно составляет 15—25% от исходной толщины материала, доходящей иногда до 30% и более (на рис. 73 по оси абсцисс отложены соответствующие точки на боковой поверхности изделия в развернутом виде, а по оси ординат — соответствующие отклонения от начальной толщины материала в процентах).

Максимальное значение толщины края заготовки  $s_{кр}$  приблизительно определяют из следующих зависимостей:

для деталей без фланца

$$s_{кр} = s \sqrt{D/d}; \quad (211)$$

для деталей с фланцем диаметром  $D_{\text{фл}}$

$$s_{\text{кр. фл}} = s \sqrt{D/D_{\text{фл}}}. \quad (212)$$

Для получения более наглядного представления о характере деформации металла при вытяжке и возможности определения их величины на отдельных участках вытягиваемого изделия применяют так называемый метод координатной сетки, который заключается в том, что на исходной заготовке наносится координатная сетка, а затем на вытянутом изделии получают ее искажения, по которым и судят о характере течения металла и величине деформации [29; 32].

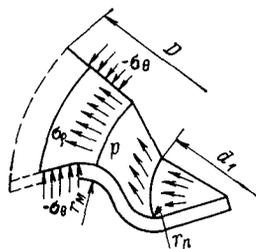
## Глава 10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЯ И ЗАТРАЧИВАЕМОЙ РАБОТЫ ПРИ ВЫТЯЖКЕ

### § 37. НАПРЯЖЕНИЯ И УСИЛИЕ ПРИ ПЕРВОЙ ОПЕРАЦИИ ВЫТЯЖКИ С ПРИЖИМОМ ПОЛЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ БЕЗ УТОНЕНИЯ

Напряжения и усилие при первой операции вытяжки с прижимом

При вытяжке с прижимом в деформированной заготовке возникают следующие напряжения (рис. 74):

1) растяжения в радиальном — меридиональном ( $\sigma_r$ ) и сжатия в тангенциальном — окружном ( $\sigma_\theta$ ) направлениях, непосредственно связанные с сопротивлением деформации металла;



2) напряжения  $\sigma_{\text{тр}}$ , вызванные трением между заготовкой, прижимом и матрицей на плоской ее части;

3) напряжения  $\sigma'_{\text{тр}}$ , вызванные трением заготовки на кромке матрицы;

4) напряжения от изгиба заготовки при входе на закругленную кромку матрицы и спрямление при сходе с нее.

Рис. 74. Напряжения, возникающие в различных частях заготовки при вытяжке

Сумму всех этих напряжений называют общим сопротивлением (напряжением) втягивания заготовки в отверстие матрицы при вытяжке  $\sigma_{\text{вт}}$  или наибольшим растягивающим напряжением  $\sigma_{\text{р max}}$ . Оно равнозначно давлению течения  $p_1$ , которое получается в результате деления усилия вытяжки  $P_1$  на площадь выходного поперечного сечения полого цилиндра  $F = \pi d_{\text{лср}} s$  ( $d_{\text{лср}} = d_1 + s$  — средний диаметр изделия;  $d_1$  — внутренний диаметр;  $s$  — толщина материала).

Каждую составляющую напряжения  $\sigma_{\text{вт}} (\sigma_{\rho})$  можно определить аналитическим путем при определенных упрощающих допущениях. Напряженное состояние в основном очаге деформации — во фланце ввиду того, что напряжение сжатия  $\sigma_n$ , возникающее от силы прижима заготовки, весьма мало по сравнению с  $\sigma_s$  (меньше 4,5 МПа), его можно принять равным нулю и считать, что здесь имеет место плоская равноименная схема напряженного состояния. Толщина заготовки считается неизменной и равной исходной толщине  $s$ .

Распределение напряжений в очаге деформации при этих условиях определяется по изложенной выше методике (см. § 21—23) путем совместного решения уравнения равновесия малого участка — элемента, выделенного в очаге деформаций, совместно с уравнением пластичности.

Так как при вытяжке полого цилиндра из плоской круглой заготовки имеет место осесимметричная деформация, это позволяет для определения напряженного состояния в очаге деформации ограничиться рассмотрением напряженного состояния элементарного сектора (в плоскости заготовки)  $ABCD$  с углом в плане  $d\gamma$  (рис. 75). Касательные напряжения тогда  $\tau_{\rho\theta} = 0$ , а напряжения  $\sigma_{\rho}$  и  $\sigma_{\theta}$  являются главными.

Рассмотрим условие равновесия кольцевой полоски шириной  $dR_x$ , находящейся на расстоянии  $R_x$  от центра  $O$  при малом перемещении заготовки в системе полярных координат. Введем обозначения:  $R_{\text{вн}}$  — внутренний радиус изделия ( $r_1 = d_1/2$ );  $R$  ( $R_3$ ) — радиус заготовки ( $D/2$ );  $R_n$  — наружный радиус перемещенного фланца;  $R_x$  ( $\rho$ ) — текущий радиус кольцевой полоски.

Спроектируем силы на радиус, проходящий через центр участка, и приравняем эту сумму нулю. Силы, действующие на участок, равны напряжениям, умноженным на соответствующие площади. Напряжение  $\sigma_{\rho}$  действует на площадь  $f_1 = R_x d\gamma s$ ,  $\sigma_{\rho} + d\sigma_{\rho}$  — на площадь  $f_2 = (R + dR_x) d\gamma s$ , а  $\sigma_{\theta}$  — на площади с двух сторон перпендикулярно грани кольцевой полости  $f_3 = dR_x s$ . Составим дифференциальное уравнение равновесия действующих на элемент сил, пренебрегая для упрощения членами второго порядка  $d\sigma_{\rho} dR_x$  (рис. 75),

$$\sigma_{\rho} R_x d\gamma s + \sigma_{\rho} dR_x d\gamma s + d\sigma_{\rho} R_x d\gamma s - \sigma_{\rho} R_x d\gamma s - 2\sigma_{\theta} dR_x \sin(d\gamma/2) s = 0. \quad (213)$$

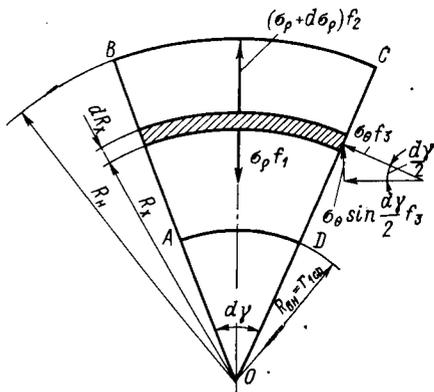


Рис. 75. Схема напряженного состояния элемента заготовки в первой зоне очага деформации при первой операции вытяжки с прижимом без учета сил трения

или, после сокращения и дифференцирования, имея в виду, что для малых углов  $\sin d\gamma/2 = d\gamma/2$ , получим

$$R_x d\sigma_\rho + (\sigma_\rho - \sigma_\theta) dR_x = 0. \quad (214)$$

Уравнение (214) можно написать (при  $dR_x = d\rho$  и  $R_x = \rho$ ) и в таком виде

$$\rho \frac{d\sigma_\rho}{d\rho} + \sigma_\rho - \sigma_\theta = 0 \quad \text{или} \quad \frac{d\sigma_\rho}{d\rho} + \frac{\sigma_\rho - \sigma_\theta}{\rho} = 0. \quad (215)$$

Для решения дифференциального уравнения используем уравнение пластичности без учета упрочнения при плоском напряженном состоянии, когда напряжения имеют разные знаки ( $\sigma_\rho \sigma_\theta < 0$ ), тогда

$$\sigma_\rho - \sigma_\theta = \sigma_s, \quad (216)$$

где  $\sigma_\rho$  и  $\sigma_\theta$  — главные нормальные напряжения (растяжения и сжатия);  $\sigma_s$  — напряжение текучести.

В случае сильного давления прижима, когда имеет место объемное напряженное состояние, следует пользоваться уравнением пластичности

$$\sigma_\rho - \sigma_\theta = \beta \sigma_s, \quad (217)$$

где  $\beta$  — коэффициент, учитывающий влияние  $\sigma_n$  и равный 1,00—1,15.

Решая уравнение (215) совместно с уравнением пластичности (216), получим

$$d\sigma_\rho = -\sigma_s \frac{dR_x}{R_x} = -\sigma_s \frac{d\rho}{\rho}, \quad (218)$$

а

$$\sigma_\rho = -\sigma_s \int \frac{dR_x}{R_x} = -\sigma_s \int \frac{d\rho}{\rho}. \quad (219)$$

Произведя интегрирование уравнения (219) и используя для отыскания произвольной постоянной интегрирования граничное условие, что на свободной кромке заготовки при  $R_x = R_H$  напряжение  $\sigma_\rho = 0$ , получим

$$\sigma_\rho = \sigma_s \ln(R_H/R_x), \quad \text{или} \quad \sigma_\rho = \sigma_s \ln(R_H/\rho). \quad (220)$$

Тангенциальное сжимающее напряжение  $\sigma_\theta$  определяется из уравнения пластичности (216), если в него подставить значение  $\sigma_s$ . Тогда

$$\sigma_\theta = -\sigma_s [1 - \ln(R_H/R_x)] \quad \text{или} \quad \sigma_\theta = -\sigma_s [1 - \ln(R_H/\rho)]. \quad (221)$$

Задаваясь разными значениями  $R_x$  или  $\rho$  в пределах от  $r_{1cp}$  ( $r_1 + s/2$ ) до  $R_H$  ( $R = D/2$ ), можно определить характер распределения напряжений  $\sigma_\rho$  и  $\sigma_\theta$  по фланцу вытягиваемой детали.

Из выражений (220) и (221) видно, что меридиональное растягивающее напряжение  $\sigma_p$  во фланце увеличивается от нуля на наружной кромке при  $\rho = R_H$  до наибольшего значения на входной кромке матрицы при  $\rho = r_{1cp} = r_1 + s/2$ . Тангенциальное сжимающее напряжение по абсолютной величине уменьшается с наибольшего значения, равного  $\sigma_s$  (или  $1,1\sigma_s$ ), на наружной кромке, до минимального значения на входной кромке матрицы.

Так как на переходе от фланца к вертикальной стенке полового цилиндра (при  $\rho = r_{1cp}$ ) напряжение  $\sigma_p$  при вытяжке не должно

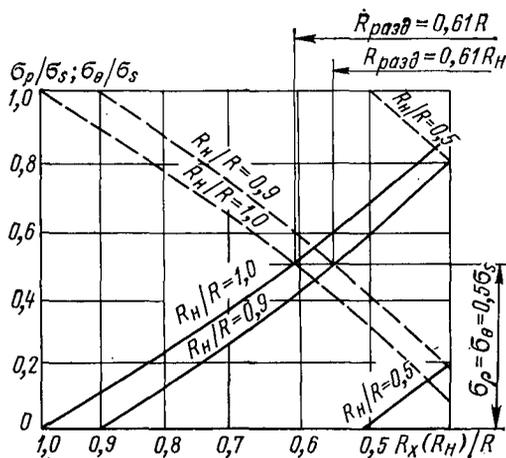


Рис. 76. Изменение меридиональных  $\sigma_p$  (—) и тангенциальных  $\sigma_\theta$  (---) напряжений по ширине фланца при вытяжке

превышать  $\sigma_s$  (или  $1,1\sigma_s$ ), то можно, пользуясь формулой (220) найти теоретическую величину предельного значения степени вытяжки  $K_{1в} = R_H/r_{1cp} = D/d_{1cp}$ , определяемого как отношение диаметра заготовки к диаметру вытягиваемого цилиндра. Подставляя в формулу (220)  $\sigma_p = \sigma_s$ , находим, что в этом случае  $\ln(R_H/r_{1cp}) = 1,0$ , а  $K_{1в. пред} = 2,72$ ; коэффициент вытяжки  $m_{1пред} = 1/K_{1в. пред} = d_{1cp}/D = 0,37$ . При этом не были учтены потери на трение и изгиб заготовки на закруглении матрицы, а также и упрочнение металла при деформировании его в холодном состоянии. Практически максимальное значение  $K_{1в}$  составляет 2,0—1,8, а  $m_1 = 0,50 \div 0,56$ .

Из указанной закономерности изменения  $\sigma_p$  и  $\sigma_\theta$  [по (220) и (221)] с изменением текущего радиуса  $\rho$  следует, что при некотором значении  $\rho = R_{разд}$  напряжение  $\sigma_p$  равно по абсолютной величине тангенциальному напряжению  $\sigma_\theta$ . Отсюда вытекает, что  $\ln(R_H/R_{разд}) = 1/2$ , а  $R_{разд} = 0,61R$  (рис. 76).

Следовательно, на окружности радиусом  $R_{разд} = 0,61R$  радиальное напряжение растяжения  $\sigma_p$  равно по абсолютной величине

чине тангенциальному напряжению сжатия  $\sigma_\theta$ , что при  $\sigma_n (\sigma_z) = 0$  отвечает условию плоской деформации, при котором  $\varepsilon_n = 0$ .

Исходя из уравнения связи напряжений и деформаций (100) при  $\sigma_n (\sigma_z) = 0$ , имеем

$$\sigma_\theta / \sigma_\rho = (\varepsilon_\theta - \varepsilon_n) / (\varepsilon_\rho - \varepsilon_n), \quad (222)$$

где  $\varepsilon_n$  — относительная деформация по направлению толщины фланца.

Используя условие постоянства объема ( $\varepsilon_\rho + \varepsilon_\theta + \varepsilon_n = 0$ ), можно в уравнении (222) исключить деформацию  $\varepsilon_\rho$ . Заменяя напряжения  $\sigma_\rho$  и  $\sigma_\theta$  их значениями из формул (220) и (221), находим [75]

$$\varepsilon_n = - \frac{1 - 2 \ln (R_n / \rho)}{2 - \ln (R_n / \rho)} \varepsilon_\theta. \quad (223)$$

Из формулы (223) можно установить, что при  $2 \ln (R_n / \rho) < 1$  ( $\rho > 0,61 R_n$ ) деформация  $\varepsilon_n$  имеет обратный знак по сравнению с деформацией сжатия  $\varepsilon_\theta$ , а следовательно,  $\varepsilon_n$  является деформацией растяжения, т. е. толщина заготовки увеличивается, причем наиболее интенсивное утолщение металла превосходит вблизи края заготовки при  $\rho \approx R_n = R$ , где деформация  $\varepsilon_n = -0,5\varepsilon_\theta$ . При  $2 \ln (R_n / \rho) > 1$  ( $\rho < 0,61 R_n$ ) деформация  $\varepsilon_\theta$  становится деформацией сжатия, а следовательно, толщина металла в этой части заготовки уменьшается, что и подтверждается на практике (см. § 36).

Из предыдущего следует, что усилие прижима при вытяжке будет распределяться по сравнительно узкой кольцевой части фланца, граничащей с наружным краем заготовки (образуя, иногда, как бы клиновое сечение).

Напряжения трения  $\sigma_{тр}$  между заготовкой, прижимом и плоскостью матрицы, вызванные силой прижима  $Q$ , при равномерном распределении напряжения по толщине заготовки  $s$  можно определить по формуле

$$\sigma_{тр} = \frac{2\mu Q}{2\pi R_n s} = \frac{\mu Q}{\pi R_n s}, \quad (224)$$

а наибольшее растягивающее напряжение  $\sigma'_\rho$  (приняв  $\rho = r_{1cp}$ ) из зависимости

$$\sigma'_\rho = \sigma_\rho + \sigma_{тр} = \sigma_s \ln \frac{R_n}{r_{1cp}} + \frac{\mu Q}{\pi R_n s}, \quad (225)$$

где  $\mu$  — коэффициент трения, зависящий от рода материала и состава смазки.

При смазке с наполнителем (графит, мел, тальк — не менее 20% от общей массы) для стали, латуни, алюминия и дуралюмина  $\mu = 0,06 \div 0,12$ ; при смазке минеральными маслами (без наполнителей) для тех же материалов  $\mu = 0,12 \div 0,16$ ; при работе без смазки для стали, латуни и дуралюмина  $\mu = 0,18 \div 0,22$ , а для алюминия  $\mu = 0,35$ .

Следующее составляющее, входящее в общее уравнение для определения напряжений при вытяжке, это напряжение от изгиба на кромке матрицы  $\sigma_{изг}$  и при сходе с нее. Напряжение  $\sigma_{изг}$  можно приближенно определить из условия постоянства работ внешних и внутренних сил, затраченных на изгиб материала по кромке вытяжной матрицы. При этом для упрощения расчетов принимается, что изгибающий момент, действующий на переходе от плоской части фланца к закругленной, равен моменту для пластического изгиба полосы без упрочнения металла и при отсутствии продольных сил.

Момент внутренних сил при линейном пластическом изгибе прямоугольной полосы шириной  $b$  (см. § 27) равен

$$M = 2 \int_0^{s/2} \sigma_s b y dy = 2\sigma_s b \int_0^{s/2} y dy = \sigma_s 2S_0, \quad (226)$$

где  $y$  — расстояние от нейтральной оси до рассматриваемого сечения;  $S_0$  — статический момент половины площади сечения.

После интегрирования выражения (226) получаем  $M = (bs^2/4)\sigma_s$ , где  $bs^2/4$  — пластический момент сопротивления.

При изгибе полоски шириной  $b = 1$ , выделенной в заготовке (рис. 77) при переходе из положения 1 в положение 2, затрачена работа, равная произведению силы на путь, т. е.  $\sigma_{изг} s R_p d\gamma$ . Эта работа равна произведению изгибающего момента  $M_{изг}$  на угол поворота оси  $d\gamma$ , т. е. равна  $(\sigma_s s^2/4) d\gamma$ . Тогда

$$\sigma_{изг} s R_p = \sigma_s s^2/4.$$

Отсюда

$$\sigma_{изг} = \Delta\sigma_p = \sigma_s s/4R_p, \quad (227)$$

где  $R_p = R_{ср} = r_{1м} + s/2$ ;  $\Delta\sigma_p$  — приращение напряжения, вызванного изгибом заготовки, равная  $\sigma_{изг}$ .

Напряжение при распрямлении полоски при переходе с закругленной кромки матрицы на цилиндрическую часть колпака можно без большой погрешности определить по формуле (227), т. е.  $\sigma_{изг, с\text{прям}} = \sigma_{изг}$ .

Тогда напряжение  $\sigma_p$ , действующее в выходном (опасном) сечении цилиндра — колпака без учета влияния трения  $\sigma'_{тр}$  на вытяжной кромке матрицы, выразится формулой

$$\sigma_p'' = \sigma_p + \sigma_{тр} + 2\sigma_{изг} = \sigma_p \ln \frac{R_H}{r_{1\text{ср}}} + \frac{\mu Q}{\pi R_H s} + \sigma_s \frac{s}{2r_{1м} + s}. \quad (228)$$

Влияние трения на закругленной кромке матрицы  $\sigma'_{тр}$  на величину напряжения можно приближенно учесть на основании

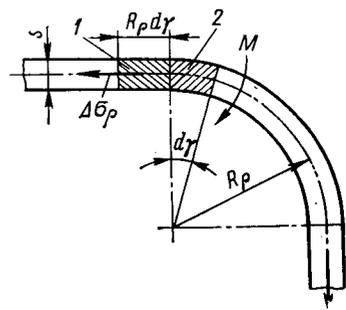


Рис. 77. Изгиб и перемещения элемента заготовки на закругленной кромке матрицы при вытяжке

цепного закона Эйлера о трении скольжения при натяжении ремня по шкиву. Это увеличение напряжений вследствие сил трения учитывается введением множителя  $e^{\mu\alpha}$ , где  $e$  — основание натуральных логарифмов;  $\mu$  — коэффициент трения;  $\alpha$  — угол охвата шкива ремнем.

Учитывая, что наибольшее растягивающее напряжение при вытяжке  $\sigma_{\max}$  достигается после полного охвата заготовкой кромки матрицы при  $\alpha = \pi/2$ , получим

$$\begin{aligned} \sigma_{\rho \max} &= \sigma_{\rho} + \sigma_{\text{тр}} + 2\sigma'_{\text{изг}} + \sigma'_{\text{тр}} = \\ &= \sigma_s \left( \ln \frac{R_n}{r_{1 \text{ ср}}} + \frac{\mu Q}{\pi R_n s \sigma_s} + \frac{s}{2r_{1 \text{ м}} + s} \right) e^{\mu\pi/2}. \end{aligned} \quad (229)$$

Разлагая в ряд множитель  $e^{\mu\pi/2}$  и пренебрегая членами высшего порядка, можно без большой погрешности, с целью дальнейшего упрощения формулы (229), принять, что

$$e^{\mu\pi/2} \approx 1 + \mu\pi/2 \approx 1 + 1,6\mu.$$

Тогда формула (229) примет вид

$$\sigma_{\rho \max} = \sigma_s \left( \ln \frac{R_n}{r_{1 \text{ ср}}} + \frac{\mu Q}{\pi R_n s \sigma_s} + \frac{s}{2r_{1 \text{ м}} + s} \right) (1 + 1,6\mu). \quad (230)$$

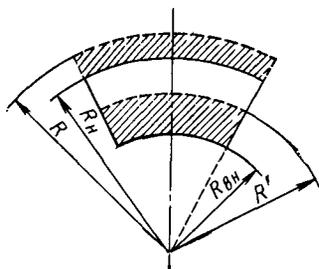


Рис. 78. Схема перемещения металла у наружной и у внутренней кромок заготовки при вытяжке

Усилие прижима  $Q$  определяют как аналитически, так и на основании опытных данных (см. § 40).

Влияние трения на кромке матрицы на величину напряжения можно определить на основе разбивки очага деформации [68] на две зоны: на плоской и на закругленной части матрицы, а также совместного решения уравнения равновесия, выделенного на закругленной части элемента заготовки, и уравнения пластичности при объемном напряженном состоянии. Однако подобное решение несколько сложнее приведенного метода определения напряжений при вытяжке. Для учета влияния упрочнения металла в процессе его деформирования в холодном состоянии при вытяжке принимаем, что главной и наибольшей деформацией во фланце является деформация сжатия в тангенциальном направлении  $\epsilon_{\theta}$  и что она по упрочняющему эффекту эквивалентна относительному сужению шейки образца  $\psi$  при растяжении.

Тангенциальная деформация при вытяжке является функцией от текущего радиуса  $\rho$ . Так как напряжение текучести  $\sigma_s$  в процессе вытяжки изменяется по ширине фланца, то его следует определять как среднее значение  $\sigma_{s \text{ ср}}$ , которое получается путем определения средней относительной тангенциальной деформации

$\epsilon_{\theta \text{ ср}}$ , имеющей наименьшее значение у наружной кромки фланца заготовки  $\epsilon_{\theta \text{ вн}}$  и наибольшее значение у входной кромки матрицы  $\epsilon_{\theta \text{ вн}}$ .

Относительная тангенциальная деформация сжатия на наружной кромке фланца при уменьшении исходного радиуса заготовки  $R$  до  $R_{\text{н}}$  (рис. 78)

$$\epsilon_{\theta \text{ вн}} = \frac{R - R_{\text{н}}}{R} = 1 - \frac{R_{\text{н}}}{R}. \quad (231)$$

Из условия постоянства объема, учитывая, что когда наружный радиус  $R$  переместится в положение  $R_{\text{н}}$ , промежуточный радиус  $R'$  в это время переместится в положение  $R_{\text{вн}}$ , имеем

$$\pi(R^2 - R_{\text{н}}^2)s = \pi(R'^2 - R_{\text{вн}}^2)s. \quad (232)$$

Тогда относительная тангенциальная деформация сжатия на внутренней входной кромке матрицы

$$\epsilon_{\theta \text{ вн}} = \frac{R' - R_{\text{вн}}}{R'} = 1 - \frac{R_{\text{вн}}}{R'}, \quad (233)$$

а промежуточный радиус

$$R' = \sqrt{R_{\text{вн}}^2 + R^2 - R_{\text{н}}^2}. \quad (234)$$

Подставив значение  $R'$  в формулу (233), получим

$$\epsilon_{\theta \text{ вн}} = 1 - \frac{R_{\text{вн}}}{\sqrt{R_{\text{вн}}^2 + R^2 - R_{\text{н}}^2}}. \quad (235)$$

Среднее значение тангенциальной деформации сжатия при уменьшении  $R$  до  $R_{\text{н}}$ , имея в виду, что  $R_{\text{вн}} = r_{1 \text{ ср}}$ , будет

$$\epsilon_{\theta \text{ ср}} = \frac{\epsilon_{\theta \text{ вн}} + \epsilon_{\theta \text{ вн}}}{2} = 1 - 0,5 \left[ \frac{R_{\text{н}}}{R} + \frac{r_{1 \text{ ср}}}{\sqrt{r_{1 \text{ ср}}^2 + R^2 - R_{\text{н}}^2}} \right]. \quad (236)$$

Среднее значение напряжения текучести  $\sigma_{s \text{ ср}}$  с учетом упрочнения можно определить, используя кривую упрочнения второго рода (в координатах  $\sigma_s - \psi$ ), которая при степенной зависимости по формуле (5), подставив в нее вместо  $\psi$  величину  $\epsilon_{\theta \text{ ср}}$ , примет вид

$$\sigma_{s \text{ ср}} = \frac{\sigma_{\text{в}}}{1 - \psi_{\text{в}}} \left( \frac{\epsilon_{\theta \text{ ср}}}{\psi_{\text{в}}} \right)^{\frac{\psi_{\text{в}}}{1 - \psi_{\text{в}}}} = \frac{\sigma_{\text{в}}}{1 - \psi_{\text{в}}} \times \left[ \left( 1 - 0,5 \frac{R_{\text{н}}}{R} - 0,5 \frac{r_{1 \text{ ср}}}{\sqrt{r_{1 \text{ ср}}^2 + R^2 - R_{\text{н}}^2}} \right) \frac{1}{\psi_{\text{в}}} \right]^{\frac{\psi_{\text{в}}}{1 - \psi_{\text{в}}}}. \quad (237)$$

Наибольшее растягивающее напряжение в выходном сечении вытягиваемого изделия, приняв для составляющего напряжения  $\sigma_s$ , что  $\sigma_s \approx \sigma_B$ , будет

$$\sigma_{\rho \max} = \left( \sigma_{s \text{ ср}} \ln \frac{R_H}{r_{1 \text{ ср}}} + \frac{\mu Q}{\pi R_H s} + \frac{s}{2r_{1 \text{ м}} + s} \sigma_B \right) (1 + 1,6\mu) =$$

$$= \left\{ \frac{\sigma_B}{1 - \psi_B} \left[ \left( 1 - 0,5 \frac{R_H}{R} - 0,5 \frac{r_{1 \text{ ср}}}{\sqrt{r_{1 \text{ ср}}^2 + R^2 - R_H^2}} \right) \frac{1}{\psi_B} \right]^{1 - \psi_B} \times \right.$$

$$\left. \times \ln \frac{R_H}{r_{1 \text{ ср}}} + \frac{\mu Q}{\pi R_H s} + \frac{s}{2r_{1 \text{ м}} + s} \sigma_B \right\} (1 + 1,6\mu). \quad (238)$$

Для упрощения расчетов по определению  $\sigma_{s \text{ ср}}$  на рис. 79 приведены кривые упрочнения, характеризующие  $\sigma_{s \text{ ср}}$  в зависимости от  $\epsilon_{\text{ср}}$  ( $\epsilon_{\theta \text{ ср}}$ ) для материалов толщиной  $s = 1,0$  мм.

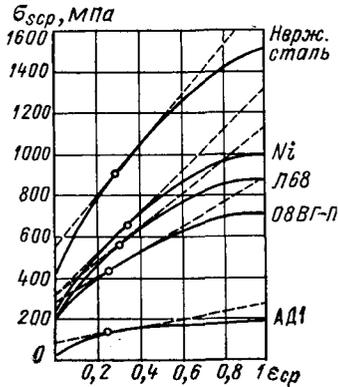


Рис. 79. Кривые упрочнения некоторых металлов

Анализируя формулу (238), отметим, что вытяжка, по-видимому, допустима только в том случае, если  $\sigma_{\rho \max}$  меньше предельного напряжения, при котором происходит разрушение стенок вытягиваемого цилиндра  $\sigma_{\rho}$ , что соответствует  $\sigma_{\rho \max} \leq \sigma_{\rho} = 1,15\sigma_B$ . Это соотношение обеспечивается при прочих равных условиях целесообразным выбором степени вытяжки  $K_{1B}$  или коэффициента вытяжки  $m = 1/K_{1B} = d_1/D$ . В противном случае расчет придется делать заново для другого более правильно выбранного коэффициента вытяжки.

Если принять  $\sigma_{\rho \max} = \sigma_B$ , то по формуле (238) можно будет найти предельную степень вытяжки, при которой заготовка будет находиться на грани возможного разрушения. Для этого следует решить уравнение (238) относительно коэффициента  $K_{1B}$  или  $m_1$

$$K_{1B} = \frac{1}{m_1} = e^{\frac{\sigma_B}{\sigma_{s \text{ ср}}} \left( \frac{1}{1 + 1,6\mu} - \frac{2\mu Q}{\pi D \sigma_B} - \frac{s}{2r_{1 \text{ м}} + s} \right)}. \quad (239)$$

При этом, для упрощения расчетов сначала рассчитывают отдельно  $\sigma_{s \text{ ср}}$  по формуле (237), а затем подставляют полученное значение в указанную зависимость.

Выявив все напряжения, возникающие при вытяжке, нетрудно будет определить и усилие вытяжки. Усилие вытяжки, передаваемое через пуансон на деформируемую заготовку  $P_1$ , определится

как  $F_1 = \pi (d_1 + s) s$  на величину максимального напряжения по формуле (238), т. е.

$$P_1 = \pi (d_1 + s) s \sigma_{p \max} = \pi (d_1 + s) s \left( \sigma_{s \text{ ср}} \ln \frac{R}{r_{1 \text{ ср}}} + \frac{2\mu Q}{\pi D s} + \frac{s}{2r_{1M} + s} \sigma_B \right) (1 + 1,6\mu). \quad (240)$$

Если принять с некоторым допущением, что  $\sigma_{s \text{ ср}} = 0,5\sigma_B$  и  $\mu = 0,128$ , то можно получить следующие упрощенные выра-

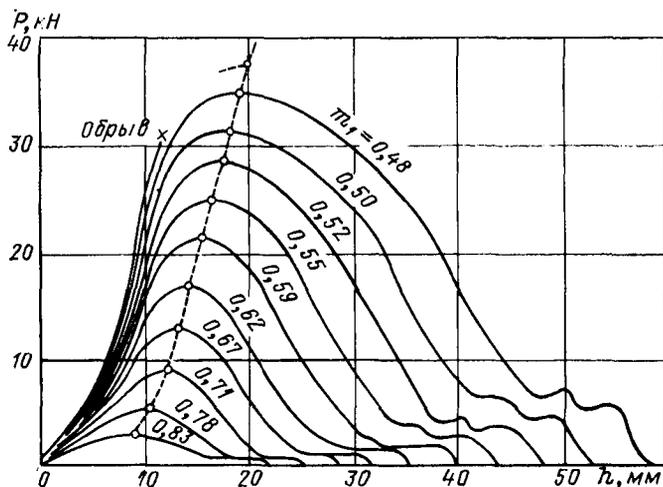


Рис. 80. Типовые диаграммы усилий вытяжки на первой операции при штамповке из дуралюмина Д16М толщиной 1 мм (при различных  $m_1$ )

жения для определения усилия вытяжки на первой операции (по Рурману [26])

$$P_{01} = 2,5\pi s \sigma_{s \text{ ср}} (D - d_1) = 1,25\pi s \sigma_B (D - d_1); \quad (241)$$

или, выражая через степень вытяжки  $K_{1B}$ , по формуле

$$P_{01} = 1,25\pi d_1 s \sigma_B (K_{1B} - 1). \quad (242)$$

С учетом потребного для проталкивания изделия через матрицу усилия  $P_{\text{пр}}$  действительное максимальное усилие вытяжки в зависимости от условий этой операции (величины зазора — при минимальном его значении, толщины материала, радиуса закругления и т. д.) равно

$$P_1 = P_{01} + P_{\text{пр}} = kP_{01} = (1,2 \div 1,3) P_{01}, \quad (243)$$

где  $k$  — коэффициент, учитывающий влияние усилия проталкивания.

На рис. 80 приведены типовые диаграммы усилий вытяжки на первой операции в зависимости от хода пуансона для дуралю-

мина Д16М толщиной 1 мм при различных значениях коэффициента вытяжки  $m_1 = 1/K_{1в}$  (по И. Г. Ковалеву [32; 68]). Кривые показывают, что с уменьшением коэффициента вытяжки  $m_1$  или с увеличением степени вытяжки  $K_{1в}$  максимальное значение усилия вытяжки при прочих равных условиях увеличивается, а максимум усилия сдвигается вправо.

### Напряжения и усилие при первой операции вытяжки без прижима

Напряженно-деформированное состояние металла при вытяжке на первой операции без прижима отличается от вытяжки с прижимом лишь схемой напряженного состояния во фланце (отсутствием вертикального сжимающего напряжения  $\sigma_n = 0$ ). В этом случае в связи с отсутствием прижима материал заготовки под действием

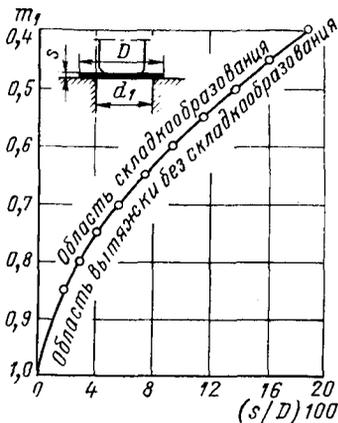


Рис. 81. Граничная линия начала складкообразования при первой вытяжке без прижима заготовки

тангенциальных сжимающих напряжений  $\sigma_\theta$  может перемещаться не только в радиальном направлении, но также и в направлении, перпендикулярном к плоскости заготовки, что приводит к утолщению заготовки и складкообразованию. Образование складок происходит при определенных геометрических соотношениях размеров заготовки и изделия. Практикой установлено, что чем меньше разность диаметров заготовки  $D$  и изделия  $d_1$ , т. е. чем уже фланец и чем больше отношение толщины заготовки к ее диаметру  $D$ , тем меньшая тенденция у металла к образованию складок. Установлено, что складки при вытяжке будут образовываться в следующих случаях (см. § 46): когда  $\Delta = (s/D) 100 < 2,0$  или при значениях  $D - d_1 > 22s$ , или при соотношениях  $(s/D) 100 \leq 4,5 (1 - m_1)$ .

Возможность складкообразования при первой вытяжке можно в известной мере установить теоретически, если рассмотреть условия, при которых происходит потеря устойчивости круглой тонкой пластины при вытягивании ее в цилиндрическое отверстие матрицы. Для мягкой стали при матрице с радиусным заходом построена граничная кривая (рис. 81), характеризующая зависимость между отношением толщины к диаметру заготовки и коэффициентом вытяжки  $m_1$ . Если при заданном коэффициенте вытяжки  $m_1$  значение  $(s/D) 100$  лежит ниже граничной кривой, то при вытяжке складок не будет. При определении напряжений и усилия вытяжки без прижима (при работе на матрице без конуса) надо исходить из тех соображений, что в связи с отходом фланца от матрицы силы

трения на ее контактной поверхности отсутствуют. Поэтому максимальное напряжение в этом случае без учета упрочнения можно определить по формуле

$$\sigma_{\rho \max} = \left( \sigma_s \ln \frac{R}{r_{1 \text{ cp}}} + \frac{s}{2r_{1\text{M}} + s} \sigma_{\text{в}} \right) (1 + 1,6\mu), \quad (244)$$

а с учетом упрочнения — из зависимости

$$\sigma'_{\rho \max} = \left( \sigma_{s \text{ cp}} \ln \frac{R}{r_{1 \text{ cp}}} + \frac{s}{2r_{1\text{M}} + s} \sigma_{\text{в}} \right) (1 + 1,6\mu). \quad (245)$$

Усилие вытяжки определится, как и выше, по формуле

$$P_1 = \pi (d_1 + s) s \sigma_{\rho \max} = \pi (d_1 + s) s \times \\ \times \left( \sigma_{s \text{ cp}} \ln \frac{R}{r_{1 \text{ cp}}} + \frac{s}{2r_{1\text{M}} + s} \sigma_{\text{в}} \right) (1 + 1,6\mu). \quad (246)$$

### § 38. НАПРЯЖЕНИЯ И УСИЛИЕ ПРИ ПОСЛЕДУЮЩИХ ОПЕРАЦИЯХ ВЫТЯЖКИ ПОЛЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ БЕЗ УТОНЕНИЯ

Вытяжка на второй и последующих операциях производится либо в конических матрицах, либо на матрицах с радиусным заходом. В зависимости от относительной толщины  $\Delta'$  вытяжка осуществляется без прижима, когда  $\Delta' = (s/d_{n-1}) 100 > 2$  и с прижимом, если  $\Delta' < 1,25$  (см. § 46).

При вытяжке в конической матрице очаг пластической деформации может быть разделен на три участка (рис. 82). На участке *I* происходит соприкосновение полый цилиндрической заготовки со стенками матрицы по узкому пояску, а пуансон воздействует на центральную зону донной части заготовки. На этом участке напряженное состояние плоское — в меридиональном направлении напряжение растяжения  $\sigma_{\rho}$ , а в тангенциальном (окружном) — напряжение сжатия  $\sigma_{\theta}$ . На участке *II* происходит постепенное вытягивание заготовки в коническую часть матрицы с уменьшением ее диаметра. Напряженное состояние на этом участке можно также принять плоским, так как нормальное напряжение на стенки заготовки  $\sigma_n$  мало по сравнению с  $\sigma_{\rho}$  и  $\sigma_{\theta}$ . Деформированное состояние обоих участков характеризуется деформацией растяжения в меридиональном направлении  $\epsilon_{\rho}$ , деформацией сжатия в тангенциальном направлении  $\epsilon_{\theta}$  и деформацией растяжения в радиальном (перпендикулярном стенке заготовки) направлении  $\epsilon_n$ , так как толщина стенки несколько увеличивается. При дальнейшем перемещении пуансона — на участке *III* заготовка вытягивается в зазор между цилиндрической поверхностью пояска матрицы и боковыми поверхностями пуансона, образуя стенки вытягиваемой детали. Напряженно-деформированное состояние здесь будет такое же как и для первой операции вытяжки, соответствующее элементам *a*, *b* и *c* (см. рис. 72).

Рассмотрим распределение напряжений в каждом из участков очага деформации без учета изменения толщины заготовки и упрочнения.

Участок *I* имеет криволинейную образующую и для этого участка справедливо уравнение равновесия (91). Однако, так как заготовка в этом участке только начинает соприкасаться с поверхностями рабочего инструмента, то можно считать, что нормальные

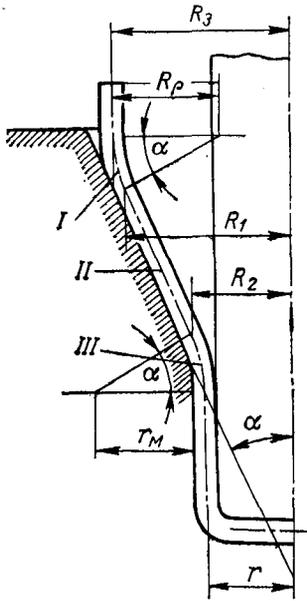


Рис. 82. Схема деформирования полой заготовки на последующих операциях вытяжки в конической матрице

и касательные напряжения на поверхности полой заготовки отсутствуют, т. е. коэффициент трения  $\mu = 0$ . Тогда для этого участка можно использовать уравнение равновесия по формуле (92)  $\rho (d\sigma_\rho)/d\rho + \sigma_\rho - \sigma_\theta = 0$ . Решая это уравнение совместно с условием пластичности по постоянству максимальных касательных напряжений  $\sigma_\rho - \sigma_\theta = \sigma_s$ , получаем уравнение  $\rho (d\sigma_\rho)/d\rho = -\sigma_s$ , что после интегрирования приводит к уравнению

$$\sigma_\rho = -\sigma_s \ln \rho + C. \quad (247)$$

Произвольную постоянную интегрирования *C* можно найти из условия, по которому при  $\rho = R_3$  величина  $\sigma_\rho$  должна быть равна  $\Delta\sigma_\rho$ , т. е. приращению напряжения  $\sigma_\rho$ , вызываемому изгибом элементов заготовки  $\Delta\sigma_\rho = \sigma_s/4R_\rho$ , после подстановки его в уравнение (247), получаем

$$\sigma_\rho = \sigma_s \ln \frac{R_3}{\rho} + \frac{\sigma_s s}{4R_\rho}, \quad (248)$$

где  $R_\rho = \sqrt{R_3 s} / \sin \alpha$ .

Формула (248) позволяет установить распределение напряжений на участке *I* очага деформации.

Распределение напряжений в коническом участке *II* очага деформации может быть также найдено при совместном решении уравнения равновесия и уравнения пластичности.

Для конического участка при  $R_\rho = \infty$  и  $R_\theta = \rho / \cos \alpha$  уравнение равновесия (91) преобразуется к виду

$$\rho \frac{d\sigma_\rho}{d\rho} + \sigma_\rho - \sigma_\theta - \frac{\mu \sigma_\theta}{\operatorname{tg} \alpha} = 0. \quad (249)$$

Используя условие пластичности  $\sigma_\rho - \sigma_\theta = \sigma_s$ , уравнение (249) можно преобразовать, исключив из него напряжение  $\sigma_\theta$ ,

$$\rho \frac{d\sigma_\rho}{d\rho} + \sigma_s(1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha) - \sigma_\rho \mu \operatorname{ctg} \alpha = 0, \quad (250)$$

где  $\alpha$  — угол конусности матрицы (угол между образующей и осью симметрии).

Разделяя переменные и производя интегрирования, получим

$$\ln [\rho^\mu \operatorname{ctg} \alpha - \sigma_s (1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha)] = \ln \rho^{\mu/\operatorname{tg} \alpha} + C_1. \quad (251)$$

Произвольную постоянную интегрирования можно найти из условия, что при  $\rho = R_1$  (на границе I и II участков очага деформации) напряжение  $\sigma_\rho$  должно быть равно напряжению  $\sigma_\rho$ , определяемому по формуле (248) при подстановке в нее значения  $\rho = R_1$ , плюс приращение напряжения  $\Delta\sigma_\rho = \sigma_s s / 4R_\rho$ , идущее на спрямление заготовки, которое определяется по формуле (227).

После определения  $C_1$ , подстановки найденного ее значения в формулу (251) и некоторых преобразований получаем величину растягивающих напряжений [75; 92]

$$\sigma_\rho = \sigma_s \left\{ \left( 1 + \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\mu} \right) \left[ 1 - \left( \frac{\rho}{R_1} \right)^{\frac{\mu}{\operatorname{tg} \alpha}} \right] + \left( \ln \frac{R_3}{R_1} + \frac{s}{2R_\rho} \right) \left( \frac{\rho}{R_1} \right)^{\frac{\mu}{\operatorname{tg} \alpha}} \right\}. \quad (252)$$

Формула (252) позволяет установить распределение напряжения  $\sigma_\rho$  в коническом участке очага деформации (в участке от  $R_1$  до  $R_2$ , рис. 82).

Для установления распределения напряжений  $\sigma_\rho$  в участке III очага деформации (на закругленной кромке матрицы) можно использовать формулу (91), подставив в нее вместо  $\rho$  радиус полой заготовки  $r$ , и с учетом дополнительного влияния трения, изгиба и спрямления при перемещении элементов по закругленной кромке матрицы.

Влияние изгиба и спрямления на величину максимального напряжения  $\sigma_{\rho \max}$ , возникающего на границе очага деформации, можно учесть увеличением напряжения  $\sigma_\rho$ , найденного без учета их влияния по формуле (252), на величину  $2\Delta\sigma_\rho = \frac{s}{2r_{nm} + s} \sigma_s$ .

Влияние сил трения на кромке матрицы можно приближенно учесть, как и на первой операции, множителем  $e^{\mu\alpha} \approx (1 + \mu\alpha)$ .

Тогда

$$\sigma_{\rho \max} = \sigma_s \left\{ \left( 1 + \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\mu} \right) \left[ 1 - \left( \frac{r}{R_1} \right)^{\frac{\mu}{\operatorname{tg} \alpha}} + \left( \ln \frac{R_3}{R_1} + \frac{s}{2R_\rho} \right) \left( \frac{r}{R_1} \right)^{\frac{\mu}{\operatorname{tg} \alpha}} + \frac{s}{2r_{nm} + s} \right] (1 + \mu\alpha) \right\}. \quad (253)$$

Учитывая, что при вытяжке со смазкой и с обычно применяемыми углами конусности величина  $\mu/\operatorname{tg} \alpha$  значительно меньше единицы, можно без большой погрешности заменить степенную функцию первыми членами разложения в ряд и с последующей заменой логарифмической функции также первыми членами

разложения в ряд. После некоторых преобразований и подстановки вместо  $R_1$  величины  $R_3$  получим более простую формулу для определения  $\sigma_{\rho \max}$  [75]

$$\sigma_{\rho \max} = \sigma_s \left\{ \left( 1 + \frac{\mu}{\operatorname{tg} \alpha} - \sqrt{\frac{s}{R_3}} \mu \cos \alpha \right) \left( 1 - \frac{r}{R_3} \right) + \sqrt{\frac{s}{R_3}} \sin \alpha + \frac{s}{2r_{\text{нм}} + s} \right\} (1 + \mu \alpha). \quad (254)$$

Оптимальные значения угла конусности матрицы, при которых при прочих равных условиях напряжение  $\sigma_{\rho}$  имеет наименьшую величину, можно определить по формуле

$$\sin \alpha = \sqrt{\mu \sqrt{\frac{R_3}{s}} \left( 1 - \frac{r}{R_3} \right)}. \quad (255)$$

Из формулы (255) видно, что оптимальный угол конусности матрицы возрастает с увеличением коэффициента трения  $\mu$ , с уменьшением относительной толщины  $s/R_3$  и с увеличением степени вытяжки  $K_{n \text{ в}} = R_3/r$ . В реальных условиях вытяжки, при которых  $\mu = 0,10 \div 0,15$ ,  $s/R_3 = 0,1 \div 0,01$  и  $R_3/r = 1,2 \div 1,5$ , оптимальный угол конусности  $\alpha_{\text{опт}}$  колеблется в пределах  $10\text{--}35^\circ$ .

Формула (255) верна только при значениях  $\alpha < 60^\circ$ . При  $\alpha_{\text{опт}} > 60^\circ$  целесообразно проводить вытяжку через матрицу с радиусным закруглением, без конической части.

Для учета влияния упрочнения металла на  $\sigma_{\rho \max}$  на последующих операциях вытяжки можно применить методику, как и для первой вытяжки. Примем, что относительная деформация тангенциального сжатия  $\varepsilon_{\theta n} = \frac{R_3 - \rho}{R_3} = 1 - \frac{\rho}{R_3}$  определяет напряжение текучести вследствие упрочнения и что она по упрочняющему эффекту эквивалентна  $\psi$ . При применении межоперационных отжигов полой заготовки, в результате которых металл разупрочняется и вновь приобретает первоначальные механические свойства, степень деформации для любой последующей операции вытяжки определится

$$\varepsilon_{\theta n} = \frac{d_{n-1} - d_n}{d_{n-1}} = 1 - m_n. \quad (256)$$

Средняя степень деформации на  $n$ -й операции вытяжки без промежуточных отжигов полуфабриката равна

$$\begin{aligned} \varepsilon'_{\theta n} &= \frac{1}{2} \left( \frac{D - d_n}{D} + \frac{D - d_{n-1}}{D} \right) = 1 - \frac{d_{n-1}}{2D} \left( 1 + \frac{d_n}{d_{n-1}} \right) = \\ &= 1 - 0,5 (m_1 m_2 \dots m_{n-1}) (1 + m_n). \end{aligned} \quad (257)$$

Подставив эти значения в уравнение кривой упрочнения второго рода — по степенной зависимости (в координатах  $\sigma_s$  —  $\psi$ ), получим напряжение текучести с учетом упрочнения

$$\sigma_s = \frac{\sigma_B}{1 - \psi_B} \left( \frac{\epsilon_{\theta n}}{\psi_B} \right)^{\frac{\psi_B}{1 - \psi_B}}. \quad (258)$$

Тогда при подстановке значения  $\sigma_s$  в формулу (254) получаем выражение для определения  $\sigma_{\rho \max}$  с учетом также и упрочнения металла

$$\begin{aligned} \sigma_{\rho \max} = & \frac{\sigma_B}{1 - \psi_B} \left( \frac{\epsilon_{\theta n}}{\psi_B} \right)^{\frac{\psi_B}{1 - \psi_B}} \times \\ & \times \left\{ \left( 1 + \frac{\mu}{\operatorname{tg} \alpha} - \sqrt{\frac{s}{R_3}} \mu \cos \alpha \right) \left( 1 - \frac{r}{R_3} \right) + \right. \\ & \left. + \sqrt{\frac{s}{R_3}} \sin \alpha + \frac{s}{2r_{nm} + s} \right\} (1 + \mu \alpha). \end{aligned} \quad (259)$$

Если для определения  $\sigma_s$  вместо степенной зависимости принять более упрощенную линейную аппроксимацию кривой упрочнения по формуле (7), то применительно к вытяжке для последующих операций  $\sigma_s$  определится из выражения

$$\sigma_s = \sigma_{\tau 0} + \Pi \epsilon_{\theta n} = \sigma_{\tau 0} + \Pi \frac{R_3 - \rho}{R_3}. \quad (260)$$

Для отожженной заготовки на границе очага деформации с недеформируемой частью исходной полой заготовки (при  $\rho = R_3$ ;  $\epsilon_{\theta n} = 0$ ) напряжение текучести имеет наименьшее значение и равно  $\sigma_{s \min} = \sigma_{\tau 0}$ . Наибольшее значение  $\sigma_s$  возникает на границе очага деформации со стенками вытягиваемого изделия, где имеют место наибольшие тангенциальные деформации (при  $\rho = r$ ), и тогда  $\sigma_s$  будет

$$\sigma_{s \max} = \sigma_{\tau 0} + \Pi \frac{R_3 - r}{R_3} = \sigma_{\tau 0} + \Pi \left( 1 - \frac{r}{R_3} \right). \quad (261)$$

Среднее значение для всего очага деформации напряжения текучести  $\sigma_{s \text{ ср}}$  определяется как полусумма  $\sigma_{s \min}$  и  $\sigma_{s \max}$ :

$$\sigma_{s \text{ ср}} = \frac{\sigma_{s \min} + \sigma_{s \max}}{2} = \sigma_{\tau 0} + \frac{\Pi}{2} \left( 1 - \frac{r}{R_3} \right). \quad (262)$$

Подставляя найденное значение  $\sigma_{s \text{ ср}}$  вместо  $\sigma_s$  в формулу (254), получаем

$$\begin{aligned} \sigma_{\rho \max} = & \left[ \sigma_{\tau 0} + \frac{\Pi}{2} \left( 1 - \frac{r}{R_3} \right) \right] \times \\ & \times \left[ \left( 1 + \frac{\mu}{\operatorname{tg} \alpha} - \sqrt{\frac{s}{R_3}} \mu \cos \alpha \right) \left( 1 - \frac{r}{R_3} \right) + \right. \\ & \left. + \sqrt{\frac{s}{R_3}} \sin \alpha + \frac{s}{2r_{nm} + s} \right] (1 + \mu \alpha). \end{aligned} \quad (263)$$

Из формул (259) и (263) видно, что вследствие упрочнения металла напряжение  $\sigma_{\rho \max}$  возрастает, причем тем больше, чем больше степень вытяжки  $K_{n \text{ в}} = R_3/r$  и модуль упрочнения  $\Pi$ .

При вытяжке на матрице с радиусным заходом без прижима (рис. 83) очаг деформации состоит из двух участков: свободного изгиба — вне контактной деформации и контактного, где деформирование заготовки происходит на торообразной рабочей поверхности матрицы. Распределение напряжений в первом участке — свободного изгиба аналогично их распределению в этом участке при вытяжке в конической матрице. Поэтому применимы те же формулы и выводы.

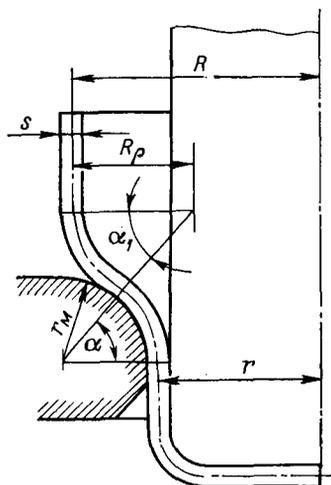


Рис. 83. Схема вытяжки полой заготовки на последующих операциях в радиусной матрице

Для получения формулы, позволяющей приближенно определить величину напряжений в выходном сечении заготовки на втором участке, можно принять, что суммарное значение изгиба и спрямления  $\sigma_{\text{изг. спрям}}$  на закругленной кромке матрицы находится из выражения

Для получения формулы, позволяющей приближенно определить величину напряжений в выходном сечении заготовки на втором участке, можно принять, что суммарное значение изгиба и спрямления  $\sigma_{\text{изг. спрям}}$  на закругленной кромке матрицы находится из выражения

$$\begin{aligned} \sum \Delta \sigma_{\rho} &= 2 \Delta \sigma_{\rho} R_{\rho} + 2 \Delta \sigma_{\rho} r_{nm} = \\ &= \sigma_s \left( \frac{s}{2R_{\rho}} + \frac{s}{2r_{nm} + s} \right). \end{aligned} \quad (264)$$

Приняв, ввиду небольшой протяженности контактного участка, что влияние трения на торообразном участке можно учитывать, как и выше, множителем  $e^{\mu\alpha} \approx (1 + \mu\alpha)$ , получим формулу для определения напряжения  $\sigma_{\rho \max}$ , действующего в выходном сечении вытягиваемого полого изделия,

$$\sigma_{\rho \max} = \sigma_{\rho} + \sum \Delta \sigma_{\rho} = \sigma_s \left( \ln \frac{R}{r} + \frac{s}{2R_{\rho}} + \frac{s}{2r_{nm} + s} \right) (1 + \mu\alpha_1), \quad (265)$$

где  $\alpha_1$  — угол между осью симметрии и касательной, проведенной в меридиональном сечении к образующей заготовки в точке сопряжения участков свободного изгиба и контактного деформирования.

При наличии прижима, влияние его на  $\sigma_{\rho \max}$  учитывается дополнительным составляющим  $\frac{\mu Q}{\pi(R - s/2)s}$ , тогда

$$\begin{aligned} \sigma_{\rho \max} &= \sigma_{\rho} + \sigma_{\tau \rho} + \sum \Delta \sigma_{\rho} = \sigma_s \left( \ln \frac{R}{r} + \frac{\mu Q}{\pi(R - s/2)s\sigma_s} + \right. \\ &\quad \left. + \frac{s}{2R_{\rho}} + \frac{s}{2r_{nm} + s} \right) (1 + \mu\alpha_1). \end{aligned} \quad (266)$$

Упрощенно, влияние трения под прижимом на  $\sigma_{p \max}$  можно учесть увеличением этого значения по формуле (265) на 10—20%, или коэффициентом  $k' = 1,1 \div 1,2$ .

Влияние упрочнения металла учитывается как и при вытяжке в конических матрицах по степенной зависимости, используя формулы (256)—(258).

Величину угла можно найти из геометрических соотношений

$$\cos \alpha_1 = 1 - \frac{R-r}{R_p + r_{nm} + s/2}, \quad (267)$$

где

$$R_p = \sqrt{Rs}/\sin \alpha_1. \quad (268)$$

Подставляя значение  $R_p$  из формулы (268) в формулу (267) и принимая  $\operatorname{tg} \alpha_1/2 \approx \sin \alpha_1/2$ , можно получить после некоторых преобразований формулу для определения  $\sin \alpha_1/2$  в явно выраженном виде [75]:

$$\sin \frac{\alpha_1}{2} = \frac{\sqrt{Rs + 4(2r_{nm} + s)(R-r)} - \sqrt{Rs}}{4r_{nm} + 2s}. \quad (269)$$

Для установления величины напряжений следует по формуле (269) определить  $\alpha_1$ , затем по  $\alpha_1$  — величину  $R_p$  по формуле (268), а по найденным значениям  $\alpha_1$  и  $R_p$ , пользуясь (265) или (266), определить  $\sigma_{p \max}$ .

Из формулы (269) видно, что угол  $\alpha_1$  зависит от размеров полой заготовки  $R$ , от степени вытяжки  $K_{nv} = R/r$  и от радиуса  $r_{nm}$ .

Уравнение равновесия на второй и последующих операциях вытяжки при работе на матрице с радиусным заходом может быть составлено, как и для первой операции вытяжки, на основе рассмотрения напряженного состояния с учетом упрочнения непосредственно на закругленном (втором) участке полой заготовки, облегающем торообразную поверхность матрицы [32; 68].

Используя приведенные выше зависимости для  $\sigma_{p \max}$  по формулам (259), (263) и (265), усилие вытяжки на последующих операциях можно определить по формуле

$$P_n = \pi (d_n + s) s \sigma_{p \max}. \quad (270)$$

Если принять, как и для первой операции (см. § 37), некоторые допущения  $\sigma_{s \text{ ср}} = 0,5\sigma_B$ ;  $\mu = 0,128$ , то можно получить упрощенное выражение для определения усилия вытяжки (по Рурману [26 l])

$$P_{0n} = 2,6\pi s \sigma_{s \text{ ср}} (d_{n-1} - d_n) = 1,3\pi s \sigma_B (d_{n-1} - d_n), \quad (271)$$

или, выражая через степень вытяжки  $K_{nv} = 1/m_n$ , — по формуле

$$P_{0n} = 1,3\pi d_n s \sigma_B (K_{nv} - 1). \quad (272)$$

С учетом усилия для проталкивания, максимальное усилие вытяжки

$$P_n = kP_{0n} = (1,2 \div 1,3) P_{0n}. \quad (273)$$

### § 39. НАПРЯЖЕНИЯ И УСИЛИЕ ПРИ ВЫТЯЖКЕ ПОЛЫХ ДЕТАЛЕЙ КОРОбЧАТОЙ ФОРМЫ БЕЗ УТОНЕНИЯ

При вытяжке деталей коробчатой прямоугольной формы можно условно считать, что схема напряженно-деформированного состояния металла в углах коробки подобна схеме вытяжки полого цилиндра того же радиуса, а на прямых стенках — подобна гибке. Между этими участками металл находится в сложном деформированном состоянии — нечто среднее между вытяжкой и гибкой. Следовательно, продольные растягивающие напряжения распре-

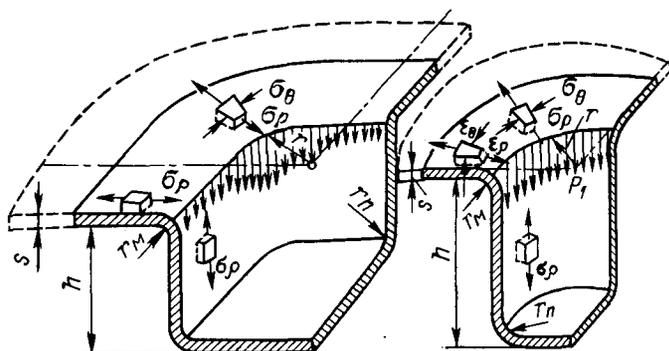


Рис. 84. Схема напряженного состояния при вытяжке углового участка прямоугольной коробки и полого цилиндра того же радиуса и высоты

деляются неравномерно по периметру коробки: в углах они имеют наибольшую величину, а на прямых стенках — наименьшую.

На рис. 84 показана схема напряженного состояния при вытяжке углового участка прямоугольной коробки и при вытяжке цилиндра того же радиуса  $r$  и высоты  $h$ .

По абсолютной своей величине напряжения на угловых закруглениях прямоугольной коробки будут меньше, чем при вытяжке полого цилиндра (осесимметричные детали), имеющего тот же радиус  $r$ , высоту  $h$  и толщину  $s$ . Объясняется это тем, что в первом случае менее напряженные прямые стенки коробки как бы частично разгружают более напряженные участки в углах, вследствие чего средняя величина растягивающих напряжений получается меньше, чем в полом цилиндре.

Прямые стенки, выскальзывая из-под прижима и перемещаясь по закругленной части матрицы, помимо гибки также подвергаются и растяжению. Поэтому при определении усилия вытяжки правильнее всего будет исходить из понятия о средней величине растягивающих напряжений, распределенных по периметру коробки. Это позволит определить общее усилие вытяжки  $P_{пр}$ , состоящее из двух усилий: усилия, потребного для вытяжки углов,  $P_{выт}$  и усилия для гибки прямых стенок  $P_{гиб}$ , считая условно,

что максимальные значения этих усилий совпадают во времени, тогда

$$P_{\text{пр}} = P_{\text{выт}} + P_{\text{гиб}}. \quad (274)$$

Первое усилие определяют по формулам (241)—(243), а второе — по формулам (171)—(173).

Усилие для вытяжки квадратных коробок можно с некоторым приближением определить по тем же формулам, как и для цилиндрических деталей — по так называемому эквивалентному диаметру  $d_{\text{экв}}$ . Последний определяется из условия равенства периметров цилиндра и квадрата по формуле

$$d_{\text{экв}} = \frac{4}{\pi} (B - 0,43r_{\text{угл}}), \quad (275)$$

где  $B$  — сторона квадрата;  $r_{\text{угл}} = r$  — радиус углового закругления коробки.

#### § 40. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ ПРИЖИМНОГО КОЛЬЦА

Давление прижима оказывает большое влияние на процесс вытяжки: чем оно больше, тем скорее может быть достигнуто предельное максимальное усилие вытяжки и тем меньшая степень деформации вытяжки может быть допущена. Это объясняется тем, что максимальное давление прижима совпадает с максимальным усилием вытяжки. Наоборот, если давление прижима мало, то происходит образование складок, вызывающее появления второй пиковой нагрузки, которая иногда превосходит по величине первую. Такое перенапряжение может привести к разрыву металла. Отсюда следует, что нужно выбирать такое давление прижима, при котором, с одной стороны, не было образования складок, а с другой стороны, не возрастало чрезмерно усилие, приводящее к разрыву изделия. Кроме того, давление прижима следует так распределить, чтобы наибольшее его значение  $Q_{\text{max}}$  близко совпало бы с моментом возникновения максимального усилия вытяжки, что получается при  $R_{\text{н}} = 0,85R$ .

На рис. 85 показана ориентировочная кривая давления кромки заготовки на прижим; по такой же кривой должно изменяться давление прижима на фланец заготовки.

Рекомендуется, чтобы центр радиуса закругления матрицы отсекал бы на кривой давление  $Q \approx 0,4Q_{\text{max}}$ , что соответствует  $R_{\text{н}} \approx 0,73 R$ ; спад кривой происходит при  $R_{\text{н}} = 0,70 R$ .

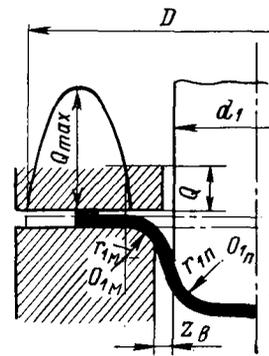


Рис. 85. Кривая давления кромки заготовки на прижим при первой операции вытяжки

Теоретически давление прижима материала можно приближенно определить из выражения

$$\sigma_q = q = (\sigma_T + \sigma_B)/2 \cdot 100, \quad (276)$$

и более точно из зависимости [109]

$$q = \sigma_B \varphi_1 (K_{I_B} - \varphi'_1) \varphi''_1 \frac{D}{100s}, \quad (277)$$

где  $\sigma_B$  — временное сопротивление разрыву материала, МПа;  $\varphi_1$  и  $\varphi'_1$  — коэффициенты, значения которых можно брать по табл. 10;  $\varphi''_1$  — коэффициент, равный 0,006—0,008.

**10. Значения коэффициентов  $\varphi_1$  и  $\varphi'_1$  для различных материалов при вытяжке без утонения**

Материал	$\psi_B$	$\varphi_1$	$\varphi'_1$
АМцМ; МА1 и МА8	0,10—0,15	0,75	0,96
Алюминий: АД; АД1	0,15—0,20	0,78	1,00
Дуралюмин: Д1; Д16			
Сталь марок: 10, 15, 20	0,25—0,30	0,82	1,10
Медь; латунь Л63; нержавеющая сталь 12Х18Н9			
Латунь Л68	0,35—0,40	0,85	1,15—1,20

На практике давление прижима устанавливают на основании опытных данных, которые составлены с учетом рода и толщины материала, коэффициента вытяжки  $m$  и степени смазки, причем для более тонкого листового материала необходимо принимать более высокие значения  $q$ . Средние значения  $q$  для различных металлов приведены в табл. 11.

**11. Средние значения давления прижима заготовки**

Материал	Давление $q$ , МПа
Алюминий АД; АД1	0,8—1,0
Дуралюмин Д16А-М	1,0—1,2
Дуралюмин Д16А-Т; В95А-1	1,4—1,8
Алюминиевый сплав АМцМ и медь	1,2—1,5
Латунь Л63; Л68	1,5—2,0
Сталь для глубокой вытяжки:	
$s > 0,5$ мм	2,0—2,5
$s < 0,5$ мм	2,5—3,0
Аустенитные стали	3,0—4,5

Общее давление прижима  $Q$  определяют по формуле

$$Q = Fq, \quad (278)$$

где  $F$  — площадь прижима в начальный момент вытяжки без учета закругления матрицы, мм<sup>2</sup>.

При вытяжке цилиндрических колпаков из плоской заготовки площадью прижима  $F$  будет площадь кольца, поэтому формула (278) примет вид (при  $D > d_1 + 2r_{1м}$ )

$$Q = 0,25\pi [D^2 - (d_1 + 2r_{1м})^2] q. \quad (279)$$

И. А. Норицын [68] указывает, что рациональное давление прижима составляет 1/4 от усилия вытяжки:

$$Q_{\max} = 0,25P_1 = 0,25\pi (d_1 + s) s\sigma_{p \max}. \quad (280)$$

Усилие прижима для вытяжки цилиндрических изделий на последующих операциях (из полых заготовок) определяют по формуле (при  $d_{n-1} > d_n + 2r_{nm}$ )

$$Q = 0,25\pi [d_{n-1}^2 - (d_n + 2r_{nm})^2]. \quad (281)$$

Необходимо отметить, что с учетом давления прижима полное усилие вытяжки для прессов простого действия, снабженных буферным устройством, будет равно

$$P_{\max} = P + Q, \quad (282)$$

где  $P$  — расчетное усилие вытяжки, Н;  $Q$  — давление прижима буфера, Н.

#### § 41. НАПРЯЖЕНИЯ И УСИЛИЕ ПРИ ВЫТЯЖКЕ ПОЛЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ С УТОНЕНИЕМ

При вытяжке с утонением происходит одновременное уменьшение толщины и диаметра плоской или полой заготовки.

Усилие вытяжки с утонением можно определить несколькими методами: совместным решением приближенных уравнений равновесия и уравнения пластичности [109], построением полей линий скольжения — методом характеристик [95; 100] и решением уравнения баланса работ внешних и внутренних сил [75; 77].

При вытяжке с утонением очаг деформации в любой момент вытяжки охватывает постоянный объем металла, ограниченный поверхностями соприкосновения полой заготовки с матрицей и пуансоном и двумя сечениями — верхней и нижней границами очага деформации.

На наружной поверхности полой заготовки при ее перемещении в очаге деформации возникают силы трения, направление которых обратно направлению движения пуансона (тянущей силе). Перемещение пуансона приводит также к перемещению внутренней поверхности полой заготовки относительно поверхности пуансона, что создает силы трения на внутренней поверхности заготовки, ориентированные в направлении движения пуансона.

Таким образом, сопротивление трения на поверхности матрицы  $\mu_2\sigma_\theta = \mu_2\sigma_\rho$  увеличивает, а на поверхности пуансона  $\mu_1\sigma_\theta = \mu_1\sigma_\rho$  уменьшает продольные растягивающие напряжения  $\sigma_z$  ( $\sigma_1$ ) в очаге деформации (рис. 86). На рис. 86 напряжения  $\sigma_\rho$  и  $\sigma_\theta$  даны в полярных координатах.

После составления уравнения равновесия элементарного кольцевого участка в очаге деформации и совместного решения его с условием пластичности, последующих решений и преобразований выведенных уравнений получаем окончательную формулу для определения усилия вытяжки по первому методу (приняв  $\mu_1 = \mu_2 = \mu$ ) в виде

$$P_n = 1,15 \sigma_{\text{в}} \pi d_n s_n \varphi_n \left[ \varphi'_n + \frac{\mu h_n}{s_n} \left( \frac{1}{1 - \varphi_{\text{в}}} - \varphi'_n \right) + \frac{\mu \varphi'_n}{\left( 1 + \frac{s_{\text{ср}}}{r_n} \right) (1 + \mu) \operatorname{tg} \alpha} \right], \quad (283)$$

где коэффициенты  $\varphi_n$  и  $\varphi'_n$  можно брать из табл. 10.

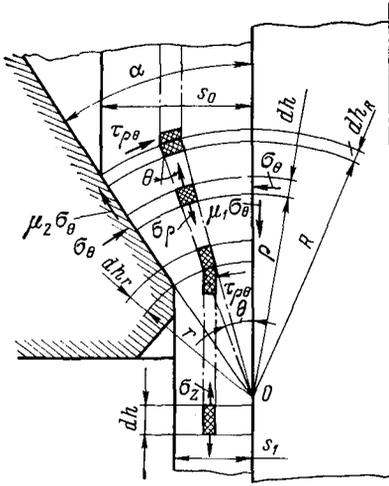


Рис. 86. Схема напряжений и смещений металла в очаге деформации при вытяжке с утонением

Если исходить из условия постоянства работ внешних и внутренних сил, то уравнение элементарных работ (при перемещении пуансона на величину  $dh$ ) при вытяжке с утонением  $dA$  наиболее полно может быть представлено в виде [75; 77]

$$dA_{\sigma_z} - dA_{\text{тр. м}} - dA_{\text{тр. п}} = dA_{\sigma_p} + dA_{\sigma_\theta} + dA_\tau + dA_{\text{сдв. нар}} + dA_{\text{сдв. вн}}, \quad (284)$$

где  $dA_z$  — работа сил, создаваемых растягивающими напряжениями  $\sigma_z$  (рис. 86);  $dA_{\text{тр. м}}$  и  $dA_{\text{тр. п}}$  — работа сил трения по матрице и по пуансону;  $dA_{\sigma_p}$ ,  $dA_{\sigma_\theta}$  и  $dA_\tau$  — работа сил, создаваемых соответственно напряжениями  $\sigma_p$ ,  $\sigma_\theta$  ( $\sigma_q$ ) и  $\tau$  в очаге деформации — работа формоизменения  $dA_d$ ;  $dA_{\text{сдв. нар}}$  и  $dA_{\text{сдв. вн}}$  — работа сдвига на наружной и внутренней границах очага деформации.

После ряда решений и преобразований приведенных выражений для элементарных работ  $dA$  получаем удобные для практического пользования формулы соответственно при  $\mu_1 \neq \mu_2$  и при  $\mu_1 = \mu_2 = \mu \leq 0,1$ :

$$P = \pi d_n s_1 \sigma_s \left[ \ln \frac{s_0}{s_1} + \frac{\mu_1 + \mu_2}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} \left( 1 - \frac{1}{2} \ln \frac{s_0}{s_1} \right) \left( \frac{s_0^2 - s_1^2}{s_1 s_0} \right) + \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right]; \quad (285)$$

$$P = \pi d_n s_1 \sigma_p \left[ \ln \frac{s_0}{s_1} + \frac{\mu}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} \left( 1 - \frac{1}{2} \ln \frac{s_0}{s_1} \right) \left( \frac{s_0^2 - s_1^2}{s_1 s_0} \right) + \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right]. \quad (286)$$

Здесь  $\sigma_s$  — напряжение текучести, которое учитывает влияние упрочнения металла по степенной зависимости

$$\sigma_s = \frac{\sigma_B}{1 - \psi_B} \left( \frac{s_0 - s_1}{2s_0\psi_B} \right)^{\frac{\psi_B}{1 - \psi_B}}.$$

Для комбинированной вытяжки с утонением, когда внутренний диаметр и толщина стенки полой заготовки значительно уменьшаются, очаг деформации нужно разделить на два участка: вытяжку без принудительного утонения и вытяжку с утонением

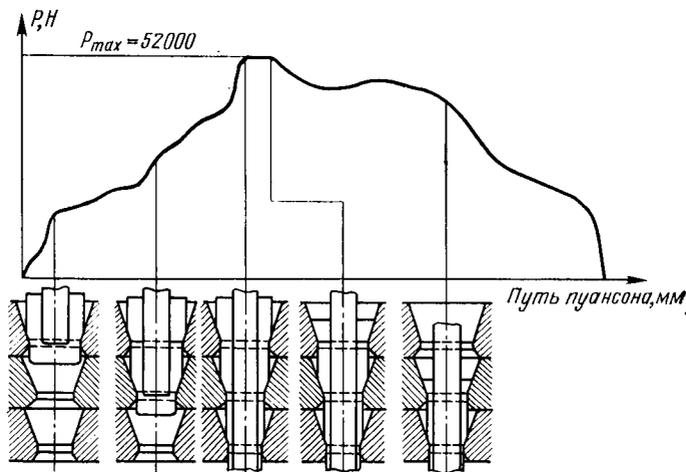


Рис. 87. Типовая диаграмма усилия при вытяжке с утонением через три матрицы

стенки. В этом случае напряжения, возникающие в очаге деформации, и усилие вытяжки, используя тот же метод равенства работ, можно определить по формулам [12].

На рис. 87 приведена типовая диаграмма усилия вытяжки с утонением  $P$  (в Н), полученная Е. А. Поповым [75] при вытяжке колпачков из полых цилиндрических латунных заготовок с наружным диаметром 22 мм и толщиной  $s = 1,1$  мм через три матрицы. Из диаграммы следует, что наибольшее усилие вытяжки в этом случае получается, когда конец закругления пуансона опустится до уровня выходного сечения третьей вытяжной матрицы.

Опытами установлено, что предельным значением коэффициента вытяжки при штамповке колпачков из латуни Л68 через одну матрицу  $m_{1\text{ут}} \geq 0,50$ . При более низких значениях  $m_{1\text{ут}}$  колпачки разрушаются. При вытяжке через две матрицы предельный итоговый коэффициент вытяжки  $m_{1-2\text{ут}}$  может быть на 10—15% меньше, чем при вытяжке через одну матрицу, т. е.  $m_{1-2\text{ут}} \geq 0,44$ ; при одновременной вытяжке через три матрицы удалось получить итоговый коэффициент вытяжки  $m_{1-3\text{ут}} \geq 0,38$ .

При комбинированной вытяжке в определенных условиях (при рациональной геометрии вытяжного штампа) удастся получить большее увеличение относительной высоты изделия или полуфабриката, чем только при вытяжке с утонением [12].

Для ориентировочных расчетов усилие вытяжки с утонением можно определить по эмпирической формуле

$$P_{\text{ут}} = \pi d_{\text{нар}} i \sigma_{\text{ут}}, \quad (287)$$

где  $d_{\text{нар}}$  — наружный диаметр изделия, мм;  $i$  — величина утонения стенки, равная  $s-s'$ , мм;  $\sigma_{\text{ут}}$  — сопротивление деформации при вытяжке с утонением, которое определяется из следующих зависимостей: для цветных металлов  $\sigma_{\text{ут}} = (1,6 \div 1,8) \sigma_{\text{в}}$ ; для стали  $\sigma_{\text{ут}} = (1,8 \div 2,25) \sigma_{\text{в}}$ , МПа.

#### § 42. НАПРЯЖЕНИЯ И УСИЛИЕ ПРИ ВЫТЯЖКЕ ПОЛЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ АНИЗОТРОПНОГО ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА

Анизотропия механических свойств листового металла, как указывалось в § 5, оказывает существенное влияние на процесс вытяжки и особенно на первой операции. Это влияние в зависимости от напряженно-деформированного состояния, характера и величины анизотропии может способствовать процессу вытяжки или затруднять его.

Рассмотрим вытяжку полой цилиндрической детали из плоской ортотропной заготовки. Условие пластичности для осесимметричной детали в этом случае, когда касательные напряжения отсутствуют, принимается по формуле (104).

На первой операции вытяжки при работе с сильным прижимом можно считать, что фланец заготовки из анизотропного металла находится в объемно-напряженном и плоско-деформированном состояниях, так как деформации в направлении, перпендикулярном плоскости листа  $X'Y'$  (по оси  $Z$ ), весьма малы. Тогда, приняв, что в уравнении приращения деформаций (110) величина  $de_z = 0$ , из этого же выражения получаем

$$\sigma_z = \frac{G\sigma_x + F\sigma_y}{G + F}. \quad (288)$$

Подставив значение  $\sigma_z$  из формулы (288) в условие пластичности (104), после ряда преобразований и сокращений получаем

$$\frac{GF + GH + FH}{G + F} (\sigma_x - \sigma_y)^2 = 1. \quad (289)$$

Согласно выражению (107) имеем

$$\sigma_{sz} = \frac{1}{\sqrt{G + F}},$$

условие пластичности преобразуется и примет вид

$$\sigma_x - \sigma_y = \sigma_{sz} \frac{G + F}{\sqrt{GF + GH + FH}}. \quad (290)$$

Решение задачи по вытяжке из анизотропного листового металла будем вести с использованием полярных координат, ориентированных таким образом, что плоскость  $\rho\theta$  совпадает с плоскостью анизотропии  $XU$ . Тогда, заменив в выражении (290) индексы  $x$  и  $y$  соответственно на  $\rho$  и  $\theta$ , будем иметь

$$\sigma_\rho - \sigma_\theta = \sigma_{sz} \frac{G+F}{\sqrt{GF+GH+FH}}. \quad (291)$$

Решая выражение (291) совместно с уравнением равновесия (92) и используя те же граничные условия как и при вытяжке из изотропного металла без учета трения, получаем формулы для определения растягивающих и сжимающих напряжений с учетом также и анизотропии металла:

$$\bar{\sigma}_\rho = \sigma_{sz} \frac{G+F}{\sqrt{GF+GH+FH}} \ln \frac{R_H}{\rho}; \quad (292)$$

$$\bar{\sigma}_\theta = -\sigma_{sz} \frac{G+F}{\sqrt{GF+GH+FH}} \left(1 - \ln \frac{R_H}{\rho}\right). \quad (293)$$

Характерно отметить, что при  $G = F = H$  и  $\sigma_{sz} = \sigma_{sy} = \sigma_{sx} = \sigma_s$  (изотропный лист) выражение (104) превращается в условие пластичности для изотропного металла, при котором  $\sigma_\rho - \sigma_\theta = 2\sigma_s/\sqrt{3} = \beta\sigma_s$  — по энергетической теории пластичности. Формулы (292) и (293) при этих условиях тогда превращаются в формулы (220) и (221), но с дополнительным множителем — коэффициентом  $\beta$ .

Принимая во внимание формулы (107), (113), (116) и другие зависимости § 23, из выражений (292) и (293) можно составить отношение одноименных напряжений для анизотропного ( $\bar{\sigma}_\rho, \bar{\sigma}_\theta$ ) и изотропного ( $\sigma_\rho, \sigma_\theta$ ) металла с круговой симметрией [14]

$$\frac{\bar{\sigma}_\theta}{\sigma_\theta} = \frac{\bar{\sigma}_\rho}{\sigma_\rho} = \frac{\sqrt{3}}{2} \sqrt{\frac{2(1+a_0)}{1+2a_0}}, \quad (294)$$

где  $a_0$  — коэффициент анизотропии по направлению прокатки (при угле  $\alpha = 0$ ).

Отношение (294) позволяет оценить влияние анизотропии металла на напряженное состояние фланца заготовки. По данным [14], при увеличении показателя анизотропии от 0,5 до 2 отношение одноименных напряжений уменьшается от 1,05 до 0,9. Следовательно, увеличение показателей анизотропии способствует некоторому снижению как растягивающих, так и сжимающих напряжений во фланце заготовки. Отметим, что для анизотропного металла напряженное состояние в точке фланца зависит не только от радиуса  $\rho$  и стадии процесса вытяжки, но и от угла  $\alpha$ , определяющего положение точек относительно направления прокатки, следствием чего и является возникновение на вытянутой детали ушек и впадин (фестонов).

Наибольшую величину растягивающего напряжения, возникающего в выходном сечении вытягиваемого изделия, с учетом влияния трения под прижимом и на вытяжной кромке матрицы штампа можно определить, используя формулу (230), которая для анизотропного металла, если принять для составляющего напряжения  $\sigma_{изг}$ , что  $\sigma_s \approx \sigma_B$ , она преобразуется и примет вид

$$\sigma_{\rho \max} = \left( \sigma_{sz} \frac{G+F}{\sqrt{GF+GH+FH}} \ln \frac{R_H}{r_{1 \text{ ср}}} + \frac{\mu Q}{\pi R_H s} + \frac{s}{2r_{1M} + s} \sigma_B \right) \times (1 + 1,6\mu). \quad (295)$$

Влияние упрочнения металла при вытяжке из анизотропного металла можно учитывать так же, как и для изотропного по среднему значению  $\sigma_{s \text{ ср}}$ , используя кривую упрочнения второго вида по степенной зависимости, которая может быть выражена в виде

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_{s \text{ ср}} &= \left( \sigma_{sz} \frac{G+F}{\sqrt{GF+GH+FH}} \right)_{\text{ср}} = \\ &= \left[ \frac{\sigma_B}{1-\psi_B} \left( \frac{\varepsilon_{\theta \text{ ср}}}{\psi_B} \right)^{\frac{\psi_B}{1-\psi_B}} B \right]_{\text{ср}} = \\ &= \left\{ \frac{\sigma_B}{1-\psi_B} \left[ \left( 1 - 0,5 \frac{R_H}{R} - 0,5 \frac{r_{1 \text{ ср}}}{\sqrt{r_{1 \text{ ср}}^2 + R^2 - R_H^2}} \right) \frac{1}{\psi_B} \right]^{\frac{\psi_B}{1-\psi_B}} B \right\}_{\text{ср}}. \end{aligned} \quad (296)$$

Тогда наибольшее растягивающее напряжение в выходном сечении вытягиваемого изделия с учетом также и упрочнения металла определится из выражения

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_{\rho \max} &= \left[ \left( \sigma_{sz} \frac{G+F}{\sqrt{GF+GH+FH}} \right)_{\text{ср}} \ln \frac{R_H}{r_{1 \text{ ср}}} + \frac{\mu Q}{\pi R_H s} + \frac{s}{2r_{1M} + s} \sigma_B \right] \times \\ &\quad \times (1 + 1,6\mu) = \\ &= \left\{ \frac{\sigma_B}{1-\psi_B} \left[ \left( 1 - 0,5 \frac{R_H}{R} - 0,5 \frac{r_{1 \text{ ср}}}{\sqrt{r_{1 \text{ ср}}^2 + R^2 - R_H^2}} \right) \frac{1}{\psi_B} \right]^{\frac{\psi_B}{1-\psi_B}} B \right\}_{\text{ср}} \times \\ &\quad \times \ln \frac{R_H}{r_{1 \text{ ср}}} (1 + 1,6\mu) + \left( \frac{\mu Q}{\pi R_H s} + \frac{s}{2r_{1M} + s} \sigma_B \right) (1 + 1,6\mu). \end{aligned} \quad (297)$$

Предельную степень вытяжки  $K_{1B}$ , при которой заготовка будет находиться на грани возможного разрушения, можно определить для анизотропного металла по формуле (239), подставив в знаменатель степенного показателя вместо  $\sigma_{s \text{ ср}}$  величину

$$\bar{\sigma}_{s \text{ ср}} = \left( \sigma_{sz} \frac{G+F}{\sqrt{GF+GH+FH}} \right)_{\text{ср}} = (\sigma_{sz} B)_{\text{ср}},$$

где  $B$  — общий параметр анизотропии металла при вытяжке.

Усилие вытяжки на первой операции при работе с прижимом можно определить по формуле (240), подставив в нее вместо  $\sigma_{s \text{ ср}}$  значение  $\bar{\sigma}_{s \text{ ср}}$ , определяемое зависимостью (296).

На последующих вытяжных операциях полых цилиндрических деталей влияние анизотропии сказывается меньше, чем на первой, тем более, если после первой операции был произведен рекристаллизационный отжиг и выполнена обрезка верхних кромок стенок детали. При вытяжке полых деталей коробчатой формы (квадратных и прямоугольных коробок) низких и средней высоты, которые получают за две-три операции из анизотропного листового металла, напряжения и усилие вытяжки можно определить, рассматривая вытяжку в закругленных углах как для полых цилиндрических деталей, а на прямых стенках — как при гибке анизотропного листового металла, а затем уже брать их усредненное значение.

При вытяжке полых деталей сложной формы, где влияние анизотропии в сильной степени сказывается на процесс формообразования их, точное решение задачи о напряженном состоянии связано с большими математическими трудностями. Приближенно этот вопрос можно решить, разбив контур полых детали на ряд простых элементов — часть цилиндра, закругленные углы, прямые стенки и т. д., для каждого из них применять вышеприведенные обоснованные методы, а затем брать их усредненное значение.

Уменьшить влияние анизотропии механических свойств металла, а следовательно, и фестонообразование на процесс вытяжки можно рядом мероприятий: разбросом текстуры относительно направления прокатки, для чего следует заготовку (сляб) прокатывать небольшими обжатиями в различных направлениях вдоль прокатки, поперек и под углом; произвести после прокатки рекристаллизационный отжиг; изменить схему напряженного состояния при штамповке, стремясь к тому, чтобы образование формы детали производилось в большей мере по схеме двухосного растяжения, чем уменьшается тенденция к фестонообразованию. Этого можно достигнуть или ограничением течения металла, или усилением течения металла через закругленную кромку пуансона с увеличенным радиусом при обильной смазке [95], а также вытяжкой с утонением стенок вытягиваемого изделия.

Уменьшить фестонообразование можно также, применяя профильную плоскую заготовку (вместо круглой) с учетом направления образования фестонов — выступов и впадин, однако это связано с усложнением конструкции вырубного штампа и с затруднением при укладывании профильных заготовок в фиксирующее кольцо вытяжного штампа.

#### **§ 43. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАТРАЧИВАЕМОЙ РАБОТЫ И СКОРОСТИ ПРИ ВЫТЯЖКЕ**

При выборе прессы для проведения вытяжки необходимо, кроме наибольших усилий, знать также величину потребной работы, так как при большой глубине вытяжки она может быть весьма значительной. По формулам (240), (243) и (273) можно вычислить мак-

симальные усилия вытяжки; однако усилие вытяжки не остается постоянным на протяжении всего хода пуансона. На рис. 80 были приведены графики, на которых показана зависимость усилия вытяжки от величины хода пуансона. Из этих графиков видно, что работу  $A_{н1}$  (в Дж), затрачиваемую при вытяжке, следует вычислять не по максимальному усилию, а по среднему его значению  $P_{1cp}$ .

Аналитически затрачиваемая работа для первой операции вытяжки может быть определена по формуле [92]

$$A_{н1} = \pi r_1^2 \text{cp} (K_{1в}^2 - 1) \sigma_s \left[ \ln K_{1в} - \frac{K_{1в}^2 - 1}{4K_{1в}^2} + \frac{2\mu Q}{\pi r_1 \text{cp}^s (K_{1в} + 1) \sigma_s} + \frac{s}{2r_{1м} + s} \right] (1 + 1,6\mu). \quad (298)$$

Однако на практике можно пользоваться более упрощенными зависимостями. Тогда для первой операции

$$A_{н1} = P_{1cp} h_1 / 1000 = \lambda_1 P_1 h_1 / 1000, \quad (299)$$

а для второй и последующих операций

$$A_{нn} = P_{n \text{ cp}} h_n / 1000 = \lambda_n P_n h_n / 1000. \quad (300)$$

Здесь  $h_1$  и  $h_n$  — глубина вытяжки на первой и последующих операциях, мм;  $P_{1cp}$  и  $P_{n \text{ cp}}$  — среднее усилие, Н;  $P_1$  и  $P_n$  — максимальное усилие вытяжки на первой и последующих операциях, Н;  $\lambda_1$  и  $\lambda_n$  — эмпирические коэффициенты, характеризующие степень полноты диаграмм усилий вытяжки на первой и последующих операциях, которые выбирают в зависимости от коэффициентов вытяжки  $m_1$  и  $m_n$  [32].

При  $m_1 = 0,55 \div 0,80$  —  $\lambda_1 = 0,80 \div 0,64$ ; при  $m_n = 0,70 \div 0,90$  —  $\lambda_n = 0,85 \div 0,70$ .

При вытяжке с утонением материала затрачиваемая работа (в Дж) определяется по формуле

$$A_{н. \text{ ут}} = \frac{\pi d_{нар}^i \sigma_{ут} h}{1000} 1,2, \quad (301)$$

где  $h$  — глубина вытяжки, мм; коэффициент 1,2 учитывает работу, затрачиваемую на преодоление поверхностного трения (составляет около 20% от  $A_{н. \text{ ут}}$ ).

Скорость вытяжки в значительной степени зависит от физических характеристик металла заготовки. Металл должен иметь необходимое время для деформирования, ибо в противном случае вследствие неравномерного распределения напряжений может произойти отрыв дна полуфабриката во время вытяжки.

Средние скорости вытяжки без утонения, по данным А. Я. Фрейдлина [см. 26] и справочнику ASTM, составляют: для алюминия 0,50 и 0,87 м/с; для латуни 0,50 и 1,0 м/с; для меди 0,43 и 0,45 м/с;

для малоуглеродистой стали 0,17 и 0,27 м/с; для нержавеющей стали 0,10—0,15 м/с. Большие значения рекомендуется брать для кривошипных прессов простого действия и более мелких деталей, а меньшие — для прессов двойного действия и более крупных деталей.

## Глава 11. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ И ФОРМЫ ЗАГОТОВКИ ПРИ ВЫТЯЖКЕ ПОЛЫХ ИЗДЕЛИЙ

### § 44. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРОВ ЗАГОТОВКИ ПРИ ВЫТЯЖКЕ ПОЛЫХ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ

Для определения размеров заготовки при вытяжке исходят из основного закона обработки давлением: масса  $G$  и объем  $V$  материала до вытяжки — заготовки равна массе  $G'$  и объему  $V'$  материала после вытяжки — готового изделия.

Для определения размеров плоской заготовки при вытяжке полых тел существует пять методов.

*Аналитические методы:* метод равенства поверхностей; метод равенства объемов; метод равенства масс.

*Графические методы:* графо-аналитический метод; графический метод.

#### Аналитические методы

**Метод равенства поверхностей.** Этим методом можно пользоваться лишь при нормальном процессе вытяжки без утонения материала, т. е. при  $s' = s$  (считая, что средняя толщина стенки  $s'$  равна толщине заготовки  $s$ ) и  $F' = F$ . Площадь заготовки  $F$  представляет собой площадь заготовочного кружка. Площадь изделия  $F'$  для тонкого листового материала ( $s$  до 1,5 мм) представляет собой поверхность цилиндра, подсчитанную по внутреннему диаметру и наружной высоте, либо по наружному диаметру и по внутренней высоте (включая площадь дна). При сравнительно толстом материале поверхность цилиндра подсчитывается не по наружному, а по среднему диаметру. Расчет заготовки по методу равенства поверхности наиболее распространен в листовой штамповке.

Рассмотрим метод определения размеров заготовки при вытяжке полого цилиндра, у которого дно и стенки имеют одинаковую толщину и условно сопряжены под прямым углом. Изделие можно представить состоящим из двух простых элементов: цилиндра (без дна) и дна (рис. 88).

Как видно из рис. 88

$$F' = F_{\text{д}} + F_{\text{с}} = \pi d_{\text{ср}}^2/4 + \pi d_{\text{ср}}(h + h') = F = \pi D^2/4, \quad (302)$$

откуда

$$D = \sqrt{d_{\text{ср}}^2 + 4d_{\text{ср}}(h + h')} = \sqrt{d_{\text{ср}}^2 + 4d_{\text{ср}}H'}, \quad (303)$$

где  $h$  — внутренняя высота цилиндра;  $h'$  — припуск на подрезку края стенки цилиндра.

Если тело состоит из  $n$  простых поверхностей ( $F_1, F_2, \dots, F_n$ ), то можно определить диаметр заготовки из зависимости

$$F = \pi D^2/4 = F' = F_1 + F_2 + \dots + F_n = \sum_{i=1}^n F_i, \quad (304)$$

откуда

$$D^2 = \frac{4}{\pi} \sum_{i=1}^n F_i \quad \text{или} \quad D = \sqrt{\frac{4}{\pi} \sum_{i=1}^n F_i}. \quad (305)$$

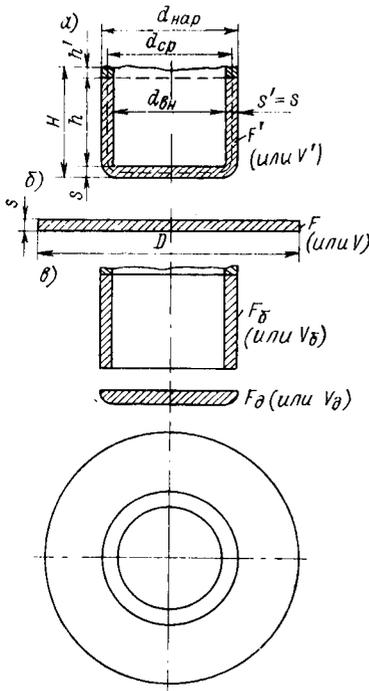


Рис. 88. Схема разбивки цилиндрического изделия на элементы при расчете размеров заготовки: а — изделие; б — заготовка; в — элементы изделия

Величина припуска на подрезку края цилиндра  $h'$  при вытяжке без утонения может быть различной в зависимости от рода и толщины материала, формы и высоты изделия, а также существенно изменяется от относительной высоты  $k_{\text{ц}} = h/d$ .

Для отношения  $h/d$ , изменяющегося от 0,5 до 4,0 и при высоте  $h$  от 20 до 300 мм, припуск  $h'$  составляет 2—12 мм [32].

При вытяжке полых цилиндров с фланцем, а также при многооперационной вытяжке в ленте, где детали также имеют фланец, припуск на подрезку фланца  $a$  устанавливается в зависимости от толщины материала  $s$  и от размера фланца  $d_{\text{ф}}$  или от относительной его величины  $k_{\text{ф}} = d_{\text{ф}}/d$ :

$$a = a' a'' s, \quad (306)$$

где  $a'$  — коэффициент, определяемый из табл. 12;  $a''$  — коэффициент, учитывающий припуск в зависимости от  $d_{\text{ф}}$ ; при  $d_{\text{ф}}$  до 50 мм  $a'' = 1,0 \div 1,3$ , при  $d_{\text{ф}}$  от 50 до 250 мм  $a'' = 1,8 \div 2,5$ .

Определим диаметр заготовки при вытяжке полых тел вращения произвольной сложной формы. В данном случае размер за-

## 12. Значения коэффициентов $a'$

$s, \text{ мм}$	0,1—0,3	0,3—0,6	0,6—0,9	0,9—1,4	1,4—2	2—3
$a'$	10	6	4	3	2,5	2

готовки  $D$  легче всего найти, пользуясь известным правилом, согласно которому поверхность тела вращения  $F'$ , образованного кривой произвольной формы  $AB = L$  (рис. 89) при вращении ее вокруг оси  $yy$ , определяется произведением длины окружности, описанной центром тяжести  $S$  образующей кривой  $2\pi x$ , на длину последней  $L$ , т. е.

$$F' = 2\pi xL. \quad (307)$$

Определим размер заготовки для цилиндра, у которого дно и стенки боковой поверхности сопряжены по сферической поверхности (рис. 90). Это тело можно рассматривать как состоящее из трех элементов: цилиндра (без дна), поверхности, образованной вращением закругленного участка

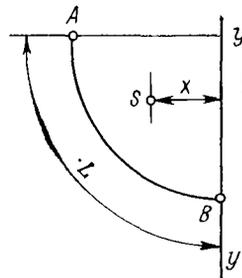


Рис. 89. Схема к расчету боковой поверхности тел вращения

Исходя из условия равенства поверхностей и используя обозначения и геометрические соотношения, приведенные на рис. 90, можно написать

$$F' = F_{\text{д}} + F_{\text{б}} + F_{\text{сф}} = \frac{\pi d_0^2}{4} + \pi d_{\text{ср}}(h_0 + h') + \frac{2\pi r'_{\text{ср}}}{4} \frac{d_{\text{ср}} + d_0}{2} \pi = F = \frac{\pi D^2}{4}, \quad (308)$$

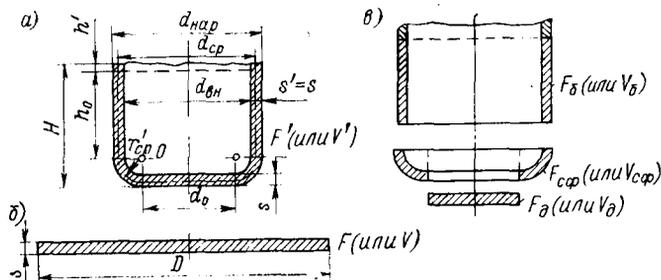


Рис. 90. Схема разбивки цилиндрического изделия с закруглением у дна на элементы при расчете размеров заготовки: а — изделие; б — заготовка; в — элементы изделия

откуда

$$D = \sqrt{d_0^2 + 4d_{\text{ср}}(h_0 + h') + \pi r'_{\text{ср}}(d_{\text{ср}} + d_0)}. \quad (309)$$

Выражение для сферической поверхности  $F_{\text{сф}}$  приближенное, но для практических целей вполне приемлемо.

Если при подсчете  $F_{сф}$  центр тяжести дуги сферической части тела определить более точно, то диаметр заготовки найдется из выражения

$$D = \sqrt{d_0^2 + 4d_{ср}(h_0 + h') + 2\pi r'_{ср}d_0 + 8r'^2_{ср}} \quad (310)$$

Однако это уточнение не превышает 1—2%.

**Метод равенства объемов.** Этим методом приходится пользоваться при вытяжке с утонением материала, когда толщина боковых стенок отличается от толщины дна и исходной заготовки, так как при  $s' \neq s$  и  $F' \neq F$ .

При вытяжке полого цилиндра, у которого дно и боковые стенки имеют различную толщину и условно сопряжены под прямым углом (см. рис. 88, при  $s' < s$ ), исходя из условия равенства объемов  $V' = V$ , имеем

$$V' = V_{д} + V_{б} = \frac{\pi d_{ср}^2}{4} s + \pi d_{ср}(h + h')s' = V = \frac{\pi D^2}{4} s, \quad (311)$$

откуда

$$D = \sqrt{d_{ср}^2 + 4d_{ср}(h + h') \frac{s'}{s}} \quad (312)$$

‡ Аналогичным образом производится определение размера заготовки, когда дно и боковые стенки цилиндра имеют различную толщину и сопряжены по сферической поверхности.

Величина отходов при обрезке вытянутых полых цилиндров с утонением стенок зависит от рода и толщины материала, числа операций и от относительной высоты  $h/d$ . Ориентировочно можно считать, что при отношении  $h/d$ , изменяющемся от 2 до 10, отход составляет 8—12% объема детали, при больших отношениях — 12—15%.

Размеры заготовки для вытяжки полого тела вращения, образованного из произвольного числа простых объемов ( $V_1, V_2, \dots, V_n$ ), определяются из уравнений

$$V = \frac{\pi D^2}{4} s = V' = V_1 + V_2 + \dots + V_n = \sum_{i=1}^n V_i, \quad (313)$$

откуда

$$D^2 = \frac{4}{\pi s} \sum_{i=1}^n V_i \quad \text{или} \quad D = \sqrt{\frac{4}{\pi s} \sum_{i=1}^n V_i} \quad (314)$$

**Метод равенства масс.** При наличии готового образца изделия проще определить диаметр заготовки из условия равенства масс

$$G' = G = V\gamma = (\pi D^2/4) s\gamma, \quad (315)$$

откуда

$$D = \sqrt{4G'/\pi s\gamma} = \sqrt{1,28G'/s\gamma} = 1,1284 \sqrt{G'/s\gamma}, \quad (316)$$

где  $D$  — диаметр заготовки, см;  $s$  — толщина материала, см;  $G$  — масса изделия, г;  $\gamma$  — плотность материала, г/см<sup>3</sup>.

**Графо-аналитический метод.** Сущность графо-аналитического метода состоит в определении графическим путем расстояния  $x$  (или  $r_1, r_2, \dots, r_n$ ) любого отрезка кривой ( $l_1, l_2, \dots, l_n$ ) до оси вращения, а также длины его  $L$  ( $L = l_1 + l_2 + \dots + l_n$  или  $L = nl$  при  $l_1 = l_2 = \dots = l_n$ ). Затем, используя зависимость для  $F' = 2\pi xL$  (307) и приравняв ее площади заготовки  $F = \pi D^2/4$ , находим диаметр заготовки  $D$

$$D = \sqrt{8xL} = \sqrt{8(r_1 + r_2 + \dots + r_n)l}. \quad (317)$$

**Графический метод.** По этому методу расстояние центра тяжести образующей кривой  $S$  до оси вращения  $R_s$  определяется при помощи веревочного многоугольника [29; 32], длина  $L$  находится графически, а затем аналогичным образом, как и выше, определяем диаметр заготовки  $D$

$$D = \sqrt{8R_s L}. \quad (318)$$

#### § 45. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ И ФОРМЫ ЗАГОТОВКИ ПРИ ВЫТЯЖКЕ КВАДРАТНЫХ, ПРЯМОУГОЛЬНЫХ КОРОБОК И ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

Для нахождения формы и размеров заготовки при вытяжке деталей коробчатой формы пользуются графо-аналитическим методом, исходя из следующих основных положений.

1. Площадь заготовки  $F$  должна быть равна поверхности вытянутой детали  $F'$  с учетом также припуска на подрезку кромок  $\Delta h = h'$ , который обычно составляет при вытяжке за одну операцию  $(0,03 \div 0,05) h$ , за две —  $(0,04 \div 0,06) h$ , за три —  $(0,05 \div 0,08) h$  и за четыре —  $(0,07 \div 0,10) h$ . Полная высота коробки  $H = h + h' + s$ .

2. Полученный в результате подсчета и графического построения прерывистый контур заготовки должен быть откорректирован таким образом, чтобы заготовка имела плавный контур без резких переходов, причем прибавляемые и убавляемые для этого площади должны быть равны между собой. При определении размеров и формы заготовки следует различать низкие или высокие коробки, без фланца или с фланцем, в зависимости от которых методика расчета будет различная. Следует учитывать также и соотношения размеров детали: относительной высоты  $H/B$ , относительного радиуса закругления в углах  $r_y/B$  и у дна  $r'_d/B$  и относительной толщины  $(s/D) 100$ .

Низкими прямоугольными коробками обычно считают такие, которые вытягивают за одну операцию (приблизительно при  $H = 0,3 B$ ).

Наибольшая высота коробок без фланца, вытягиваемых за одну операцию, для мягкой стали марок 08—10 составляет [79]:  $H = (0,35 \div 0,70) B$  при  $r = (0,05 \div 0,10) B$ ;  $H = (0,80 \div 1,20) B$  при  $r = (0,20 \div 0,30) B$ . Меньшие значения соответствуют  $(s/D) \times 100 = 0,2 \div 0,5$ , большие —  $(s/D) 100 = 1,5 \div 2,0$ , а в промежутке между ними  $H = (0,6 \div 0,8) B$ .

Высота вытяжки также зависит от абсолютных размеров прямоугольных коробок: большие значения принимаются для коробок небольших размеров ( $B < 100$  мм), а меньшие — для крупных коробок.

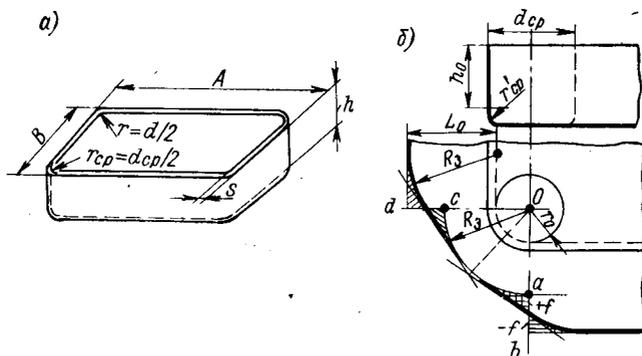


Рис. 91. Схема к определению формы и размеров заготовки при вытяжке невысоких прямоугольных коробок с закругленными углами

При определении размеров и формы заготовки для вытяжки низких коробок можно считать, что вытяжка происходит лишь в углах, а прямые боковые стенки просто отгибаются. Поэтому прямые боковые стенки разворачивают, как при гибке, а углы определяют, как при вытяжке, и затем полученную ступенчатость контура заготовки в углах устраняют, создавая плавный их переход к прямым стенкам.

При этом различают два случая вытяжки: 1) коробка имеет закругленные углы, а сопряжение боковых стенок с дном производится под прямым углом (рис. 91, а); 2) коробка имеет закругленные углы и закругленное сопряжение стенок с дном (рис. 91, б). Контур дна имеет форму прямоугольника или квадрата.

Для первого случая диаметр заготовки для вытяжки углов определяют по формуле (303), а для второго — по формулам (309) и (310).

Контур заготовки (по способу Б. П. Звороно [см. 32]) можно построить в следующем порядке.

1. Определяют длину отгибаемой части  $L_0$ , включая закругление у дна и припуск на подрезку кромки,  $L_0 = H + 0,57r'_{cp}$ .

2. Находят центр участка тела вращения  $O$  и через него проводят взаимно перпендикулярные прямые  $Ob$  и  $Od$ , затем из

центра  $O$  проводят дугу радиусом  $r_0$ , ограничивающую плоскую часть дна тела вращения, и дугу радиусом  $R_3$ .

3. Проводят линии, ограничивающие прямолинейную часть заготовки, на расстоянии  $L_0 + r_0$  от центра  $O$ .

4. Отрезки  $ab$  и  $cd$  делят пополам и проводят касательные к окружности.

5. Углы между касательными и прямыми стенками закругляют радиусом  $R_3$ .

Полученный контур (показанный на рис. 91, б жирной линией) и представляет собой контур заготовки для одного угла. При таком построении (рис. 91), прибавляемая площадь ( $+f$ ) равна убавляемой площади ( $-f$ ) и, кроме того, здесь соблюдается условие плавности переходов в углах заготовки.

Для квадратной коробки с закругленными углами приближенный размер (радиус) заготовки определяют из зависимости  $R_3 = B/2 + H$ , описывая окружность радиуса  $R_3$  из середины квадрата плоского дна изделия.

Процесс вытяжки высоких квадратных и прямоугольных коробок, получаемых за несколько последовательных операций, является более сложным, так как в нем участвуют не только углы, но и боковые стенки и поэтому схема перераспределения металла будет иная.

Заготовкой при вытяжке высоких квадратных коробок ( $H \geq 0,6 B$ ) будет круг (рис. 92, а), диаметр которого определяется из равенства суммарной площади элементов готового изделия  $F'$  и площади заготовки  $F$ , причем при равенстве радиусов закруглений в углах  $r_y$  и у дна  $r_d$  ( $r_y = r_d = r$ ) диаметр заготовки находят по формуле [79]

$$D_3 = 1,13 \sqrt{B^2 + 4B(H - 0,43r) - 1,72r(H + 0,33r)}. \quad (319)$$

При разной величине радиусов закруглений в углах и у дна коробки  $D_3$  определяется по формуле

$$D_3 = 1,13 \sqrt{B^2 + 4B(H - 0,43r_d) - 1,72r_y(H + 0,5r_y) - 4r_d(0,11r_d - 0,18r_y)}. \quad (320)$$

При вытяжке высоких прямоугольных коробок с размерами  $AB$  заготовка имеет овальную форму, размеры которой можно определить, если расчленив контур коробки на четыре участка, два из которых представляют собой половинки квадратной коробки с размерами в плане  $B \times B/2$ , а два других — прямолинейные участки длиной  $A - B$ . Заготовки для двух половинок квадратной детали будут полукруги, радиус которых  $R_b = R_3$  определяется по формулам (319) или (320), с центром, совпадающим с центром условной квадратной детали (рис. 92, а). Ширина заготовки  $K$  будет равна  $2R_b$ , а ее длина  $L = 2R_b + (A - B)$ . Форму заготовки можно также получить и двумя сопрягающимися радиусами  $R_a$  и  $R_b$ , но это усложняет изготовление вырубного штампа.

При вытяжке высоких квадратных и прямоугольных коробок небольших размеров ( $B < 50$  мм) при соотношениях  $A/B \leq 2,5$ ,  $H/B \leq 3,0$ ,  $r_y/B \geq 0,10$ ,  $r_d/B > 0,01$  форма заготовки для обоих случаев может быть круг, диаметр которого будет  $D_3 = 1,13 \sqrt{F'}$ . При соотношении размеров  $A/B \leq 2,0$  форма заготовки может быть и в виде квадрата [54].

При вытяжке прямоугольных коробок с фланцем, для определения формы и размеров заготовки также исходят из условия равенства площади заготовки и поверхности изделия. При этом про-

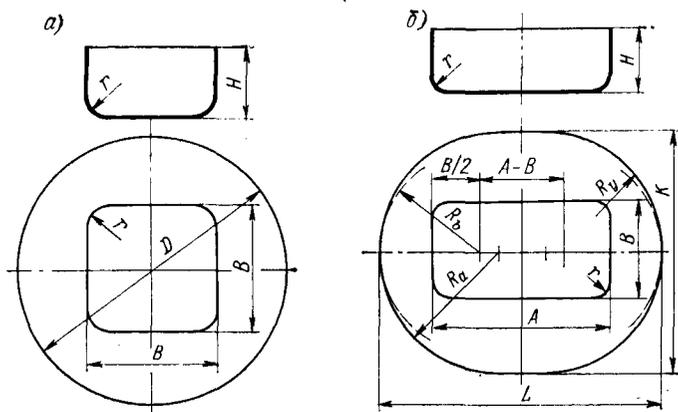


Рис. 92. Схемы к определению формы и размеров заготовки при вытяжке высоких квадратных (а) и прямоугольных коробок (б) с большим радиусом угловых закруглений

изводят следующие подсчеты: определяют длину выпрямленной стенки (см. рис. 91 или 92), затем определяют радиус заготовки в углах, как и для цилиндрической детали с фланцем по формуле (305) или (317), после чего производят развертку на плоскость и полученную ступенчатость контура заготовки в углах выравнивают, создавая плавный их переход к прямым стенкам. Выравнивание контура заготовки делают таким образом, чтобы прибавляемые и убавляемые площади были равны между собой. Припуск на обрезку прямоугольных коробок с фланцем берут примерно 3—6% от поверхности вытягиваемого изделия.

Способ нахождения размеров и формы заготовки для деталей с любым очертанием в плане заключается в разбивке его на ряд простейших элементов, графическом определении развертки и размеров заготовки для этих элементов, построении на этом основании общей заготовки и плавном закруглении ее углов с тем расчетом, чтобы площади убавляемых и прибавляемых участков были одинаковыми [26; 79; 111]. При вытяжке деталей весьма сложной формы размеры заготовки определяют изготовлением слепка готовой детали из грубой марли, пропитанной воском, толщиной

2—3 мм. Постепенно расправляя восковой слепок, можно по нему установить как промежуточные формы матриц вытяжных штампов, так и форму плоской заготовки, по которой изготовляют вырубной штамп.

## Глава 12. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛА ОПЕРАЦИЙ И ИХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ПРИ ВЫТЯЖКЕ

### § 46. КОЭФФИЦИЕНТ ВЫТЯЖКИ И ЗАВИСИМОСТЬ ЕГО ОТ ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ

При определении числа операций вытяжки нужно стремиться, в основном, к тому, чтобы на всех операциях, начиная с первой, принималось такое уменьшение поперечного размера изделия, чтобы напряжение в материале (при полном использовании его пластических свойств) не превосходило его предела прочности. Это означает, что на каждой операции вытяжки следует принимать максимально возможную степень деформации, которую при вытяжке обычно определяют по формулам:

для первой операции

$$\varepsilon_1 = \frac{F - F_1}{F} = \frac{\pi Ds - \pi d_1 s}{\pi Ds} = \frac{D - d_1}{D} = 1 - m_1 = \frac{K_{1в} - 1}{K_{1в}}; \quad (321)$$

для последующей  $n$ -й операции

$$\varepsilon_n = \frac{F_{n-1} - F_n}{F_{n-1}} = \frac{\pi d_{n-1} s - \pi d_n s}{\pi d_{n-1} s} = \frac{d_{n-1} - d_n}{d_{n-1}} = 1 - m_n = \frac{K_{нв} - 1}{K_{нв}}, \quad (322)$$

где  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_n$  — степень деформации при вытяжке на первой и на  $n$ -й операциях;  $F_1, \dots, F_{n-1}, F_n$  — площади поперечного сечения вытягиваемого изделия на соответствующих операциях, мм<sup>2</sup>;  $d_1, \dots, \dots, d_{n-1}, d_n$  — диаметры изделия (полуфабриката) на соответствующих операциях, мм;  $m_1$  и  $m_n$  — коэффициент вытяжки, на первой и на  $n$ -й операциях;  $K_{1в}$  и  $K_n$  — степень вытяжки — величина, обратная коэффициенту вытяжки, т. е.  $K_{в} = 1/m$ ;  $K_{в} > 1$ .

Условимся в дальнейшем коэффициентом вытяжки  $m_1$  для первой операции называть отношение диаметра полого цилиндра  $d_1$ , полученного вытяжкой, к диаметру плоской заготовки  $D$ ,

$$m_1 = d_1/D. \quad (323)$$

Для последующих операций коэффициент вытяжки определится как отношение последующего диаметра полого цилиндра к предыдущему, т. е.

$$m_2 = d_2/d_1, m_3 = d_3/d_2, \dots, m_n = d_n/d_{n-1}. \quad (324)$$

Так как каждой степени деформации соответствует определенная величина возникающих при вытяжке напряжений, то коэффициент вытяжки  $m$  (или степень вытяжки  $K_{\text{в}}$ ) следует подбирать такими, чтобы напряжения, полученные при таком коэффициенте, не превосходили временного сопротивления разрыву материала. Выбор величины  $m$  (или  $K_{\text{в}}$ ) является поэтому ответственным моментом при разработке технологического процесса вытяжки.

Как показала практика, коэффициенты вытяжки на последующих операциях в случае применения промежуточных отжигов могут быть взяты при приближенном расчете одинаковыми, т. е.

$$m_2 = m_3 = \dots = m_{n-1} = m_n = m' = d_n/d_{n-1}. \quad (325)$$

При более точном анализе следует этот коэффициент увеличивать от одной вытяжной операции к другой. Величины задаваемых коэффициентов определяют число и последовательность операции вытяжки. Чем меньше коэффициенты вытяжки  $m_1$  или  $m'$ , тем лучше будут использованы пластические свойства материала и тем меньше потребуются вытяжных операций. Величины наименьшего возможного при данных условиях коэффициента вытяжки  $m_1$  и  $m'$  зависят от следующих факторов:

- 1) способа вытяжки (с прижимом или без прижима);
- 2) качества материала, размера зерна, состояния поверхности и т. д.;
- 3) толщины материала  $s$  и отношения толщины к диаметру плоской или полый заготовки [относительной толщины  $(s/D) \times 100$  или  $(s/d_{n-1}) 100$ ];
- 4) диаметра и формы изделия;
- 5) радиусов закругления кромок матрицы и пуансона  $r_m$  и  $r_n$ ;
- 6) зазора между матрицей и пуансоном  $z_{\text{в}}$ ;
- 7) скорости вытяжки в начале и в конце процесса;
- 8) материала вытяжного штампа (сталь или чугун), состояния поверхности его рабочих частей, рода и степени смазки;
- 9) числа и порядкового номера операций вытяжки  $n$ .

Для установления влияния способа вытяжки (с прижимом или без него) на коэффициент вытяжки были проведены опыты, которые показали, что степень вытяжки  $K_{1\text{в}} = 1/m_1 = D/d_1$  может быть принята больше при вытяжке с прижимом, чем без него. Основным критерием для выбора способа вытяжки является относительная толщина:

для первой операции

$$\Delta = (s/D) 100\%, \quad (326)$$

для последующих операций

$$\Delta' = (s'/d_{n-1}) 100\%. \quad (327)$$

Для первой операции при  $\Delta < 1,5$  следует применять вытяжку с прижимом, при  $\Delta > 2,0$  — без прижима.

При  $\Delta = 1,5 \div 2,0$  возможны оба варианта; для окончательного решения вопроса нужно учесть дополнительно особенности каждого отдельного случая, а также и других приведенных выше факторов.

По Л. А. Шофману, вытяжка без прижима возможна, если  $D — d_1 \leq 22s$ , или при соотношении

$$(s/D) 100 \geq 4,5 (1 - m_1). \quad (328)$$

Для последующих операций при  $\Delta' < 1,0$  следует проводить вытяжку с прижимом, а при  $\Delta' > 2,0$  — без прижима. В промежулке  $\Delta' = 1 \div 2$  следует считать более целесообразным применение прижима при  $\Delta'$  в интервале 1—1,25, и вытяжку без прижима в интервале  $\Delta'$  от 1,25 до 2.

Как и для первой операции, окончательный выбор способа вытяжки решается конкретными условиями заданного изделия. Следует указать, что чем больше пластичность, собственная толщина и относительная толщина вытягиваемого материала, тем меньший коэффициент вытяжки может быть принят.

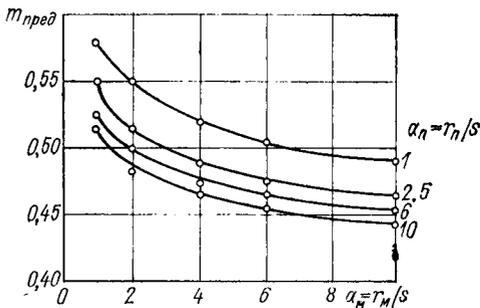


Рис. 93. Влияние радиуса закругления кромок матрицы и пуансона на коэффициент вытяжки детали из латуни толщиной  $s = 1$  мм при  $d = 30$  мм

Отметим, что большие радиусы закругления рабочих кромок матрицы и пуансона дают возможность уменьшить  $m_1$ . Однако при значительной их величине под прижимом будет оставаться небольшая поверхность заготовки, что приведет к образованию складок и невозможности получения качественных изделий.

Приведенные на рис. 93 кривые подтверждают указанные выше положения о влиянии радиусов закругления матрицы и пуансона или их относительных величин ( $a_m = r_m/s$ ;  $a_n = r_n/s$ ) на предельное значение коэффициента вытяжки  $m_{пред}$ .

Согласно этим кривым, коэффициент вытяжки по мере возрастания  $r_m/s$  убывает сначала (при малых отношениях  $r_m/s$ ) довольно резко, затем (при больших отношениях) медленнее, стремясь к некоторому наименьшему значению, различному для отдельных отношений  $r_m/s$ . Укажем, что гладкая (полированная) поверхность штампа, небольшая скорость вытяжки, нормальный зазор и надлежащая смазка способствуют уменьшению  $m_1$ .

**§ 47. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛА И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ  
ОПЕРАЦИЙ ПРИ ВЫТЯЖКЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ  
ДЕТАЛЕЙ БЕЗ УТОНЕНИЯ**

**Вытяжка цилиндрических деталей без фланца**

Если требуется изготовить полое изделие диаметром  $d_n$  и высотой  $h_n$  из плоской заготовки диаметром  $D$  (рис. 94), то на основании соотношений (323) и (324) имеем

$$d_1 = m_1 D;$$

$$d_2 \quad m_2 d_1 = m' d_1 = m' (m_1 D);$$

$$d_3 = m_3 d_2 = m' d_2 = m'^2 (m_1 D);$$

. . . . .

$$d_n = m_n d_{n-1} = m^n d_{n-1} = m^{(n-1)} (m_1 D),$$

откуда, прологарифмировав последнее уравнение, получим

$$n = 1 + \frac{\lg d_n - \lg (m_1 D)}{\lg m'}. \quad (329)$$

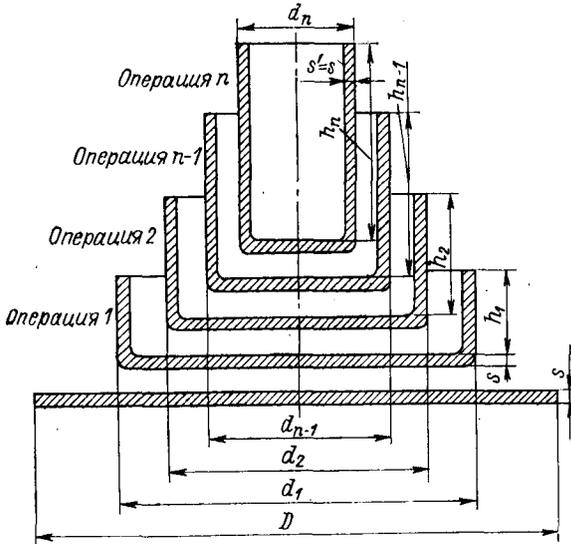


Рис. 94. Схема получения полого изделия диаметром  $d_n$  и высотой  $h_n$  из плоской заготовки диаметром  $D$

Для тонких материалов ( $s < 1,50$  мм)  $d_n$  и  $h_n$  считают либо по наружному диаметру и внутренней высоте, либо по внутреннему диаметру и наружной высоте; для более толстых материалов  $d_n$  определяют по среднему диаметру.

Значения коэффициентов вытяжки в зависимости от пластичности вытягиваемого материала, относительной толщины (харак-

**13. Коэффициенты вытяжки цилиндрических деталей  
без фланца с применением прижима**

$(s/D) 100, \%$	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$m_4$	$m_5$
2,0—1,5	0,46—0,50	0,70—0,72	0,72—0,74	0,74—0,76	0,76—0,78
1,5—1,0	0,50—0,53	0,72—0,74	0,74—0,76	0,76—0,78	0,78—0,80
1,0—0,5	0,53—0,56	0,74—0,76	0,76—0,78	0,78—0,80	0,80—0,82
0,5—0,2	0,56—0,58	0,76—0,78	0,78—0,80	0,80—0,82	0,82—0,84
0,2—0,06	0,58—0,60	0,78—0,80	0,80—0,82	0,82—0,84	0,84—0,86

Примечания: 1. Приведенные коэффициенты относятся к стали (для глубокой вытяжки) марок 08, 10Г, 15Г, мягкой латуни Л63 и алюминия. При вытяжке менее пластичных металлов — сталей 20—25, Ст2, Ст3, декапированной стали и наклепанной латуни коэффициенты вытяжки следует брать на 1,5—2% больше, а для более пластичных металлов (сталей 05ВГ, 08ВГ, 10ВГ; латуни Л68) рекомендуется принимать на 1,5—2% меньше табличных.

2. Меньшие значения коэффициентов вытяжки в таблице соответствуют большим радиусам закруглений на первых операциях [ $r_M = (8+10) s$ ], а большие значения — малым величинам [ $r_M = (4+6) s$ ].

3. При применении межоперационных отжигов коэффициенты вытяжки на последующих операциях можно брать на 2—3% меньше табличных.

теризующей геометрическое подобие заготовок  $(s/D) 100$  или  $(s/d_{n-1}) 100$ , радиусов закруглений матрицы и от способа вытяжки (с прижимом или без прижима) для первой и последующих операций приведены в табл. 13 [79] и 14. Степень вытяжки  $K_B = 1/m$  можно определить из тех же таблиц, разделив 1 на соответствующее табличное значение  $m$ .

**14. Коэффициенты вытяжки цилиндрических деталей  
без фланца (вытяжка без прижима сталей 08—10)**

$(s/D) 100, \%$	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$m_4$	$m_5$	$m_6$
1,5	0,65	0,80	0,84	0,87	0,90	—
2,0	0,60	0,75	0,80	0,84	0,87	0,90
2,5	0,55	0,75	0,80	0,84	0,87	0,90
3,0	0,53	0,75	0,80	0,84	0,87	0,90
Св. 3,0	0,50	0,70	0,75	0,78	0,82	0,85

**Прямой и обратный способы вытяжки**

Последующие операции вытяжки осуществляются двумя различными способами — прямым и обратным. При прямом способе все последующие вытяжки производятся в одном и том же направлении (рис. 95, а), при обратном (реверсивном) способе направление вытяжки меняется (рис. 95, б). В последнем случае предварительно вытянутая полая заготовка устанавливается дном

кверху на матрице и пуансоном вытягивается со стороны дна внутрь. Подобный способ вытяжки — металл, соприкасаясь с двумя вытяжными кромками матрицы (рис. 95, б), получает дополнительное натяжение (полезное торможение), способствует получению гладких, без складок, изделий.

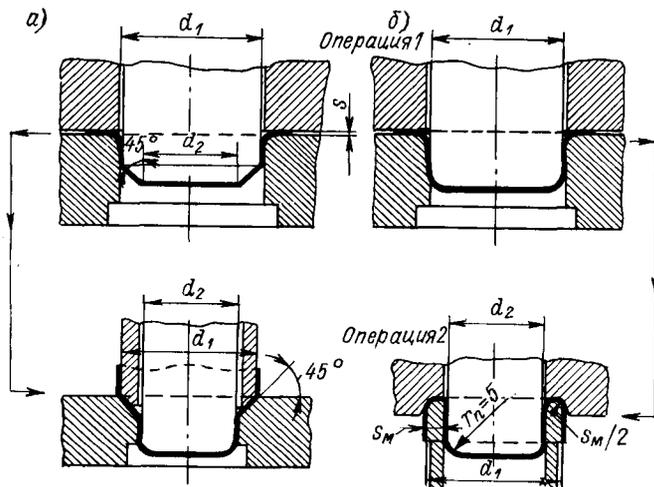


Рис. 95. Схема вытяжки

Как это будет показано ниже, реверсивный способ вытяжки, аналогичный по схеме работы штамповке через вытяжные (тормозные) ребра на матрице, применяется не только при изготовлении цилиндрических деталей, но еще чаще при вытяжке конических, полусферических и параболических деталей. На некоторых заводах он также используется и при изготовлении глубоких квадратных и прямоугольных коробок.

#### Многооперационная вытяжка глубоких цилиндрических деталей без применения промежуточных отжигов

Приводимые выше коэффициенты вытяжки для последующих операций предполагается использовать при условии, если после каждой вытяжной операции или после каждых двух-трех операций применяется промежуточный отжиг, восстанавливающий в некоторой степени пластические свойства штампуемого металла. Однако применение межоперационного отжига, после которого полуфабрикат должен подвергаться травлению, промывке и сушке, представляет собой весьма трудоемкий процесс, требующий больших затрат для производства.

Исследования [68] показали, что при оптимальных коэффициентах вытяжки, наличии матрицы с глубокой реактивной полостью и рациональной геометрией входной ее части можно осу-

существить ряд последовательных вытяжных операций, не прибегая к промежуточным отжигам. Это объясняется тем, что подобная матрица предохраняет краевую часть полуфабриката от разрушающего ее изгибающего момента.

Коэффициенты вытяжки рекомендуется принимать для первой операции  $m_1$  в пределах 0,57—0,60, а для последующих соответственно 0,75; 0,80; 0,81; 0,82 и 0,83. Угол наклона конической части матрицы к вертикальной ее оси  $\alpha$  (рис. 96) должен быть порядка  $12^\circ$ . Высота заходной — реактивной полости составляет  $H_n = 0,4d_1$ , где  $d_1$  — диаметр матрицы на первой операции вытяжки. Радиус закругления матрицы  $r_m = (8 \div 10)s$ , а пуансона  $r_n = 6s$ . Вытяжка успешно проводится и при применении реактивной матрицы с радиусным заходом  $r_m = (8 \div 10)s$ .

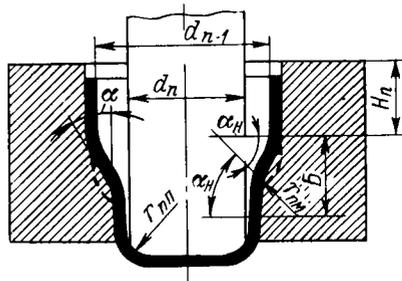


Рис. 96. Вытяжная матрица с реактивной полостью (Б — очаг деформации)

При таком технологическом режиме вытяжки удалось осуществить до 9—11 последовательных вытяжных операций без применения межоперационных отжигов. Детали штамповались из стали 08ВГ-П, алюминия АД1 и латуни Л68 при диаметре заготовки  $D = 100$  мм и толщине  $s = 1,2$  мм. Общий коэффициент вытяжки  $m_{1-8} = m_1 m_2, \dots, m_8$  удалось достигнуть для стали до 0,14; для алюминия до 0,16 и для латуни до 0,29. Штамповка производилась на кривошипном прессе.

#### Вытяжка цилиндрических деталей с фланцем

Вытяжку глубоких цилиндрических деталей с небольшим фланцем ( $d_\phi/d = 1,1 + 1,4$  при  $h/d > 1,0$ ) производят таким же способом, как и вытяжку деталей без фланцев, — путем полной перетяжки фланца в цилиндрическую поверхность изделия. При этом могут быть использованы коэффициенты вытяжки, приведенные в табл. 13. Здесь фланец образуется под прижимом штампа только на последней операции, затем отгибается, калибруется и уже на обрезном штампе обрезается по заданному размеру. Вытяжку глубоких цилиндрических деталей с большим — широким фланцем осуществляют таким образом, что требуемый по размеру фланец образуется уже на первой вытяжной операции из плоской заготовки. При последующих операциях фланец остается неизменным, а деформируется остальная часть заготовки (рис. 97).

Общую степень деформации и коэффициент вытяжки можно определить из зависимости

$$K_B = 1/m = \sqrt{(d_\phi/d)^2 + 4h/d} - 3,44r/d, \quad (330)$$

**15. Коэффициенты вытяжки на последующих операциях  
для цилиндрических деталей с фланцем (и в надрезанной ленте)**

$(s/d_{n-1}) 100$ ,	$m_2$	$m_3$	$m_4$	$m_5$
2,0—1,5	0,73	0,75	0,78	0,80
1,5—1,0	0,75	0,78	0,80	0,82
1,0—0,6	0,76	0,79	0,82	0,84
0,6—0,3	0,78	0,80	0,83	0,85

где  $d_{\phi}/d$  — относительный диаметр фланца;  $h/d$  — относительная глубина вытяжки;  $r/d$  — относительный радиус закругления у dna и у фланца.

Очевидно, что наибольшее влияние на коэффициент вытяжки оказывает первый член подкоренного выражения.

Коэффициент вытяжки при штамповке цилиндрических деталей с широким фланцем для первой операции  $m_1$  при  $d_{\phi}/d$  до 2,2 и при  $(s/D) 100$  в пределах 2,0—0,3 составляет для стали 10 0,51—0,42. Коэффициенты вытяжки для последующих операций  $m_2, m_3, \dots, m_5$  для стали 10 приведены в табл. 15. Для более пластичных металлов следует брать ближайшие меньшие значения коэффициентов вытяжки, а для менее пластичных — ближайшие большие величины.

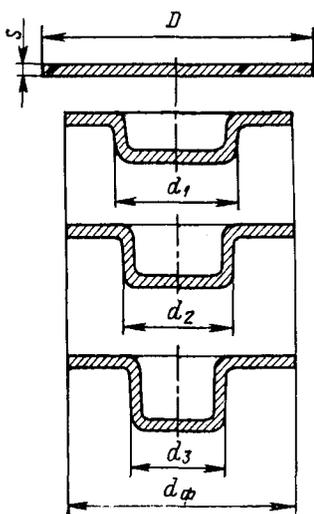


Рис. 97. Схема вытяжки детали с фланцем

**§ 48. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛА  
И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ПЕРЕХОДОВ  
ПРИ МНОГООПЕРАЦИОННОЙ  
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ВЫТЯЖКЕ В ЛЕНТЕ**

Изделия небольших размеров в массовом производстве изготавливаются тремя способами: 1) отдельно по операциям на специальных прессах-автоматах, снабженных питателями для автоматической подачи штучных заготовок; 2) на многопозиционных прессах-автоматах; 3) при помощи многооперационных последовательных вытяжных штампов, установленных на быстроходных кривошипных прессах с автоматической подачей ленты.

Штамповка в ленте может быть осуществлена двумя способами: 1) вытяжкой в целой ленте с последующей вырубкой вытянутой детали на последнем переходе — позиции (рис. 98, а); 2) вытяжкой с предварительными надрезами или вырезами в ленте из отдельных соединяемых перемычками участков заготовки (рис. 98, б).



При последовательной вытяжке в ленте с надрезами или вырезкой промежутков (рис. 98, б) процесс вытяжки происходит почти аналогично процессу вытяжки из штучных заготовок с фланцем. В этом случае коэффициент вытяжки на первой операции (переходе) берут по табл. 13, а для последующих — по табл. 15.

Размеры заготовок  $D$  и ширину ленты  $B$  для последовательной вытяжки в ленте также определяют отдельно для случаев вытяжки в целой ленте и для случаев вытяжки в ленте с надрезами по одной или по двум незамкнутым окружностям или вырезкой промежутков. Приближенно для первого случая  $B \approx 1,2D$ .

#### § 49. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛА И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАЦИЙ ПРИ ВЫТЯЖКЕ КВАДРАТНЫХ И ПРЯМОУГОЛЬНЫХ КОРОБОК

Методика построения технологического процесса штамповки квадратных и прямоугольных коробок должна основываться на следующих принципах. При вытяжке низких и средней высоты коробок больших размеров ( $B > 100$  мм), для изготовления ко-

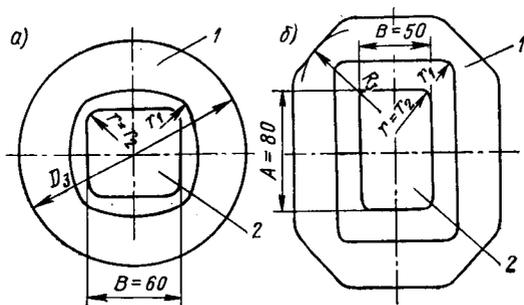


Рис. 99. Построение контуров плоской и полой заготовок при вытяжке невысоких квадратных (а) и прямоугольных (б) коробок:

1 — заготовка; 2 — изделие

торых требуется одна-две вытяжные операции, коэффициенты вытяжки определяют из соотношения радиусов угловых закруглений, учитывая одновременно форму первоначальной (плоской) заготовки и переходных (полых) заготовок.

Для квадратной коробки форма плоской заготовки будет круг, форма полой заготовки — квадрат или квадрат с выпуклыми сторонами (рис. 99, а).

Для прямоугольной коробки форма плоской заготовки будет прямоугольник с закругленными радиусом  $R_3$  углами, форма полой заготовки тоже будет прямоугольная с закругленными радиусом  $r$  углами или овал с незначительной выпуклостью длинных сторон (рис. 99, б).

В обоих случаях коэффициент вытяжки для первой и второй операций определяют из соотношений

$$m_{1\text{ пр}} = r_1/R_3 \text{ и } m_{2\text{ пр}} = r_2/r_1, \quad (331)$$

значения которых можно брать из табл. 17. Как видно из таблицы, здесь коэффициенты вытяжки допускаются меньшие, чем при вытяжке цилиндрических деталей с теми же размерами  $d$  и  $h$ , так как прямые стенки коробки, подвергаясь главным образом изгибу, как бы частично «разгружают» напряжения, возникающие при вытяжке в углах коробки; благодаря этому степень деформации металла в углах коробки достигает больших значений (меньшие коэффициенты вытяжки), чем у цилиндрических деталей.

При штамповке высоких коробок средних размеров ( $H/B > 3-4$ ), когда для их изготовления требуются три, четыре и больше операций, схема построения технологического процесса начинается с установления контура заготовки на предпоследней  $n-1$  операции, форма которой для квадратной коробки будет круг или квадрат с выпуклыми сторонами, а для прямоугольной коробки — овал или прямоугольник с выпуклыми сторонами. Форма плоской и переходных полых заготовок до  $n-1$  операции в первом случае будет круг и цилиндры, а во втором — овал. Для очень высоких прямоугольных коробок при определенном соотношении их размеров форма плоской заготовки может быть и круглой. Коэффициент вытяжки для первой операции можно принять  $m_{1\text{ пр}} = 0,50 \div 0,60$ , а для последующих операций  $m_{n\text{ пр}} = 0,75 \div 0,86$  [29; 32].

Вытяжку высоких квадратных и прямоугольных коробок небольших размеров ( $B < 50$  мм) с геометрическими параметрами  $A/B \leq 2,5$ ,  $H/B \leq 3,0$ ,  $r_y/B \geq 0,1$ ,  $r_d/B > 0,01$ , как показал опыт работы объединения «Красная Заря» [54], можно осуществить вместо трех-четырёх операций, которые применялись раньше на заводе, за две вытяжные операции. Экспериментально установ-

17. Значения коэффициентов вытяжки  $m_{1\text{ пр}}$  и  $m_{n\text{ пр}}$  для прямоугольных изделий

Материал	Значения коэффициентов	
	для первой операции $m_{1\text{ пр}}$	для последующих операций $m_{n\text{ пр}}$
Сталь 08ВГ	0,25—0,40	0,40—0,55
Сталь декапированная		
Сталь 30ХГСА		
Сталь нержавеющая	0,40—0,45	0,45—0,60
Латунь Л63 и Л68	0,20—0,30	0,30—0,45
Медь, томпак		
Алюминий АД и АД1	0,30—0,35	0,40—0,45
Дуралюмин Д6М и Д16М	0,35—0,40	0,45—0,55

лено, что для большой гаммы прямоугольных коробок с указанными выше геометрическими параметрами все вытяжные операции (переходы) могут иметь цилиндрическую форму, кроме последней, при которой получается готовая прямоугольная коробчатая деталь. При этом обеспечивается более равномерная степень деформации по всему периметру вытягиваемой заготовки. Для облегчения процесса вытяжки на последней операции цилиндрический полуфабрикат предпоследней вытяжки должен иметь плоское

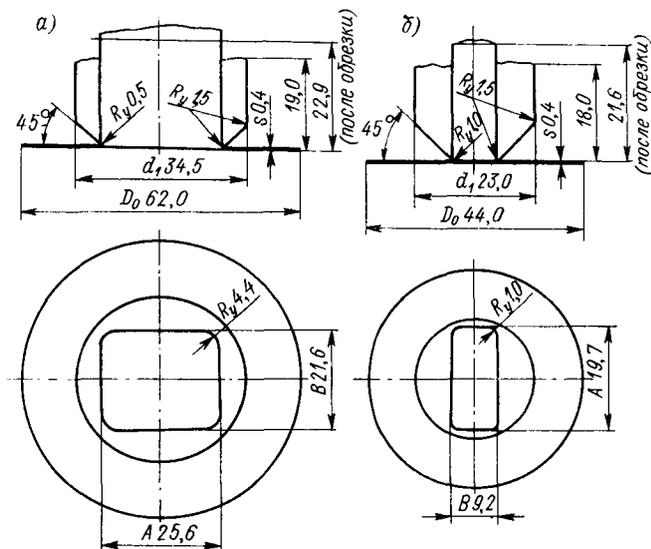


Рис. 100. Построение контуров плоской и полый заготовок и последовательность операций при вытяжке высоких квадратных (а) и прямоугольных (б) коробок небольших размеров с отношением  $A/B \leq 2,5$

дно формы, соответствующей габаритам готовой детали; боковые скосы делаются под углом  $45^\circ$  с радиусами закруглений у дна и стенок, равными 3—5 толщинам материала заготовки.

На рис. 100 изображены формы контура и геометрические размеры заготовок и промежуточных полуфабрикатов для изготовления коробчатых деталей за две вытяжные операции.

Последовательность выполнения технологических расчетов для изготовления коробчатых деталей следующая.

По габаритным размерам коробчатой детали с учетом припуска на обрезку кромок определяют площадь поверхности детали  $F'$ , а затем находят диаметр заготовки по формуле  $D_3 = 1,13 \sqrt{F'}$ . Далее по суммарному периметру детали определяется эквивалентный диаметр детали:

для квадратной коробки

$$d_{\text{экр}} = \frac{4}{\pi} (B - 0,43r); \quad (332)$$

для прямоугольной коробки

$$d_{\text{экв}} = \frac{4}{\pi} (A + B + 0,86r), \quad (333)$$

где  $r = r_y$  — радиус закругления в углах.

Вычисляется общий коэффициент вытяжки  $m_{\text{общ}} = d_{\text{экв}}/D_3$ . Полученную величину  $m_{\text{общ}}$  разбивают на два коэффициента вытяжки  $m_{1\text{пр}} = 0,58 \div 0,56$  и  $m_{2\text{пр}} = 0,79 \div 0,78$ . Исходя из за-

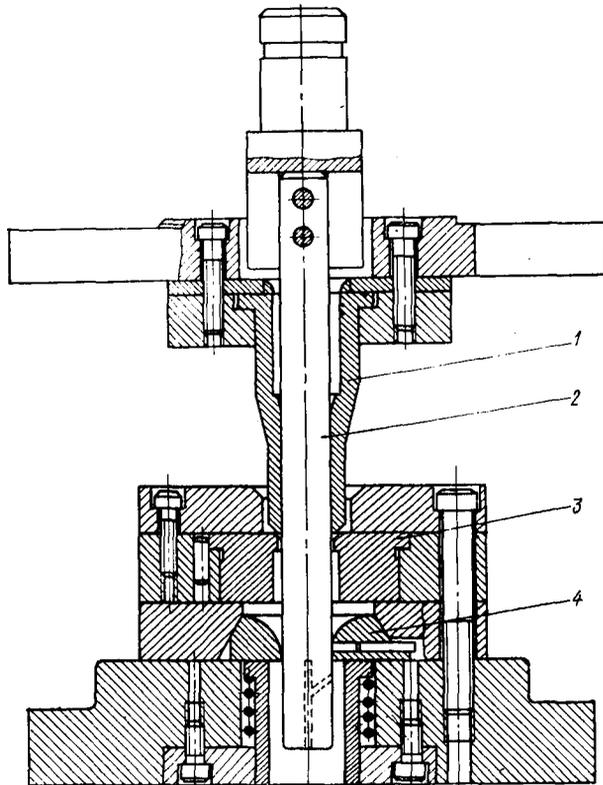


Рис. 101. Схема штампа для последней (второй) операции вытяжки высоких квадратных и прямоугольных коробок небольших размеров:

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

данных значений коэффициентов вытяжки, определяют размер и форму полый цилиндрической заготовки на первой вытяжной операции. Подобные же коробки можно получить и из квадратных заготовок [54].

Процесс вырубki и первой вытяжки производят на кривошипном прессе простого действия при помощи комбинированного штампа. Окончательную (вторую) операцию вытяжки рекомендуется проводить на прессе двойного действия при помощи штампа (рис. 101).

## § 50. ВЫТЯЖКА ПОЛЫХ ДЕТАЛЕЙ (ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ) СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

### Вытяжка деталей ступенчатой формы

Методика построения операций при вытяжке ступенчатых деталей в основном такая же, как и для цилиндрических. Общее число вытяжных операций здесь устанавливают в зависимости от отношения наименьшего диаметра детали к диаметру плоской заготовки и от относительной толщины последней. Приблизительно число вытяжных операций, согласно рекомендации З. М. Кальмановича [29], можно определить по так называемому условному коэффициенту вытяжки  $m_{ст}$  (рис. 102):

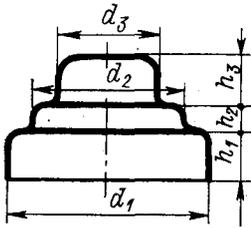


Рис. 102. Полая деталь ступенчатой формы

$$m_{ст} = \frac{\frac{h_1}{h_2} \frac{d_1}{D} + \frac{h_2}{h_3} \frac{d_2}{D} + \dots + \frac{h_{n-1}}{h_n} \frac{d_{n-1}}{D} + \frac{d_n}{D}}{\frac{h_1}{h_2} + \frac{h_2}{h_3} + \dots + \frac{h_{n-1}}{h_n} + 1} \quad (334)$$

Если условный коэффициент вытяжки  $m_{ст}$  равен или больше допустимого коэффициента вытяжки полого цилиндра из той же заготовки  $m_1$ , то ступенчатую деталь можно отштамповать за одну операцию.

В среднем  $m_{ст}$  можно принять равным 0,55. При меньшем значении  $m_{ст}$  вытяжку следует осуществить за несколько операций по указанным выше методам расчета, увеличивая постепенно коэффициенты вытяжки от операции к операции.

### Вытяжка конических, сферических и параболических деталей

Вытяжка деталей подобной конфигурации несколько отличается от вытяжки полых цилиндров и протекает в более трудных условиях, так как в начале вытяжки между матрицей и пуансоном имеется очень большой зазор и большая часть металла фланца не имеет контакта со штампом, вследствие чего получаются складки и выпучивание стенок изделия. Для предохранения вытягиваемых деталей от образования складок прибегают к искусственному увеличению радиальных растягивающих напряжений, которого можно достигнуть увеличением коэффициента трения на контактных поверхностях штампа, созданием тормозных ребер (буртиков или порогов) или применением обратного (реверсивного) способа вытяжки.

В зависимости от сложности формы вытягиваемой детали, ее высоты, разности между верхним и нижним диаметром, а также от относительной толщины материала заготовки применяют те или иные способы вытяжки, кратко рассмотренные ниже.

Для установления способа вытяжки конических деталей их условно разделяют на три группы: низкие, средние и высокие.

Вытяжку низких конических деталей ( $h < 0,3d$ ) из тонкого материала [при  $(s/D)_{100} > 2,0$ ] и с углом наклона  $\alpha$  до  $10^\circ$  производят за одну операцию на штампе с плоским прижимом (рис. 103, а), при  $\alpha \geq 45^\circ$  — на штампе с вытяжными тормозными ребрами (рис. 103, б). В обоих случаях штамповка производится в глухой матрице до упора, с нижним выталкивателем.

Вытяжку конусов средней высоты [ $h = (0,4 \div 0,7) d$ ] с плоским дном при  $(s/D)_{100} > 2,5$  можно осуществить за одну операцию

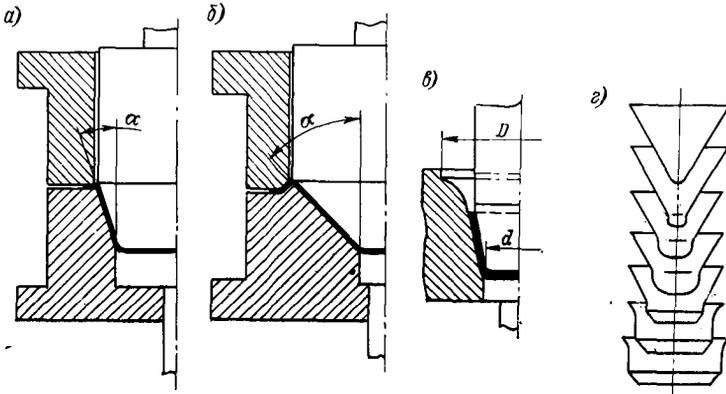


Рис. 103. Способы вытяжки низких и высоких конических изделий

в глухом штампе до упора, который имеет матрицу с коническим заходом, раструбом кверху; вытяжка производится без прижима (рис. 103, в).

При отношениях  $(s/D)_{100} = 1,5 \div 2,0$  вытяжку за одну операцию удается осуществить, лишь применяя сильный прижим. Если  $(s/D)_{100} < 1,5$ , конические детали с плоским дном вытягивают за две операции.

Вытяжка высоких конических деталей  $h > 0,8d$  производится за несколько операций. Число операций устанавливают в зависимости от угла наклона образующей конуса  $\alpha$ . Для углов наклона  $\alpha = 10 \div 30^\circ$  коэффициенты вытяжки  $m_n = d_n/d_{n-1}$  выбирают в зависимости от относительной толщины  $(s/d_{n-1})_{100}$ : при  $(s/d_{n-1})_{100}$  от 0,5 до 1,0,  $m_n = 0,85 \div 0,80$ ; при  $(s/d_{n-1})_{100}$  от 1,5 до 2,0,  $m_n = 0,75 \div 0,70$ .

Здесь  $d_{n-1}$  и  $d_n$  — средние диаметры полой заготовки и изделия.

Конические высокие изделия рациональнее всего получать путем постепенного образования конуса, увеличением его высоты из цилиндрической полой заготовки (рис. 103, г).

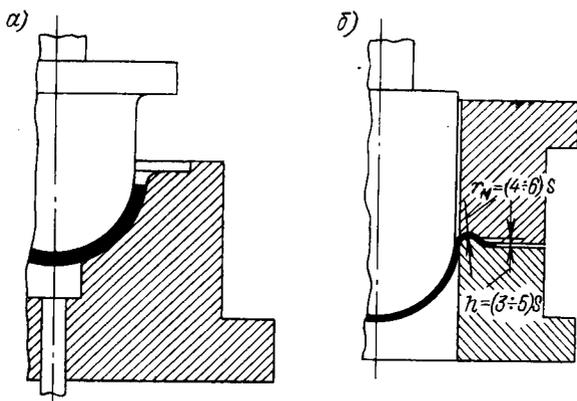


Рис. 104. Способы вытяжки полусферических изделий

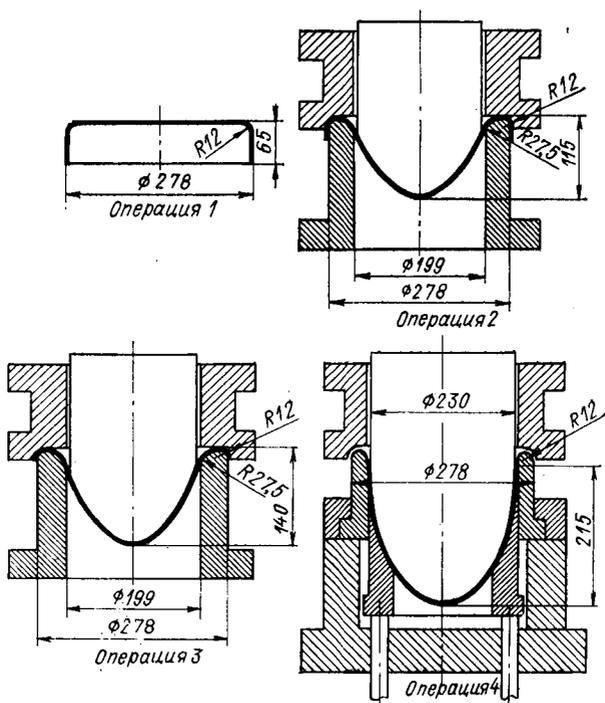


Рис. 105. Последовательность операций и конструкций штампов для вытяжки автомобильной фары

При вытяжке деталей типа полусферы многие из указаний приводимых для вытяжки конических тел, остаются справедливыми и для них; например, при угле наклона образующей детали до  $8^\circ$  ее можно вытянуть за одну операцию. Далее, приняв коэффициенты вытяжки для подобных деталей на первой операции в среднем  $m_{1\text{сф}} = 0,70$ , а на последующих  $m_{2\text{сф}}$  и  $m_{3\text{сф}}$  равными 0,80, число операций и способ вытяжки их устанавливают в зависимости от относительной толщины заготовки ( $s/D$ ) 100.

При ( $s/D$ ) 100  $>$  3,0 вытяжку полусферических деталей можно произвести за одну операцию в глухом штампе, без прижима, формовкой до упора (рис. 104, а). Такая штамповка удачнее всего осуществляется на винтовом фрикционном прессе.

При ( $s/D$ ) 100  $<$  3,0 вытяжку также осуществляют за одну операцию, но с применением сильного прижима и через вытяжные ребра матрицы; схема штампа показана на рис. 104, б.

При штамповке изделий больших размеров со сферическим дном и небольшим цилиндрическим поясом из тонкого материала целесообразно применять вытяжку с выворачиванием — двойным перегибом заготовки.

Вытяжка деталей параболической формы типа автомобильных фар в зависимости от их высоты производится за четыре и больше операции, причем здесь на последующих операциях хорошо себя оправдывает обратный (реверсивный) способ вытяжки. На рис. 105 показана последовательность штамповки автомобильной фары по указанному способу из плоской заготовки  $D = 380$  мм и  $s = 1$  мм. Коэффициенты вытяжки берут для стали 08ВГ следующие:  $m_{1\text{сф}} = 0,65 \div 0,75$ ;  $m_{2\text{сф}} = 0,70 \div 0,80$ ;  $m_{3\text{сф}} = 0,80 \div 0,85$ .

#### **§ 51. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛА И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАЦИЙ ПРИ ВЫТЯЖКЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ С УТОНЕНИЕМ СТЕНОК**

В практике штамповочного производства имеются два способа вытяжки с утонением материала: либо первую операцию вытяжки (так называемую свертку) проводят без утонения, а последующие операции с утонением; либо, начиная уже с первой операции (свертки) ведут вытяжку с утонением материала. Для осуществления вытяжки с утонением стенок задается такой зазор между пуансоном и матрицей, величина которого меньше толщины поступающей на вытяжку заготовки.

Расчет числа операций при вытяжке с утонением производят, исходя из допустимой степени деформации (или допустимого утонения стенок) за одну операцию. Так как при вытяжке с утонением стенок одновременно с уменьшением диаметра происходит резкое уменьшение толщины стенки, то степень деформации определяют не по изменению диаметра, а по общему изменению площади поперечного сечения детали в процессе вытяжки.

Существуют два метода определения степени деформации.

По первому методу (шкале) степень деформации при вытяжке из полой заготовки определяют по формулам:  
для первой операции

$$K_{1p} = \frac{F_0 - F_1}{F_0} 100\%, \quad (335)$$

для последующих  $n$ -й операции

$$K_{np} = \frac{F_{n-1} - F_n}{F_{n-1}} 100\%, \quad (336)$$

или приближенно (учитывая незначительное изменение диаметра), соответственно:

$$K_{1p} = \frac{s_0 - s_1}{s_0} 100\%; \quad (337)$$

$$K_{np} = \frac{s_{n-1} - s_n}{s_{n-1}} 100\%. \quad (338)$$

По второму методу (шкале)

$$K_{1\phi} = \frac{F_0 - F_1}{F_1} 100\% = \frac{h_1 - h_0}{h_0} 100\%; \quad (339)$$

$$K_{n\phi} = \frac{F_{n-1} - F_n}{F_n} 100\% = \frac{h_n - h_{n-1}}{h_{n-1}} 100\% \quad (340)$$

или приближенно, соответственно

$$K_{1\phi} = \frac{s_0 - s_1}{s_1} 100\%; \quad (341)$$

$$K_{n\phi} = \frac{s_{n-1} - s_n}{s_n} 100\%. \quad (342)$$

Коэффициентом вытяжки с утонением считают

$$\text{для первой операции } m_{1yt} = F_1/F_0; \quad (343)$$

$$\text{для любой } n\text{-й операции } m_{nyt} = F_n/F_{n-1}. \quad (344)$$

Приближенно

$$m_{1yt} = s_1/s_0, \text{ а } m_{nyt} = s_n/s_{n-1}. \quad (345)$$

Здесь  $F_0$ ,  $F_{n-1}$  — площадь поперечного сечения полой цилиндрической заготовки до первой или до  $n$ -й операции вытяжки (рис. 106);  $F_1$ ,  $F_n$  — площадь поперечного сечения изделия после



Общая степень деформации выражается равенством

$$K_{\text{общ}} = \frac{F_0 - F_n}{F_0} = 1 - \frac{F_n}{F_0} \text{ или } 1 - K_{\text{общ}} = \frac{F_n}{F_0};$$

тогда будем иметь

$$1 - K_{\text{общ}} = (1 - K_1)(1 - K_2) \dots (1 - K_n) = \frac{F_n}{F_0}. \quad (346)$$

Максимальную степень деформации следует задавать на первой вытяжке и минимальную — на последней.

Для предварительного определения числа вытяжных операций принимают эти степени деформаций одинаковыми

$$K_1 = K_2 = \dots = K_n = K_{\text{ср}},$$

где  $K_{\text{ср}}$  — средняя допустимая степень деформации за одну операцию вытяжки.

Подставив значения  $K_{\text{ср}}$  в уравнение (346), получим

$$1 - K_{\text{общ}} = (1 - K_{\text{ср}})^n = F_n/F_0. \quad (347)$$

откуда, прологарифмировав последнее выражение, будем иметь формулу для определения числа операций, не считая свертки,

$$n = \frac{\lg F_n - \lg F_0}{\lg (1 - K_{\text{ср}})}. \quad (348)$$

Если степень деформации исчисляется по второму методу (шкале), т. е. по  $K_{\Phi} = \frac{F_0 - F_1}{F_1}$ , то, производя вычисления аналогичным же образом, получим

$$K'_{\text{общ}} + 1 = (K' + 1)(K'_2 + 1) \dots (K'_n + 1) = F_0/F_n. \quad (349)$$

откуда определяем число операций вытяжки

$$n = \frac{\lg F_0 - \lg F_n}{\lg (1 + K_{\text{ср}})}. \quad (350)$$

Связь между степенью деформации, исчисляемой по этим двум методам (шкалам), можно найти, если перемножить левые и правые части уравнений (346) и (349):

$$(1 - K_{\text{общ}})(K'_{\text{общ}} + 1) = 1. \quad (351)$$

Тогда

$$K_{\text{общ}} = K'_{\text{общ}}/(1 + K'_{\text{общ}}) \text{ и } K'_{\text{общ}} = K_{\text{общ}}/(1 - K_{\text{общ}}). \quad (352)$$

При окончательном расчете вытяжных операций следует иметь в виду, что степень деформации (вытяжки) от первой операции к последней должна постепенно уменьшаться, т. е.  $K_1 > K_{\text{ср}} > K_n$ . Значения этих величин при определении степени деформации по второму методу по формулам (349)—(352) приведены в табл. 18.

### 18. Значения допустимых деформаций при вытяжке с утонением

Материал	Деформация при свертке без утонения, %			Деформации при свертке с утонением $K_0$ , %
	для первой вытяжки $K_1$	для промежуточных вытяжек $K_{пр} = K_{ср}$	для последней вытяжки $K_n$	
Латунь Л68 и Л70	80—110	60—70	40—50	100—130
Латунь Л63	70—100	50—60	30—40	90—110
Алюминий АД1	70—100	50—60	30—40	70—90
Мягкая сталь для глубокой вытяжки	60—90	40—60	30—35	90—110

Расчет числа операций для вытяжки с утонением по второму способу (первая вытяжка — свертка с утонением)

В этом случае дополнительно учитывается степень деформации на первой вытяжке — свертке из соотношения

$$K_0 = \frac{F_3 - F_0}{F_0} 100 \%, \quad (353)$$

где  $F_3$  — площадь боковой поверхности кружка, определяемая по формуле  $F_3 = \pi D_3 s$ .

Число операций для свертки с утонением

$$n' = \frac{\lg F_3 - \lg F_n}{\lg(1 + K_{ср})}. \quad (354)$$

Так как в процессе вытяжки изделий происходит упрочнение материала и потеря им пластических свойств, то для восстановления этих свойств с целью проведения последующих операций вытяжки применяют термическую обработку.

## Глава 13. КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ВЫТЯЖНЫХ ШТАМПОВ. ТОЧНОСТЬ ПРИ ВЫТЯЖКЕ И ДОПУСКИ НА ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ — РАБОЧИЕ РАЗМЕРЫ ВЫТЯЖНЫХ ШТАМПОВ

### § 52. РАДИУСЫ ЗАКРУГЛЕНИЯ РАБОЧИХ КРОМОК МАТРИЦ И ПУАНСОНОВ

Зависимость радиуса закругления от различных факторов вытяжки

Радиус закругления матрицы  $r_m$  оказывает существенное влияние на ход процесса вытяжки. В основном можно считать, что радиус закругления влияет на следующие параметры процесса:

напряжения в материале и усилие, необходимое для вытяжки; образование складок; утонение материала стенок; коэффициенты вытяжки и число вытяжных операций; стойкость штампа.

Чем больше радиус закругления матрицы  $r_m$ , тем меньше потребное для вытяжки усилие (при  $r_m > 10s$  радиус закругления незначительно влияет на усилие вытяжки), тем больше участок у края вытягиваемого изделия, на котором получаются складки, тем меньше утонение материала и тем меньше операций нужно для получения изделия. Радиус закругления матрицы необходимо выбрать по возможности наибольший при условии, что можно обеспечить вытяжку без образования складок.

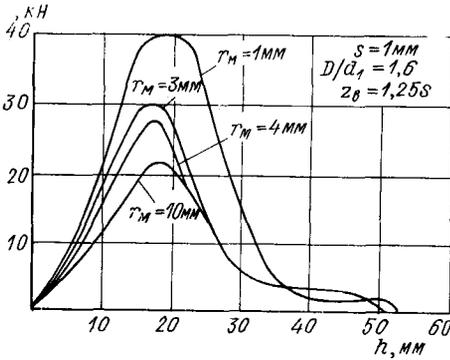


Рис. 107. Кривые усилия вытяжки в зависимости от радиуса закругления матрицы

Радиус закругления пуансона  $r_n$  на усилие вытяжки влияет незначительно, но он оказывает существенное влияние на утонение материала стенок у дна изделия. При малом радиусе снижается эффективная прочность в опасном сечении (у дна) изделия, а следовательно, увеличивается предельное значение коэффициента вытяжки (уменьшается степень вытяжки). На рис. 93 было показано влияние

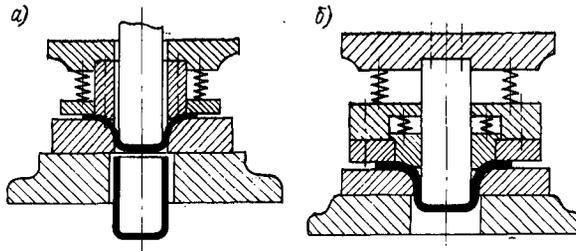


Рис. 108. Схема вытяжки с дополнительным сферическим прижимом: а — на прессе двойного действия; б — на прессе простого действия

радиусов закругления матрицы и пуансона на предельный коэффициент вытяжки. Влияние радиуса закругления матрицы на усилие вытяжки наглядно иллюстрируют кривые, приведенные на рис. 107, которые получены при вытяжке детали из стали 08ВГ толщиной 1 мм при  $m_1 = 0,62$  ( $K_{1в} = D/d_1 = 1,60$ ) и при зазоре  $z_0 = 1,25s = 1,25 \text{ мм}$  на сторону. Смазка графитная.

Для того чтобы можно было работать при большом (выгодном) радиусе закругления матрицы, не опасаясь образования складок, в последнее время применяют штампы с дополнительным радиусным или коническим прижимом, который во время работы прижимает заготовку также и по закругленной или конической части матрицы (рис. 108). Подобный способ вытяжки с дополнительным сферическим или коническим прижимом (применяемый для тонких металлов  $s < 2$  мм) позволяет увеличить степень деформации (уменьшение коэффициента вытяжки  $m_1$  до 0,40) без образования складок. Этот способ становится особенно выгодным при вытяжке изделий сферической формы, когда необходимо обеспечить прижим фланца заготовки до конца процесса.

При оптимальных радиусах закруглений рабочих кромок матрицы и пуансона получается наиболее высокая стойкость штампа.

#### Определение величины радиусов закругления рабочих кромок матрицы и пуансона

Радиусы закругления  $r_m$  и  $r_n$  зависят от толщины вытягиваемого материала  $s$ , степени деформации  $\epsilon$ , скорости вытяжки  $v$ , порядкового номера вытяжки  $n$ , высоты изделия  $h$  и других параметров.

Аналитически радиус закругления матрицы можно определить для первой операции при  $s > 0,5 \div 5,0$  мм из зависимости

$$r_{1m} = \frac{0,95s}{2 \left( \frac{\lg m_1}{\lg 0,85e} + 0,9 \frac{\sigma_B}{\sigma_{s \text{ ср}}} - 0,05 \right)} - s, \quad (355)$$

а для последующих операций при  $s > 1,5$  мм по формуле

$$r_{nm} = \frac{ns}{2 \left( \frac{\lg m_n}{\lg e} + \frac{\sigma_B}{\sigma_{s \text{ ср}}} - 0,03 \right)} - s, \quad (356)$$

где коэффициент  $n$  при  $s$  свыше 1,5 до 5 мм составляет 1,0—0,68.

Однако установление радиуса закругления матрицы по указанным зависимостям весьма сложно, поэтому радиус закругления определяют на основании опытных данных, учитывающих наиболее полно все перечисленные выше факторы. Значения  $r_m$  приводятся в табл. 19.

19. Значения  $r_m$  в зависимости от рода материала и его толщины  $s$

Материал	Значения $r_m$ при толщине материала $s$ мм		
	до 3	от 3 до 6	от 6 до 20
Сталь	$(10 \div 6) s$	$(6 \div 4) s$	$(4 \div 2) s$
Медь, латунь и алюминий	$(8 \div 5) s$	$(5 \div 3) s$	$(3 \div 1,5) s$

Для первой вытяжной операции и более тонкого материала [при  $(s/D) 100 = 1,0 \div 0,3\%$ ] следует брать табличные значения ближе к верхнему пределу, а для последующих вытяжных операций и более толстого материала [при  $(s/D) 100 = 2,0 \div 1,0\%$  и  $(s/d_{n-1}) 100 = 1,5 \div 1,0\%$ ] — ближе к нижнему пределу. Обычно для последующих операций  $r_{nм} = (0,7 \div 0,8) r_{n-1м}$ .

При вытяжке деталей с широким фланцем вследствие того, что фланец в процессе работы не выходит из-под прижима и нет опасения образования гофр в конце вытяжки, радиусы закруглений матрицы  $r_{м.ф}$  могут быть взяты в 1,5—2,0 раза больше по сравнению с приведенными выше значениями  $r_m$ ; для материалов толщиной  $s$  до 3 мм они составляют  $(20 \div 10) s$ .

Радиусы закругления матрицы при вытяжке со сферическим прижимом  $r_{м.сф}$  могут быть в 2—3 раза больше  $r_m$  при обычной вытяжке, составляя для материалов толщиной  $s$  до 3 мм  $(30 \div 18) s$ .

Радиус закругления пуансона  $r_{п}$  для первой и последующих операций вытяжки, кроме последней (при  $\Delta$  и  $\Delta' > 0,5\%$ ), берут равным радиусу закругления матрицы  $r_m$  и даже меньше его (на 10—20%), т. е.  $r_{п} = (1,0 \div 0,8) r_m$ . Для последней вытяжной операции (при  $\Delta' > 0,5\%$ ) радиус закругления пуансона берут по внутреннему радиусу закругления вытягиваемого изделия, но не менее  $(3 \div 2) s$  для материалов толщиной до 6 мм и не менее  $(2 \div 1,5) s$  для материалов толщиной 6—20 мм.

При определении радиусов закругления матрицы и пуансона для вытяжки изделий прямоугольной формы нужно исходить в основном из величины радиусов закруглений углов стенок изделия.

### § 53. ЗАЗОРЫ МЕЖДУ МАТРИЦЕЙ И ПУАНСОНОМ

#### Зависимость зазора от различных факторов вытяжки

Величина зазора так же, как и радиус закругления, влияет на основные элементы вытяжки: на усилие и затрачиваемую работу при вытяжке, на качество вытягиваемых изделий, на стойкость штампов.

При малых и особенно при отрицательных зазорах (меньше толщины материала) процесс деформации усложняется добавочным утонением материала в самом зазоре, которое вызывает резкое увеличение силы трения, а следовательно, и увеличение общего усилия вытяжки, а также износ штампа. При больших зазорах возникает опасность появления складок, которые ухудшают качество изделий и увеличивают износ штампа.

Согласно экспериментальным данным некоторых исследователей, для получения гладкой поверхности вытянутого изделия зазор должен превышать толщину материала на 30—38%.

Кривые на рис. 109, а наглядно показывают влияние величины положительных и отрицательных (больше или меньше толщины материала) зазоров на усилие вытяжки.

При нормальных зазорах стойкость штампового инструмента будет наиболее высокая.

На рис. 109, б видно, что диаметр матрицы  $d_m$  определяется равенством  $d_m = d_n + 2z_b$ , откуда

$$z_b = (d_m - d_n)/2; \quad (357)$$

с другой стороны

$$z_b = s + \delta_{\text{матер}} + cs = s_{\text{max}} + s, \quad (358)$$

где  $cs$  — прибавка к номинальной толщине материала;  $s_{\text{max}}$  — максимальная толщина материала (с учетом допуска на прокат  $\delta_{\text{матер}}$ ).

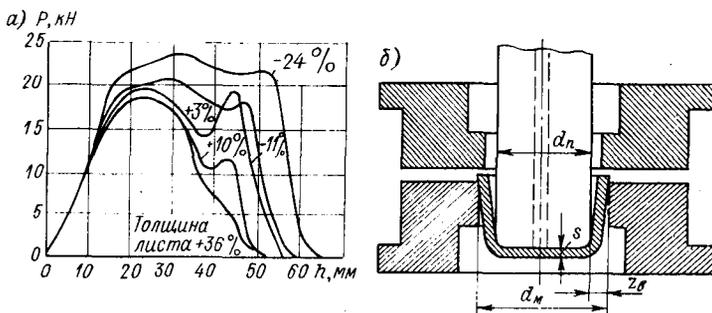


Рис. 109. Кривые усилия вытяжки в зависимости от величины зазора (а) и схема для определения размеров вытяжного штампа (б)

#### Величина зазора между матрицей и пуансоном при вытяжке

Для определения величины зазора пользуются опытными данными различных заводов и исследователей.

На основании экспериментальных данных, в среднем величины зазоров составляют при вытяжке из мягкой стали для первой операции  $(1,35 \div 1,50) s$ , для последующих операций  $(1,20 \div 1,30) s$ ; при вытяжке из алюминия и латуни соответственно  $(1,30 \div 1,40) s$  для первой операции и  $(1,20 \div 1,25) s$  для последующих операций. Калибровочная (последняя) операция осуществляется при зазорах  $(1,0 \div 1,1) s$ . На некоторых заводах при изготовлении посуды из цветных металлов с целью получения гладкой поверхности изделия принято, наоборот, на последующих операциях увеличивать зазор, принимая его для первой операции  $(1,20 \div 1,30) s$ , а на последующих —  $(1,25 \div 1,35) s$ .

Для вытяжки с утонением материала величина зазора  $z_{b, \text{ут}}$  будет отрицательной и берется, в зависимости от толщины и рода материала и от других условий вытяжки, в пределах  $85\text{—}65\%$  от толщины материала, т. е.  $z_{b, \text{ут}} = (0,85 \div 0,65) s$ , причем для цветных металлов можно брать меньшие, а для стали — большие зазоры.

У вытяжных штампов для изготовления изделий с угловыми очертаниями (нецилиндрических) зазор должен быть принят неодинаковым по контуру вытягиваемого изделия: по углам он должен быть на  $(0,05 \div 0,07)$   $s$  больше зазора, имеющегося на прямых участках, так как при вытяжке в углах получается утолщение материала.

Для всех операций вытяжки, кроме последней, направление зазора может быть любым: его можно задавать как за счет матрицы, так и за счет пуансона. Для последней операции, когда требуется получить окончательные размеры изделия, зазор задается за счет пуансона, если необходимо обеспечить получение наружного размера, т. е.  $d_m = d_{\text{изд. нар}}$ ;  $d_{\text{п}} = d_m - 2z_{\text{в}}$ , и за счет матрицы — при необходимости получить внутренний размер, т. е.  $d_{\text{п}} = d_{\text{изд. вн}}$ ;  $d_m = d_{\text{п}} + 2z_{\text{в}}$ .

#### **§ 54. ТОЧНОСТЬ ПРИ ВЫТЯЖКЕ И ДОПУСКИ НА ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ — РАБОЧИЕ РАЗМЕРЫ МАТРИЦ И ПУАНСОНОВ ВЫТЯЖНЫХ ШТАМПОВ**

##### **Точность при вытяжке**

На точность штампованных деталей, получаемых вытяжкой и формовкой, влияют следующие основные факторы: количество и последовательность операций; конструкция штампа и точность его изготовления, стойкость рабочих частей штампа; конструкции пресса и его состояние; условия работы и погрешности — неправильная установка штампа, неаккуратная укладка заготовки при ее фиксации, неаккуратное удаление уже отштампованной детали и др.

Род материала и его состояние влияют на степень наклепа и пружинение вытянутой детали, которые достигают наибольшей величины после выхода из штампа у верхнего ее края. Поэтому бо́льшая точность получается при штамповке из алюминия и меди, менее склонных к увеличению пружинения под влиянием наклепа, чем, например, деталей из стали и латуни.

Чем больше относительная толщина  $(s/D)$  100 и меньше относительная высота  $h/d$ , тем точнее получается деталь. При большем значении коэффициента вытяжки  $m$  обеспечивается и более высокая точность. Работа на точно изготовленном вытяжном штампе с правильно подобранными радиусами закруглений и зазорами, правильная установка штампа, аккуратная укладка заготовок при фиксации и аккуратное удаление деталей после штамповки — все это способствует получению более высокой точности деталей при вытяжке.

##### **Допуски на исполнительные — рабочие размеры матриц и пуансонов вытяжных штампов**

При рассмотрении вопроса о расположении допусков на рабочие размеры матриц и пуансонов вытяжных штампов обычно исходят из условий взаимозаменяемости изделий. На рис. 110 приве-

дена схема расположения допусков на пуансон и на матрицу для двух возможных случаев сопряжения деталей — по наружной и по внутренней поверхностям.

Размеры пуансона и матрицы определяются по следующим формулам:

а) при сопряжении полого изделия по наружному диаметру (рис. 110, а) с учетом припуска на износ матрицы  $\Delta' = 0,8\Delta$

$$d_m = (d_n - \Delta')^{+\delta_m} = (d_n - 0,8\Delta)^{+\delta_m}; \quad (359)$$

$$d_n = (d_n - \Delta' - 2z_b)_{-\delta_n} = (d_n - 0,8\Delta - 2z_b)_{-\delta_n}; \quad (360)$$

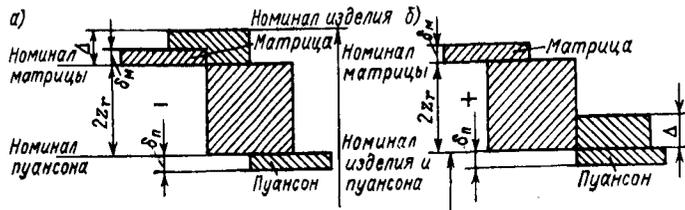


Рис. 110. Схемы расположения допусков на исполнительные — рабочие размеры пуансона и матрицы для случаев сопряжения полого изделия

б) при сопряжении полого изделия по внутреннему диаметру (рис. 110, б) с учетом припуска на износ пуансона  $\Delta' = 0,2\Delta$

$$d_n = (d_n + \Delta')_{-\delta_n} = (d_n + 0,2\Delta)_{-\delta_n}; \quad (361)$$

$$d_m = (d_n + \Delta' + 2z_b)^{+\delta_m} = (d_n + 0,2\Delta + 2z_b)^{+\delta_m}. \quad (362)$$

(При  $\Delta < 0,1$  мм  $\Delta'$  можно не учитывать, как показано на рис. 110).

В формулах (359) — (362)  $d_n$  и  $d_m$  — размеры пуансона и матрицы;  $d_n$  — номинал изделия (наружного диаметра для случая а, внутреннего диаметра для случая б);  $\Delta$  — поле допуска на изготовление изделия;  $\Delta'$  — припуск на износ матрицы или пуансона;  $z_b$  — односторонний зазор между матрицей и пуансоном;  $\delta_n$  и  $\delta_m$  — допуск на изготовление пуансона и матрицы, 2—3-й классы точности.

Допускаемые отклонения по внутреннему диаметру  $d_{вн}$  полых цилиндрических деталей без фланца при толщине материала  $s$  от 0,5 до 2,0 мм составляют: для  $d_{вн}$  до 50 мм  $\pm 0,12 \div \pm 0,40$  мм, при  $d_{вн}$  от 50 до 100 мм  $\pm 0,20 \div \pm 0,50$  мм, при  $d_{вн}$  от 100 до 300 мм  $\pm 0,30 \div \pm 0,70$  мм; при  $s$  от 2,0 до 6,0 мм отклонения соответственно составляют  $\pm 0,40 \div \pm 0,80$  мм;  $\pm 0,50 \div \pm 1,0$  мм;  $\pm 0,70 \div \pm 1,20$  мм [26, 29].

*Пример.* Определить диаметр заготовки, последовательные диаметры переходных полых цилиндров, потребное усилие, давление прижима, затрачиваемую работу, а также радиусы закругления и зазоры между матрицей и пуансоном вытяжного штампа для изготовления полой цилиндрической детали из мягкой стали 10кпГ, имеющей следующие размеры:  $d_n = d_n = 101$  мм;  $s = 1$  мм;  $H = H' + s = h_n + h' + s = 150 + 3 + 1 = 154$  мм.

По формуле (303) находим, что диаметр заготовки

$$D = \sqrt{d_{\text{ср}}^2 + 4d_{\text{ср}}(h + h')} = \sqrt{100^2 + 4 \cdot 100(150 + 3)} = 267,1 \text{ мм.}$$

Приняв для данного материала по табл. 13 [при  $(s/D) 100 = (1/267,1) 100 = 0,37$ ] коэффициенты вытяжки  $m_1 = 0,58$ ;  $m_2 = 0,80$  и  $m_3 = 0,81$ , находим диаметры полых цилиндров  $d_1 = 0,58 \cdot 267,1 = 155$  мм;  $d_2 = 0,80 \cdot 155 = 125$  мм и  $d_3 = 0,81 \cdot 125 = 101$  мм.

Для стали 10 кпГ  $\sigma_B = 350$  МПа.

Усилие вытяжки на первой и последней операциях определяем по упрощенным формулам (241), (243), (271) и (273).

$$P_{01} = 1,25\lambda\sigma_B(D - d_1) = 1,25 \cdot 3,14 \cdot 1 \cdot 350(267 - 155) = 154 \text{ кН;}$$

$$P_1 = kP_{01} = 1,2 \cdot 154 = 185 \text{ кН;}$$

$$P_{03} = 1,3\lambda\sigma_B(d_2 - d_3) = 1,3 \cdot 3,14 \cdot 1 \cdot 350(125 - 101) = 34,4 \text{ кН;}$$

$$P_3 = kP_{03} = 1,2 \cdot 34,4 = 41,3 \text{ кН.}$$

Давление прижима для первой операции определяем по формуле (279), предварительно выбрав по зависимостям (277) и табл. 11 давление для стали  $s = 1$  мм)  $q = 2,0$  МПа;

$$Q = Fq = \frac{\pi}{4} [D^2 - (d_1 + 2r_{1\text{м}})^2]q = 0,785 [267,1^2 - (155 + 2 \cdot 10)^2] \cdot 2,0 = 64 \text{ кН.}$$

Для определения величины затрачиваемой работы необходимо сначала подсчитать высоту полуфабрикатов по операциям, для чего используем зависимость

$$h_1 = \frac{D^2 - d_1^2}{4d_1} = \frac{267,1^2 - 155^2}{4 \cdot 155} = 76 \text{ мм.}$$

Соответственно  $h_2 = 111$  мм и  $h_3 = 153$  мм.

Затрачиваемая работа при вытяжке определится по формулам (299) и (300):

$$A_{\text{н. в1}} = \frac{\lambda_1 P_1 h_1}{1000} = \frac{0,77 \cdot 154 \cdot 76}{1000} = 9 \text{ кДж.}$$

$$A_{\text{н. в3}} = \frac{\lambda_3 P_3 h_3}{1000} = \frac{0,80 \cdot 34,4 \cdot 153}{1000} = 4,15 \text{ кДж.}$$

Коэффициенты  $\lambda_1$ ,  $\lambda_3$  устанавливаются по значениям  $m_1$  и  $m_3$  (с. 182).

Радиусы закруглений рабочих кромок матриц по операциям находятся по формуле  $r_{\text{м}} = (10 \div 6) s$ ; тогда  $r_{1\text{м}} = 10s = 10$  мм;  $r_{2\text{м}} = 8s = 8$  мм;  $r_{3\text{м}} = 6s = 6$  мм.

Величины односторонних зазоров между матрицей и пуансоном по операциям можно определить по упрощенным выражениям:

$$z_{1\text{в}} = (1,35 \div 1,50) s = 1,40s = 1,4 \text{ мм;}$$

$$z_{2\text{в}} = 1,30s = 1,3 \text{ мм; } z_{3\text{в}} = 1,20s = 1,2 \text{ мм.}$$

Допуски на исполнительные — рабочие размеры матриц и пуансонов устанавливаются по формулам (359) — (362).

## Глава 14. ОСОБЫЕ СПОСОБЫ ВЫТЯЖКИ

### § 55. ВЫТЯЖКА ЖЕСТКИМ ИЛИ ЭЛАСТИЧНЫМ ПУАНСОНОМ В ЭЛАСТИЧНОЙ ИЛИ ЖЕСТКОЙ МАТРИЦЕ

Для лучшего протекания процесса вытяжки и создания благоприятной схемы напряженно-деформированного состояния необходимо, чтобы фланец обладал значительно большей пластичностью, чем участки заготовки, образующие вертикальные стенки изделия, особенно у донной его части. При этом опасное сечение у донного закругления оказалось бы равнопрочно остальным участкам заготовки и не ограничивало бы технологических возможностей процесса вытяжки.

#### Вытяжка жестким пуансоном в эластичной (резиновой или полиуретановой) или жидкостной матрице

Вытяжка жестким пуансоном в резиновой или полиуретановой матрице применяется в серийном и мелкосерийном производстве при штамповке полых цилиндрических и конических, а также прямоугольных деталей из тонколистового материала ( $s < 3$  мм). Она используется как на первой, так и на последующих операциях вытяжки. Штамповка обычно производится на гидравлических прессах.

Вытяжка резиной неглубоких деталей производится с помощью накладных планок при небольшом давлении резины (6,0 ÷ 8,5 МПа). Вытяжку глубоких деталей с помощью резины можно осуществить при условии, если резина, заключенная в контейнере, находится в процессе штамповки под регулируемым высоким давлением — от 0 до 60 МПа от гидравлической подушки пресса.

На рис. 111, а показана схема вытяжки резиной на первой операции, а на рис. 111, б — на последующих операциях.

Процесс вытяжки этим способом происходит следующим образом (рис. 111, а). При опускании траверсы гидравлического пресса плоская заготовка, лежащая на прижимной плите 3, приходит в соприкосновение с резиной (или жидкостной матрицей) 2, заключенной в замкнутом корпусе — контейнере 1, и прижимается к ней противодавлением гидравлической подушки пресса, которое передается при помощи стержней 4, направляемых нижней плитой 5. По мере дальнейшего опускания траверсы пресса резина начинает деформировать заготовку и, постепенно обтягивая ее вокруг пуансона 6, придает ей требуемую форму и размеры изделия. Для последующей вытяжки резиной полая заготовка устанавливается на внутренний прижим 1 (рис. 111, б), который утоплен в основной прижим 2; в остальном процесс вытяжки ничем не отличается от первой операции.

Давление резины по мере увеличения глубины вытяжки регулируется специальным автоматическим устройством, имеющимся на гидравлической подушке. В начале деформирования давление

резины имеет наименьшее значение, а к концу вытяжки оно достигает наибольшей величины. При вытяжке деталей из алюминиевых сплавов давление со стороны прижима регулируется в диапазоне от 0 до 40—50 МПа, а при штамповке из латуни и стали — от 0 до 50—60 МПа.

При вытяжке резиной (или жидкостной матрицей), в связи с ее одновременным перемещением с заготовкой вредное трение

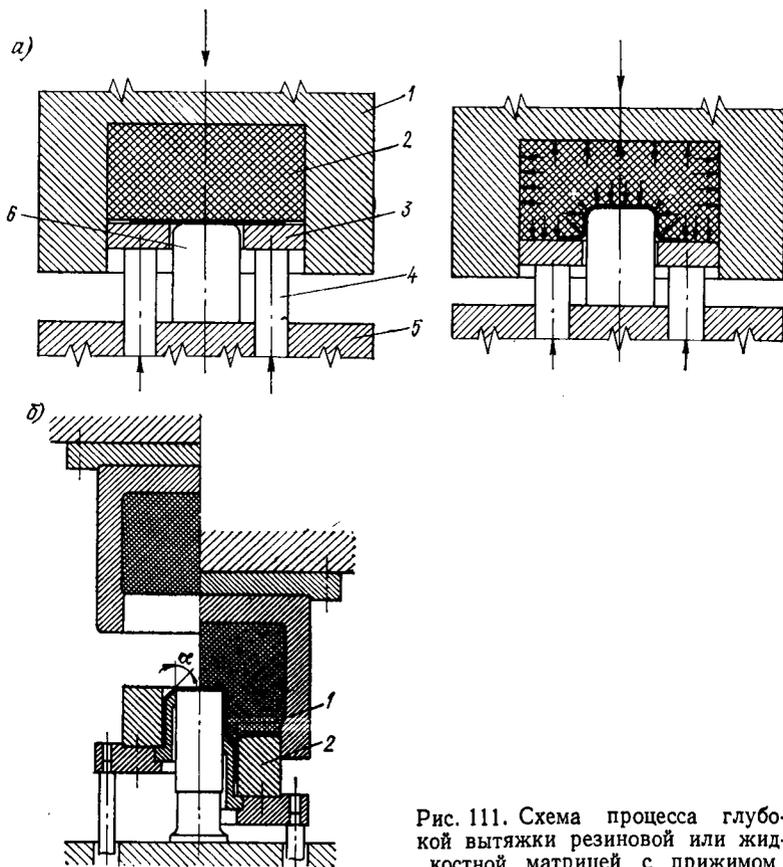


Рис. 111. Схема процесса глубокой вытяжки резиновой или жидкостной матрицей с прижимом

между заготовкой и резиной не появляется; гидростатическое давление со стороны резиновой матрицы по всей поверхности заготовки распределяется равномерно и вследствие этого возникает полезная сила трения между пуансоном и заготовкой. Благодаря этим особенностям удается при вытяжке резиной за одну операцию несколько увеличить предельную степень деформации по сравнению с обычным способом вытяжки.

На основании опытных данных Л. А. Шофмана [32; 109], предельные значения коэффициентов вытяжки на первой операции

$m_{\text{рез}}$  и предельные отношения глубины  $h_1$  к диаметру полого цилиндра  $d_1$  при давлении резины  $q_{\text{рез}} = 40$  МПа и при радиусе закругления пуансона  $r_{\text{п}} = 4s$  в зависимости от рода материала принимают следующие значения ( $r_{\text{фл}}$  — радиус закругления у фланца):

Материал	$m_{\text{рез}}$	$h_1$	$r_{\text{фл}}$
Алюминиевые сплавы:			
АД, АД1, АМц . . . . .	0,45	$\approx d_1$	1,5s
АМг, Д16, АК8 . . . . .	0,50	$0,75d_1$	(2÷3) s
Сталь 08кпВГ . . . . .	0,50	$0,75d_1$	4s
Нержавеющая сталь . . . . .	0,65	$0,33d_1$	8s

При меньших значениях радиусов закругления пуансона коэффициент вытяжки соответственно должен быть больше. Наименьшее значение радиуса закругления пуансона для указанных материалов должно быть не ниже толщины штампуемого материала. На второй операции коэффициент вытяжки  $m_{\text{рез}}$  следует брать не ниже 0,70.

Вытяжной пуансон в зависимости от рода штампуемого материала, а следовательно, и от давления резины, действующего на него, может быть изготовлен из стали, дерева, пластмассы или отлит из чугуна, алюминиевых сплавов и других материалов.

Резина для вытяжки, а также для формовки должна иметь механические свойства:

Сопротивление разрыву, МПа . . . . .	5,0—5,5
Относительное удлинение, % . . . . .	600—700
Остаточное удлинение, % . . . . .	25—30
Сжатие под нагрузкой 10 МПа, % . . . . .	50—70
Твердость по Шору . . . . .	70

В качестве матрицы вместо резины можно использовать и вязкую жидкость (масло, глицерин и др.).

Вытяжку и формовку полиуретаном при небольшой глубине вытяжки можно осуществить без применения каких-либо дополнительных устройств, что значительно упрощает всю штамповочную оснастку (см. § 67). Полиуретан применяется марок СКУ-7Л и СКУ-ПФЛ.

#### Вытяжка эластичным (резиновым или полиуретановым) и жидкостным пуансоном в жесткой матрице

Сущность этого процесса состоит в том, что деформирование заготовки здесь производится давлением резины, полиуретана или жидкости. Штамповка этим способом может производиться как из плоской, так и из поллой заготовки. Наибольший интерес для практики представляет вытяжка давлением жидкости, известная под названием гидравлической вытяжки. Благодаря равномерному давлению резины, полиуретана или жидкости на заготовку (внутреннее гидростатическое давление), этим способом удается отштамповать за одну операцию полые детали конической, полусферической, параболической, а также прямоугольной формы, что при

обычном способе вытяжки трудно осуществить. Коэффициент вытяжки на первой операции здесь может быть принят  $m_{1\text{рез}} = 0,50$ , а на второй —  $m_{2\text{рез}} = 0,70$ . При этом способе вытяжки здесь отпадает необходимость в тщательной и дорогостоящей пригонке пуансона к матрице штампа, что делает этот способ экономически выгодным при изготовлении даже небольших партий изделий.

Основным недостатком этого способа вытяжки является то, что в куполообразной части или у дна детали получается значительное утонение материала, достигающее в отдельных случаях до 30—40% от первоначальной толщины заготовки.

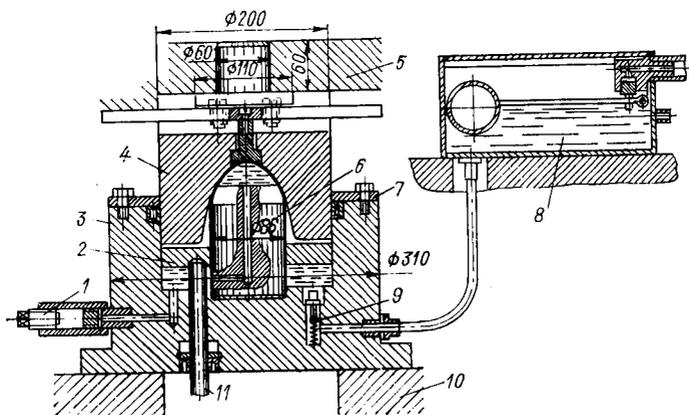


Рис. 112. Комбинированный механогидравлический штамп для вытяжки глубоких сферических деталей

Рабочее давление жидкости при вытяжке этим способом создается или насосом высокого давления 5—25 МПа, или механическим, или гидравлическим прессом. В процессе работы давление жидкости изменяется от нуля до требуемого максимального давления, достигая 25 МПа.

На рис. 112 представлена конструкция комбинированного механогидравлического штампа для вытяжки за одну операцию сферических деталей типа автомобильных фар, действующего от механического прессы (по данным Л. Д. Гольмана [32, 43]). Комбинированным он называется потому, что в нем совмещены принципы вытяжки механическим штампом и давлением жидкости.

В начале рабочего хода ползуна 5 металлический направляющий пуансон 6 производит неглубокую вытяжку конусообразной полый заготовки (типа тарелки); затем прижимная плита 2, находящаяся в корпусе 3, опускаясь, давит на жидкость и создает высокое давление, вследствие чего она вытесняется через канал в пуансоне 6 вверх и производит окончательную вытяжку детали по сферической форме матрицы 4. При обратном ходе ползуна прессы под действием пневматической подушки, находящейся под

столом пресса, через выталкиватели 11 прижимная плита 2 уходит вверх, и жидкость всасывается через штуцер и обратный клапан 9 в полость под складкодержатель. Вода в нижнюю полость штампа поступает из бачка постоянного уровня 8 (гидроаккумуляторного устройства) через впускной обратный клапан 9, помещенный в корпус 3 штампа.

Штамп, установленный на столе пресса 10, снабжен предохранительным клапаном 1 и уплотнительными манжетами 7.

На рис. 113 приведена схема гидравлического устройства для штамповки крупногабаритных деталей из листа нагнетанием жид-

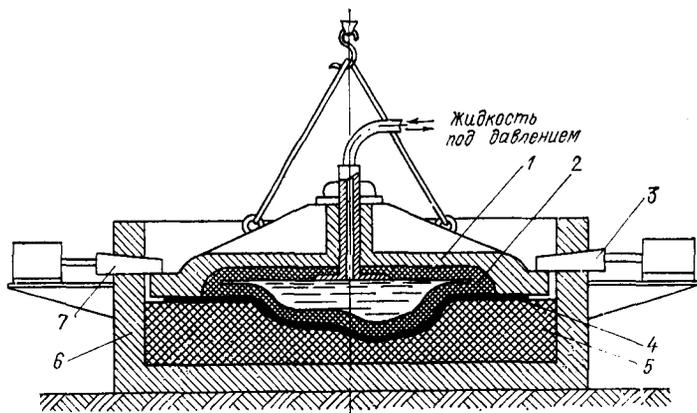


Рис. 113. Схема установки для вытяжки крупногабаритных деталей из листа эластично-жидкостным пуансоном

кости непосредственно от насоса (по материалам Е. И. Исаченкова [43]). Установка состоит из сменной матрицы 5, внутренний профиль которой соответствует наружному контуру вытягиваемой детали 4. Матрица 5 заключена в жестком корпусе 6. Пуансон представляет собой толстый резиновый чехол 2, прикрепленный к крышке 1 штампа. Крышка 1 во время работы штампа жестко соединена с корпусом 6 матрицы 5 при помощи клиновых гидрозатворов 3 и 7. Во время рабочего цикла в резиновый чехол от насоса под требуемым давлением нагнетается жидкость, которая, действуя через резину на заготовку, придает ей окончательную форму детали. По окончании работы клиновые гидрозатворы отодвигаются и крышка универсальным тельфером поднимается, после чего отштампованная деталь удаляется из штампа. Матрица 5 может быть отлита из чугуна или из легкоплавких свинцово-цинковых сплавов, а также может быть изготовлена из древесно-клеевой или цементной массы.

При глубокой вытяжке небольших деталей хорошо оправдывает себя гидростатическая вытяжка. Здесь процесс вытяжки улучшается за счет воздействия высокого гидростатического давления

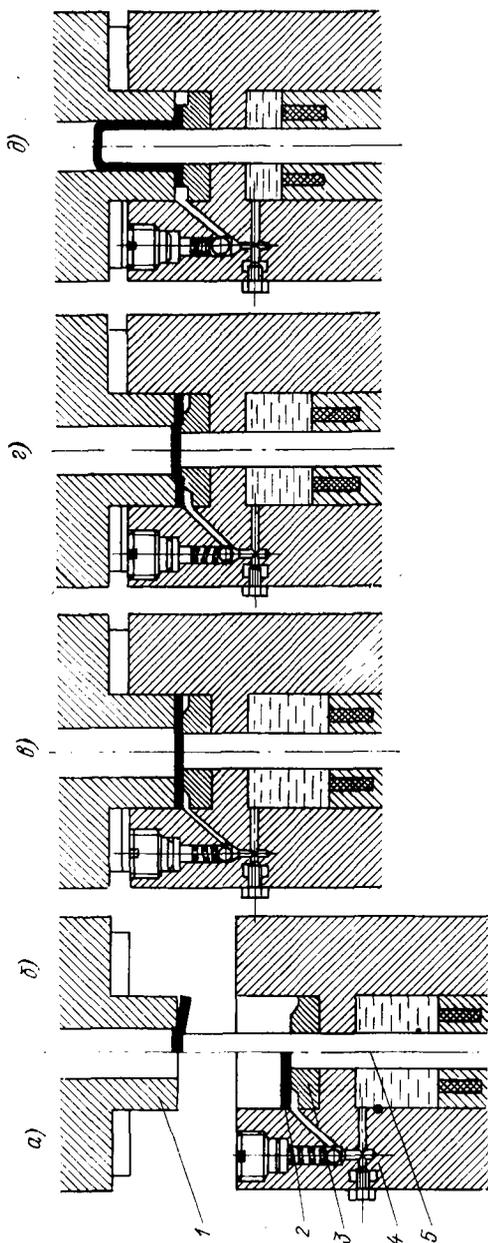


Рис. 114. Этапы формообразования листовой заготовки в полое изделие на прессе для гидростатической вытяжки

до 250 МПа на фланцевую часть заготовки, благодаря чему повышается пластичность штампуемого материала и создается радиальный подпор во фланце заготовки. Этот процесс может быть осуществлен как на обычных гидравлических прессах с использованием специальных штампов, так и на специальных прессах для гидростатической вытяжки [85].

На рис. 114 показаны этапы вытяжки детали на прессе для гидростатической вытяжки. В исходном положении пресса (рис. 114 а) заготовка 2 устанавливается на прижимное кольцо 3. При рабочем ходе пуансона 5 вверх заготовка предварительно деформируется по матрице 1 (рис. 114, б), а при последующем рабочем ходе контейнера 4 осуществляется сначала прижатие заготовки прижимом к матрице заданным усилием (рис. 114, в), а потом заготовка подвергается воздействию гидростатического давления жидкости, поступающей в рабочую полость между матрицей и пуансоном по каналу с клапаном (рис. 114, г). Под совместным действием — усилия пуансона и давлением жидкости заготовка вытягивается в зазор между матрицей и пуансоном (рис. 114, д) на заданную глубину. При обратном ходе пресса сначала контейнер, а затем пуансон опускаются в исходное положение, после чего вытянутая деталь при помощи выталкивателя удаляется из матрицы.

Гидравлическая штамповка оказывается весьма эффективной при глубокой вытяжке с утонением стенок, когда возможно получить за одну операцию цилиндрический стакан с высотой в 7,5 раз больше его диаметра. В последнее время за рубежом получила применение гидравлическая вытяжка и при штамповке деталей в массовом производстве. Она осуществляется на специальных гидравлических прессах двойного действия [29]. На указанных прессах можно вытягивать детали самой сложной формы за одну или две операции из материалов толщиной до 12—15 мм. Наибольший диаметр заготовки составляет 813 мм, максимальная глубина 305 мм. В зависимости от модели пресса максимальное рабочее давление жидкости в них колеблется в пределах 71,5—106,0 МПа. Число двойных ходов ползуна пресса составляет 90—240 в час.

#### **§ 56. ВЫТЯЖКА ПОЛЫХ ДЕТАЛЕЙ С ПОДОГРЕВОМ ФЛАНЦА И С МЕСТНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ ЗАГОТОВКИ**

##### **Вытяжка полых деталей с подогревом фланца**

Как уже было указано выше, предельную степень деформации за одну вытяжную операцию можно повысить, применяя заготовку, обладающую наибольшей пластичностью во фланцевой части и наименьшей пластичностью, т. е. наибольшей прочностью, в центральной ее части, из которой формируется дно и стенки изделия. Такое выгодное соотношение между прочностью металла в опасном сечении и сопротивлением деформации фланца можно создать, применяя искусственный нагрев фланца при одновременном охлаждении стенок детали. В результате нагрева значительно сни-

жается сопротивление заготовки пластической деформации, при этом прочность опасного сечения у дна детали не уменьшается.

Подобные условия лучше всего обеспечиваются электронагревом, при котором поддерживается постоянная температура.

На рис. 115 представлены принципиальная (а) и конструктивная (б) схемы штампа для вытяжки с подогревом фланца. Здесь матрица и прижимная плита штампа нагреваются при помощи трубчатых электронагревателей сопротивления 2, вмонтированных во внутреннюю их полость, а пуансон охлаждается циркулирующей в нем проточной водой.

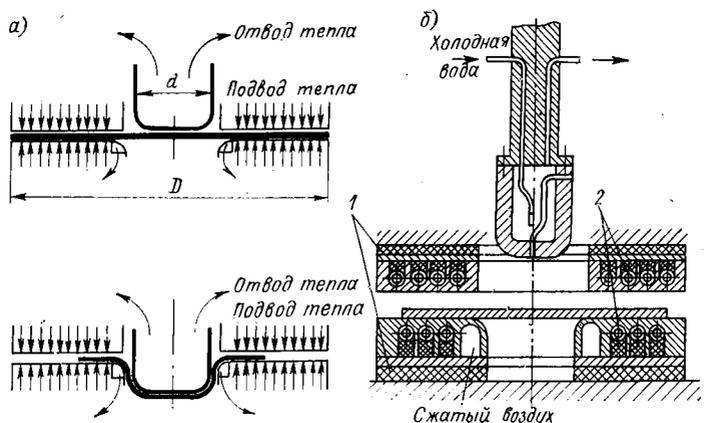


Рис. 115. Вытяжка с подогревом фланца заготовки

Фланец заготовки, находясь между нагретыми поверхностями матрицы и прижима, принимает их температуру, а по мере перехода в вертикальную стенку охлаждается за счет отдачи теплоты пуансону. Рекомендуется наряду с охлаждением пуансона охлаждать также и вытяжное ребро матрицы, что еще больше способствует повышению прочности стенки в опасном сечении, а следовательно, и увеличению допустимой степени деформации за одну вытяжную операцию. Для предотвращения распространения теплоты от матрицы и прижимной плиты на остальные части штампа последние отделяются теплоизоляционными прокладками 1.

Вытяжку с подогревом фланца применяют главным образом при штамповке деталей из алюминиевых и магниевых сплавов, но этот способ может быть использован также при штамповке из латуни и стали. Особенно необходим подогрев заготовки при вытяжке магниевых сплавов, которые в холодном состоянии обладают плохими вытяжными свойствами.

Конфигурация деталей в плане при вытяжке этим способом может быть любая, но наибольший эффект достигается при штамповке деталей наиболее сложной формы.

Нагрев фланца производят до оптимальной для каждого сплава температуры. Оптимальной температурой при штамповке считают такую, при которой достигается максимальная степень деформации за одну операцию (наименьшее предельное значение коэффициента вытяжки  $m_{\text{пред}}$ ).

Диапазоны оптимальных температур нагрева фланца составляют (в °С):

Для АМ, АМцМ, Д16АМ . . . . .	320—340
» МА1 и МА8 . . . . .	360—380
» Д16АТ и В95АТ . . . . .	400—420
» латуни Л63 . . . . .	480—500
» стали 08кп и декапированной стали . . . . .	580—600

Вытяжной пуансон при штамповке алюминиевых и магниевых сплавов не должен нагреваться выше 100° С, иначе возможен обрыв заготовки. Температура стенки вытягиваемой детали должна быть для латуни не выше 300° С, а для стали не выше 450° С. Проведенные опыты [44] показывают, что предельные значения коэффициентов вытяжки  $m_{\text{пред}}$  для штамповки с подогревом фланца при вышеуказанных оптимальных температурах могут быть приняты при вытяжке цилиндрических деталей в два раза меньше, чем при обычной вытяжке. Соответственно отношение предельной высоты к диаметру изделия, т. е.  $h_{\text{пред}}/d$ , будет составлять 2,0—2,5. При вытяжке квадратных и прямоугольных деталей отношение высоты к стороне квадрата или к наименьшей стороне прямоугольника, т. е.  $h_{\text{пред}}/B$ , может составлять до 3,0—3,2 или в три—шесть раз больше высоты, получаемой при вытяжке в холодном состоянии. Таким образом, операция вытяжки с подогревом цилиндрических деталей может заменить до трех, а прямоугольных — до пяти операций холодной вытяжки.

Особые преимущества вытяжки с подогревом выявляются при изготовлении деталей сложных и удлиненных форм, у которых высота изделия может быть достигнута в шесть—десять раз большая, чем при холодной вытяжке.

На основании этих опытов предельные значения коэффициентов вытяжки для цилиндрических деталей  $m_{\text{пред}}$  составляют:

Для АМ и АМцМ . . . . .	0,39—0,42
» МА1 и МА8 . . . . .	0,30—0,32
» Д16АТ и Д16АМ . . . . .	0,33—0,37
» В95АТ . . . . .	0,32—0,35
» латуни Л63 . . . . .	0,33—0,40
» стали 08кп . . . . .	0,36—0,40

Нижние пределы следует применять для материалов толщиной свыше 1,5 мм, верхние — для более тонких.

В производственных условиях надежнее работать с несколько большими значениями коэффициентов вытяжки (с оптимальными коэффициентами) по сравнению с приведенными выше, полученными в лабораторных условиях (примерно на 10—15%). В частности, для магниевых сплавов МА1 и МА8 хорошие результаты

получаются при работе с коэффициентами вытяжки на первой операции  $m_1 = 0,38 \div 0,42$ . В случае необходимости проведения второй вытяжной операции нужно принять для МА1 и МА8 коэффициенты вытяжки  $m_2 = 0,54 \div 0,64$ . Между операциями проводится отжиг при  $260\text{—}350^\circ\text{C}$  с выдержкой заготовок в отжигательной электропечи около 1 ч.

Максимальное давление течения при вытяжке полых цилиндрических деталей с подогревом фланца  $p_1$  или  $\sigma_{p \max}$  (в МПа) можно с достаточной для практики степенью точности определить по формуле

$$p_1 = k_1 (1/m_1 - k_2) \sigma_b, \quad (363)$$

где  $m_1$  — оптимальный коэффициент вытяжки;  $\sigma_b$  — временное сопротивление разрыву материала при оптимальной температуре нагрева;  $k_1$  и  $k_2$  — коэффициенты, характеризующие интенсивность упрочнения металла при вытяжке с подогревом.

Коэффициенты  $k_1$  и  $k_2$  определяются в зависимости от относительного сужения  $\psi_b$ , получаемого при данной оптимальной температуре нагрева. Так, для значений  $\psi_b$ , колеблющихся от 0,03 до 0,30,  $k_1 = 0,44 \div 0,70$ ;  $k_2 = 0,20 \div 0,85$ .

Соответственно максимальное усилие вытяжки (в Н)

$$P_1 = \pi d_1 s p_1 = \pi d_1 s k_1 (1/m_1 - k_2) \sigma_b. \quad (364)$$

Усилие для вытяжки квадратных и прямоугольных коробок определяют по тому же методу, как и при холодной вытяжке по эквивалентному диаметру, по формуле (275).

Давление прижима для вытяжки с подогревом фланца составляет для алюминиевых и магниевых сплавов 0,3—0,7 МПа; для латуни 0,7—1,0 МПа; для мягкой стали 1,0—1,5 МПа. При этом значительный эффект (увеличение степени деформации на 30—90 %) получается при применении переменного, постепенно увеличивающегося по ходу вытяжки давления прижима.

Радиусы закругления и зазоры в вытяжном штампе примерно такие же, как и для холодной вытяжки.

В качестве смазки здесь применяется масло «Вапор» с порошкообразным графитом, а также мыло с графитом.

#### Вытяжка титановых сплавов

Для штамповки листовых деталей применяют титановые сплавы марок ВТ1 и ВТ5. Сплав ВТ1 делится на два типа: ВТ1-1 и ВТ1-2. Сплав ВТ1-1 обладает хорошей пластичностью и штампуется в холодном состоянии без нагрева. Сплав ВТ1-2 в холодном состоянии обладает пониженной пластичностью, поэтому он штампуется с подогревом. Сплавы ВТ1-1 и ВТ1-2 штампуются при  $350\text{—}400^\circ\text{C}$ ; для деталей сложной формы заготовки нагревают до  $500^\circ\text{C}$ . Сплав ВТ5 обычно штампуются в холодном состоянии при несколько пониженной степени деформации. Технически чистый титан штампуются при  $200\text{—}360^\circ\text{C}$ .

Нагрев обычно производят в электрических муфельных печах. Коэффициент вытяжки для титановых сплавов в холодном состоянии составляет  $m = 0,57 \div 0,60$ , а с подогревом  $m = 0,40 \div 0,45$ .

#### Вытяжка полых деталей с местным охлаждением заготовки

Наибольшую прочность в опасном сечении заготовки у донного закругления при вытяжке можно также достигнуть, применяя глубокое местное охлаждение полого вытяжного пуансона, а следовательно, и стенок вытягиваемой детали, до температуры от  $-160$  до  $-170^\circ\text{C}$ . В то же время часть заготовки под прижимом сохраняет комнатную температуру. При таком охлаждении резко возрастают прочностные характеристики ( $\sigma_{\text{т}}$ ,  $\sigma_{\text{в}}$ ): у сталей  $10-20$  в  $1,9-2,1$  раза, а у нержавеющей стали в  $2,3$  раза при незначительном снижении пластических свойств стали.

В результате глубокого охлаждения пуансона в центральной части заготовки в ее опасном сечении получается значительное упрочнение металла, что позволяет повысить степень деформации примерно на  $20-30\%$ . Одновременно с этим достигается равномерная толщина заготовки.

Экспериментально В. Н. Ревинным получены при штамповке с глубоким охлаждением коэффициенты вытяжки для сталей  $10-20$   $m = 0,37 \div 0,39$ , а для нержавеющей сталей 12X18H9 и 12X18H9T —  $m = 0,35 \div 0,37$ .

Охладителем является жидкий кислород с температурой кипения  $-183^\circ\text{C}$ , подаваемый в полость пуансона, или жидкий азот с температурой  $-195^\circ\text{C}$ . Вытяжку следует вести на гидравлических прессах со скоростью  $0,15-0,20$  м/мин.

#### § 57. ДРУГИЕ СПОСОБЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА ВЫТЯЖКИ

##### Интенсификация процесса вытяжки изменением схемы напряженного состояния

Достижимую степень деформации за одну операцию вытяжки можно повысить изменением схемы напряженного состояния в очаге деформации при приложении дополнительной внешней силы (рис. 116). Дополнительная проталкивающая радиальная сила  $N$ , действующая на краевую часть плоской заготовки, при первой операции вытяжки (рис. 116, а) или продольная проталкивающая сила  $N$ , действующая на край полой цилиндрической заготовки, при последующих операциях вытяжки с утонением (рис. 116, б) уменьшает растягивающие напряжения в выходном (опасном) сечении изделия. С увеличением этой силы процесс вытяжки в большой мере приближается к условиям трехосного сжатия. В этом случае деформирование плоской заготовки

происходит при одновременном действии сжимающих напряжений  $\sigma_p$  и  $\sigma_\theta$ , приводящих к более интенсивному утолщению заготовки, для ограничения которого требуется увеличение по сравнению с обычной вытяжкой усилия прижима, а следовательно, и общего усилия вытяжки.

Однако подобная схема трехосного сжатия позволяет осуществить весьма значительные деформации без разрушения заготовки, что положительно влияет на процесс вытяжки в сторону сокращения числа операций. Вытяжка с проталкиванием фланца

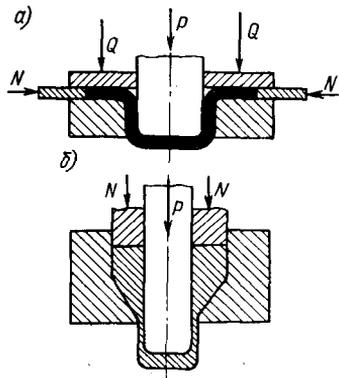


Рис. 116. Схема вытяжки с дополнительным силовым воздействием на заготовку

наиболее эффективно реализуется при воздействии на краевую часть плоской заготовки давлением жидкости от специального устройства.

#### Пульсирующая вытяжка листового металла

Глубокая вытяжка деталей производится на прессах двойного и тройного действия, на кулисных прессах двойного действия с подвижным нижним столом, а также на кривошипных прессах простого действия с пневматическим или гидropневматическим устройством. Поскольку вытяжка осуществляется за один рабочий ход ползуна пресса, то требуется большой радиус кривошипа (или эксцентриситета) вала пресса. Это создает значительный расчетный момент на валу и приводит к большим инерционным силам, в результате чего пресс получается громоздким и тихоходным, обычно делающим не более 30—40 ход/мин.

И. А. Норицыным был разработан и исследован новый способ (схема) штамповки — пульсирующая вытяжка листового металла.

По этой схеме предусматривается, что вытяжка детали осуществляется путем применения цикла последовательно повторяющихся деформаций, ритмических толчков (пульсирующих ходов). Для этой цели предусмотрен подъем стола пресса с закрепленной на нем вытяжной матрицей в период подъема ползуна пресса, в котором закреплен вытяжной пуансон, путем кинематической связи с коленчатым валом пресса. При каждом движении ползуна вниз (при рабочем ходе) происходит вытяжка на глубину, равную величине подъема стола  $\Delta h$ . Вытяжная матрица поднимается только после отделения пуансона от дна вытягиваемого полуфабриката и к началу следующего хода должна занять фиксирующее положение. По окончании процесса вытяжки, когда после определенного количества подъемов стола произошла вытяжка на требуемую глубину, стол пресса (вытяжная матрица) независимо от движения ползуна опускается в исходное положение.

При проведении экспериментов высота подъема матрицы  $\Delta h$  составляла от 0,5 мм и выше, вплоть до полной глубины вытяжки  $h$  за один ход. Диаметр вытягиваемого изделия был равен 12 мм, высота 16 мм.

Радиус кривошипа  $R$  составлял 1—21 мм (1; 6; 16 и 21 мм). Частота вращения вала пресса 270, 740 и 1000 об/мин при максимальной скорости ползуна пресса 1,5—130 м/мин. Материалы для исследования применялись: сталь 15кп ( $\sigma_b = 380$  МПа и  $\delta = 29\%$ ), латунь Л68 ( $\sigma_b = 320$  МПа и  $\delta = 40\%$ ) и алюминий АД ( $\sigma_b = 86$  МПа и  $\delta = 30\%$ ). Коэффициенты вытяжки  $m$  составили 0,47; 0,48; 0,49; 0,50 и 0,52.

Исследование проводилось с целью установления влияния скорости вытяжки  $v$  на коэффициент вытяжки  $m$  и на напряжение при разрыве  $\sigma_b$ . В результате проведенных экспериментов установлено, что коэффициент вытяжки  $m = 0,47$  удалось получить только до скорости  $v_{\max} = 45$  м/мин. Начало повышения напряжения замечалось, начиная с 15 м/мин; коэффициент вытяжки  $m = 0,50$  получен до  $v_{\max} = 120$  м/мин, начало повышения напряжения, начиная с 25 м/мин и т. д. Следовательно, чем меньше коэффициент вытяжки  $m$ , т. е. чем выше степень деформации  $K_b$ , тем сильнее сказывается на увеличении максимального усилия вытяжки  $P_{\max}$  повышение максимальных скоростей деформирования. Ориентировочно можно считать, что при  $v_{\max}$  до 120 м/мин усилие  $P_{\max}$  увеличивается на 15—16%, что следует учитывать при подборе скорости пресса для вытяжки. Следует отметить, что при пульсирующей вытяжке производительность может быть выше, чем при обычной вытяжке. Пульсирующий пресс позволяет вытягивать изделия значительной глубины при малом радиусе (эксцентриситете) кривошипного вала. Конструкция пресса менее громоздкая. Поэтому этот способ вытяжки при должной разработке конструкции пресса является перспективным.

#### § 58. ШТАМПОВКА ПОЛЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ С ФЛАНЦЕМ ИЗ КВАДРАТНЫХ И ШЕСТИГРАННЫХ ЗАГОТОВОК. МНОГОСЛОЙНАЯ ВЫТЯЖКА

##### Штамповка полых цилиндрических деталей из квадратных заготовок

Этот способ вытяжки позволяет сократить число операций и применять безотходный раскрой заготовок. Штамповка происходит следующим образом. Заготовка укладывается в фиксирующую выточку матрицы (рис. 117, б). Пуансон сначала сгибает углы заготовки и, нажимая на нее торцом, продвигает в большую полость матрицы до упора. Суженный конец пуансона формирует донышка колпачка и утоняет стенки. В то же время края пуансона, нажимая

на угловые кромки заготовки, постепенно укорачивают их и вытесняют металл к плоским краям фланца. Одновременно с этим металл вдавливается в просвет между матрицей и пуансоном.

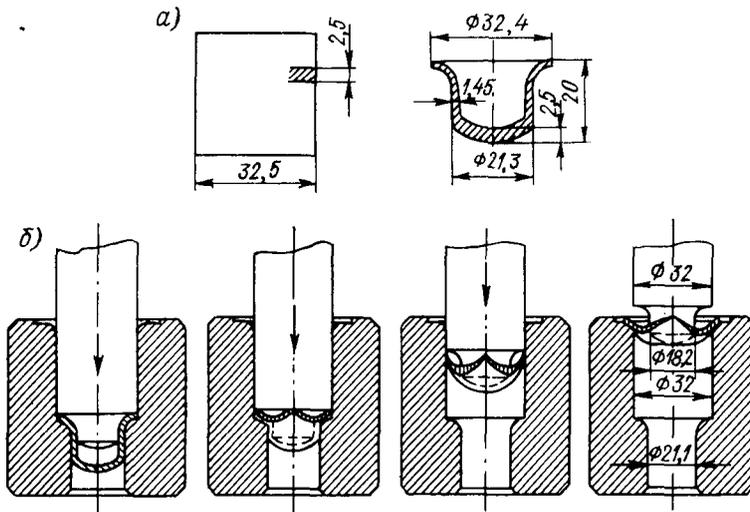


Рис. 117. Штамповка цилиндрической детали из квадратной заготовки: *а* — заготовка и изделие; *б* — последовательность процесса штамповки (показана справа налево)

Коническая же часть пуансона, прижимая утолщенный фланец заготовки к коническому уступу матрицы, производит выдавливание металла вниз (по прямому способу). Полученный колпачок с утоненными стенками можно в следующую операцию перетянуть на цилиндр без фланца.

#### Многослойная вытяжка

На некоторых заводах для увеличения производительности при штамповке деталей, имеющих коническую или пологую криволинейную форму типа мисок, тазов, крышек, применяется вытяжка в два-три слоя заготовок, наложенных друг на друга. Подобный способ штамповки облегчает деформацию тонколистового металла (толщиной менее 0,6 мм) и предотвращает образование складок (гофров) и других внешних дефектов.

Отметим, что путем силового воздействия на заготовку можно интенсифицировать и другие формоизменяющие операции, например вытяжку с обжимом, вытяжку с обжимом и раздачей, обжим с раздачей, раздачу с отбортовкой, а также в их комбинации с разделительными операциями.

## § 59. ВЫТЯЖКА И ФОРМОВКА МЕТОДОМ РАСТЯЖЕНИЯ МЕТАЛЛА — ОБТЯЖКА

Вытяжка и формовка крупных деталей сравнительно простой конфигурации из тонколистового материала в мелкосерийном производстве осуществляется методом растяжения металла на обтяжных болванах. Особое распространение этот способ формообразования получил при изготовлении небольших партий облицовочных деталей автомобилей, автобусов и троллейбусов. Заготовкой здесь является плоский лист или предварительно выгнутый профиль.

Штамповка может производиться как на прессах двойного действия путем жесткого зажатия краев заготовки наружным ползуном и действующим от внутреннего ползуна пресса болваном, так и на специальных гидравлических прессах. Однако наиболее удобным видом оборудования, способствующим полноценной работе болванов, являются обтяжные прессы; их усилие достигает до 3000 кН.

При работе на указанных прессах различают два способа обтяжки.

1. Обтяжка, производимая путем подъема вверх стола пресса с установленным на нем болваном при неподвижных зажимах, в которых заще姆лены концы заготовки. Здесь усилие деформирования приложено посередине заготовки (рис. 118, а). Этот способ применяется при штамповке крупных широких автомобильных и автобусных деталей.

2. Обтяжка, производимая путем перемещения захватов в стороны и вниз при неподвижном болване. В этом случае растягивающие усилия приложены по краям заготовки (рис. 118, б). Этот способ продольной обтяжки применяется при изготовлении длинных и узких деталей, имеющих небольшую продольную выпуклость. Если на деталь необходимо иметь выемку с противоположной стороны, то обтяжные прессы снабжаются дополнительным пуансоном, действующим сверху вниз.

Применяется также и кольцевая обтяжка для изготовления деталей замкнутой формы из сваренной кольцевой заготовки (рис. 118, в). Работа производится разжимными секционными пуансонами.

Методом обтяжки изготовляют детали из алюминиевых и магниевых сплавов толщиной до 3,5 мм, а из малоуглеродистой и нержавеющей стали — толщиной до 1,5 мм. В случае штамповки магниевых сплавов болваны (металлические) нагревают до 250° С при помощи вмонтированных в них электронагревателей (рис. 118, в).

Процесс обтяжки на болванах отличается от вытяжки в штампах тем, что здесь формообразование осуществляется за счет местных перемещений материала, вызываемых его растяжением. При этом для предохранения от искажения формы (пружинения)

изделия после снятия нагрузки металл путем сильного его растяжения доводится до пластического состояния, вследствие чего деталь сохраняет форму, полученную ею на болване. Сильное растяжение металла приводит к его утонению в среднем на 5—7%; иногда это утонение металла достигает 8—12%. Возникающие

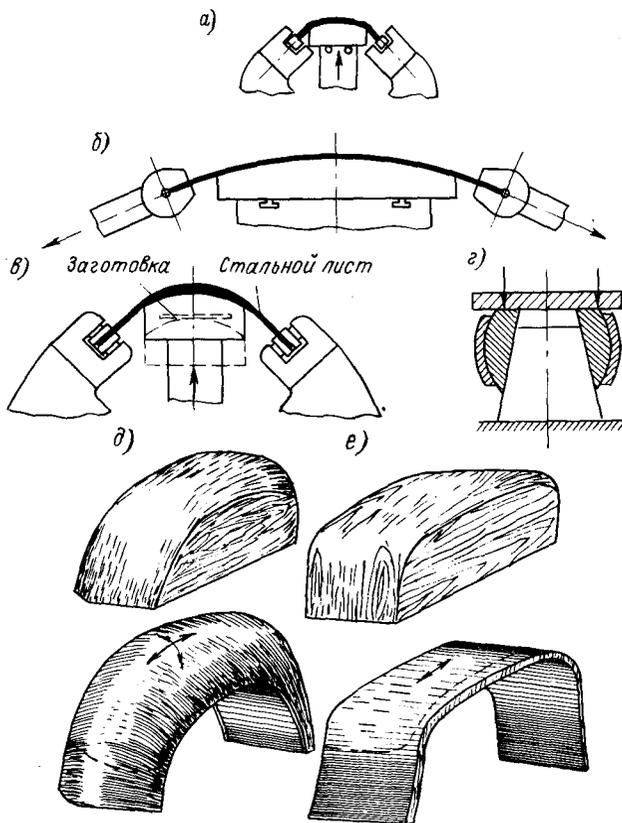


Рис. 118. Схемы вытяжки и формовки методом растяжения металла на обтяжных болванах

напряжения близки к временному сопротивлению металла; предотвращение разрыва металла достигается тщательной отделкой и смазкой поверхности болвана, а также при условии равномерного и медленного хода прессы. Конструкция болвана подбирается в соответствии с формой изделия и используемым оборудованием.

На рис. 118, д и е показаны два типа болванов и характерные детали, обтягиваемые на них. При помощи первого болвана (рис. 118, д) окончательная форма детали получается только в результате продольного и поперечного растяжения материала (на рис. 118, д и е показано стрелками); на втором болване (рис. 118, е)

менее сложная деталь получается обтяжкой главным образом за счет продольного растяжения материала. Болваны, применяемые для обтяжки деталей из плоских заготовок, изготавливаются из алюминий-цинковых сплавов, а также и из сборных деревянных брусков твердой породы; направление волокон древесины должно быть вертикальным. Для увеличения стойкости деревянных болванов иногда поверх них накладывают металлический лист, соответствующий внутреннему профилю готовой детали.

## Глава 15. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ВЫТЯЖКЕ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА

### § 60. СМАЗКА ПРИ ВЫТЯЖКЕ

Для уменьшения трения между заготовкой и рабочей поверхностью вытяжного штампа, а также для облегчения съема или выталкивания изделия из штампа применяется смазка заготовки и инструмента. Кроме того, смазка охлаждает штамп, увеличивая этим его стойкость. Смазка также улучшает качество изделий, так как уменьшается утонение материала стенок, получается меньшее количество складок, чем при вытяжке без смазки.

Выбор смазочных материалов для оптимальных смазок основывается на теориях: 1) теории граничного слоя и проявлении адсорбционных явлений, связанных с физико-химическим взаимодействием жидкости-смазки на границе с твердым телом; 2) гидродинамической теории трения (теория жидкостного трения), разработанной великими русскими учеными Н. П. Петровым, Н. Е. Жуковским, С. А. Чаплыгиным, А. К. Зайцевым и др. [43]. Эта теория количественно связывает физико-механические свойства и действие смазочного слоя со скоростью скольжения трущихся поверхностей и их геометрическими размерами при наличии достаточно толстого слоя смазки, разделяющего поверхности.

Применительно к обработке металлов давлением гидродинамическая теория трения получила развитие в работах [20; 43; 45] и др. Возможность ее использования при глубокой вытяжке была доказана Е. И. Исаченковым [43]. Согласно этой теории, оценка эффективности смазки связывается с коэффициентом внутреннего трения смазочного слоя — вязкостью смазки. При этом важным условием, определяющим гидродинамическую схему трения, является необходимость поддержания соответствующей скорости перемещения скользящей поверхности, способной создать гидродинамический смазочный клин (на котором всплывает скользящая поверхность), как показано на рис. 119. При нулевой скорости

взаимного перемещения трущихся поверхностей по этой теории, в отличие от теории сухого трения, предусматривающей наличие трения покоя, сила трения здесь также будет равна нулю.

Необходимым условием обеспечения гидродинамического режима трения является наличие избытка равнодействующей гидродинамических давлений в смазочном слое, представляющей собой несущую силу скользящей поверхности, которая находится под действием внешней нагрузки. Последняя может быть приложена

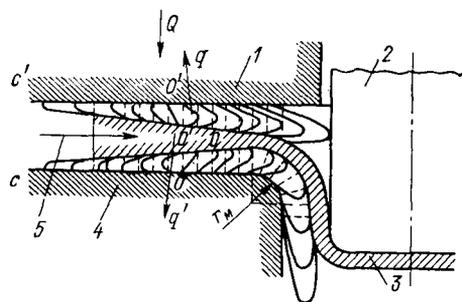


Рис. 119. Схема движения смазочного слоя в зазоре между заготовкой, прижимом и матрицей:

1 — прижимное кольцо; 2 — пуансон; 3 — заготовка; 4 — матрица; 5 — направление движения;  $q$  и  $q'$  — давления смазочного слоя;  $Q$  — давление прижима;  $O-O'$  и  $O'-O'$  — линии нулевой скорости смазки;  $C$  и  $C'$  — зоны нулевого давления

к этой поверхности для обеспечения условия  $q < Q/F_{\text{приж}}$  (рис. 119). Это условие тесно связано с наличием определенной толщины смазочного слоя, вязкостью смазки и скоростью перемещения трущихся поверхностей.

На практике выбор состава смазки производится на основе опытно-экспериментальных данных, при этом исходят из того, чтобы смазка хорошо удерживалась на поверхности металла при вытяжке, а затем легко удалялась с поверхности деталей после вытяжки; смазка не должна вызывать коррозии

металла и штампа, должна состоять из недефицитных и недорогих материалов и не должна оказывать вредного влияния на здоровье рабочих.

В штамповочном производстве применяется большое количество разнообразных смазок: мыльная вода, машинное масло, сурепное масло, вазелин, сало, графит, тальк, а также их смеси в различных пропорциях.

Различают смазки без наполнителей и смазки с наполнителями. Опыты показывают, что наилучшие результаты дают порозаполняющие и сильно прилегающие смазки с наполнителем, например смеси с графитом, мелом, тальком и др. В зависимости от толщины штампуемого материала следует изменить процентный состав наполнителей: для толстого металла, например, наполнители составляют до 40% от массы смазки.

Для малоуглеродистых сталей на основании опытов ЦНИИТ-маша наилучшие результаты при вытяжке дают смазки следующего состава: 43% веретенного масла, 8% рыбьего жира, 15% графита, 8% олеиновой кислоты, 5% серы (в виде измельченного порошка), 6% зеленого мыла, 15% воды.

На Горьковском автозаводе, чтобы исключить из состава смазки графит, который трудно поддается удалению перед окра-

ской штампованных деталей, применяю смазку следующего состава: 52—54% масла веретенного («З»), 20% мылонафта, 18—20% талька, 2,5% гипса формовочного и 5,5% древесной муки.

Для нержавеющей стали марок 12X18H9T, 12X18H10T в качестве смазки применяют окисленный петралатум (ОП65), хлорвиниловый лак ХВЛ21 или такой состав: 57% эмульсола, 21,5% серного порошка, остальное вода; для нержавеющей стали марок 12X13, 20X13 применяют кашеобразную смесь из веретенного масла, графита, зеленого мыла и воды.

При вытяжке из цветных металлов применяются следующие смазочные материалы:

1) для алюминия и его сплавов: растительное (соевое) масло, машинное масло, технический вазелин;

2) для меди, латуни и биметалла: мыльный раствор, состоящий из 8% мыла, 12% растительного масла, 12% олеиновой кислоты, 1% соды, остальное вода; сурепное масло, мыльная эмульсия, содержащая 7—10% мыла;

3) для никеля и его сплавов: смесь крепкого мыльного раствора с минеральным маслом.

При вытяжке деталей из титана и его сплавов в холодном состоянии применяют хлорвиниловый лак ХВЛ21, пленка которого засыхает в течение 2—5 мин, а также фосфатное покрытие с последующей обильной смазкой.

Полосовой и ленточный материал смазывается вращающимися войлочными валками, пропитанными маслом. Смазка крупных штучных заготовок производится погружением в бак со смазкой или вручную кистью либо мягкой тряпкой.

С целью использования полезных сил трения, возникающих между вытяжным пуансоном и материалом, рекомендуется смазывать заготовку только со стороны, прилегающей к матрице. Удаление смазки с поверхности отштампованных изделий производится горячим обезжириванием или электролитическим обезжириванием в щелочном растворе.

#### **§ 61. ОТЖИГ, ТРАВЛЕНИЕ И ОБЕЗЖИРИВАНИЕ ПРИ ВЫТЯЖКЕ**

При вытяжке изделий происходит упрочнение (наклеп) металла, которое проявляется в повышении прочности и твердости металла и снижении его пластических свойств. Для проведения последующих вытяжных операций необходимо восстановить пластические свойства металла, что достигается термической обработкой — отжигом. Применяется высокий и низкотемпературный отжиг. Высокий отжиг стали производится при температурах выше верхней критической точки с такой выдержкой, чтобы произошла полная рекристаллизация зерен. Для малоуглеродистой стали отжиг может быть заменен нормализацией при 920—950° С.

Однако высокотемпературный отжиг и нормализация приводят к получению крупнозернистой структуры, а следовательно,

и к понижению прочности главным образом в тангенциальном направлении изделия. Опыт работы показал, что для многооперационного вытяжного процесса наилучшие результаты дает низкотемпературный отжиг, т. е. при температурах ниже нижней критической точки.

Для тонких стальных материалов ( $s < 2$  мм) температура отжига составляет 600—650° С, для более толстого металла может быть применен отжиг при 650—700° С. Этот же интервал 600—700° С может быть рекомендован не только для межоперационных отжигов, но и для готового изделия.

Для нержавеющей стали марок 12Х18Н9Т, 12Х18Н10Т температура нагрева (закалки) составляет 1150—1170° С, охлаждение струей воздуха или в воде; для нержавеющей стали марок 12Х13, 20Х13 температура отжига составляет 780° С, охлаждение вместе с печью или на воздухе. Время выдержки для обеих групп нержавеющей стали 25—30 мин.

При вытяжке изделий из цветных металлов лучше применять низкотемпературный промежуточный отжиг, при котором получается мелкозернистая структура и хорошее качество готовых изделий.

Для алюминиевых изделий необходимо иметь температуру отжига 230—250° С, продолжительность отжига 40—45 мин. Высокотемпературный отжиг для алюминия производится при 300—350° С.

Низкотемпературный отжиг для медных штампованных изделий осуществляется при 400—450° С, а для латунных — при 500—540° С. Высокий отжиг производится для меди при 600—650° С, для латуни — при 650—700° С.

Дуралюмин обладает наибольшей пластичностью после нагрева до 400—420° С с охлаждением в печи до 280° С со скоростью 30° С в час и последующим охлаждением на воздухе.

Температура отжига для титановых сплавов ВТ1-1, ВТ1-2 составляет 550—600° С, а для сплава ВТ5-1 — 750—800° С, время выдержки 20—30 мин. Отжиг производится в электрических печах обычного или шахтного типа. Для улучшения качества выпускаемых изделий на многих заводах стали применять безокислительный (светлый) отжиг в атмосфере водорода, азота, паров воды и т. п.

Вследствие неравномерности наклепа по сечению вытягиваемых деталей применяется местный отжиг наиболее наклепанной части полуфабриката, главным образом у верхней его кромки. Наиболее целесообразно для местного отжига использование индукционного нагрева токами промышленной частоты. В зависимости от размеров детали и толщины материала длительность отжига составляет 20—40 с. Например, для полого цилиндра из алюминия диаметром 100 мм, высотой 170 мм и толщиной 1,15 мм длительность отжига составляет 40 с.

Отжиг фланцев т. в. ч. производится за 3—5 с.

При обычном отжиге деталей на поверхности появляется окалина. Ее удаляют травлением в различных кислотах или электролитическим травлением.

Состав ванн подбирается в зависимости от рода материала, подвергающегося травлению. Малоуглеродистую сталь травят в 15—20-процентном растворе серной или соляной кислоты с добавлением в раствор ржаной муки, отрубей, клея, желатины. Высокоуглеродистую сталь подвергают двойному травлению: предварительное — в 10—15-процентном растворе серной кислоты, окончательное — в растворе, содержащем 50—100 г едкого натра или едкого кали на литр воды. Нержавеющую сталь травят в растворе, состоящем из 10% азотной кислоты, 1—2% соляной кислоты, 0,1% сульфидированного клея, остальное вода.

Для травления меди применяется 10-процентный раствор серной кислоты, для латуни — 5-процентный раствор серной кислоты, для никеля — 20-процентный раствор серной кислоты, для нейзильбера — смесь разбавленной азотной и серной кислот.

Травящая жидкость для алюминия, дуралюмина и цинка состоит из 100—200 г/л едкого натра или едкого кали, 13 г/л поваренной соли, 50—100 г/л соляной кислоты. Для ускорения процесса травление производят с нагревом ванны до 60—70° С. Длительность травления зависит от концентрации раствора и температуры нагрева его и составляет 20—60 мин.

Электролитическое травление производится в ванне с 5-процентной серной кислотой при плотности тока 1,3—1,6 А/см<sup>2</sup> и напряжении 6 В. Детали подключаются (подвешиваются) к аноду.

После травления для удаления следов кислоты с деталей их промывают в холодной и горячей воде, затем нейтрализуют в слабом щелочном растворе при 60—80° С.

Обезжиривание деталей, т. е. удаление с их поверхности жиров и масел, обычно производится перед травлением и гальваническим покрытием. Обезжиривание осуществляют в два приема: сначала детали промывают в растворителях (бензине, керосине, бензоле и т. п.), а затем обрабатывают в густом водном растворе венской извести или мела, а также пемзой. Весьма успешно применяется электрохимический способ обезжиривания.

## Глава 16. ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМОВОЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ

### § 62. ПРАВКА. РЕЛЬЕФНАЯ ФОРМОВКА

*Правкой* называется штамповочная операция, при которой происходит выправка неровной поверхности изделия между гладкими или насеченными поверхностями штампов. В большинстве

случаев правка является операцией, следующей за вырубкой, так как при вырубке на провал и при вырубке штампами с наклонными режущими кромками деталь получается неровной. Правка деталей может иметь место также и после гибки без прижима. При штамповке изделий значительной толщины правку лучше всего производить на фрикционных прессах. В случае комбинации правки с другими операциями, например с вытяжкой или гибкой, работу производят на кривошипных прессах и даже на прессах двойного действия.

По характеру деформации правка, особенно точечными и вафельными штампами, приближается к чеканке и требует больших усилий. Усилие, необходимое для правки (в Н), можно определить по эмпирической формуле

$$P_{пр} = p_{пр} F_{пр}, \quad (365)$$

где  $F_{пр}$  — площадь проекции штампуемой детали, мм<sup>2</sup>;  $p_{пр}$  — давление при правке, зависящее от рода и толщины материала, а также и от типа штампа (гладкий, точечный или вафельный), МПа.

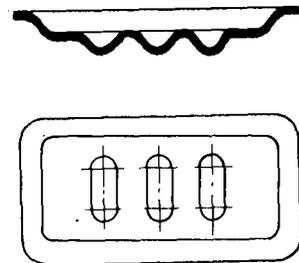


Рис. 120. Деталь, полученная рельефной формовкой

При плоской правке деталей из тонких и мягких материалов с  $s < 2$  мм и  $\sigma_b < 300$  МПа гладкими штампами  $p_{пр} = 50 \div 100$  МПа; при правке деталей, допускающих отпечатки на поверхности, из более толстых и твердых материалов при  $s > 2$  мм и  $\sigma_b > 300$  МПа точечными штампами  $p_{пр} = 100 \div 200$  МПа; при правке деталей, не допускающих глубоких отпечатков, вафельными штампами  $p_{пр} = 200 \div 300$  МПа. При правке деталей открытого профиля из тонких и мягких материалов  $p_{пр} = 100 \div 150$  МПа.

*Рельефной* формовкой называется штамповочная операция, при которой изменяется форма изделия без изменения толщины материала, что осуществляется между верхней и нижней частями различной формы, на которых имеются углубления и соответствующие им выступы. Рельефной формовке в большинстве случаев подвергаются плоские заготовки для получения на них различных углублений и выступов, ребер жесткости и т. п.

Рельефная формовка может иметь декоративное назначение, эксплуатационное (фиксирующие упоры, грани и т. п.) или проводиться с целью получения необходимой жесткости детали (ребра жесткости). Она осуществляется в основном за счет местного растяжения материала, но в некоторых случаях она является частным случаем неглубокой вытяжки (пуклевки). На рис. 120 показана деталь, полученная способом рельефной формовки. Рельефная формовка может осуществляться как отдельная операция и в комбинации с другими операциями, например с вырубкой, вытяжкой и т. д.

Рельефная формовка производится на фрикционных, гидравлических, кривошипных прессах, а также — в случае объединения ее с вытяжкой — на прессах двойного действия. Рельефная формовка из тонкого материала осуществляется резиной или полиуретаном.

Усилие, необходимое для рельефной формовки (в Н), можно ориентировочно определить по эмпирической формуле

$$P_{р. ф} = p_{р. ф} F_{р. ф}, \quad (366)$$

где  $F_{р. ф}$  — площадь штампуемого рельефа, мм<sup>2</sup>;  $p_{р. ф}$  — давление, зависящее от рода и толщины материала: для алюминия  $p_{р. ф} = 30 \div 50$  МПа, для латуни и стали  $p_{р. ф} = 100 \div 180$  МПа.

Нижние значения даны для тонких материалов ( $s < 1,5$  мм), верхние — для более толстых ( $s = 1,5 \div 3,0$  мм).

### § 63. ОТБОРТОВКА

Различают два основных вида отбортовки, отличающихся друг от друга характером деформации, схемой напряженного состояния и производственным назначением: 1) отбортовка отверстий (внутренняя); 2) отбортовка наружного контура (внешняя).

#### Отбортовка отверстий (внутренняя)

Процесс отбортовки отверстий заключается в образовании в плоском или полом изделии с предварительно пробитым отверстием (иногда и без него) отверстия большего размера с цилиндрическими бортами или бортами другой формы. Отбортовка

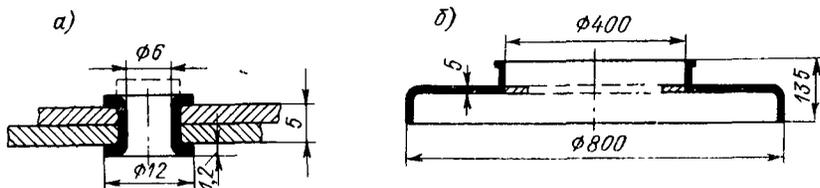


Рис. 121. Примеры применения операции отбортовки

отверстий позволяет получить не только конструктивно удачные формы различных изделий, начиная от небольших заклепок (рис. 121, а) и до котельных днищ (рис. 121, б), но и некоторую экономию штампуемого материала. Кроме того, возможно сокращение числа операций.

Отбортовка применяется также при изготовлении изделий, в которых на внутренней (отбортованной) части стенки необходимо нарезать резьбу. В этом случае отбортовка производится со значительным утонением металла по всей высоте борта.

В настоящее время путем отбортовки получают отверстия с диаметром 3—1000 мм и толщиной материала 0,3—30,0 мм.

При отбортовке отверстий деформируемая часть заготовки находится в плоско-напряженном (растяжение в радиальном и тангенциальном направлениях) и объемно-деформированном состоянии (рис. 122, элемент б). При этом радиальное растягивающее напряжение имеет наибольшую величину у кромки матрицы, а по мере приближения к кромке отверстия оно, уменьшаясь, приближается к нулю. Таким образом, поверхностный торцовый слой у отверстия заготовки находится в условиях линейного напряженного состояния (рис. 122, элемент а). Это приводит к тому, что при отбортовке отверстий происходит удлинение — растяжение волокон в тангенциальном направлении и уменьшение толщины материала, т. е. сужение в поперечном направлении.

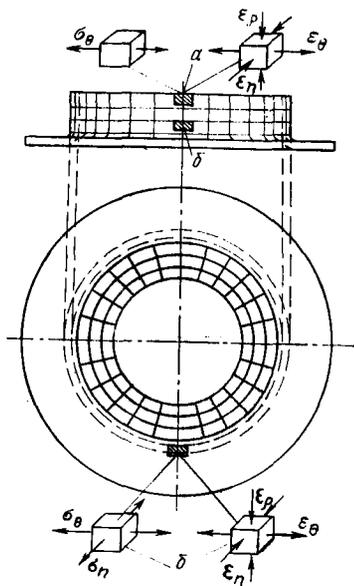


Рис. 122. Схема напряженного ( $\sigma$ ) и деформированного ( $\epsilon$ ) состояний изделия при отбортовке

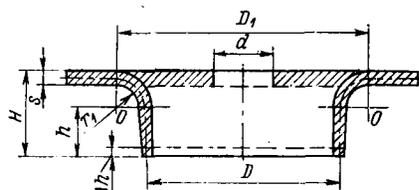


Рис. 123. Схема к расчету диаметра отверстия при отбортовке

Степень деформации при отбортовке определяется отношением диаметра отверстия в заготовке  $d$  к диаметру борта (по средней линии)  $D$  (рис. 123), или так называемым коэффициентом отбортовки  $K_{отб} = d/D$ ; при этом исходят из того, что на краю полученного борта должны отсутствовать трещины.

**Максимально допустимые диаметры отбортованных отверстий при данном диаметре предварительного отверстия.** Диаметр отверстия  $d$  под отбортовку для невысокого борта можно с некоторым приближением определить по тому же методу, который применяется при подсчете заготовки для детали с закруглением, получаемой гибкой (по средней линии). Например, для детали (рис. 123) диаметр отверстия в заготовке определится из выражения

$$d = D_1 - \pi (r_1 + s/2) - 2h, \quad (367)$$

отсюда высота борта

$$H = h + r_1 + s = \frac{D-d}{2} + 0,43r_1 + 0,72s. \quad (368)$$

Для более точных подсчетов (особенно при высоком борте и небольших значениях  $d$ ) диаметр отверстия рекомендуется определять по следующей формуле автора, основанной на равенстве объемов материала до и после отбортовки,

$$d = \sqrt{D_1^2 - 2\pi D_1 (r_1 + s/2) + 8 (r_1 + s/2)^2 - 4 (D_1 - 2r_1 - s) h}. \quad (369)$$

Зависимость между максимально допустимым диаметром отбортованного отверстия  $D$  и диаметром отверстия в заготовке  $d$  устанавливается коэффициентом отбортовки. Значения  $K_{отб}$  можно с некоторым приближением определить аналитическим подсчетом, исходя из величины относительного удлинения элементарного кольца  $\Delta h$  (рис. 123) на краю отбортованной стенки:

$$\varepsilon = \frac{\pi D - \pi d}{\pi d} = \frac{D - d}{d} = \frac{1 - K_{отб}}{K_{отб}}, \quad (370)$$

отсюда

$$K_{отб} = 1/(1 + \varepsilon) = 1 - \psi. \quad (371)$$

Наименьшая толщина материала у края бортов составляет

$$s_1 = s \sqrt{K_{отб}}. \quad (372)$$

Зная для данного материала относительное удлинение  $\delta$  или относительное сужение  $\psi$ , можно с некоторым приближением установить коэффициент отбортовки  $K_{отб}$ . Однако на практике надежнее пользоваться опытными данными, составленными с учетом влияния и других факторов на коэффициент отбортовки. Опытами установлено, что предельный коэффициент отбортовки  $K_{отб, пред}$  зависит от следующих факторов:

- 1) рода материала и его механических свойств;
- 2) относительной толщины заготовки  $(s/D) 100$ ;
- 3) характера обработки и состояния кромок отверстий в заготовке (пробивка или сверление, наличие или отсутствие заусенцев);
- 4) формы рабочей части пуансона (цилиндрический пуансон с закруглением, конический или полусферический).

Форма рабочей части пуансона влияет не только на коэффициент отбортовки, но и на усилие и на весь ход процесса отбортовки. На рис. 124 показаны рабочие диаграммы усилие — ход пуансона и последовательность отбортовки при различной форме очертания рабочей части отбортованного пуансона. Из этих диаграмм видно, что наименьшее усилие отбортовки получается при криволинейной форме пуансона, а наибольшее — при цилиндрической форме с малым радиусом закругления кромок пуансона. Коэффициент отбортовки (для первого пуансона) также на 10—15% ниже, чем для второго.

Состояние кромок отверстия под отбортовку, особенно при сравнительно большом отношении  $(s/D) 100$ , оказывает значитель-

ное влияние на величину предельного коэффициента отбортовки. Эксперименты, проведенные Е. А. Поповым [см. 29], показали, что для заготовок с отверстиями, полученными сверлением,  $K_{отб. пред}$  может быть меньше, чем для заготовок с пробитыми отверстиями, когда торцовая поверхность наклепывается, причем эта разность увеличивается с ростом отношения  $(s/D)$  100. Также установлено, что с увеличением отношения  $(s/D)$  100 предельный коэффициент отбортовки снижается.

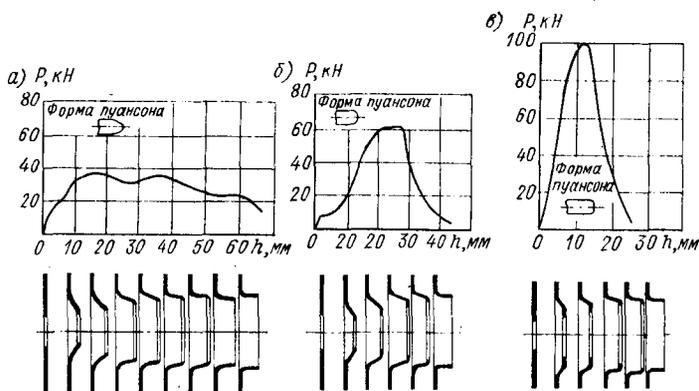


Рис. 124. Рабочие диаграммы усилие—ход (путь) пуансона и последовательность отбортовки при криволинейной (а), полу-сферической (б) и цилиндрической с малым радиусом закругления (в) формах пуансона

В табл. 20 приведены расчетные и предельные значения коэффициентов отбортовки  $K_{отб}$  и  $K_{отб. пред}$  для малоуглеродистой стали марок 08—10, латуни Л68 и алюминия при отбортовке цилиндрическим пуансоном с закругленными рабочими кромками. При отбортовке сферическим пуансоном табличные значения коэффициентов отбортовки могут быть уменьшены на 5—8%.

Для материалов (стали, латуни Л63) толщиной до 2 мм и при меньших значениях  $K_{отб}$  можно рекомендовать  $r_m = (4 \div 5) s$ , а для более пластичных материалов (латуни Л68, алюминия) толщиной свыше 2 мм и при больших значениях  $K_{отб}$  —  $r_m = (1,5 \div 3) s$ . Радиус закругления рабочих кромок цилиндрического пуансона должен быть не менее четырех толщин материала.

В тех случаях, когда в изделии допускается толщина борта по всей его высоте меньшая, чем в остальной части детали, увеличение высоты борта достигается отбортовкой с принудительным уменьшением толщины материала стенок. Отбортовка с утонением стенок изделия обеспечивается штампом, у которого величина одностороннего зазора между матрицей и пуансоном будет меньше исходной толщины заготовки, причем такая отбортовка лучше

20. Расчетные и предельные значения  $K_{отб}$  и  $K_{отб. пред}$  для пластичных металлов

Способ получения отверстия	Коэффициент отбортовки	(s/D) 100, %										
		1	2	3	5	7	10	15	20	30	50	100
Пробивка штампом	$K_{отб}$	0,85	0,75	0,65	0,60	0,55	0,52	0,50	0,48	0,47	0,46	0,45
	$K_{отб. пред}$	0,75	0,65	0,55	0,50	0,48	0,45	0,44	0,42	0,40	0,37	0,35
Пробивка штампом с защиткой или сверление	$K_{отб}$	0,80	0,70	0,60	0,50	0,45	0,42	0,37	0,35	0,30	0,28	0,25
	$K_{отб. пред}$	0,70	0,60	0,52	0,47	0,42	0,36	0,34	0,32	0,30	0,25	0,20

Всего достигается постепенным уменьшением толщины стенки за один ход пресса при работе ступенчатым пуансоном. При отбортовке с утонением стенок можно применять большие значения коэффициентов отбортовки, благодаря чему край борта получается необходимого качества, без рванин, трещин и других дефектов.

**Последовательная отбортовка цилиндрических отверстий.** Сравнительно высокое абсолютное значение коэффициентов отбортовки для заготовок с пробитыми отверстиями ограничивает возможности получения отбортовки некоторых изделий (с высоким бортом) за одну операцию. В таких случаях приходится производить отбортовку за несколько операций, если по техническим условиям допускается значительное утонение стенок изделия. После каждой операции дается промежуточный отжиг. При последовательной отбортовке следует принимать значения  $K'_{отб}$  на 15—20% выше обычных, т. е.  $K'_{отб} = (1,15 \div 1,20) K_{отб}$ .

**Отбортовка некруглых отверстий.** Отбортовываемые некруглые отверстия в общем случае состоят из выпуклых, вогнутых и прямых участков.

Если изделие (рис. 125) разложить на простые элементы, то можно считать, что на участках II, IV, VI, VII и VIII будет происходить такие же деформации металла, какие наблюдаются при отбортовке цилиндрических отверстий. На прямых участках I и V будет осуществляться простая отгибка, а на вогнутом участке III — вытяжка. Исходя из этого и определяют форму

и размеры предварительного отверстия (теоретического) под такую отбортовку. Полученная теоретическая форма контура отверстия должна быть соответствующим образом откорректирована так, чтобы переход одного участка в другой был плавным, как это показано на рис. 125 штрих-пунктирными линиями.

Расчет на утонение стенок изделия, а также установление коэффициента отбортовки необходимо произвести для участка, имеющего наименьший радиус закругления. При отбортовке некруглых отверстий утонение материала будет на участке II, IV, VI и VIII.

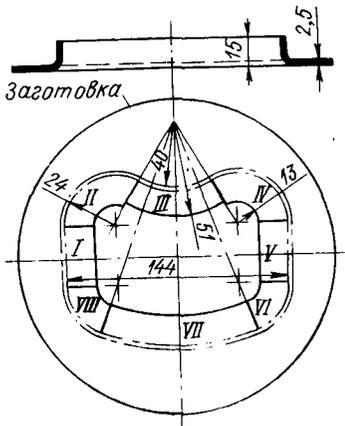


Рис. 125. Пример отбортовки нецилиндрического отверстия

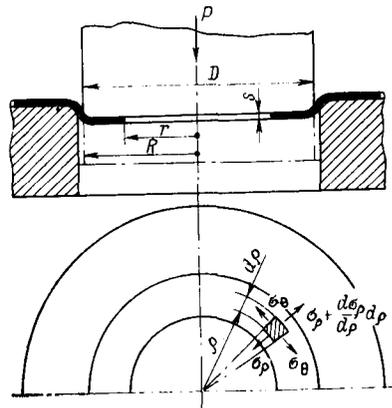


Рис. 126. К расчету усилий при отбортовке цилиндрического отверстия

Величина коэффициента отбортовки для нецилиндрических отверстий, учитывая, что растяжение металла в углах не сосредотачивается лишь в них, а распространяется дальше на прямые участки, может быть принята на 10—15% меньше обычных, т. е.  $K_{отб}'' = (0,90 \div 0,85) K_{отб}$ .

**Усилие отбортовки.** Усилие, необходимое для отбортовки цилиндрическим пуансоном (рис. 126),  $P$  (в Н) можно определить приближенно по формуле А. Д. Томленова [95]:

$$P = \pi (D - d) s c \sigma_{\tau} \approx 1,5 \pi (D - d) s \sigma_{\beta}, \quad (373)$$

где  $D$  — диаметр отбортованного изделия, мм;  $d$  — диаметр отверстия под отбортовку, мм;  $\sigma_{\tau}$  и  $\sigma_{\beta}$  — предел текучести и временное сопротивление разрыву данного материала, МПа;  $c$  — коэффициент, учитывающий упрочнение металла и наличие трения при отбортовке;  $c \sigma_{\tau} = (1,5 \div 2,0) \sigma_{\beta}$ .

При отбортовке коническим или полусферическим пуансоном величина усилия несколько снижается.

Потребное усилие для отбортовки с утонением будет выше, чем для отбортовки без утонения (при одном и том же коэффициенте отбортовки). Оно растет пропорционально увеличению утонения, определяемое отношением  $s/s_1$  ( $s$  — толщина исходной заготовки;  $s_1$  — толщина стенки отбортованного изделия). Для уменьшения усилия отбортовки рекомендуется применять смазку с наполнителем, а также полировку рабочих частей штампа с последующим их хромированием.

Отбортовка отверстий производится на кривошипных прессах простого и двойного действия, а также на гидравлических прессах.

#### Отбортовка наружного контура (внешняя)

Сущность этого процесса заключается в образовании бортов или фланцев по наружному краю заготовки. Этим способом можно осуществить как отбортовку выпуклого контура, так и вогнутого. Отбортовка выпуклого контура аналогична процессу неглубокой вытяжки без прижима. Отбортовка вогнутого контура аналогична

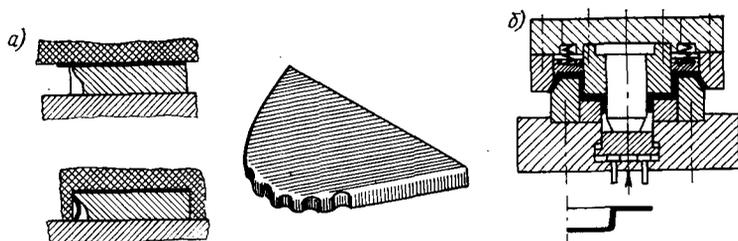


Рис. 127. Детали и схемы штампов для отбортовки.

отбортовке отверстий. На рис. 127, а показана деталь, полученная отбортовкой наружного контура и схема штампа.

Величину деформации при наружной отбортовке выпуклого контура характеризует отношение

$$K_{н. отб} = R_2/R_1, \quad (374)$$

где  $R_1$  — радиус контура плоской заготовки;  $R_2$  — радиус отбортованного контура детали.

Для отбортовки без последующей доводки деталей из дуралюмина толщиной 0,5—1,2 мм  $K_{н. отб} = 0,95 \div 0,97$ . В случае последующей доводки (выправки складок после отбортовки) допускается для тех же материалов  $K_{н. отб} = 0,80 \div 0,90$ .

Наружную и внутреннюю отбортовку можно объединить и в одну операцию на штампе (рис. 127, б). Этот штамп может быть установлен как на кривошипных, так и на гидравлических прессах.

Формовка

Формовкой называется штамповочная операция, при которой происходит изменение формы предварительно вытянутого изделия с целью получения окончательного профиля (формы) или более точных размеров изделия. К этим операциям относится также формовка изнутри (выпучивание), характеризующаяся тем, что любое поперечное сечение изделия становится больше, чем сечение предварительно вытянутой полый заготовки.

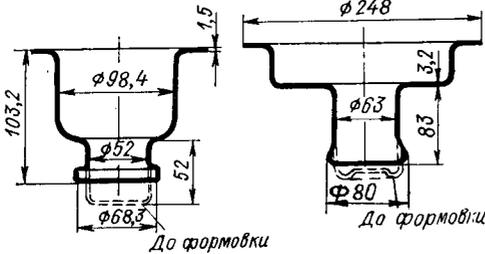


Рис. 128. Детали, полученные внутренней гидравлической формовкой

В производстве встречаются случаи, когда на полых изделиях требуется получить различного рода выпуклости, впадины, орнаменты и т. д. Все это требует применения операции формовки. Штампы для формовки изнутри (выпучивания) имеют разъемную матрицу и разжимное (механическое, жидкостное, резиновое, полиуретановое или какое-нибудь другое) эластичное устройство в качестве пуансона. Формовка может производиться на кривошипных прессах простого и двойного действия, а также на гидравлических прессах. На рис. 128 показаны детали, полученные внутренней гидравлической формовкой.

Обжим

Обжим представляет собой операцию, при помощи которой производится уменьшение поперечного сечения открытого конца предварительно вытянутого полого изделия или трубы. Широко применяется эта операция в гильзовом производстве.

При обжиме открытый конец (предварительно обрезанной) полый заготовки или трубы вталкивается в воронкообразную рабочую часть матрицы, имеющую форму готового изделия или промежуточного перехода (рис. 129, а).

При обжиме деформируемая часть заготовки находится в объемно-деформированном состоянии: в меридиональном и в окружном направлениях происходит сжатие  $\epsilon_p$  и  $\epsilon_\theta$ , а в радиальном направлении (перпендикулярном образующей) происходит растяжение  $\epsilon_n$  кольцевых элементов полый заготовки.

Напряженное состояние при обжиме также будет объемное— всестороннее неравномерное сжатие  $\sigma_p$ ,  $\sigma_\theta$  и  $\sigma_n$ . Но так как внутренняя поверхность полый заготовки не нагружена при обжиме,

а  $\sigma_n$  при относительно тонкостенной заготовке мало по сравнению с  $\sigma_p$ , то можно принять, что схема напряженного состояния при обжиге будет плоской — двухосное сжатие — в меридиональном  $\sigma_p$  и в окружном  $\sigma_\theta$  направлениях; вследствие этого происходит некоторое утолщение стенки у края изделия.

Величину утолщения можно определить по формуле

$$s_1 = s \sqrt{D/d} = s \sqrt{1/K_{обж}}, \quad (375)$$

где  $s$  — толщина стенки заготовки до обжига;  $s_1$  — толщина стенки у края изделия после обжига;  $D$  — диаметр полой заготовки;  $d$  — диаметр готового изделия (после обжига);  $K_{обж}$  — коэффициент обжига.

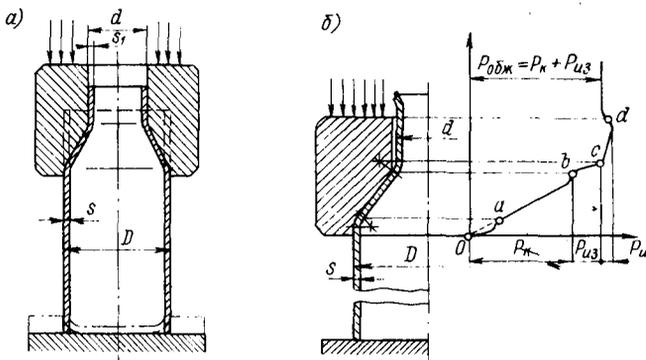


Рис. 129. Схема обжига полых цилиндрических заготовок

В зависимости от соотношения диаметров  $D$  и  $d$  обжим можно осуществить в одну или несколько операций; критерием для этого служит  $K_{обж}$ . Последний представляет собой отношение диаметра изделия в обжатой его части к диаметру заготовки

$$K_{обж} = d/D. \quad (376)$$

При этом для первой операции обжига  $K_{обж} = d_1/D$ , а для последующих  $K'_{обж} = d_n/d_{n-1}$ . Следует отметить, что для тонких материалов ( $s < 1,5$  мм) соотношение диаметров считают по наружным размерам их ( $D, d_1, d_{n-1}$  и  $d_n$ ), а для более толстых — по средним размерам ( $D_{ср}, d_{1ср}, d_{n-1ср}$  и  $d_{нср}$ ).

Коэффициенты обжига (средний) составляют для стальных изделий 0,85—0,90; для латунных и алюминиевых 0,80—0,85.

Предельным коэффициентом обжига  $K_{обж. пред}$  считают такой, при котором начинается потеря устойчивости заготовки и образование на ней поперечных и продольных складок. Предельный коэффициент обжига зависит от рода материала, величины

коэффициента трения и от угла конусности обжимной матрицы. Аналитически его можно определить из зависимости [1; 32]

$$K_{\text{обж. пред}} = 1,3 \left[ 1 - \frac{\sigma_T}{\Pi} \left( \sqrt{1 + \frac{2\Pi}{\sigma_T} \frac{\cos \alpha}{1,1(1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha)}} - 1 \right) \right], \quad (377)$$

где  $\sigma_T$  — предел текучести материала;  $\Pi$  — линейный модуль упрочнения;  $\mu$  — коэффициент трения, равный  $0,2 \div 0,3$ ;  $\alpha$  — угол конусности матрицы.

Оптимальный угол конусности матрицы при хорошей смазке и чистой поверхности заготовки составляет  $12\text{—}16^\circ$ , при менее благоприятных условиях трения —  $20\text{—}25^\circ$ . При указанных оптимальных углах конусности матрицы  $K_{\text{обж. пред}}$  получается на  $10\text{—}15\%$  меньше среднего.

Число обжимов  $n$  можно определить по формуле

$$n = \frac{\lg d - \lg D}{\lg K_{\text{обж. ср}}}. \quad (378)$$

При этом предполагается обязательным отжиг между операциями обжима. При расчете рабочей части штампа следует учитывать, что размеры детали после обжима увеличиваются вследствие распруживания на  $0,5\text{—}0,8\%$  от номинальных размеров.

Для предотвращения образования складок при обжиме внутрь заготовки вводится расправочный стержень. Обжим производится на кривошипных и гидравлических прессах. Усилие обжима состоит в основном из двух слагаемых: усилия для самого обжатия в конической части матрицы  $P_k$  и усилия для изгиба (поворота) обжатой кромки заготовки до упора в цилиндрический поясok матрицы  $P_{\text{из}}$ .

На рис. 129, б показана диаграмма усилие—ход пуансона, состоящая из нескольких участков. Начальный участок  $Oa$  соответствует подгибке кромки заготовки на угол конусности матрицы, весь участок  $Ob$  — усилию  $P_k$ , участок  $bc$  — усилию  $P_{\text{из}}$ . На всем протяжении участков от  $O$  до  $c$  усилие обжима возрастает довольно интенсивно; на участке же  $cd$ , соответствующем скольжению кромки заготовки по цилиндрическому пояску матрицы, усиление обжима  $P_{\text{ц}}$  возрастает незначительно. По выходе заготовки из матрицы усилие несколько падает — оно становится равным усилию при установившемся процессе обжима  $P_{\text{обж}}$ .

Усилие для обжима можно определить по формуле [1]

$$P_{\text{обж}} = P_k + P_{\text{из}} = \frac{\pi D s}{2} \left( 1 - \frac{d}{D} \right) (1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha) \left[ \sigma_{T0} + \left( 1 - \frac{d}{D} \right) \times \right. \\ \left. \times \frac{\Pi}{2} \right] \left( 1 + \frac{1}{\sqrt{\frac{d}{D}}} \right) (3 - 2 \cos \alpha), \quad (379)$$

где  $\sigma_{T0}$  — экстраполированный предел текучести, равный  $\frac{\sigma_B (1 - 2\psi_B)}{(1 - \psi_B)^2} \approx \sigma_B$ .

При работе на кривошипных прессах, учитывая скоростной коэффициент  $\alpha_v = 1,10 \div 1,15$ , найденное по формуле (379) усилие следует увеличить на 10—15%.

### Раздача

Операция раздачи предназначена для увеличения диаметра краевой части полой цилиндрической заготовки или трубы и осуществляется с помощью конического пуансона. Раздачей, в частности, производится закатка краев в штампе.

При раздаче со сжатием, осуществляемой коническим пуансоном, схема деформированного состояния зоны пластической деформации объемная: в меридиональном направлении происходит сжатие  $\epsilon_p$ , в окружном направлении — растяжение кольцевых элементов заготовки  $\epsilon_\theta$ , а в радиальном (перпендикулярном образующей) — также сжатие  $\epsilon_n$ .

Напряженное состояние будет плоская: сжатие в меридиональном  $\sigma_p$  и растяжение в окружном направлении  $\sigma_\theta$ ;  $\sigma_n = 0$ , так как внешняя поверхность заготовки не нагружена. Раздача с растяжением производится путем протягивания пуансона через полую заготовку, удерживаемую с помощью предварительно полученного фланца. При этом способе раздачи меридиональные напряжения также будут растягивающие.

Степень деформации при раздаче определяется отношением диаметра полой заготовки (трубы)  $d$  к диаметру растянутой краевой ее части  $D$  или коэффициентом раздачи  $K_{\text{разд}} = d/D$ ; при этом по краю изделия должны отсутствовать трещины. Коэффициент раздачи зависит от механических свойств материала, состояния кромок заготовки, от относительной толщины полой заготовки ( $s/d$ ) 100 ( $s$  — толщина трубы) и от способа проведения операции раздачи. Коэффициент раздачи  $K_{\text{разд}}$  составляет 0,75—0,85 для алюминиевых сплавов АМг-М и Д16Т; 0,70 для стали 20 и 0,73 для нержавеющей стали 12Х18Н9Т [15]. Наименьшая толщина у края заготовки составляет  $s_1 = s \sqrt{K_{\text{разд}}}$ ; наивыгоднейший угол — от 10 до 30°.

Предельным коэффициентом раздачи  $K_{\text{разд. пред}}$  считают такой, при котором начинается потеря устойчивости недеформированной части исходной заготовки и начало образования на кромке небольших (допустимых) продольных трещин.  $K_{\text{разд. пред}}$  может быть на 10—15% меньше, чем  $K_{\text{разд}}$ .

Операция раздачи (также и обжима) может быть осуществлена и с подогревом заготовки; коэффициент раздачи  $K_{\text{разд}}$  может быть на 20—30% меньше, чем при раздаче без подогрева. Оптимальные температуры нагрева при раздаче (обжиге) примерно такие же, как и для вытяжки с подогревом фланца (см. § 56). Раздача заготовок в штампах может производиться на механических и гидравлических прессах.

Усилие для раздачи можно определить аналитически из зависимости [1]:

$$P_{\text{разд}} = \pi d s \sigma_s \left[ \left( 1 + \frac{\mu}{\operatorname{tg} \alpha} \right) \left( \frac{R}{r} - 1 \right) + \sqrt{\frac{2s}{R}} \sin \alpha \right] (3 - 2 \cos \alpha). \quad (380)$$

Усилие  $P_{\text{разд}}$  можно также определить и по упрощенной формуле предложенной М. Н. Горбуновым [15, 32]

$$P_{\text{разд}} = \pi d s \sigma_{\text{ср}} c = \pi d s \sigma_{\text{в}} c, \quad (381)$$

где  $c$  — коэффициент, зависящий от коэффициента раздачи; при  $K_{\text{разд}} = 0,90 \div 0,70$   $c = 0,40 \div 1,0$ .

## Раздел четвертый

# КОМБИНИРОВАННЫЕ И ШТАМПО-СБОРОЧНЫЕ ОПЕРАЦИИ. РАЗЛИЧНЫЕ ВИДЫ ШТАМПОВКИ И ОБРАБОТКИ ЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА

## Глава 17. КОМБИНИРОВАННЫЕ И ШТАМПО-СБОРОЧНЫЕ ОПЕРАЦИИ

### § 65. КОМБИНИРОВАННАЯ ШТАМПОВКА

Для увеличения производительности, уменьшения количества штампов и прессов вместо обычной раздельной штамповки применяется комбинированная штамповка, заключающаяся в объединении нескольких операций в одну в одном и том же штампе. По этому принципу можно объединить как несколько операций одной и той же группы (отрезка и пробивка и т. д.), так и несколько операций различных групп (отрезка и гибка, вырубка и вытяжка, вытяжка и формовка, вырубка, пробивка, вытяжка, отбортовка и т. д.).

Объединение операций можно осуществить либо в штампах последовательного действия, в которых все необходимые операции (переходы) производятся последовательно, на протяжении нескольких ходов прессы, но при установившемся режиме за каждый ход прессы получается готовая деталь, либо в штампах совмещенного действия, в которых все операции производятся одновременно, за каждый ход прессы. Иногда объединение операций производится по тому и другому принципу: в начале процесса последовательной штамповкой, а в конце — совмещенной штамповкой.

В зависимости от габаритных размеров деталей и наличия прессов требуемого усилия применяется однорядная или многорядная комбинированная штамповка. Комбинированной штамповкой получают как плоские детали, применяя только разделительные операции, так и пространственные, используя формоизменяющие операции.

На рис. 130 приведен пример комбинированной последовательной штамповки из полосы деталей сепаратора подшипников.

Деталь получается за четыре перехода: при первом производится пробивка центрального отверстия и периферийных отверстий, служащих в дальнейшем для фиксации ленты; при втором — пробивка 14 отверстий малого диаметра; при третьем — пробивка

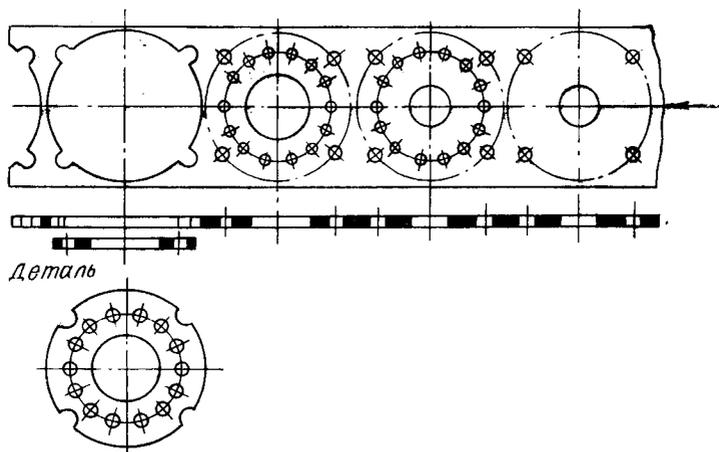


Рис. 130. Комбинированная последовательная штамповка плоских деталей из полосы

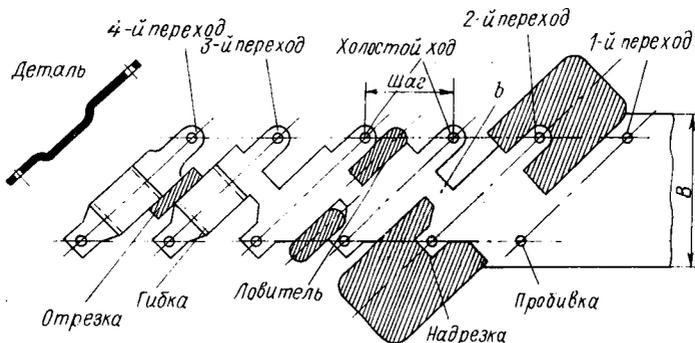


Рис. 131. Комбинированная последовательная штамповка гнутых деталей — скобы с отогнутыми лапками

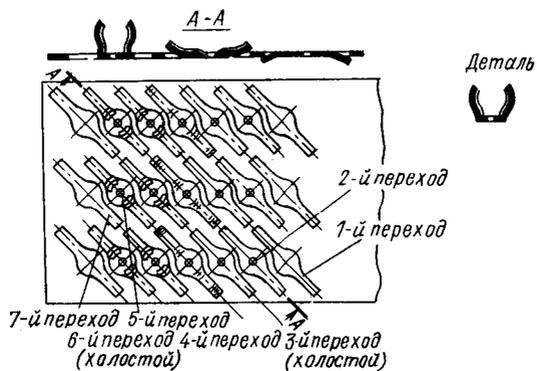


Рис. 132. Комбинированная последовательная трех-  
рядная штамповка гнутых деталей типа клеммы

центрального отверстия для будущей детали; при четвертом — вырубка наружного контура детали. Работа производится с автоматической подачей материала и с помощью ловителей. Необходимость применения последовательной штамповки вызывается тем, что расстояние между отверстиями мало и это не позволяет использовать совмещенную штамповку.

На рис. 131 и 132 показаны примеры последовательной штамповки пространственных деталей, получаемых вырубкой и гибкой. Скоба с отогнутыми лапками получается за четыре перехода (рис. 131). За первый переход пробиваются два отверстия, за второй — полоса обрезается с двух сторон в соответствии с формой

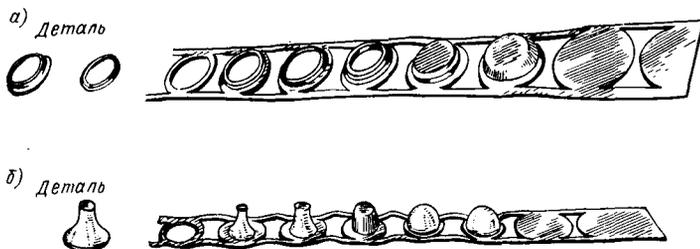


Рис. 133. Комбинированная последовательная штамповка полых деталей в ленте

лапок скобы, причем для связи заготовки с лентой оставляют необходимую перемычку *b*. Полученные в ленте прямоугольные вырезы используются в дальнейшем — при холостом ходе — для фиксации ленты ловителями. На третьем переходе происходит гибка скобы, а на четвертом — разрезка соединительной перемычки (отрезка готовой детали).

Последовательность штамповки клеммы в три ряда (рис. 132) следующая: за первый переход производится надрезка язычков клеммы во всех трех рядах, за второй переход — пробивка отверстия; третий переход холостой. На четвертом переходе осуществляется предварительная гибка концов, на пятом — окончательная гибка. Шестой переход холостой, а на седьмом переходе производится отрезка трех готовых деталей.

Примеры последовательной штамповки — вытяжки с вырезкой перемычек приведены на рис. 133. Сочетанием вытяжки, формовки, пробивки и вырубки получают из ленты детали типа полых колец (рис. 133, *a*); сочетанием вытяжки, формовки, калибровки и вырубки — конические детали (рис. 133, *б*).

Введением дополнительной операции отбортовки последовательной штамповкой можно получить детали типа втулок с фланцем, а также другой формы.

Достоинством комбинированной штамповки в последовательных штампах является возможность получения изделий любой

сложности при достаточной прочности и стойкости рабочих частей штампа. Недостатком этого метода является недостаточная точность штамповки, вызванная погрешностями при подаче полосы.

Комбинируемая последовательная штамповка применяется, таким образом, для изготовления плоских, гнутых и полых деталей с размером до 150 мм 5—7-го классов точности.

Широкое применение получила и комбинируемая совмещенная штамповка, осуществляемая на совмещенных штампах. Таким способом детали получают как в результате объединения разделительных операций, например вырубки и пробивки, так и путем объединения разделительных и формоизменяющих операций, например вырубки и вытяжки, вытяжки и формовки и др. Комбинируемая совмещенная штамповка применяется для деталей с наибольшим размером до 6000 мм (лонжерон рамы автомобиля, детали кузова и щитков автомобиля) и может обеспечить 3—5-й классы точности.

Конструкции штампов для осуществления указанных комбинируемых операций приведены в шестом разделе книги.

#### § 66. ШТАМПО-СБОРОЧНЫЕ ОПЕРАЦИИ И ШТАМПО-СВАРНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Большое применение в листовой штамповке получили операции сборки различных деталей. Сборку листовых деталей можно осуществить либо механическим способом при помощи сборочных штампов на кривошипных (эксцентриковых) прессах, либо холодной пластической сваркой или электросваркой. Собранные последним способом (обычно крупные) изделия получили название штампо-сварных конструкций.

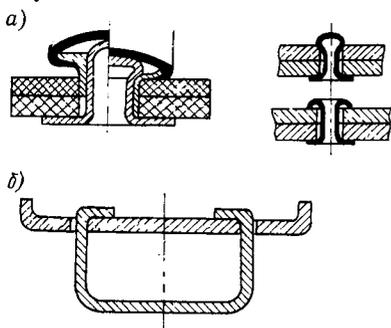


Рис. 134. Способы сборки — соединения листовых деталей штамповкой

#### Сборка листовых деталей штамповкой

Методы сборки листовых деталей штамповкой основаны на применении операций гибки, отбортовки, обжима и их комбинации. Большинство из них дают довольно прочное неразъемное соединение. Формы деталей и способы соединения их могут быть различные: соединения двух плоских, согнутых или вытянутых деталей между собой; соединение листовой детали со стержнем путем его расклепки или с точеной втулкой путем развальцовки и др.

На рис. 134 показаны способы сборки соединения двух металлических и неметаллических плоских деталей при помощи пустотелых заклепок (а), изогнутых деталей — посредством отгиба лапок (б).

## Сборка (соединение) листовых деталей холодной пластической сваркой

Сущность этого метода состоит в том, что две листовые детали, предназначенные для соединения, помещают между двумя пуансонами и при их перемещении под действием соответствующих сил они вдавливаются в металл и вынуждают его течь под торцовыми — рабочими поверхностями пуансонов в стороны. В процессе этого течения происходит сращивание материала обеих деталей, и в зоне пластической деформации образуется цельнометаллическое соединение.

Таким способом можно соединять — сваривать алюминий с алюминием, медь с медью, алюминий с медью и латунью, медь с никелем, серебро с медью, никель с никелем, а также алюминиевые сплавы АМц, АМг, Д1 (отожженные), свинец и цинк, каждый между собой. Толщина материала может быть 1,5—10,0 мм [32].

Наибольшая прочность холодной сварки, как показал И. Б. Баранов [см. 32], получается при обжатии (относительном уменьшении толщины) на 70—85%. Ослабление сечения в месте сварки частично компенсируется упрочнением металла. Давление, необходимое для сварки, зависит от рода материала и от требуемой степени деформации. Например, для алюминия толщиной 10 мм при степени деформации 80% давление составляет 850 МПа.

Холодная сварка может осуществляться и несколькими пуансонами, что увеличивает производительность. Можно сваривать также встык и роликами.

Для успешного проведения процесса холодной сварки соприкасающиеся поверхности листовых деталей перед сваркой должны быть тщательно очищены и обезжирены, что лучше всего достигается при помощи быстро вращающейся стальной щетки (800—900 об/мин) или промывкой бензином.

### Штампо-сварные конструкции

В машиностроении, вагоностроении, в автотракторной промышленности средние и крупные детали сложной формы обычно изготавливаются из литых и кованных заготовок с последующей обработкой на станках резанием. Изготовление деталей указанным способом является трудоемким процессом. Кроме того, сами детали получаются довольно тяжелыми, расход металла — значительным в связи со снятием на стенках больших припусков, оставляемых при литье. В настоящее время применяют более прогрессивные методы получения деталей — заменяют литые и кованные детали штампованными и штампо-сварными.

На рис. 135, *а* показан рычаг, изготовленный из двух штампованных половин, соединенных точечной сваркой, а на рис. 135, *б* — штампо-сварной ролик гусеничного трактора. Применение штампо-сварной конструкции вместо литой дало экономию стали на 38% и снизило станочную обработку на 90%.

Отдельные узлы и штампованные детали кузовов, кабин легко-вых и грузовых автомобилей, автобусов и троллейбусов собирают электроконтактной сваркой (рис. 135, в). Узлы и детали рам для двигателей, станин прессов и станков, сельскохозяйственных

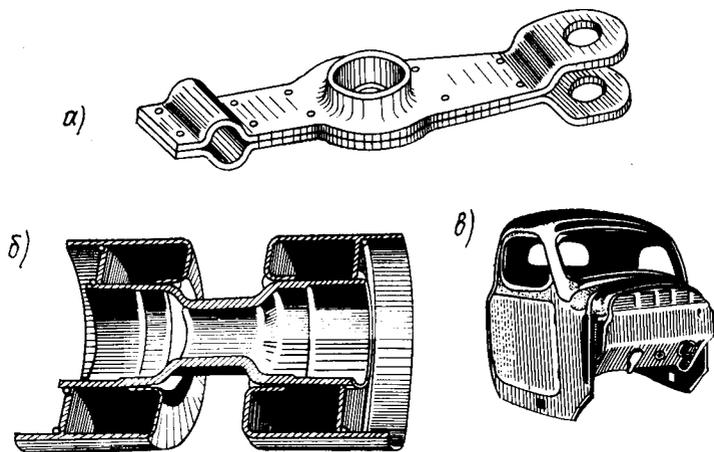


Рис. 135. Штампо-сварные конструкции

машин и химических аппаратов получают сочетанием штамповки с электродуговой сваркой.

Замена литых и кованных деталей штампо-сварными снижает в среднем массу деталей по В. Т. Мещерину [см. 29] на 15—30% и уменьшает трудоемкость обработки их на станках на 30—40%.

В последнее время в нашей стране и за рубежом стали применять плазменную и микроплазменную сварки, которые позволяют сваривать тонколистовые детали (даже встык) толщиной до десятых долей миллиметра.

## Глава 18. ШТАМПОВКА ЛИСТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ В МЕЛКОСЕРИЙНОМ И ОПЫТНОМ ПРОИЗВОДСТВАХ

### § 67. ШТАМПОВКА РЕЗИНОЙ И ПОЛИУРЕТАНОМ

Применение холодной листовой штамповки связано с изготовлением сравнительно дорогой штамповочной оснастки. Поэтому холодная листовая штамповка оправдывает себя лишь при большом выпуске деталей, т. е. в массовом и крупносерийном произ-

водствах. В мелкосерийном и опытных производствах холодная листовая штамповка в случае применения обычных конструкций штампов экономически невыгодна. В настоящее время разработан ряд новых видов холодной листовой штамповки, экономически эффективных даже в мелкосерийном и опытных производствах.

Штамповка резиной и полиуретаном применяется как для разделительных операций — вырубки (вырезки) и пробивки (вырезки отверстия), так и для формоизменяющих операций из листового материала — гибки, вытяжки и формовки.

### Штамповка—вырезка металлов резиной

Резиной можно вырезать толщиной: алюминий до 1,5—2 мм, дуралюмин — до 1,3 мм и сталь — не более 1 мм. При вырезке наружного контура роль пуансона выполняет стальная пластина (шаблон-ширблок), а роль матрицы — резиновая подушка; при вырезке отверстий, наоборот, применяется стальная матрица и резиновый пуансон. С помощью резины можно также осуществлять одновременную (совмещенную) вырезку наружного контура и отверстия и комбинированные операции формовки и обрезки [32]. Резина при вырезке может быть использована без применения ограничителей по ее боковой поверхности, т. е. в свободном состоянии, или ее заключают в ограничивающий кожух (контейнер).

Минимальные размеры отверстий  $d_{\min}$ , вырезаемые (пробиваемые) резиной, зависят от давления  $q_{\text{рез}}$ , производимого резиной, и толщины материала  $s$ . При вырезке резиной отверстия в стальных листах толщиной  $s$  от 0,3 до 1,0 мм  $d_{\min}$  составляет 7—14 мм при  $q_{\text{рез}} = 8,5 \div 29,0$  МПа. При вырезке резиной отверстия в дуралюминиевых листах Д16М толщиной  $s$  от 0,5 до 1,3 мм  $d_{\min}$  составляет 19—51 мм при  $q_{\text{рез}} = 5,5 \div 13,0$  МПа. Для вырезки употребляется резина с пределом прочности  $\sigma_{\text{в}} = 3,0 \div 3,6$  МПа и с относительным удлинением  $\delta = 300 \div 400\%$ ; твердость на приборе ТМ-2 составляет 80.

Усилие, потребное для вырезки резиной (в Н), можно определить по формуле

$$P_{\text{рез}} = F_{\text{рез}} q_{\text{рез}}, \quad (382)$$

где  $F_{\text{рез}}$  — площадь заготовки (детали) с припуском, см<sup>2</sup>;  $q_{\text{рез}}$  — потребное давление резины, зависящее от рода и толщины вырезаемого материала, величины припуска и высоты шаблона, МПа [29; 32].

При вырезке небольших деталей штамповку резиной производят на винтовых фрикционных прессах, а при вырезке крупных деталей — на гидравлических прессах усилием до 50 000 кН.

## Штамповка — вырезка металлов полиуретаном

В последнее время в листовой штамповке вместо резины все шире стали применять полиуретан. Полиуретан — это синтетический каучук, получаемый на основе сложных полиэфиров. Он обладает высокими физико-механическими свойствами, большой износо-масло- и теплостойкостью, способностью выдерживать высокие давления (в закрытом контейнере до 1000 МПа).

Чаще всего используется полиуретан марок СКУ-6Л, СКУ-7Л, СКУ-ПФЛ и др., различающихся по своим механическим свойствам.

### Технические характеристики полиуретана

	СКУ-6Л	СКУ-7Л	СКУ-ПФЛ
Предел прочности при растяжении, МПа . . . . .	40	55—60	50
Относительное удлинение, % . . . . .	600	550	450
Твердость на приборе ТМ-2 . . . . .	60—65	80—85	90—95
Остаточная деформация сжатия, % . . . . .	2—3	4—6	12

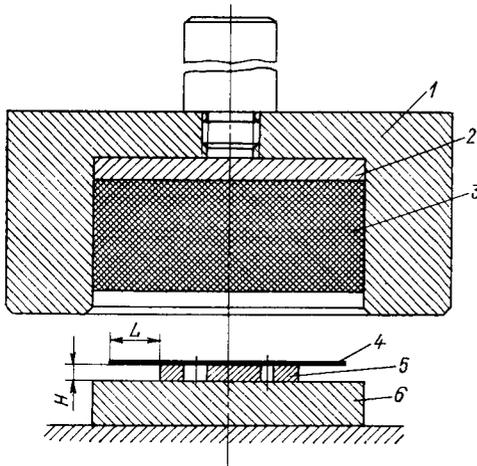


Рис. 136. Схема штампа (универсального контейнера) для вырезки деталей с помощью полиуретана

Стойкость матриц (пуансонов) из полиуретана во много раз выше резиновых. При помощи полиуретана можно вырезать листовый материал из алюминиевых сплавов толщиной до 2,5 мм а из стали (углеродистой, легированной, нержавеющей), латуни и бронзы толщиной до 1,5 мм.

На рис. 136 показана схема для вырезки деталей с помощью полиуретана. Штмп состоит из универсального контейнера 1, внутри которого запрессована полиуретановая подушка — пластина 3 марки СКУ-7Л или

СКУ-ПФЛ толщиной 25—30 мм. Для выпрессовки пластины в днище контейнера делается отверстие и устанавливается металлическая шайба 2 толщиной 5—10 мм.

На нижней подштамповой плите 6 устанавливается вырезной шаблон (пуансон) 5, на который укладывается штампуемый листовый материал 4. Конструкции универсальных блоков штампов для вырезки полиуретаном приведены в работе [37].

Вырезные шаблоны изготавливаются по контуру с размерами детали. Шаблоны толщиной (высотой  $H$ ) более 2—3 мм простой

конфигурации изготавливаются из инструментальной углеродистой стали марок У8, У8А, У10, У10А. Более тонкие и сложные шаблоны делают из легированной стали марок Х12, Х12М, Х12Ф1. Твердость после закалки составляет  $HRC$  56—63, шероховатость рабочей поверхности после шлифования  $R_a$  1,00—0,25.

При вырезке небольших деталей толщиной более 0,5 мм, особенно из высокопрочных материалов, рекомендуется делать вырезные шаблоны с углом поднутрения 15—20°, оставляя со стороны рабочей поверхности поясок под прямым углом высотой 1,0—1,5 мм. Угол поднутрения значительно облегчает съем готовой детали и процесс вырезки. Большое значение при вырезке деталей полиуретаном имеет высота вырезного шаблона, от которой зависит величина отхода материала и качество детали. Оптимальную высоту шаблона  $H$  (в мм) можно определить по формуле [48]

$$H = 3(1 + \delta_{10})\sqrt{s}, \quad (383)$$

где  $\delta_{10}$  — относительное удлинение материала (в отвлеченных единицах);  $s$  — толщина материала, мм.

Необходимый припуск материала  $L$  (в мм) при вырезке деталей с простым контуром определяется по формуле

$$L = 1,4H + (H + s)/\mu, \quad (384)$$

где  $\mu$  — коэффициент трения между листовой заготовкой и подштамповой плитой ( $\mu = 0,20$ ).

При вырезке деталей с криволинейным контуром величина припуска определяется по формуле

$$L = 1,4H + \frac{H(2R \pm H)}{2\mu(R \pm H)}, \quad (385)$$

где  $R$  — радиус кривизны контура детали.

В формуле (385) знак плюс берется для выпуклого, а знак минус — для вогнутого контура детали.

Давление, необходимое для вырезки детали по контуру,  $q$  (в МПа) зависит от физико-механических свойств материала, его толщины и высоты вырезного шаблона. Для выпуклого или вогнутого криволинейного участка давление вырезки пластичного материала определяется по формуле

$$q = \frac{2R\sigma_B}{H(2R \pm H)}, \quad (386)$$

а для прямолинейного участка (при  $R \rightarrow \infty$ ) по формуле

$$q = \sigma_B/H. \quad (387)$$

В формулах (385) и (386) значения  $s$ ,  $R$  и  $H$  берут в мм; перед буквой  $H$  в формуле (386) знак плюс следует брать для выпуклого, а знак минус — для вогнутого контура детали.

Для вырезки отверстия небольшого диаметра  $d$  (в мм)

$$q = 3s\sigma_b/d, \quad (388)$$

а для вырезки небольших пазов с размерами  $a$  и  $b$  (в мм)

$$q = \frac{2s(a+b)\sigma_b}{ab}. \quad (389)$$

При вырезке полиуретаном используются как механические, так и гидравлические прессы. Последние подбираются по усилию и по габаритным размерам штампа (контейнера).

#### Штамповка — гибка листового материала полиуретаном

Гибка листового материала 2 проводится в универсальных полиуретановых матрицах (подушках) 3, запрессованных в контейнер 4, при помощи стальных пуансонов 1 (рис. 137). Гибка листового материала в универсальных матрицах значительно упрощает и удешевляет штамповочную оснастку, так как на одной

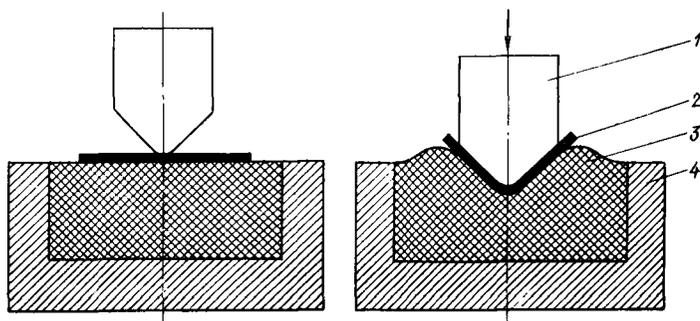


Рис. 137. Схема гибки в универсальных полиуретановых матрицах (подушках)

такой матрице можно производить гибку самых разнообразных деталей с различными углами и радиусами из материалов разной толщины. При этом необходимо изготавливать только пуансон.

При гибке полиуретаном на наружной поверхности деталей не остается никаких следов повреждений, что позволяет штамповать детали из полированных листов, а также из заготовок с различными защитно-декоративными покрытиями. Размеры полиуретановой матрицы зависят от конфигурации и габаритных размеров деталей. Ширина полиуретанового блока берется в два-три раза больше ширины контакта пуансона с полиуретаном и принимается обычно не менее 60 мм. При гибке в закрытом контейнере применяется полиуретан марок СКУ-7Л, СКУ-6Л.

На полиуретановых матрицах можно гнуть детали толщиной  $s \leq 2$  мм при  $\sigma_b \leq 600$  МПа и  $s \leq 4$  мм при  $\sigma_b \leq 300$  МПа.

В зависимости от твердости штампуемого материала глубина внедрения пуансона  $h$  и минимальная длина полки изгибаемой детали  $l$  должна быть равна  $r = (8 \div 14) s$ , а радиус гибки  $r \geq \geq 1,2s$ . Угол пружинения  $\gamma$  при относительном радиусе гибки  $r/s < 10-12$  можно определить по формуле (187) и по [48]

$$\gamma = \frac{3\sigma_b}{E} \left( \frac{r}{s} + \frac{1}{2} \right) \alpha, \quad (390)$$

где  $\sigma_b$  — временное сопротивление разрыву штампуемого материала, МПа;  $E$  — модуль упругости материала, МПа;  $r$  — радиус гибки, мм;  $\alpha$  — угол гибки, град.

Усилие гибки в закрытом контейнере  $P$  (в Н) определяется по формуле

$$P = kqF, \quad (391)$$

где  $q$  — давление, МПа;  $F$  — площадь полиуретановой матрицы под гибку, мм<sup>2</sup>;  $k$  — коэффициент запаса, равный 1,3.

Давление  $q$  определяется по формуле

$$q = \frac{0,55\sigma_b s^2}{l_0^3}, \quad (392)$$

где  $l_0$  — длина отогнутой полки без учета толщины материала и радиуса гибки, мм.

Гибку полиуретаном можно осуществлять как на механических, так и на гидравлических прессах. Работа ведется пинцетом с двуруким включением.

#### Вытяжка и формовка листового материала полиуретаном

Операции вытяжки и формовки с помощью эластичной среды — резины или полиуретана ведутся по двум принципиальным схемам: штамповка эластичной матрицей по жесткому (металлическому) пуансону и штамповка эластичным пуансоном по жесткой матрице [32, 37].

#### Расчет контейнеров

В зависимости от конфигурации штампуемой детали применяются контейнеры круглой, квадратной и прямоугольной формы. Расчет толщины стенки контейнера круглой формы  $s$  (в мм) определяют из соотношения наружного диаметра  $D_{нар}$  и внутреннего  $D_{вн}$  по формуле

$$\frac{D_{нар}}{D_{вн}} = \sqrt{\frac{[\sigma]_p}{[\sigma]_p - 2q}}, \quad (393)$$

где  $q$  — наибольшее давление, создаваемое в контейнере, МПа;  $[\sigma]_p$  — допускаемое напряжение на растяжение, МПа.

Расчет толщины стенки контейнера прямоугольной формы приведен в работе [37].

## § 68. ГРУППОВЫЕ МЕТОДЫ И ШТАМПОВКА ЛИСТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ ПО ЭЛЕМЕНТАМ

Для массового и крупносерийного производств характерна система индивидуальных технологических процессов, разрабатываемых на каждую из штампуемых деталей.

В условиях мелкосерийного и серийного производств с большой номенклатурой деталей такая система подготовки производства не может оправдать себя, так как это привело бы к необходимости иметь в обращении большое количество технологических процессов и штампов, что удлиняло и удорожало весь цикл производства. В этих условиях наиболее рациональной формой построения технологических процессов является групповая штамповка деталей с использованием универсальных групповых блоков и штампов и поэлементная штамповка.

Метод групповой обработки деталей был предложен и научно обоснован С. П. Митрофановым [61].

В настоящее время имеются четыре направления развития группового метода холодной листовой штамповки деталей: 1) групповой метод комплексной штамповки деталей; 2) штамповка по элементам и ее разновидности; 3) штамповка на универсально-гибочных прессах и станках; 4) штамповка на прессах с револьверной головкой типа ПКР-1, «Видематик» и др.

### Групповая штамповка листовых деталей

Сущность групповой обработки состоит в том, что все детали, предназначенные для штамповки, распределяются на группы, сходные по своим конструктивным и технологическим признакам. Детали каждой из этих групп могут обрабатываться на однотипном оборудовании универсальными штампами и блоками со сменными рабочими частями — наладками, а также при общей настройке пресса.

Групповой метод штамповки может применяться для получения как плоских, так и пространственных деталей. Объединение деталей в группы увеличивает размеры обрабатываемых партий, поэтому для изготовления их могут быть применены те же высокопроизводительные методы штамповки, что и в условиях массового и крупносерийного производств, с использованием таких же средств механизации и автоматизации процессов штамповки.

Для осуществления групповой штамповки требуется проведение предварительной работы, включающей следующие этапы: 1) классификация деталей и распределение их на классы и группы; 2) разработка технологических процессов для групп деталей; 3) проектирование универсальных штампов, универсальных блоков и сменных пакетов (наладок) к ним; 4) организация всех этапов производства по внедрению группового метода.

При разработке технологического процесса для групповой штамповки следует иметь в виду, что группа является основной

технологической единицей, в которую входят технологически однородные детали. При этом основными признаками, по которым детали относятся к той или иной определенной группе, являются следующие: характеристика и конфигурация деталей; габаритные размеры; вид и форма заготовки; серийность штампуемых деталей; общность технологических процессов и приемов обработки деталей; тип и мощность имеющегося штамповочного оборудования.

В зависимости от указанных выше признаков все штампуемые детали разбивают на классы и группы (часто на подклассы и на подгруппы), число которых устанавливают в соответствии с номенклатурой штампуемых деталей.

За основу классификации деталей наиболее рационально принять технологический признак их получения с учетом конструктивных или иных признаков — оборудования, оснастки и др. В результате получаем четыре класса деталей: плоские, гнутые, полые (вытяжные), формовочные. Каждый класс разбивается на группы (и на подгруппы). Например, в условиях машино- и приборостроения плоские детали разбиты на девять групп; гнутые — также на девять; вытянутые — на семь; формовочные — на восемь групп.

На основании такой классификации каждой детали присваивается условное обозначение (шифр) — семизначный, который охватывает технологические, конструктивные и другие признаки детали. Это позволяет иметь ключ для быстрого нахождения по спецификационным ведомостям в классификаторе деталей, изготовляемых в холодноштамповочном цехе, а в дальнейшем и материалы для автоматизации технологической подготовки листоштамповочного производства. Для каждой классификационной группы составляется карта группового технологического процесса, в которой дается размер заготовки и способ ее получения, наименование операций и переходов, эскиз детали, полученной на данной операции, шифр штампа, пакета или наладки, тип оборудования, норма времени и расценка на каждую деталь и другие

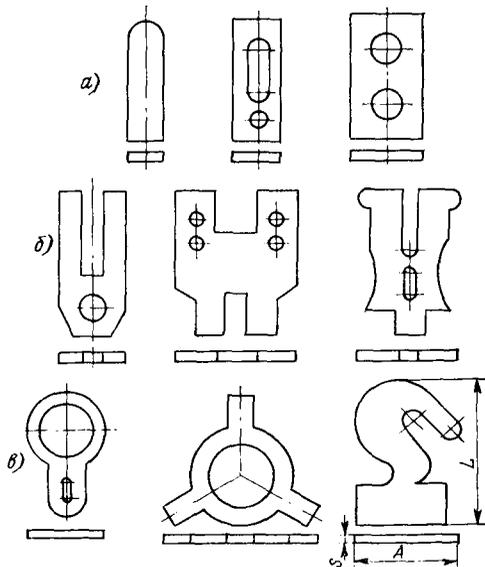


Рис. 138. Разбивка некоторых однородных плоских деталей одного подкласса, изготавливаемых последовательной или совмещенной вырубкой, на группы

данные. Карта является оперативным документом для планирования работ на отдельные прессы и на смену, а также для планирования загрузки оборудования.

На рис. 138 приведены некоторые однородные детали одного подкласса, изготавливаемые последовательной или совмещенной вырубкой, объединенные в три группы (а, б, в).

### Штамповка листовых деталей по элементам

Как известно, контур любой детали может быть образован из отдельных простейших элементов — прямых и кривых линий, окружностей. Различные сочетания этих элементов создают большое разнообразие деталей как по конфигурации, так и по размерам. Имея набор универсальных однооперационных штампов,

каждый из которых обрабатывает тот или иной элемент контура детали, можно отштамповать большое количество деталей различных типоразмеров. На этом принципе и построен процесс штамповки деталей по элементам из штучных заготовок, осуществляемых при помощи универсальных штампов, которые выполняют отрезные, пробивные, обрезные, гибочные и вытяжные операции.

На рис. 139, а, б и в показаны схемы последовательной поэлементной штамповки трех различных деталей, построенных из одинаковых элементов.

Заслуженный изобретатель РСФСР В. М. Богданов системати-

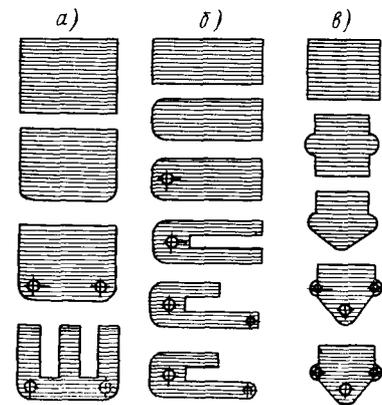


Рис. 139. Детали и последовательность их штамповки по элементам контура

зировал, разработал и внедрил метод штамповки по элементам из штучных заготовок деталей различной конфигурации. Для этого им разработаны оригинальные конструкции универсальных штампов, снабженных специальными делительными устройствами, установочными планками и упорами, которые обеспечивают повышенную точность штамповки—вырубки (4-го и даже 3-го класса точности) и быстроту переналадки их [9].

В настоящее время разработан целый комплекс высокопроизводительных универсальных быстропереналаживаемых технических средств для листовой штамповки деталей по элементам [10]. В комплекс входят шарнирные пресс-ножницы для точного раскроя тонколистового материала; пресс П-2 для штамповки типовых деталей малых размеров; подвижной контейнер с комплектом универсальных переналаживаемых штампов; многопозиционный пресс и комплект штампов со сменными рабочими элементами

к нему. Этот комплекс работает более производительно и эффективно, чем ранее созданные В. М. Богдановым громоздкие штамповочные линейки для поэлементной штамповки.

Разновидностью поэлементной штамповки из штучных заготовок является поэлементная штамповка методом обкатки, разработанным Г. Г. Урманосом [34]. Сущность метода заключается в том, что любой сложный профиль детали по наружному или внутреннему контуру можно получить путем последовательной обрубки (пробивки) плоским или круглым пуансоном, постепенно поворачивая заготовку (обкатывая ее по плоскому пуансону) относительно искусственной базы — штифта, на который своим отверстием надевается заготовка. Обкатка производится как с помощью шаблона, так и без него [34].

В качестве оборудования для поэлементной штамповки из штучных заготовок используются либо обычные кривошипные (эксцентрикковые), либо специальные кривошипно-шарнирные прессы, позволяющие более точно регулировать величину хода (в пределах 3—50 мм) прессы. Усилие, развиваемое прессом для штамповки материалов толщиной от 0,5 до 4—5 мм, составляет 40—200 кН.

Метод поэлементной штамповки успешно применяется и при изготовлении деталей средних и крупных размеров в машиностроении и судостроении. Межотраслевое головное КТБ ПТО «Союзтехоснастка» разработан унифицированный комплект групповых универсально-переналаживаемых штампов, при помощи которых из листов с размерами 1500×1000×2 мм можно штамповать — вырубать детали (или пробивать отверстия) с диаметром 2—200 мм или при гибке — загибке деталей с высотой полок 10—140 мм и при ширине их 10—200 мм [96].

В отличие от метода штамповки по элементам из штучных заготовок новатором А. М. Румянцевым был предложен метод штамповки по элементам из полосы, которая передвигается автоматически на заданный шаг штамповки. Начальная операция при этом методе штамповки — пробивка отверстий и надрезка части контура, а конечная операция — вырубка или отрезка от полосы. Для осуществления этого процесса А. М. Румянцевым разработаны и внедрены приспособления и штампы, позволяющие автоматически перемещать полосу. Установка для автоматизации подачи полосы разработана А. Ф. Львовым [81].

Процесс штамповки происходит следующим образом. В установленном на прессе приспособлении закрепляют штампуемую полосу. Включив автоматическую подачу полосы по заданному шагу, сменным штампом штампуют первый элемент детали. После штамповки первого элемента у всех деталей, раскроенных в полосе, полосу снимают и закрепляют в приспособлении следующую полосу и т. д. По окончании штамповки во всех полосах первого элемента сменный штамп снимают и заменяют его другим сменным штампом для штамповки второго элемента и т. д.

Отштамповав во всех полосах данной партии все элементы, имеющиеся в штампуемой детали, устанавливают штамп для вырубki всего контура детали или ее части.

На рис. 140 показаны два примера последовательной штамповки в полосе по методу А. М. Румянцева [81]. Планка с шестью отверстиями изготавливается однорядной штамповкой за семь операций I—VII (рис. 140, а), а диск с пятью отверстиями — двухрядной штамповкой (по 4 шт.) за двенадцать операций I—XII (рис. 140, б).

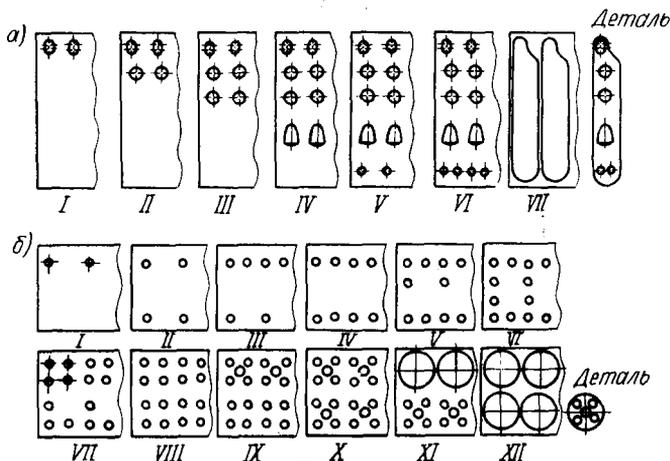


Рис. 140. Последовательность штамповки деталей по элементам в полосе

Методом полуавтоматической поэлементной штамповки можно изготавливать малогабаритные листовые детали из черных и цветных металлов толщиной до 1 мм из полосы или из заготовки длиной до 350 мм. Расстояние между каждым штампуемым элементом детали выдерживается с точностью до 0,5—0,10 мм. Точность получаемых деталей по 3—5-му классам по ГОСТу.

Для ускорения и качественного проектирования групповых технологических процессов и группового планирования применяют счетно-перфорационные и электронно-вычислительные машины. Последние позволяют значительно сократить работу по разбивке деталей на группы, установить оптимальное количество деталей, которое будет обрабатываться в групповом технологическом процессе. На этих же перфокартах можно пробивать шифры универсальных переналаживаемых штампов и универсальных блоков со сменными пакетами, необходимыми для штамповки комплексной детали для групповой обработки и каждого элемента детали при поэлементной штамповке [34].

## Штамповка по элементам на прессах с револьверной головкой

Для вырубки и пробивки различных отверстий, пазов в пластичных деталях типа каркасов, плат, панелей и др. с любым расположением отверстий относительно друг друга без разметки, в мелкосерийном производстве используются прессы с револьверной головкой. Эти головки имеют сменные матрицы и пуансоны, количество которых доходит до 36 комплектов. Прессы снабжаются свободно перемещающимися пантографами с устройствами для закрепления листов, с отсчетными линейками и оптическими микрометрами, а также с устройствами для закрепления на столе шаблонов, по которым производится пробивка отверстий или пазов в деталях. Координатно-револьверные прессы выпускаются отечественными и зарубежными предприятиями без программного управления и с программным управлением. Отечественные прессы с программным управлением выпускаются модели К-0126Б с усилием 400 кН при максимальных габаритных размерах заготовки 1200 × 1000 мм, а зарубежные типа «Видематик» фирмы «Видеман» (США) — моделей А-15—А-150 с усилием 150—1500 кН при максимальных габаритных размерах заготовки 3000 × 1800 × 12,7 мм. Точность (допуск) между центрами пробиваемых отверстий от  $\pm 0,15$  до  $\pm 0,30$  мм [80].

### § 69. ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ — ИМПУЛЬСНЫЕ МЕТОДЫ ШТАМПОВКИ ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА

При штамповке крупногабаритных деталей в мелкосерийном производстве, а также деталей сложной формы из высокопрочных и жаропрочных металлов (титановых сплавов, нержавеющей стали, сплавов на молибденовой основе и др.), изготовление которых обычным способом на прессовом оборудовании затруднительно, стали применять новые высокоэнергетические методы штамповки.

#### Штамповка листового металла взрывом

Штамповка взрывом может производиться в воздушной атмосфере и под водой — так называемая гидровзрывная штамповка. Изобретателями этих методов штамповки являются Р. В. Пихтовников и Ю. С. Навагин [73; 91]. Наибольшее применение в промышленности получила гидровзрывная штамповка.

Гидровзрывная штамповка основана на деформации листовой заготовки давлением ударной волны, образовавшейся при взрыве бризантных взрывчатых веществ (ВВ). Энергия, вызванная ударной волной, передается от передаточной среды к заготовке для ее деформирования в течение весьма короткого промежутка времени, и поэтому процесс деформирования характеризуется высокой скоростью движения металла. Так, время детонации ВВ составляет 20—30 мкс, скорость детонации (максимальная скорость распро-

странения взрыва) колеблется от 1800 до 3500 м/с, температура детонации развивается до 3900—5400° С, а максимальное давление при взрыве достигает 1575—2800 МПа [31]. Время деформации заготовки исчисляется миллисекундами, т. е. в сто раз больше, чем время детонации. Давление взрыва действует на заготовку лишь в начальный момент, после чего металл заготовки движется до соприкосновения с матрицей под действием приобретенной им кинетической энергии. По мере распространения ударной волны ее скорость и созданное ею давление довольно быстро затухает. Поэтому гидровзрывной штамповкой сразу получить глубокую вытяжку невозможно, а приходится применять двукратную взрывную штамповку.

При помощи гидровзрывной штамповки можно осуществлять различные технологические операции: вытяжку, формовку, образование фланца, раздачу, калибровку и даже вырубку и пробивку. Энергию взрыва также можно использовать для соединения двух или нескольких деталей, например при развальцовке труб, сварки отдельных частей или деталей машин, упрочнения металла.

Для случая гидровзрывной вытяжки и формовки работа формоизменения приближенно может быть найдена по формуле [91]

$$A = 0,91s\sigma_b f^2, \quad (394)$$

где  $s$  — толщина заготовки;  $\sigma_b$  — предел прочности металла заготовки;  $f$  — прогиб заготовки.

Масса сосредоточенного заряда  $G$  на первой операции определяется из зависимости, приведенной в работе [91], а на вторых операциях — по формуле

$$G = A/(4,5 \cdot 10^6 \eta), \quad (395)$$

где  $\eta$  — к. п. д., равный 15—20% на первой операции, 25—30% — на второй, 35—45% — на третьей операции.

Высота подвески заряда над заготовкой  $h$  должна приниматься равной 0,5—1,0 радиуса проходного сечения вытяжной матрицы. Увеличение высоты подвески уменьшает давление при взрыве и приводит к повышению массы заряда и, следовательно, габаритных размеров и стоимости бассейна. Однако при этом наблюдается равномерное утонение материала.

Оценку штампуемости материала при гидровзрывной вытяжке можно оценить коэффициентом вытяжки  $m = d_0/D_0$ , где  $D_0$  — максимальный диаметр заготовки, полностью вытягиваемой в отверстии матрицы диаметром  $d_0$  за одну операцию [50].

На рис. 141 показана зависимость коэффициента вытяжки от плотности заряда ВВ при гидровзрывной штамповке на кольцевой матрице (без деформирующей полости). Область I соответствует недостаточной массе заряда и неполной вытяжке; область II — полной вытяжке без разрушения металла; III — чрезмерной массе

заряда, при котором происходит разрушение заготовки. Общая для всех областей точка *A* соответствует предельному значению коэффициента вытяжки.

В зависимости от размеров и формы штампуемой детали взрывная штамповка осуществляется различными способами. При штамповке небольших деталей применяются закрытые штампы, которые могут быть установлены в стойках простого двустоечного пресса. Штамповка крупных деталей производится под водой в специальных стационарных установках — бассейнах, расположенных в подвалах или на поле — вдали от промышленных предприятий.

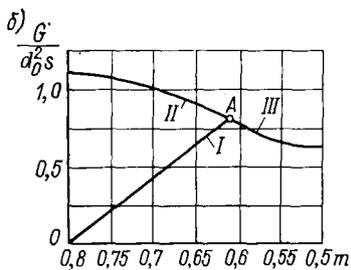
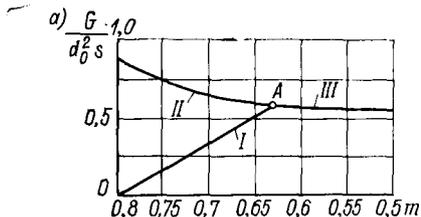


Рис. 141. Зависимость коэффициента вытяжки от плотности заряда ВВ: а — для Ст3 толщиной 1,75 мм; б — для стали 20X13 толщиной 2 мм

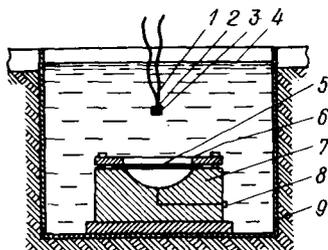


Рис. 142. Схема установки для вытяжки и формовки листовой детали взрывом под водой

На рис. 142 представлена установка для вытяжки и формовки (взрывом под водой) крупных чашеобразных деталей из листового металла. Штампуемую заготовку 5 укладывают на матрицу 7 и прижимают к ней фланец заготовки с помощью прижимного кольца 6. На определенном расстоянии над заготовкой помещают заряд ВВ, состоящий из детонатора 1, усилителя детонатора 2 и взрывного вещества 3. Матрицу с заготовкой и установленным над ней зарядом опускают в резервуар 9, наполненный водой 4. Часть энергии, высвобождаемой при взрыве заряда, передается через воду заготовке, которая под действием высокого давления деформируется, принимая форму матрицы. Для того чтобы воздух, находящийся между матрицей и заготовкой, не препятствовал ее перемещению, происходящему с большой скоростью, в нижней части матрицы делают вакуумный канал 8 для отвода воздуха.

В последнее время гидровзрывную штамповку стали осуществлять в подвижных бронекамерах, расположенных на поверхности земли. Размеры бронекамеры 3 × 4 м, высота около 3 м.

На рис. 143 изображена бронекамера конструкции Харьковского авиационного института [79]. Металлический корпус 2 передвигается на колесах 1 по направляющим. Крышка камеры 3 подвижная и может перемещаться вверх также по направляющим.

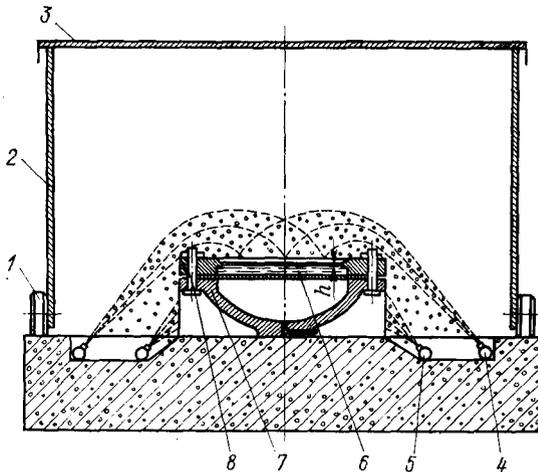


Рис. 143. Схема подвижной бронекамеры для гидро-взрывной штамповки листовых деталей

В центре бронекамеры установлена матрица 7 с прижимным устройством 8. Для уменьшения объема воды, наливаемой в штамп над заготовкой 6, используется плоский заряд ВВ.

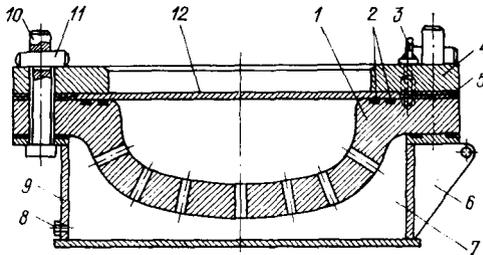


Рис. 144. Универсальная оснастка для гидро-взрывной штамповки дниц:

1 — формующая матрица; 2 — резиновые уплотнения; 3 — рым; 4 — прижимное кольцо; 5 — центрирующее кольцо; 6 — угольник; 7 — воздушный сборник; 8 — сливная пробка; 9 — корпус; 10 — палец; 11 — клин; 12 — заготовка

Для предохранения стенок бронекамеры при взрыве больших зарядов ВВ (больше 1 кг) применяется водяная завеса. Вокруг матрицы 7 уложены два трубопровода — коллектора 4 и 5 с большим количеством форсунок для интенсивного распыления воды.

Гашение воздушной ударной волны осуществляется сплошной завесой из водяных струй.

Оснасткой для гидровзрывной штамповки служит матрица, так как роль пуансона в этом процессе выполняет передаточная среда — вода, что значительно уменьшает трудоемкость изготовления оснастки. Матрицы могут быть литые из металлов, а также выполнены и из неметаллических материалов. При штамповке деталей из тонколистового материала применяются литые матрицы из чугуна, а для толстолистового материала — матрицы из стального литья. Оснастка из неметаллических материалов в основном выполняется из дерева, компаундов на основе эпоксидных смол и стеклопластика. Практикуется также изготовление железобетонной оснастки с облицовкой формирующей полости стеклопластиковыми.

На рис. 144 показана универсальная оснастка для штамповки днищ, изготовленная из стального литья.

#### Штамповка листовых деталей с помощью порохов и газовых смесей

Пороха и горючие газовые смеси используются в промышленности как для непосредственного деформирования листового металла, так и для приведения в движение рабочего инструмента в высокоскоростных машинах. В отличие от взрывной штамповки в этом случае происходит детонация, а процесс химического сгорания в окислителе, содержащемся в порохе и газовой смеси; сгорание происходит в замкнутых герметичных камерах. Скорость сгорания продуктов горения здесь в три раза меньше, чем при детонации ВВ, а время действия давления волны на заготовку значительно больше, оно измеряется уже миллисекундами.

Иногда использование порохов или газовых смесей более целесообразно, чем бризантных ВВ, например при формовке тонкостенных деталей из пластичных металлов, так как здесь лучше управлять процессом деформирования и автоматизировать его.

При штамповке деталей с помощью порохов, относящихся к категории метательных взрывчатых веществ, воздействие давления образовавшихся при сгорании пороховых газов может произойти как непосредственно на заготовку (например, для раздачи и калибровки полых деталей из заготовок цилиндрической, конической и бочкообразной форм), так и через передающую среду (воду, резину и др.). Наличие между зарядом пороха и листовой заготовкой передающей среды способствует более равномерному распределению давления по заготовке в процессе штамповки и предохраняет поверхность металла от повреждения и загрязнения пороховыми газами. Для осуществления этого процесса штамповки в отечественной промышленности применяются установки, называемые пресс-пушки (рис. 145). В этой установке пороховой заряд 2, размещенный в патроннике 3 казенной части ствола 7 и закрытого затвором 4, при спуске ударного механизма 1 проис-

ходит накол капсюля-воспламенителя порохового заряда, который и зажигается. При достижении в патроннике определенного давления предохранительная чека 5 срезается и снаряд-боек 6 под действием давления пороховых газов с большой скоростью перемещается по гладкому стволу и происходит удар по жидкости 9, находящейся в переходной втулке 10, соединенной со стволом центрирующей муфтой 8. Кинетическая энер-

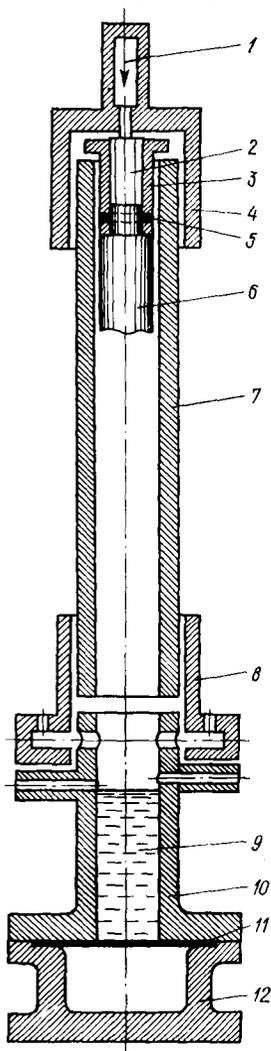


Рис. 145. Схема пресс-пушки для штамповки листовых деталей

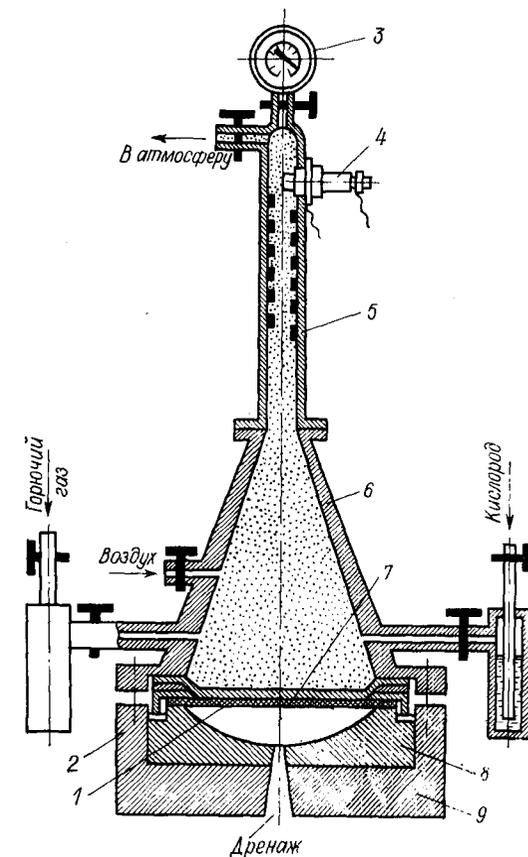


Рис. 146. Установка для штамповки с помощью горючих газовых смесей

гия движущегося бойка передается жидкости, которая и производит деформирование плоской заготовки 11, уложенной на матрицу 12. На таких установках [91] можно осуществлять различные формоизменяющие операции из листовой заготовки —

вытяжку, формовку, калибровку, пробивку и др., для чего только требуется сменить матрицу 12.

При газозрывной штамповке в камеру сгорания под давлением от отдельных источников вводится смесь, состоящая из кислорода с водородом или с природным газом (метаном). Соотношение составляющих газовой смеси регулируется впуском одного из инертных газов — азота, гелия, аргона или двуокиси углерода. При зажигании горючей смеси образуется давление газов, вследствие чего листовая штамповка в матрице деформируется и принимает ее внутреннюю форму. Установка для осуществления этого процесса (рис. 146) состоит из конической камеры 6, присоединенной к ней толстостенной трубки 5, служащей для инициирования взрывной волны, и резиновой диафрагмы 7, обеспечивающей герметизацию камеры в месте стыка ее с матрицей, установленной в контейнере 9. Контейнер матрицы и корпус взрывной камеры присоединяются друг к другу при помощи быстроразъемного устройства. Для пуска горючего газа и кислорода служит система трубопроводов, кранов и предохранительных клапанов, показанных схематически на рисунке. Смесь зажигается с помощью автомобильной свечи 4, соединенной проводами с источником тока высокого напряжения. Давление во взрывной камере при ее заполнении газовой смесью определяется манометром 3. Продувка взрывной камеры осуществляется азотом или чистым воздухом, поступающим по трубопроводам от компрессора или баллона высокого давления. Заготовка 1 перед штамповкой укладывается на матрицу 8 и прижимается к ее фланцу прижимным кольцом 2, при этом воздух из матрицы отсасывается. После штамповки контейнер с матрицей быстро отсоединяется от корпуса, выдвигается в сторону и готовая деталь удаляется из матрицы. Этот метод применяется для штамповки деталей из плоских, цилиндрических и конических заготовок. Штампы изготавливаются из металлов, имеющих повышенную теплопроводность.

В отдельных случаях для штамповки деталей из тонколистового металла в качестве энергоносителя используют сжиженные газы, помещенные в нетеплоизолированную емкость. Рабочее давление достигается благодаря быстрому испарению жидкого газа и переходу его в газообразное состояние. Так, при испарении 1 л жидкого азота, являющегося наиболее доступным газом, при 0° С образуется 650 л газа; происходит мгновенное испарение азота и вследствие увеличения давления в камере заготовка, расположенная в матрице, деформируется и принимает ее форму. Можно также использовать и сжиженный воздух.

#### Электрогидравлическая штамповка

Процесс электрогидравлической штамповки ЭГШ основан на использовании высоковольтных электрических разрядов в жидкости (передающей среде), создаваемых специальными установками.

Идея использования этого метода для технологических целей впервые была предложена Л. А. Юткиным [см. 91].

Установка для ЭГШ (рис. 147) состоит из источника питания 1, включающего в себя высоковольтный трансформатор *Тр* с выпрямителем 2, конденсаторных батарей 3, накапливающих энергию, шарового разрядника 5 с резистором 4, блока матриц 6, рабочих электродов 7, расположенных в резервуаре 8, наполненном водой, вакуумного насоса 9. Электрогидравлическая штамповка осуществляется как в открытых, так и закрытых емкостях — блоках.

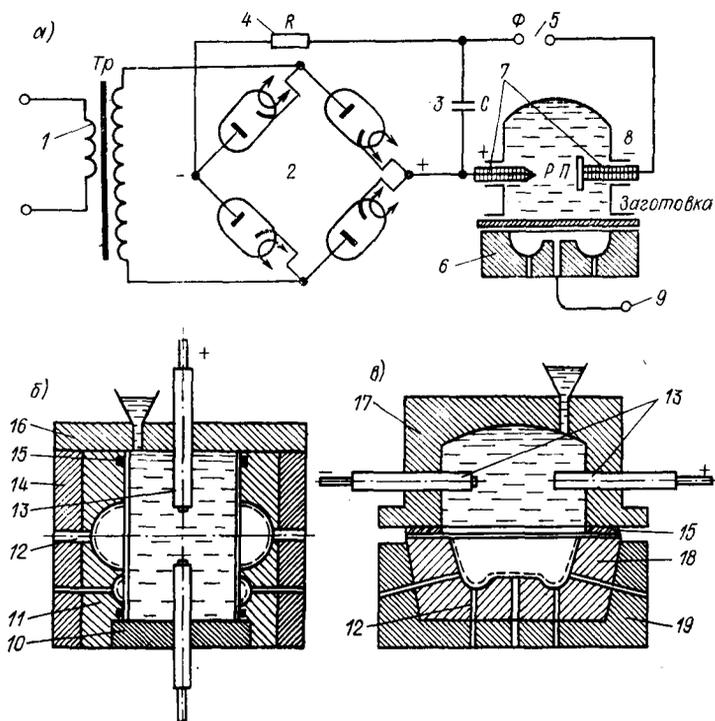


Рис. 147. Схема формообразования деталей электроискровым разрядом в жидкости: а — схема образования высоковольтного электроразряда в жидкости; б — блок для формообразования из полых заготовок; в — то же из плоских заготовок

электродов 7, расположенных в резервуаре 8, наполненном водой, вакуумного насоса 9. Электрогидравлическая штамповка осуществляется как в открытых, так и закрытых емкостях — блоках.

При высоковольтном электрическом разряде между электродами, помещенными в жидкость, возникает токопроводящий искровой канал, мгновенное расширение которого приводит к возникновению в жидкости ударной волны, которая, действуя на заготовку, деформирует ее по внутренней форме матрицы.

Для формовки деталей из трубчатых заготовок применяют блоки (рис. 147, б), а для вытяжки деталей из плоских заготовок — блоки, показанные на рис. 147, в.

Блоки состоят из нижней крышки 10, разъемной матрицы 11, вентиляционных каналов 12, электродов 13, обоймы 14, уплотнения 15, верхней крышки 16, резервуара 17, матрицы для вытяжки 18 и корпуса 19. Схема электрогидравлической штамповки из плоской заготовки в открытой емкости показана на рис. 148, а. Здесь матрица 2 с заготовкой 3 и прижимом 4 и 5 помещается внутри корпуса 1, заполненного рабочей жидкостью 6. Над заготовкой размещены положительные и отрицательные рабочие электроды 7, между которыми и осуществляется электрический разряд. Эта схема наиболее проста в конструктивном отношении,

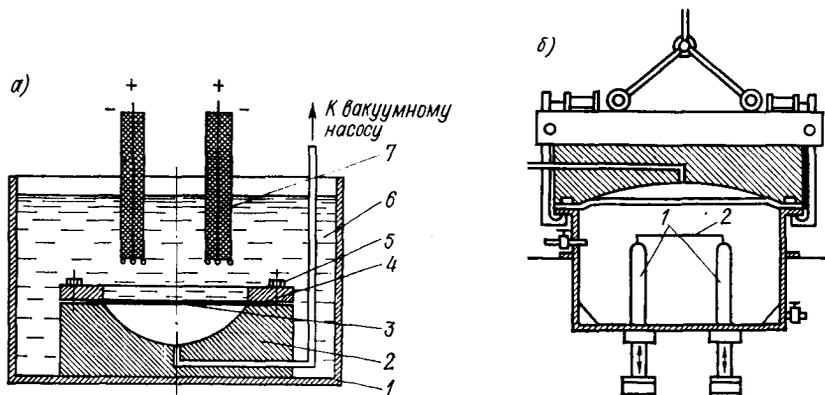


Рис. 148. Схема электрогидравлической штамповки

но обладает низким к. п. д. Более эффективной является схема формообразования в установках с замкнутым объемом (рис. 147, в), а также с нижним расположением электродов (рис. 148, б). Для повышения к. п. д. искрового промежутка между электродами 1 иногда их закорачивают между собой проводниками 2.

Электрогидравлическая штамповка имеет ряд преимуществ перед взрывной штамповкой: 1) лучшая управляемость процессом за счет варьирования количества импульсов и месторасположения разрядных контуров; 2) возможность плавного изменения энергии импульса; 3) возможность осуществления многократного разрядного импульса; 4) безопасность в работе и большие возможности для автоматизации процесса и включения установки ЭГШ в общую линию прессового оборудования.

В силу указанных достоинств электрогидравлическая штамповка успешно применяется как для формоизменяющих операций — вытяжки, формовки, калибровки, отбортовки, раздачи трубчатых деталей, так и для разделительных операций — вырубки и пробивки. Толщина штампуемых деталей из цветных металлов, стали и высокопрочных сплавов не превышает 4—5 мм, а габаритные размеры в плане до 500—600 мм и даже больше, до 1300—1800 мм.

### Магнитно-импульсная штамповка

Принципиальная схема установки для штамповки импульсным магнитным полем представлена на рис. 149. Основными узлами установки являются источник питания 1, накопитель энергии

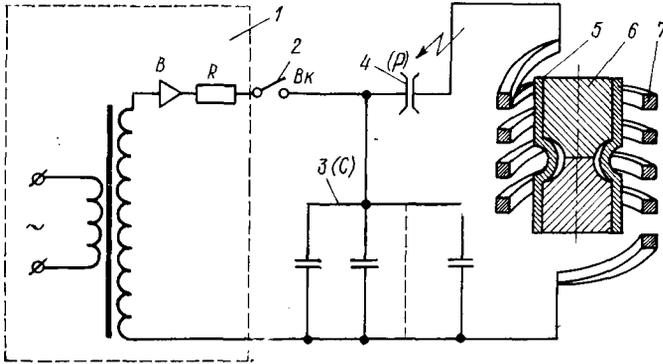


Рис. 149. Схема магнитно-импульсной штамповки деталей

гии — батарея импульсных конденсаторов 3 (С), коммутирующее устройство 2, шаровой разрядник 4 (Р) и индуктор 7, являющийся рабочим органом установки.

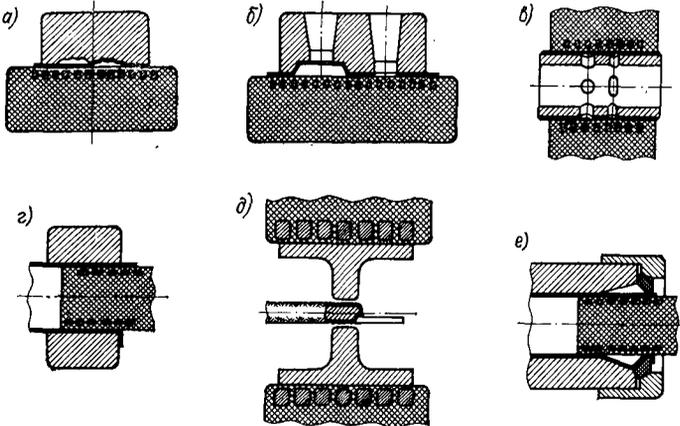


Рис. 150. Различные операции, выполняемые магнитно-импульсной штамповкой: а — формовка; б — пробивка и отбортовка; в — пробивка отверстий; г — сборка с развальцовкой; д — обжатие кабельных наконечников; е — раздача трубы и сборка с фланцем

При импульсном разряде электрического тока высокого потенциала на катушку — индуктор 7, в нем образуется мощное магнитное поле, которое, распространяясь, встречает на своем пути заготовку 5. Возникающие на поверхности заготовки вихревые

токи образуют свое магнитное поле, которое, взаимодействуя с первым полем, отталкиваются друг от друга. Если на пути движения заготовки установить матрицу или оправку *б*, то заготовка будет деформироваться и примет форму матрицы.

Этим методом штампуют детали из металлов и их сплавов, обладающих высокой электропроводностью (алюминий, медь и их сплавы), так как они допускают прямое формообразование. Деформирование заготовок из углеродистой и нержавеющей стали приходится осуществлять через передающую среду «спутники» из цветных металлов, помещаемые на обрабатываемую заготовку.

Электромагнитная штамповка применяется для штамповки деталей из плоских заготовок, для обжима и раздачи трубчатых заготовок, для получения на деталях пуклевок и рифтов, а также при пробивке отверстий в плоских и трубчатых деталях. На рис. 150 показаны различные операции, выполняемые этим способом.

В СССР выпускаются магнито-импульсные установки моделей МИУ-15, МИУ-20/1, МИУ-20/2, МИУ-20/3 и др. с максимальной запасаемой энергией 15—30 кДж и с напряжением заряда накопителя 5—20 кВ.

## § 70. ШТАМПОВКА С УЛЬТРАЗВУКОМ

Одним из новых прогрессивных способов листовой штамповки является штамповка с применением ультразвука, при котором обеспечивается эффективное устранение некоторых отрицательных явлений, имеющих место при обычной листовой штамповке. Этот способ штамповки применяется как для разделительных операций — вырубки и пробивки (металлических и неметаллических материалов), так и для формоизменяющих операций — гибки, вытяжки, формовки. Он может быть использован в мелкосерийном, а также и в крупносерийном производстве. Сущность этого способа состоит в том, что от специальных установок подаются ультразвуковые колебания (продольные, радиальные или крутильные) на пуансон, матрицу или на пуансон и матрицу одновременно, смонтированные в приспособленные специальные штампы, с расположением очага деформации в пучности смещений или в пучности напряжений стоячей волны ультразвука.

Как показали исследования [84], применение в листовой штамповке ультразвуковых колебаний позволяет снизить усилие деформирования, повысить предельную степень деформаций для вытяжных операций, обеспечить высокое качество штампуемых изделий и увеличить эффективность технологических смазок. С применением ультразвуковых колебаний процессы листовой штамповки сопровождаются разупрочнением, связанным с нагревом металла в очаге деформации, увеличением пластичности

фланца и упрочнением металла в опасном сечении — у донного закругления вытягиваемого полого изделия и с изменением условий трения на контактной поверхности штампа и заготовки.

При вырубке (пробивке) деталей из сталей 08кп, 12Х18Н10Т, У9 толщиной до 2—3 мм с применением ультразвука заготовки нагревались до 500—600 °С, усилие вырубки снизилось до 60—70%, шероховатость поверхности среза уменьшилась на два класса по сравнению с обычной вырубкой без ультразвука. Глубина внедрения пуансона в металл до появления скалывающихся трещин составляет  $(0,7 \pm 0,8) s$ . Этим способом обеспечивается возможность штамповки без нагрева даже хрупких и труднодеформируемых металлов, например серого чугуна толщиной 3 мм. Такая же картина получилась и при вырубке (пробивке) деталей из алюминия А2 и титана ВТ16 толщиной 2 и 1 мм.

При гибке с применением ультразвука Ст3, стали 45 и латуни Л63Т с относительным радиусом  $r/s = 3,5$  усилие гибки снизилось соответственно на 35, 95 и 90%; пружинение уменьшилось у стали 45 в 1,8 раза, а у латуни в 4,1 раза.

При вытяжке с применением ультразвука стали 12Х18Н10Т и титанового сплава ОТ4-1 наименьший коэффициент вытяжки  $m_{\text{пред}}$  представлял соответственно 0,35 и 0,43 вместо 0,46 и 0,52.

Эффективность использования ультразвука в листовой штамповке зависит от количества подведенной в очаг деформации ультразвуковой энергии; она тем больше, чем больше амплитуда колебания ультразвука.

## **Глава 19. РАЗЛИЧНЫЕ ВИДЫ ОБРАБОТКИ ЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА В ХОЛОДНОМ СОСТОЯНИИ**

### **§ 71. ГИБКА ЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА, ЗИГОВОЧНЫЕ И ПРОФИЛЕГИБОЧНЫЕ ОПЕРАЦИИ**

#### **Гибка листового материала на гибочных прессах**

В авто- и самолетостроении, а также в ряде других отраслей промышленности применяются детали средних и крупных размеров с гибкой по прямой линии при относительно малых радиусах загиба. Такие детали изготавливаются резкой на гильотинных ножницах и гибкой на универсально-гибочных станках. Последние представляют собой кривошипные (эксцентриковые) прессы с сильно вытянутой узкой станиной и таким же ползуном длиной

1,5—6,0 м; величина хода ползуна 100—200 мм, число ходов 6—30 в минуту. Для изготовления деталей на гибочных прессах применяются различного рода штампы (универсальные и специальные) и упоры для фиксации заготовок. Эти инструменты и приспособления позволяют производить различные заготовительно-штамповочные работы, а именно:

1) получение различных профилей и коробок с помощью универсальных штампов;

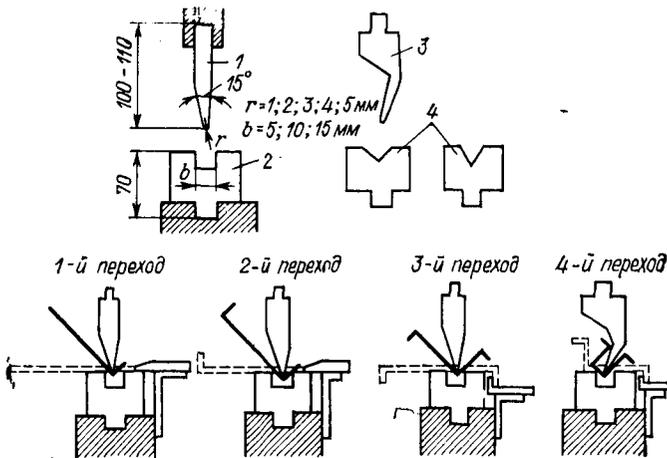


Рис. 151. Примеры работ по гибке под прямым углом универсальными штампами на гибочных прессах:

1 — прямой пуансон; 2 — матрица с прямоугольным ручьем; 3 — изогнутый пуансон; 4 — матрица с угловым ручьем

- 2) получение профилей в специальных штампах;
- 3) гибку деталей по большому радиусу (свертывание);
- 4) подсежку и закатку бортов;
- 5) изготовление различных типов гофр;
- 6) пробивку отверстий в листах и профилях и т. д.

На рис. 151 показаны примеры по гибке под прямым углом универсальными штампами с помощью прямого пуансона (1, 2, 3-й переходы). Примеры выполнения гибочных работ изогнутым пуансоном показаны на этом же рисунке при гибке из листа профиля за четыре перехода (4-й переход). На рис. 151 приведены и основные размеры пуансонов и матриц универсальных штампов.

На гибочных прессах имеются также и универсальные упоры, которые могут быть использованы при гибке различных изделий.

Рис. 152 дает представление о технологии и действии штампов для гибки и закатки бортов, подсечки края для получения замочных швов и т. д.

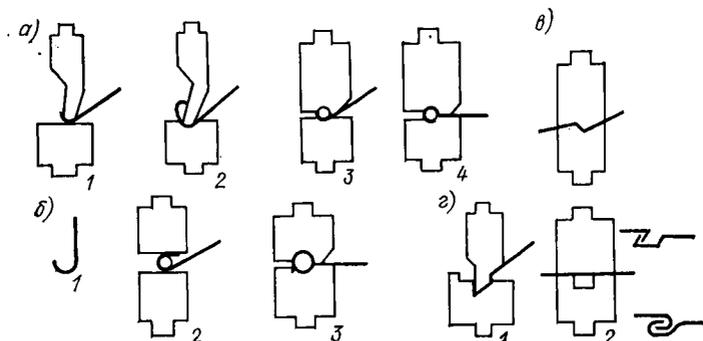


Рис. 152. Схема работы штампов для гибки и закатки бортов: а — закатка без проволоки (1—4); б — закатка с проволокой (1—3); в — подсечка; г — соединение в замок (1; 2)

#### Гибка листового материала на станках

Гибку листового материала по прямым линиям с относительно малым радиусом в ряде случаев проще выполнять не на загибочных прессах с помощью универсальных штампов, а на загибочных станках.

Схема работы загибочного станка показана на рис. 153. Материал кладут на линейку 6 нижнего стола 5 и зажимают линейкой 1 верхнего стола (траверсы) 2, который перемещается вверх и вниз. Затем передняя откидная планка (фартук) 4 поднимается вверх и своей линейкой 3 огибает зажатый материал вокруг линейки 1. Деталь 7 является упором, деталь 8 — угольником.

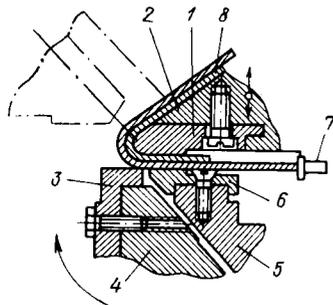


Рис. 153. Схема работы загибочного станка

Загибочные станки бывают с ручным и механическим приводами. На станках с ручным приводом можно загибать листы длиной до 2000 мм, толщиной до 3 мм, при ширине борта до 400 мм. Наибольший угол поворота отведенной планки 135°. Станки с механическим приводом позволяют загибать листы длиной до 4000 мм и толщиной до 6 мм.

На загибочных станках можно выполнять различные загибы по прямой, изготавливать профили, коробки, свертывать трубы и т. д., для чего требуется сменить линейку одной формы на другую. Регулировка станка ведется в зависимости от радиуса загиба и от толщины материала.

Гибку листового материала по большим радиусам (свертывание) можно производить, пользуясь двумя видами вальцовочных станков: с нажимным валиком посередине и с нажимным валиком, поставленным эксцентрично. Первый тип применяется для загибки листов толщиной свыше 2 мм, второй — для более тонких материалов. Для улучшения качества гибки вальцы изготавливаются четырехвалковые.

Загибочные вальцы строятся длиной до 12 000 мм для толщины 1—60 мм с частотой вращения валиков 30—40 об/мин, скорость гибки 3—6 м/мин; диаметр валиков берется 50—475 мм.

#### Зиговочные операции

Операции зиговки заключаются в образовании местной профилировки деталей из листового металла в виде рифтовки, подсежки, отбортовки, закатки бортов и т. д. (рис. 154). Все эти операции производятся на зигмашине при помощи профильных ро-

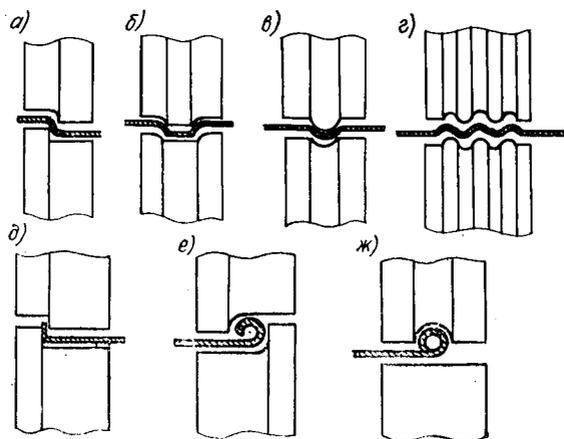


Рис. 154. Примеры зиговочных работ: а — подсежка; б — уступ; в — рифт; г — сложный рифт; д — отбортовка; е и ж — закатка борта

ликов, установленных на концах ее валов. В зависимости от толщины материала и от характера выполняемой работы изменяют расстояние между осями путем поднятия или опускания верхнего вала при помощи винта с рукояткой. Позади роликов имеется передвижная доска, служащая упором для профилирования зига на определенном расстоянии от края изделия.

Заменяя фасонные ролики дисковыми ножами, зигмашину можно использовать как дисковые ножицы.

Зигмашины изготавливаются с ручным и с механическим приводами. Последние строятся для обработки листов толщиной до 3 мм.

## Профилирование материала на профилегибочных станках

При массовом производстве необходимо применение наиболее производительных и дешевых способов изготовления деталей сложного профиля. К одному из таких методов относится получение гнутых деталей профилированием полосы или ленты.

Сущность профилирования заключается в последовательном изгибании полосы при проходе ее через очередную пару роликов.

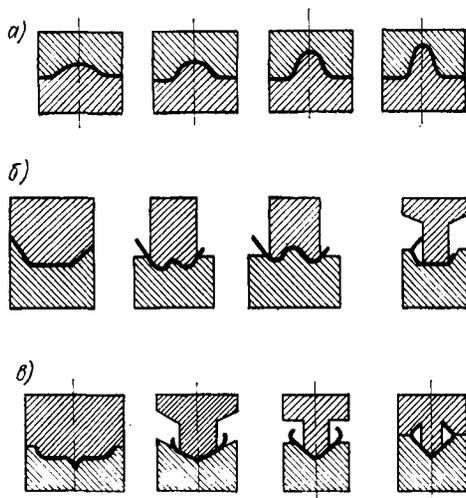


Рис. 155. Схемы профилирования материала на станках

Имеется три вида профилированного сечения — открытые (рис. 155, а), полузакрытые (рис. 155, б) и закрытые (рис. 155, в), причем последние бывают с сердечником (наполнителем) и без сердечника.

На станках тяжелого и весьма тяжелого типов можно профилировать полосы толщиной до 10 мм и шириной до 1000 мм, среднего типа — ленту толщиной до 2,5 мм и шириной до 150 мм, на легких станках обрабатывают ленты толщиной 0,3—0,8 мм при ширине раскроя до 50 мм. Минимальный радиус загиба гнутых профилей составляет  $(3,5 \div 3) r$ .

Для изготовления разнообразных деталей двойной кривизны из тонкого листового металла применяют растяжение и обтяжку заготовки вокруг формы (болвана). Эти обтяжные работы выполняются на специальных гидравлических прессах (см. § 59).

## § 72. ШТАМПОВКА ДЕТАЛЕЙ НА ПАДАЮЩИХ МОЛОТАХ

Штамповкой на падающих молотах, получившей применение особенно в самолетостроении, можно изготавливать детали из алюминия и его сплавов толщиной до 3—4 мм (в исключительных слу-

чаях до 5—6 мм), а также детали из стали толщиной до 1,5 мм. На рис. 156, а показаны типовые детали, изготавливаемые указанным способом.

Существуют три основных метода штамповки на падающих молотах: с прокладкой фанерных рамок; с резиновой прокладкой; без резины и без фанерных прокладок.

Первый метод применяют при изготовлении полых деталей (путем вытяжки), имеющих как правильную, так и произвольную

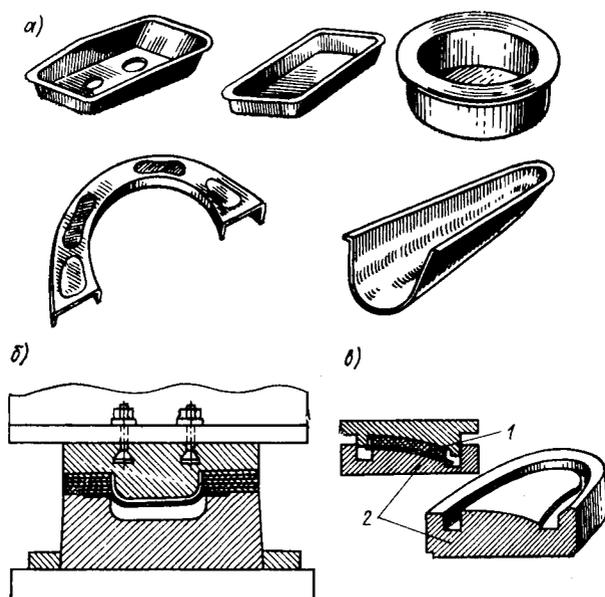


Рис. 156. Детали, изготовленные на падающих молотах, и схема работы штампа

геометрическую форму с высотой стенки более 20 мм. Работа осуществляется следующим образом. На поверхность матрицы (рис. 156, б) укладывают заготовку по заранее намеченным рискам и, слегка ударя по ней резиновым молотком, намечают контур будущей детали. Затем на заготовку укладывают стопу фанерных рамок толщиной по 3—4 мм каждая и с общей высотой немного меньше глубины вытяжки. Внутренний вырез в рамках делают по контуру (в плане) пуансона, а наружный — по контуру заготовки. Затем начинают наносить удары пуансоном по заготовке, при этом после каждого удара в зависимости от толщины материала снимают постепенно по одной или по несколько рамок, производя последующие удары до тех пор, пока заготовка не втянется в матрицу на требуемую глубину.

Метод штамповки с использованием резины и полиуретана 1 в матрице 2 штампа применяют при изготовлении деталей седло-

образной формы, а также для изогнутых в разных плоскостях профилей, желобов и тому подобных деталей (рис. 156, в).

Штамповку без прокладок применяют для изготовления деталей с замкнутым контуром, но небольшой глубины, а также для деталей открытой формы, получаемых гибкой, иногда с незначительной вытяжкой. Эти операции производят на простых штампах за два-три удара молота.

### § 73. ДАВИЛЬНЫЕ И ДАВИЛЬНО-РАСКАТНЫЕ ОПЕРАЦИИ

В ряде случаев листоштамповочные операции сочетаются с давяльными или давяльно-раскатными операциями (ротационное выдавливание), выполняемыми на токарно-давяльных, раскатных и на специальных станках, полуавтоматах и автоматах. Работы выполняются при вращательном движении заготовки (детали), а иногда и деформирующего инструмента.

#### Выдавливание на токарно-давяльных станках

Выдавливание на токарно-давяльных станках полых тел вращения из листового материала применяют в единичном и серийном производствах, когда изготовление штампов нерентабельно, а также, когда детали имеют сложную форму, которую трудно получить в штампах.

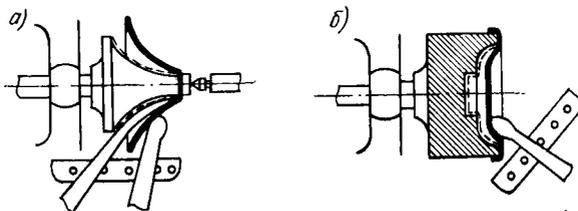


Рис. 157. Схема выдавливания на токарно-давяльных станках

Выдавливанием можно осуществлять различные операции: вытяжные, отделочные для уничтожения рисок и дефектов на поверхности детали, окончательные для придания деталям формы после вытяжки, закатку, завивку и обрезку края и т. д.

Выдавливанию подвергаются как стальные, так и цветные металлы. Из стальных листов выдавливаются изделия толщиной не более 1,5 мм, из цветных металлов — не более 2 мм.

При выдавливании могут быть два случая: 1) заготовка нагоняется на патрон-оправку (рис. 157, а); 2) заготовка вдавливается в углубление патрона-оправки (рис. 157, б).

При серийном производстве для облегчения условий работы давяльщика на суппорте давяльного станка укрепляют ролик (или давяльник), который при перемещении суппорта обдавливает металл вокруг формы-патрона [26; 79].

Размеры заготовки для выдавливаемых деталей определяются по тем же формулам, как и для вытяжки при помощи штампов, но с обязательным учетом того, что от нажима давилника стенки растягиваются и поверхность заготовки увеличивается на 5—7%.

Глубокие детали выдавливаются за несколько переходов, количество которых устанавливается расчетным или опытным путем. Форма переходных патронов делается такой, чтобы обеспечить постепенный переход к форме готового изделия. В этих случаях выдавливание производится на токарно-давилных станках при постоянном или сменном патронах либо на полуавтоматах или автоматах, где весь процесс выдавливания автоматизирован. Более совершенные автоматы для выдавливания снабжены системой числового программного управления. Патроны для выдавливания цилиндрических изделий делаются с небольшой конусностью для удобства снятия изделия. Патроны для выдавливания изделий сложного профиля делаются разъемными.

Так как в процессе выдавливания металл сильно упрочняется, то в зависимости от степени наклепа приходится давать один или несколько промежуточных отжигов.

Для выдавливания небольших партий изделий патроны (оправки) делают деревянными, а при больших партиях — металлическими. Материалом для деревянных патронов служат дуб, клен, ясень, а для металлических — чугуны, мягкая сталь, алюминий. При изготовлении небольших изделий патроны делают из бронзы. Для прижатия заготовки к патрону во время выдавливания применяется деревянная головка или прижим. Инструментом для выдавливания служат различные давилники, ролики, гладилки и т. д.

В зависимости от толщины и пластичности материала частота вращения шпинделя давилного станка должна быть различной: 200—1500 об/мин. Как правило, чем толще и тверже материал, тем меньше должна быть скорость вращения шпинделя станка. Мягкую листовую сталь толщиной 0,75—1,5 мм выдавливают при частоте вращения шпинделя станка 600—400 об/мин; латунь и алюминий — при 1200—800 об/мин; дуралюмин — при 900—500 об/мин; медь и белую жель — при 800—600 об/мин.

В качестве смазки при металлодавилных работах применяют смесь из трех частей животного сала и одной части хлопкового масла. Хорошим смазочным веществом может также служить баранье или говяжье сало, а также паста из вазелина с графитом.

#### Ротационное выдавливание

Ротационное выдавливание является дальнейшим усовершенствованием давилной обработки металла. Сущность этого способа заключается в раскатке при помощи роликов толстой заготовки по вращающейся стальной оправке вдоль образующей детали без деформации фланца заготовки при неизменной величине ее диа-

метра. Применяется для раскатки полых деталей цилиндрической, конической, параболической и других форм тела вращения из толстой плоской заготовки с ее утонением.

В зависимости от формы деталей ротационное выдавливание осуществляют по различным схемам. При ротационном выдавливании деталей конической и сложной форм тела вращения следует исходить из следующих принципов [17]: объемы исходной заготовки и детали равны (на основе закона постоянства объема); положение любого элементарного объема относительно оси в исходной заготовке соответствует его положению в готовой детали; толщина стенки готовой детали и толщина плоской заготовки свя-

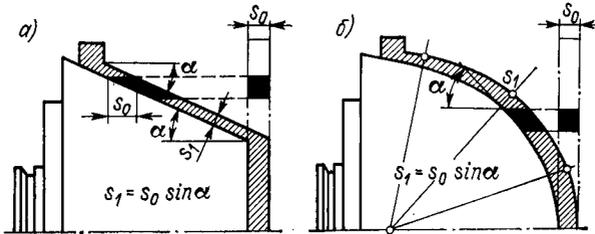


Рис. 158. Схема ротационного выдавливания деталей конической и сложной форм из плоских заготовок

заны между собой определенной зависимостью. Из схемы процесса ротационного выдавливания конической детали с углом при вершине равным  $2\alpha$  из плоской заготовки толщиной  $s_0$  (рис. 158, а) видно, что каждый элемент объема заготовки сдвигается параллельно оси оправки, оставаясь в выдавленной детали на том же расстоянии от оси. При этом фактическая толщина стенки детали уменьшается, тогда как толщина детали по оси остается без изменения. Они связаны между собой зависимостью  $s_1 = s_0 \sin \alpha$  — так называемый закон синуса.

В деталях с криволинейной формой угол  $\alpha$  не является постоянной величиной, а в каждой точке имеет определенное значение, равное углу наклона касательной к образующей детали (рис. 158, б).

При ротационном выдавливании деталей цилиндрической формы формообразование происходит по другой технологии, так как здесь закон синуса не соблюдается. В этом случае трубчатая заготовка, полученная предварительной вытяжкой, с внутренним диаметром, равным диаметру готовой детали, плотно надевается на давящую оправку и деформируется на ней, в результате чего длина заготовки увеличивается, а толщина стенки ее уменьшается. Выдавливание может производиться по одной из четырех схем: А, Б, В и Г (рис. 159).

При прямом способе (схема А) цилиндрическая заготовка прижимается к оправке задней бабкой, а по мере приближения роли-

ков к передней бабке происходит утонение материала. Направление течения металла совпадает с направлением подачи роликов (показано стрелками). Обработанная часть подвергается растяжению, тогда как недеформированная часть свободна от напряжений.

При обратном способе (схеме Б) заготовка надевается на оправку до упора в бурт оправки. Направление течения металла противоположно движению роликов. Длина оправки при прямом способе должна быть не меньше длины детали, а при обратном способе ее длина может быть в несколько раз меньше длины детали.

По схеме В заготовка проталкивается вместе с оправкой через роликовую головку; продольная подача роликов не происходит.

Схема Г представляет собой комбинацию схем Б и В. Для увеличения производительности ротационное выдавливание производится роликовым комплектом на вертикальном давилно-раскатном станке. Независимо от формы детали ротационное выдавливание осуществляют тремя различными путями: по установленному зазору между роликом и оправкой, по копиру соответствующей формы и с регулированием давления на ролике.

Обработываемость при ротационном выдавливании характеризуется степенью утонения (деформации)  $K_{р. выд}$ , которая для данного материала и условий обработки не должна быть выше предельно допустимой величины  $K_{р. выд. пред}$ , т. е.  $K_{р. выд} \leq K_{р. выд. пред}$ .

В общем случае степень утонения определяется зависимостью

$$K_{р. выд} = \frac{s_0 - s_1}{s_0} 100\% . \quad (396)$$

Для деталей конической формы, когда ротационное выдавливание происходит по закону синуса ( $s_1 = s_0 \sin \alpha$ ), выражение (396) принимает вид

$$K_{р. выд} = (1 - \sin \alpha) 100\% , \quad (397)$$

а для деталей цилиндрической формы

$$K_{р. выд} = (1 - s_1/s_0) 100\% . \quad (398)$$

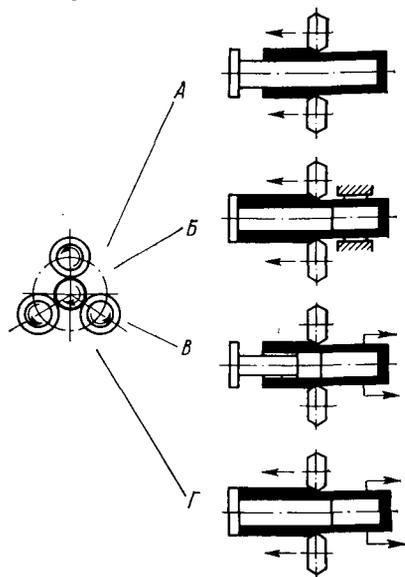


Рис. 159. Схемы ротационного выдавливания цилиндрических деталей

Проведенные исследования позволяют установить, что в качестве возможного критерия выдавливаемости можно принять относительное сужение  $\psi$  при испытании на растяжение плоского образца, взятого в продольном направлении исходной заготовки. Зависимость между  $K_{р. выд. пред}$  и  $\psi$  можно выразить приближенной формулой (в %)

$$K_{р. выд. пред} = \psi / (0,17 + \psi/100). \quad (399)$$

В зависимости от марки стали и формы выдавливаемых деталей, которые могут быть получены за несколько переходов без промежуточного отжига, степень утонения  $K_{р. выд.}$  составляет 60—75% [17].

В качестве смазок при ротационном выдавливании твердых металлов и сплавов, когда возникают значительные напряжения в зоне деформации, применяют коллоидальный цинк, сульфид молибдена, фосфатные покрытия заготовок. Пластичные металлы и сплавы выдавливают с применением солидола, воска, парафина, талька и т. д. Для нержавеющей стали можно использовать мыло, взвесь мыла в масле, смесь липотона с льняным маслом, а также смесь машинного масла с графитом.

В настоящее время разработана и внедряется в промышленность целая гамма (размерный ряд) давяльных и давяльно-раскатных станков и машин, которые позволяют обрабатывать детали с наибольшим диаметром до 2500 мм и длиной 1600 мм из заготовок с диамет-

ром до 3000 мм при толщине заготовки для давяльных станков до 15 мм, а для давяльно-раскатных станков — до 20 мм [17].

Выдавливание крупногабаритных днищ со стенкой большой толщины (40—165 мм) производят путем совмещения горячей штамповки центральной части днища с горячей обкаткой при помощи давяльного ролика (валика) бортов днища на специальной давяльно-штамповочной машине (рис. 160).

Ротационное выдавливание малопластичных металлов также производят с помощью нагрева и подогрева заготовок. Основные

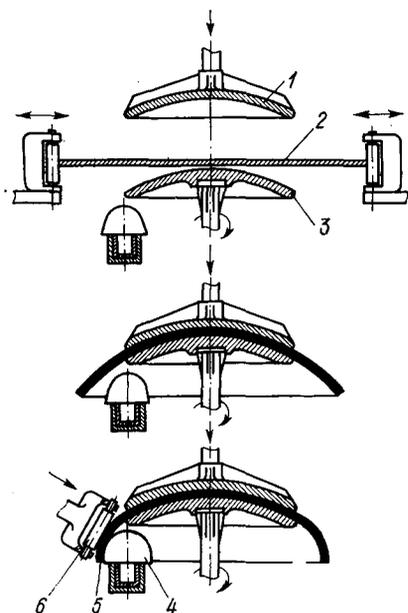


Рис. 160. Схема горячей обкатки днища на давяльно-штамповочной машине:

- 1 — матрица; 2 — исходная заготовка;  
3 — пуансон; 4 — опорный ролик (валик);  
5 — обкатываемое днище; 6 — давяльный обкатывающий ролик

способы нагрева: газопламенный, электросопротивлением, токами повышенной и высокой частоты, радиационный. При нагреве заготовок из тугоплавких металлов (Nb, Ta, Mo, W) и сплавов используются печи с защитной атмосферой (аргона, гелия) и газопламенные печи с защитной атмосферой.

Ротационное выдавливание позволяет упростить технологию изготовления крупных деталей сложной формы, получить большую экономию и улучшить механические свойства обрабатываемого металла, резко сократить по сравнению со штамповкой технологическую оснастку, а также сократить сроки подготовки производства.

#### Способы получения тонкостенных деталей небольших диаметров

Тонкостенные детали небольшого диаметра можно получить методом раскатки шариками, освещенными в работах [11; 49; 107] и др., и путем синхронного вращения оправки (пуансона) с полый заготовкой и матрицы, принцип которой изложен в работе [56].

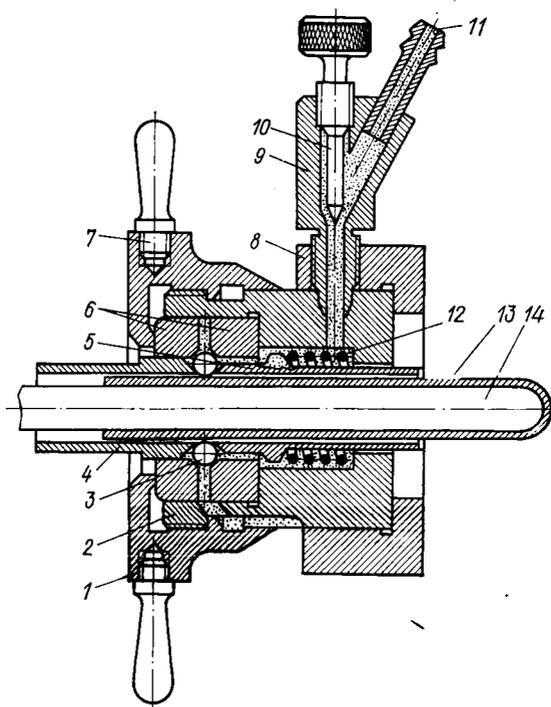


Рис. 161. Раскатная шариковая головка для раскатки тонкостенных деталей малого диаметра

Сущность процесса раскатки шариками заключается в следующем (рис. 161). Исходная заготовка с минимальным зазором надевается на закаленную оправку (пуансон), которая закрепляется

в конусе шпинделя токарного станка. В регулируемой шариковой головке, установленной в резцедержателе суппорта или во втулке задней бабки, рабочие шарики 3 (матрица) вращаются по окружности между заготовкой и опорными конусами 6 при вращении заготовки вместе с оправкой. Сближение или удаление опорных колец с конусами 6 друг от друга поворотом штурвала 1 (или микрометрической гайки) приводит к перемещению шариков к центру или от центра и изменению внутреннего диаметра шариковой матрицы, а следовательно, к изменению наружного диаметра раскатываемой полый заготовки. На

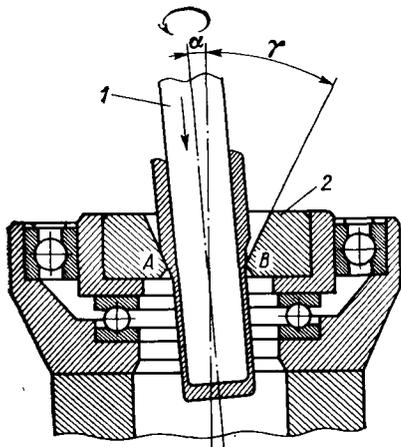


Рис. 162. Способ утонения трубчатых деталей наклонной качающейся матрицей

его матрицы 2 (рис. 162). Ось пуансона образует некоторый угол  $\alpha$  с осью вращения матрицы. Вращательное движение придается либо пуансону, либо матрице. Кроме того, пуансон совершает поступательное движение в направлении своей оси. Очаги деформации здесь сконцентрированы в зонах точек *A* и *B*. Взаимное движение рабочей пары обеспечивает перемещение их по винтовой линии, причем шаг линий зависит от подачи. С ростом подачи очаги деформации увеличиваются в тангенциальном направлении и наступает такой момент, когда они соединяются, образуя единый кольцевой очаг, как при вытяжке в штампе. Таким образом, так как матрица наклонена под углом  $\alpha$  к оси пуансона, то она будет совершать качательное движение вдоль оси, а пуансон с заготовкой при этом будет постепенно передвигаться вперед (проходить в отверстие матрицы), в результате чего и происходит утонение заготовки.

Форма оправки (пуансона) и соответствующего ему отверстия в данном случае значения не имеет. Этим способом можно получить детали и с другой формой. Применяется также и двухъярусная

головки: 2 — корпус; 4, 5 — сепараторная втулка; 7 — ручка; 8 — державка; 9 — штуцер; 10 — игла; 11 — ниппель; 12 — пружины; 13 — раскатываемая заготовка; 14 — оправка. Раскатка производится за несколько проходов (обжатий) до получения стенки толщиной  $0,1 \pm 0,01$  мм (при диаметре детали до 2—3 мм). Глубина обжатия за один проход составляет 0,08 мм. Величина осевой подачи токарного станка составляет 0,02 мм/об при  $n = 1800$  об/мин.

Сущность второго способа утонения стенок заключается в создании особого взаимного движения (пуансона 1) и охватывающей

качающаяся матрица. Наименьшая толщина раскатываемой заготовки достигает 0,03—0,05 мм. Угол наклона стенки матрицы к ее оси  $\gamma = 12 \div 15^\circ$ , а угол  $\alpha = 2 \div 4^\circ$ . Шероховатость поверхности детали  $Ra\ 0,80\text{—}0,40$ . В качестве оборудования применяются токарные и вертикально-сверлильные станки (до 3000 об/мин).

#### § 74. НАКАТКА РЕЗЬБЫ НА ПОЛЫХ ИЗДЕЛИЯХ

Накатка резьбы на полых изделиях производится в зависимости от характера деформации и типа применяемого оборудования несколькими способами: 1) патроном и роликом; 2) накаточными роликами и метчиком; 3) шнеком и патроном с переменным шагом винтовой линии.

Наибольшее применение в промышленности имеет первый способ, при котором накатка резьбы производится по всей длине заготовки (рис. 163, а) со значительным утонением материала вследствие его растяжения.

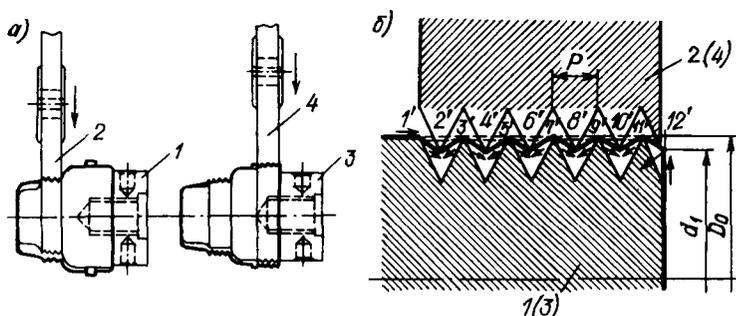


Рис. 163. Накатка резьбы патроном и роликом

На рис. 163, б видно, что в момент когда ролик 2 (4) и патрон 1 (3) одновременно касаются заготовки вершинами выступов 1', 2', 3', ..., 12', происходит растяжение материала в направлении, показанном на рисунке стрелками. Поверхность, образовавшаяся после накатки одного витка резьбы,  $F_1$  больше поверхности заготовки  $F_0$  и составляет

$$F_1 - F_0 = \pi \frac{D_0 + d_1}{2} \sqrt{P^2 + (D_0 - d_1)^2} - \pi D_0 P. \quad (400)$$

Таким образом, этот способ может быть применен для накатки неглубоких резьб и при пластичном материале.

Угол наклона винтовой линии на патронах 1 и 3 делается равным углу наклона на роликах 2 и 4, но с различным направлением. Шаг резьбы на готовой детали равен шагу  $P$  патрона. Диаметр ролика может быть в два, три, ...,  $n$  раз больше диаметра патрона (где  $n$  — целое число). Соответственно этому, для того чтобы углы наклона винтовой линии ролика и патрона были одинако-

выми, резьба на ролике делается 2, 3, ...,  $n$ -заходная. Чтобы окружная скорость ролика и патрона была постоянной, частота вращения ролика уменьшается во столько раз, во сколько его диаметр больше диаметра патрона. Накатка резьбы производится на резьбонакатных станках.

#### § 75. ШТАМПОВКА МЕМБРАН И СИЛЬФОНОВ

Мембраны представляют собой круглые гофрированные пластины, толщина которых во много раз меньше диаметра. В зависимости от назначения мембраны концентрические гофры на них могут иметь различный профиль — угловой, прямоугольный, плоский и т. д. Мембраны изготавливаются из фосфористой бронзы БрОФ6,5-0,4, оловянистой бронзы БрОЦ4-3, бериллиевой бронзы БрБ-2, БрБ-2,5, латуни Л63, нейзильбера и нержавеющей стали 12Х18Н9Т. Штамповка — гофрирование мембран производится в инструментальных штампах стальным пуансоном на свинцовой либо на резиновой или полиуретановой матрице, а также в штампах с помощью жидкости. Для гофрирования мембран толщиной  $s > 0,4$  мм используют штампы без прижима, для толщин  $s < 0,4$  мм необходимо применять штампы с прижимом. Штамповка мембран производится за одну, две или три операции (гофры последовательно уменьшаются и формируются на гидропрессах с манометром для контроля давления).

Сильфоны представляют собой цилиндрические гофрированные трубки, имеющие различную высоту ребер. Сильфоны небольших размеров формируют из полой заготовки, полученной многооперационной вытяжкой с утонением, при помощи штампов за две операции. На первой операции на трубке образуют ряд кольцевых выпуклостей с высотой меньшей, чем высота ребер, и с шагом, большим шага готовых ребер. На второй операции трубку, заполненную жидкостью, подвергают продольному сжатию, превращая ее в сильфон [87].

Для изготовления сильфонов более крупных размеров в машиностроении применяются специальные гидравлические установки [32].

## Глава 20. ШТАМПОВКА НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

### § 76. НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ШТАМПОВКЕ

Наиболее часто в промышленности применяются следующие группы неметаллических материалов: 1) пластмасса, резина и эбонит; 2) материалы на основе бумаги — картон, фибра; 3) материалы минерального происхождения — слюда, миканиты.

Пластмассы представляют собой композицию из искусственной смолы и наполнителя органического или минерального происхождения (за исключением целлулоида). Они имеют слоистую или однородную (гомогенную) структуру. К листовым пластмассам, имеющим слоистую структуру, относятся гетинакс, текстолит и стеклотекстолит; к пластмассам гомогенной структуры — органическое стекло, винипласт, целлулоид.

Гетинакс представляет собой слоистый прессованный материал, получаемый на основе бумаги, пропитанной искусственными смолами. Он поддается только штамповке — вырубке, причем для листов толщиной свыше 1 мм — с применением нагрева.

Текстолит получается на основе ткани, обработанной искусственными смолами типа бакелит. Он штампуются лучше гетинакса и при нагреве может быть подвергнут также гибке и вытяжке.

Стеклотекстолит имеет в качестве наполнителя стеклянную ткань или представляет собой комбинацию стеклоткани с хлопчатобумажной тканью, пропитанной искусственной смолой.

Органическое стекло в виде листов получается литьем в металлических формах или в формах из силикатного стекла. При нагреве оно поддается всем операциям штамповки.

Винипласт — термопластическая масса, изготавливаемая вальцованием (прокаткой); штампуются аналогично органическому стеклу.

Эбонит представляет собой вулканизированную резину с большим содержанием серы, при нагреве поддается штамповке.

К листовым материалам, получаемым на основе бумаги, относятся картон и фибра. Картон изготавливается из бумажной массы на специальных бумагоделательных машинах путем многократного наслаивания листов с последующим прессованием их и сушкой. Фибра получается обработкой непроклеенной бумаги раствором хлористого цинка, после которой он отмывается.

К материалам минеральной группы относятся слюда и миканиты — коллекторный, прокладочный, формовочный и гибкий. Слюда представляет собой минерал, расщепляющийся на очень тонкие пластинки с ровной поверхностью. Наилучшими сортами слюды являются мусковит и флогонит. Слюда может штамповаться только вырубкой. Миканиты представляют собой непрозрачные твердые материалы, получающиеся при склеивании щипанной слюды смолами.

## § 77. ВЫРЕЗКА НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Неметаллические материалы обладают различной штампуемостью: некоторые материалы штампуются в холодном виде, другие — только в подогретом состоянии. Исходя из технологических условий штамповки, неметаллические материалы можно разделить на следующие группы [72]:

1) материалы повышенной хрупкости (слюда, миканит, органическое стекло, гетинакс, эбонит);

- 2) материалы средней хрупкости (винипласт, текстолит);
- 3) легко штампуемые материалы, которые могут вырезаться на штампах обычного типа (картон, бумага, фибра, целлулоид);
- 4) волокнистые и эластичные материалы, вырезаемые только с помощью просечек (фетр, кожа, резина простая и губчатая).

Материалы первых двух групп на штампах обычного типа вырезать почти невозможно, так как при резке возникают трещины, приводящие к выкрашиванию частиц даже после штамповки. Для улучшения поверхности среза эти материалы следует вырезать на штампах с сильным прижимом и с заостренными режущими кромками в виде клина на матрице. Угол заточки принимают равным  $40\text{--}45^\circ$ . При таких режущих кромках давление концентрируется на небольшой площади и появление трещин при вырезке сводится к минимуму. Следует указать, что наличие сильного прижима не только предотвращает появление трещин, но и позволяет работать даже без применения подогрева полосы.

Усилие прижима (в Н) определяется по формуле

$$Q_{\text{приж}} = q_{\text{приж}} u s, \quad (401)$$

где  $u$  — периметр среза, мм;  $s$  — толщина материала, мм;  $q_{\text{приж}}$  — давление прижима, определяемое в зависимости от толщины материала  $s$ :

$s$ , мм	$q_{\text{приж}}$ , МПа
До 1,0	10
» 2,0	15
» 3,0	20

Штамповку указанных материалов толщиной свыше 1 мм следует производить в нагретом состоянии. Термический режим устанавливают в зависимости от рода и толщины материала. Для штамповки текстолита толщиной 1—2 мм температура нагрева должна быть  $T = 130 + 10^\circ \text{C}$ , время нагрева  $t = 3$  мин; при  $s = 2 \div 4$  мм  $T = 180 + 10^\circ \text{C}$ ,  $t = 5$  мин; при  $s = 4 \div 6$  мм  $T = 200 + 5^\circ \text{C}$ ,  $t = 5$  мин.

Для гетинакса при  $s = 0,5 \div 3$  мм  $T = (80 \div 110) + 10^\circ \text{C}$ , время нагрева 5—8 мин на 1 мм толщины детали. Следует учитывать, что при указанных температурах нагрева гетинакса усадка составляет около 0,2% линейных размеров.

Температура нагрева органического стекла должна быть  $100\text{--}120^\circ \text{C}$ , причем перед вырезкой рекомендуется несколько секунд держать материал на воздухе, чтобы поверхностный слой немного охладился, и тогда не будет завалов на детали со стороны матрицы. Эбонит штампуются при  $T = 60 \div 80^\circ \text{C}$ . Другие материалы не требуют подогрева для выполнения операции вырубki.

Нагрев указанных материалов производится в передвижных электрических термостатах или в специальных установках для

обогрева инфракрасными лучами. Электронагревательные элементы часто вмонтированы в полости вырезного штампа. На некоторых заводах нагрев гетинакса и эбонита осуществляется опусканием в кипящую воду.

Вырезку деталей из слюды производят в холодном виде на совмещенных штампах с выталкивателем, работающим от ползуна. Длина пуансонов и толщина матрицы должны быть минимально возможными. Зазоры между матрицей и пуансоном берутся минимальные (около 0,01—0,02 мм на размер). Помимо механического выталкивателя при вырезке слюды применяется дополнительный сьем сжатым воздухом.

Картон, бумагу, фибру и целлулоид можно штамповать на штампах обычного типа и на совмещенных штампах. Фибра хорошо штампуются в увлажненном состоянии. Мягкие волокнистые и упругие материалы — фетр, войлок, кожу и резину штампуют при помощи просечек — специальных контурных ножей (штанцев), имеющих форму детали. При работе они погружаются в материал до соприкосновения с подкладкой и таким образом производят полное разделение материала. Для выталкивания детали внутри просечек помещается выталкиватель, действующий от пружинного или резинового буфера. В качестве подкладки используется дерево или фибра.

Усилие вырезки неметаллических материалов определяют по тем же формулам, которые применяются и для металлов.

Значения сопротивления срезу — вырезке различных неметаллических материалов на обычных штампах:

Материал	$\tau_0$ , МПа
Текстолит . . . . .	80—150
Гетинакс . . . . .	70—110
Слюда . . . . .	50—80
Целлулоид . . . . .	60
Фибра . . . . .	140—200
Эбонит . . . . .	30
Резина . . . . .	6—10
Бумага (различной толщины) . . . . .	20—40
Картон (различной толщины) . . . . .	30—60
Клингерит . . . . .	40—50
Прессшпан . . . . .	70—80
Кожа дубленая и хромовая . . . . .	45—55

Величины зазоров между матрицей и пуансоном при вырезке обычными штампами составляют для гетинакса, текстолита, фибры и прессшпана (0,04÷0,05) s; для мягкого картона, кожи и фетра — (0,02÷0,03) s.

Величины перемычек при вырезке неметаллических материалов берут в 1,5—2 раза большие, чем для металлов.

Достижимая точность при обычном способе штамповки порядка 5-го класса точности по ГОСТу. При необходимости получить более высокую точность и хорошую шероховатость поверхности

среза применяется зачистка, аналогичная процессу зачистки металлических деталей. Зачистка производится в холодном виде.

Припуск на зачистку при вырезке гетинакса, текстолита и эбонита составляет 25% от толщины; фибры — около 20% от толщины. Применяется также и двукратная зачистка. Припуск для второй зачистной операции составляет 0,6—0,7 от припуска для первой. Угол заострения зачистной матрицы берут равным 45°. Штампы для неметаллических материалов монтируются на колончатых блоках с симметричным расположением колонок. В качестве оборудования используются эксцентриковые прессы с большим ходом ползуна.

## § 78. ГИБКА НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Большинство неметаллических материалов поддается гибке в холодном или подогретом состоянии. Не поддаются гибке гетинакс, коллекторный и прокладочный миканиты.

Тонколистовой текстолит ( $s$  до 2—3 мм) подвергается гибке после нагрева до 150—170° С. Нагрев лучше производить в печи или инфракрасными лучами в течение 1—2 мин. Стеклотекстолит гнется аналогично текстолиту, но нагревать его следует до 230° С. Гибка производится в приспособлениях.

Органическое стекло подвергается гибке при  $T = 105 \div 150^\circ \text{C}$  и охлаждении наружных слоев на воздухе в течение 10—15 с. Гибку производят на болванках (пуансонах), покрытых байкой или мягкой листовой резиной. Материалом для болванок служит текстолит, гетинакс, дерево, алюминиевые сплавы, а также чугун. Разогретую заготовку укладывают на болванку, прижимают ее слегка рукой для придания ей требуемой формы, после чего края заготовки и болванки для предотвращения отгибания краев заготовки скрепляют струбцинами, также обитыми байкой. Снимают деталь с болванки после охлаждения ее до 30—40° С.

Винипласт подвергается гибке при  $T = 160 \div 170^\circ \text{C}$ , а целлулоид — при 90—100° С и гнется подобно органическому стеклу. Гибкий миканит подвергается изгибу без подогрева, а формовочный — в штампах — пресс-формах, нагретых до 150—170° С, с выдержкой под давлением в течение 20 с.

## § 79. ВЫТЯЖКА И ФОРМОВКА НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Большинство неметаллических материалов подвергается вытяжке и формовке в нагретом состоянии, фибра вытягивается в увлажненном состоянии. Текстолит и стеклотекстолит вытягиваются на прессах двойного и простого действия с прижимом. Перед вытяжкой заготовки из текстолита нагревают до 150—

170° С, а из стеклотекстолита — до 230° С. Органическое стекло вытягивается в штампах с прижимом. Матрицу, прижим и заготовку нагревают до 115—120° С, а пуансон — до 40° С.

Крупные и средние детали из органического стекла вытягивают на специальных вакуумных установках без формы — матриц и с матрицей 5 (рис. 164). Заготовку 4, нагретую предварительно или непосредственно в установке 1 до 120—130° С, зажатую между двумя уплотняющими кольцами из резины или кожи 3 и пластиной 2, закрепляют струбцинами 6 на корпусе 7 установки. Затем через трубку 8 при помощи насоса создают вакуум из расчета, чтобы остаточное давление в корпусе было не более 10 640—13 300 Па. Под давлением атмосферного воздуха заготовка вытягивается и принимает требуемую форму. Винипласт и целлулоид вытягиваются с подогревом в пресс-формах.

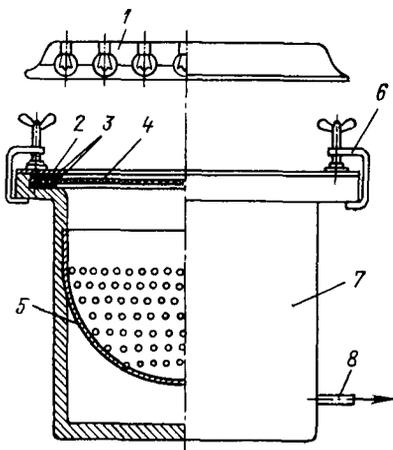


Рис. 164. Схема вакуумной установки с матрицей для вытяжки органического стекла

## Глава 21. ГОРЯЧАЯ ЛИСТОВАЯ ШТАМПОВКА

### § 80. ОСОБЕННОСТИ ГОРЯЧЕЙ ШТАМПОВКИ ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА

При больших габаритных размерах и толщинах листов осуществление штамповки в холодном состоянии описанными ранее способами не представляется возможным, так как это потребовало бы очень крупных (по усилию) прессов и массивных фундаментов. Необходимость осуществления листовой штамповки в горячем состоянии в ряде случаев диктуется также механическими качествами некоторых специальных марок сталей, которые при деформировании в холодном виде способны давать трещины (главным образом стали, богатые хромом). В этих случаях горячая листовая штамповка применяется даже для изделий с небольшой толщиной листа (3—5 мм). Малопластичные сплавы цветных металлов (МА1, МА8 и др.), а также титановые сплавы (ВТ1-1, ВТ1-2, ВТ5 и др.) приходится штамповать в горячем состоянии и с подогревом фланца.

## § 81. СХЕМА ПРОЦЕССА ГОРЯЧЕЙ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ И ЧЕРТЕЖ ЗАГОТОВКИ

### Схема процесса

Изготовление толстолистовой штампованной детали осуществляется обычно в следующем порядке: резка листа или полосы, нагрев заготовки, вырубка или вырубка и пробивка, правка плоских листовых деталей, гибка или вытяжка пространственных деталей, пробивка, разрезка или обрубка изогнутых или вытянутых деталей, отжиг или высокий отпуск в зависимости от марки стали. Операции гибки, пробивки, вытяжки и отбортовки осуществляются в штампах после предварительного нагрева заготовки до соответствующей температуры.

Если точность штамповки вполне удовлетворяет требованиям технических условий, необходимую механическую обработку кромок и отверстий производят в плоской заготовке до гибки или вытяжки. Однако, если конфигурация детали сложна, а отверстия расположены в ней близко к линиям перегиба, то во избежание искажения контуров необходимо обработку на станках вести после штамповки и отжига.

Нередко при штамповке деталей из специальных сталей операция гибки совмещается с термообработкой (закалкой в штампах).

### Чертеж заготовки

При разработке чертежа заготовки необходимо учитывать, что во всех случаях, кроме вытяжки и отбортовки, исходная прокатная заготовка не подвергается деформированию, при котором происходит перераспределение металла.

Чертеж заготовки разрабатывается с учетом минимально необходимых припусков. Как правило, не требуется обработка поверхности листа; часто ограничиваются только одной шлифовкой, для чего достаточен припуск 1 мм на сторону. Припуск на обработку по кромкам на участках, где это требуется (на сопрягаемых поверхностях), принимается не ниже 2—3 мм на сторону, но не выше 10—12 мм.

При определении величины припуска на кромках, получаемых вырубкой, нужно учитывать, что вырубка в горячем состоянии вызывает некоторую утяжку металла в углах, тем большую, чем толще материал. Если по техническим условиям в готовой детали следы утяжки недопустимы, то припуск на обработку приходится увеличивать таким образом, чтобы утянутая зона выходила за контур готовой детали. Величина радиуса утяжки (рис. 165, а) составляет от  $\frac{1}{3}$  до  $\frac{1}{2}$  толщины материала s.

Уменьшение зазора между вырубным пуансоном и матрицей и правка вырубленных заготовок под молотами или фрикционными прессами на гладких бойках позволяют несколько сократить

размер утяжки. Утяжку нужно учитывать также и при пробивке отверстий в заготовках; вследствие этого для точных отверстий необходимо предусмотреть припуск на расточку.

Горячая гибка сопровождается растяжением — утяжкой материала по внешней дуге и выпучиванием кромок по внутренней (рис. 165, б), что может вызвать необходимость для точных деталей дополнительной механической обработки. Отверстия вблизи зоны деформации следует выполнять после гибки.

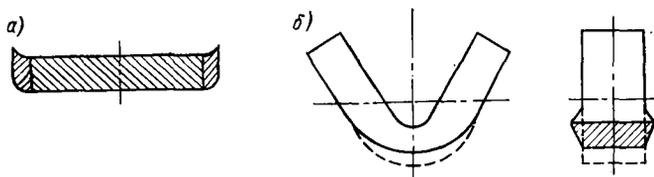


Рис. 165. Утяжка материала: а — при горячей вырубке; б — при горячей гибке (штриховой линией показан контур без утяжки)

Необходимо также учитывать возможность некоторого распухания изогнутых деталей после штамповки. Оно может быть доведено до минимума при выдерживании детали в течение некоторого времени в штампах, установленных на гидропрессах.

Для вытяжных деталей, заканчивающихся вертикальными стенками, обязательно предусматривать сверх нормального припуска на обработку еще одну зону бахромы, образующейся вслед-

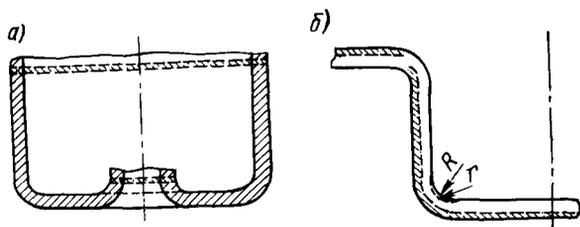


Рис. 166. Бахрома и утяжка металла при горячей штамповке

ствие неоднородности металла, разного расположения волокон и неравномерности распределения усилия при штамповке (рис. 166, а). Расчетная высота бахромы принимается не менее трех — четырех припусков на обработку. Удаляется бахрома на станках или газовой резкой.

Большое значение имеет выбор радиуса гибки у изогнутых деталей и всех радиусов переходов у вытяжных деталей. Чем эти радиусы больше, тем легче идет штамповка и больше стойкость штампов. Однако увеличение радиусов не всегда может быть допущено, так как оно приводит к возрастанию габаритных раз-

меров детали или вызывает большой припуск на обработку ( $R$  вместо  $r$ , рис. 166, б) из-за необходимости более толстой заготовки.

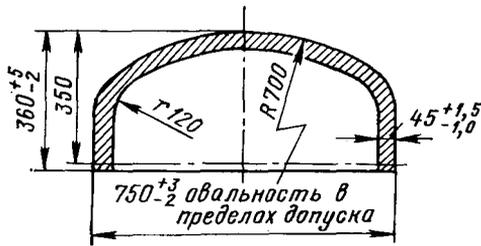


Рис. 167. Пример чертежа заготовки детали для горячей вытяжки

Наименьший радиус, который может быть принят для горячей гибки листа, определяется соотношением  $r_{\min} (R_{\min}) \geq (0,2 \div 0,3) s$ . Для вытяжки наименьший радиус должен быть не менее 1,0—1,5 толщины материала.

В процессе охлаждения после штамповки согнутые и вытянутые детали дают некоторое коробление. На чертеже заготовки должна быть оговорена степень допустимого коробления, так как в зависимости от этого назначаются операции правки в штампах или на вальцах.

На рис. 167 приведен пример чертежа заготовки вытяжной детали.

## § 82. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ, СПОСОБЫ НАГРЕВА И ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ГОРЯЧЕЙ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

Штамповку толстолистовой стали в горячем состоянии следует производить при интервалах температур, находящихся в зоне выше критических точек  $A_{c3}$  и  $A_{c3-2}$  диаграммы состояния системы железо — углерод. При этих температурах все деформированные зерна успевают полностью раскристаллизоваться, вследствие чего все изменения в структуре металла, вызванные штамповкой обычно в холодном состоянии (наклеп металла), исчезают. Таким образом, обработка давлением при этих температурах позволяет исключить возможность появления трещин вследствие снижения пластических свойств из-за наклепа металла при больших степенях деформации, характерных для штамповки толстого листа.

Температурный режим штамповки листов устанавливается в зависимости от рода материала. Для сталей 15, 20, 30, 40, 50 начальная температура составляет 1250—1180° С; конечная — 830—870° С, но не ниже 730—780° С. Для легированной стали марок 30НЗ, 20Н5, 40ХН начальная температура соответственно составляет 1150—1170° С, конечная — 900° С, но не ниже 820° С. Временное сопротивление разрыву металла и сопротивление деформации при указанных температурах снижается в 15—8 раз по сравнению с их характеристиками в холодном состоянии.

Нагрев листовых заготовок под горячую вырубку, гибку и вытяжку обычно производят в камерных, щелевых и проходных пламенных печах, в которых в качестве топлива используются мазут и газ. При больших партиях нагрев осуществляется главным образом в так называемых печах проходных, т. е. таких, где загрузка производится с одной стороны печи, а выдача нагретых

заготовок — с противоположной. Скорость нагрева для листов принимается в пределах 1,0—1,5 мин на 1 мм толщины.

В крупносерийном производстве используются механизированные проходные печи с конвейерами, цепями или качающимися (шагающими) балками в поду.

При гибочных работах требуется, как правило, нагревать не всю деталь, а только место перегибов. В обычных пламенных печах это осуществить трудно. Целесообразно в таких случаях иметь печи со щелями в своде с подогревом снизу.

Для местного нагрева заготовки более экономичен и удобен нагрев электрическим током в контактных нагревателях.

При массовом производстве целесообразно применять нагрев заготовок т. в. ч. в специальных индукторах. Достоинством электрического нагрева являются почти полное отсутствие окалины и улучшение условий работы в цехе.

Для транспортировки заготовок из печи под пресс и выдачи отштампованных деталей из-под пресса на площадку охлаждения штамповочный агрегат оборудуется (в зависимости от масштабов производства) роулгангами, поворотными кранами, лебедками, манипуляторами, роботами и другими средствами механизации.

Следует отметить, что при горячей листовой штамповке и их относительной малой массы они быстро отдают тепло воздуху и штампам и процесс штамповки заканчивается при температурах, когда рекристаллизация и возврат не успевают завершиться полностью, поэтому детали приобретают наклеп. Для снятия наклепа необходим отжиг или высокий отпуск, тем более обязательные, чем выше содержание углерода и других легирующих элементов в стали. Отжиг может производиться в перечисленных выше устройствах при соответствующем для каждого металла термическом режиме.

Выбор прессового оборудования обуславливается величиной потребных усилий для штамповки (определяемых по ранее приведенным формулам с учетом изменения сопротивления деформации в связи с нагревом до соответствующей температуры), а также габаритными размерами штампов.

Для резки полос, а также простых фигурных заготовок под штамповку применяют профильные (сортовые) и гильотинные ножницы, а также роликовые ножницы. Для резки заготовок из листа толщиной более 25—40 мм используют ручную, полуавтоматическую или автоматическую ацетиленово-кислородную или газоплазменную резку. В настоящее время применяют резку лазерным лучом.

Для гибки и вытяжки мелких листовых деталей применяют фрикционные прессы усилием 1500—7500 кН. Для горячей вырубки, пробивки и вытяжки крупногабаритных деталей применяют кривошипные прессы усилием 1500—15 000 кН, гидравлические или парогидравлические прессы различного типа и тоннажа: от 5000 до 100 000 кН. Гидравлические прессы могут быть как простого, так и двойного действия, что особенно важно для вытяжных работ.

## Раздел пятый

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ И МЕТОДЫ ИХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

## Глава 22. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ШТАМПУЕМЫХ ЛИСТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ

### § 83. КОНСТРУКТИВНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ДЕТАЛЯМ, ПОЛУЧАЕМЫМ ПРИ ПОМОЩИ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ

Конструктор, проектирующий изделие в целом или отдельную его деталь, должен обеспечить наилучшие эксплуатационные качества их и предусмотреть наиболее простое, экономичное и быстрое их изготовление. Для получения экономичной и рациональной конструкции детали приходится учитывать ее форму и размеры, материал, допуски, отделку, качество поверхности и др.

Под технологичностью детали следует понимать такое сочетание основных элементов конструкции, которое наиболее просто обеспечивает ее изготовление и высокие качества эксплуатации.

Конфигурация детали должна быть такой, чтобы количество отходов при штамповке — вырубке было минимальным, по возможности простой, без резких переходов, узких и длинных открытых прорезей и консольных участков.

На рис. 168, *a* показан пример неконструктивной детали, так как при штамповке ее на обычных штампах стойкость последних будет очень низкой. Эта деталь также неудачна и в отношении раскроя материала. Ширина выступов или впадин  $b$  и  $h$  на детали должна быть больше толщины материала  $s$  (рис. 168, *б*), в противном случае деталь может быть изготовлена лишь обработкой резанием. Стороны вырубаемого контура должны сопрягаться плавными кривыми возможно большего радиуса, так как малые радиусы понижают стойкость штампа, затрудняют его изготовление и ухудшают поверхность среза. Радиус закругления наружного контура при сопряжении сторон под углом  $\alpha$  больше  $90^\circ$  принимается  $R \geq 0,25s$ , при  $\alpha < 90^\circ$   $R \geq 0,5s$ ; при пробивке внутреннего контура соответственно  $R \geq 0,3s$  и  $R \geq 0,6s$ .

Минимальные размеры пробиваемых отверстий зависят от их формы и механических свойств штампуемого материала. Наименьшие размеры при обычной конструкции штампа составляют при

штамповке из мягкой стали и латуни: для круглого отверстия  $d \geq s$ , для квадратного  $a \geq 0,9s$ , для прямоугольного  $b \geq 0,8s$  и для овального закругления наименьшая сторона овала  $c \geq 0,7s$ ; для твердой стали соответственно:  $d \geq 1,3s$ ,  $a \geq 1,2s$ ,  $b \geq 1,0s$  и  $c \geq 0,9s$ ; для алюминия:  $d \geq 0,8s$ ,  $a \geq 0,7s$ ,  $b \geq 0,6s$  и  $c \geq 0,6s$ . Наименьшие расстояния между краями пробиваемых отверстий, а также расстояния от края детали до края отверстия  $e$  составляют  $e \geq s$  для круглых отверстий и  $e \geq (1,5 \div 2,0) s$  для прямоугольных.

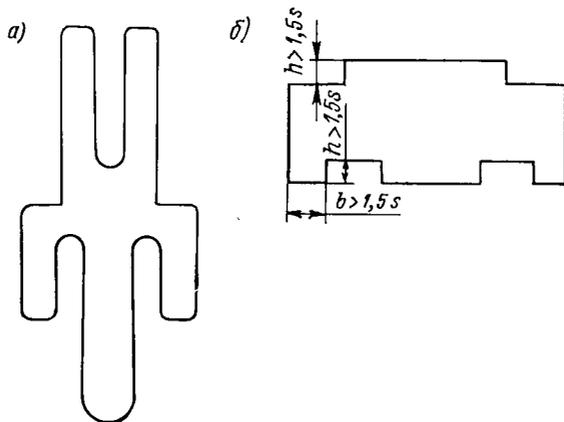


Рис. 168. Неконструктивная форма детали для вырубки (а) и минимальные значения ширины выступов и впадин при оформлении контура детали для вырубки (б)

При пробивке отверстий в согнутых или вытянутых деталях необходимо выдерживать определенное расстояние между отверстиями и вертикальной стенкой детали во избежание набега края отверстия на сопряженную часть стенок, что привело бы к снижению стойкости штампа. Это расстояние  $L$  должно быть больше (или равно) суммы радиуса закругления  $r_{\text{вн}} = r_{\text{п}}$  и половины диаметра отверстия  $d/2$ , т. е.  $L \geq r_{\text{вн}} + d/2$ .

При конструировании детали следует стремиться к тому, чтобы не назначать допусков повышенной точности, так как это удорожает стоимость изготовления штампа и приводит к неполному использованию его в эксплуатации.

#### § 84. КОНСТРУКТИВНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ДЕТАЛЯМ, ПОЛУЧАЕМЫМ ПРИ ПОМОЩИ ФОРМОИЗМЕНЯЮЩИХ ОПЕРАЦИЙ

##### Требования к деталям, получаемым гибкой

При определении технологичности детали следует обратить внимание на правильный выбор радиусов сопряжения боковых полок с дном и размеры этих полок, ибо неправильно выбранные

радиусы в сторону их уменьшения приводят к удлинению технологического процесса, увеличению брака, а следовательно, к повышению стоимости изготовления штампуемых деталей.

Опытом установлено, что обычной гибкой можно получить детали, у которых высота полков  $H$  больше двойной толщины материала  $s$ , т. е.  $H > 2s$  (рис. 169, а). В противном случае приходится делать загибы полков с технологическим припуском и последующей его отрезкой по размеру на специальном отрезном штампе, что удлиняет технологический процесс; загибка удлиненных полков приводит также к уменьшению стойкости гибочного штампа.

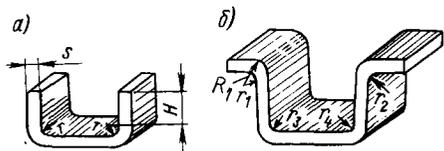


Рис. 169. Минимальная высота полков при гибке П-образных деталей (а) и симметричное расположение радиусов сопряжения полков детали (б), обеспечивающее наилучшие условия гибки

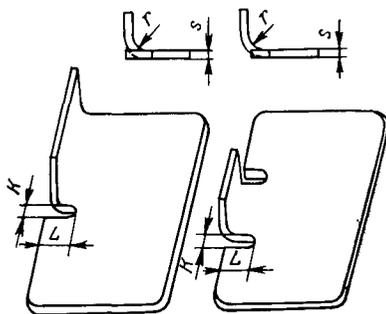


Рис. 170. Искусственно созданные вырезы в детали, исключаящие уширение ее в зоне гибки

При конструировании детали следует стремиться к созданию симметричных конструктивных форм гнутых деталей (рис. 169, б) таким образом, чтобы  $r_1 = r_2$  и  $r_3 = r_4$ , а  $R_1 > r_1 + s$ , так как несимметричные формы деталей требуют при штамповке большого усилия прижима заготовки во избежание одностороннего ее увода при гибке, что может привести к увеличению брака. Внутренние радиусы гибки подбираются по данным, приведенным в гл. 8. Для облегчения процесса гибки в заготовке иногда делают предварительные надрезы или вырезы (рис. 170). Рекомендуется, чтобы ширина выреза  $K > s$  и длина его  $L = s + r + K/2$ . При гибке без выреза линию гибки необходимо отделять от кромки детали на величину не менее радиуса гибки  $r$ . Для точного фиксирования заготовки в гибочном штампе и предотвращения ее сдвига во время гибки следует в деталях предусматривать технологические отверстия.

#### Требования к деталям, получаемым вытяжкой и формовой

При конструировании деталей, получаемых вытяжкой, следует стремиться к простоте и симметричности конструктивных форм деталей и плавному сопряжению всех элементов; основное внимание должно быть обращено на правильный выбор радиусов сопря-

жения дна, стенок и фланцев, соотношение размеров, характеризующих поперечное сечение и высоту вытягиваемой детали, в случае сложной детали — ее контура.

Значения минимально допустимых радиусов сопряжения для цилиндрических и прямоугольных деталей, не вызывающих удлинения технологического процесса изготовления, приведены на рис. 171. Обычно радиус сопряжения внутренних стенок с дном  $r_n$  для материалов толщиной 1—6 мм составляет от 2 до 10—12 мм ( $r_n \geq 2s$ ), а наружных стенок с фланцем — от 3 до 12—15 мм ( $r_m \geq 3-4s$ ). Эти отношения могут быть уменьшены до  $r_n \geq (0,1 \div 0,3) s$  и  $r_m \geq (0,2 \div 0,4) s$ , но только при условии введения дополнительной операции — формовки (калибровки).

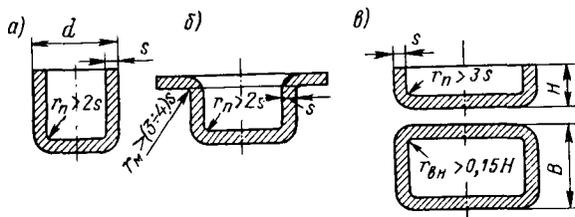


Рис. 171. Рекомендуемые радиусы сопряжения для стенок и фланца при вытяжке: а — цилиндрический колпачок; б — изделие с фланцем; в — прямоугольное изделие

При конструировании деталей, получаемых вытяжкой, следует стремиться к возможно меньшей высоте, с тем чтобы деталь можно было получить за одну — две операции. Установлено, что за одну операцию можно получить полое цилиндрическое изделие без фланца высотой  $H \leq (0,5 \div 0,7) d$ ; прямоугольное высотой  $H \leq (0,3 \div 0,8) B$  при  $r = (0,05 \div 0,20) B$ . Здесь  $H$  — высота изделия;  $d$  — диаметр цилиндра;  $B$  — малая сторона прямоугольника;  $r = r_{уг}$  — радиус закругления в углах изделия.

При отработке чертежей деталей цилиндрической формы на технологичность следует предусмотреть небольшой уклон внутренних стенок (до  $1^\circ$ ), так как это облегчает съем детали после вытяжки и увеличивает срок службы штампа. Для вытяжки с утонением вытяжному пуансону придают на его рабочей части конусность не менее 0,02—0,04 мм на высоту изделия для первых операций и не менее 0,06 мм — для последних операций, облегчив этим самый съем изделия с пуансона после вытяжки.

При конструировании деталей, имеющих несимметрично вытянутую или несимметрично согнутую форму, следует обратить внимание на возможность спаривания деталей, которое в ряде случаев является единственным решением, а часто технологически выгодно — улучшаются условия деформации металла, сокращается количество штампов.

При рельефной формовке деталей ширина площадки вокруг выштамповываемого рельефа должна быть в три раза больше толщины материала, так как в противном случае будет происходить утягивание и вывертывание материала, что приведет к браку.

При формовке ребер жесткости в деталях ребра должны иметь плавные переходы поперечных сечений и ширину не менее  $2s$ , благодаря чему не происходит разрывов металла при штамповке.

При внутренней отбортовке кромок в углах у деталей необходимо, чтобы расстояние от бортов детали до кромок отбортованного отверстия  $L$  было не менее  $(7 \div 8) s$ .

При обработке на технологичность чертежей облицовочных деталей автомобилей, получаемых вытяжкой и формовкой, учитывая, что пластической деформации подвергается вся штампуемая заготовка с целью получения помимо вытяжки также различных ребер, местных выпуклостей и углублений, для предотвращения образования складок приходится искусственно увеличить сопротивление перемещению материала между матрицей и прижимом, для чего на прижиме делают буртики — пороги, а на матрице — соответствующие выемки для них.

## **Глава 23. МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СОСТАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ**

### **§ 85. ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАРШРУТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ И ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ**

#### **Содержание и порядок проектирования маршрутной технологии**

Проектирование маршрутной технологии представляет собой проектирование технологического процесса в целом и сводится к установлению порядка операций с указанием режима и потребного оборудования.

В технологический процесс изготовления детали включают: 1) последовательность изготовления деталей по операциям; 2) последовательность участков, на которых изготавливаются детали; 3) указание основного, необходимого и вспомогательного оборудования; 4) указание оснастки (штампов, приспособлений и инструмента); 5) пооперационные нормы времени; 6) общие данные о детали (номер, количество на изделие, материал и пр.).

При составлении технологического процесса изготовления деталей из листового материала учитывают ряд факторов, влияющих на выбор варианта штамповки, а именно: 1) конфигурацию и размеры детали; 2) марку и толщину материала; 3) точность изгото-

вления и качество отделки поверхности детали; 4) объем производственного задания и размер отдельной партии; 5) общую производственную обстановку: сроки подготовки производства; наличие оборудования, штампы и инструмент; мощность цехов, изготавливающих штампы и необходимый инструмент; квалификацию рабочих и ИТР цеха, предприятия.

Основными факторами, определяющими технологический процесс изготовления деталей из листового материала, являются первые четыре.

Большинство штампуемых деталей из листового материала можно изготавливать несколькими способами: дифференцированными — отдельными операциями на отдельных штампах и концентрированным — совмещенным или последовательно действующим.

Анализируя при составлении технологического процесса значимость и удельный вес отдельных приведенных выше факторов, можно в каждом конкретном случае правильно выбрать тот или иной вариант штамповки.

В зависимости от рода и толщины материала детали решают вопрос о ее штамповке в холодном или горячем состоянии. Объем производственного задания или партии и точность изготовления детали позволяют установить способы штамповки — дифференцированный или концентрированный. В серийном производстве крупные и грубые детали изготавливают на раздельных штампах; в мелкосерийном и опытном производстве детали штампуют упрощенными и универсальными штампами, применяют групповые методы и поэлементную штамповку. При крупносерийном и массовом производстве, в зависимости от размеров и требуемой точности детали изготавливают на последовательно действующих или на совмещенных штампах.

В массовом производстве следует стремиться к автоматизации как отдельных операций, так и всего процесса в целом, созданию специализированных автоматических штамповочных линий и даже целых участков по комплексной автоматизации процесса изготовления изделия.

#### **Выбор оборудования для холодной листовой штамповки**

В листовой штамповке применяются механические прессы — кривошипные (эксцентрикковые) прессы простого, двойного и тройного действия, винтовые фрикционные, а также гидравлические прессы. В мелкосерийном и опытном производстве используются падающие молоты, обтяжные прессы, универсальные машины и станки. В массовом производстве применяются прессы-автоматы, полуавтоматы и многопозиционные прессы и автоматические роторные линии. При изготовлении мелких деталей используются и электромагнитные штамповочные прессы. Однако основным оборудованием в листовой штамповке являются кривошипные прессы

простого и двойного действия. Выбор их производят по основным техническим параметрам: по усилию, мощности, величине хода, частоте вращения, закрытой высоте, размерам рабочей части ползуна и размерам стола пресса, расстоянию между стойками (колонками) пресса и др. Тип пресса и величину хода ползуна подбирают таким образом, чтобы они соответствовали выполняемой технологической операции и характеру производства. Усилие, развиваемое прессом, должно быть равно или несколько больше усилия, требуемого для штамповки по расчету. При этом следует иметь в виду, что в каталогах и в паспорте кривошипного пресса указано усилие его в конце хода (вблизи нижней мертвой точки), где он развивает наибольшее усилие; в другом положении ползуна усилие будет меньше. Для формоизменяющих операций — гибки, глубокой вытяжки и формовки — пресс следует выбирать также и по мощности, так как затрачиваемая работа на деформацию металла значительна и пресс может быть перегружен не по усилию, а по мощности.

Прессы для холодной листовой штамповки выпускаются усилием от 10 до 80 000—100 000 кН; расстояние между колоннами в продольном направлении доходит до 8 м.

Закрытая высота пресса должна соответствовать (или быть больше) закрытой высоте штампа, т. е. высоте штампа в нижнем рабочем положении. Закрытой высотой пресса называют расстояние от настольной плиты до ползуна пресса в его нижнем положении при наибольшей величине хода и наименьшей длине шатуна. Таким образом, закрытая высота пресса определяет максимальную высоту штампа, который может быть установлен на данном прессе.

Размеры стола и ползуна пресса должны соответствовать размерам штампа, который изготавливается в соответствии с габаритными размерами штампуемой детали. Часто бывает, что размеры штампа в основном и влияют на выбор пресса, например в автомобильной и авиационной промышленности, где штампуются крупногабаритные детали из тонколистового материала.

Число ходов ползуна пресса должно обеспечивать достаточно высокую производительность штамповки.

## **§ 86. ТЕХНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ РАБОТ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СЕБЕСТОИМОСТИ ШТАМПУЕМОЙ ДЕТАЛИ**

### **Техническое нормирование работ**

Техническая норма времени представляет собой время, необходимое на обработку детали в соответствии с эксплуатационными возможностями пресса при правильной организации работ и рациональном использовании рабочей силы, с учетом опыта и результатов, достигнутых новаторами производства.

Норма выработки представляет собой количество деталей которые должен изготовить рабочий-штамповщик в единицу времени. Норма времени является одним из основных факторов, влияющих на выбор наиболее целесообразного варианта прессы листовой штамповки.

При техническом нормировании определяют:

1) норму штучного времени  $T_{шт}$ , необходимого для выполнения данной операции или детали;

2) норму подготовительно-заключительного времени на партию или на смену  $T_{п.з}$ . В последнюю входит время на ознакомление с заданием, на подготовку рабочего места (без перестановки штампов), на сдачу работы и приведение прессы в порядок. Норма  $T_{п.з}$  учитывается при составлении калькуляции и определении себестоимости детали.

Полная норма штучного времени (в мин) состоит из следующих основных элементов:

$$T_{шт} = t_0 + t_b + t_{об} + t_n, \quad (402)$$

где  $t_0$  — основное (технологическое или машинное) время, мин;  $t_b$  — вспомогательное время, мин, т. е. время, затрачиваемое на установку и удаление деталей, на управление прессом;  $t_{об}$  — время обслуживания рабочего места, которое затрачивается на чистку, смазку, уборку отходов и др., мин;  $t_n$  — время перерывов на отдых и личные надобности, мин.

Сумма основного и вспомогательного времени составляет оперативное время, т. е.  $T_{оп} = t_0 + t_b$ ; это время непосредственно затрачивается на выполнение данной операции. Сумма  $t_{об} + t_n = T_d$  считается дополнительным или прибавочным временем, которое обычно берется в процентном отношении от  $T_{шт}$ .

Тогда норма штучного времени определяется формулой

$$T_{шт} = T_{оп} + T_d = T_{оп} (1 + k_0) = (t_0 + t_b) (1 + k_0), \quad (403)$$

где  $k_0$  — коэффициент надбавки, учитывающий  $T_d$ .

Технологическое или машинное время  $t_0$  определяется в зависимости от частоты вращения прессы  $n$  (в об/мин):

при автоматической работе прессы по формуле

$$t_0 = 1/n, \quad (404)$$

при отдельных включениях прессы из зависимости

$$t_0 = k/n, \quad (405)$$

где  $k = 1,0 \div 1,5$  — берется в зависимости от частоты вращения прессы  $n$ , меньшие значения при  $n$  от 30 до 80 об/мин и большие — при  $n$  от 80 до 150 об/мин.

Вспомогательное время  $t_b$  принимают из имеющихся на заводе норм, установленных на основании хронометража.

Дополнительное время  $T_d$ , учитываемое коэффициентом  $k_0$ , обычно берется в процентном отношении от  $T_{оп}$  и составляет 6% для прессов усилием до 1000 кН, 10% для прессов усилием 1000—3000 кН и 14% для прессов свыше 3000 кН.

Норма в смену при восьмичасовом рабочем дне

$$N = 480/T_{шт}. \quad (406)$$

#### Определение технологической себестоимости штампуемой детали

Критерием совершенства технологического процесса является в конечном итоге себестоимость детали. В зависимости от состава затрат, включенных в себестоимость, различают заводскую и цеховую себестоимость.

Для сравнения возможных вариантов технологических процессов по изготовлению детали пользуются цеховой себестоимостью, при которой не учитываются те затраты, которые не зависят от технологического процесса и остаются неизменными для сопоставляемых вариантов (затраты на ремонт и амортизацию зданий, сооружений и инвентаря, внутрицеховой транспорт и др.), т. е. определяют технологическую себестоимость.

Технологическая себестоимость штампуемой детали  $C_T$  в общем виде выражается следующей зависимостью [57]:

$$C_T = C_m + C_z + C_{шт} + C_n + C_{об}, \quad (407)$$

где  $C_m$  — стоимость материала на одну деталь;  $C_z$  — заработная плата производственных рабочих на одну деталь;  $C_{шт}$  — стоимость комплекта штампов и другой специальной технологической оснастки, используемой при изготовлении детали;  $C_n$  — стоимость наладки технологической оснастки и оборудования на одну деталь;  $C_{об}$  — стоимость эксплуатации оборудования, отнесенная к одной изготавливаемой детали.

Стоимость материала определяется по формуле

$$C_m = Gu - gk. \quad (408)$$

где  $G$  — масса материала на одну деталь, кг;  $u$  — цена 1 кг материала, руб;  $g$  — масса отхода (утиля) на одну деталь, кг;  $k$  — цена 1 кг отхода (утиля), руб.

Расходы на заработную плату производственных рабочих составляют

$$C_z = \sum T_{шт} \frac{q_p}{60} (1 + P/100), \quad (409)$$

где  $q_p$  — часовая ставка, зависящая от заработной платы производственных рабочих, занятых на данной операции по тарифной сетке, руб.;  $T_{шт}$  — норма штучного времени для выполнения данной операции, мин;  $P$  — начисление на заработную плату, %

(эти расходы составляют 12—14% от заработной платы производственных рабочих);  $\Sigma$  — сумма расходов по заработной плате для выполнения всех операций по штамповке детали.

Затраты на изготовление штампов и специальных устройств к ним могут быть подсчитаны по формулам:

величина партии  $N$  (или годовой программы) превышает стоимость штампа  $K_{ст}$  ( $N > K_{ст}$ ),

$$C_{ш} = \Sigma(C_{из} + Cn)/K_{ст}; \quad (410)$$

величина партии меньше стоимости штампа ( $N < K_{ст}$ ),

$$C'_{ш} = \Sigma(C_{из} + CNH/K'_{ст})/K_{ст}. \quad (411)$$

Здесь  $C_{из}$  — стоимость изготовления штампа для выполнения данной операции, руб.;  $C$  — стоимость одного восстановления штампа, руб.;  $K_{ст}$  — стоимость штампа до полного износа, шт.-дет.;  $n$  — количество восстановления до полного износа;  $K'_{ст}$  — стоимость штампа между ремонтами, шт.-дет.;  $H$  — число лет выпуска данных деталей;  $N$  — годовая программа или величина партии, шт.;  $\Sigma$  — сумма затрат по изготовлению оснастки для выполнения всех операций по штамповке данной детали.

Расходы на настройку  $C_n$  определяют из выражения

$$C_n = \Sigma \left[ \frac{q_n}{60} T_{п.з} \left( 1 + \frac{P}{100} \right) \right] n_1 g_1, \quad (412)$$

где  $q_n$  — часовая заработная плата наладчика (настройщика), руб.;  $T_{п.з}$  — норма подготовительно-заключительного времени, мин;  $P$  — начисление на заработную плату (12—14%), %;  $n_1$  — число партий, на которое разбивается общее количество деталей, подлежащих изготовлению;  $g_1$  — коэффициент, учитывающий количество переналадок в процессе работы; для серийного производства  $g_1 = 1,1 \pm 1,3$ ;  $\Sigma$  — сумма затрат по выполнению всех операций данной детали.

Стоимость эксплуатации оборудования (в руб.) определяют из выражения

$$C_{об} = \Sigma(A_{об} + T_{рем} + B_{сж.в} + \mathcal{E} + E_{пр}), \quad (413)$$

где  $A_{об}$ ,  $T_{рем}$ ,  $B_{сж.в}$ ,  $\mathcal{E}$ ,  $E_{пр}$  — соответствующие затраты на амортизацию оборудования, ремонт и текущее обслуживание, сжатый воздух, силовую электроэнергию, амортизацию и обслуживание производственной площади, приходящиеся на выполнение данной операции.

Экономическая эффективность при сравнении двух вариантов по штамповке детали определяется как разность сумм всех затрат по тому и другому варианту (по старому и новому процессу).

## § 87. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ ПРИ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКЕ

### Содержание и методика оформления технологической документации

Оформление технологических процессов (операций) листовой штамповки производится в виде маршрутной ведомости, карт технологических операций, операционных карт и карточек раскроя материала. Вид технологической документации устанавливается в зависимости от характера — серийности производства. В мелко-серийном производстве заполняется только маршрутная ведомость, в которой дается перечень операций с краткими сведениями по их выполнению. В серийном производстве разрабатываются либо укрупненно-упрощенные технологические карты, либо полные карты технологического процесса. В массовом и крупносерийном производстве разрабатываются карты технологических процессов по каждой детали, операционные карты и карточки раскроя.

В технологической карте указываются характеристика штампуемой детали и материал, из которого она изготовляется, наименование и эскизы операций, тип оборудования и его усилие, тип штампа и инструмента, норма времени на деталь, производительность в час и в смену, разряд рабочего и расценка за деталь. В конце карты дается графа — примечание [29].

В операционной карте приводятся подробнейшие данные с соответствующими эскизами, касающиеся выполнения данной технологической операции.

#### Примеры технологических процессов листовой штамповки

В предыдущих главах было приведено много примеров отдельной и комбинированной штамповки. Здесь в дополнение даются примеры технологических процессов многооперационной штамповки некоторых характерных автомобильных деталей [53].

На рис. 172 приведен пример штамповки чашки трубы карданного вала автомобиля из стали 08 толщиной 5 мм. Деталь получается за пять операций: операция 1 — одновременная вырубка заготовки диаметром 160 мм и вытяжка на комбинированном штампе; операции 2, 3, 4 и 5 — раздельная вытяжка на раздельных вытяжных штампах с нижними пневматическими устройствами. После штамповочных операций у полой детали подрезается торец и обрезается дно на токарном станке для получения окончательной трубы.

На рис. 173 приведен пример штамповки наливной воронки автомобиля из стали 08 толщиной 1 мм. Штамповка детали осуществляется в семь операций, из которых первая операция — вырубка заготовки диаметром 280 мм (на рисунке не показано), операции 2, 3, 4 и 5 — раздельная вытяжка на отдельных вытяжных штампах; операция 6 — одновременная обрезка фланца и

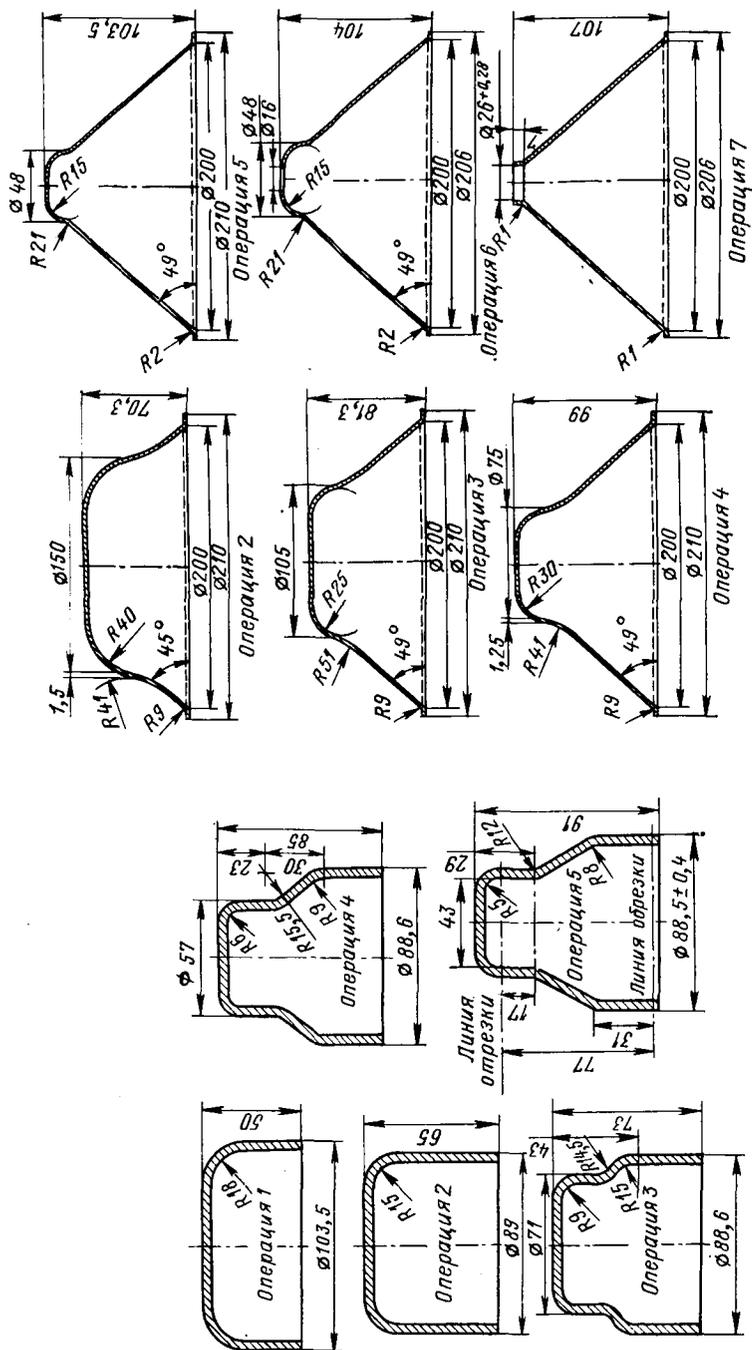


Рис. 172. Последовательность операций штамповки чашки трубы карданного вала автомобиля

Рис. 173. Последовательность операций штамповки наливной воронки автомобиля

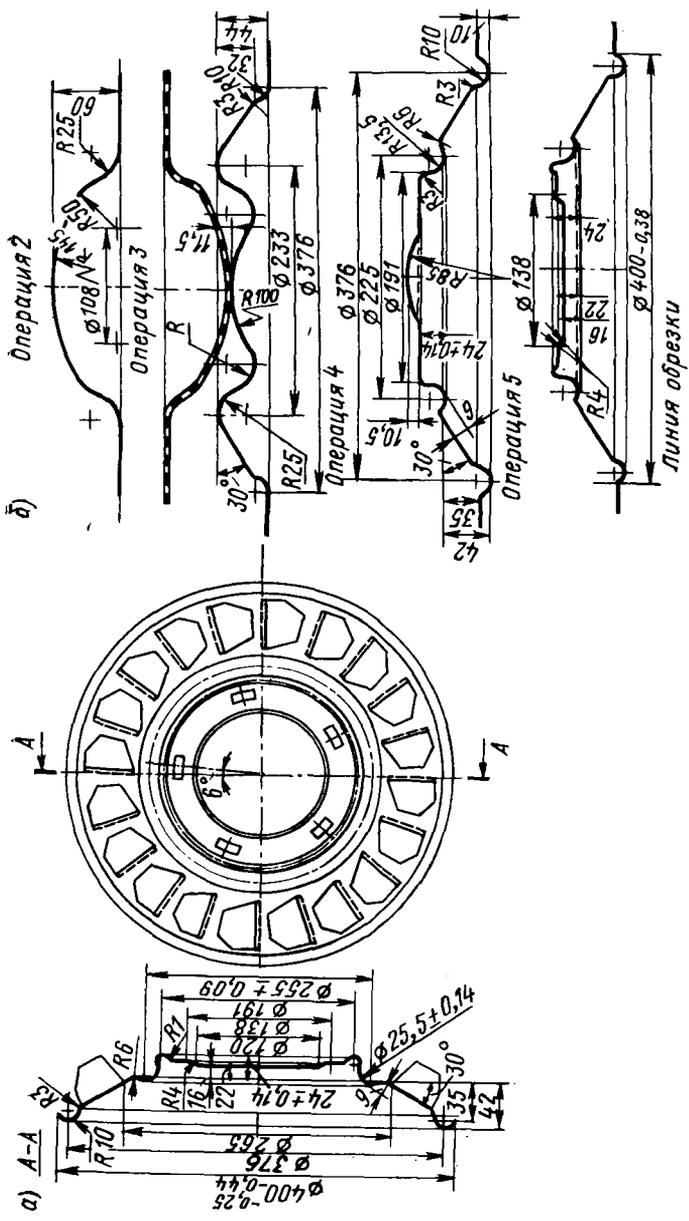


Рис. 174. Штамповка вентилятора колеса легкового автомобиля

пробивка отверстия диаметром 16 мм под отбортовку на комбинированном штампе; операция 7 — отбортовка отверстия и калибровка. При массовом производстве и наличии многопозиционных прессов подобные детали рациональнее изготавливать на этих прессах, на которых после установившегося процесса за каждый ход получается готовая деталь.

На рис. 174, б показана последовательность штамповки вентилятора колеса легкового автомобиля из стали 08 толщиной 0,6 мм (рис. 174, а). Деталь изготавливается за восемь операций [53]. Заготовка, предварительно нарезанная на гильотинных ножницах (первая операция), подвергается на штампе вытяжке по большому радиусу и с широким фланцем — операция 2. При операции 3 полая заготовка куполообразной формы перетягивается в некоторых ее частях в обратную сторону. На операциях 4 и 5 осуществляется формовка полой заготовки для получения окончательного профиля детали. На шестой операции производится одновременно обрезка фланца по диаметру 400 мм и пробивка отверстия диаметром 120 мм. Седьмая операция — надрезка и отбортовка двадцати лопастей и восьмая операция — пробивка пяти прямоугольных отверстий.

#### **§ 88. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ЛИСТОШТАМПОВОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ**

Для более правильного и быстрого решения вопроса по выбору рационального варианта технологического процесса или наиболее удачной конструкции технологической оснастки (штампов, приспособлений) по листовой штамповке эти задачи решаются путем автоматизации технологической подготовки производства (АТПП). Для этого проводят предварительную работу с целью получения соответствующих информации, которые разделяются на три вида [18]: первичная информация (заводские и отраслевые стандарты, ГОСТы, справочники, классификаторы и т. д.); информация, подготовленная для использования в системе АТПП (информация, записанная на перфоленты или перфокарты); информация, хранящаяся внутри системы (информация, записанная на магнитных лентах и магнитных дисках).

Полученная информация последовательно обрабатывается и подготавливается к виду, удобному для ввода в ЭВМ или другие технические средства, предназначенные для хранения и выдачи необходимой информации. Подготовка для ввода в ЭВМ заключается в ее кодировании на одном из формализованных языков описания объектов или с помощью кодировочных таблиц.

Использование формализованного языка позволяет записывать в сжатой форме необходимый перечень значений параметров, по которым ведется поиск технологического варианта процесса и раскрывать требуемые логические связи между параметрами,

т. е. создание алгоритма решения задачи, которое является первым этапом программирования. В процессе его выполнения разрабатывается алгоритм решения, т. е. устанавливается необходимая последовательность арифметических и логических действий, с помощью которых может быть решена данная задача.

Для записи алгоритма используется условная запись, отражающая структуру алгоритма в целом, независимо от конкретного типа машины, на которой в дальнейшем будет решаться задача. Язык программирования предназначен для автоматизации при составлении программ работы ЭВМ для решения задачи по АТПП. Сущность программирования заключается в переводе исходного алгоритма на язык конкретной машины.

Следующим этапом является отладка программы, т. е. выявления ошибок, которые могли быть допущены на всех предыдущих этапах. После отладки программы составляется инструкция по решению данной задачи на ЭВМ.

В процессе разработки системы АТПП для холодной листовой штамповки наиболее удачной формой представления информации при разработке алгоритма являются табличные алгоритмы [18], которые формируются на основании предварительно систематизированной информации о параметрах холоднштампуемых листовых деталей и их элементах, а также информации о соответствующих операциях холодной листовой штамповки.

В табличные алгоритмы для поиска технологической оснастки входят чертеж штампуемой детали, конфигурация наружного контура и размеры детали и их коды, картотеки специальных или универсальных штампов, заказы на проектирование штампа, проверка на соответствие и оформление технологического процесса по штамповке листовой детали.

ЭВМ широко применяют также для решения многих административно-хозяйственных задач, причем наибольший эффект достигается при создании автоматизированных систем управления предприятием в целом (АСУП) [60].

Отметим также, что с целью дальнейшей интенсификации технологических процессов листовой штамповки и повышения их эффективности особое значение в этих условиях приобретают прогнозы и долгосрочные планы [18].

Метод прогнозирования помогает в решении задач по проектированию нового оборудования и по переходу к комплексной механизации и автоматизации процессов листовой штамповки, а также и к автоматизированной подготовке листоштамповочного производства.

## Раздел шестой

# ШТАМПЫ ДЛЯ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ, МЕТОДЫ ИХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАСЧЕТЫ ОСНОВНЫХ ДЕТАЛЕЙ НА ПРОЧНОСТЬ

### Глава 24. ШТАМПЫ ДЛЯ РЕЗКИ — РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ШТАМПЫ

#### § 89. КЛАССИФИКАЦИЯ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ ШТАМПОВ

Штампы, предназначенные для операции резки, — разделительные штампы можно классифицировать по следующим основным признакам:

1) *по характеру выполняемых работ (операций)* — отрезные, вырубные (вырезные), пробивные, обрубные (обрезные) и др. (см. схему табл. 1);

2) *по способу действия* — простого, последовательного и совмещенного;

3) *по роду направляющих устройств* — без направления (открытые), с направляющей плитой, с направляющими колонками, с сопряженными направляющими;

4) *по способу ограничения подачи материала* — с неподвижным упором, с подвижным упором, с ловителями, с боковыми ножами и др.

Часть перечисленных выше типов штампов, в свою очередь, разделяются по следующим признакам.

*По типу фиксатора* — пробивные с открытым, полузакрытым, закрытым фиксатором.

*По способу действия выбрасывателей и съемников* — совмещенные: с пружинами, с резиновым или полиуретановым буфером, с пневматическими и гидropневматическими устройствами и т. д.

Выбор характера технологического процесса для разделительных операций листовой штамповки в значительной мере определяет не только конструктивную схему штампа, но также форму и размеры его рабочих и вспомогательных деталей. Однако, несмотря на это, многие штампы имеют большое количество деталей одинакового назначения и устройства.

**Вырубные штампы без направляющих устройств**

В мелкосерийном производстве применяются вырубные штампы открытого типа без направляющих устройств. Они являются наиболее простыми и дешевыми в изготовлении. Данные штампы используются для котельных и машиносборочных работ, когда требуется пробивать различного рода отверстия в листовом, угловом и фасонном материале. Однако открытые вырубные штампы без направляющих устройств имеют ряд существенных недостатков — невозможность применения их для точных работ, трудность установки штампа на прессе, быстрый износ штампа и небезопасность в эксплуатации, поэтому применение их крайне ограничено. При работе на таких штампах обязательно применение предохранительных ограждений.

**Вырубные штампы с направляющими устройствами**

Более совершенными являются вырубные штампы с направляющим устройством в виде плит, колонок, с сопряженными направляющими; верхняя часть этих штампов строго направляется и центрируется относительно нижней части, что повышает качество и точность вырубаемых деталей, а также увеличивает стойкость штампа. Работа на штампе с направляющей плитой менее опасна, так как все рабочие части закрыты.

**Вырубной штамп с направляющей плитой и с автоматическим упором.** Верхняя часть штампа (рис. 175) состоит из верхней плиты 2, в которую запрессован цилиндрический хвостовик 1 (иногда хвостовик ввертывается в плиту), прокладки 3 и пуансонодержателя 4 с расклепанным в нем пуансоном 7. Детали 2—4 скреплены между собой при помощи винтов 5 и штифтов 6.

На нижней плите 11 винтами 12 и штифтами 13 закреплены матрица 10 и направляющая плита 8, являющаяся одновременно и съемником. Между направляющей плитой и матрицей находятся две направляющие линейки 9, на которых и лежит плита 8. Для сохранения параллельности рабочей плоскости матрицы 10 и нижней плоскости плиты 11 при шлифовке последние отдельно скреплены между собой винтами 15 и штифтами 14; при разборке штампа они не разъединяются.

Расстояние между направляющими линейками равно ширине полосы (ленты) плюс зазор в 0,2—1,0 мм, обеспечивающий возможность передвижения материала даже при неровном крае ленты. Если заготовка имеет грубые допуски по ширине или когда мала перемычка, то в одной из направляющих линеек помещают боковую прижимную планку. Лента или полоса в этом случае прижимается всегда к одной и той же линейке, относительно которой и устанавливается матрица.

Направляющие линейки 9 изготовляют несколько выходящими из штампа. К ним при помощи винтов 17 прикрепляется специальный лоток 16 для лучшего поддержания ленты (полосы) во время штамповки. Для удобства подачи полосы в рабочую зону штампа в направляющей плите — съемнике (с одной или с двух ее сторон) сделаны вырезы. Во избежание попадания пальцев между направ-

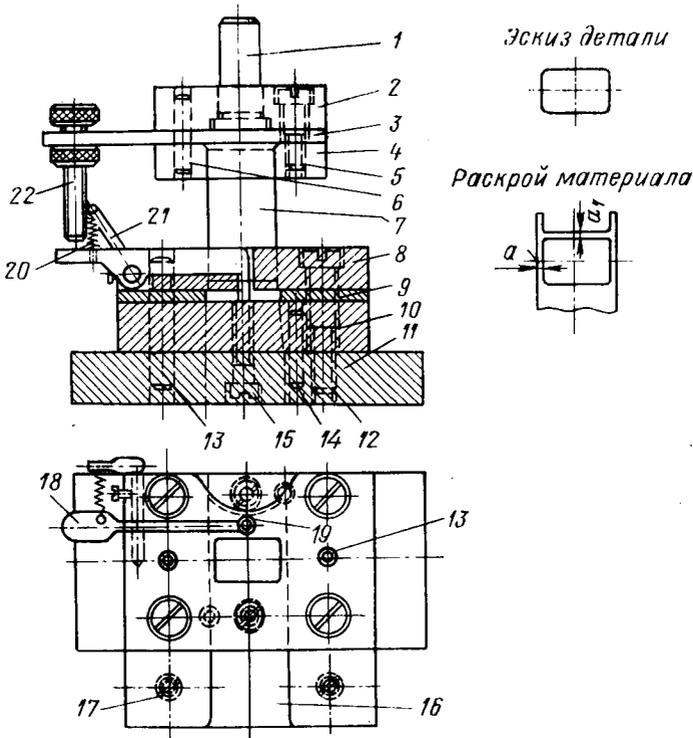


Рис. 175. Вырубной штамп с направляющей плитой и автоматическим упором

ляющей плитой и пуансонодержателем, при опускании ползуна прессы к штампу прикрепляются защитные щитки (на рис. 175 не показаны).

При установке штампа верхняя часть его должна быть так отрегулирована, чтобы пуансон не выходил из направляющей плиты даже в крайнем верхнем положении ползуна.

Для ограничения шага подачи материала применяется неподвижный упор (см. рис. 200) или подвижной и автоматический упоры. Однако неудобством работы на штампе с неподвижным упором является то, что при перемещении полосы на величину шага подачи приходится каждый раз ее приподнимать и подавать

точно до упора. На эту операцию затрачивается много вспомогательного времени, вследствие чего несколько снижается производительность работы. Штамп с пружинящим и с автоматически действующим упором позволяет работать быстрее, чем на предыдущем штампе. При достаточной сноровке рабочего можно работать при непрерывном ходе пресса с числом двойных ходов его ползуна до 140 в минуту.

Работа штампа с крючкообразным автоматическим упором 18 выполняется в следующей последовательности. При опускании верхней части штампа нажимной винт 22 (с накатанной круглой головкой и контргайкой), нажимая на левый конец упора 18, приподнимает правый конец (крючок) упора и освобождает его от ленты. Одновременно происходит вырубка детали. В момент подъема крючка пружина 20, закрепленная между ним и рычагом 21, оттягивает упор в сторону, обратную подаче, к стенке отверстия 19 (упор имеет некоторую свободу перемещения в направляющей плите). При отходе пуансона вверх и перемещении ленты вперед крючок попадает во вновь вырубленное отверстие, задняя кромка которого при подаче на величину шага упрется в него.

Упор подобного типа требует хорошей регулировки, так как в противном случае он часто будет заскакивать в ранее вырубленное отверстие и, следовательно, не обеспечит подачу материала. У таких пакетных штампов для удобства крепления штампа к столу пресса (при помощи специальных планок или прихватов) нижняя плита 11 с двух сторон имеет размеры, несколько большие, чем размеры матрицы 10.

Крепление верхней части штампа к ползуну пресса осуществляется при помощи хвостовика, колодок, планок, болтов и др.

**Вырубные штампы с направляющими колонками.** В вырубных штампах с направляющими колонками верхняя часть направляется по отношению к нижней с помощью специальных колонок. Колонки дают более надежное направление по сравнению с направляющей плитой. Благодаря удобству установки и эксплуатации эти штампы широко применяются в массовом и крупносерийном производствах. Они пригодны для вырубки как мелких, так и крупных деталей.

Штампы с направляющими колонками могут быть сконструированы как в виде простых штампов для выполнения одной операции, так и в виде последовательно или совмещенно действующих штампов. Число колонок может быть от двух до четырех. Колонки могут быть расположены по одной оси штампа, по диагонали, по четырем углам, а также несимметрично за осевой линией штампа. Последний способ расположения колонок может вызвать некоторый перекос штампа, поэтому для вырубки крупных деталей его не следует применять. Во избежание перекоса и заедания штампа его также не следует использовать в том случае, если верхняя часть штампа соединяется с ползуном пресса при помощи хвостовика грибовидной формы (плавающего хвостовика).

## § 91. ВЫРУБНЫЕ ШТАМПЫ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ

В массовом и крупносерийном производстве широкое применение получили вырубные штампы последовательного действия для одновременной пробивки и вырубки. В таких штампах изготавливают детали с отверстиями за два и более последовательных хода ползуна прессы. Эти вырубные штампы позволяют резко повысить производительность и снизить стоимость изготовления изделий.

Конструктивно вырубные штампы последовательного действия могут быть как с ловителями, которые при подаче ленты (полосы) на величину шага строго центрируют ее по предварительно пробитым в ней отверстиям, так и с боковыми шаговыми ножами.

Штампы с ловителями снабжены предварительным упором, который вводится в действие (нажатием от руки) лишь перед первым ударом. Ловители могут применяться при штамповке материала толщиной более 0,3 мм, так как в противном случае материал будет прогибаться по краям отверстия. Не следует применять ловитель при изготовлении деталей с отверстиями менее 2 мм ввиду возможной поломки ловителей в работе. Во всех этих случаях точность подачи и центрирование могут быть обеспечены при использовании штампов с шаговыми ножами и с боковыми засечками.

Штампы последовательного действия могут быть как с направляющей плитой, так и с направляющими колонками.

### Вырубные штампы последовательного действия с боковыми (шаговыми) ножами

Эти штампы отличаются наличием дополнительных пуансонов-ножей, которые располагаются сбоку по направлению подачи полосы. Эти штампы могут иметь один или два ножа, расположенных параллельно (по обе стороны полосы) или по диагонали. Диагональное расположение ножей позволяет использовать полосу до конца. На рис. 176 показан штамп подобного типа с двумя боковыми ножами 1 и 3, расположенными по диагонали.

Работа на штампе выполняется в следующей последовательности. Штамповщик вводит ленту между направляющими линейками и, прижимая ее к левой линейке, проталкивает вперед, пока она не встретит упорную кромку вкладыша 2. С пуском прессы при первом ударе пуансонами 5 и 7 пробиваются только три отверстия будущей детали и одновременно обрубается ножом 1 полоска с левой стороны. Последнее позволяет продвинуть полосу (или ленту) на величину продольного шага  $A$  до тех пор, пока она снова не упрется своим краем в упорную кромку вкладыша 2. При следующем — втором ударе производится одновременно вырубка первой детали пуансоном 6 по контуру, пробивка трех отверстий для второй детали и обрубка следующей полоски сбоку ленты ножом 1.

При последующем ходе ползуна пресса вступает в работу правый нож 3, и лента упирается в кромку вкладыша 4. После нескольких предварительных ходов пресс можно пустить на автоматическую работу, так как лента уже получила надежное направление с двух сторон, войдя полностью в штамп. Достоинство

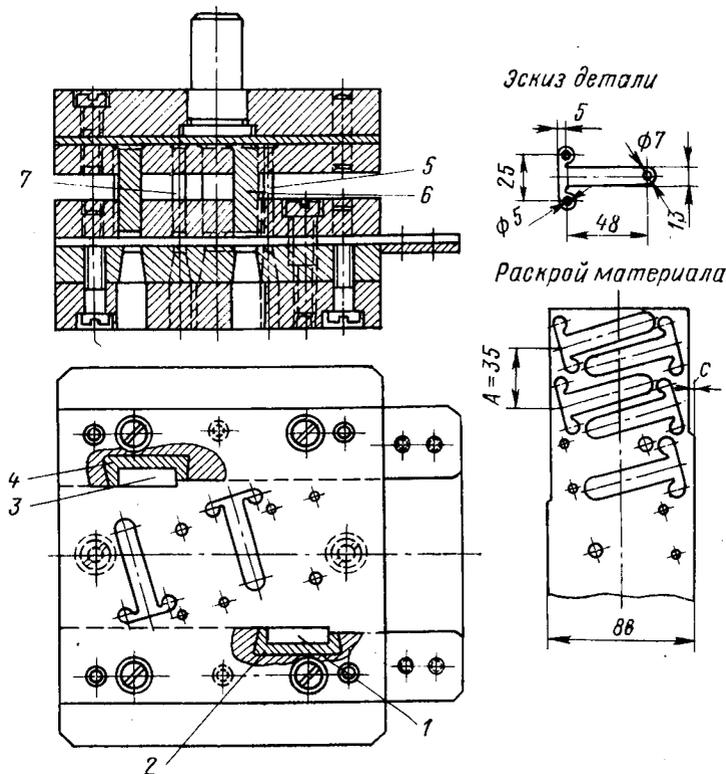


Рис. 176. Вырубной штамп последовательного действия с двумя боковыми ножами

штампов с ножами заключается в возможности производить работу без остановки пресса. Эти штампы, кроме того, обеспечивают большую точность подачи. Для этой цели иногда помимо ножей в вырубные пуансоны запрессовывают дополнительно еще и ловители. Расположение вкладыша 2 (упора) определяется прежде всего конструкцией детали. Недостатком этих штампов является излишний расход металла, идущий на обрубаемые полоски.

**Вырубные штампы с расположением бокового ножа в отходе**

В некоторых случаях (при достаточно жестком отходе) шаговые ножи можно располагать в отходе (рис. 177). Конструкция такого штампа разработана инженерами Г. Г. Заком и Н. К. Клебановым.

Работа происходит так: сначала подача материала производится по обычным предварительным упорам, а затем по упору вкладыша шагового ножа. Подаваемый материал прижимается боковым прижимом к направляющей планке.

При конструировании и эксплуатации вырубных штампов с боковыми ножами следует обращать внимание на следующее.

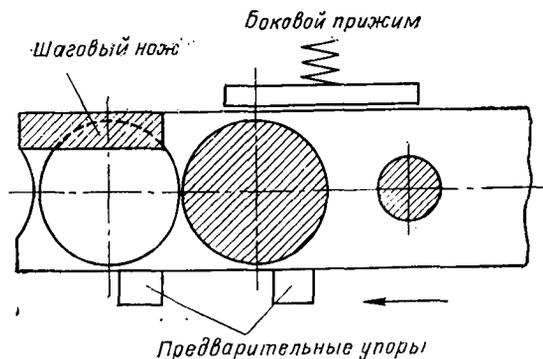


Рис. 177. Схема штамповки с шаговым ножом, расположенным в отходе

1. Для хорошей работы штампа требуется, чтобы ограничивающая подачу кромка  $c$  (см. рис. 176) была достаточной ширины. Она устанавливается из следующих зависимостей:

$s$ , мм	$c$ , мм
До 1,5	1,5
Св. 1,5 до 2,5	2,0
» 2,5 » 3,5	2,5—3,0

2. Необходима равномерная и не слишком быстрая подача ленты вперед; слишком быстрая подача может вызвать смятие или прогиб ленты, а следовательно, несовпадение пробитых отверстий с контуром детали.

В последовательных (как и простых) штампах с жестким съемом почти всегда получается некоторое коробление вырубаемых деталей. Поэтому такие штампы можно применять только в случаях, когда от изделия не требуется большой точности и оно может быть изготовлено не совсем плоским. Для получения более плоских деталей применяют вырубные штампы на колонках с пружинным или с полиуретановым прижимом.

## § 92. ВЫРУБНЫЕ ШТАМПЫ СОВМЕЩЕННОГО ДЕЙСТВИЯ

В штампах совмещенного действия (называемых иногда компаундными или комбинированными) вырубка и пробивка происходят одновременно, за один ход пресса. У таких штампов по конструктивным соображениям, а также с целью более удобной их эксплуатации, нижняя рабочая часть обычно служит матрицей

для пробивных пуансонов и одновременно неподвижным пуансоном для вырубки по наружному контуру. Матрица для вырубки по наружному контуру подвижная; она закрепляется в верхней части штампа.

Преимуществами штампов совмещенного действия являются их компактность и обеспечение большей concentричности (точности) расположения внутреннего отверстия относительно наружного контура изделия.

Штампы совмещенного действия позволяют, кроме того, вырубать детали также из листа и обрезков. Поэтому они применяются (особенно при централизованном изготовлении блоков) не только при массовом производстве, но также и при серийном — для изготовления мелких, средних и крупных изделий, особенно сложных деталей с высокой точностью и чистотой обработки.

**Совмещенный вырубной штамп с направляющими колонками и съёмником, действующим от пружин**

На рис. 178 показана типовая конструкция совмещенного штампа с направляющими колонками 8, 14 для изготовления деталей с одним (типа шайбы) или несколькими отверстиями.

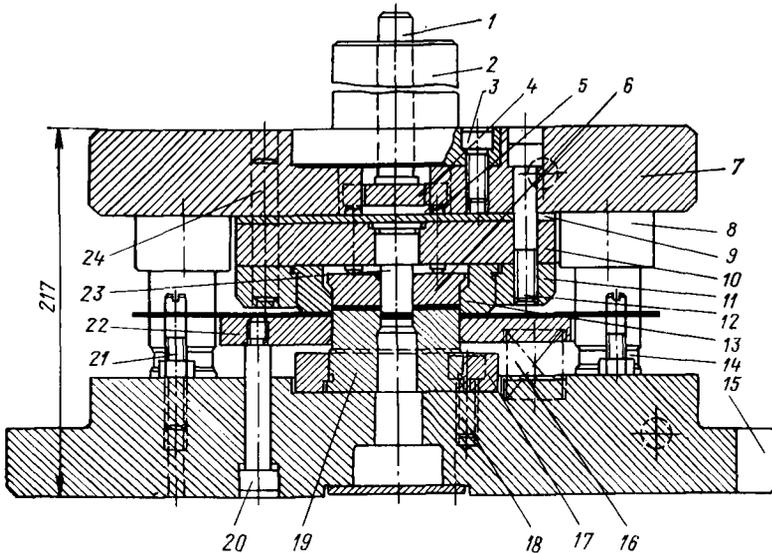


Рис. 178. Вырубной штамп совмещенного действия с направляющими колонками и со съёмником, действующим от пружин

На нижней плите 15 установлена и закреплена при помощи пуансонодержателя 17 и винтов 18 пуансон-матрица 19, выполняющая роль матрицы при пробивке отверстий и роль пуансона при вырубке по контуру. Съёмник 22 полосы действует от нескольких пружин 16. Он направляется и удерживается винтами 20.

На верхней плите 7 установлены и закреплены штифтами 24 и винтами 12 прокладка 9, пуансонодержатель 10 с запрессованным в нем пробивным пуансоном 23, матрицедержатель 11 и вырубная матрица 13. Внутри матрицы 13 помещен узел выталкивателя 1, 4, 5, 6, действующий через стержень 1 от ползуна прессы или от пружин. Стержень 1 выталкивателя проходит через хвостовик 2, закрепленный к верхней плите 7 винтами 3.

Работа на штампе происходит следующим образом. Полосу или ленту накладывают на съемник 22 до упора при ручной подаче или без упора при автоматической подаче материала, упирая полосу в направляющие стержни 21, и пускают пресс. При опускании ползуна сначала прижимается материал, а затем по мере дальнейшего движения ползуна съемник 22 и выталкиватель 6 смещаются, обнажая режущие кромки штампа, которые и производят вырубку и пробивку. При обратном ходе ползуна прессы съемник снимает ленту с пуансона 19, а выталкиватель 6 выбрасывает изделие из матрицы 13.

Отход после вырубки проваливается вниз через отверстие матрицы в паз нижней плиты и удаляется из него вручную в поперечном направлении или при наличии отверстия в столе прессы проваливается прямо в тару. Продвинув ленту вперед на один шаг, производят следующую вырубку детали.

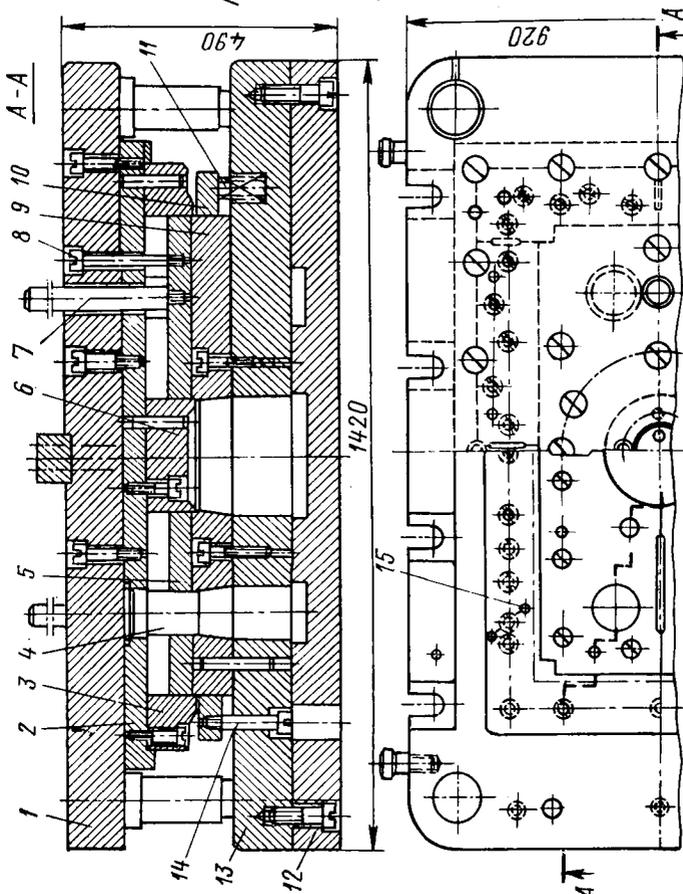
При вырубке деталей из толстых материалов и достаточно больших габаритов предусматриваются специальные пружинные или резиновые буферные устройства, располагающиеся под столом прессы (как на рис. 193, 207, а). Вырубка особо крупных деталей из толстого материала производится на прессах, снабженных пневматическими или гидроневматическими подушками (как на рис. 206).

**Совмещенный вырубной штамп с направляющими колонками  
и жестким выталкивателем, действующим от прессы,  
для штамповки крупногабаритных деталей**

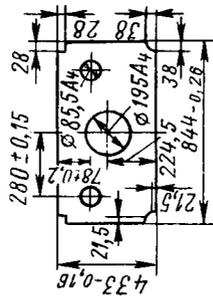
На рис. 179 приведена конструкция совмещенного штампа с четырьмя направляющими колонками для изготовления прямоугольной детали из индивидуальной заготовки. Материал детали — сталь Ст3 толщиной 5 мм. Потребное усилие для вырубки составляет свыше 10000 кН.

В связи с отсутствием на прессе нижнего пневматического устройства съем заготовки на этом штампе осуществляется двадцатью четырьмя пружинами 11, действующими на съемник 10, который удерживается двенадцатью винтами 14.

Пуансон для вырубки наружного контура 9 состоит из четырех частей и закрепляется непосредственно на нижней плите 13, к которой снизу привернута добавочная плита 12 с выгребными пазами для отходов. Матрица 3 состоит из восьми секций, врезанных в обойму 2, в которой два пробивных пуансона 4 закреплены с помощью запечников, а один пробивной пуансон 6 прикреплен



Эскиз детали  
 Материал: Ст 3 Толщина  $5^{+0,28}$  мм



Раскрой материала

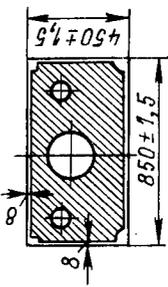


Рис. 179. Вырубной штамп совмещенного действия с секционными матрицами и пуансоном для изготовления крупногабаритной детали из индивидуальной заготовки

винтами и штифтами. Обойма 2 закреплена на верхней плите 1, через которую проходят два стержня 7, действующие от ползуна прессы и служащие для выталкивания с помощью плиты 5 из матрицы отштампованных деталей. Выталкивающая плита 5 удерживается от выпадания восемью винтами 8. Установка заготовки на нижней части штампа производится тремя пружинящими упорами 15.

### § 93. ПРОБИВНЫЕ ШТАМПЫ

Пробивка отверстий производится как в плоских заготовках (одновременно или после вырубki деталей), так и в готовых изделиях, полученных гибкой или вытяжкой. Пробивные штампы могут быть с направляющей плитой и с направляющими колонками. По типу фиксатора они бывают с открытым, полузакрытым и закрытым фиксатором. Съёмник может быть жесткий и пружинный.

#### Штамп с направляющими колонками для пробивки отверстий в крупногабаритной детали

На рис. 180 показан штамп с тремя направляющими колонками для одновременной пробивки девятнадцати отверстий различных диаметров в длинной пластине толщиной 4 мм из стали 65Г. В этом штампе девятнадцать втулочных матриц и сборных пуансонов распределены на три узловых группы: левую, среднюю и правую.

Матрицы 11, конструктивно выполненные в виде втулок с буртиком, запрессованы в общий матрицедержатель (обойму) 10 и упираются в калиброванные пластины 15, установленные в нижней плите 14. Жесткий съёмник 9 опирается на выступ матрицедержателя 10 и вместе с ним закрепляется на нижней плите. Пуансоны 6 сб. (сборный) предусмотрены быстросменные; они состоят из наружной втулки с буртиком 3, внутренней втулки 4, ввертываемой в наружную, и пуансона 5, имеющего в верхней своей части конус с буртиком для закрепления во втулке. Они удерживаются в пуансонодержателях 2 буртиками и упираются в калиброванные пластины 7, закрепленные вместе с пуансонодержателями на верхней плите 8.

Пробиваемая деталь фиксируется на штампе с трех сторон: слева — штифтом 1, спереди — двумя упорными планками 16, 17, закрепленными на матрицедержателе, и сзади — двумя подвижными упорами 12. Упоры находятся в прямоугольных пазах, выстроганных в выступе матрицедержателя 10.

Отход после пробивки падает на лотки 13, прикрепленные к плите 14, и удаляется (сталкивается) на сторону через выгребные пазы, сделанные в трех местах внизу в плите 14. Для удобства укладки и удаления пробиваемой пластины в съёмнике и в матрицедержателе спереди сделаны выемки.

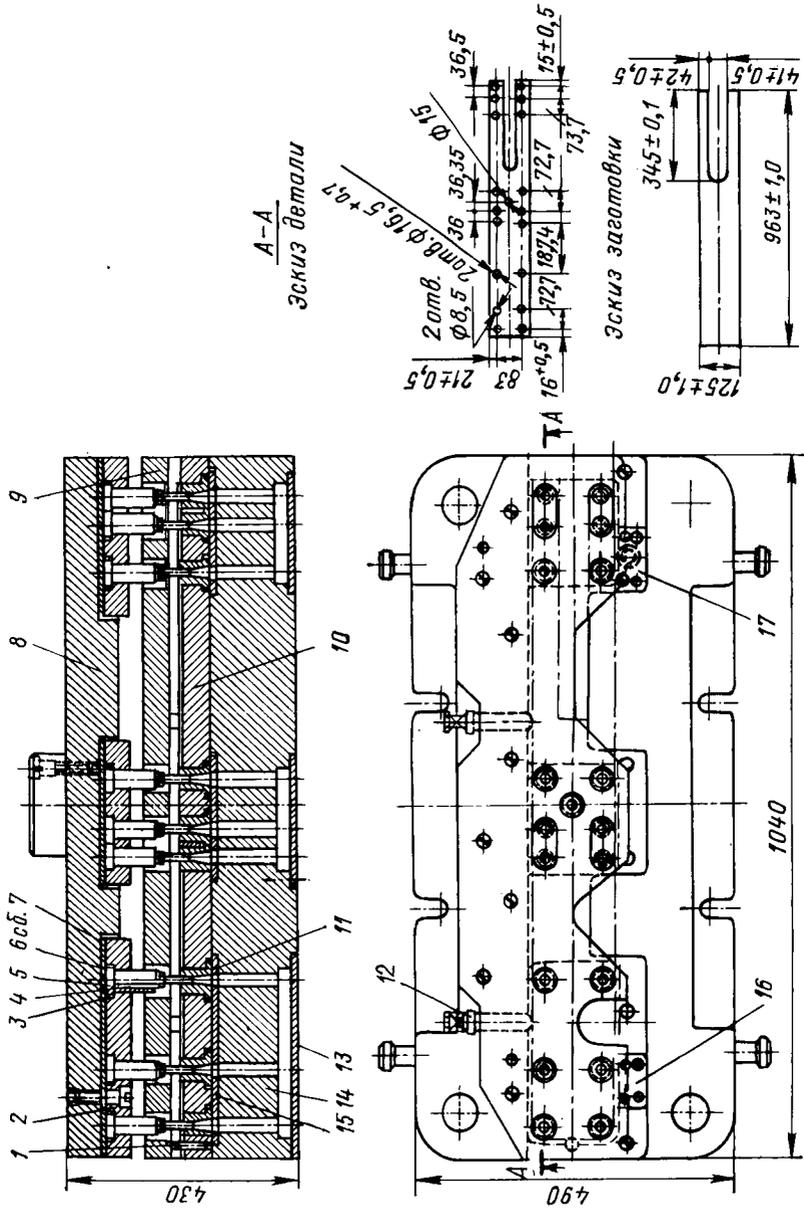


Рис. 180. Штамп с быстросменными пуансонами для пробивки двенадцати отверстий в длинной пластине из стали 65 толщиной 4 мм

**Штамп с сопряженными направляющими для пробивки отверстия,  
диаметр которого в три раза меньше толщины материала**

Как известно, на обычных штампах пробивают отверстия диаметром  $d$  не меньше толщины материала  $s$ . Практика завода «ВЭФ», НПО «Красная Заря» и др. показала, что с применением специальной конструкции штампа (рис. 181, а) можно пробить отверстие, у которого диаметр в три раза меньше толщины. Особенностью штампа является то, что в нем пуансон по всей его длине находится в направляющих втулках и создается сильный прижим металла вокруг пробиваемого отверстия.

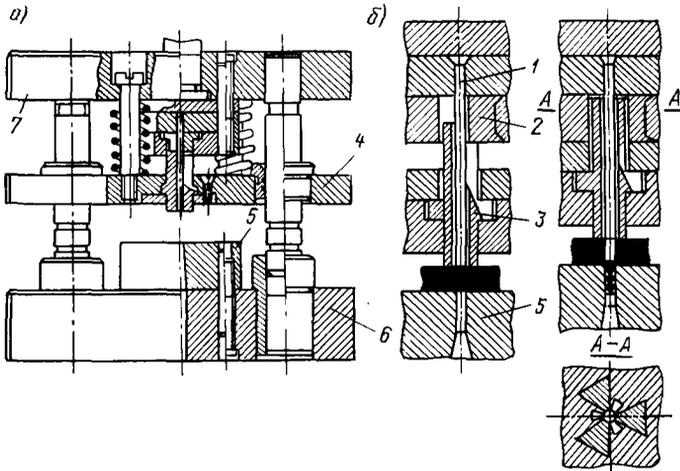


Рис. 181. Штамп с сопряженными направляющими для пробивки отверстия при  $s/d \geq 3$

На рис. 181, б показано направляющее устройство для пуансона в двух положениях: слева — в начале пробивки, справа — в конце пробивки. Направление верхней части пуансона 1 производится по трем вставкам 2, а нижней — по отверстию отжимаемой вверх втулки 3, которая жестко закреплена в направляющей плите — съемнике 4. При таком способе направления пуансона в нем во время работы возникает объемно-напряженное состояние (трехосное сжатие), благодаря чему и создаются условия для значительного увеличения прочности пробивного пуансона.

Форма отверстия (пуансона) может быть не только круглой, но и квадратной, и треугольной. Пробивная матрица 5 закрепляется на нижней плите штампа 6. Для лучшего направления и более удобной шлифовки матрицы направляющие колонки закреплены в верхней плите 7. Приведенная конструкция штампа позволяет заменить сверильные и другие операции пробивкой.

Для пробивки отверстий в деталях, получаемых гибкой или вытяжкой, с близким расположением отверстий от места изгиба

или на стенках вытянутого изделия, применяются специальные пробивные штампы, работающие при помощи боковых клиньев, действующих на ползушки, в которых закреплены пробивные пуансоны. Штампуемая деталь устанавливается на пробивную матрицу, имеющую внутреннюю форму детали, или на матрицедержатель (для больших размеров), в котором закреплены втулочные матрицы.

При опускании ползуна пресса производится одновременная пробивка всех отверстий, после чего отштампованная деталь снимается вверх или в сторону [32].

#### § 94. ОБРЕЗНЫЕ ШТАМПЫ

Обрезные штампы применяются для обрезки колпаков, полученных после вытяжки, в связи с тем, что в процессе вытяжки кромки фланца колпаков часто получаются неровными.

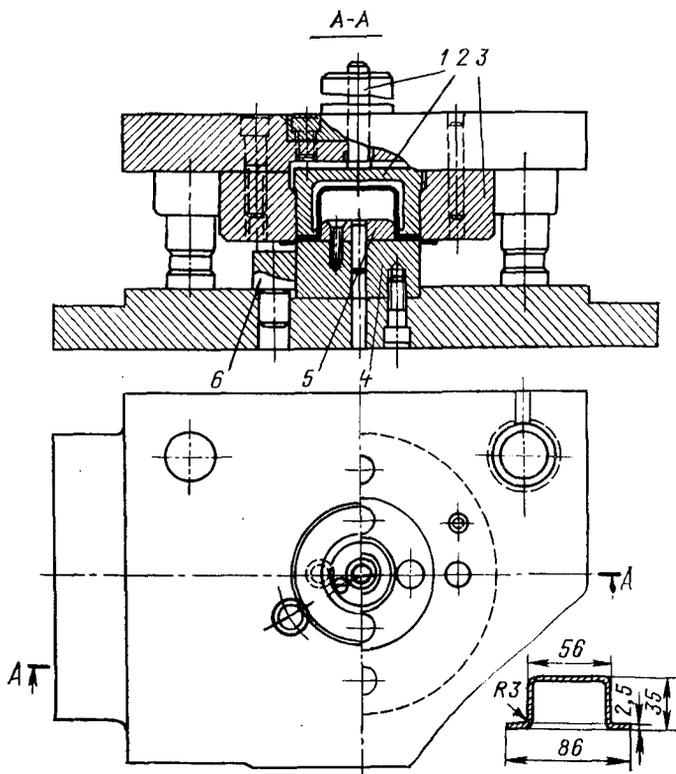


Рис. 182. Штамп для обрезки фланца у колпака

На рис. 182 приведена типовая конструкция штампа для обрезки фланца колпака. Установка колпака перед обрезкой на штампе производится фиксатором 5, закрепленным на обрезном

пуансоне 4. Внутри матрицы 3 помещается выталкиватель 2, действующий от толкателя пресса через шпильку 1 и служащий для удаления обрезанной детали из матрицы. Отходы, остающиеся на пуансоне, разрезаются ножами 6 на две части и падают на нижнюю плиту. Для обеспечения безопасности работы установку колпаков в штамп и удаление обрезанных деталей производят пинцетом.

## § 95. ЗАЧИСТНЫЕ ШТАМПЫ. ШТАМПЫ ДЛЯ ЧИСТОВОЙ ВЫРУБКИ. СМАЗКА ПРИ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЯХ

### Зачистные штампы

В конструктивном отношении зачистные штампы ничем не отличаются от обычных вырубных штампов. Особенностью их является наличие загрузочного устройства для деталей. На заводах точной индустрии применяются зачистные штампы нескольких типов: с поворотным загрузочным устройством; с прямолинейным (шиберным) загрузочным устройством; с неподвижным загрузочным устройством и комбинированные штампы для одновременной вырубки с зачисткой.

Во всех зачистных штампах рабочие кромки матриц выполняются с пояском высотой  $h = 6 \div 8$  мм [32; 106].

**Комбинированные зачистные штампы.** Комбинированные штампы для одновременной вырубки и зачистки состоят из пуансона и двух матриц, расположенных одна над другой (см. рис. 39). Пуансон сначала вырубает деталь, затем, проталкивая ее дальше другой деталью, производит зачистку. Такие штампы применяются для зачистки как латунных, так и стальных деталей.

### Штамп для чистовой вырубки деталей со сжатием

На рис. 183, а показана типовая конструкция штампа для чистовой вырубки и пробивки небольших деталей со сжатием на прессе тройного действия [13]. Блок штампа состоит из двух массивных плит 1, 12, связанных между собой двумя колонками 13 и втулками 14 с шариковым направлением 15. В нижней плите 1 центрируется в коническом гнезде и жестко крепится в обойме 17 прижимная плита 5, на рабочей плоскости которой имеются клиновидные ребра. Пуансон-матрица 3, расположенная в нижней плите 1, направляется по внутренней поверхности плиты 5 по скользящей посадке. Жесткие толкатели 4 перемещаются в отверстиях пуансон-матрицы 3 и опираются на траверсу 2. В верхней плите 12 аналогично центрируется и крепится обойма 16, в которой установлена и закреплена винтами и штифтами вырубная матрица 7 и пробивной пуансон 8. Выталкиватель 6 перемещается по внутренней поверхности матрицы также по скользящей посадке.

Усилие противодействия передается на выталкиватель 6 от гидросистемы пресса через толкатель 11, нажимные штифты 10 и планку 9.

Работа на этом штампе происходит следующим образом. Полоса или лента, находящаяся на прижимной плите 5, при движении стола пресса с нижней плитой 1 прижимается к матрице 7 и выталкивателю 6. При втором рабочем движении внутреннего ползуна пресса пуансон-матрица 3, жестко связанная с ним, входит в мат-

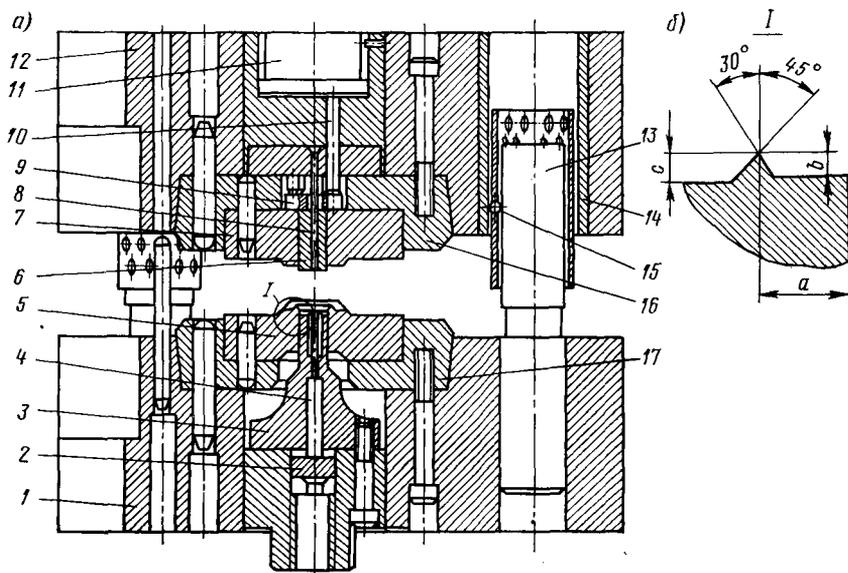


Рис. 183. Штамп для чистой вырубki и пробивки деталей со сжатием на прессе тройного действия

рицу на высоту радиуса закругления режущей кромки матрицы (примерно на 0,1—0,2 от толщины материала) и деталь вырубается. Одновременно с этим пуансоном 3 пробивается отверстие. Готовая деталь остается в матрице 7, а отход от пробитого отверстия — в пуансон-матрице 3.

При обратном ходе внутреннего ползуна пресса вниз полоса снимается с пуансон-матрицы и остается лежать на прижимной плите, а отход выталкивается из пуансон-матрицы толкателем 4. Третьим рабочим движением (со стороны устройства противодействия) через толкатель 11, нажимные штифты 10, планку 9 и выталкиватель 6 деталь выбрасывается в межштамповое пространство, после чего сжатым воздухом деталь и отход удаляются из рабочей зоны штампа, а оставшаяся полоса подается на следующую штамповочную операцию.

Профиль ребра и его размеры (рис. 183, б) при штамповке небольших деталей из материалов толщиной до 3 мм могут быть выполнены по следующим зависимостям (в мм):

<i>s</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
0,5	0,5	0,2	0,25
1,0	0,7	0,3	0,35
2,0	1,4	0,4	0,45
3,0	2,1	0,5	0,55

Матрица и прижимная плита с клиновидным ребром изготавливаются из стали Х12М с твердостью *HRC* 59—61, а пуансоны и пуансон-матрицы — из стали Р6М5 с твердостью *HRC* 60—62.

**Штамп для чистовой вырубki деталей способом обжимки через две матрицы (вырубki с одновременной зачисткой)**

Работа на этом штампе (рис. 184) происходит в такой последовательности. Вначале из полосы вырубается заготовка, которая при проталкивании ее пуансоном 4 через коническое отверстие вырубной матрицы 29 сжимается по контуру, создавая всестороннее неравномерное сжатие, приводящее к увеличению пластичности в зоне разрушения металла, а затем припуск обрезается в зачистной — чистовой матрице 28. Матрицы 28, 29 установлены на промежуточную плиту — прокладку 22 и закреплены на ней четырьмя винтами 8 и двумя штифтами, а плита для удобства монтажа закреплена отдельно на верхней плите 13 четырьмя винтами 14 и двумя штифтами 20. Снятие полосы с пуансона 4 после вырубki — зачистки производится съемником 30, работающим при помощи четырех винтов 34, упирающихся в тарелку 35, от резинового буфера 36, перемещающегося по стержню 37. Из зачистной матрицы выталкивание детали осуществляется выталкивателем 27, действующим через стержень 15 от поперечины, расположенной в ползуне прессы при работе без силового прижима, или от полиуретанового буфера 21, помещенного в выточке верхней плиты 13, а также в отверстии прокладки 22, и действующего через державку 9 на выталкиватель 27. При работе с силовым прижимом — полиуретановым буфером создаются благоприятные условия для работы, и зачищенные детали получаются более плоскими. В выталкивателе помещен отлипател 6, работающий от пружины 26, сила которой может быть отрегулирована резьбовой пробкой 25.

Верхняя часть штампа направляется по отношению к нижней при помощи двух направляющих колонок 10, 19 и втулок 12 и 24, расположенных по диагонали и имеющих шариковое направление 11 и 23 (диаметры колонок и втулок с противоположной стороны, чтобы правильно установить верхние и нижние части штампа, сделаны различные). На одну из колонок, запрессованных в нижнюю плиту 2, надета упорная втулка 5, используемая при установке для ограничения части штампа.

К верхней плите 13 шестью винтами и двумя штифтами прикреплен фланец 18, внутри которого находится плавающий хво-

стовик 16 и шаровой подпятник 17. Это делается для компенсации погрешности от непараллельности верхней и нижней плоскостей штампа и неточности его установки, а также неодинаковой толщины материала, что способствует повышению точности штамповки.

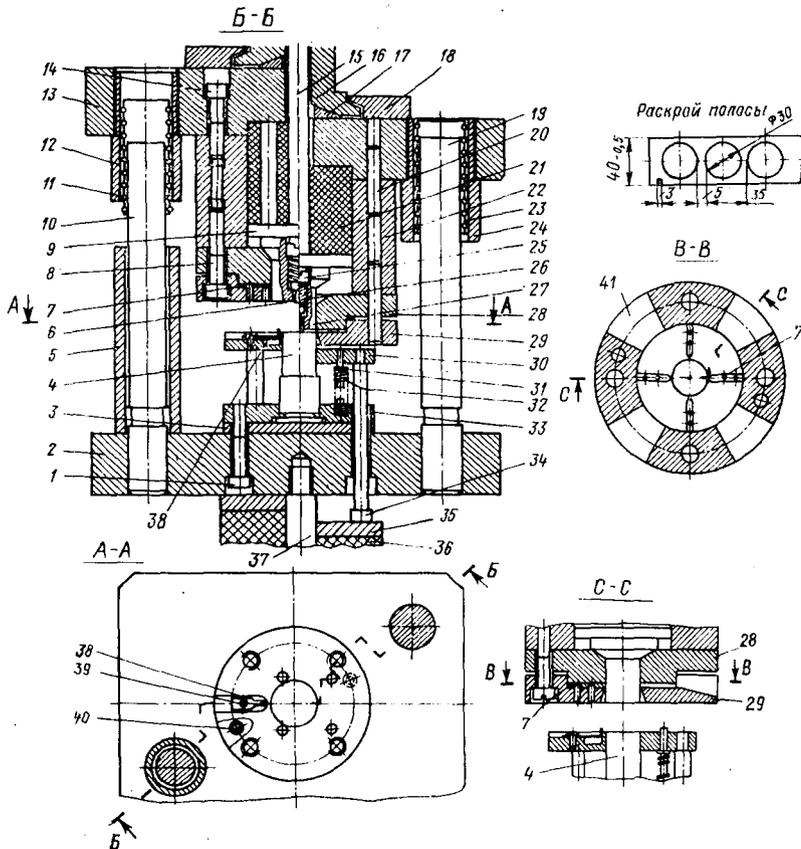


Рис. 184. Штамп для чистой вырубki деталей способом обжимки через две матрицы

В нижней части штампа зачистной пуансон 4 (диаметром 30 мм), установленный в пуансонодержатель 33, опирается на прокладку 3. Пуансонодержатель прикрепляется к нижней плите 2 четырьмя винтами 1 и двумя штифтами 40.

В съемнике 30 для направления полосы имеются четыре пружинящих упора 31, 32. Ограничение шага подачи материала осуществляется пластинчатым упором 38, привинченным к съемнику винтом 39.

Для предохранения от возможного застревания в зачистной матрице кольцевого ободка после зачистки, в зазор между выруб-

ной и зачистной матрицами помещены четыре ножа 7, которые разрезают ободок — отход в четырех местах на глубину 0,1—0,3 мм, и он при выталкивании из зачистной матрицы разламывается на четыре части, и через пазы 41, имеющиеся в матрицах, отход сдувается воздухом. Ножи установлены так, что они выходят острой режущей кромкой из отверстия вырубной матрицы на 0,1—0,2 мм. Рабочие части штампов следует изготовлять из стали марки X12M, причем матрицы рекомендуется закалить с HRC 60—62, а пуансон — с HRC 58—60. Этот штамп может быть установлен на обычном кривошипном прессе.

#### **Смазка материала и штампа при разделительных операциях**

Смазка материала и штампа при вырубке и пробивке оказывает влияние на усилие проталкивания, а следовательно, и на общее усилие вырубке или пробивки. Смазка снижает усилие проталкивания на 30—40%, и, соответственно, усилие вырубке на 3—6%. Кроме того, смазка повышает стойкость штампа на 20—30%, так как она охлаждает режущие кромки матрицы и пуансона, которые во время работы заметно нагреваются. Поэтому, как правило, рабочие части штампа следует периодически смазывать.

Смазкой для стали служит обычное машинное масло, для алюминия — машинное масло № 6, для латуни и бронзы — мыльная эмульсия. Иногда при вырубке и пробивке применяют трансформаторное веретенное и другие виды масел малой вязкости.

При зачистке и чистовой вырубке для предохранения от прилипания металла к рабочим частям штампа хорошо зарекомендовала себя смазка «Куртис», состоящая из 70,8% С, 19,7% Н и 18,5% Сl или ее заменители ХС-147; ХС-164; ФС-100 [79], а также смазка, разработанная на кафедре химии ЛМИ, состоящая из 50—70% минерального масла, 50—30% жидкого хлоропарафина и 0,1—0,2% стабилизатора.

#### **§ 96. ШТАМПЫ ДЛЯ ВЫРЕЗКИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**

Штампы для вырезки слоистых пластиков — гетинакса и текстолита могут быть простого, последовательного и совмещенного действия. По конструкции они аналогичны штампам для вырубке металлов. Разница заключается главным образом в том, что в них встраивается сильное прижимное устройство, которое должно все время прижимать полосу, начиная с момента погружения пуансона в материал и до полного его выхода.

Для получения высокой чистоты среза ( $Ra$  2,5—2,0) помимо сильного прижима переднюю плоскость матрицы затачивают под углом 45°.

Конструктивно сильный прижим материала создается в нижней части штампа при помощи тарельчатых пружин, а в верхней части — резиной или тарельчатыми пружинами.

На рис. 185 приведена конструкция совмещенного штампа с двумя диагонально расположенными направляющими колонками для вырезки прямоугольной пластины с отверстиями.

Сверху прижим полосы осуществляется тарельчатыми пружинами 1, действующими на выталкиватель — прижим 2, а сни-

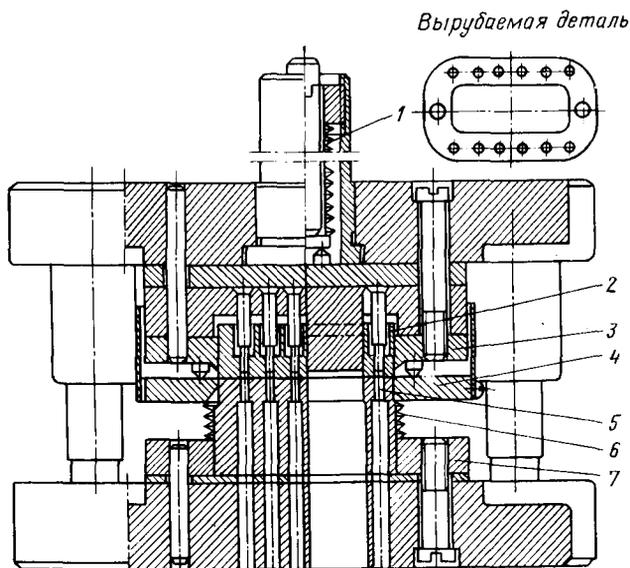


Рис. 185. Совмещенный штамп для вырезки прямоугольной пластины из гетинакса

зу — четырьмя тарельчатыми пружинами 6, упирающимися в съемник — прижим 4. Матрица 3 сделана со скосом под углом  $45^\circ$ , пуансон-матрица 5 обычной конструкции закреплена в пуансонодержателе 7 при помощи расчеканки его нижнего торца.

Для вырезки деталей из мягких неметаллических материалов (резины, картона, бумаги, асбеста, кожи и др.) применяются ножевые или просечные штампы. Ножевые штампы характерны тем, что они не имеют сопряженных кромок, как в обычных штампах для вырубki металлов и хрупких неметаллических материалов, а вместо матрицы или пуансона служат подкладки — бук, фибра и др. Они могут быть простого действия для вырезки кружков и совмещенного — для одновременной вырезки контура и отверстий [29; 32].



через шпильку 9. При работе заготовку укладывают в фиксатор 5 и на матрицу 8 по упорам 4 и 11; при этом она одновременно зажимается между пуансоном и стержнем 10, благодаря чему обеспечивается точность размеров отогнутых концов детали. Съем детали производится вручную «на себя».

### Простой двухугловой гибочный штамп

Двухугловой гибочный штамп с нижним выталкивателем (рис. 187) служит для гибки деталей типа скобы, показанной на рисунке в правом нижнем углу. Штамп смонтирован на блоке

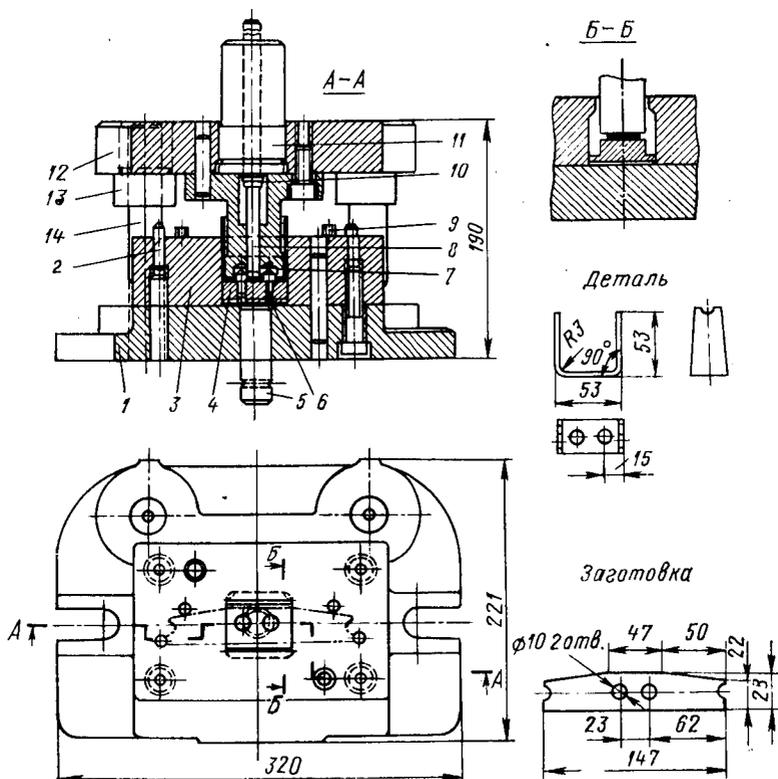


Рис. 187. Двухугловой гибочный штамп с нижним выталкивателем на колонках

с направляющими колонками 1, 12, 13, 14, расположенными для удобства работы за осью штампа. Заготовка укладывается на матрицу 3 и грубо фиксируется четырьмя штифтами 2, 9, закрепленными в матрице. Более точно заготовка фиксируется двумя штифтами 6, запрессованными в выталкиватель 4 по предварительно пробитым в ней отверстиям. Выталкиватель 4 одновременно работает и как прижим заготовки, оказывая давление через

стержень 5 от пружины, резинового буфера или от пневматического устройства (на рисунке не показаны). Детали, застревающие на гибочном пуансоне 7, снимаются штифтовым съемником 8, который получает принудительное движение непосредственно от пресса при движении ползуна вверх через скользящий в хвостовике 11 стержень 10. Если к точности отверстий (диаметру и расположению) предъявляются повышенные требования, их пробивку производят после гибочной операции.

### § 98. СЛОЖНОГИБОЧНЫЕ ШТАМПЫ ПОСТОЯННОГО ДЕЙСТВИЯ

Сложногибочные штампы выполняют одновременно несколько переходов, заменяя ряд простых гибочных штампов. Применение этих штампов значительно облегчает и удешевляет изготовление штампованных изделий.

#### Сложногибочный штамп с качающимися колодками

Штамп для гибки Т-образной скобы изображен на рис. 188, а. Изготовленная деталь с ее основными размерами показана на том же рисунке. Заготовка имеет П-образную форму.

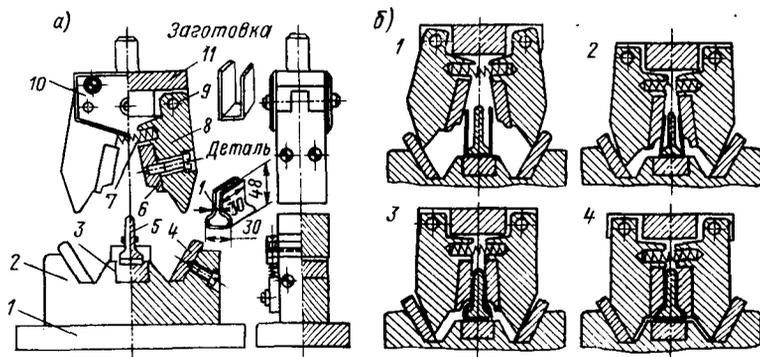


Рис. 188. Сложногибочный штамп с качающимися колодками

На плите 1 установлена нижняя часть штампа 2, на которой закреплены винтами две упорные планки 4. При опускании верхней части штампа по этим планкам скользят колодки 8. На нижней части штампа находится вкладыш 3, служащий основанием для изгибаемой заготовки. Т-образный кронштейн 5, закрепленный винтом и пружиной, служит сердечником для загибаемой детали. Верхняя часть штампа состоит из двух колодок 8, вращающихся на осях 9, закрепленных в верхней плите 11 штампа. К колодкам прикреплены на винтах боковые щеки 6, изготовленные из закаленной стали. Колодки удерживаются в раздвинутом состоянии

помещенной в них пружиной 7. Для безопасности работы они закрыты до половины щитками 10, закрепленными на верхней плите 11 винтами. Для пояснения действия этого штампа на рис. 188, б показаны четыре (1—4) последовательные стадии гибки.

### Сложногибочный штамп с вращающимися валиками

Подобные штампы применяются для гибки скобы под углом, меньшим прямого, круглых и овальных трубок и др. Заготовкой для этих деталей служит полоска.

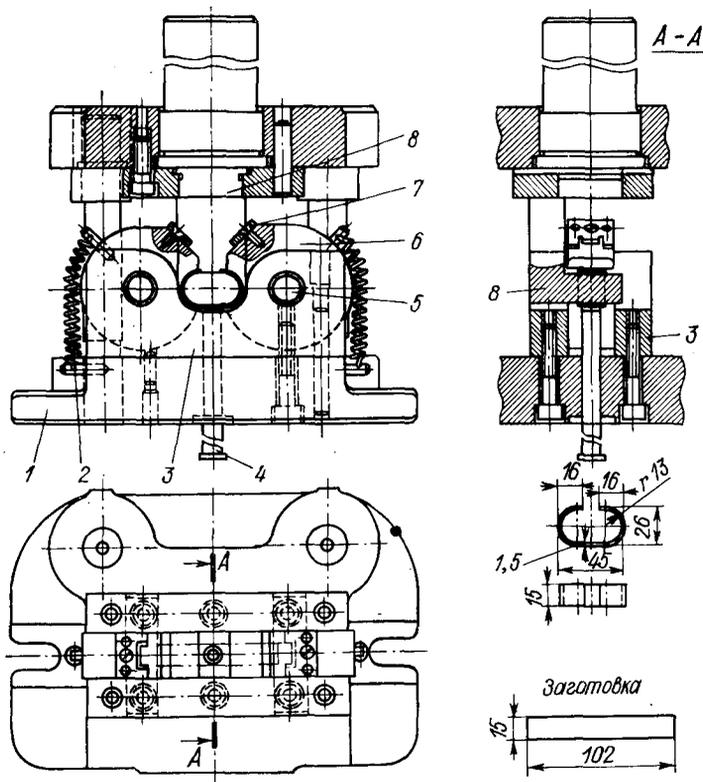


Рис. 189. Конструкция сложногибочного штампа на колонках с вращающимися валиками

На рис. 189 показан сложногибочный штамп с вращающимися валиками для загибки детали типа трубки из тонкого материала. Штамп смонтирован в блоке с направляющими колонками. На плите 1 закреплена державка 3, в которой помещаются вращающиеся на оси 5 валики (ролики) 6, имеющие желобообразные канавки по форме загибаемого изделия. На валиках закреплены фиксирующие планки 7, между которыми закладывается плоская

заготовка в момент, когда планки находятся в горизонтальном положении. Каждый из двух валиков отводится в исходное положение пружинами 2. В верхней части штампа закреплен пуансон 8, выполняющий роль сердечника при загибке трубки. Для поддержания заготовки во время гибки служит стержень 4, действующий от нижнего буфера. Съем детали после гибки производится вручную путем сдвигания ее в сторону.

#### Сложногибочный штамп с боковыми клиньями

Сложногибочные штампы с боковыми клиньями допускают изготовление за один ход прессы ряда деталей, штамповка которых простыми штампами была бы значительно затруднена или совершенно невозможна.

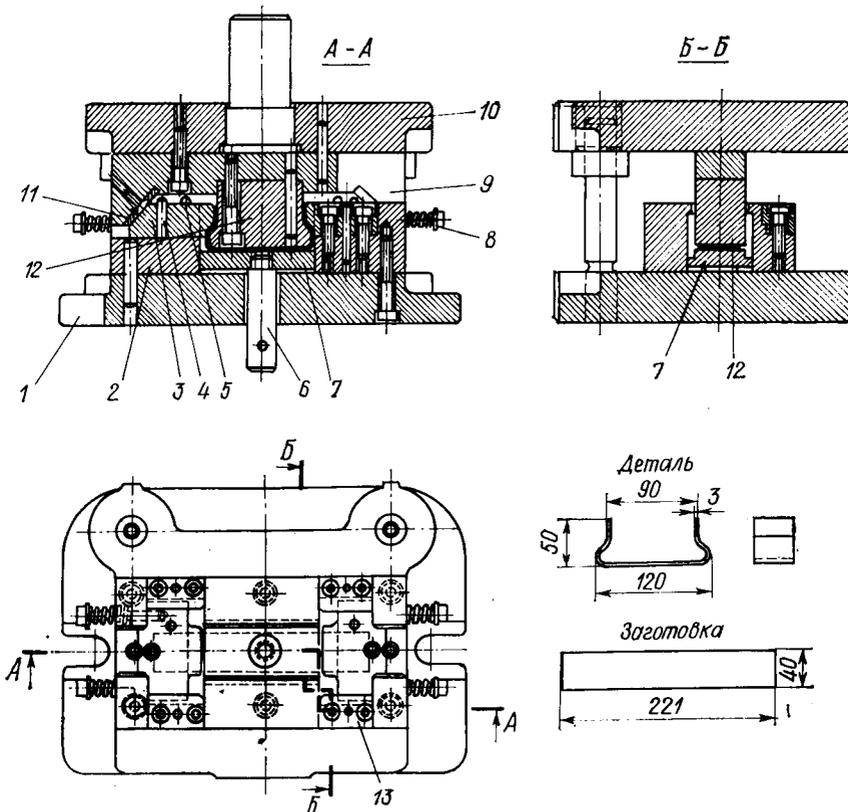


Рис. 190. Конструкция сложногибочного штампа с боковыми клиньями

На рис. 190 в правом нижнем углу показана деталь типа хомутика, изготавливаемая на клиновом штампе, представленном на том же рисунке, за один ход прессы. Подобные детали при

штамповке на обычных штампах требовали бы не менее двух операций.

Конструкция и действие штампа следующие. На опорной планке 2, прикрепленной к нижней плите 1, установлены два ползунка 3, скользящие по этой планке в направляющих 13. В специальной выемке в нижней части штампа расположен прижим—выталкиватель 7, получающий свое движение через стержень 6 от нижнего буферного устройства. Ползунки 3 удерживаются в разведенном состоянии (перед гибкой) четырьмя пружинами 8. Верхняя часть штампа состоит из плиты 10, пуансонодержателя 9, к которому прикреплены каленые наклонные вкладыши 11 и гибочный пуансон 12. Для штамповки заготовку укладывают на верхнюю плоскость ползунков между четырьмя фиксирующими штифтами 4, 5.

В первый момент гибка происходит на закругленных кромках ползунков (клиньев) заготовки с образованием П-образной формы при опускании выталкивателя в нижнее положение. Затем боковые клинья начинают перемещать ползунки, которые и образуют требуемую форму детали. При обратном ходе ползунки оттягиваются пружинами 8. Деталь, оставшаяся на пуансоне, поднимается вместе с ним, после чего она от руки или пружинным устройством сталкивается с пуансона в сторону.

Кроме описанных выше основных типов гибочных штампов имеются и специальные штампы, применяемые в ряде производств, в частности в автопромышленности и в судостроении, для гибки деталей типа колец и трубок [32; 59].

## § 99. КОМБИНИРОВАННЫЕ ГИБОЧНЫЕ ШТАМПЫ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ. СМАЗКА ПРИ ГИБКЕ

### Конструкция комбинированного гибочного штампа

Штамп, показанный на рис. 191, позволяет изготавливать детали, для которых необходимы операции пробивки, отрезки и гибки. Деталь изготавливается путем последовательного перемещения полосы в два хода ползуна пресса. При первом ходе ползуна пресса заготовка подается до упора краем в колодку 5. При этом происходит отрезка части ее пуансоном 4 и пробивка отверстия пуансоном 1 и матрицей 2. Отрезанная часть загибается при том же ходе ползуна вокруг колодки гибочного пуансона 3. Первая деталь (скоба) получается без отверстия и идет в отход. Начиная со второго хода ползуна пресса, все отштампованные детали имеют требуемую форму. Выталкивание детали из гибочной матрицы 4 (она же отрезной пуансон) производится штифтовым выталкива-

телем 6 от пружины 7. При установке на штампе предварительного упора для полосы получаемые детали, включая и первую, будут годными.

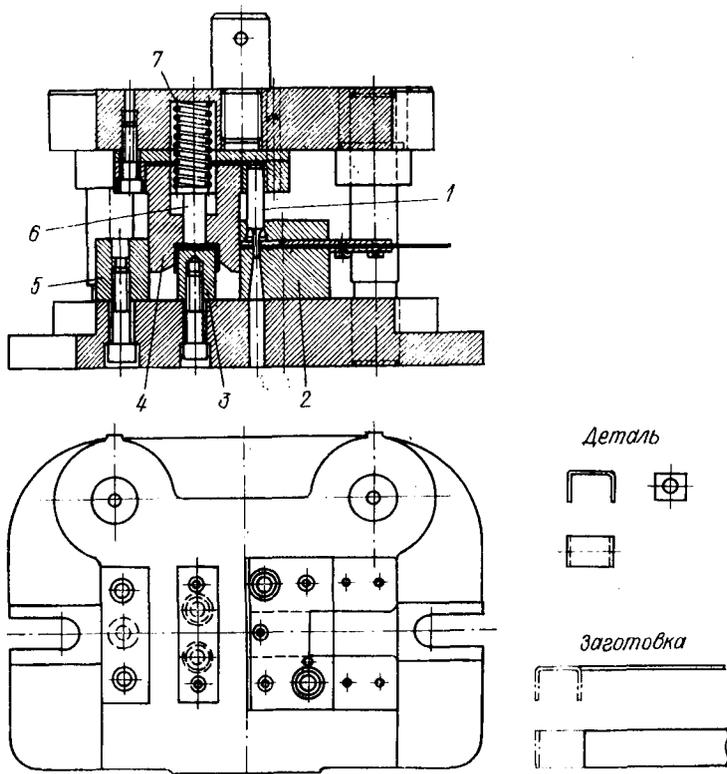


Рис. 191. Конструкция комбинированного последовательно действующего гибочного штампа для пробивки, отрезки и гибки

#### Смазка материала и штампа при гибке

Для уменьшения трения между заготовкой и рабочей поверхностью гибочного штампа, а следовательно, и уменьшения усилия гибки, применяется смазка заготовки и штампа. Помимо того, смазка, охлаждая рабочие части штампа, уменьшает их износ и предохраняет от налипания металла во время работы. Смазка также облегчает съем и выталкивание изделия из штампа. В качестве смазки применяется машинное масло, сурепное масло или смесь крепкого мыльного щелока с машинным или трансформаторным маслом.

## Глава 26. ВЫТЯЖНЫЕ ШТАМПЫ

### § 100. ВЫТЯЖНЫЕ ШТАМПЫ ДЛЯ ПЕРВОЙ ОПЕРАЦИИ

#### Простые вытяжные штампы без прижимного кольца

Эти штампы применяются в тех случаях, когда первая операция вытяжки полого изделия из плоской заготовки может быть выполнена без образования складок [заготовка с относительной толщиной, равной  $(s/D) 100 > 2,0$ ]. Штамп без прижима изображен на рис. 192. На чугунной плите 1 тремя винтами 2 закреплена вытяж-

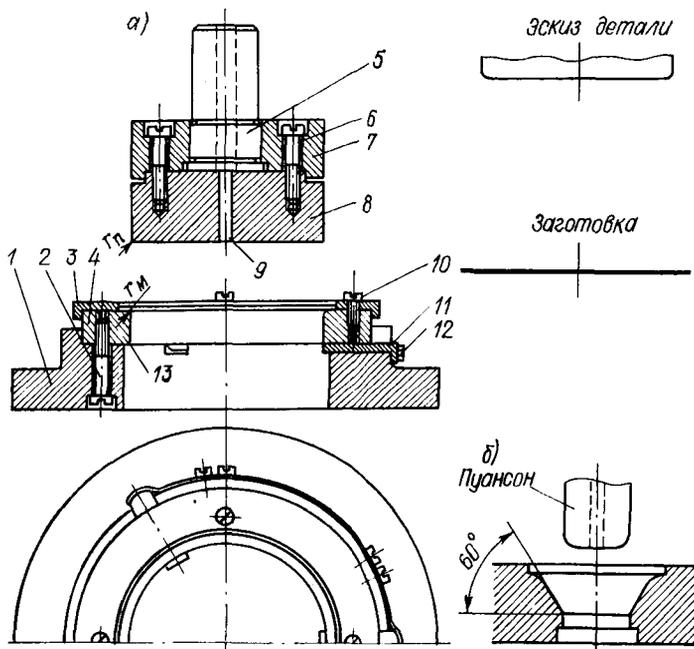


Рис. 192. Простой вытяжной штамп для первой операции

ная матрица 4, на которую посажено и закреплено винтами 10 фиксирующее кольцо 3, внутренний размер которого соответствует размерам заготовки — кружка (показанного справа). Вытяжной пуансон 8, имеющий закругленные рабочие кромки  $r_n$ , прикреплен четырьмя винтами 6 к верхней плите 7, в которую запрессован цилиндрический хвостовик 5 с буртиком. Для облегчения съема изделия в пуансоне просверлен центральный канал 9, который сообщается с окружающим воздухом через отверстие в хвостовике 5. Под матрицей расположены три сбрасывателя 11, служащие для съема изделия с пуансона, который производится при обратном



Пуансон 8 в этом случае размещается в нижней, а матрица 4 — в верхней части штампа. Там же помещается выталкиватель 5, действующий от пружины 2 и удерживаемый винтом 3 или принудительно от пресса при помощи поперечины 17 и винта 3. Матрица прикрепляется непосредственно к фланцевому хвостовику 1, а пуансон запрессовывается в пуансонодержатель 9, который закрепляется винтами на нижней плите 10. В пуансоне также предусмотрен канал для предохранения от «присасывания» детали. При ходе ползуна пресса вниз матрица 4 своим торцом прижимает предварительно уложенную в фиксатор 6 заготовку к прижимному

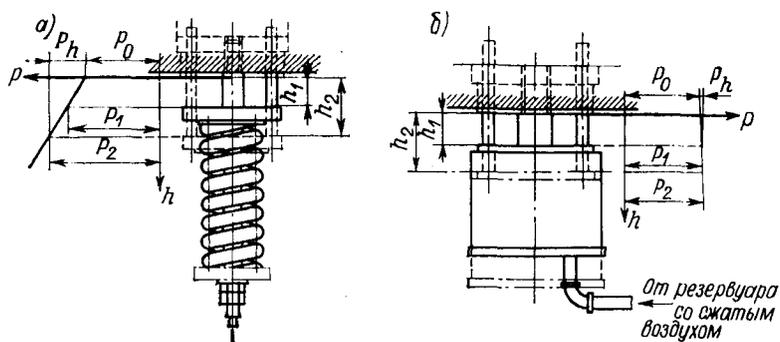


Рис. 194. Пружинное (а) и пневматическое (б) прижимные устройства

кольцу 7, которое опирается через винты 16 на пружинный буфер. Буфер состоит из верхней тарелки 11, пружины 12, стержня 13, нижней тарелки 14 и гаек 15. Для более надежного прижатия материала прижимное кольцо устанавливается на 1—2 мм выше уровня пуансона. При дальнейшем опускании ползуна происходит вытяжка детали. Регулировка давления буфера, необходимого для получения изделия без складок, производится подтягиванием гаек 15. При ходе ползуна вверх пружина 12 разжимается и через детали 11 и 16 приподнимает кольцо 7 и одновременно снимает изделие с пуансона. Из матрицы оно выталкивается пружинным или принудительным выталкивателем 5. Вытянутое изделие показано внизу на рис. 193. Вместо пружины также применяют резиновый или полиуретановый буфер. Для более точной вытяжки и удобной установки штампа на прессе указанные штампы (для первой и последующих операций) рекомендуется изготавливать с направляющими колонками.

Большим недостатком пружинных или резиновых прижимных устройств является то, что по мере опускания пуансона пружина (резина) сжимается, вследствие чего давление на материале все время возрастает и к тому же распределяется неравномерно по его периметру.

Требованию постоянства и равномерного давления прижимного устройства при вытяжке лучше всего удовлетворяют приспособле-

ния с пневматической подушкой. Они позволяют легко регулировать давление по показаниям манометра. На рис. 194 даны графики изменения давления прижима в процессе работы пружинного (рис. 194, а) и пневматического (рис. 194, б) устройств. На рисунке обозначено:  $p_0$  — начальное давление прижимного устройства;  $p_1$  и  $p_2$  — давления, соответствующие перемещению прижимного кольца на величины  $h_1$  и  $h_2$ ;  $p_h$  — приращение давления за весь ход прижимного кольца.

Пневматические подушки могут быть встроенными в стол пресса и подвесными. Они бывают с неподвижными цилиндрами (и перемещающимися поршнями) и с подвижными цилиндрами (и не перемещающимися поршнями). Устройство, принцип работы и расчет пневматических буферов — подушек приведены в § 119.

#### Вытяжной штамп с жестким прижимным устройством к прессу двойного действия

На рис. 195 изображен вытяжной штамп к прессу двойного действия, работающий «на провал». Заготовка, предварительно вырубленная другим штампом, укладывается на матрицу 5 в фикси-

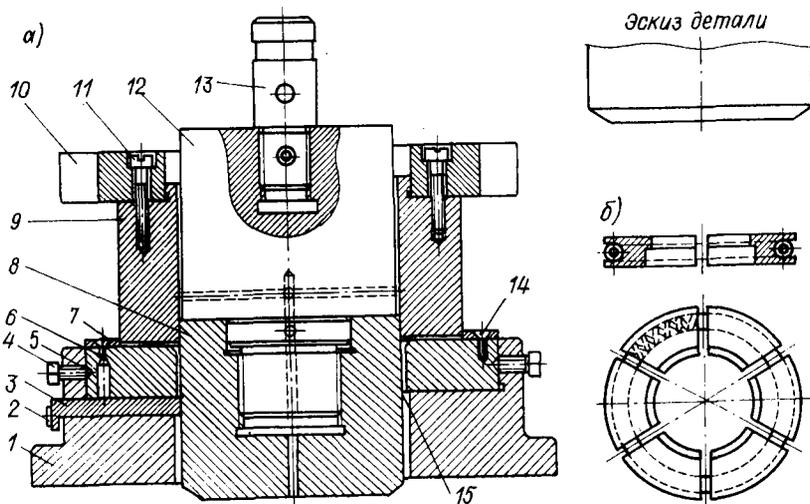


Рис. 195. Вытяжной штамп к прессу двойного действия

рующее кольцо 7, прикрепляемое винтами 14 и штифтами 6. Круглая матрица удерживается в нижней плите 1 болтами 4, входящими своим концом в круговую выточку матрицы. Подобный штамп устанавливается на пресс двойного действия. Сначала плита 10, прикрепленная на наружном ползуне, опускается до тех пор, пока прижимное кольцо 9, прикрепленное винтами 11 к плите 10, не прижмет заготовку к матрице 5. После этого

опускается вытяжной пуансон 8, прикрепленный при помощи надставки 12 и хвостовика 13 к внутреннему ползуну, и вытягивает заготовку в полое изделие.

При подъеме верхней части штампа изделие снимается с пуансона с помощью крючковых пружинных сбрасывателей (съемников) 2, 3 (рис. 195, а). Конструктивно съемное устройство может быть выполнено и иначе — в виде кольцевых секторов, охваченных общей пружиной (рис. 195, б).

Удаление деталей из матрицы также производится жестким выталкивателем, работающим от пресса снизу (см. рис. 201) или нижним краем 15 матрицы 5 (рис. 195).

Следует отметить, что производительность штампа, работающего на провал, на 40—50% выше производительности штампа с жестким выталкивателем, так как отпадает необходимость в удалении готового изделия. Недостатком же таких штампов является то, что получаемые изделия имеют не плоское, а несколько выпуклое дно. Поэтому, если необходимо иметь изделие с плоским дном, следует применять вытяжные штампы с нижним выталкивателем или вытягивать изделие до упора (см. рис. 201).

#### **Вытяжной штамп с комбинированным прижимным устройством к прессу двойного действия**

В этом штампе (рис. 196) на нижней плите 1 установлена обойма 2, в выточке которой помещена вытяжная матрица 4 с конической поверхностью. Эти детали скреплены между собой болтами 3. В матрицу вмонтированы пружинящие штифтовые упоры 5—7, служащие для фиксации плоской заготовки перед вытяжкой.

К наружному ползуну пресса прикреплена верхняя плита 14, на которой смонтирован наружный плоский прижим 9, работающий под действием набора системы кольцевых полиуретановых буферов марки СКУ-ПФЛ, удерживаемых винтами 10. При установке штампа используются колодки 13, приваренные к верхней плите. Внутренний конический прижим 8 установлен на подушке 15 и закреплен к верхней плите при помощи винтов 16.

Штамп действует следующим образом. При опускании наружного ползуна пресса под действием набора из полиуретановых кольцевых буферов 11, 12 наружным плоским прижимом происходит прижатие заготовки к матрице. По мере перемещения вытяжного пуансона 17 и выхода фланца заготовки из-под плоского прижима 9, в действие вступает конический прижим 8, работающий от наружного ползуна пресса, после чего пуансоном 17 производится окончательная вытяжка детали (до упора). Выталкивание вытянутой детали, имеющей в нижней части коническую и закругленную форму, осуществляется выталкивателем 18, действующим от пресса, вверх.

Подобный способ работы на вытяжном штампе, установленном на прессе двойного действия (с использованием комбинированного

прижима и полиуретановых буферов), позволяет за один ход пресса получать довольно глубокие вытяжные детали сложной формы хорошего качества с коэффициентом вытяжки  $m = 0,46 \div 0,48$  при диаметре заготовки  $D = 360$  мм, диаметре изделия в верхней части 179 мм, в нижней части у дна 159 мм

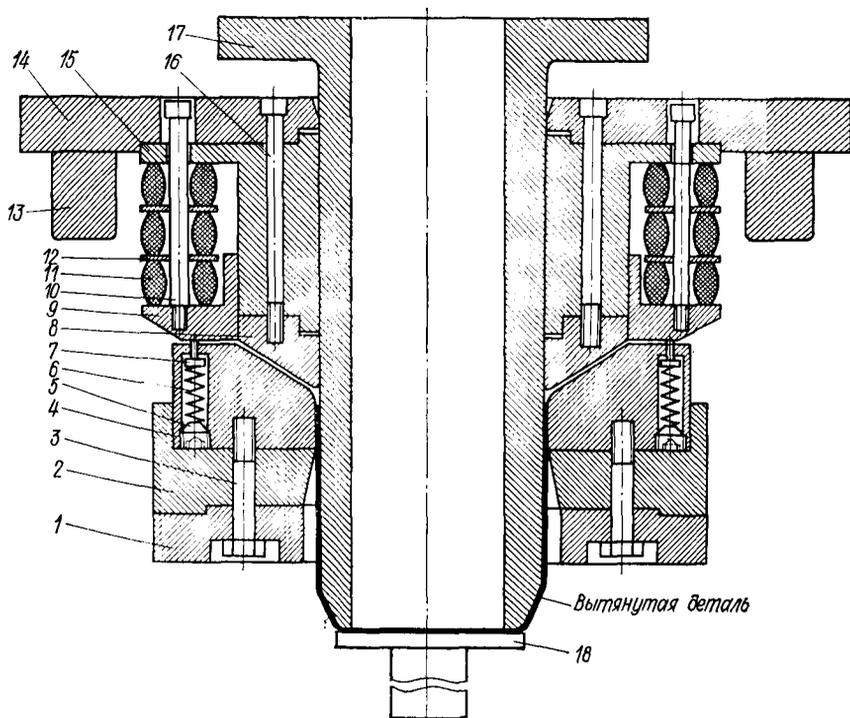


Рис. 196. Вытяжной штамп к прессу двойного действия с комбинированным прижимом, снабженный набором наружных кольцевых полиуретановых буферов

и с высотой 146 мм. Применяемый материал для вытяжки — сталь 10кпВГ толщиной 1,5 мм. При обычных способах вытяжки для получения такой детали потребовалось бы не менее двух вытяжных операций.

### § 101. ВЫТЯЖНЫЕ ШТАМПЫ ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩИХ ОПЕРАЦИЙ

Как и для первых операций, штампы для последующих операций могут быть без прижимного устройства [когда  $(s/d_{n-1}) 100 > 2,0$ ] и с прижимом. Конструкции штампов без прижима аналогичны штампам, приведенным на рис. 192, а, а с пружинным прижимом — штампам, представленным на рис. 193, с той только разницей, что в них рабочая часть прижима выполнена по внутренней

форме и размерам полого полуфабриката, полученного на предыдущей вытяжной операции.

Для точных работ и удобства установки, а также при вытяжке деталей сравнительно больших размеров применяются штампы с направляющими колонками (и с нижним пневматическим устройством).

На рис. 197 показан штамп для второй операции вытяжки шкива вентилятора автомобиля. Полая заготовка устанавливается на прижимное кольцо 7, действующее от нижнего пневматического

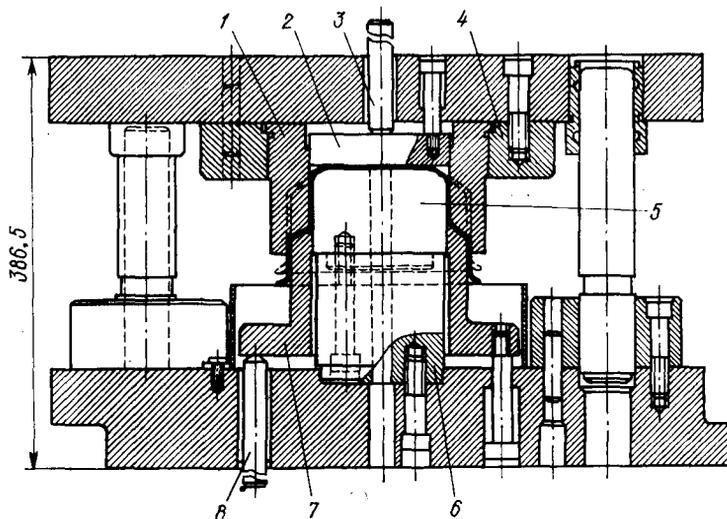


Рис. 197. Штамп для второй операции вытяжки шкива вентилятора автомобиля на колонках

устройства через стержни 8. При ходе ползуна пресса вниз матрица 1 зажимает заготовку, а затем производит вытяжку ее вокруг пуансона 5. Удаление изделия из матрицы осуществляется выталкивателем 2, работающим от поперечины пресса через стержень 3.

В целях экономии легированной инструментальной стали вытяжная матрица штампа выполнена из двух частей — непосредственно рабочей втулки (матрицы) и обоймы 4, а пуансон 5 — из рабочей части и державки 6. Рабочие части матрицы и пуансон изготовлены из инструментальной стали, а обойма и державка — из стали Ст5.

Конструкция штампов к прессам двойного действия для последующих операций вытяжки в основном сходна со штампами для первой вытяжной операции с той лишь разницей, что прижимное кольцо и заборная часть матрицы имеют форму пуансона предыдущей операции.

## § 102. ВЫТЯЖНЫЕ ШТАМПЫ К ПРЕССАМ ДВОЙНОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КРУПНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Подобные штампы отличаются от обычных и рассмотренных ранее тем, что пуансоны и матрицы в них являются, как правило, составными. Плиты изготавливаются отливкой из чугуна с применением ребер жесткости. Так как крупные изделия для автомобилей, тракторов и других машин имеют сложную форму, состоящую из сфер, конусов и других элементов, то для предохранения от возникновения складок при вытяжке в матрицах или на прижимах штампов применяют специальные ребра, пороги (выступы). Как правило, для повышения стойкости матрицы вытяжные ребра целесообразнее делать на прижиме. Только в тех случаях, когда наличие перетяжных ребер на обрезаемых кромках изделия (выпуклостью вниз) усложняют конструкцию обрезного штампа, ребра устанавливают на матрице.

### Штамп для вытяжки крыши кузова автомобиля

На рис. 198 показана типовая конструкция штампа к прессу двойного действия для вытяжки крыши кузова автомобиля. Штамп состоит из четырех основных частей: верхней поперечины 1, на

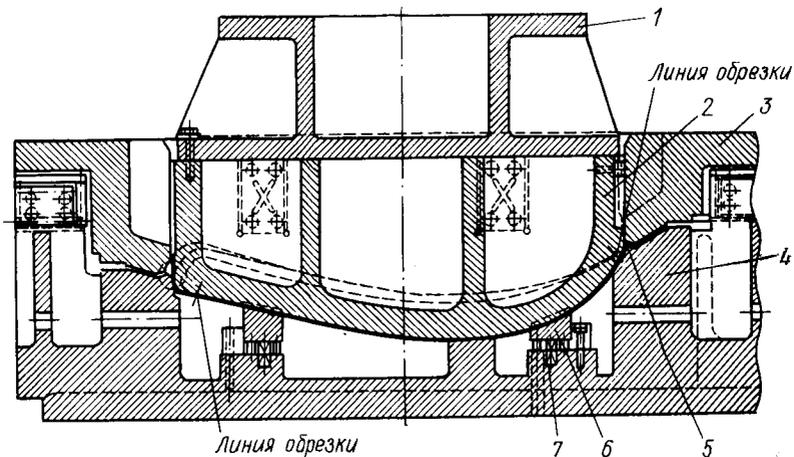


Рис. 198. Штамп для вытяжки крыши кузова автомобиля, установленный на прессе двойного действия

которой закреплен вытяжной пуансон 2, прижима 3 и вытяжной матрицы 4. Перетяжные ребра 5 расположены на матрице. Удаление изделия после штамповки производится выталкивателями 6, работающими от пружин 7. На рисунке показаны также линии обрезки деталей после вытяжки.

### § 103. КОМБИНИРОВАННЫЕ ВЫТЯЖНЫЕ ШТАМПЫ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ

Часто для окончательного изготовления полого изделия требуется несколько различных штамповочных операций на отдельных штампах. Если все выполняемые этими штампами операции объединить в одном сборном штампе, установив отдельные штампы последовательно один за другим, то получим комбинированный штамп последовательного действия. Такое объединение освобождает штамповочное оборудование, ускоряет работу и удешевляет ее.

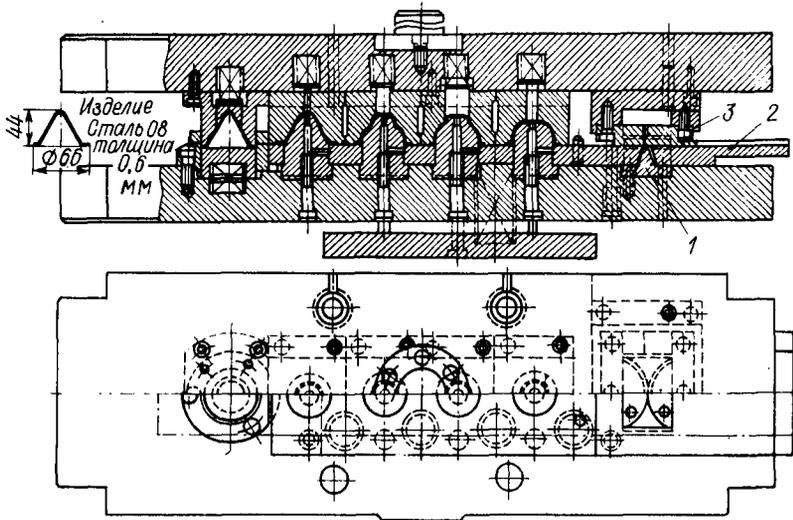


Рис. 199. Многооперационный вытяжной штамп последовательного действия

Различают два типа указанных штампов. В одних штамповка производится до конца в ленте и только на последней операции деталь вырубается из ленты. В других штампах, наоборот, сначала производится вырубка заготовки, которая затем специальным механизмом перемещается дальше. Обычно такие штампы устанавливаются на многопозиционных прессах.

На рис. 199 показан многооперационный последовательно действующий штамп для вытяжки изделий малых и средних размеров, работающий по принципу действия штампа первого типа. Этот штамп выполняет последовательно шесть вытяжных операций по изготовлению конического изделия средних размеров. Штамп работает от пресса простого действия. Изделие в нем штампуются дном кверху, что позволяет более удобно фиксировать заготовки, иметь зажим неизменяемого фланца во втором и третьем переходах и сохранить фланец неизменным до самого последнего перехода, в котором производится вырубка готового изделия.



7, принимает форму изделия. При обратном ходе ползуна кольцо 9 снимает с пуансона 7 отштампованную деталь. Если деталь остается в матрице 3, то в конце обратного хода ползуна деталь выбрасывается из верхней части штампа выталкивателем 4, действующим от пресса через стержень 5. С пуансона 7 полоса снимается съемником 2, работающим от пружин 6, размещенных в углублениях верхней плиты 1.

Подобные штампы широко используются для штамповки как цилиндрических, так и прямоугольных и других полых деталей.

#### Комбинированный штамп для вырубki и вытяжки к прессу двойного действия

На рис. 201 представлен штамп для вытяжки колпаков из ленточного или полосового материала. Прижимное кольцо 1, служащее одновременно и вырубным пуансоном, при опускании наружного ползуна вырубает при помощи матрицы 3 из ленты заготовку и прижимает ее затем к вытяжной матрице 4. В дальнейшем при опускании второго, внутреннего ползуна вытяжной пуансон 2 производит [вытяжку] колпака.

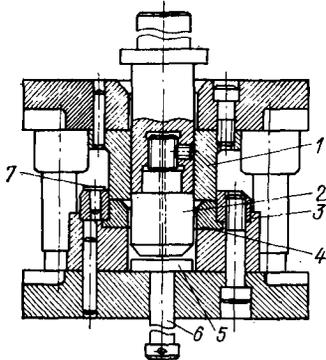


Рис. 201. Комбинированный штамп для вырубki и вытяжки к прессу двойного действия

Детали удаляются при помощи выталкивателя 5 и стержня 6. Лента подается до упора 7. В некоторых конструкциях штампов вытяжной колпак снимается с пуансона крючковым или секторным пружинным съемником (см. рис. 195). Для вытяжки двухступенчатых изделий могут применяться штампы к прессам тройного действия.

#### § 105. ШТАМПЫ ДЛЯ ВЫТЯЖКИ С УТОНЕНИЕМ МАТЕРИАЛА

На рис. 202 представлены конструкции пуансонов и матриц для проведения четырех последовательных операций при изготовлении тонкостенного цилиндра небольшого диаметра путем вытяжки с утонением. Первый штамп (рис. 202, а) устанавливается на пресс двойного действия и предназначен для комбинированной вырубki кружка и вытяжки (свертки) колпачка. На последних трех штампах (рис. 202, б—г) осуществляется последовательная вытяжка с утонением без применения прижима.

Первая операция (вырубка и вытяжка — свертка) производится обычно с автоматической подачей материала, причем за один ход получается несколько колпачков — до 7—9 шт. (многупуансонные штампы). Для штампов при вытяжке с утонением стенок должны

предусматриваться специальные съемники (см. рис. 192 и 195), сбрасывающие колпачок с вытяжного пуансона при обратном ходе ползуна пресса.

Для увеличения степени деформации при вытяжке с утонением за одну операцию применяют штампы с расположенными одна над другой несколькими вытяжными матрицами (две или три). На рис. 203 показан штамп с двумя вытяжными матрицами и с устройством для автоматической подачи полых заготовок в штамп.

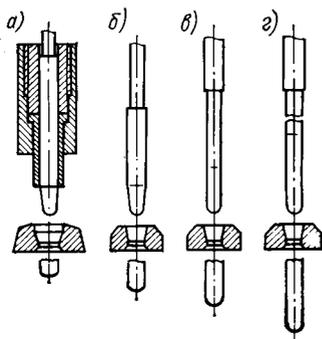


Рис. 202. Конструкции пуансонов и матриц для вытяжки с утонением материала

На рис. 204 приведены профили матриц для вытяжки квадратных коробок из круглой заготовки за одну операцию по методу, разработанному С. А. Валиевым [12], на рис. 204, а матрица для вытяжки с прижимом, а на рис. 204, б — двухконусная матрица для вытяжки без прижима.

Особенностью матриц подобного типа является пространственный профиль вытяжной кромки, т. е. кромки при входе в рабочий пояс. Этот профиль получается в результате пересечения конической поверхности заходной части матрицы от  $D_k$  и ниже с контуром рабочего отверстия ( $B_m, d_m$ ). Так как при любом контуре коробчатой детали на участках с большей кривизной в плане вытяжная кромка располагается выше и вступает в работу раньше участков контура с малой кривизной, то получается более равномерная деформация и создаются более благоприятные условия для вытяжки вследствие повышенной устойчивости образовавшегося

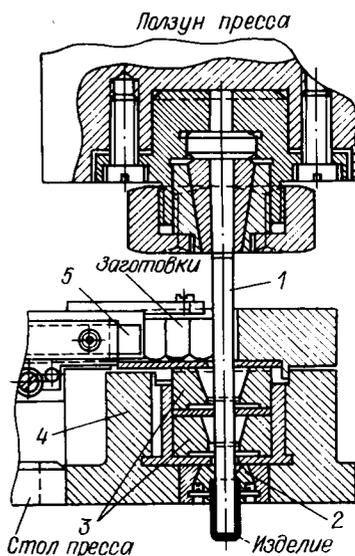


Рис. 203. Схема штампа для вытяжки с утонением через две (три) матрицы, расположенные одна над другой, и с автоматической подачей заготовок:

1 — пуансон; 2 — пружинный съемник; 3 — матрица; 4 — основание (колотка); 5 — толкатель для автоматической подачи заготовок в штамп

конического фланца. При этом значительно снижаются усилие вытяжки и напряжения в опасном сечении.

Достоинством вытяжной кромки такого профиля является также плавность вступления в работу его участков. Все это способствует тому, что из круглой заготовки при вытяжке ее из-под

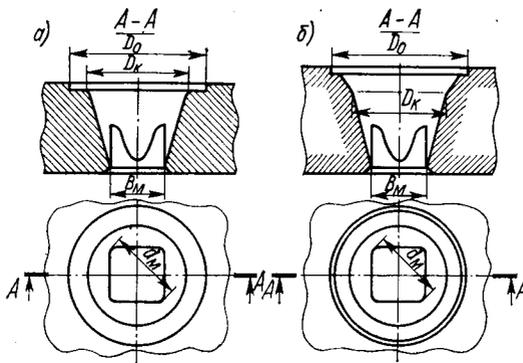


Рис. 204. Профили матриц для вытяжки квадратных коробок из круглой заготовки за одну операцию

прижима или через двухконусную матрицу при работе без прижима квадратным пуансоном за один рабочий ход ползуна прессы получается (более глубокая вытяжка) готовая квадратная коробка. Подобным же методом из овальной заготовки вытяжкой ее через матрицу с коническим овалом прямоугольным пуансоном получают прямоугольную коробку.

Расчетные элементы профиля матриц штампов для вытяжки квадратных и прямоугольных коробок приведены в работе [12].

## Глава 27. ШТАМПЫ ДЛЯ ФОРМОВОЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ

### § 106. ШТАМПЫ ДЛЯ ПРАВКИ И РЕЛЬЕФНОЙ ФОРМОВКИ

На рис. 205 представлены конструкции штампов для правки — выравнивания поверхности вырубленных заготовок. На рис. 205, а изображен точечный штамп, применяемый для твердых материалов; при этом величина шага  $h$  должна равняться от 1,5 до 1 толщины материала. Острия зубцов пуансона не должны сходиться с остриями зубцов на матрице, так как в противном случае вместо

правки может получиться вдавливание изделия. На рис. 205, б показан штамп с гладкой поверхностью, позволяющий обрабатывать только мягкие металлы.

Для устранения глубоких отпечатков иногда применяют так называемые «вафельные» штампы с тупыми зубцами, имеющими при вершине плоскости ромбовидной формы.

На рис. 206 представлен штамп для рельефной формовки усилительной накладки под навески двери автомобиля. Основными формообразующими — фасонирующими деталями штампа являются секции пуансона 1 и матрицы 2, 7, а также прижим — выталкиватель 3.

Предварительная фиксация плоских заготовок, предназначенных для рельефной формовки, осуществляется боковыми планками — фиксаторами 6; окончательное более точное положение заго-

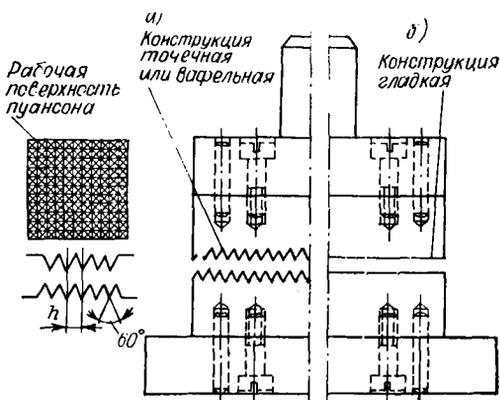


Рис. 205. Конструкция штампа для правки

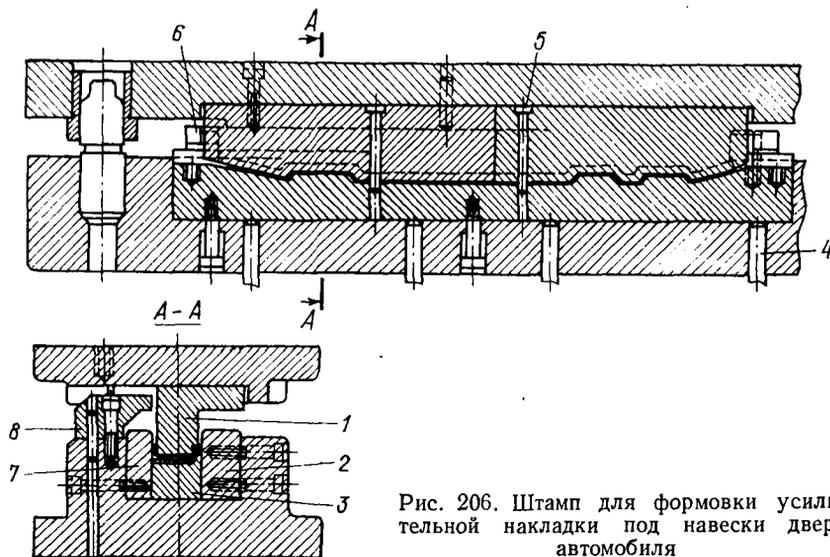


Рис. 206. Штамп для формовки усилительной накладки под навески двери автомобиля

товок устанавливается ловителями 5 по заранее пробитым в заготовках отверстиям. Выталкивание детали из матрицы производится прижимом 3 и стержнем 4, а с пуансона она снимается сбрасывателями 8.

## § 107. ОТБОРТОВОЧНЫЕ И ФОРМОВОЧНЫЕ ШТАМПЫ

### Отбортовочные штампы

Отбортовочные штампы могут быть разделены на две группы: штампы без прижима заготовки и штампы с прижимом заготовки. Штампы без прижима заготовки применяются лишь при отбортовке крупных изделий, где нет опасения перетяжки заготовки во время отбортовки. Полного зажима заготовки обычно можно достичь применением отбортовочных штампов второй группы с сильным прижимом.

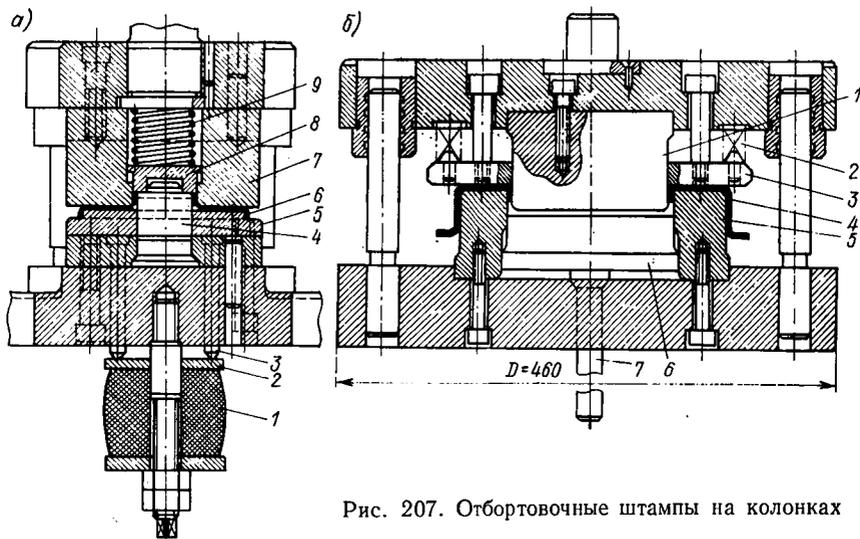


Рис. 207. Отбортовочные штампы на колонках

На рис. 207, а представлен отбортовочный штамп с нижним прижимом, действующим от резинового буфера 1, помещенного под штампом, который передает давление через шайбу 2 и стержни 3 на прижимную пластинку 5. При опускании верхней части штампа заготовка 6, уложенная на пластинке 5 так, что отбортовочный пуансон 4 верхним своим выступом входит в предварительное отверстие, сначала зажимается матрицей 7, а затем уже отбортовывается. Выталкивание изделия из верхней части штампа после отбортовки можно осуществить при помощи обычного жесткого выталкивателя (стержня), действующего от самого пресса, или, как показано на рисунке, при помощи пружин 9 и выталкивателя 8.

При отбортовке более крупных изделий вместо резинового буфера или пружины лучше применять пневматические или гидropневматические устройства.

На рис. 207, б изображен подобный штамп с верхним прижимом для отбортовки отверстия в муфте сцепления трактора. Здесь

прижим изделия 4 осуществляется при опускании верхней части штампа пластиной 3, находящейся под действием шестнадцати пружин 2, расположенных по окружности вокруг отбортовочного пуансона 1.

Прижим кольцевой части материала снизу в процессе отбортовки и последующее выталкивание изделия из матрицы 5 после отбортовки производится выталкивателем 6, получающим движение через стержни 7 от нижней пневматической подушки пресса.

#### Формовочные штампы

Формовочные штампы применяются главным образом для придания окончательной формы предварительно вытянутым изделиям.

**Формовочный штамп к прессу простого действия.** На рис. 208 изображен штамп с направляющими колонками к прессу простого действия для формовки фланца днища корпуса глушителя грузового автомобиля. Указанная деталь штампуется за пять операций, на первых двух из которых вытягивается средняя ее часть. Вытяжка фланца с одновременной формовкой его и всей детали производится в штампе для третьей операции. Здесь полая заготовка средней частью надевается на фиксатор 5, поддержанный пружиной 1, и прилегает своим фланцем к матрице 4. При опускании ползуна пресса фланец заготовки зажимается между прижимом 7 и матрицей 4, после чего пуансон-матрица 6 производит вытяжку и одновременно формовку детали для придания ей требуемой формы и размера. При подъеме ползуна вверх осуществляется снятие отштампованной детали с фиксатора 5 выталкивателем 3, действующим от стержней 2 пружинного или пневматического устройства; выталкивание детали из пуансона-матрицы 6 производится толкателем 8, работающим через палец 9 от планки ползуна пресса.

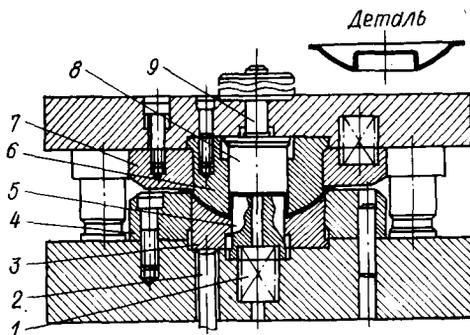


Рис. 208. Формовочный штамп к прессу простого действия

**Штампы для формовки изнутри посредством резины или полиуретана.** Широкое применение в штампах для формовки изнутри получила резина, передающая давление на стенки сосуда и обеспечивающая плавное перемещение материала и хорошее заполнение формы. На рис. 209, а изображен штамп для формовки изнутри посредством резины для пресса двойного действия. Штамп состоит

из корпуса 1 и сменного конуса 2, внутренняя часть которого соответствует форме изделия. Сменный конус, в свою очередь, сделан разъемным из двух (или нескольких) частей, чтобы из него можно было извлечь изделие после формовки. В верхней части штампа к пуансодержателю 4 подвешена на болте 7 пробка 9, на которую надето резиновое кольцо 6. К пробке 9 снизу привинчена винтами пластинка 8, предохраняющая резиновое кольцо 6 от выпадения

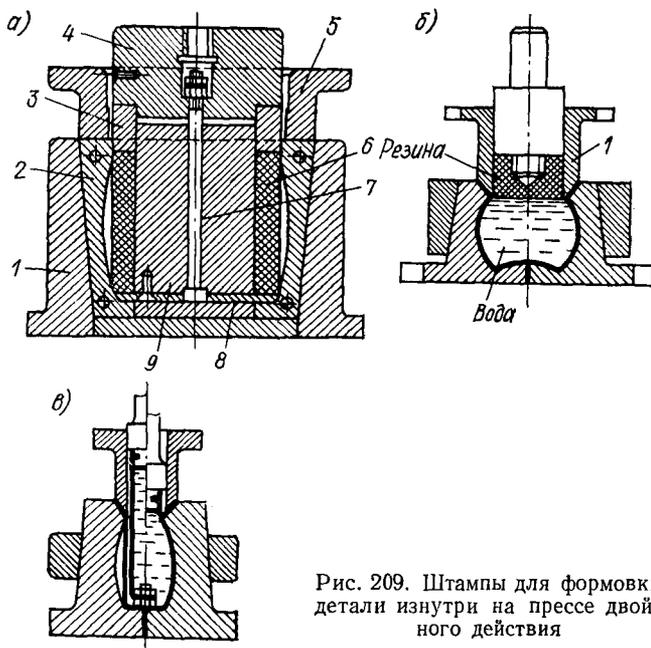


Рис. 209. Штампы для формовки детали изнутри на прессе двойного действия

во время работы. К наружному ползуну прикрепляется кольцо 5, служащее для предварительного опускания конуса 2 до дна корпуса.

Штамп действует следующим образом. Заложив предварительно вытянутое изделие в сменный конус 2, включают пресс. При опускании наружного ползуна кольцо 5 доводит конус (форму) 2 до дна корпуса. При опускании внутреннего ползуна пробка 9, дойдя до дна, останавливается, а ползун, продолжая опускаться, при помощи кольца 3 сжимает резину, которая, раздаваясь, и производит формовку изделия. Вместо резины можно применять и полиуретан. Помимо этого, имеются штампы для формовки изнутри при помощи механического составного раздвижного пуансона [26].

**Штампы для формовки изнутри посредством жидкости.** В некоторых случаях для формовки применяются штампы, в которых в качестве среды для передачи давления используется жидкость (масло, глицерин, вода).

Формуемое изделие помещают в разъемный штамп (матрицу) и наполняют жидкостью, после чего опускают в него пуансон, который оказывает давление на жидкость, формующую изделие. На рис. 209 изображен подобный штамп, устанавливаемый на прессе двойного действия. В этом штампе герметизация осуществляется специальным кольцом из резины, прикрепленным к пуансону, и наружным кольцом 1 (рис. 209, б). Недостаток всех таких штампов заключается в необходимости каждый раз наливать воду или масло перед штамповкой и выливать их по окончании операции. Штамп (рис. 209, в) лишен этого недостатка, так как пуансон снабжен резиновым чехлом с налитым в него глицерином.

### § 108. ШТАМПЫ ДЛЯ ОБЖИМА

Штампы для обжима подразделяются на две группы: штампы для свободного обжима и штампы с подпорами заготовки.

Штампы первой группы имеют лишь направляющие устройства для трубчатой или полой заготовки, без внутренних или наружных подпоров, вследствие чего возможна потеря устойчивости при обжиме. Для предотвращения потери устойчивости заготовка за одну операцию получает такое формоизменение, при котором потребное усилие обжима будет меньше критического.

На рис. 210 показаны две схемы штампов свободного обжима: на первом штампе производится обжим конца трубы 3 (рис. 210, а) в неподвижной матрице 1, а на втором штампе обжим горловины на полем изделия 3 (рис. 210, б) осуществляется подвижной матрицей 1, закрепленной на верхней плите штампа при помощи матрицедержателя 5.

Для фиксации заготовки имеется цилиндрический поясод или на матрице 1, или на плите 4. Удаление деталей производится выталкивателем 2, работающим от нижнего или от верхнего буфера. Длина обжатой части устанавливается изменением величины хода пресса.

На рис. 211, а представлена схема штампа с наружным подпором; в нем часть заготовки, не подвергающаяся обжиму, охватывается наружной обоймой 2, предотвращающей потерю устойчивости и выпучивания заготовки наружу. Благодаря этому в таких штампах можно дать большую степень деформации, чем в штампах без подпоров. Для облегчения установок заготовок и удаления обжатых деталей из обоймы 2, она делается разъемной; в нерабочем состоянии она разжимается пружинами 1. Смыкание обоймы вокруг заготовки производится при перемещении верхней

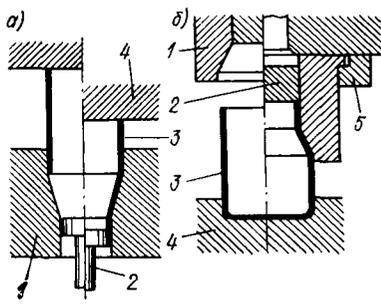


Рис. 210. Схемы штампов для свободного обжима концов деталей

части штампа вниз клиньями 4. Для удаления обжатой детали из матрицы 5 в штампе предусмотрен выталкиватель 3, действующий ст пружины 6 или от поперечины в ползуне прессы.

Имеются также штампы со скользящей наружной обоймой, подпирающей заготовку по всей недеформированной ее части.

На рис. 211, б и в изображены штампы для обжима концевой части трубы или полой заготовки по сфере, снабженные наружным (рис. 211, в) или наружным и внутренним (рис. 211, б) подпорами

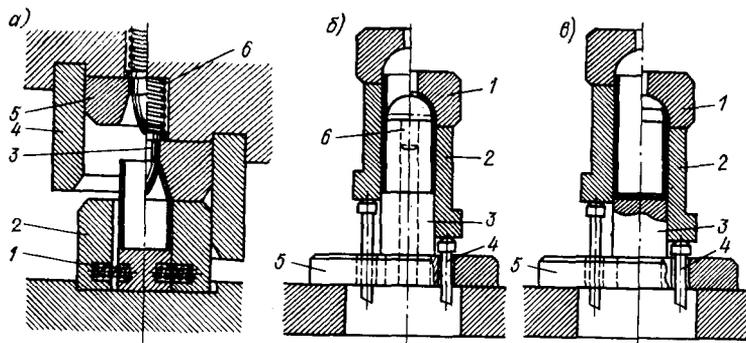


Рис. 211. Схемы штампов для обжима концов деталей с подпорами

заготовки. Эти штампы позволяют за одну операцию произвести значительные формоизменения, благодаря чему снижается количество операций при многооперационной штамповке. В штампе, предназначенном для обжима концевой части трубы (рис. 211, б), трубная заготовка устанавливается в зазор между наружной скользящей обоймой 2 и внутренним стержнем-основанием 3, на котором имеется ступенька для опоры торца заготовки. В отверстие стержня 3 запрессован вкладыш, имеющий сферическую головку, по которой обжимается заготовка. В штампе для обжима полой заготовки (рис. 211, в) вкладыш 6 отсутствует. Заготовка устанавливается по обойме 2 и стержню-основанию 3.

При ходе ползуна прессы вниз матрица 1 перемещает скользящую обойму 2 вниз, производит обжатие заготовки по сфере. Обойма действует от нижнего буфера через стержни 4, скользящие в нижней плите 5. Выталкивание детали производится при ходе прессы вверх вкладышем 6, также соединенным с нижним буфером.

#### § 109. ШТАМПЫ ДЛЯ РАЗДАЧИ

Конструкция штампа для раздачи зависит от требуемой степени деформации, которая характеризуется коэффициентом раздачи  $K_{\text{разд}}$ . Если  $K_{\text{разд}} > K_{\text{разд. пред}}$ , когда местная потеря устойчивости исключена, то применяются простой открытый штамп с коническим пуансоном (для свободной раздачи) и нижним цилиндрическим фиксатором по внутреннему диаметру трубной заготовки, который закреплен на нижней плите штампа.

При более высоких степенях деформации, когда  $K_{\text{разд}} < K_{\text{разд, пред}}$ , применяют штампы со скользящим внешним подпором (рис. 212) [1].

Штамп состоит из верхней плиты 1 и закрепленных на ней конического пуансона 2 и стержневых толкателей 3. На нижней плите 7 закреплена цилиндрическая опорная оправка 5, диаметр которой  $D$  равен наружному диаметру трубной заготовки. По оправке перемещается подпорная втулка 4, опирающаяся на пружины 6. Когда втулка находится в верхнем положении (показано на рисунке штриховой линией), заготовка устанавливается на заплечик оправки 5, причем заготовка выступает из втулки на  $(0,2 \div 0,3) D$ .

При опускании верхней части штампа конический пуансон входит во внутрь заготовки и начинает раздавать ее. Одновременно толкатели 3 нажимают на подпорную втулку 4 (сжимая пружины 6) и перемещают ее по оправке вниз, давая этим возможность пуансону осуществить полную раздачу трубной заготовки до требуемых размеров. При обратном ходе пружины 6 поднимают втулку 4 вверх вместе с отштампованной деталью.

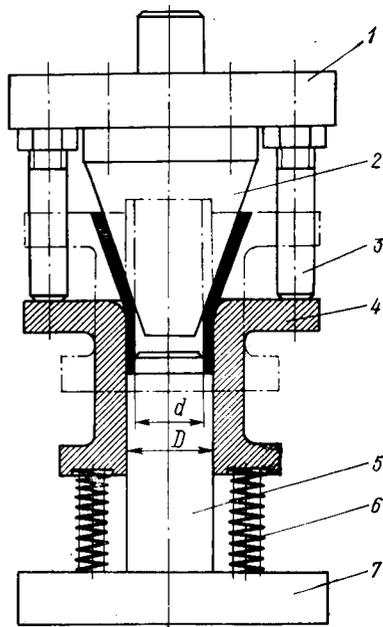


Рис. 212. Штамп для раздачи концов трубчатых заготовок со скользящим подпором

Для формовочных операций можно применять те же смазочные материалы, а также химикаты для травления и обезжиривания, как и для вытяжных операций.

## Глава 28. ШТАМПЫ ДЛЯ МЕЛКОСЕРИЙНОГО И ОПЫТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

### § 110. УПРОЩЕННЫЕ ШТАМПЫ

#### Упрощенные вырубные штампы (листовые пинцетные и пластинчатые штампы)

Эти штампы характерны тем, что имеют минимальное число простых вспомогательных деталей (направляющих, съемников, фиксаторов и т. д.), а рабочие части их (пуансоны и матрицы) изготавливаются из сравнительно тонких пластин, не требующих

значительных затрат на их изготовление. Пинцетные и пластинчатые штампы применяются для вырубки по контуру деталей мелких и средних размеров любой конфигурации, а также для пробивки отверстий. Кроме того, на этих штампах можно осуществить одновременную вырубку по контуру и пробивку отверстий, вырубку с отбортовкой и другие операции [32]. На пинцетных штампах производится вырубка деталей из стали толщиной до 1,5 мм и из цветных металлов толщиной до 3—4 мм. Пуансоны и матрицы изготавливаются из сталей 15—20, цементируются и закаляются до *HRC* 52—56, или из сталей У7, У8 без термообработки. Стойкость пинцетных штампов составляет 500—1000 деталей. На пластинчатых штампах можно вырубать детали из стали толщиной до 3 мм, а из цветных металлов — до 4—5 мм.

Стойкость рабочих частей пластинчатых штампов до переточки составляет 5—10 тыс. шт., а до полного износа — 10—40 тыс. шт.

Для штамповки изделий небольших размеров детали пластинчатых штампов устанавливаются в специальный блок с направляющими колонками и механическим или электромагнитным креплением, предназначенный для ряда деталей определенных размеров. Детали и блок последних штампов нормализованы.

#### Упрощенные гибочные, вытяжные и формовочные штампы

При изготовлении гнутых и объемно-полых деталей, требующих операций вытяжки, формовки и отбортовки, в мелкосерийном производстве применяются упрощенные штампы следующих типов: литые алюминиево-цинковые и свинцово-цинковые штампы; деревянные и деревянно-резиновые штампы, деревянные болваны и рамки; бетонно-металлические штампы [32; 59]; штампы для гидравлической штамповки; штампы с применением резины или полиуретана; штампы из пластмассы.

Указанные штампы применяются для изготовления средних и крупногабаритных деталей сложной конфигурации из материалов толщиной до 1,5 мм в автомобильной промышленности при вытяжке, формовке и отбортовке облицовочных деталей автомобилей, в авиационной промышленности, в вагоно- и судостроении.

**Штампы из алюминиево-цинковых и свинцово-цинковых сплавов.** Алюминиево-цинковый сплав, применяемый для вытяжных и формовочных штампов в автомобильной и авиационной промышленности, содержит 7—8,5% Al; 2—3% Cu; 1,3% Pb; 0,5% Fe; остальное Zn;  $\sigma_{\text{в}} = 200 \div 260$  МПа, *HV* 100—110 [53].

Алюминиево-цинковый сплав имеет хорошие литейные свойства, хорошее сопротивление истиранию, легко обрабатывается и имеет при переплавке небольшие потери. Небольшая шероховатость на поверхности штампа не отражается на качестве поверхности отштампованных деталей, что особенно ценно при штамповке облицовочных деталей автомобилей и самолетов.

В конструктивном отношении эти штампы аналогичны конструкции литых штампов из чугуна, но они менее трудоемки в изготовлении. Верхние и нижние плиты у них отливают из чугуна, а рабочие части — пуансона и матрицы — из приведенных выше сплавов. Стойкость указанных штампов составляет 5000—6000 шт. деталей. Штампы устанавливаются на прессах двойного действия.

Свинцово-цинковые штампы обычно применяют тогда, когда к качеству поверхности деталей не предъявляют жестких требований и допускают следы и незначительные гофры. В этих штампах матрица изготавливается из цинка или цинкового сплава, а пуансон — из свинца.

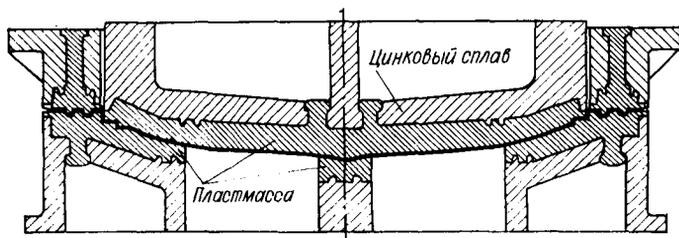


Рис. 213. Вытяжной штамп (показан разрез штампа), у которого пуансон, матрица и прижимное кольцо изготовлены из пластмассы, а корпус — из алюминиево-цинкового сплава

**Штампы из пластмассы.** Исходными материалами для изготовления пластмассовых штампов являются термоустойчивая жидкая феноловая смола, высокомолекулярные эпоксидные смолы марок ЭД5, ЭД6 и полиэтиленовые смолы.

Отливки из пластмасс имеют сравнительно большую точность и высокую чистоту поверхности, благодаря чему нет необходимости в обработке рабочих поверхностей и их взаимной пригонке на прессах, поскольку спаривание их обеспечивается уже при отливке.

Основание (каркас) для пластмассовых штампов из феноловой смолы изготавливается из алюминиево-цинкового сплава или серого чугуна, на которые наносится слой феноловой смолы толщиной 50—100 мм (в зависимости от размеров и формы штампа).

На рис. 213 изображен штамп из пластмассы (феноловой смолы) с корпусом из алюминиево-цинкового сплава. Он предназначен для вытяжки капота автомобиля длиной 1640 мм, шириной 1690 мм, глубиной 220 мм из стального листа толщиной 1 мм.

Пластмасса из феноловой смолы готовится в холодном состоянии и заполняет металлическую форму при заливке. После затвердевания при определенной температуре пластмасса становится нерастворимой и не размягчается.

Штампы из эпоксидных смол изготавливаются трех типов: с литой облицовкой, со слоистотканевой облицовкой и монолитные.

Штампы для небольших деталей отливают целиком из пластмассы, а для крупных деталей они выполняются с облицовкой из пластмассы.

Штампы со слоистотканевой облицовкой получаются путем наложения слоев из тканей и других материалов, пропитанных эпоксидной или фенолово-эпоксидной смолой.

Из полиэтиленовых смол штампы получают путем вдавливания в них модели требуемой формы. Для этого пластмассовая заготовка нагревается до 120° С, в результате чего она размягчается и легко поддается вдавливанию.

Штампы из эпоксидных смол применяются для изготовления изделий из мягкой углеродистой стали, а также нержавеющей стали толщиной до 1,6 мм, алюминия до 2 мм, титанового листа до 0,8 мм. Стойкость их составляет 10—20 тыс. шт. деталей.

Стоимость пластмассового штампа составляет 30—50% стоимости аналогичного стального штампа.

В случае армирования пластмассовых штампов стальными пластинами их можно использовать также и для вырубных работ.

## § 111. УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ШТАМПЫ И БЛОКИ

Универсальные штампы сочетают в себе универсальные блоки или пакеты, в которых закрепляются сменные рабочие части: пуансоны и матрицы, переставные упоры, направляющие линейки, делительные устройства и др. На этих штампах получается либо полностью законченная операция, например вырубка, пробивка или гибка, либо только часть операции, например постепенная обрубка углов, пазов, радиусов, гибка по частям и др.; последняя схема работы приближается к поэлементной штамповке.

### Общие универсальные штампы

На рис. 214 приведена типовая конструкция универсального штампа для вырубки углов и пазов, которая также используется и при поэлементной штамповке. На нижней плите 6 закреплена опорная рама 7, по пазам которой можно перемещать до необходимого положения сменные подвижные планки — упоры 4 с вырезами (для крепежных болтов). В соответствии с расположением этих упоров относительно пуансона 2 определяется необходимый размер требуемой вырубки угла или паза в заготовке 8. Пуансон 2 закреплен на верхней плите 3; кроме того, он имеет еще направляющие выступы 1, скользящие в вырубной матрице 5. Матрица может быть цельной и составной — из четырех отдельных секций. На этом штампе можно также отрезать от полосы или ленты заготовки различной длины и ширины, установив по требуемым размерам планки — упоры 4.

Универсально пробивные штампы устроены таким образом, что получение отверстий разных диаметров в этих штампах достигается применением набора сменных пуансонов, матриц и направляющих втулок для пуансона; втулка закрепляется в съемнике. Заготовку, в которой необходимо пробить отверстие (или отверстия), установ-

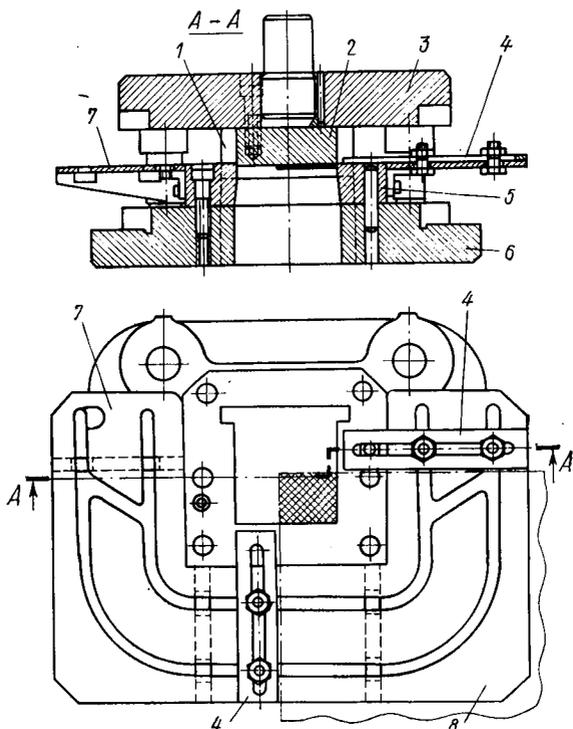


Рис. 214. Типовая конструкция универсального штампа для вырубki углов и пазов

ливают между линейкой и упором (по делениям), которые могут передвигаться: упор — в продольном, а линейка — в поперечном направлениях [32; 34].

Универсально-гибочный штамп (рис. 215) предназначен для гибки детали под углом  $90^\circ$  с радиусами гибки  $r$  3, 5, 10 и 15 мм. Пуансон 5, установленный в призме верхней плиты 1 посредством специальных болтов 2 и 12, имеет квадратную форму с различными радиусными гранями (3; 5; 10 и 15 мм). В зависимости от радиуса гибки пуансон может быть повернут любой из четырех граней вокруг своей оси и закреплен в этом положении. Матрица 6 представляет собой квадратный брусок, на гранях которого сделаны угловые пазы разной глубины, предназначенные для гибки заго-

товок различной толщины. Матрица закреплена в нижней плите 7 винтами 8. На плите 7 укреплены кронштейны 4 и 9, на которых могут устанавливаться в различных положениях упоры 3 и 11.

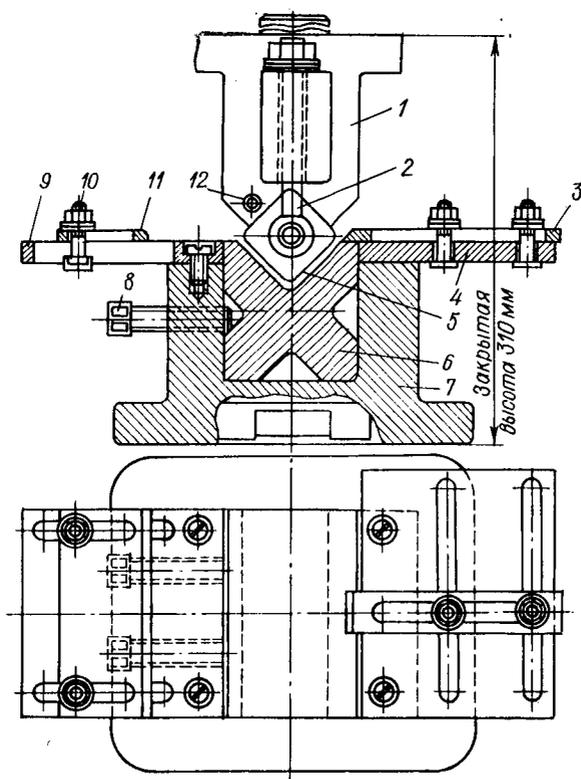


Рис. 215. Универсальный штамп для гибки под углом  $90^\circ$

Упоры закрепляются болтами с гайками 10. Этот штамп может входить и в групповую оснастку. Он обычно устанавливается на винтовых фрикционных прессах.

#### Универсально-сборные штампы

В настоящее время разработана и внедрена система универсально-сборных штампов (УСШ) для листовой штамповки [63]. Сущность этих штампов заключается в том, что вместо специальных, универсальных, универсально-наладочных штампов можно создавать из одних и тех же элементов новые штампы с разнообразным расположением рабочих элементов (в соответствии с чертёжом штампуемой детали) и различным сочетанием одних и тех же составных частей. Они применяются как для разделитель-

ных, так и для формоизменяющих операций — гибки и вытяжки (за исключением сложной гибки, многооперационной вытяжки в ленте и т. д.).

На рис. 216 показан универсально-сборный штамп для вытяжки цилиндрической детали с фланцем. Матрица 12 вытяжного штампа, выполненная в виде вкладыша, устанавливается в державку 11 и соединяется с нижней универсальной плитой 10

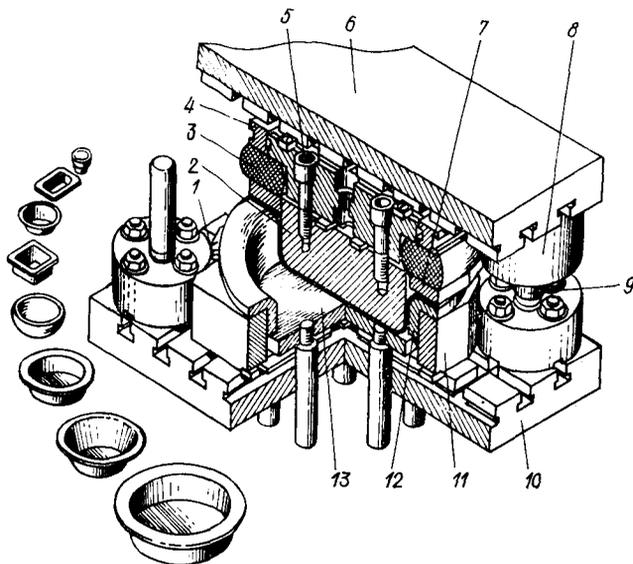


Рис. 216. Универсально-сборный штамп для вытяжки цилиндрической детали с фланцем

(в которой имеются Т-образные пазы) при помощи болтов 1. Вытяжной пуансон 2 винтами 5 крепится к державке 4, которая болтами соединяется с верхней плитой 6. Прижим заготовки и съем отштампованной детали с пуансона производится прижимом — складкодержателем 7, действующим от буфера 3. Отштампованная деталь удаляется из полости матрицы выталкивателем 13, работающим от буфера пресса. Направление верхней части штампа относительно нижней осуществляется при помощи колонок 9 и направляющих втулок 8. Державки 4, 11 и пуансон 2 фиксируются посредством шпонок. На этом штампе можно производить вытяжку деталей с диаметром 20—130 мм, высотой 5—50 мм и толщиной материала 1—4 мм. Класс точности штампуемых деталей 5—7.

Универсально-сборные штампы устанавливают на кривошипные прессы простого действия усилием 400—1000 кН.

При штамповке по элементам необходимо иметь набор однооперационных штампов для выполнения различных операций: для обрезки и вырубki (вырезки) деталей, контур которых образован прямыми линиями; для обрезки прямого угла, а также концов деталей по различному радиусу; для пробивки отверстий различного диаметра; для прорезки пазов различных размеров; для вырубki различных шайб при помощи сменных пакетов; для гибки деталей с различными углами, полками и радиусами и др.

Штампы для поэлементной штамповки постоянно закреплены на прессах, которые расположены последовательно и образуют отдельную штамповочную линию.

В целях дальнейшего расширения области использования штамповки по элементам, повышения ее эффективности и качества штампуемых деталей В. М. Богдановым, В. В. Гнубкиным и др. [10] разработан комплекс универсальных быстропереналаживаемых технических средств для поэлементной штамповки. В комплекс входит круговой многопозиционный пресс, комплект из восьми универсальных быстропереналаживаемых штампов, быстросменные рабочие элементы к универсальным штампам и шарнирные пресс-ножницы для точной резки тонколистового материала.

Круговой многопозиционный пресс (рис. 217) выполнен заодно с верстаком 2, имеющим форму письменного стола, в нижней части которого 13 размещены электродвигатель, шкив-маховик и редуктор. В верхней части пресса на плите 3 верстака 2 установлена сборная станина 6 с ползуном 8, приводимым в движение Г-образным рычагом 7 посредством шатуна редуктора. Вокруг станины 6 на шариковых опорах размещены поворотный стол 4 с расположенными на нем универсальными переналаживаемыми штампами 5. Для включения стола используется поворотная ручка 11, действующая на стопорное устройство стола. Спереди также расположена кнопка 12 для пуска пресса. С правой стороны станины установлен поворотный стеллаж 10 со сменными элементами — кассетами типа скоб 9 с внутренним пружинным устройством для подъема ползунка скобы. Пресс приводится в действие при помощи электромагнита и педали 1. Усилие, развиваемое прессом, составляет 120 кН. Настройка пресса и штампов для изготовления деталей средней сложности занимает не более 1 мин. Любой штамп, входящий в комплекс, может быть быстро перенастроен.

На рис. 218 показан универсальный переналаживаемый штамп (входящий в комплект комплекса многооперационного пресса) для обрезки прямых углов по радиусу 1—7 мм в плоских деталях из различных материалов толщиной до 2 мм. Штамп состоит из основания 1 с Т-образными пазами для передвижения кареток 2 с направляющими для штампуемой заготовки (детали) под соот-

ветствующий ручей пуансона требуемого радиуса. Сначала заготовки устанавливаются грубо по шкалам 3 по рискам, нанесенным на фасках окон А, затем точно при помощи фиксирующих устройств 4, вмонтированных в каретки, и отверстий Б, просверленных по обеим сторонам основания. Болты 11 и гайки 13 служат для окончательного закрепления кареток на основании штампа.

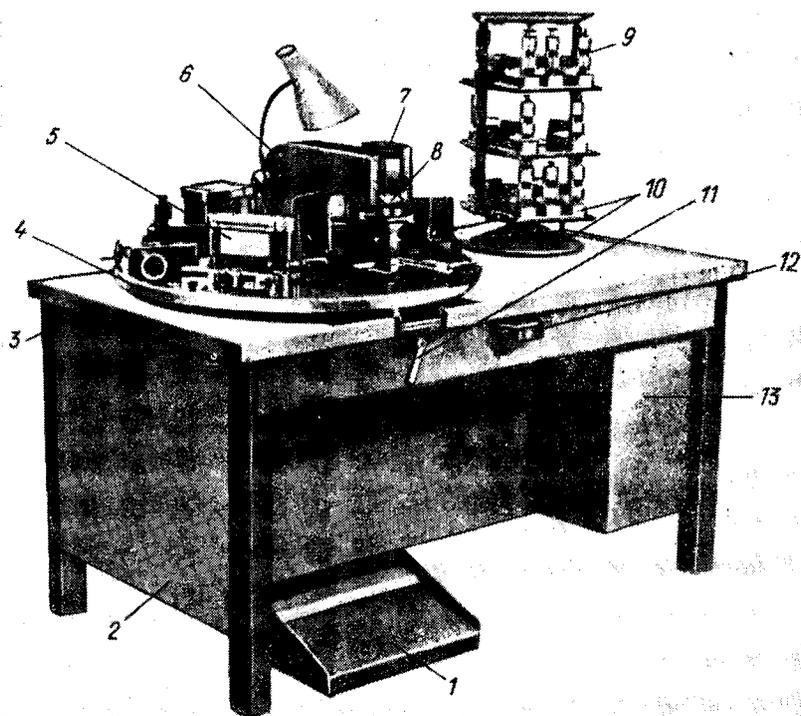


Рис. 217. "Круговой многопозиционный пресс с комплектом из восьми универсальных перенастраиваемых штампов"

Над провальным отверстием 12 по обеим его сторонам в гнездах 14 закреплены матрицы 15. В основание запрессованы полые направляющие колонки, внутри которых размещены пружины 8, служащие для удержания верхней части штампа относительно основания и матрицы. Пружины упираются нижним концом в дно колонки, а верхним — в дно выточек крышки 9, через отверстия которых пропущены болты 10. Подворачивая болты, можно отрегулировать требуемое расстояние между пуансонами и матрицами. Верхняя часть штампа содержит пуансонодержатель с корпусом 7, направляющими втулками 6 и пружинами 17,

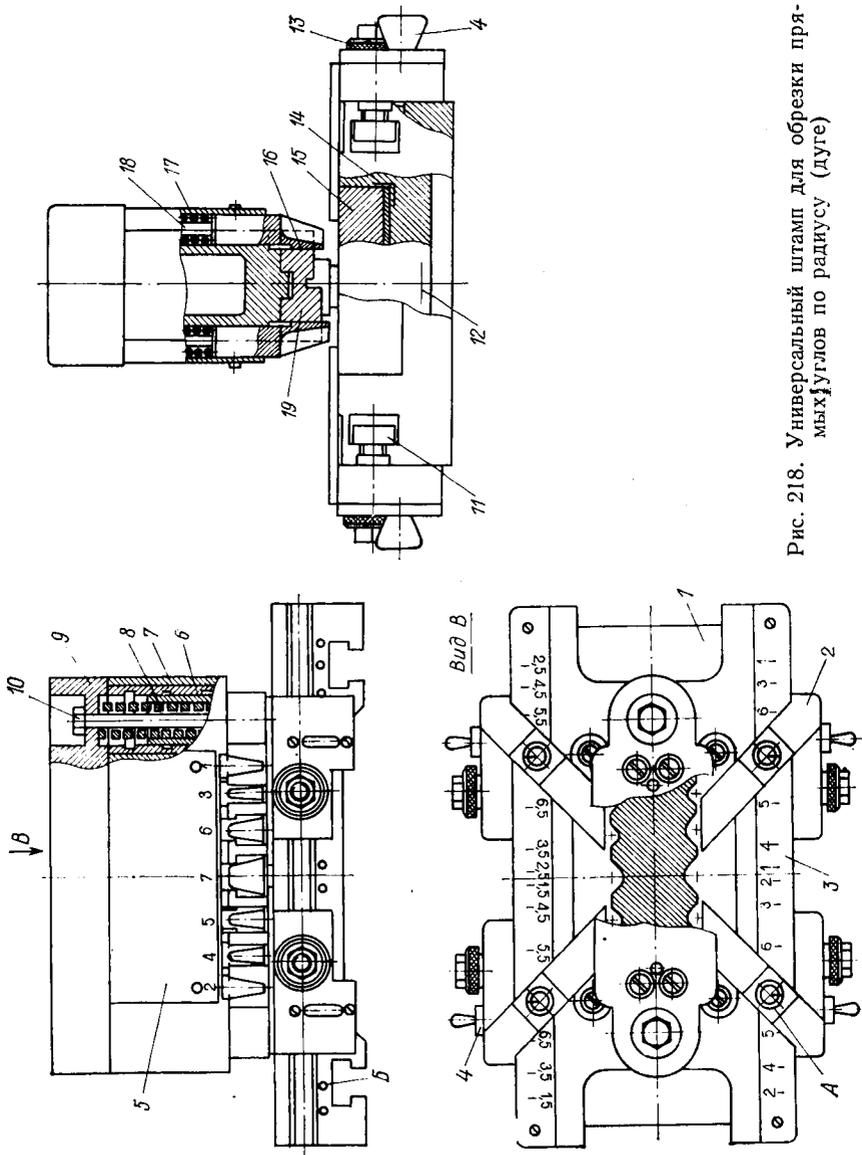


Рис. 218. Универсальный штамп для обрезки прямых углов по радиусу (дуге)

прижимами 16, винтами 18 для регулирования усилия прижима, щитками 5 и двусторонним пуансоном 19.

Работа на штампе происходит следующим образом. Заготовку или деталь устанавливают между кареток и прижимают к плоскости направляющих. При перемещении верхней части штампа вниз прижим 16 под действием пружины 17 прижимает деталь к матрице, затем при дальнейшем движении пружина 17 сжимается, а режущие кромки пуансона 19, дойдя до заготовки, обрезают ее по радиусу (дуге). При движении ползуна пресса вверх верхняя часть штампа с пуансоном под действием пружин 8 возвращается в исходное положение. Чтобы исключить зарубание режущих кромок пуансона, находящихся по разные стороны от продольной плоскости пуансона, их располагают на разных уровнях. Для более надежной работы прижимов в каждой ручей пуансона размещают индивидуальный регулируемый прижим.

#### Универсальные блоки к штампам для групповой и поэлементной штамповки деталей

Групповая обработка деталей построена на базе использования универсально-наладочных (пакетов) штампов (УНШ) и универсальных групповых блоков для закрепления их.

Конструкция блока зависит от назначения штампа и его размеров. Существует много разновидностей универсальных блоков для штамповки деталей в машино- и приборостроении. Они отличаются друг от друга способом крепления штампов, характером направляющих устройств штампов, способом удаления отштампованных деталей и т. п.

Групповые блоки бывают с механическим, электромагнитным и электромагнитно-механическим креплением частей штампа. Механические блоки могут быть использованы для выполнения групповых операций вырубки, гибки и вытяжки; блоки с электромагнитным креплением — главным образом для вырубных операций.

На рис. 219 приведен универсальный блок с механическим креплением, предназначенный главным образом для вырубных операций. На нем установлен и сменный рабочий пакет штампа последовательного действия. Блок состоит из верхней 7 и нижней 1 плит, связанных между собой двумя направляющими колонками 12 и 16.

Верхняя часть штампа — пуансонодержатель 6 закрепляется на верхней плите 7 прижимным устройством, состоящим из двух откидных кулачков 4 и 9, плавающего стержня 8 и двух болтов 5 и 10. При завинчивании одного из болтов кулачки прижимают пуансонодержатель к плите.

В нижней плите 1 смонтированы два зажимных клина 11 и 15, имеющих один общий винт 13 с правой и левой резьбой, а также

амортизирующий крюк *14* с пружиной. При вращении винта клинья сходятся и прижимают матрицу *2* пакета к противоположному конусному упору плиты. На нижней плите имеется также каленый вкладыш *17*, который воспринимает нагрузку при

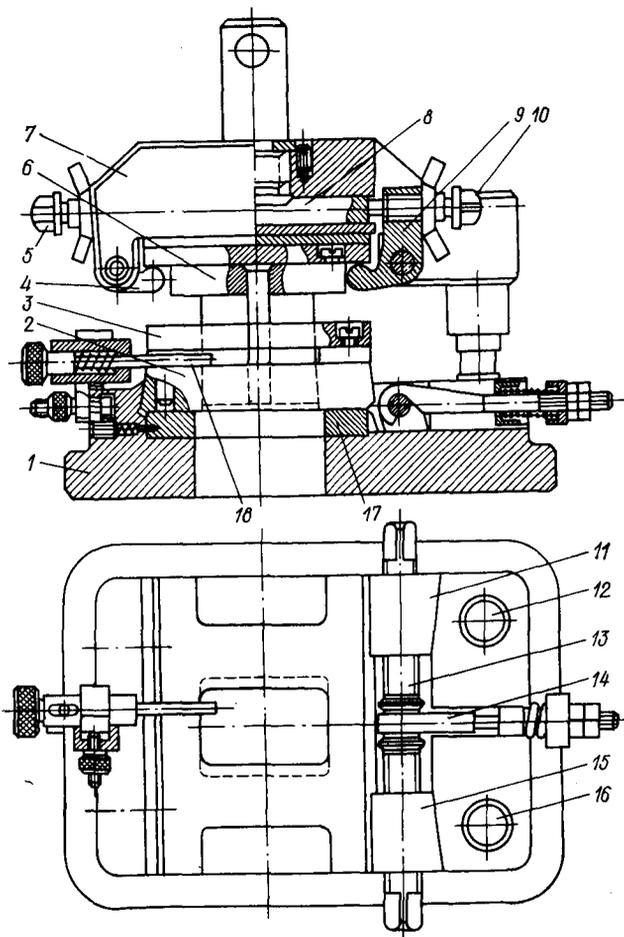


Рис. 219. Универсальный блок с механическим креплением

штамповке. Между матрицей *2* и направляющей плитой — съемником *3* помещен универсальный упор *18*, закрепляющийся в нужном положении на нижней плите *1*.

Другие типы блоков, снабженные втулочным вкладышем в нижней плите и дополнительным нижним буферным устройством, используются для операций гибки, вытяжки, а также и комбинированных операций [34].

Для групповой и поэлементной штамповки деталей типа плат, панелей и др. применяется многопозиционный универсальный карусельный блок. Конструкция блока обеспечивает одновременную установку и быструю замену до двадцати нормализованных рабочих пакетов штампов для вырубki различных по конфигурации элементов деталей или целых деталей [57].

Наряду с обычными универсальными блоками с механическим креплением сменных пакетов штампов получили распространение

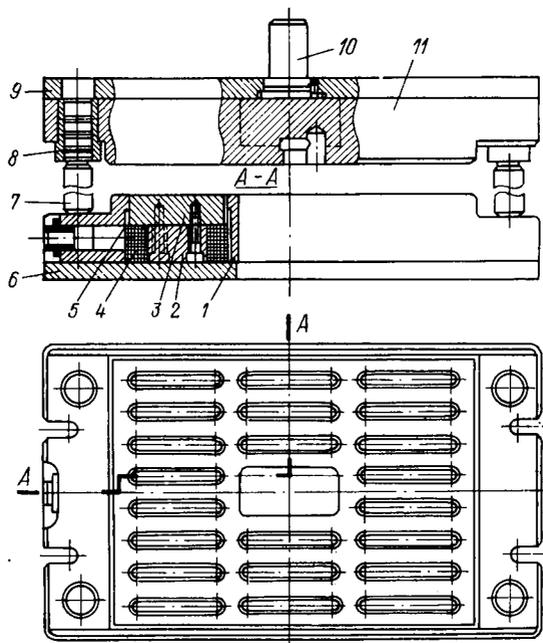


Рис. 220. Электромагнитный блок с провальным окном

и электромагнитные блоки. Они применяются для крепления различных пластинчатых штампов простого и совмещенного действия и отдельных частей их, собранных на самом блоке штампов для групповой пробивки различных отверстий и т. п., причем блоки могут быть как с провальным окном, так и без него.

Электромагнитный блок (рис. 220) представляет собой две массивные плиты, из которых нижняя 6 крепится к столу пресса, а верхняя 9 — к ползуну посредством хвостовика 10. На плитах укреплены корпуса 1 и 11, состоящие каждый из шести секций. В этих секциях размещены электромагниты, сердечники 2, гребенки 3 и катушки 4. Гребенки изолированы от стального корпуса медными прокладками 5. Корпуса 1 и 11 связаны между собой

для точного направления четырьмя направляющими колонками 7 и втулками 8.

Питание электромагнитного блока осуществляется от общей сети переменного тока напряжением 380 или 220 В через селеновый выпрямитель, установленный в отдельном корпусе. Выпрямитель обеспечивает напряжение постоянного тока 24 В и силу тока не менее 17 А. Включение верхнего и нижнего корпуса производится отдельно.

На электромагнитно-механических универсальных блоках крепление пакетов штампов можно осуществить либо только электромагнитами, встроенными в плиты блоков, либо комбинированным способом — верхняя часть пакета притягивается электромагнитом, а нижняя часть его закрепляется прихватами. Благодаря этому на указанных блоках можно штамповать детали из магнитных и диамагнитных материалов толщиной до 2,5—3,0 мм. Наличие в этих блоках выталкивателей в верхней части и буферных (резиновых или полиуретановых) устройств в нижней части их позволяет осуществлять разнообразные штамповочные операции — вырубку, гибку, вытяжку и формовку [34].

В настоящее время на блоки штампов, плиты штампов, направляющие колонки и втулки имеются ГОСТ 13110—75—ГОСТ 13130—75. На блоки для холодной штамповки с шариковыми направляющими, узлы и детали существуют ГОСТ 14672—69—ГОСТ 14679—69. Имеются также ГОСТы, нормали и РТМ 34—65 на рабочие части и другие детали штампов для холодной штамповки. Поэтому рассмотрение их отдельно в приведенных выше конструкциях штампов в учебнике опущено.

## **Глава 29. МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ШТАМПОВ, И ИХ ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА. СТОЙКОСТЬ ШТАМПОВ**

### **§ 112. МАТЕРИАЛЫ ШТАМПОВ ДЛЯ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ И ИХ ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА**

При выборе материала для деталей штампа необходимо учитывать масштаб производства (массовое или серийное), характер штамповочной операции, размеры и форму штампуемой детали и свойства материала, из которого изготавливается данная деталь.

К рабочим частям (пуансонам и матрицам) разделительных штампов предъявляются определенные требования, основными из которых являются следующие: способность металла противостоять большому давлению и ударам, хорошо сопротивляться износу от трения, сохранять острые режущие кромки без раз-

рушения и затупления возможно больший период времени; сравнительно невысокая стоимость штампа.

Учитывая условия работы и стоимость сталей различных марок, идущих на изготовление пуансонов и матриц разделительных штампов, при выборе материала для них в условиях массового производства можно руководствоваться следующими данными.

При вырубке (пробивке, обрезке) деталей простой конфигурации из материала толщиной до 3—4 мм можно применять для пуансонов инструментальную углеродистую сталь У8А и У10А. Для вырубки деталей сложной конфигурации, а также при толщине материала свыше 4 мм следует применять инструментальную легированную сталь марок Х12, Х12М, 9ХВГ при *HRC* 56—58. Для матриц в первом случае можно рекомендовать сталь марок У8А, У10А; во втором случае — Х12, Х12М, 5ХВ2С, 9ХВГ, Х12Ф1, а также 7ХГ2ВФМ, твердость *HRC* 58—60.

Большое применение в электротехнической промышленности, автотракторостроении и других отраслях получили составные и сварные конструкции пуансонов и матриц. В этих штампах основание изготавливается из стали 20, а рабочие части — из стали У10А или легированной стали приведенных выше марок.

При такой конструкции значительно упрощается изготовление рабочих частей по сравнению с изготовлением цельной матрицы, улучшаются условия термообработки отдельных частей пуансона или матрицы, создается возможность быстрой замены отдельных сломавшихся частей новыми вместо замены всей матрицы или пуансона, вследствие чего можно сэкономить дефицитную и дорогостоящую сталь.

Нерабочие детали разделительных и формоизменяющих штампов изготавливаются из следующих материалов с соответствующей термической обработкой: верхние и нижние плиты штампов литые — из чугуна СЧ 21—40 или СЧ 22—44 и из стального литья 30Л, 40Л; верхние и нижние плиты пакетных штампов (прокат) — из стали марок 35—40; хвостовики простые — из стали марок 35—40 или из стали Ст5; хвостовики плавающие — из стали марок У8 или 40—45, твердость после закалки сферической части головки составляет *HRC* 45—50; направляющие колонки и втулки — из стали марок 15—20, цементировать на глубину 0,5—1,0 мм и калить *HRC* 55—60; пуансоно- и матрицедержатели, направляющие плиты (съёмники), прижимы, направляющие линейки — из стали марок 40—45; клинья и ползушки для штампов малых и средних размеров — из стали марок У10А, Х12Ф1, калить *HRC* 56—58, азотировать; для штампов больших размеров — из стали марок 45—50; прокладки под пуансоны и матрицы, штифты — из стали У8А, калить *HRC* 45—50; упоры, ловители — из стали У8А, калить *HRC* 50—55; толкатели, шпильки буферные — из стали марок 40—45; винты, болты — из стали марок 30—40, головку калить *HRC* 40—45; пружины — из стали марок 65Г, 60С2, калить *HRC* 40—45.

### § 113. МАТЕРИАЛЫ ШТАМПОВ ДЛЯ ФОРМОИЗМЕНЯЮЩИХ ОПЕРАЦИЙ ИЗ ЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА И ИХ ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Для гибочных, вытяжных и формовочных штампов самой важной является способность материала сопротивляться истиранию при значительных давлениях, т. е. обладать хорошей износостойкостью, а для формовочных штампов — также стойкостью к ударному воздействию при работе в упор.

При штамповке деталей простой формы рабочие детали штампа изготовляют из инструментальной стали марок У8А и У10А, при этом для штамповки из материала толщиной до 1 мм применяют сталь марки У8А, а при толщине до 3—4 мм — У10А.

При штамповке деталей сложной формы в массовом производстве, а также в тех случаях, когда рабочие части штампа испытывают большие напряжения во время работы, следует применять легированные стали 9ХС, ХВГ, Х12М и Х12Ф1; твердость после закалки НРС 58—62. Рабочие детали штампов рекомендуются азотировать.

При изготовлении крупных деталей в автотракторной промышленности для формоизменяющих операций применяются штампы, изготовленные из специальных чугунов, примерно следующего химического состава (в %): 3,0—3,3 С; 1,6—2,2 Si; 1,6—2,0 Ni; 0,8—1,1 Сг; 0,6—1,0 Мп; до 0,3 Р; до 0,1 S. Эти чугуны закаливаются в масле с температурой 850° С и отпускаются при 350° С. Твердость их НВ 350.

Для штампов также применяется графитизированная сталь двух марок ЭИ293 и ЭИ366. Матрицы для вытяжки мелких деталей при массовом производстве, а также в случае вытяжки с утонением рекомендуется изготовлять в виде вставок—втулок или вкладышей из металлокерамических твердых сплавов ВК8, ВК12 и впаивать или впрессовывать их в специальные обоймы. Общая стойкость таких матриц достигает нескольких миллионов штук деталей. Эти твердые сплавы также применяются для других штампов [30].

### § 114. СТОЙКОСТЬ ШТАМПОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

Так как работоспособность износившегося штампа может быть восстановлена переточкой или исправлением рабочих кромок пуансона и матрицы или заменой этих деталей новыми, то при рассмотрении вопроса о стойкости штампов следует различать: 1) стойкость штампа до заточки или до исправления; 2) стойкость штампов до замены основных его частей — пуансона и матрицы; 3) стойкость штампа до полного износа.

Под стойкостью штампа до исправления следует подразумевать способность штампа выдерживать определенное количество ударов в течение промежутка времени между двумя перешлифовками или исправлениями рабочих частей, когда штамп дает продукцию нормального качества, предусмотренного техническими условиями. То же понятие относится и ко второму пункту.

Стойкость штампа до полного износа характеризуется количеством полезных ударов, выдержанных штампом до такого состояния, когда путем смены рабочих частей нет возможности восстановить его пригодность к нормальной работе.

Для вытяжных и двухугловых гибочных штампов окончательный износ обуславливается увеличением зазора между матрицей и пуансоном выше допустимого.

На стойкость штампов влияет большое количество факторов, основными из которых являются следующие: механические свойства штампуемого материала; толщина материала; конфигурация и размеры детали; технологические особенности операций; конструктивные особенности штампов; материал и термическая обработка деталей штампов; технология и качество изготовления и сборки деталей штампов; тип и состояние прессового оборудования; условия эксплуатации штампа (смазка, установка штампа, уход за штампом и т. д.).

Стойкость штампов можно также повысить, применяя различные способы, в частности для разделительных штампов — металллокерамические твердые сплавы марок ВК15ВС, ВК20ВС и ВК25ВС (спекаемые в водородной среде — ВС, размер зерна 1,7 мкм), электронскровое упрочнение; для гибочных, вытяжных и формовочных штампов — хромирование, азотирование, сульфидирование, а также твердые сплавы ВК8ВС, ВК12ВС. При этом обязательно соблюдение условий: высококачественное изготовление и сборка штампов и правильная их эксплуатация.

На рис. 221 показан последовательно-вырубной штамп с твердосплавными вставками для изготовления Ш-образной детали (сердечника трансформатора). Прорезной пуансон 1 и боковые — шаговые ножи 5 изготовлены целиком из твердого сплава ВК20, а стальной вырубной пуансон 3 армирован твердосплавными вставками ВК20. Они закреплены в пуансонодержателе 9 заливкой сплавом НИАТ-23. Прорезная матрица 2 и вырубная 4 выполнены из твердого сплава ВК15 и запрессованы в плиту — обойму 6. Так как этот штамп работает на провал, то рекомендуется пуансоны изготавливать из более прочного сплава (ВК20), чем матрица (ВК15). Еще большая стойкость получается при изготовлении их из сплава ВК20ВС и ВК15ВС. В направляющей плите — съемнике 7 имеются втулки 8, обеспечивающие более надежное направление пуансонов. Стойкость этого штампа в 30—40 раз выше стойкости стальных штампов.

Рабочие части гибочных, вытяжных и формовочных штампов изготавливаются из более твердых сплавов марок ВК8ВС, ВК12ВС.

Крепление твердосплавных вставок — втулок и колец производится запрессовкой и припайкой твердыми припоями, пластин и секций — при помощи планок, винтов, шпонок и клиньев.

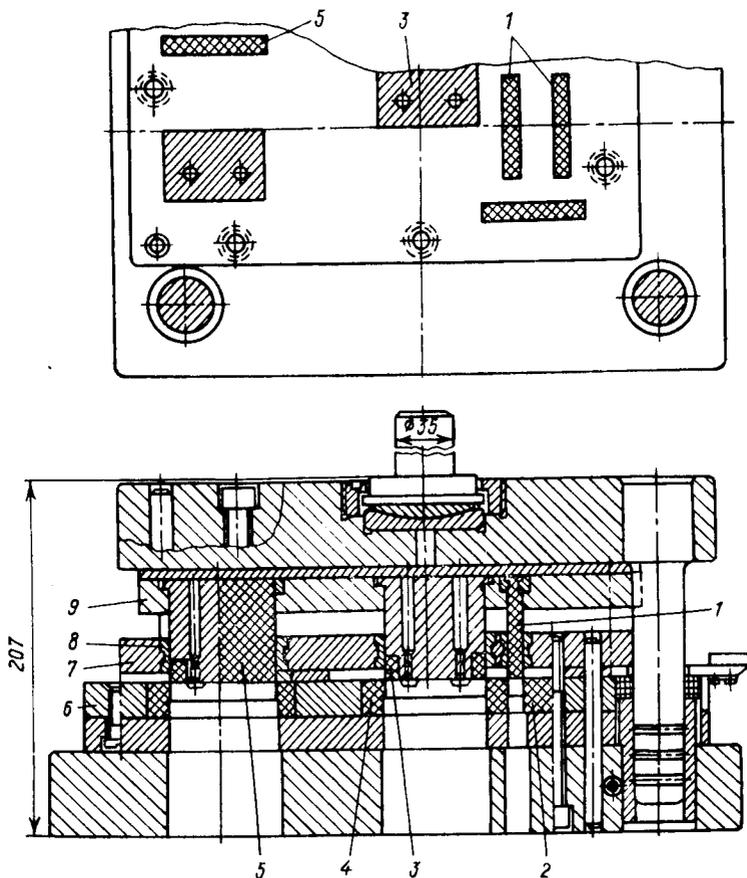


Рис. 221. Конструкция последовательно-вырубного штампа с твердосплавными вставками (из ВК15—ВК20)

Блоки для штампов, оснащенных твердосплавными вставками, должны быть массивными четырехколонными и направляться при помощи шариков, смонтированных в сепараторе, которые находятся во втулке. Сепараторы с шариками перемещаются по направляющим колонкам с некоторым натягом (0,015 — 0,020 мм).

## Глава 30. МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, РАСЧЕТЫ И ПРОВЕРКА ОСНОВНЫХ ДЕТАЛЕЙ ШТАМПОВ НА ПРОЧНОСТЬ

### § 115. ПОРЯДОК И ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ШТАМПОВ

При проектировании штампов необходимо иметь следующие исходные данные: 1) чертежи штампуемой детали с техническими условиями на нее; 2) программу выпуска штампуемой детали; 3) технологический план обработки детали; 4) операционные карты; 5) техническую характеристику оборудования (прессов, машин).

Имея эти данные, приступают к выбору типа штампа и его узлов. Обычно этот этап проектирования является самым трудным и ответственным, так как на правильный выбор конструкции штампа оказывает существенное влияние большое число различных факторов. К основным из этих факторов относятся конфигурация и размеры штампуемой детали, требуемая точность штамповки, форма исходного материала (лист, полоса, лента, отход), наличное оборудование штамповочного цеха, технические возможности инструментального цеха и др. При этом одним из решающих факторов является экономический — количество производимых деталей, стоимость изготовления штампа.

В большинстве случаев штамповку какой-либо детали можно осуществить тремя способами: 1) отдельный способ штамповки на нескольких штампах, каждый из которых производит только одну операцию; 2) на последовательно действующих штампах; 3) на совмещенных штампах.

Наиболее правильный выбор способа штамповки и типа штампа можно сделать только на основе анализа и учета всех вышеприведенных факторов и в первую очередь факторов экономических.

После установления типа штампа необходимо решить вопрос о направляющих устройствах (направляющие плиты, колонки или сопряженные направляющие), о типе упоров, о прижиме, съемнике и других деталях штампа, влияющих на качество штамповки. При решении этих вопросов следует руководствоваться теми указаниями и замечаниями о применимости тех или иных штампов и их деталей, которые были рассмотрены в главах о конструкциях штампов.

Выбранная конструкция штампа должна обеспечить высококачественную штамповку, максимальную производительность, достаточную стойкость в эксплуатации, сравнительно невысокую стоимость изготовления, а также удовлетворять условиям техники безопасности.

Следующий этап проектирования сводится к производству необходимых технологических расчетов, а именно: составление раскроя материала с подсчетом его коэффициента использования;

определение потребных усилий и затрачиваемой работы для штамповки; определение центра давления штампа; определение величины зазора между матрицей и пуансоном и установление направления зазора; конструктивный подбор элементов (деталей); составляющих проектируемый штамп; определение исполнительных — рабочих размеров пуансонов и матриц и назначение допусков на них; проверка основных деталей штампа на прочность, проверка пружин (резиновых или полиуретановых буферов).

Дальнейший этап проектирования заключается в вычерчивании общего вида штампа: дается план (вид сверху) нижней части штампа; делается разрез штампа (продольный или поперечный) в рабочем положении; при необходимости дается также план верхней части штампа (вид снизу).

По общему виду штампа, по его габаритным размерам и ранее рассчитанным усилиям и затрачиваемой работе подбирается необходимый пресс.

После вычерчивания штампа, если необходимо изменить некоторые его детали, производится вторичная проверка этих деталей на прочность и надежность их действия (пружины). Затем составляется спецификация деталей штампа и производится его детализовка с простановкой на чертежах деталей размеров, обработки, посадок и допусков на изготовление.

Последним этапом проектирования штампа является составление пояснительной записки и заполнение паспорта штампа.

Оформление чертежей штампа производится по соответствующим стандартам на соответствующих форматах и должно соответствовать единой системе конструкторской документации (ЕСКД). Гостированные детали штампа и крепежные детали подбираются по соответствующим ГОСТам, негостированные — по ведомственным нормальям, по РТМ или по конструктивным соображениям.

## **§ 116. СКОРОСТНОЕ И АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ШТАМПОВ**

### **Методы скоростного проектирования штампов**

Скоростное проектирование штампов имеет большое значение как в отношении ускорения самого процесса проектирования, так и в отношении повышения стойкости штампов, так как проектирование базируется на применении нормализованных штампов и их деталей, которые составлены на основе систематизированного заводского материала и подкрепленного соответствующими прочностными расчетами.

Конструирование штампов осуществляется с применением бланк-чертежей, в которых черными линиями выполнены все изображения и размеры, показанные на бланк-чертежах, а красными нанесены изображения и размеры, которые потом дораба-

тываются конструктором при окончательном оформлении конструкции штампа.

Последовательность проектирования нормализованных разделительных и других штампов с применением бланк-чертежей состоит в следующем. Вначале на бланке для операционного эскиза вычерчивают операционный эскиз детали в натуральную величину или в увеличенном масштабе, а также схему раскроя. В зависимости от технологических требований, схемы раскроя, размеров изделия и характера штамповочной операции выбирают соответствующие нормализованные конструкции блока и пакета. Далее конструктор приступает к разработке и окончательному оформлению конструкции штампа.

Разработку чертежей деталей штампа производят на бланк-чертежах соответствующих деталей, а вычерчивание их осуществляют копированием с общего вида, выполненного на чертежной прозрачной бумаге.

#### **Методы автоматизированного проектирования штампов**

Метод автоматизированного проектирования штампов так же, как и скоростной метод, основан на использовании типовых конструкций штампов. Предусматривается максимальное применение нормализованных и унифицированных деталей и узлов штампа, но здесь все необходимые технологические и конструктивные расчеты производятся при помощи ЭВМ. Для этого проводится подготовительная работа по установлению исходных данных для проектирования. Разрабатывается задание на автоматизированное проектирование, куда входят общие сведения — номер штампа и детали, размер партии, штампуемый материал и его толщина, сопротивление срезу материала, тип штампа, количество рядов (для многорядной вырубки), ширина полосы и шаг подачи материала.

Далее рассчитываются размеры и допуски — номинал, верхнее и нижнее отклонение размеров. Приводятся сведения геометрического характера. По всем этим данным составляется алгоритм, печатается на перфораторной ленте и вводится в ЭВМ. Полученные данные используются для окончательной доработки бланк-чертежей деталей проектируемого штампа и его характеристик.

### **§ 117. ЦЕНТР ДАВЛЕНИЯ ШТАМПА И ЕГО ОПРЕДЕЛЕНИЕ**

**Требуемое условие совпадения центра давления штампа  
с осью ползуна прессы**

При вырубке (или пробивке) одной детали с симметричным контуром равнодействующая сила (усилие) вырубки — так называемый центр давления — будет находиться, естественно, в центре контура.

При одновременной вырубке и пробивке нескольких одинаковых или различных фигур центр давления проектируемого штампа определяется характером расположения и размерами этих фигур. Такие случаи имеют место при работе последовательно действующих штампов при одновременной вырубке нескольких деталей, разных по своим габаритным размерам, а также при одновременной пробивке различных отверстий в одной детали. Это же относится и к другим операциям — гибке, вытяжке, формовке.

Во всех этих случаях необходимо определить центр давления штампа, т. е. точку приложения равнодействующей всех усилий штамповки. Для правильной работы прессы и штампа центр давления следует совместить с осью ползуна, что обеспечивается расположением хвостовика в верхней плите, чтобы его ось проходила через центр давления штампа. В противном случае появляется некоторый изгибающий момент, в результате которого происходит перекося ползуна, износ направляющих прессы и штампа, а иногда и одностороннее срезание рабочих кромок матрицы или пуансона. Последнее явление характерно главным образом для открытых штампов без направляющих колонок или плит.

#### Методы нахождения центра давления штампа

Существуют два метода определения центра давления штампа: 1) аналитический — метод моментов сил сопротивления деформаций (вырубке, гибке, вытяжке, формовке); 2) графический метод.

**Метод моментов сил сопротивления вырубке.** Для пояснения этого метода разберем несколько случаев.

Первый случай. Одновременная вырубка двух неодинаковых фигур, симметрично расположенных только относительно одной оси (рис. 222, а). Этот случай обычно имеет место при последовательной вырубке шайб или других деталей с отверстиями.

Пользуясь выведенными выше формулами (см. § 11), определим величину усилия вырубке, которую должен преодолеть каждый пуансон,

$$P_1 = ku_1\sigma_0 \quad \text{и} \quad P_2 = ku_2\sigma_0.$$

Сила  $P_1$  приложена в центре окружности первого пуансона, т. е. в центре круга  $O_1$ , а сила  $P_2$  — в центре окружности второго, т. е. в центре круга  $O_2$ . Точка приложения равнодействующей  $P$  двух сил  $P_1$  и  $P_2$  на прямой  $O_1O_2$  и будет определять центр давления  $O$ .

Из статики известно, что равнодействующая параллельных сил равна их алгебраической сумме, т. е.  $P = P_1 + P_2$ . Кроме того,  $P_1x = P_2(l - x)$ ; отсюда, решая уравнение относительно  $x$ , получим

$$x = P_2l / (P_1 + P_2) \quad (414)$$

или, подставляя ранее приведенные значения усилий  $P_1$  и  $P_2$ , получим

$$x = \frac{ku_2\sigma_0 l}{k(u_1 + u_2)\sigma_0} = \frac{u_2 l}{u_1 + u_2} = \frac{\pi D_2 l}{\pi(D_1 + D_2)} = \frac{D_2 l}{D_1 + D_2}. \quad (415)$$

Как следует из формулы (415), для практического определения положения центра давления ( $x$ ) нет необходимости определять сами усилия, а достаточно знать лишь линейные размеры пуансонов — диаметров ( $D$ ) и их взаимное расположение ( $l$ ).

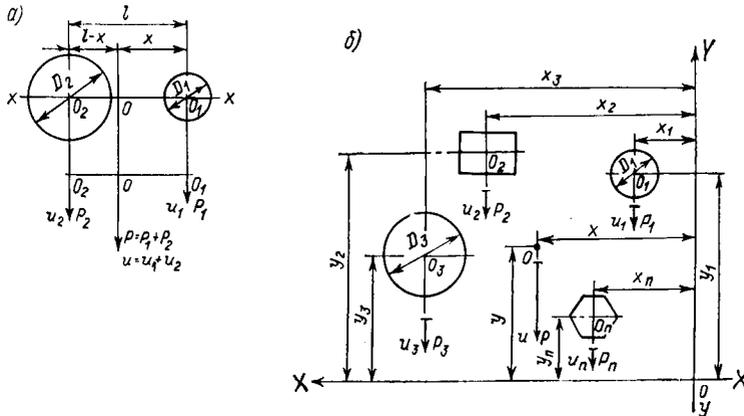


Рис. 222. Схема к определению центра давления штампа аналитическим методом

Второй случай (общий). Одновременная вырубка  $n$  неодинаковых фигур, произвольно расположенных относительно обеих координатных осей  $xx$  и  $yy$  (рис. 222, б). Рассуждая аналогичным образом, как и для первого случая, находим, что потребные усилия для вырубki или для пробивки отверстий будут

$$P_1 = ku_1\sigma_0; \quad P_2 = ku_2\sigma_0; \quad \dots; \quad P_n = ku_n\sigma_0.$$

Общее усилие  $P$  равно алгебраической сумме приведенных выше усилий, т. е.  $P = P_1 + P_2 + \dots + P_n$ .

Пользуясь известной теоремой механики о том, что сумма моментов сил относительно какой-либо оси равна моменту равнодействующей этих сил относительно той же оси, можно составить два основных уравнения относительно обеих координатных осей  $xx$  и  $yy$ :

$$P_1x_1 + P_2x_2 + \dots + P_nx_n = (P_1 + P_2 + \dots + P_n)x; \quad (416)$$

$$P_1y_1 + P_2y_2 + \dots + P_ny_n = (P_1 + P_2 + \dots + P_n)y. \quad (417)$$

Решая уравнения (416) и (417) относительно  $x$  и  $y$ , определяем координаты точки приложения равнодействующей сил, а следовательно, и положения центра давления штампа:

$$x = \frac{P_1x_1 + P_2x_2 + \dots + P_nx_n}{P_1 + P_2 + \dots + P_n} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i x_i}{\sum_{i=1}^n P_i}; \quad (418)$$

$$y = \frac{P_1y_1 + P_2y_2 + \dots + P_ny_n}{P_1 + P_2 + \dots + P_n} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i y_i}{\sum_{i=1}^n P_i}. \quad (419)$$

Подставляя в формулы (418) и (419) значения усилий  $P_1, P_2, \dots, P_n$ , получим аналогично выражению (415)

$$x = \frac{u_1x_1 + u_2x_2 + \dots + u_nx_n}{u_1 + u_2 + \dots + u_n} = \frac{\sum_{i=1}^n u_i x_i}{\sum_{i=1}^n u_i}; \quad (420)$$

$$y = \frac{u_1y_1 + u_2y_2 + \dots + u_ny_n}{u_1 + u_2 + \dots + u_n} = \frac{\sum_{i=1}^n u_i y_i}{\sum_{i=1}^n u_i}. \quad (421)$$

Этот метод определения координат  $x$  и  $y$  можно назвать методом моментов периметров или моментов отрезков.

На практике конструкторы по штампам для определения центра давления предпочитают пользоваться не аналитическим, а графическим методом.

**Графический метод.** Этот метод по существу является следствием рассмотренного выше аналитического метода и исходит из известного способа определения величины и направления равнодействующей любого числа сил, лежащих в одной плоскости, при помощи веревочного многоугольника. Для этого сперва строится веревочный многоугольник относительно вертикальной оси  $yy$  и через точку пересечения крайних сторон многоугольника проводится вертикальная линия, параллельная этой оси. Аналогичным образом строится веревочный многоугольник сил и относительно горизонтальной оси  $xx$  и также через точку пересечения крайних сторон проводится параллельная оси  $xx$  линия. Точка пересечения этих двух взаимно перпендикулярных линий и будет искомым центром приложения сил, а следовательно, и центром давления штампа, в котором и следует разместить хвостовик (его ось) [32].

## § 118. РАСЧЕТЫ И ПРОВЕРКА ОСНОВНЫХ ДЕТАЛЕЙ ШТАМПОВ НА ПРОЧНОСТЬ

### Расчет пуансона на прочность

Расчет на прочность производится для пуансонов небольшого диаметра при значительном усилии вырубки, пробивки или вытяжки. При правильно изготовленном и собранном штампе пуансон следует проверять на напряжение сжатия  $\sigma_{сж}$  по опасному наименьшему сечению (рис. 223). Для случая вырубки или пробивки оно определяется по формуле

$$\sigma_{сж} = P_p/F = kust_0/F \ll [\sigma]_{сж}, \quad (422)$$

где  $\sigma_{сж}$  — напряжение сжатия в пуансоне, МПа;  $F$  — площадь наименьшего поперечного сечения пуансона, см<sup>2</sup>;  $[\sigma]_{сж}$  — допускаемое напряжение на сжатие для закаленной стали, принимается в 1,5—3,0 раза больше, чем для сырой стали; значение его для сталей У8А, У10А, Х12М, ШХ15 при НРС 56—60 составляет 1000—1600 МПа.

Так как на практике может иметь место неточность изготовления штампа и некоторое смещение оси пуансона штампа относительно оси матрицы, в результате чего появится изгибающий момент, то следует дополнительно проверять пуансон на напряжение от изгиба  $\sigma_n$  вблизи посадочной его части [25].

Приняв величину смещения пуансона  $e$ , равной половине зазора между матрицей и пуансоном штампа  $z/2$ , напряжение изгиба определится по формуле

$$\sigma_n = \frac{M_n}{W} = \frac{P_p e}{\pi d^3/32}, \quad (423)$$

где  $W$  — момент сопротивления пуансона, см<sup>3</sup>;  $d$  — диаметр пуансона вблизи посадочной его части, см.

Тогда суммарные сжимающие напряжения будут

$$\sigma_n = \sigma_{сж} + \sigma_n = \frac{P_p}{F} + \frac{P_p e}{W} = \frac{P_p}{\pi d^2/4} + \frac{P_p e}{\pi d^3/32} \ll [\sigma]_{сж}. \quad (424)$$

Длинные и тонкие пуансоны следует проверять и на продольный изгиб, если  $l_{пр}/r_{\min} > 105$  для мягкой стали и  $l_{пр}/r_{\min} > 90$  для твердой стали. Здесь  $l_{пр}$  — приведенная длина пуансона;

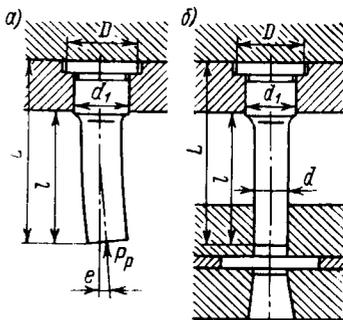


Рис. 223. Эскизы к расчету на прочность пуансона

$r_{\min}$  — наименьший радиус инерции, который определяется по формуле

$$r_{\min} = \sqrt{\frac{J_{\min}}{F}}, \quad (425)$$

где  $J_{\min}$  — наименьший момент инерции, см<sup>4</sup>;  $F$  — площадь наименьшего поперечного сечения пуансона, см<sup>2</sup>.

Для круглого пуансона диаметром  $d$  радиус инерции  $r_{\min} = d/4$ .

Для проверки свободной длины пуансона  $l$  в штампах без направляющей плиты (рис. 223, а) нужно исходить из расчетной формулы продольного изгиба (по первой формуле Эйлера), сопоставив критическую силу  $P_{кр}$  с усилием вырубки  $P_p$ , т. е.  $P_{кр} =$

$$= \frac{\pi^2 EJ}{4l^2} = nP_p = nkust_0, \text{ откуда}$$

$$l = \sqrt{\frac{\pi^2 EJ}{4nkust_0}}. \quad (426)$$

Здесь  $E$  — модуль упругости, который для инструментальной стали равен  $2,15 \cdot 10^5$ — $2,2 \cdot 10^5$  МПа;  $J$  — экваториальный момент инерции, см<sup>4</sup>, определяемый поперечным сечением пуансона;  $n$  — коэффициент запаса, для сырой стали  $n = 4 \div 5$ , для закаленной  $n = 2 \div 3$ .

Для штампов с направляющей плитой свободная длина пуансона  $l$  (рис. 223, б) определяется, исходя из третьей расчетной формулы по Эйлеру

$$P_{кр} = \frac{2\pi^2 EJ}{l^2} = nP_p = nkust_0; \quad l = \sqrt{\frac{2\pi^2 EJ}{nkust_0}}. \quad (427)$$

#### Расчет прокладки на прочность

Назначением прокладок (упорных пластин) является восприятие давления от пуансонов (втулочных матриц) с целью предохранения верхних и нижних плит от смятия, так как они изготовляются из более мягкого материала, чем пуансоны и матрицы. Прокладки необходимо применять в тех случаях, когда давление, передаваемое пуансоном (или втулочной матрицей), превосходит допускаемые напряжения на смятие 180—200 МПа при стальных плитах (Ст3) и 80—90 МПа при чугуновых плитах.

Давление, передаваемое пуансоном (матрицей)  $p$ , определяется по уравнению

$$p = P_p/F = kust_0/F \ll [\sigma]_{см}, \quad (428)$$

где  $F$  — площадь сечения верхней части пуансона (матрицы), см<sup>2</sup>; для круглого пуансона  $F = \frac{\pi D^2}{4}$ ;  $[\sigma]_{см}$  — допускаемые напряжения на смятие материала верхней или нижней плит, МПа.

### Расчет на прочность цельных матриц

Расчет на прочность можно производить, рассматривая сопротивление плоских плит при изгибе в случае равномерно распределенного давления по периметру вырубке. Ниже приводятся упрощенные формулы для проверки на прочность цельных матриц для трех случаев, чаще всего встречающихся на практике.

1. Круглая матрица диаметром  $d = 2r$ , опертая на кольцо с внутренним диаметром  $d_0 = 2r_0$  (рис. 224, а). Напряжение изгиба для матрицы определится по формуле

$$\sigma_{\text{и}} = \frac{2,5P_{\text{p}}}{H_{\text{м}}^2} \left(1 - \frac{2r}{3r_0}\right) \leq [\sigma]_{\text{и}}. \quad (429)$$

Подобрав  $[\sigma]_{\text{и}}$  для соответствующей марки стали, из которой изготовлена матрица, можно по формуле (429) определить толщину матрицы

$$H_{\text{м}} = \sqrt{\frac{2,5P_{\text{p}}}{[\sigma]_{\text{и}}} \left(1 - \frac{2r}{3r_0}\right)}. \quad (430)$$

2. Прямоугольная матрица, опертая на плиту с квадратным отверстием со стороной  $a$  (рис. 224, б),

$$\sigma_{\text{и}}' = \frac{2,5P_{\text{p}}}{H_{\text{м}}^2} \leq [\sigma]_{\text{и}}; \quad (431)$$

$$H_{\text{м}} = \sqrt{\frac{2,5P_{\text{p}}}{[\sigma]_{\text{и}}}}. \quad (432)$$

3. Прямоугольная матрица, опертая на плиту с прямоугольным отверстием размерами  $a \times b$  (рис. 224, в),

$$\sigma_{\text{и}} = \frac{3P_{\text{p}}}{H_{\text{м}}^2} \left(\frac{b/a}{1 + b^2/a^2}\right) \leq [\sigma]_{\text{и}}; \quad (433)$$

$$H_{\text{м}} = \sqrt{\frac{3P_{\text{p}}}{[\sigma]_{\text{и}}} \left(\frac{b/a}{1 + b^2/a^2}\right)}. \quad (434)$$

Для сталей У8А, У10А, Х12М и ШХ15 при  $HRC\ 58-60$   $[\sigma]_{\text{и}}$  составляет 300—500 МПа.

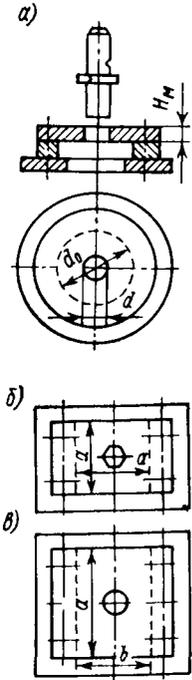


Рис. 224. Эскизы к расчету на прочность цельной матрицы

**Расчет прочности крепления матриц (пуансонов)  
из составных секций**

Расчет составных секций матриц (пуансонов) связан с установлением главных действующих сил, под влиянием которых секции распираются, стремясь сдвинуться с установленного положения на штампе и производя давление на штифты, шпонки или выступы в плите.

Максимальная распирающая сила, действующая на отдельную секцию, определится из выражения (рис. 225) [25]

$$N = N_N - N_{\text{тр}} + N_q. \quad (435)$$

Здесь  $N_N$  — распирающая сила, направленная перпендикулярно линии разреза секции  $AB$  и действующая одновременно с усилием вырубки; она равна  $(0,3 \div 0,4) P_p$ , где  $P_p$  — максимальное усилие вырубки, приходящееся на данную секцию;  $N_{\text{тр}}$  — сила трения между секцией и нижней плитой;  $N_{\text{тр}} = \mu_1 P_p$ , где  $\mu_1$  — коэффициент трения, равный 0,15;  $N_q$  — боковая сила, действующая по торцу застрявшей в матрице детали (как в процессе вырубки, так и после него);  $N_q = q_{\text{пр}} L s$ , где  $q_{\text{пр}}$  — давление при проталкивании;  $L$  — длина секции;  $s$  — толщина вырубаемого материала (см. § 13).

Действие сил  $N_N$  и  $N_q$  может быть с некоторым допущением уподоблено действию гидростатического давления. Поэтому при расчетах, независимо от сложности режущего контура любой из секции, распирающую силу можно принять такой же, как и при разрезании полосы шириной  $L$  прямыми параллельными ножами.

Тогда получим окончательно

$$N = (0,3 \div 0,4) P_p - \mu_1 P_p + q_{\text{пр}} L s. \quad (436)$$

На эту максимальную силу и следует рассчитывать выступы в плите, штифты, шпонки и другие детали, удерживающие секцию от ее перемещения по плите штампа.

**Расчет нижних плит штампов на прочность**

Нижние плиты штампов, находясь над отверстием настольной плиты пресса, подвергаются при работе действию изгибающих сил. Расчет нижней плиты штампа производим, рассматривая ее как тонкую плиту, свободно лежащую на опоре и равномерно нагруженную по периметру отверстия.

При вырубке круглых деталей через плиту, имеющую центральное отверстие и установленную на подштамповую плиту или на столе пресса с круглым отверстием (рис. 226), максималь-

ные напряжения  $\sigma_{\max}$  и прогибы плиты  $W_{\max}$  по внутреннему краю можно определить из зависимостей [25; 26; 101]:

$$\sigma_{\max} = \frac{3P_p}{2\pi m H_{\text{пл}}^2} \left[ \frac{2R^2(m+1)}{R^2-r^2} \ln \frac{R}{r} + (m-1) \right]; \quad (437)$$

$$W_{\max} = \frac{3P_p(m^2-1)}{4\pi E m^2 H_{\text{пл}}^2} \left[ \frac{(R^2-r^2)(3m+1)}{m+1} + \frac{4R^2 r^2(m+1)}{(m-1)(R^2-r^2)} \left( \ln \frac{R}{r} \right)^2 \right]. \quad (438)$$

Здесь  $P_p$  — полное (действительное) усилие вырубки, Н;  $m = 1/\mu_0$ , где  $\mu_0$  — коэффициент Пуассона;  $r$  — радиус отвер-

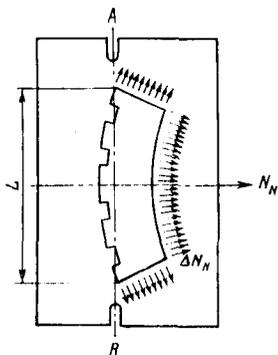


Рис. 225. Схема действия усилий к расчету прочности крепления матриц (пуансонов) из составных секций

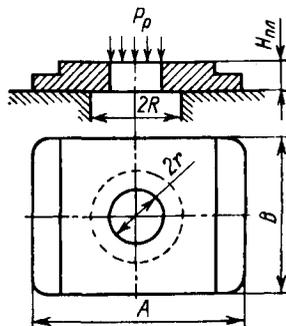


Рис. 226. Эскиз к расчету на прочность нижней плиты штампа

стия в нижней плите штампа, см;  $R$  — радиус отверстия в настольной плите или в столе прессы, см;  $H_{\text{пл}}$  — толщина нижней плиты, см;  $E$  — модуль упругости материала плиты, равный  $2,1 \cdot 10^5$ — $2,2 \cdot 10^5$  МПа.

Так как для стали  $\mu_0 \approx 1/3$ , то выражение несколько упрощается и примет следующий вид:

$$\sigma_{\max} = \frac{0,16P_p}{H_{\text{пл}}^2} \left( \frac{18,4R^2}{R^2-r^2} \lg \frac{R}{r} + 2 \right). \quad (439)$$

Круглую нижнюю плиту можно рассчитать и по упрощенной формуле

$$M_{\text{н}} = \frac{0,64(R-r)P_p}{2} = W[\sigma]_{\text{н}}. \quad (440)$$

Следует заметить, что расчет  $M_{\text{н}}$  по формуле (440) дает завышение на 8—10% по сравнению с расчетом по формуле (439).

При штамповке (вырубке) прямоугольных деталей через плиту, имеющую также прямоугольное отверстие, ее следует

проверять на прочность по трем сечениям: по фронтальному сечению  $A—A$ , в котором расположена узкая сторона прямоугольника, как балку свободно лежащую на двух опорах; по перпендикулярному к фронтальному сечению  $B—B$ , в котором находится длинная сторона прямоугольника, как балку с полузакрепленными концами (так как в сечении  $A—A$  находятся крепежные болты) и по диагональному сечению  $\Gamma—\Gamma$  [29; 32]. Размеры плиты выбирают по наиболее опасному сечению, которое обычно бывает по сечению  $B—B$  или по сечению  $\Gamma—\Gamma$ .

### § 119. БУФЕРНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ШТАМПОВ И ИХ РАСЧЕТ

Для прижима штампуемого материала, для снятия материала с пуансона, для выталкивания готовых изделий из матрицы и т. д. применяются различные буферные устройства. По принципу действия их можно разделить на две основные группы: с переменным рабочим давлением и с постоянным. Для первых амортизаторами служат пружины всевозможных конструкций, резина или полиуретан, а для вторых — сжатый воздух — пневматические и гидропневматические устройства. У буферов с переменным рабочим давлением величина развиваемых усилий  $P$  пропорциональна величине рабочего хода  $F$ , а у буферов с постоянным давлением усилие одинаково на всем рабочем пути.

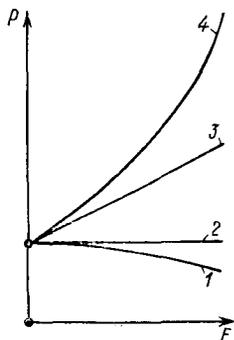


Рис. 227. Характеристики различных буферных устройств:

- 1 — рычажно-пружинное; 2 — пневматическое; 3 — пружинное; 4 — резиновое

На рис. 227 представлена технологическая характеристика различных буферов, которая может быть выражена в виде функции  $P = f(F)$ .

#### Буфера с переменным рабочим давлением

На буфера с переменным рабочим давлением и на держатели буферов для штампов листовой штамповки созданы ГОСТ 22183—76—ГОСТ 22202—76. Согласно этим ГОСТам буферные устройства этой группы делятся на буфера: 1) с винтовыми цилиндрическими пружинами со сплошным стержнем — штоком (рис. 228, а); 2) то же — с провальным отверстием — трубчатым штоком, используемым для удаления центральных отходов небольших размеров после вырубки или пробивки (рис. 228, б); 3) с тарельчатыми пружинами (рис. 228, в); 4) с резиновыми или с полиуретановыми буферами (пружинами) со сплошным штоком (рис. 228, г); 5) с полиуретановыми буферами (пружинами) с провальным отверстием (рис. 228, д).

В указанных ГОСТах даны конструкция и размеры буферов, а также силовые характеристики.

Для винтовых цилиндрических пружин наибольшее усилие  $P_2$ , развиваемое буфером при наибольшей рабочей деформации в зависимости от их размеров, составляет (в Н): 500—16 000; то же — с провальным отверстием — 3150—16 000. Для тарельчатых пружин  $P_2$  равно 3 500—66 000; для набора резиновых буферов — 1 270—41 800; для набора полиуретановых буферов — 3 160—94 300; то же — с провальным отверстием  $P_2$  равно 9 250—23 000.

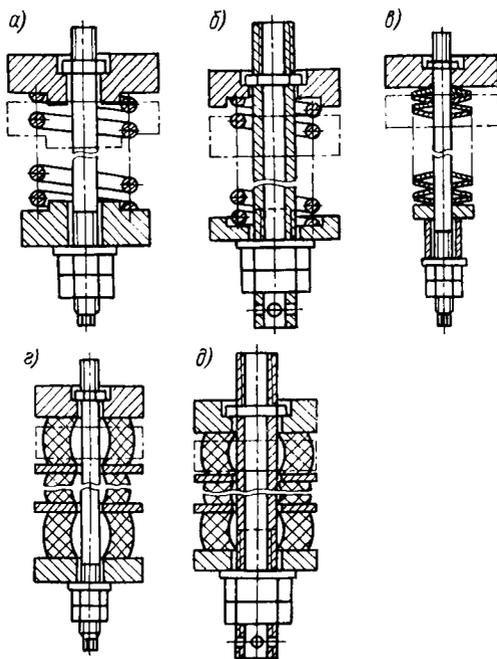


Рис. 228. Типовые конструкции сменных буферов с переменным рабочим давлением

Отметим, что для увеличения давления на заводах применяются также (негостированные) вдвоенные и строенные винтовые цилиндрические пружины, причем в этих случаях, для того чтобы пружины не мешали друг другу, одна из них выполняется с правым расположением витков, а другая — с левым (рис. 229, *з*).

**Винтовые цилиндрические пружины для штампов.** Винтовые цилиндрические пружины для штампов, работающие на сжатие, изготавливаются из проволоки различных сечений: круглого, квадратного, прямоугольного и др. (ГОСТ 18793—73). Чаще всего для пружин применяется проволока круглого и квадратного сечений.

Материалом для пружин служит пружинная сталь марок 65Г, 60С2, 60С2А. Пружины закаляются в масле с отпуском ( $HRC$  38—45).

Расчет пружин можно производить по следующим формулам: для пружин из круглой проволоки диаметром  $d$  (рис. 229, а):

$$P = \frac{\pi d^3 [\tau]_{\text{кр}}}{8D_{\text{ср}}}; \quad (441)$$

$$f = \frac{\pi [\tau]_{\text{кр}}}{G} \left( \frac{D_{\text{ср}}}{d} \right)^2 d; \quad (442)$$

$$F = nf = \frac{\pi [\tau]_{\text{кр}}}{G} \frac{D_{\text{ср}}^2}{d} n, \quad (443)$$

где  $D_{\text{ср}}$  — средний диаметр пружины, мм;  $f$  — перемещение одного витка при сжатой до соприкосновения витков пружине, мм;  $F = nf$  — максимальное перемещение всей пружины, мм;  $n$  — число рабочих витков;  $P$  — максимально допускаемая на-

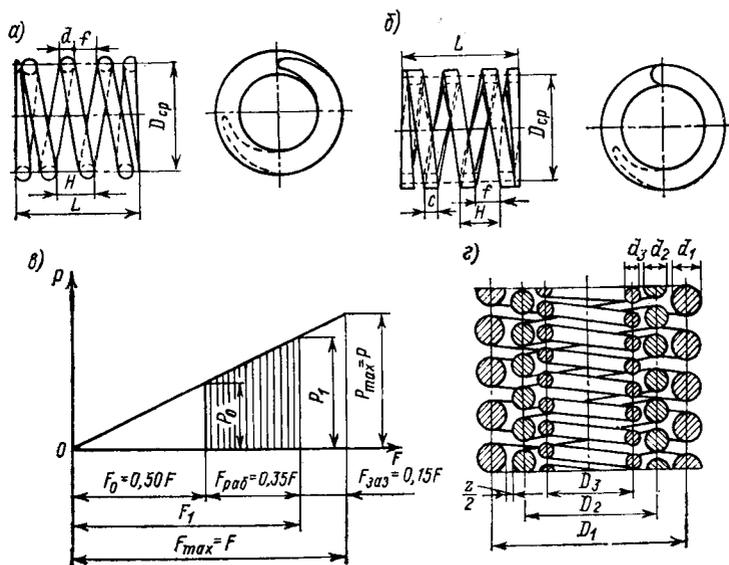


Рис. 229. Пружины штампов и график изменения давления при сжатии пружины

грузки, Н;  $[\tau]_{\text{кр}}$  — допускаемое напряжение на кручение;  $\tau_{\text{кр}} = 500$  МПа для стали 65Г и 550—650 МПа для стали 60С2 и 60С2А;  $G$  — модуль сдвига, равный 80 000 МПа.

На рис. 229 обозначены  $F_0 = 0,5F$  — предварительный натяг пружины;  $F_{\text{раб}} = 0,35F$  — рабочий ход пружины;  $F_{\text{заз}} = 0,15F$  — гарантийный зазор пружины.

Формулы действительны при условии  $D_{\text{ср}}/d \geq 4$ .

Для пружин из квадратной проволоки со стороной квадрата, равной  $c$  (рис. 229, б):

$$P = 0,416 \frac{c^3}{D_{\text{ср}}} [\tau]_{\text{кр}}; \quad (444)$$

$$f = 2,327 \frac{[\tau]_{\text{кр}}}{G} \frac{D_{\text{ср}}^2}{c}; \quad (445)$$

$$F = nf = 2,327 \frac{[\tau]_{\text{кр}}}{G} \frac{D_{\text{ср}}^2}{c} n. \quad (446)$$

Учитывая, что при заданном рабочем положении пружина сжата до длины  $L_1$ , действительное сжатие составит  $F_1 = L - L_1$ , где  $L$  — длина пружины в свободном состоянии;  $L = (n + 1,5)H$ , где  $H$  — шаг пружины, равный  $d + f$ ; 1,5 — число нерабочих витков.

Так как изменение нагрузки пружины происходит по закону прямой линии (рис. 229, в), то при данной степени сжатия пружина развивает усилие

$$P_1 = \frac{PF_1}{F}. \quad (447)$$

Зная жесткость пружины, можно по формуле (447) для любой степени ее сжатия установить действительное развиваемое ею усилие.

Для надежной работы пружины усилие  $Q_{\text{сн}}$  для снятия материала (отхода) с пуансона, а также  $Q_{\text{пр}}$  для проталкивания заготовки через матрицу, например при вырубке, должно быть меньше усилия  $P_1$ , развиваемого пружиной. При применении сдвоенных (строенных) пружин (рис. 229, г) количество витков  $n$ , диаметр проволоки  $d$  и средний диаметр  $D_{\text{ср}}$  следует определять исходя из условия равенства сопротивления кручению  $\tau_{\text{кр}}$  всех установленных пружин.

В случае изготовления пружин из одной и той же марки стали и при одинаковой термической обработке, их соотношения между элементами сдвоенных (строенных) пружин определяют из зависимостей:

$$\begin{aligned} n_1 d_1 &= n_2 d_2 = n_3 d_3; \\ \frac{D_1}{d_1} &= \frac{D_2}{d_2} = \frac{D_3}{d_3}. \end{aligned} \quad (448)$$

Усилия отдельных пружин  $P_1, P_2, P_3$  относятся между собой как квадраты соответствующих диаметров проволоки, поэтому для определения общего усилия  $P_{\text{общ}}$  достаточно произвести расчет только наружной пружины  $P_1$ , а затем, умножив его на коэффициент, учитывающий данные условия работы, находят общее усилие из зависимости

$$P_{\text{общ}} = P_1 \left( 1 + \frac{d_2^2}{d_1^2} + \frac{d_3^2}{d_1^2} \right). \quad (449)$$

Односторонний зазор между пружинами  $z/2$  должен быть равен  $0,1d$ , где  $d$  — диаметр проволоки наибольшей смежной пружины.

**Тарельчатые пружины для штампов.** Тарельчатые пружины позволяют создать значительные усилия при малых габаритах (рис. 230). Шайба пружины штампуется под углом  $\alpha$ , равным  $4—7^\circ$ . Высота  $h$  отдельной пружины несколько меньше  $2s$ . Усилие, развиваемое пружиной в зависимости от толщины и величины прогиба в пределах  $0,40—1,0$  мм, составляет  $2\ 800—14\ 500$  Н.

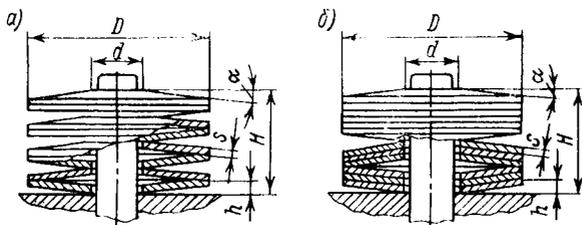


Рис. 230. Тарельчатые пружины

Максимально допустимая нагрузка  $P_{\max}$  тарельчатой пружины вычисляется по формуле

$$P_{\max} = \frac{200s^3(1 + \operatorname{tg} \alpha)^2}{\sqrt[3]{n}(2,4 - 2d/D)} \quad (450)$$

либо по таблицам или номограммам [79, 111].

Тарельчатые пружины могут быть расположены последовательно — попарно, основаниями друг к другу (рис. 230, а). Общий прогиб  $F_{\text{общ}}$  равен сумме прогибов отдельных пружин. При пакетном расположении (рис. 230, б) общий прогиб  $F_{\text{общ}}$  равен сумме прогибов собранных пачек. Общее усилие сжатия равно сумме усилий отдельных пружин, входящих в пачку.

Пружины изготавливаются из стали 60С2А и термически обрабатываются — закалка с отпуском до  $HRC\ 46—50$ .

В штампах для создания больших усилий применяются также кольцевые пружины, обладающие наибольшей упругой жесткостью — наибольшей способностью амортизации энергии воспринимаемых ударов [79].

**Резина и полиуретан для штампов.** Вместо винтовых цилиндрических и тарельчатых пружин широкое применение в штампах имеют также резина и полиуретан. Они применяются как для съемников и выталкивателей, так и для прижимов к гибочным, вытяжным и формовочным штампам для листовой штамповки.

Форму и размеры резиновых и полиуретановых буферов выбирают в зависимости от потребного усилия, величины опускания выталкивателя, съемника или прижима и конструкции штампа.

Конструкция и размеры резиновых буферов — пружин даны в ГОСТ 22191—76. По этому ГОСТу для свободного сжатия кольцевого буфера при наружном диаметре  $D = 32 \div 150$  мм, внутреннем диаметре  $d = 11 \div 32$  мм и при высоте пружины в свободном состоянии  $H_0 = 25 \div 50$  мм усилие пружины  $P_2$  при наибольшей рабочей деформации  $F_2$  от 7,5 до 15,0 мм составляет 1 270—41 800 Н, а усилие пружины  $P_3$  при максимальной деформации  $F_3$  от 8,75 до 17,50 мм составляет 1 620—53 500 Н.

Материал пружины — листовая техническая маслбензостойкая резина по ГОСТ 7338—77, твердость резины 50—70 по Шору по шкале А.

Для полиуретановых буферов — пружин (ГОСТ 22201—76) предусматривается, что при  $D = 16 \div 150$  мм,  $d = 6,4 \div 43,0$  мм,

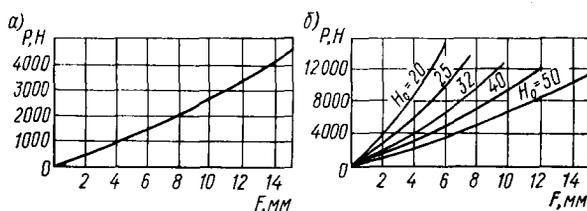


Рис. 231. Графики зависимости усилий  $P$  от деформации нагружения  $F$  в свободном состоянии

$H_0 = 12 \div 125$  мм усилие  $P_2$  при изменении  $F_2$  от 3,6 до 37,5 мм составляет 740—94 300 Н, а усилие  $P_3$  при изменении  $F_3$  от 4,2 до 43,7 мм составляет 950—120 700 Н.

Материал — полиуретан марки СКУ-7Л; твердость полиуретана 76—86 по Шору по шкале А.

На рис. 231, а показан график зависимости усилия  $P$  резиновой пружины от деформации нагружения  $F$  при твердости резины 62 по Шору по шкале А, при  $D = 60$  мм,  $d = 17$  мм и  $H_0 = 50$  мм, а на рис. 231, б то же для полиуретановой пружины при  $D = 60$  мм,  $d = 16,5$  мм и при  $H_0 = 20; 25; 32; 40; 50$  мм.

Расчет резиновых и полиуретановых буферов производится по формуле

$$P = pS_{\text{оп}}, \quad (451)$$

где  $p$  — давление при сжатии буфера, МПа;  $S_{\text{оп}}$  — опорная площадь буфера (сплошного или кольцевого типа), см<sup>2</sup>.

Для резинового буфера давление  $p$  при сжатии на 25—30% составляет в среднем 2,0—2,5 МПа.

При расчете полиуретановых буферов на давление существенное влияние оказывает коэффициент формы  $K_{\phi}$ , представляющий собой отношение опорной площади к боковой поверхности буфера.

Для круглых сплошных буферов с диаметром  $D$  и высотой  $H_0$

$$K_{\phi} = \frac{\pi D^2}{4\pi D H_0} = \frac{D}{4H_0}; \quad (452)$$

для кольцевых буферов с диаметром отверстия  $d$

$$K_{\phi} = \frac{\pi (D^2 - d^2)}{4\pi (D + d) H_0} = \frac{D - d}{4H_0}. \quad (453)$$

По опытным данным В. А. Ходырева и М. А. Блинова [102], при свободном сжатии сплошного полиуретанового буфера марки

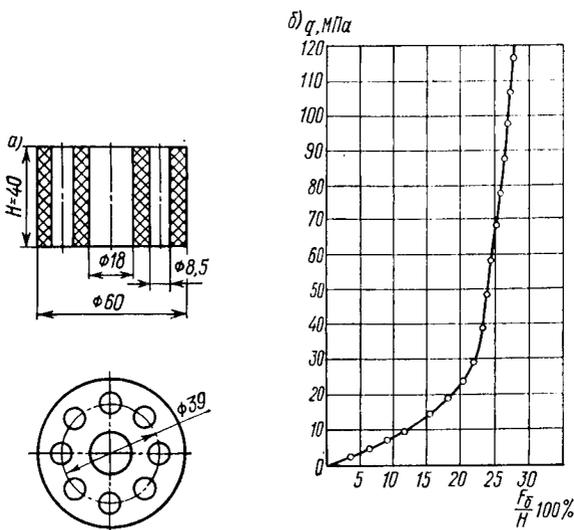


Рис. 232. График зависимости давления  $q$  от деформации нагружения  $(F_3/H)$  100% для полиуретанового буфера, заключенного в контейнере

СКУ-ПФЛ на 30% с изменением  $K_{\phi}$  от 0,5 до 1,0 давление  $p$  возросло от 17 до 33 МПа, т. е. в 1,6—1,8 раза.

При работе с полиуретановым буфером, заключенным в контейнере, что обычно имеет место при работе на штампе с использованием его в качестве внутреннего буфера, давление может быть очень большое, достигающее 500—600 МПа. Для полиуретанового буфера марки СКУ-ПФЛ с  $D = 60$  мм,  $d = 18$  мм, восемью периферийными отверстиями с  $d = 8,5$  мм и при  $H_0 = 40$  мм (рис. 232, а) давление можно установить по графику (рис. 232, б).

При выборе размеров резинового буфера не следует его максимальное сжатие  $F_3$  брать более 45% (обычно  $F_3 = 25 \div 35\%$ ), а для полиуретановых буферов не более 30%. В противном случае резина или полиуретан быстро изнашиваются, теряют свою эластичность и силу. Отношение  $H_0/D$  для резины должно быть в пределах  $0,5 \leq H_0/D \leq 1,5$ .

Пружинные, резиновые и полиуретановые буфера с центральным неподвижным штоком ввертываются в резьбовые отверстия нижних плит штампов или в специальные держатели. Последние улучшают условия эксплуатации штампов.

**Буфера с постоянным рабочим давлением  
(пневматические и гидропневматические буфера—подушки)**

В крупногабаритных штампах широкое применение получили пневматические и гидропневматические устройства — подушки, особенно для вытяжных работ. При помощи таких устройств

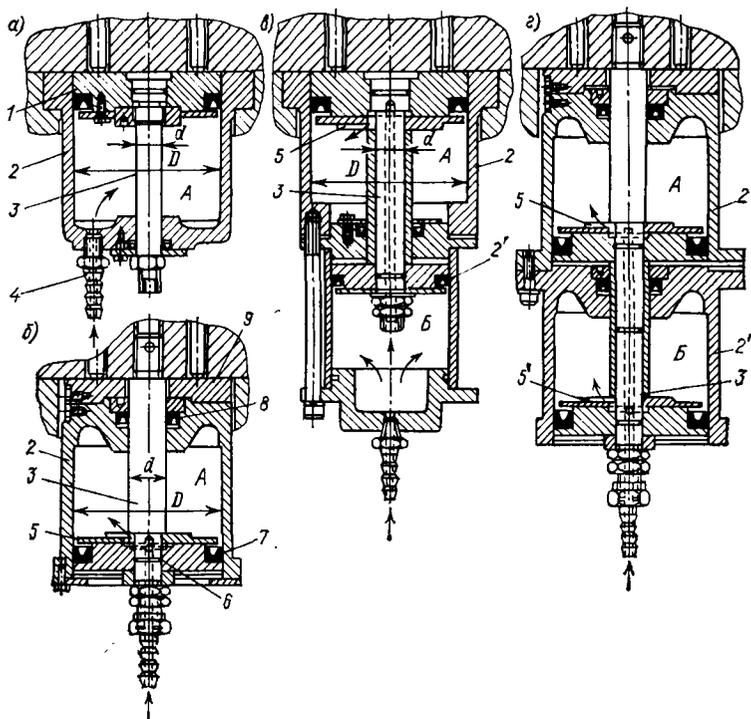


Рис. 233. Буфера сменные пневматические

достигается более равномерный и эластичный прижим, в результате чего получаются изделия более высокого качества. Пневматическими устройствами снабжаются как штампы, так и кривошипные прессы; гидропневматическими — главным образом прессы.

Пневматические буфера к штампам могут быть однокамерные с неподвижным цилиндром (рис. 233, а) и с подвижным (рис. 233, б), двухкамерные — с неподвижными (рис. 233, в) и с подвижными цилиндрами (рис. 233, г). В однокамерных подуш-

как с неподвижным цилиндром (рис. 233, а) тарелкой буфера служит поршень 1, на который непосредственно действуют шпильки штампа; сжатый воздух поступает от штуцера 4 непосредственно в рабочую камеру А. При подвижном цилиндре (рис. 233, б) в процессе работы шпильки опираются на верхнюю плоскость цилиндра 2 через крышку 9, сжатый воздух тогда поступает через центральное отверстие штока 3 и пазы шайбы 5. Герметичность камер обеспечивается с помощью манжет 7, 8 и колец 6.

В целях увеличения рабочего давления применяются двух- и даже трехкамерные (двух- и трехэтажные), если позволяет высота под столом пресса, пневматические буфера. В двухкамерных подушках при неподвижных цилиндрах 2 и 2' (рис. 233, в) воздух подается через нижний центральный штуцер непосредственно в камеру Б и через отверстие штока 3 поступает в верхнюю камеру А. В схеме с подвижным блоком цилиндров рабочие камеры А и Б заполняются сжатым воздухом через каналы штока 3 и шайбы 5 и 5' (рис. 233, г). Величина хода буферов должна быть равной половине хода ползуна пресса; больший ход нерационален.

Общее усилие  $P_{\text{пн}}$  (в Н), развиваемое пневматическим буфером — подушкой, определяется как произведение площади поршня  $S_{\text{пор}} = \pi D^2/4$  за вычетом поперечной площади штока  $S_{\text{шт}} = \pi d^2/4$  на давление сжатого воздуха — воздушной магистрали  $p_{\text{пн}}$ , т. е.

$$P_{\text{пн}} = p_{\text{пн}}(S_{\text{пор}} - S_{\text{шт}}). \quad (454)$$

Давление воздуха  $p_{\text{пн}}$  обычно составляет 0,4—0,6 МПа. Для двух- и трехкамерных буферов — подушек  $P_{\text{пн}}$  следует соответственно удвоить или утроить. Развиваемое усилие сменных буферов обычно обеспечивается в пределах 2 000—50 000 Н. Большие усилия достигаются с применением пневмо- и гидропневматических устройств, которые встраиваются в нижнюю часть (в стол) пресса. Они могут быть как однокамерные, так и многокамерные, состоящие из двух, четырех и больше камер — подушек. Обычно такими устройствами оснащаются мощные прессы усилием свыше 1000 кН.

**МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ.  
АВТОМАТИЧЕСКИЕ РОТОРНЫЕ ЛИНИИ  
И ПРОМЫШЛЕННЫЕ РОБОТЫ,  
ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКЕ**

**Глава 31. МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ  
ПРОЦЕССОВ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ**

**§ 120. УСТРОЙСТВА К ШТАМПАМ  
ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПОДАЧИ МАТЕРИАЛА  
И ПОЛУФАБРИКАТА — ШТУЧНЫХ ЗАГОТОВОК.  
ШТАМПЫ-АВТОМАТЫ**

Механизация процессов листовой штамповки может заключаться либо в объединении нескольких технологических операций в одном комбинированном совмещенном или последовательно действующем (многооперационном) штампе, либо в дополнительном устройстве к штампам и прессам соответствующих приспособлений — подач.

Для большинства штамповочных производств огромное значение имеет вопрос увеличения производительности универсальных прессов, не оборудованных устройствами для автоматической подачи. В таких случаях на самом штампе устанавливается приспособление, дающее возможность механизировать процесс штамповки.

Наиболее распространенными являются крючковые или рычажные, клещевые и валковые приспособления к штампам для подачи полос или лент, шиберные и револьверные — для подачи штучных заготовок. Достоинство их заключается в том, что они могут работать на любом прессе, не требуя его переделки.

На рис. 234 приведено устройство крючковой подачи, конструктивно связанной со штампом. Механизм подачи работает следующим образом. Ползушка 4, в пазу которой шарнирно укреплен крючок 6, перемещается по направляющим 3, смонтированным на неподвижной планке 2. Крючок под действием плоской пружины 5 все время прижат к поверхности планки 2. При ходе ползуна пресса вверх ползушка под действием двух горизонтально расположенных пружин 1 оттягивается вправо; крючок в это время, встречая перемычки, отжимается вверх и проскакивает над ними, а затем под действием пружины 5 опускается в отверстие ленты 11. Торможение от обратного движения ленты

обеспечивается плоской изогнутой пружиной 9, закрепленной на винте 8, ввернутом в съемник 10. При ходе ползуна вниз клин 7 перемещает ползушку 4 влево на величину шага подачи материала. Крючок 6, упираясь своим вертикальным уступом в перемычку ленты, перемещает ее влево. Ход пружины 1 берется на 1—3 мм больше, чем шаг подачи  $H_{ш}$ .

Штампы последовательного действия должны быть снабжены ловителями и предварительными упорами. В крючковых при-

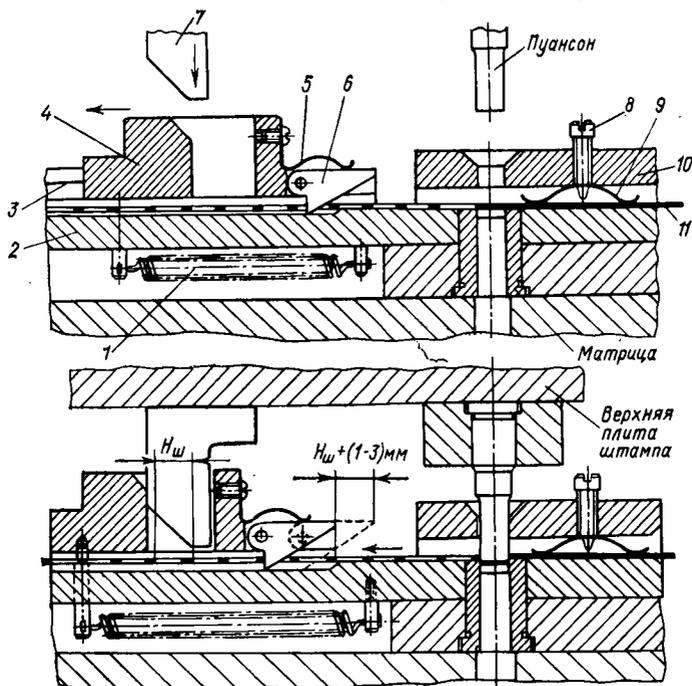


Рис. 234. Устройство крючковой подачи материала

способлениях шаг подачи полосы за один ход пресса обычно не превышает 50 мм, число двойных ходов ползуна пресса допускается до 120 в минуту, толщина полосы не ниже 1,0 мм. Точность подачи  $\pm 0,2$ — $\pm 0,5$  мм.

Универсальная автоматическая клещевая подача полос и лент, а также шиберная подача заготовок приведены в книге автора [32].

#### § 121. УСТРОЙСТВА ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО СБРАСЫВАНИЯ ОТШТАМПОВАННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Приспособления для автоматического удаления изделий из штампа (выбрасыватели) бывают механического и пневматического действий. При штамповке мелких деталей механический сбрасыватель деталей работает от пружины; для крупных деталей применяется автоматический рычажный сбрасыватель [53; 103].

Для съема крупногабаритных кузовных деталей автомобиля с прессов после штамповки и укладывания их на кантователь или на транспортер применяется механическая рука, разработанная НИИТавтопром. Она бывает двух типов: передвижная, смонтированная на тележках, и стационарная, закрепляемая на станине пресса с задней его стороны. Устройство такой руки показано на рис. 235. В этой конструкции захват отштампованной детали с помощью клещевого захвата 17, закрепленного на каретке захвата 16, подъем и отвод ее от штампа осуществляются

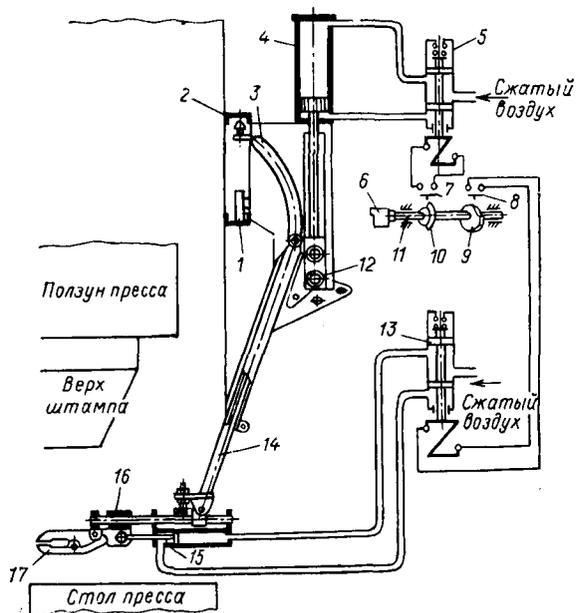


Рис. 235. Схема механизма управления механической руки

из двух пневматических цилиндров двойного действия 4 и 15, поршни которых приводятся в действие последовательным включением электропневматических клапанов 5 и 13, через которые производится выпуск сжатого воздуха. Управление клапанами осуществляется кулачками 9 и 10, сидящими на оси 11, закрепленной на торце 6 колчатого вала пресса. Подъем и опускание каретки захвата 16 и клещевого захвата 17 происходит при движении поршня цилиндра 15, связанного через ползушку 12 с телескопическим рычагом 14 механической руки. Телескопический рычаг с двусторонним копиром 3 крепится на тележке 1, которая может перемещаться в вертикальном направлении по раме 2, закрепленной на станине пресса. Конечные выключатели 7 и 8 служат для замыкания и прерывания электрической цепи тока, питающего электропневматические клапаны.

## § 122. УСТРОЙСТВА К ПРЕССАМ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПОДАЧИ МАТЕРИАЛА И ПОЛУФАБРИКАТА — ШТУЧНЫХ ЗАГОТОВОК

Большое распространение в листовой штамповке как наиболее универсальные нашли приспособления для автоматической подачи, связанные с прессом и действующие от пресса. По своему назначению они бывают: для подачи лент или полос, для подачи листов, для подачи штучных заготовок.

К приспособлениям для подачи лент или полос можно отнести подачу валками, пневмомеханическую подачу и подачу клещами или колодками; для листов — зигзагообразную подачу и подачу при помощи тележек.

К приспособлениям для подачи штучных заготовок относятся фрикционно-циферблатная, револьверная, барабанная, шиберная, пневматически-присасывающая, грейферная, бункерно-насыпная, вибрационно-бункерная, штабельно-транспортная и комбинированные подачи.

### Приспособления для подачи лент и полос

**Валковые подачи.** Валковая подача применяется с одной или с двумя парами валков. Одинарные (односторонние) валковые механизмы могут быть установлены перед штампом и периодически толкать материал к пуансону (для подачи ленты) или позади штампа и тянуть материал из-под него. Двойные (двусторонние) валковые подачи состоят из двух пар валков, расположенных по обе стороны от штампа, и потому здесь нет ни большого натяжения полосы или отхода, ни чрезмерного набегания материала к пуансону.

На рис. 236 показана схема двусторонней валковой подачи к прессу двойного действия. Диск 1 с эксцентрично установленным пальцем 2, шарнирно связанным с тягой 3, сообщает периодически поворот через собачку 4 храповому колесу 6. Храповое колесо поворачивается на некоторый угол, зависящий от величины эксцентриситета пальца 2.

На одной оси с храповым колесом сидит зубчатое колесо 10, находящееся в постоянном сцеплении с зубчатыми колесами 7. Одно из колес 7 передает вращение на подающую пару валков (спереди пресса) 14, 15, а другое — на тянущую (сзади пресса) 8, 9. В результате поворота валков находящийся между ними ленточный материал перемещается на требуемую величину шага подачи.

При возвращении рычага 5 в исходное положение сидящая на нем собачка 4 проскакивает по зубьям храпового колеса 6, а тормоз (на рисунке не показан) препятствует обратному повороту храпового колеса и валков. Заправка ленты в валки в начале работы производится вручную при помощи маховичка 13

с червяком 11 и червячным колесом 12, связанным с зубчатым перебором 10—7. На прессе также имеются правый аппарат для выпрямления ленты, катушки для сматывания и наматывания ленты или механизм для разрубки полос после штамповки с целью дальнейшей пакетировки отходов.

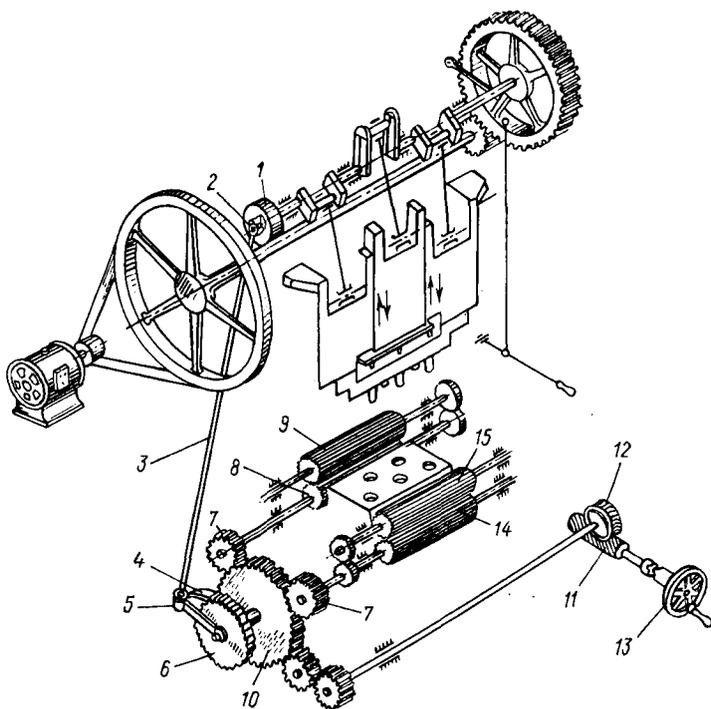


Рис. 236. Схема двойной (двусторонней) валковой подачи к прессу двойного действия

Валковые подачи действуют и при помощи муфт обгона.

Валковые механизмы применяются для материалов толщиной до 2—3 мм. Величина подачи материала за один ход пресса колеблется от 75 мм для мелких прессов и до 300 мм для средних. Точность подачи 0,2—0,1 мм. При наличии обгонной муфты точность подачи составляет 0,05—0,06 мм. Допускается применение подачи для прессов с числом ходов до 250 в минуту.

**Клещевая подача.** При валковой подаче движение материала к штампу происходит за счет трения между материалом и валками; при клещевой подаче движение материала осуществляется благодаря захвату его двумя специальными зажимами — колодками и перемещением их вместе с материалом вперед. Торможение ленты при обратном ходе колодок производится другими

двумя колодками. Клещевой подачей можно подавать материал толщиной до 5 мм; точность подачи  $\pm 0,03$  мм.

**Пневмомеханические устройства для подачи полос.** На рис. 237 показана кинематическая схема установки для подачи полос, разработанной на Горьковском автозаводе [98]. Установка состоит из двух частей: устройства для присоса полосы из стопы и подачи ее в первую пару валков и валкового механизма. Присос и поднятие полосы из стопы 4, уложенной на загрузочном столе, осуществляется штоком пневматического цилиндра 2 с траверсой 3 и резиновыми присосами 1.

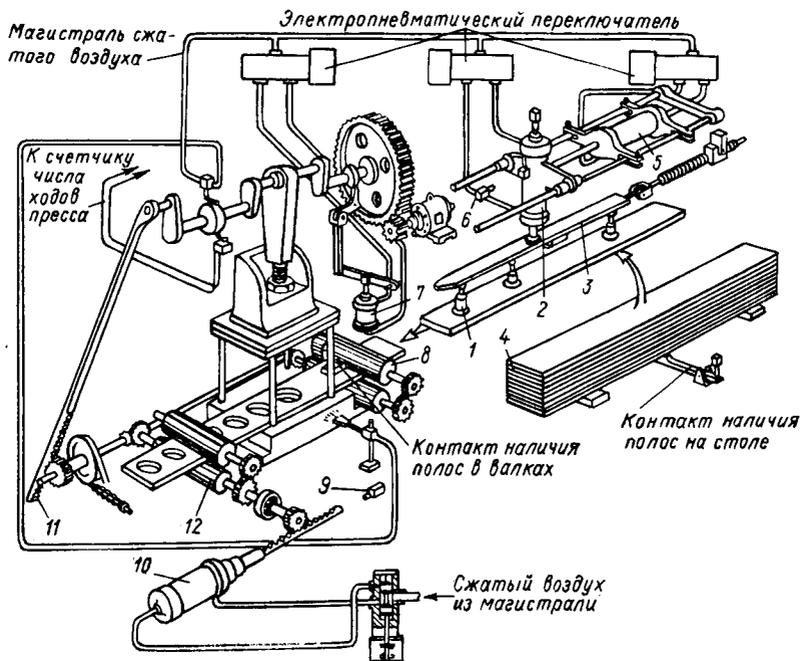


Рис. 237. Кинематическая схема пневмомеханического устройства для подачи полос из стопы

Подача приподнятой полосы в первую (толкающую) пару валков 8 производится штоком пневматического цилиндра 5, который связан с пневматическим цилиндром 2. В конце своего горизонтального хода шток цилиндра 5 нажимает на конечный выключатель 6, который подает команду на включение пневматического цилиндра 10. Шток этого цилиндра, имеющий на конце рейку, при помощи передаточного механизма и муфты обгона вращает вторую (тянущую) пару валков 12. Когда передний конец полосы занимает положение, соответствующее первой вырубке, шток цилиндра 10, дойдя до своего крайнего положения, нажимает на конечный выключатель 9, благодаря чему включается пневматический цилиндр 7, связанный системой рычагов с муфтой

сцепления пресса, и пресс начинает работать непрерывно; траверса с присосами и шток цилиндра 10 тогда возвращаются в исходное положение. При каждом ходе пресса вырубается деталь.

При обратном ходе ползуна пресса валки подают полосу на один шаг. Подача в этом случае осуществляется кривошипным механизмом, расположенном на коленчатом валу пресса. Кривошип через реечный механизм 11 и муфту обгона передает вращение валкам. Одновременно с подачей полосы к первой паре валков 8 вторая пара производит выталкивание отходов вырубленной полосы.

Установка позволяет подавать полосы шириной 40—140 мм, толщиной 0,5—4,0 мм и длиной 600—1500 мм. Точность подачи полосы  $\pm 0,2$  —  $\pm 0,5$  мм.

**Клино-роликовая подача.** Некоторые заводы для увеличения производительности при штамповке небольших деталей переходят на скоростные методы штамповки, увеличивая для этого частоту вращения прессов до 500—600 об/мин. В связи с этим выявилась необходимость в применении надежных автоматических подач, которые обеспечивали бы бесперебойную работу пресса при больших скоростях, так как известно, что обычные валковые и клещевые подачи исправно работают только при частоте вращения пресса до 220—250 об/мин. Для этой цели разработана и внедрена в производство клино-роликовая подача (рис. 238).

Самоподающее устройство состоит из двух кареток (колодок) — подвижной (подающей) 1 и неподвижной (тормозящей) 5 (рис. 238, а). В конусных гнездах колодок находятся гладкие ролики, которые под действием легких пружин все время прижаты к поверхностям конусов (на рис. 241, б пружины показаны схематически). При холостом ходе подающей колодки (движение вправо) лента заклинивается роликами 4 тормозной колодки. При подаче (движение влево) лента трением защемляется роликами 2 и 3 подающей колодки (каретки) и вместе с ней перемещается на величину шага, а в это время ролики тормозной колодки освобождают ленту.

Рабочий ход каретки осуществляется системой рычагов, действующих от пресса. При вращении вала пресса тяга 10, шарнирно связанная при помощи пальца 12 с диском 11, перемещаясь, сообщает колебательное движение рычагу 9, который передвигает клин 8, а последний сообщает через рычаги 7 и 6 перемещение подвижной каретке 1 с захватывающими роликами — клещами. Обратный ее отвод в исходное состояние осуществляется пружинами 13 (рис. 238, б) при холостом ходе пресса.

Шаг подачи здесь регулируется перемещением по пазу диска 11, эксцентрично посаженного на нем пальца 12.

Более точная регулировка (до 0,02 мм) достигается применением на подвижной каретке упорного устройства. Зев конусных гнезд на каждой из колодок выполнен с углом при вершине,

равным  $12^\circ$ . Применение указанной подачи позволило повысить число ходов действующих прессов до 400 в минуту.

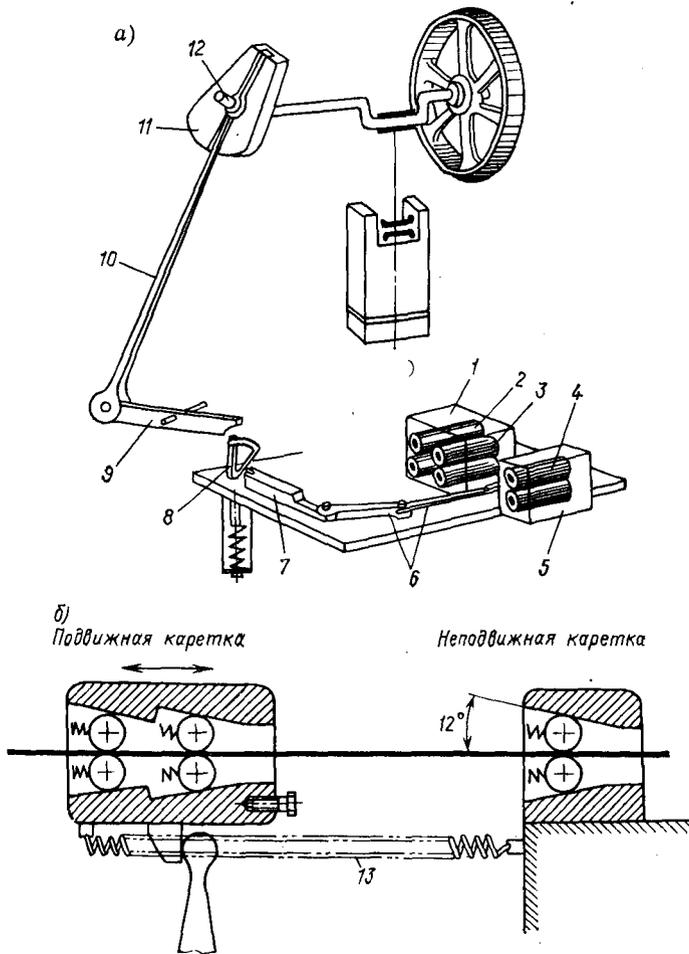


Рис. 238. Клино-роликсовая подача: а — схема пресса с подачей; б — схема работы подачи

#### Приспособления для подачи листов

**Зигзагообразная подача.** Для вырубki изделий из листов в шахматном порядке и для наиболее экономного раскроя материала специально предназначены прессы с зигзагообразной подачей, так называемые «зигзаг-прессы». В этом случае лист материала сначала движется в продольном направлении и в нем вырубается один ряд деталей, а затем он автоматически передвигается на один шаг в поперечном направлении, и штамповка

продолжается по следующей линии [26]. Благодаря большой точности механизма подачи, прессы такого устройства пригодны для штамповки из литографированной жести, а также для вытяжки различных изделий, особенно круглых и прямоугольных коробок.

**Листоукладчики.** Для автоматической подачи листов больших размеров (1300×1500 мм) в автомобильной промышленности применяются листоукладчики. Последние блокируются с прессом и работают с ним синхронно. Листоукладчики изготавливаются с пневматическими присосами для поднятия верхнего листа из стопы и с электромагнитом. Листоукладчики успешно работают на Московском автозаводе им. Лихачева и на Горьковском автозаводе.

#### Приспособления для подачи полуфабрикатов — штучных заготовок

**Подача с револьверным диском.** Револьверные приспособления (питатели) применяются для подачи штучных заготовок различной конфигурации толщиной свыше 0,5 мм. Периодическое движение револьверного диска осуществляется получервячным, мальтийским, храповым и фрикционным (фрикционной обгонной муфтой) механизмами.

Привод механизмов периодического движения осуществляется либо от вала или ползуна прессы, либо от штампа. Индивидуальным приводом служат пневматические и гидравлические механизмы.

ЭНИКмашем разработаны типовые конструкции универсальных однооперационных револьверных подач (питателей) шести типоразмеров, как с приводом от прессы, так и с индивидуальным пневматическим приводом, число гнезд в револьверном диске 8—10. Число ходов ползуна прессы 45—100 в минуту [2].

На рис. 239 приведена типовая конструкция револьверной подачи с храповым приводом. На столе прессы закреплена плита (основание) подачи — питателя, в которой имеются: одно (рабочее) гнездо для установки и закрепления в нем сменной втулочной матрицы, а второе — центральное гнездо, в котором запрессована цапфа-втулка, относительно которой вращается транспортный диск 5 со сменными вкладышами 7. Внутренние отверстия вкладышей имеют конфигурацию, соответствующую форме наружного контура штампуемых полуфабрикатов.

На окружности диска размещены пазы, в которые при работе прессы попадает ведущая собачка 2, закрепленная на ползушке 4, совершающей возвратно-поступательное движение в сквозной выемке плиты подачи. Движение ползушки с собачкой осуществляется от коленчатого вала прессы через кривошипно-рычажный механизм.

Для точной фиксации транспортного диска в рабочем положении предусмотрены две фиксирующие собачки 1 и 3, оси которых вращаются в эксцентриковых втулках. Это позволяет сме-

щать фиксирующие собачки по боковой поверхности транспортного диска и тем самым точно установить ось гнезда транспортного диска относительно оси прессы и обеспечивать одновременное западание собачек в пазы диска.

Для гашения инерционных сил, возникающих в момент разгона и торможения транспортного диска, на револьверном столе установлен дисковый тормоз постоянного действия. Он состоит из нажимной крышки 8, стакана 6 и пружины 9. Проталкивание готовых изделий после штамповки на позиции выгрузки производится механическим выталкивателем, состоящим из кронштейна 10, закрепленного на ползуне прессы, и передвижного стержня 11.

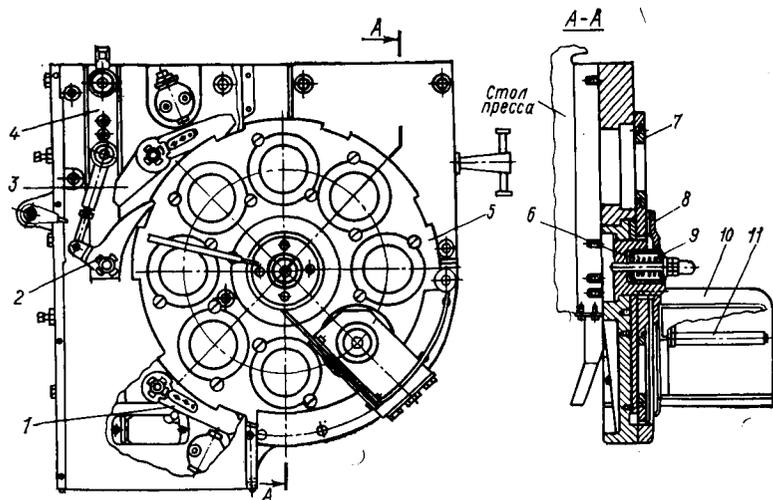


Рис. 239. Подача с револьверным диском

При работе пресс включается на непрерывную автоматическую подачу, и штамповщику остается только непрерывно подкладывать в каждое гнездо транспортного диска заготовку.

**Грейферная подача.** Стремление максимально автоматизировать процесс штамповки и увеличить производительность прессов привело к созданию прессов-автоматов (многопозиционных прессов), производящих на одном прессе несколько операций (переходов) до 11—14 позиций — от первой до последней. Для осуществления этого процесса применяются так называемые грейферные подачи, производящие перемещение полуфабрикатов при помощи зажимных пластин (линеек), имеющих возвратно-поступательное движение, по линии передвижения заготовки. Расстояние между центрами зажимных леек равно шагу подачи деталей.

На рис. 240 приведена кинематическая схема многопозиционного пресса-автомата усилием 800 кН модели А823 конструкции ЦБКМ, выпускаемой Барнаульским заводом механических пресов. Привод пресса-автомата осуществляется от асинхронного

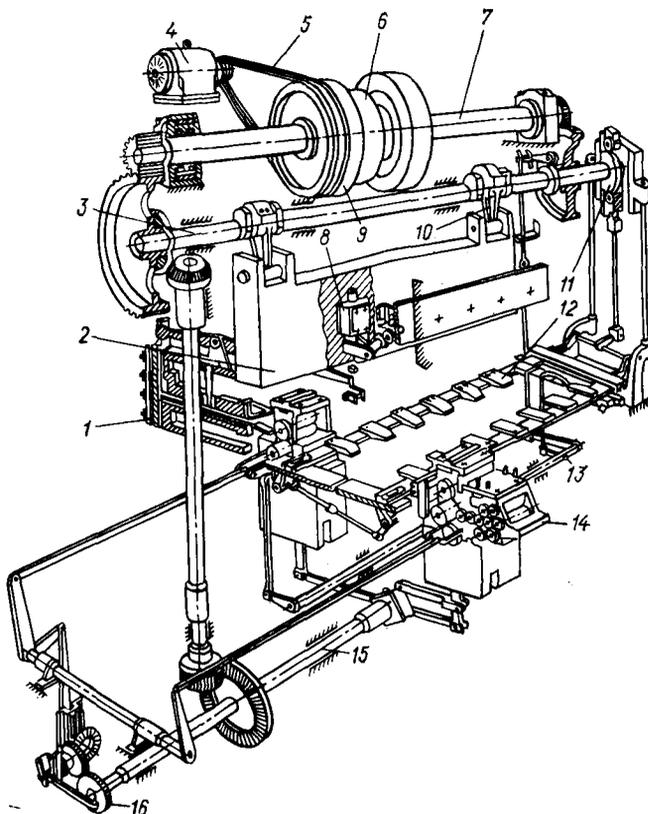


Рис. 240. Кинематическая схема двухкривошипного многопозиционного пресса-автомата с грейферной подачей

электродвигателя 4, через клиноременную передачу 5 и маховик 9, установленный на быстроходном валу 7, вращающемся в подшипниках качения. На этом же валу расположена фрикционная муфта 6, заблокированная с дисковым тормозом. Крутящий момент с приводного вала 7 передается на двухкривошипный коленчатый вал 3 через двустороннюю зубчатую передачу, размещенную в верхней части станины пресса. Движение ползуну 2 передается от коленчатого вала 3 с помощью двух стальных штангов 10.

Продольное перемещение линеек 12 грейферного механизма получают при помощи кулачка двойного действия 11, расположен-

ного на правом конце коленчатого вала через кулисно-рычажный механизм, а поперечное — от того же кулачка через пружинно-рычажную систему 13. В исходное положение линейки возвращаются при помощи пружин, соединяющих их.

Пресс оснащен двусторонней валковой подачей 14, выполненной совместно с правильным устройством. Привод подачи 15 осуществляется от коленчатого вала с помощью конических шестерен, закрепленных на вертикальном валу, кривошипной шайбы 16 и системы тяг и рычагов. Валковая подача автомата позволяет вести шахматную вырубку ленты путем поперечного перемещения обеих валковых подач, осуществляемого от кривошипной шайбы 16, установленной на горизонтальном валу привода подачи 15 через пару конических шестерен и систему рычагов. Для резки отходов вырубленной ленты на автомате предусмотрены ножницы 1, работающие от ползуна 2 через двуплечий рычаг. В пуансонодержателе 8 ползуна пресса установлены выталкиватели рычажного типа.

**Бункерно-насыпные подачи.** Бункерные подачи обычно применяются для штучных полуфабрикатов, имеющих небольшие размеры и несложную форму (колпачки, блочки и т. п.). Они используются также и на сборочных операциях.

Действие бункерной подачи заключается в непрерывном перемешивании беспорядочно расположенных в бункере деталей, в лавливание из общей массы единичных полуфабрикатов, ориентированных в требуемом положении, и подаче деталей в выходной канал (питатель), соединенный с механизмом для перемещения их к штампу. Бункерно-насыпные подачи-автоматы применяются с различными питателями: шиберным, с вращающимися дисками, с крючками и др. [32].

Бункерно-насыпные подачи-автоматы обладают производительностью 150—250 шт. в минуту, применяются в основном на вытяжных работах.

Для вытяжки деталей любой формы в последнее время применяются бункера с вибрационным электромагнитным приводом.

В бункере (рис. 241, а) дно имеет коническую форму с вершиной, направленной к центру бункера 1. По внутренней поверхности цилиндрической части бункера 2 проходит спиральный желоб 3. Бункер закреплен на раме 4, которая опирается на три спиральные пружины 5. В центре под рамой помещены электромагниты 6, которые питаются пульсирующим постоянным электрическим током. Под действием пульсирующего тока электромагнит притягивает и отпускает бункер, благодаря чему бункер получает осевые и радиальные вибрации в виде толчков. Заваленные в бункере детали, воспринимая толчки, попадают на спиральный желоб и начинают перемещаться по нему вверх. На пути перемещения деталей в желобе имеется ориентирующее устройство. Правильно ориентированные детали направляются дальше в магазин, связанный со штампом, или непосредственно в самый

штамп. Детали, занимающие неправильное положение, отсеиваются ориентирующим устройством (рис. 241, б) и сбрасываются

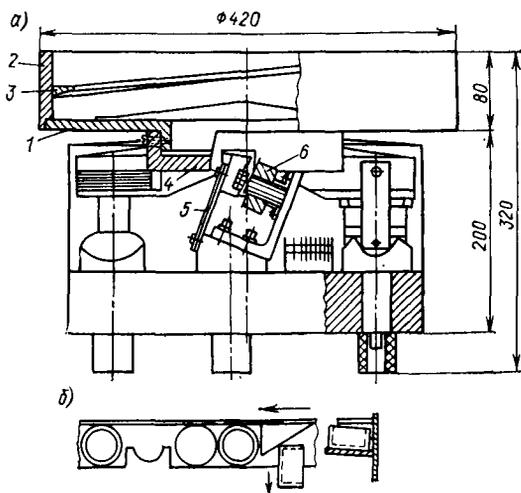


Рис. 241. Бункер с вибрационным электромагнитным приводом

ваются с желоба обратно в бункер. Бункер изготавливается из листовой стали или из дуралюмина. Бункера небольших размеров отливаются из алюминиевых сплавов.

### § 123. КОМБИНИРОВАННЫЕ ПОДАЧИ. АВТОМАТИЧЕСКИЕ ШТАМПОВОЧНЫЕ ЛИНИИ И УЧАСТКИ

Соединив несколько из перечисленных приспособлений вместе, можно осуществить автоматизацию не только отдельных операций, но и всего (или значительной части) процесса производства, т. е. создать автоматизированные штамповочные линии, участки и даже цехи. Для этой цели соединяют ряд последовательно работающих машин с автоматическими подачами специальными промежуточными транспортными устройствами. При этом в линию включаются не только штамповочные прессы, но также и другое оборудование, необходимое по ходу производственного процесса (станки, индукционные печи для промежуточного отжига и т. д.). Роль рабочего в данном случае сводится к периодической подаче исходного материала на первую заготовительную операцию, удалению готовых изделий с последней операции и наблюдению за процессом.

В некоторых случаях на нескольких коротких, параллельно работающих автоматических линиях штампуются две детали и более, которые затем автоматически передаются на другую линию, где производится сборка вполне законченного изделия.

Практикуются свободное соединение при помощи транспортирующего элеватора нескольких машин, например соединение трех машин кулачкового пресса двойного действия с автоматической валковой подачей материала, эксцентрикового пресса с револьверным диском и накаточно-обрезного станка; соединение шести-позиционного пресса с накаточно-обрезным станком и др. [29; 32].

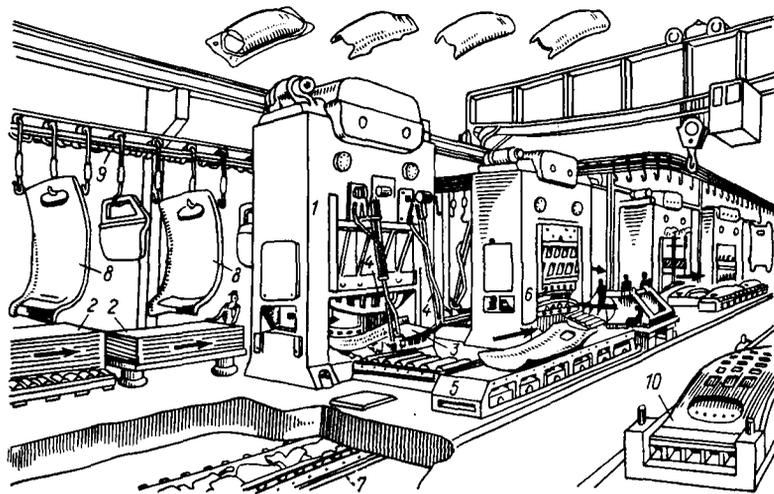


Рис. 242. Поточная линия для изготовления крыши кузова автомобиля

В последнее время на наших автомобильных заводах стали широко автоматизировать процессы изготовления крупных деталей автомобилей: крыши, панели капота, крыльев и др. Благодаря автоматизации таких трудоемких операций, как загрузка заготовок в штамп, удаление отштампованной детали из штампа, и транспортировку их от пресса к прессу и далее на другие операции, значительно увеличился выпуск продукции и улучшились условия безопасности при работе на прессах.

Автоматизация достигается также за счет применения так называемой механической руки в комбинации с различными пневматическими, электрическими и транспортными устройствами.

На рис. 242 показана линия изготовления крыши кузова легкового автомобиля. На вытяжном прессе 1 из листов 2 производят вытяжку крыши. Полученный на этой операции полуфабрикат 3 «механическими руками» 4 снимается со штампа и укладывается на ленточный транспортер 5, подводящий к следующему прессу 6, на котором производится обрезка фланцев. После обрезки кромки крыши передается далее к следующим прессам для придания ей окончательной формы. В конце линии готовая крыша 8 подвешивается на крюк цепного конвейера 9, который доставляет ее либо на промежуточный склад, либо прямо

на сборку. Получившиеся при обрезке на прессе 6 отходы сбрасываются в люки на подземный транспортер 7, доставляющий их на пакетировочный пресс, после чего в пакетах они переправляются в мартеновский цех на переплавку. После изготовления требуемой партии крыш кузова использованные штампы 10 при помощи мощных кранов снимаются с прессов, а на их место устанавливают другие штампы для штамповки других крупных деталей автомобиля.

На отечественных телефонных заводах успешно работают автоматические линии для изготовления релейных контактных пружин по принципу поэлементной штамповки. Автоматическая линия объединяет весь процесс штамповки пружин, включая не только вырубку наружного контура из ленты, но и формовку серебряных контактов и сборку их с пружиной. Некоторые заводы (завод «Электрик») применяют специальное технологическое оборудование (автоматы и полуавтоматы), оснащенные пневматическими головками; они обладают большой производительностью и создают большие удобства в работе.

## **Глава 32. АВТОМАТИЧЕСКИЕ РОТОРНЫЕ ЛИНИИ И ПРОМЫШЛЕННЫЕ РОБОТЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКЕ**

### **§ 124. АВТОМАТИЧЕСКИЕ РОТОРНЫЕ ЛИНИИ**

Автоматическая роторная линия (рис. 243) представляет собой комплекс роторных машин — рабочих, транспортных и контрольных роторов, установленных на общей станине в технологической последовательности, привода и управления и всех взаимосвязанных между собой других механизмов. На входе и выходе автоматической роторной линии устанавливаются устройства для автоматической загрузки заготовок и выгрузки отштампованных деталей. Каждый ротор представляет собой самостоятельную автоматическую роторную машину, состоящую из привода 1 и блоков 3 с инструментом, получающих движение при помощи роликов от копира. На рисунке показаны ротор питания 2, контрольные и транспортные роторы 4.

Особенность роторных машин заключается в том, что обработка детали происходит не во время остановки движущейся заготовки, а в процессе одновременного непрерывного перемещения инструмента и обрабатываемой заготовки. Таким образом, их производительность не зависит от длительности операции. Роторная машина может обеспечить любую производительность, для чего необходимо предусмотреть в роторе достаточное количество блоков с инструментом.

Для процессов, требующих небольших технологических усилий, не превосходящих 10 кН, применяют роторы с механическим приводом инструмента, причем для выполнения операций штамповки (вытяжки) применяют односторонние роторы, а для сборочных операций — двусторонние. Для осуществления значительных технологических усилий до 100 кН используют односторонний и двусторонний гидравлические приводы инструмента с давлением жидкости 6—32 МПа.

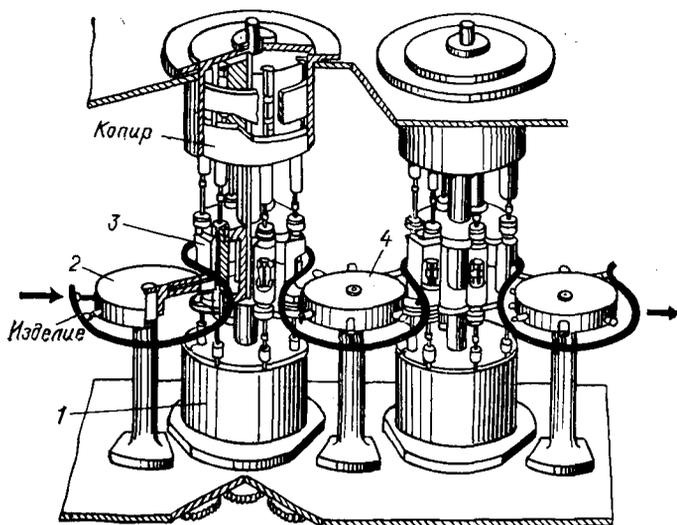


Рис. 243. Схема автоматической роторной линии

В зависимости от технологического процесса изготовления детали или целиком изделия автоматические линии обычно, составляют 8—10 операционных рабочих роторов и примерно столько же транспортных, а также необходимое количество контрольных роторов. Несколько таких автоматических линий, размещенных по производственному потоку и соединенных между собой транспортной системой, составляют комплексное автоматическое производство выпускаемых изделий.

Идея создания и научное обоснование роторных машин и автоматических роторных линий принадлежат Л. Н. Кошкину, В. Ф. Прейсу и Н. А. Клусову [52]. Подобные линии успешно работают на многих штамповочных отечественных заводах.

## § 125. ПРОМЫШЛЕННЫЕ РОБОТЫ

Для комплексной механизации и автоматизации производства, последовательно сокращая применение ручного, тяжелого и не-

квалифицированного труда в различных отраслях промышленности, в том числе и в листоштамповочном производстве, в последние годы стали применять манипуляторы с программным управлением, получившие наименование «промышленные роботы».

Промышленные роботы позволяют освободить человека от выполнения тяжелого, быстроутомляющего ручного труда. Они способны заменить человека на производстве и особенно там, где его труд связан с опасностью и где велика вероятность травматизма, например при работе на прессах и т. д. Они позволяют также лучше использовать технологическое оборудование и повысить сменность его работы, так как робот не утомляется и

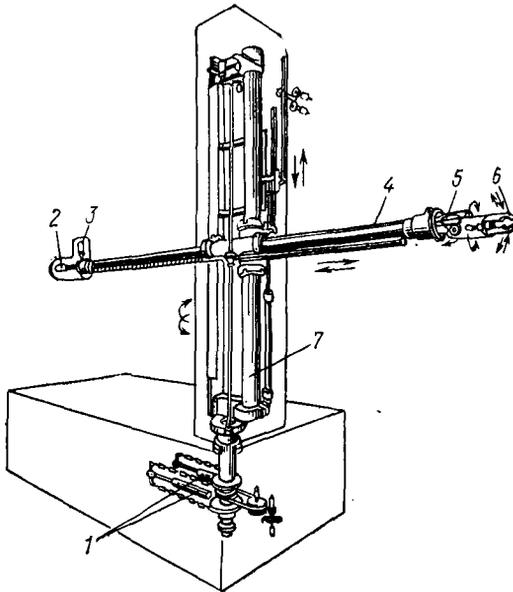


Рис. 244. Кинематическая схема промышленного робота УМ-1

нечувствителен к условиям труда, вследствие чего сокращается процент брака выпускаемых изделий. В зависимости от степени совершенства и информационных возможностей промышленные роботы подразделяют на три поколения.

Роботы первого поколения работают по жесткой программе; в них используются системы с численным программным управлением. Они запоминают программу и способны выполнять ее в автоматическом цикле любое число раз; легко переналаживаются на выполнение различных операций. Однако эти роботы не обладают устройствами типа органов чувств человека для сбора информации о внешней среде и не приспосабливаются к внешним усло-

виям, например при выполнении сборочных и монтажных работ, которые не могут быть запрограммированы жесткой программой.

Роботы второго поколения обладают этими свойствами. Информация о внешней среде собирается в процессе движения руки человека или робота. Для управления роботами используются ЭВМ.

Роботы третьего поколения обладают большей автономностью действий, большей информационной мощностью, более эффективной обработкой собираемой информации и совершенством программ, чем роботы второго поколения. В них сбор информации осуществляется автономно, независимо от движения руки.

На рис. 244 приведена кинематическая схема промышленного робота УМ-1 первого поколения. От гидроцилиндров 1—3 осуществляется перемещение руки 4 с кистью 5 и захватом 6 в горизонтальном и вертикальном направлениях, а также поворот их вместе с колонкой 7. Деталь в пространстве ориентируется при повороте кисти вокруг двух осей: продольной оси руки и оси, перпендикулярной последней.

В подобных схемах роботов последовательные положения (траектория движения) при переносе деталей программируются, а движения ориентации деталей и движения захвата производятся от упора до упора. Грузоподъемность робота до 40 кг. В качестве захватов промышленных роботов применяют клещи, электромагнитные захваты, вакуумные захваты с созданием разрежения насосом и без насоса при помощи резиновых присосов [2; 8].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аверкиев Ю. А. Лекции по курсу «Листовая штамповка». Ростов-на-Дону: Институт сельскохозяйственного машиностроения, 1971. 60 с.; 1975. 140 с.
2. Автоматизация загрузки прессов штучными заготовками. Расчет и проектирование/В. Ф. Прейс, И. С. Бляхеров, В. В. Прейс, Н. А. Усенко. М.: Машиностроение, 1975. 280 с.
3. Агеев Н. П., Данилин Г. А. Анализ напряженного состояния при вытяжке куполообразных деталей в глухой матрице. — В кн.: Исследование в области пластичности и обработки металлов давлением. Тула: ГПИ, 1972, с. 26—36.
4. Агеев Н. П., Кривицкий Б. А. Обжим тонкостенных заготовок с эластично-жидкостным подпором. — Кузнечно-штамповочное производство, 1978, № 5, с. 16—17.
5. Барановский М. А. Технология листовой штамповки. Минск: Гос. изд-во БССР, 1957. 350 с.
6. Бебрис А. А. Устойчивость заготовки в формообразующих операциях листовой штамповки. Рига: Зинатне, 1978. 128 с.
7. Безручко И. И., Зубцов М. Е., Балакина Л. Н. Обработка металлов давлением. Л.: Машиностроение, 1967. 311 с.
8. Белянин П. Н. Промышленные роботы. М.: Машиностроение, 1975. 398 с.
9. Богданов В. М. Штамповка деталей по элементам в мелкосерийном производстве. М.—Л.: Машгиз, 1963. 184 с.
10. Богданов В. М., Гнубкин В. В. Быстроперенаалаживаемые технические средства для листовой штамповки деталей в условиях опытного и мелкосерийного производства. — В кн.: Пути повышения эффективности холодноштамповочного производства. Л.: ЛДНТП, 1977, с. 44—46.
11. Богоявленский К. Н., Лапин В. В. Холодная раскатка кольцевых деталей. Л.: ЛДНТП, 1972. 36 с.
12. Валиев С. А. Комбинированная глубокая вытяжка листовых материалов. М.: Машиностроение, 1973. 176 с.
13. Гиндин В. Б. Повышение качества изготовления штампованных деталей методом чистой вырубki со сжатием. — В кн.: Пути повышения качества и точности штампуемых деталей в машиностроении и приборостроении. Л.: ЛДНТП, 1976, с. 32—40.
14. Головлев В. Д. Расчеты процессов листовой штамповки. М.: Машиностроение, 1974. 136 с.
15. Горбунов М. Н. Штамповка деталей из трубчатых заготовок. М.: Машгиз, 1960. 188 с.
16. Горбунов М. Н. Технология заготовительно-штамповочных работ в производстве летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1975. 351 с.
17. Гредитор М. А. Давильные работы и ротационное выдавливание. М.: Машиностроение, 1971. 238 с.
18. Григорьев Л. Л. Рациональные варианты холодной штамповки. Л.: Машиностроение, 1975. 231 с.
19. Громов Н. П. Теория обработки металлов давлением. М.: Металлургия, 1978. 360 с.
20. Губкин С. И. Пластическая деформация металлов. Т. II. М.: Металлургияиздат, 1960. 416 с.
21. Давыдов Ю. П., Покровский Г. В. Листовая штамповка легированных сталей и сплавов. М.: Оборонгиз, 1962. 199 с.
22. Деформирование металла импульсным магнитным полем/Е. А. Попов, Ю. Я. Бочаров, С. М. Поляк и др. — Кузнечно-штамповочное производство, 1966, № 5, с. 1—7; № 6, с. 2—9.
23. Драпкин Л. Г. Метод расчета усилий и напряжений при конечных деформациях деталей, изготовленных из многослойного металла. — Машиностроение. М.—Л.: Машгиз, 1955, с. 19—33 (Тр. ЛВМИ, № 3).
24. Дубасов А. А. Оснастка из пластических масс в машиностроении. М.: Профтехиздат, 1961. 155 с.

25. Звороно Б. П. Расчет и конструирование штампов для холодной штамповки. М.: Машгиз, 1949. 196 с.
26. Зубцов М. Е. Технология холодной штамповки. М.—Л.: Машгиз, 1950. 463 с.
27. Зубцов М. Е. Исследование точности штамповки листов статора и ротора электромашин. — Машиностроение, М.—Л.: Машгиз, 1955, с. 95—117 (Тр. ЛВМИ, № 3).
28. Зубцов М. Е., Зорин Н. К. Штамповка — вырубка крупногабаритных деталей. Б-ка штамповщика. М.—Л.: Машгиз, 1955. 62 с.
29. Зубцов М. Е. Листовая штамповка. М.—Л.: Машгиз, 1958. 460 с.
30. Зубцов М. Е. Повышение стойкости штампов для холодной штамповки. Л.: ЛДНТП, 1960. 84 с.
31. Зубцов М. Е. Зарубежные достижения в области холодной штамповки. Б-ка штамповщика. М.—Л.: Машгиз, 1962. 74 с.
32. Зубцов М. Е. Листовая штамповка. Л.: Машиностроение, 1967. 504 с.
33. Зубцов М. Е. Точность штамповки — вырубки средне- и крупногабаритных тонколистовых деталей. — Кузнечно-штамповочное производство, 1968, № 9, с. 28—32.
34. Зубцов М. Е. Групповые методы холодной штамповки деталей. Л.: ЛДНТП, 1969. 48 с.
35. Зубцов М. Е. Повышение стойкости штампов для глубокой вытяжки. — В кн.: Опыт разработки технологических процессов и проектирование штампов для глубокой вытяжки. Л.: ЛДНТП, 1972, с. 59—64.
36. Зубцов М. Е., Тыквин Ю. В. Чистовая вырубка деталей с обжимкой через две матрицы. — В кн.: Прогрессивные методы холодной штамповки. Л.: ЛДНТП, 1975, с. 67—76.
37. Зубцов М. Е., Белов В. В. Применение полиуретана в штампах для холодной штамповки. Л.: ЛДНТП, 1976. 40 с.
38. Зубцов М. Е., Чикидовский В. П. Совершенствование процесса холодной штамповки пластин цепей. — В кн.: Пути повышения эффективности холоднштамповочного производства. Л.: ЛДНТП, 1977, с. 73—76.
39. Зубцов М. Е., Чикидовский В. П., Рувинская Л. Л. Исследование и разработка прогрессивной технологии холодной штамповки элементов цепей из стали 45—50. — В кн.: Применение прогрессивных технологических процессов холодной штамповки. Л.: ЛДНТП, 1979, с. 93—98.
40. Изготовление деталей пластическим деформированием/Под ред. К. Н. Богоявленского и П. В. Камнева. Л.: Машиностроение, 1975. 464 с.
41. Изготовление сложных полых деталей/Под ред. К. Н. Богоявленского. Л.: Машиностроение, 1979. 216 с.
42. Ильюшин А. А. Пластичность. М.: Гостехтеоретиздат, 1948. 376 с.
43. Исаченков Е. И. Штамповка резиной и жидкостью. М.: Машиностроение, 1967. 397 с.
44. Исследования в области глубокой вытяжки металлов/Под ред. П. Ф. Чударева. М.: Оборонгиз, 1965. 143 с. (Тр. МАТИ, вып. 29).
45. Казаченок В. И. Штамповка с жидкостным трением. М.: Машиностроение, 1978. 77 с.
46. Колесников Н. П. Метод определения способности листового металла к пластическому формоизменению. — Кузнечно-штамповочное производство, 1966, № 5, с. 23—26.
47. Комаров А. Д. Упругая отдача листовых металлов при гибке в штампах. — Кузнечно-штамповочное производство, 1965, № 11, с. 15—19.
48. Комаров А. Д. Штамповка листовых и трубчатых деталей полиуретаном. Л.: ЛДНТП, 1975. 36 с.
49. Королев В. Н. Изготовление тонкостенных деталей малого диаметра из пластичных и малопластичных металлов. — Кузнечно-штамповочное производство, 1966, № 5, с. 20—23.
50. Коэффициент вытяжки при взрывной штамповке/О. Д. Антоненков, М. А. Анучкин, А. Ф. Кулагин и др. — Кузнечно-штамповочное производство, 1966, № 5, с. 26—27.

51. Кузнецов Д. П., Лясников А. В., Кудрявцев В. А. Технология формообразования полостей матриц пресс-форм холодным выдавливанием. Л.: ЛМИ, 1966. 62 с.
52. Кошкин Л. Н. Комплексная автоматизация производства на базе роторных линий. М.: Машиностроение, 1972. 352 с.
53. Кухтарев В. И. Холодная штамповка. М.: Машгиз, 1962. 403 с.
54. Лисицын В. Д., Филина И. С. Новая технология двухоперационной вытяжки коробчатых деталей. Наглядное пособие. Л.: ЛДНТП, 1975. 16 с.
55. Лысов М. Н. Теория и расчет процессов изготовления деталей методами гибки. М.: Машиностроение, 1966. 236 с.
56. Максак В. И., Черноморченко В. И. Способ утонения стенки трубчатых заготовок. — Кузнечно-штамповочное производство, 1975, № 5, с. 20—23.
57. Малов А. Н. Технология холодной штамповки. М.: Машиностроение, 1969. 568 с.
58. Машины и технология обработки металлов давлением. Методическое пособие к лабораторным работам/Л. Б. Аксенов, А. П. Атрошенко, И. А. Ефимов и др. Под ред. К. Н. Богоявленского. Л.: ЛПИ, 1975. 165 с.
59. Мещерин В. Т. Листовая штамповка. Атлас схем. М.: Машиностроение, 1975. 228 с.
60. Митрофанов С. П., Гульнов Ю. А., Куликов Д. Д. Автоматизация технологической подготовки серийного производства. М.: Машиностроение, 1974. 360 с.
61. Митрофанов С. П. Научная организация машиностроительного производства. Л.: Машиностроение, 1976. 712 с.
62. Михаленко Ф. П., Грикке А. Х., Демиденко Е. И. Автоматическая холодная штамповка мелких деталей. М.: Машиностроение, 1965. 287 с.
63. Мовшович И. Я. Система универсально-сборных штампов для листовой штамповки. М.: Машиностроение, 1977. 176 с.
64. Мошнин Е. Н. Технология штамповки крупногабаритных деталей. М.: Машиностроение, 1973. 240 с.
65. Навроцкий Г. А. Кузнечно-штамповочные автоматы. М.: Машиностроение, 1965. 115 с.
66. Нефедов А. П. Конструирование и изготовление штампов. М.: Машиностроение, 1973. 408 с.
67. Новые способы холодной штамповки/С. Б. Сапаровский, Е. П. Смеляков, А. Д. Комаров и др. Под ред. М. И. Разумихина. Куйбышев: Книжное издательство, 1969. 189 с.
68. Норицын И. А. Анализ операций осесимметричной вытяжки. — В кн.: Основы теории обработки металлов давлением. М.: Машгиз, 1959. 527 с.
69. Норицын И. А., Власов В. И. Автоматизация и механизация технологических процессовковки и штамповки. М.: Машиностроение, 1967. 388 с.
70. Норицын И. А., Шехтер В. Я., Мансуров А. М. Проектирование кузнечных и холодноштамповочных цехов и заводов. М.: Высшая школа, 1977. 424 с.
71. Обработка цветных металлов и сплавов давлением/В. В. Жолобов, К. Н. Богоявленский, М. Е. Зубцов и др. М.: Металлургия, 1964. 564 с.
72. Оникул Я. Е., Страшун К. З. Штамповка неметаллических материалов. Б-ка штамповщика. М.—Л.: Машгиз, 1955. 58 с.
73. Пихтовников Р. В., Завьялова В. И. Штамповка листового металла взрывом. М.: Машиностроение, 1964. 174 с.
74. Поляк С. М., Сорокин Б. В. Современные методы холодной штамповки. М.: Машгиз, 1950. 272 с.
75. Попов Е. А. Основы теории листовой штамповки. М.: Машиностроение, 1977. 278 с.
76. Ренне И. П. Пластический изгиб листовой заготовки. Изменение толщины листовой заготовки при чистом изгибе. М., 1950, с. 146—162 (Тр. ТМИ, вып. 4).
77. Ренне И. П. Анализ процесса вытяжки цилиндрических полых тел с утонением стенки. М., 1951, с. 111—151 (Тр. ТМИ, вып. 5).

78. **Ровинский Г. Н.** Штамповка крупногабаритных деталей в автомобильной промышленности. Б-ка штамповщика. М.—Л.: Машгиз, 1962. 82 с.
79. **Романовский В. П.** Справочник по холодной штамповке. Л.: Машиностроение, 1979. 520 с.
80. **Руднев Ю. М.** Механизация и автоматизация листовой штамповки. М.: Машиностроение, 1975. 134 с.
81. **Румянцев А. М., Руднев Ю. М.** Организация механизированной и автоматизированной сборки изделий. М.: ЦНИИТЭИН, 1961. 19 с.
82. **Свердлов М. И., Дагейльская Н. А.** Штамповка на прессах-автоматах. Б-ка штамповщика. М.—Л.: Машгиз, 1955. 66 с.
83. **Свердлов М. И.** Современная технология глубокой вытяжки металлов (обзор). Л.: ЛДНТП, 1958. 68 с.
84. **Северденко В. П., Пащенко В. С., Кособуцкий Б. С.** Листовая штамповка с ультразвуком. Минск: Наука и техника. 1975. 192 с.
85. **Сизов Е. С., Антонов Е. Н.** Гидростатическая глубокая вытяжка. — В кн.: Опыт разработки технологических процессов и проектирование штампов для глубокой вытяжки. Л.: ЛДНТП, 1972, с. 29—34.
86. **Скворцов Б. Н.** Основы конструирования штампов для холодной листовой штамповки. М.: Машиностроение, 1972. 387 с.
87. **Смирнов-Аляев Г. А., Вайнтрауб Д. А.** Холодная штамповка в приборостроении. М.—Л.: Машгиз, 1963. 435 с.
88. **Смирнов-Аляев Г. А., Чикидовский В. П.** Экспериментальные исследования в области обработки металлов давлением. Л.: Машиностроение, 1972. 360 с.
89. **Смирнов-Аляев Г. А.** Сопrotивление материалов пластическому деформированию. Л.: Машиностроение, 1978. 368 с.
90. **Сорокин Б. В.** Штампы для облицовочных деталей автомобиля. М.: Машгиз, 1951. 218 с.
91. **Степанов В. П., Шавров И. А.** Высокоэнергетические импульсные методы обработки металлов. Л.: Машиностроение, 1975. 278 с.
92. **Сторожев М. В., Попов Е. А.** Теория обработки металлов давлением. М.: Машиностроение, 1977. 424 с.
93. **Тимошенко С. П., Гудьер Д.** Теория упругости. Пер. с англ. М.: Наука, 1975. 576 с.
94. **Тимошенко В. А.** Обрезка полых заготовок в штампах. Кишинев: Штиинца, 1974. 72 с.
95. **Томленов А. Д.** Теория пластических деформаций металлов. М.: Металлургия, 1972. 408 с.
96. **Универсально-переналаживаемые штампы для поэлементной штамповки.** И. Я. Мовшович, Н. Д. Жолткевич, В. Л. Морин, В. И. Денисов. — Кузнечно-штамповочное производство, 1977, № 2, с. 25—29.
97. **Унксов Е. П.** Инженерные методы расчета усилий при обработке металлов давлением. М.: Машгиз, 1955. 280 с.
98. **Филиппов В. В., Шехтер В. Я., Оленев В. И.** Механизация и автоматизация листовой штамповки. М.: Машгиз, 1950. 186 с.
99. **Фридман Я. Б.** Механические свойства металлов. М.: Машиностроение, 1974. Ч. 1. Деформация и разрушение. 442 с.; Ч. 2. Механические испытания. Конструкционная прочность. 368 с.
100. **Хилл Р.** Математическая теория пластичности. М.: Гостехтеоретиздат, 1956. 407 с.
101. **Хмара С. М., Коломийцев А. А., Смолянинов В. П.** Определение требуемой толщины нижней плиты штампа. — Кузнечно-штамповочное производство, 1966, № 4, с. 20—21.
102. **Ходырев В. А.** Применение полиуретана в листоштамповочном производстве. Пермь: Книжное издательство, 1973. 218 с.
103. **Холодная штамповка в машиностроении.** Г. Н. Ровинский, С. В. Алабин, В. В. Филиппов и др. М.: Машгиз, 1954. 280 с.
104. **Целиков А. И.** Механизмы прокатных станов. М.: Машгиз, 1946. 270 с.
105. **Шевелев В. В., Яковлев С. П.** Анизотропия листовых материалов и ее влияние на вытяжку. М.: Машиностроение, 1972. 135 с.

106. **Шишков В. И.** Точная штамповка в приборостроении. Москва—Свердловск: Машгиз, 1960. 271 с.
107. **Шнейдер Ю. Г.** Холодная бесштамповая обработка металлов давлением. Л.: Машиностроение, 1967. 352 с.
108. **Штамповка** полых деталей эластичными средами и жидкостью/К. Н. Богоявленский, Н. Ф. Воронина, А. Н. Кобышев. — В кн.: Изготовление деталей пластическим деформированием. Л.: Машиностроение, 1975. 424 с.
109. **Шофман Л. А.** Теория и расчеты процессов холодной штамповки. М.: Машиностроение, 1964. 374 с.
110. **Шухов Ю. В., Еленев С. А.** Холодная штамповка. М.: Высшая школа, 1977. 208 с.
111. **Элер, Кайзер.** Вырубные, гибочные и вытяжные штампы. Пер. с нем. М.—Л.: Машгиз, 1961. 396 с.
112. **Marciniak Z.** Mechanika procesów tłoczenia blach. Warszawa, 1971. 271 S.
113. **Bogojawlensky K. N., Neubauer A., Ris V. W.** Technologie der Fertigung von Leicht bauprofilen. Leipzig: VEBverlag Grundstoff industrie, 1979. 566 S.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	3
Введение . . . . .	5

### *Раздел первый*

#### **КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ И ОПЕРАЦИЙ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ И ПРИМЕНЯЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

<i>Глава 1. Общие положения листовой штамповки . . . . .</i>	7
§ 1. Классификация процессов и операций листовой штамповки . . . . .	—
§ 2. Технологические возможности листовой штамповки . . . . .	9
<i>Глава 2. Материалы для листовой штамповки и методы их испытаний . . . . .</i>	11
§ 3. Характеристика листовых материалов и выбор их марок . . . . .	—
§ 4. Сортамент листовых материалов . . . . .	19
§ 5. Методы испытаний и определения механических и технологических свойств листовых материалов . . . . .	20

### *Раздел второй*

#### **РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ**

<i>Глава 3. Резка листового металла ножницами . . . . .</i>	31
§ 6. Резка листового металла ножницами с параллельными ножами . . . . .	—
§ 7. Резка листового металла ножницами с наклонными ножами (гилютинными ножницами) . . . . .	34
§ 8. Резка листового металла дисковыми ножницами . . . . .	39
<i>Глава 4. Резка (вырубка) листового металла штампами . . . . .</i>	44
§ 9. Характеристика операций группы резки — разделительных операций штампами . . . . .	—
§ 10. Деформация и напряжения в металле при резке—вырубке штампами . . . . .	46
§ 11. Усилие и затрачиваемая работа при вырубке штампами с параллельными (плоскими) режущими кромками . . . . .	51
§ 12. Вырубка листового металла штампами с наклонными режущими кромками . . . . .	59
§ 13. Усилия для проталкивания изделия и снятия материала с пуансона . . . . .	66
§ 14. Зазоры между матрицей и пуансоном при вырубке . . . . .	71
§ 15. Определение исполнительных — рабочих размеров пуансонов и матриц вырубных и пробивных штампов . . . . .	75
§ 16. Точность при вырубке и пробивке . . . . .	78
<i>Глава 5. Чистовая вырубка и пробивка. Зачистные операции . . . . .</i>	83
§ 17. Чистовая вырубка и пробивка . . . . .	—
§ 18. Зачистные операции. Зачистка снятием припуска . . . . .	90
<i>Глава 6. Раскрой листового материала при штамповке—вырубке . . . . .</i>	98
§ 19. Раскрой листового материала при вырубке деталей . . . . .	—
§ 20. Определение величины перемычки и расчет ширины полосы . . . . .	105

## Раздел третий

### ФОРМОИЗМЕНЯЮЩИЕ ОПЕРАЦИИ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

<i>Глава 7. Основные положения теории листовой штамповки для формоизменяющих операций</i> . . . . .	107
§ 21. Уравнения равновесия . . . . .	—
§ 22. Условия пластичности и уравнения связи между напряжениями и деформациями . . . . .	109
§ 23. Условие пластичности и соотношения между напряжениями и деформациями анизотропного листового металла . . . . .	111
<i>Глава 8. Гибка листового материала</i> . . . . .	114
§ 24. Характеристика гибочных операций и напряженно-деформированное состояние металла при гибке . . . . .	—
§ 25. Поле напряжений и деформаций при изгибе моментом . . . . .	117
§ 26. Пластический изгиб анизотропного листового металла . . . . .	123
§ 27. Определение изгибающего момента при гибке . . . . .	125
§ 28. Определение усилия и затрачиваемой работы при гибке . . . . .	128
§ 29. Пружинение детали после гибки . . . . .	132
§ 30. Установление положения нейтрального слоя и минимально допустимых радиусов гибки . . . . .	137
§ 31. Гибка с растяжением материала . . . . .	139
§ 32. Определение размеров заготовки при гибке . . . . .	141
§ 33. Конструктивные элементы гибочных штампов . . . . .	144
§ 34. Точность при гибке. Допуски на исполнительные—рабочие размеры пуансонов и матриц гибочных штампов . . . . .	146
<i>Глава 9. Процесс вытяжки листового материала</i> . . . . .	148
§ 35. Характеристика вытяжных операций . . . . .	—
§ 36. Напряженно-деформированное состояние металла при вытяжке полых тел . . . . .	151
<i>Глава 10. Определение усилия и затрачиваемой работы при вытяжке</i> . . . . .	154
§ 37. Напряжения и усилие при первой операции вытяжки с прижимом полых цилиндрических деталей без утонения . . . . .	—
§ 38. Напряжения и усилие при последующих операциях вытяжки полых цилиндрических деталей без утонения . . . . .	165
§ 39. Напряжения и усилие при вытяжке полых деталей коробчатой формы без утонения . . . . .	172
§ 40. Определение давления прижимного кольца . . . . .	173
§ 41. Напряжения и усилие при вытяжке полых цилиндрических деталей с утонением . . . . .	175
§ 42. Напряжения и усилие при вытяжке полых деталей из анизотропного листового металла . . . . .	178
§ 43. Определение затрачиваемой работы и скорости при вытяжке . . . . .	181
<i>Глава 11. Определение размеров и формы заготовки при вытяжке полых изделий</i> . . . . .	183
§ 44. Методы определения размеров заготовки при вытяжке полых тел вращения . . . . .	—
§ 45. Определение размеров и формы заготовки при вытяжке квадратных, прямоугольных коробок и деталей сложной конфигурации . . . . .	187
	427

<b>Глава 12. Определение числа операций и их последовательности при вытяжке . . . . .</b>	<b>191</b>
§ 46. Коэффициент вытяжки и зависимость его от основных факторов . . . . .	—
§ 47. Определение числа и последовательности операций при вытяжке цилиндрических деталей без утонения . . . . .	194
§ 48. Определение числа и последовательности переходов при многооперационной последовательной вытяжке в ленте . . . . .	198
§ 49. Определение числа и последовательности операций при вытяжке квадратных и прямоугольных коробок . . . . .	200
§ 50. Вытяжка полых деталей (тел вращения) сложной формы . . . . .	204
§ 51. Определение числа и последовательности операций при вытяжке цилиндрических деталей с утонением стенок . . . . .	207
<b>Глава 13. Конструктивные элементы вытяжных штампов. Точность при вытяжке и допуски на исполнительные — рабочие размеры вытяжных штампов . . . . .</b>	<b>211</b>
§ 52. Радиусы закругления рабочих кромок матриц и пуансонов . . . . .	—
§ 53. Зазоры между матрицей и пуансоном . . . . .	214
§ 54. Точность при вытяжке и допуски на исполнительные — рабочие размеры матриц и пуансонов вытяжных штампов . . . . .	216
<b>Глава 14. Особые способы вытяжки . . . . .</b>	<b>219</b>
§ 55. Вытяжка жестким или эластичным пуансоном в эластичной или жесткой матрице . . . . .	—
§ 56. Вытяжка полых деталей с подогревом фланца и с местным охлаждением заготовки . . . . .	225
§ 57. Другие способы интенсификации процесса вытяжки . . . . .	229
§ 58. Штамповка полых цилиндрических деталей с фланцем из квадратных и шестигранных заготовок. Многослойная вытяжка . . . . .	231
§ 59. Вытяжка и формовка методом растяжения металла — обтяжка . . . . .	233
<b>Глава 15. Вспомогательные операции, применяемые при вытяжке деталей из листового материала . . . . .</b>	<b>235</b>
§ 60. Смазка при вытяжке . . . . .	—
§ 61. Отжиг, травление и обезжиривание при вытяжке . . . . .	237
<b>Глава 16. Технология формовочных операций . . . . .</b>	<b>239</b>
§ 62. Правка. Рельефная формовка . . . . .	—
§ 63. Отбортовка . . . . .	241
§ 64. Формовка, обжим и раздача . . . . .	248

#### *Раздел четвертый*

### **КОМБИНИРОВАННЫЕ И ШТАМПО-СБОРОЧНЫЕ ОПЕРАЦИИ. РАЗЛИЧНЫЕ ВИДЫ ШТАМПОВКИ И ОБРАБОТКИ ЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА**

<b>Глава 17. Комбинированные и штампо-сборочные операции . . . . .</b>	<b>253</b>
§ 65. Комбинированная штамповка . . . . .	—
§ 66. Штампо-сборочные операции и штампо-сварные конструкции . . . . .	256
<b>Глава 18. Штамповка листовых деталей в мелкосерийном и опытно-производстве . . . . .</b>	<b>258</b>
§ 67. Штамповка резиной и полиуретаном . . . . .	—
§ 68. Групповые методы и штамповка листовых деталей по элементам . . . . .	264

§ 69. Высокэнергетические — импульсные методы штамповки листового металла . . . . .	269
§ 70. Штамповка с ультразвуком . . . . .	279
<b>Глава 19. Различные виды обработки листового материала в холодном состоянии . . . . .</b>	<b>280</b>
§ 71. Гибка листового материала, зиговочные и профилегибочные операции . . . . .	—
§ 72. Штамповка деталей на падающих молотах . . . . .	284
§ 73. Давильные и давяльно-раскатные операции . . . . .	286
§ 74. Накатка резьбы на полых изделиях . . . . .	293
§ 75. Штамповка мембран и фольгонов . . . . .	294
<b>Глава 20. Штамповка неметаллических материалов . . . . .</b>	<b>294</b>
§ 76. Неметаллические материалы, применяемые при штамповке . . . . .	—
§ 77. Вырезка неметаллических материалов . . . . .	295
§ 78. Гибка неметаллических материалов . . . . .	298
§ 79. Вытяжка и формовка неметаллических материалов . . . . .	—
<b>Глава 21. Горячая листовая штамповка . . . . .</b>	<b>299</b>
§ 80. Особенности горячей штамповки листового металла . . . . .	—
§ 81. Схема процесса горячей листовой штамповки и чертеж заготовки . . . . .	300
§ 82. Температурный режим, способы нагрева и выбор оборудования для горячей листовой штамповки . . . . .	302

### *Раздел пятый*

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ И МЕТОДЫ ИХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

<b>Глава 22. Технологичность штампуемых листовых деталей . . . . .</b>	<b>304</b>
§ 83. Конструктивные и технологические требования к деталям, получаемым при помощи разделительных операций . . . . .	—
§ 84. Конструктивные и технологические требования к деталям, получаемым при помощи формоизменяющих операций . . . . .	305
<b>Глава 23. Методы проектирования и составления технологических процессов листовой штамповки . . . . .</b>	<b>308</b>
§ 85. Проектирование маршрутной технологии и выбор оборудования . . . . .	—
§ 86. Техническое нормирование работ и определение технологической себестоимости штампуемой детали . . . . .	310
§ 87. Технологическая документация при листовой штамповке . . . . .	314
§ 88. Автоматизация технологической подготовки листоштамповочного производства и прогнозирование . . . . .	317

### *Раздел шестой*

## **ШТАМПЫ ДЛЯ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ, МЕТОДЫ ИХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАСЧЕТЫ ОСНОВНЫХ ДЕТАЛЕЙ НА ПРОЧНОСТЬ**

<b>Глава 24. Штампы для резки — разделительные штампы . . . . .</b>	<b>319</b>
§ 89. Классификация разделительных штампов . . . . .	—
§ 90. Вырубные штампы простого действия . . . . .	320
§ 91. Вырубные штампы последовательного действия . . . . .	323

§ 92. Вырубные штампы совмещенного действия . . . . .	325
§ 93. Пробивные штампы . . . . .	329
§ 94. Обрезные штампы . . . . .	332
§ 95. Зачистные штампы. Штампы для чистовой вырубки. Смазка при разделительных операциях . . . . .	333
§ 96. Штампы для вырезки деталей из неметаллических материалов . . . . .	337
<b>Глава 25. Гибочные штампы . . . . .</b>	<b>339</b>
§ 97. Типовые конструкции простых гибочных штампов . . . . .	—
§ 98. Сложногибочные штампы постоянного действия . . . . .	341
§ 99. Комбинированные гибочные штампы последовательного действия. Смазка при гибке . . . . .	344
<b>Глава 26. Вытяжные штампы . . . . .</b>	<b>346</b>
§ 100. Вытяжные штампы для первой операции . . . . .	—
§ 101. Вытяжные штампы для последующих операций . . . . .	351
§ 102. Вытяжные штампы к прессам двойного действия для изготовления крупных деталей . . . . .	353
§ 103. Комбинированные вытяжные штампы последовательного действия . . . . .	354
§ 104. Комбинированные вытяжные штампы совмещенного действия . . . . .	355
§ 105. Штампы для вытяжки с утонением материала . . . . .	356
<b>Глава 27. Штампы для формовочных операций . . . . .</b>	<b>358</b>
§ 106. Штампы для правки и рельефной формовки . . . . .	—
§ 107. Отбортовочные и формовочные штампы . . . . .	360
§ 108. Штампы для обжима . . . . .	363
§ 109. Штампы для раздачи . . . . .	364
<b>Глава 28. Штампы для мелкосерийного и опытного производств . . . . .</b>	<b>365</b>
§ 110. Упрощенные штампы . . . . .	—
§ 111. Универсальные штампы и блоки . . . . .	368
<b>Глава 29. Материалы, применяемые для изготовления деталей штампов, и их термическая обработка. Стойкость штампов . . . . .</b>	<b>378</b>
§ 112. Материалы штампов для разделительных операций и их термическая обработка . . . . .	—
§ 113. Материалы штампов для формоизменяющих операций из листового материала и их термическая обработка . . . . .	380
§ 114. Стойкость штампов, применяемых для листовой штамповки . . . . .	—
<b>Глава 30. Методы проектирования, расчеты и проверка основных деталей штампов на прочность . . . . .</b>	<b>383</b>
§ 115. Порядок и этапы проектирования штампов . . . . .	—
§ 116. Скоростное и автоматизированное проектирование штампов . . . . .	384
§ 117. Центр давления штампа и его определение . . . . .	385
§ 118. Расчеты и проверка основных деталей штампов на прочность . . . . .	389
§ 119. Буферные устройства для штампов и их расчет . . . . .	394

*Раздел седьмой*

**МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ.  
АВТОМАТИЧЕСКИЕ РОТОРНЫЕ ЛИНИИ И ПРОМЫШЛЕННЫЕ  
РОБОТЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКЕ**

<i>Глава 31. Механизация и автоматизация процессов листовой штамповки</i>	403
§ 120. Устройства к штампам для автоматической подачи материала и полуфабриката — штучных заготовок. Штампы-автоматы . . . . .	—
§ 121. Устройства для автоматического сбрасывания отштампованных изделий . . . . .	404
§ 122. Устройства к прессам для автоматической подачи материала и полуфабриката — штучных заготовок . . . . .	406
§ 123. Комбинированные подачи. Автоматические штамповочные линии и участки . . . . .	415
<i>Глава 32. Автоматические роторные линии и промышленные роботы, применяемые при листовой штамповке</i> . . . . .	417
§ 124. Автоматические роторные линии . . . . .	—
§ 125. Промышленные роботы . . . . .	418
Список литературы . . . . .	421

ИБ № 2154

Михаил Ефимович **Зубцов**

### ЛИСТОВАЯ ШТАМПОВКА

Редактор *Н. З. Симоновский*  
Художественный редактор *С. С. Венедиктов*  
Технический редактор *Т. Н. Витошинская*  
Переплет художника *С. И. Зиначева*  
Корректоры *Т. Н. Гринчук* и *И. Г. Жукова*

Сдано в набор 24.04.80. Подписано в печать 13.11.80. М-28898. Формат 60×90/16.  
Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая.  
Усл. печ. л. 27,0. Уч.-изд. л. 27,81. Тираж 25 000 экз. Заказ 156. Цена 1 р. 20 к.  
Ленинградское отделение издательства «Машиностроение», 191065, Ленинград, Д-65,  
ул. Дзержинского, 10

Ленинградская типография № 6 ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского  
объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при  
Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.  
193144, Ленинград, ул. Моисеенко, 10