

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**  
**Белорусский национальный технический университет**  
**Кафедра «Машины и технология обработки металлов давлением»**

**ЭЛЕКТРОННЫЙ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС  
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

**ТЕХНОЛОГИЯ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ**

для специальности

1-36 01 05 «Машины и технология обработки материалов давлением»

**Минск ◊ БНТУ ◊ 2022**

**Составители:** В.А. Томило, Ю.А. Костюченко, А.Н. Боярчук, А.С. Липницкий

### **Перечень материалов**

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) по дисциплине «Технология листовой штамповки» содержит учебную программу учебной дисциплины, материалы для теоретического и практического изучения учебной дисциплины, представленные конспектом лекций и лабораторным практикумом, контрольные вопросы к экзамену, перечень основной и дополнительной литературы.

### **Пояснительная записка**

*Цели УМК* – самостоятельная теоретическая и практическая подготовка, направленная на изучение студентами основ технологии листовой штамповки.

#### *Особенности структурирования и подачи учебного материала*

Структурно ЭУМК по дисциплине «Технология листовой штамповки» состоит из учебной программы дисциплины, теоретического раздела, лабораторных работ и раздела контроля знаний.

Теоретический раздел содержит основной конспект лекций учебной дисциплины. В лекционном материале рассматриваются вопросы, направленные на изучение особенностей операций и технологических процессов листовой штамповки, методов решения прикладных задач обработки давлением листовых материалов.

Раздел лабораторных работ направлен на изучение и исследование факторов, оказывающих влияние на сопротивление деформированию, пластичность и формоизменение заготовок.

Раздел контроля знаний, включает в себя вопросы к экзамену и контрольную работу.

*Рекомендации по организации работы с ЭУМК* – рекомендуется изучить теоретический раздел по темам, затем выполнить необходимую подготовку для выполнения лабораторных работ, проработать контрольные вопросы.

## Содержание

Теоретический раздел.....	7
Конспект лекций .....	7
1. ВВЕДЕНИЕ. ОСНОВНЫЕ ОПЕРАЦИИ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ....	7
1.1. Введение .....	7
1.2. Основные операции в листовой штамповке .....	8
1.2.1. Принцип штамповки.....	8
1.2.2 Основные операции листовой штамповки .....	9
2. МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКЕ И ИХ КОНТРОЛЬ.....	12
2.1. Требования к материалам .....	12
2.2. Материалы, применяемые для штамповки. Листовой прокат. Сортамент	12
2.3. Контроль и испытания штампуемых материалов.....	16
3. ОТРЕЗКА ЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА НА НОЖНИЦАХ.....	18
3.1. Типы ножниц и область их применения.....	18
3.2. Схема отрезки на ножницах с параллельными режущими кромками ..	19
3.3. Зазор между ножами.....	21
3.4. Усилие резания и подбор ножниц .....	21
3.5. Работа резания. Мощность резания .....	23
3.6. Резание на ножницах с наклонной режущей кромкой.....	24
3.7. Минимальный угол створа и ход ножей .....	25
3.8. Усилие и работа отрезки .....	26
4. ОТРЕЗКА ЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА НА ДИСКОВЫХ НОЖНИЦАХ И ШТАМПАХ .....	27
4.1. Резание на дисковых ножницах.....	27
4.1.1. Схема резания, усилие.....	27
4.1.2. Геометрия ножей.....	28
4.1.3. Перекрытие ножей, угол створа, диаметр роликов.....	29
4.1.4. Минимальный радиус кривизны .....	29
4.1.5. Типы дисковых ножниц .....	30
4.2 Другие виды резания материалов.....	30
4.2.1 Резание вибрационными ножницами .....	30
4.2.2 Отрезка на штампах.....	30

5. РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ .....	32
5.1. Вырубка и пробивка листового материала на штампах .....	32
5.2. Усилие при вырубке, пробивке .....	34
5.2.1. Способы снижения усилий вырубки (пробивки) .....	35
5.3. Минимальный диаметр пробиваемого (вырезаемого) контура .....	38
5.4. Зазор между матрицей и пуансоном .....	39
5.5. Конструкция режущих частей матриц и пуансонов.....	42
6 ВЫРУБКА И ПРОБИВКА РЕЗИНОЙ. ЗАЧИСТКА. ЧИСТОВАЯ ВЫРУБКА.....	44
6.1. Вырезание и пробивание резиной .....	44
6.2. Зачистка (калибровка) .....	46
6.3. Чистовая вырезка и пробивка .....	48
7. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ШТАМПОВКИ.....	50
7.1. Определение исполнительных размеров инструмента при вырезании и пробивке.....	50
Толщина штампуемого материала .....	53
7.2. Определение размеров инструмента при вырезании и пробивании изделий сложного контура.....	53
8. РАСКРОЙ МАТЕРИАЛА .....	56
8.1. Раскрой материала .....	56
8.2. Определение величины перемычки .....	58
8.3. Определение наиболее выгодного раскроя, шага подачи и ширины полосы .....	60
8.4. Раскрой листа на полосы.....	63
8.5. Графоаналитический способ определения оптимального раскроя .....	65
9. ФОРМОИЗМЕНЯЮЩИЕ ОПЕРАЦИИ. ГИБКА.....	73
9.1. Гибка. Виды и способы гибки. Схема напряженного состояния.....	73
9.2. Величина напряжений при гибке .....	75
9.3. Положение нейтрального слоя .....	78
9.4. Определение минимального допустимого радиуса гиба.....	79
10. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ОПЕРАЦИИ ГИБКИ.....	81
10.1. Определение размеров заготовки при гибке.....	81
10.2. Выбор параметров гибочных штампов.....	82
10.3. Упругое пружинение при гибке .....	84
10.4. Усилие гибки .....	87

11	ОДНООПЕРАЦИОННАЯ ВЫТЯЖКА .....	92
11.1.	Виды вытяжки .....	92
11.2.	Напряженно-деформированное состояние.....	95
12.	ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ОПЕРАЦИИ ВЫТЯЖКИ .....	99
12.1.	Определение размеров и формы заготовки для вытяжки полых тел вращения .....	99
12.2.	Определение размеров и формы заготовки при вытяжке квадратных и прямоугольных коробок.....	103
12.3.	Определение числа операций и их последовательности при вытяжке .....	106
13.	МНОГООПЕРАЦИОННАЯ ВЫТЯЖКА .....	110
13.1.	Формоизменение заготовки. ....	110
13.2.	Расчет количества операций, геометрических параметров заготовки и инструмента.....	116
14.	ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ МНОГООПЕРАЦИОННОЙ ВЫТЯЖКИ .....	119
14.1.	Расчет силовых параметров .....	119
14.2.	Точность изделий получаемых многооперационной вытяжкой.....	122
15.	ДРУГИЕ ВИДЫ ВЫТЯЖКИ .....	126
15.1.	Вытяжка в ленте.....	126
15.1.1.	Предельные коэффициенты вытяжки в ленте .....	128
15.2.	Вытяжка тел вращения сложной формы .....	130
15.2.1.	Вытяжка конических деталей.....	131
15.2.2.	Вытяжка тел ступенчатой формы .....	132
15.3.	Вытяжка полых деталей с подогревом фланца.....	133
16.	ВЫТЯЖКА С УТОНЕНИЕМ СТЕНКИ .....	135
16.1.	Вытяжка с утонением стенки.....	135
16.1.1.	Напряжения и усилия вытяжки с утонением стенки .....	137
16.1.2.	Предельная степень вытяжки .....	139
16.1.3.	Определение числа переходов.....	139
17.	ПРОЧИЕ ФОРМОИЗМЕНЯЮЩИЕ ОПЕРАЦИИ .....	142
17.1.	Отбортовка.....	142
17.1.1.	Напряжения и деформации.....	142
17.1.2.	Коэффициент отбортовки .....	144
17.1.3.	Размеры отверстия под отбортовку и борта .....	145

17.2. Обжим .....	145
17.2.1. Напряжения и деформации при обжиге. Усилие обжима .....	147
17.3. Правка (рихтовка) .....	148
17.4. Чеканка .....	149
18. ШТАМПЫ ДЛЯ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ .....	151
18.1. Штампы и их детали .....	151
18.2. Классификация деталей штампов .....	152
18.2.1. Детали штампов .....	152
18.2.2. Стойкость штампов .....	167
Практический раздел .....	169
19. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ .....	169
19.1. Определение пригодности листового металла к вытяжке .....	169
19.2. Исследование процесса вырубki листового металла в штампах .....	170
19.3. Изучение явления пружинения при гибке .....	173
19.4. Определение минимального радиуса изгиба листовых заготовок ....	176
19.5. Определение минимального коэффициента вытяжки цилиндрических деталей .....	177
19.6. Изучение процесса многопереходной вытяжки без прижима .....	181
19.7. Изучение процесса вытяжки с утонением стенок .....	183
19.8. Изучение устройства штампа для вырубki и пробивки .....	185
Вспомогательный раздел .....	192
Учебная программа дисциплины .....	192
Контроль знаний .....	223
Контрольные вопросы .....	223

## Теоретический раздел Конспект лекций

### 1. ВВЕДЕНИЕ. ОСНОВНЫЕ ОПЕРАЦИИ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

#### 1.1. Введение

Одним из основных методов обработки металлов в современном машиностроении является листовая штамповка. Получаемые с ее помощью детали имеют форму и размеры, соответствующие форме и размерам рабочих частей штампов.

Листовая штамповка получило широкое применение во всех отраслях промышленности: общем машиностроении, приборостроении, авиа- и автопромышленности. Так в современном автомобиле содержится около 70–80 % штампованных деталей, в самолете до 75–80 %, а в ряде производств широкое потребление количество штампованных деталей достигает (по количеству) 95–98 %.

Основными преимуществами листовой штамповки являются:

- достижение экономии используемого материала и снижение себестоимости изделий за счет применения рациональных видов раскроя. Фактор экономии материала при листовой штамповке достаточно велик, поскольку стоимость материала составляет 75–85 % от общей стоимости детали и только 15–20 % падает на заработанную плату и накладные расходы 30–40 %;
- выполнение операций листовой штамповки рабочим, не имеющим высокой квалификации, – работа штамповщика связана с простыми движениями;
- получение достаточно сложных деталей за один два хода на быстроходных прессах;
- получение весьма сложных по форме деталей, которые затруднительно или вообще нельзя изготовить другими способами обработки;
- обеспечение точности размеров деталей в пределах 6–12 квалитетов;
- повышение прочности штампованных деталей за счет упрочнения на 40–80 % по сравнению с прочностью исходного материала;
- возможность широкой механизации и автоматизации процессов листовой штамповки.

В целом, перечисленные преимущества позволяют при замене литых и кованных деталей листоштампованными, снизить массу деталей на 25–50 %, уменьшить расход металла на 30–70 % и снизить трудоемкость до 50–80 %.

Однако листовой штамповке присущи и недостатки, основными из которых являются высокая стоимость штампов. Несмотря на снижение, последние годы стоимость штампов составляет пока 15–20 % от стоимости продукции.

Современное развитие листовой штамповки осуществляется по следующим направлениям:

- замена литых кованных деталей на штампованные или штамповсварные;

- улучшение существующих и создание новых технологических процессов;
- применение штамповки в мелкосерийном производстве с использованием универсальных штампов и поэлементной штамповки;
- снижение расхода металла за счет внедрения безотходного и малоотходного раскроя, повышение точности расчета заготовок и т.д.;
- повышение точности деталей;
- увеличение производительности за счет механизации и автоматизации процессов штамповки;
- повышение стойкости штампов за счет внедрения твердых сплавов, износостойкости сталей и нормализации деталей штампов.

## 1.2. Основные операции в листовой штамповке

### 1.2.1. Принцип штамповки

Процесс штамповки производится в штампах, состоящих из двух частей (рис. 1.1).

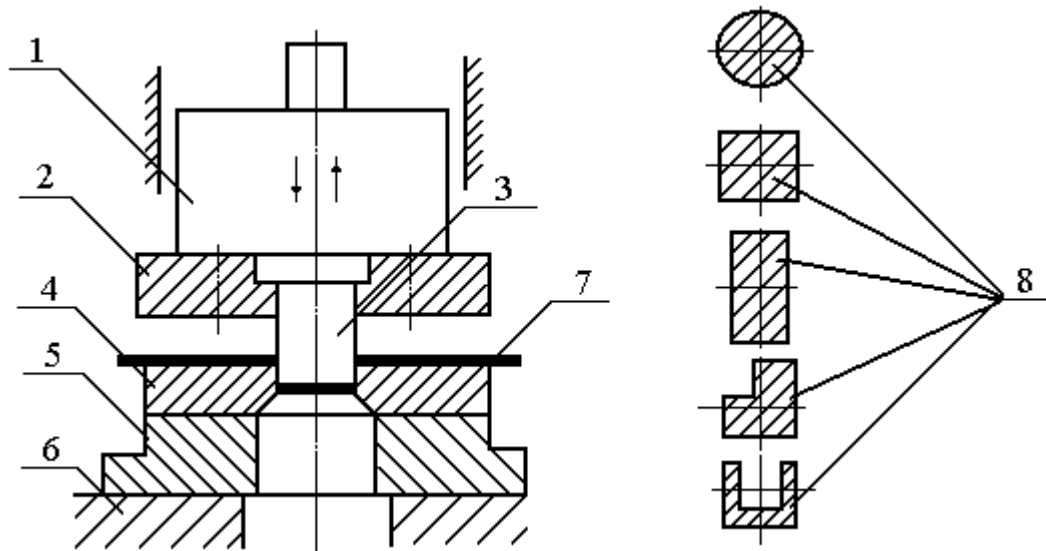


Рис.1.1. Схема штампа для холодной штамповки

К ползуну пресса 1 крепится верхняя часть штампа, представляемая собой верхнюю плиту и пуансодержатель 2 с рабочим инструментом – пуансоном 3. Верхняя плита крепится к ползуну пресса хвостовиком или болтами. Нижняя часть штампа – это нижняя плита 5 с расположенной на ней матрицей 4 и устанавливаемая на столе пресса 6. Обрабатываемый материал 7 укладывается на матрицу. При опускании ползуна пресса пуансон воздействует на материал, и часть его проталкивает в матрицу. При этом материал претерпевает деформации и принимает форму и размеры матрицы или же разделяется на части.

Другие виды штампов, используются в листовой штамповке, а также подробное описание их конструкций и деталей будем разобрано ниже.



### 1.2.2 Основные операции листовой штамповки

Все операции листовой штамповки, в зависимости от степени деформации и характера, действующих на материал сил, разделяют на две группы:

- а) разделительные операции;
- б) формоизменяющие операции.

При разделительных операциях пластическая деформация металла завершается хрупким состоянием материала, и отделение одной его части от другой. В этом случае значительные пластические деформации распределены по контуру, в то время как остальная часть материала или совсем не испытывает напряжений и деформаций, или испытывает, но небольшие по величине.

При формоизменяющих операциях процесс штамповки все время сопровождается пластической деформацией, соизмеримой с размерами тела. Вследствие этого деформация не завершается хрупким состоянием материала, а последний принимает форму и размеры рабочих частей штампа.

В соответствии с ГОСТ 18970-84 к разделительным относятся следующие операции:

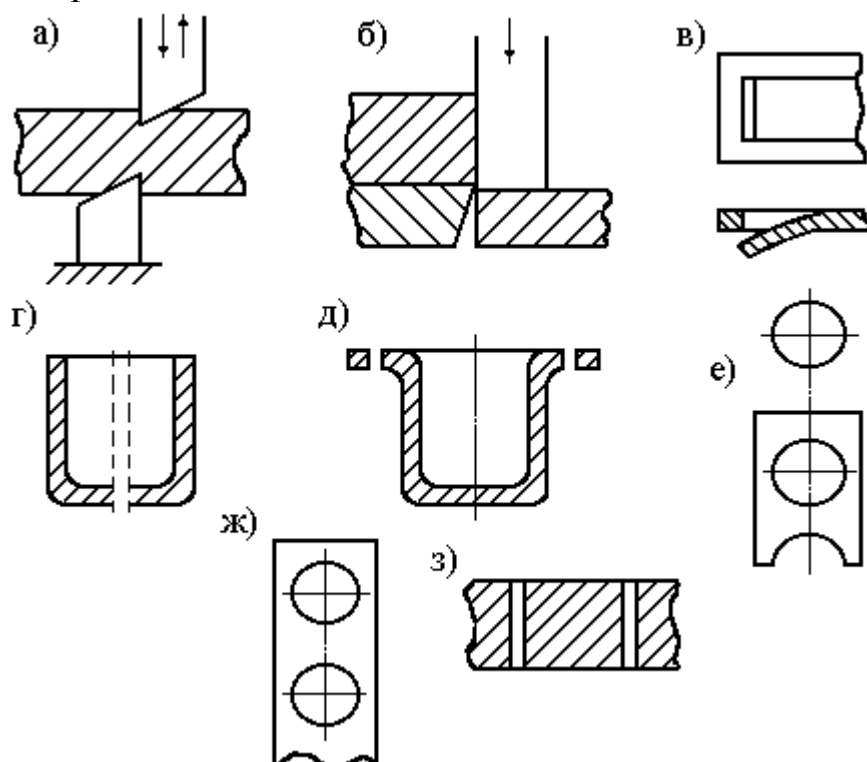


Рис. 1.2. Разделительные операции

Отрезка – полное отделение части заготовки по незамкнутому контуру путем сдвига. Операция осуществляется на ножницах или в штампах, причем отрезанная часть материала может быть изделием (заготовкой) или отходом (рис. 1.2, а,б).

Надрезка – неполное отделение материала по незамкнутому контуру без удаления остатков (рис. 1.2, в).

Разрезка – разделение заготовки на части по незамкнутому контуру путем сдвига (рис. 1.2, г).

Обрезка – удаление излишков металла путем сдвига (1.2, д).

Вырубка – полное отделение заготовки или изделия от исходно заготовки по замкнутому контуру путем сдвига (1.2, е).

Пробивка – образование в заготовке отверстия паза путем сдвига с удалением части металла в отход (1.2, ж).

Зачистка – удаление технологических припусков с помощью штампа с образование стружки для повышения точности размеров и уменьшения шероховатостей поверхности штампованной заготовки (1.2, з).

В соответствии с ГОСТ 18970-84 к формоизменяющим операциям относятся:

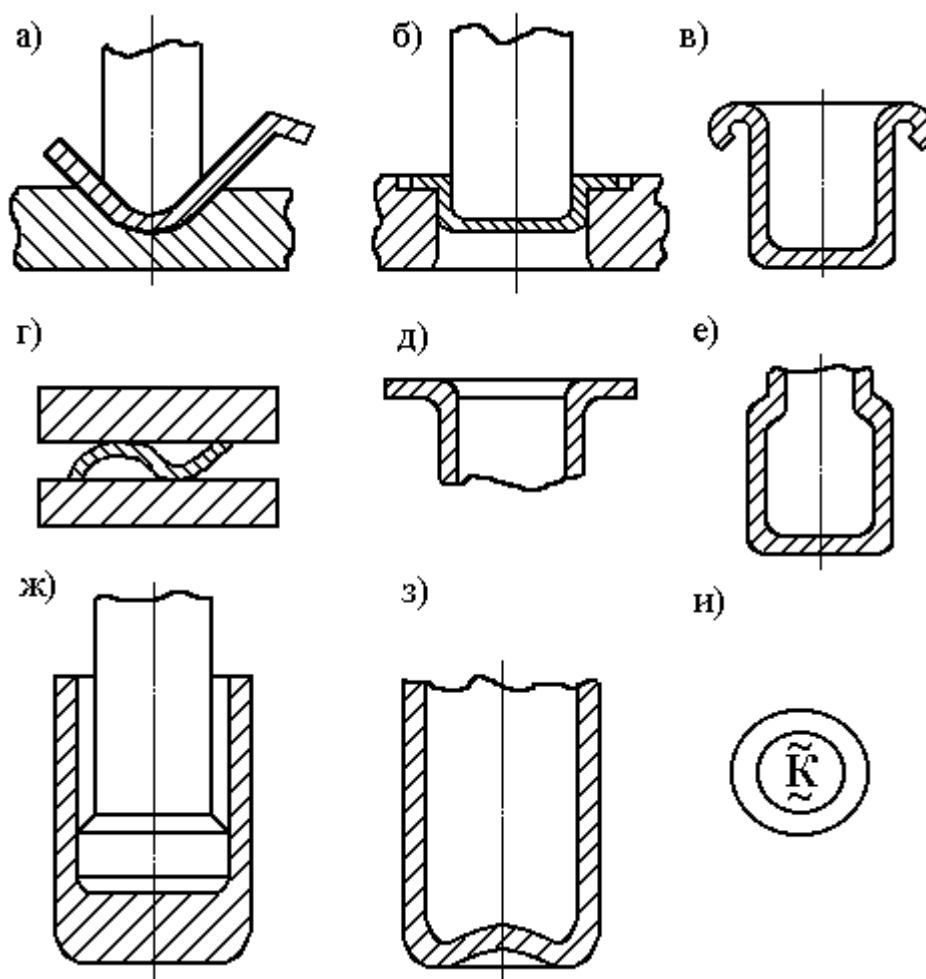


Рис. 1.3. Формоизменяющие операции

Гибка – образование или изменение углов между частями заготовки или придании ей криволинейной формы (рис. 1.3, а).

Вытяжка – образование полой заготовки или изделия из плоской или полой исходной листовой заготовки (рис. 1.3, б).

Закатка – образование закругленных бортов на краях полой заготовки (рис. 1.3, в).

Правка давлением – устранения искажений формы заготовки (рис. 1.3, г).

Отбортовка – образование борта по внутреннему и (или) наружному контуру заготовки (рис. 1.3, д).

Обжим в штампе – уменьшение размеров поперечного сечения части полой заготовки путем одновременного воздействия инструмента по всему ее периметру (рис. 1.3, е).

Выдавливание – штамповка заготовки вытеснением металла исходной заготовки в полость и (или) отверстия ручья штампа (рис. 1.3, ж).

Формовка - изменение формы детали с целью получения профиля или точных размеров за счет линейного растяжения материала или изменение его геометрической формы (рис. 1.3, з).

Чеканка – образование на поверхности заготовки рельефных изображений за счет перераспределения металла (рис. 1.3, и).

Производными от некоторых основных разделительных и формоизменяющих операций являются: чистовая вырубка и пробивка, происходящие в условиях неравномерного сжатия в зоне разделения материала, ротационная вытяжка, осуществляемая при относительном вращении инструмента заготовки; комбинированная вытяжка плоской или вытянутой заготовки, выполняемая с одновременным уменьшением диаметра и толщина стенок полой заготовкой; осадка обкатыванием с помощью непрерывно вращающегося инструмента относительно двух пересекающихся осей и накатка- образование на заготовке резьбы или мелких рифлений непрерывным воздействием инструмента.

Кроме этих основных видов операций штамповки применяются комбинированная, последовательная, совмещенная или последовательная штамповка. В этом случае в штампе выполняются несколько операций. Комбинированная штамповка осуществляется в многопереходных штампах и позволяют радикально решить вопрос механизации и автоматизации штамповки.

## 2. МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКЕ И ИХ КОНТРОЛЬ

### 2.1. Требования к материалам

В листовой штамповке применяются разнообразные материалы – металлы, и их сплавы и неметаллические материалы с различными свойствами, формой и размерами. Вид материала выбирается в зависимости от назначения штампуемой детали, требования к ней и способа штамповки. Формы и размеры исходного материала определяются размерами детали, технологией штамповки, оборудованием и конструкцией штампа. При выборе материала для штамповки следует учитывать основные требования:

- 1) конструктивно-эксплуатационные, т.е. пригодность материала, исходя из требований к заданной детали, требований к ней и условий ее эксплуатации;
- 2) технологические свойства материала, т.е. способность его к данному виду штамповки;
- 3) экономические требования – стоимость материала.

### 2.2. Материалы, применяемые для штамповки. Листовой прокат. Сортамент

Наибольшее применение имеют:

- 1) сталь различных сортов и марок;
- 2) медь и ее сплавы;
- 3) алюминий и его сплавы;
- 4) магний и его сплавы;
- 5) цинк;
- 6) титан, кобальт, вольфрам, никель, молибден, тантал и их сплавы;
- 7) благородные металлы – золото, серебро;
- 8) неметаллические материалы.

По промышленному значению и количеству, потребляемому при штамповке, наибольшее применение имеет сталь. Используется, главным образом, различные сорта малоуглеродистой листовой и полосовой стали, обладающие высокими пластическими свойствами. Также применяется углеродистая и легированная конструкционная сталь с содержанием углерода до 0,5–0,6 %.

Сталь листовая углеродистая качественная и обыкновенного качества общего назначения регламентируется ГОСТ 19904-74 толщиной до 3,9 мм шириною не менее 500 мм. Поставляется в листах и рулонах и может быть как горячекатаная, так и холоднокатаная. Имеет подразделения на группы: Г – глубокая и группа Н – нормальная.

В зависимости о состояния поверхности, качественная листовая сталь разделяется на 4 группы: I – особой отделки, II – высокой отделки, III – повышенной отделки и IV – нормальной отделки.

Листы I и II изготавливаются холоднокатаными, III группы холодно- и горячекатаными и IV группы – горячекатаными.

Листовая углеродистая сталь поставляется тремя группами:

группа А – поставляется по механическим свойствам : ст 0, ст 1, ст 2, ст 3, ст 5, ст 6, ст 7;

группа Б – поставляется по химическому составу: мартеновская – М ст 0, М ст 1 кп, М ст 2 кп, М ст 3 кп, М ст 3, М ст 4 кп, М ст 4, 5, 6, 7; бессемеровская – Б ст 0, Б ст 3 кп, Б ст 4 кп, Б ст 5,6 и 6;

группа В – сталь поставляемая по механическим свойствам с дополнительным требованием по химическому составу – В ст 2 кп, В ст 3 кп, В ст 3, В ст 4 кп, В ст 4, В ст 5.

Пример условного обозначения холоднокатаного листа из стали 20:

$$\text{Лист } x/\kappa \frac{Б1,0 \cdot 1000 \cdot 2000 \text{ГОСТ}19904-74}{5-III-Г-20 \text{ГОСТ}1577-81}.$$

Это лист с размерами 1,0\*1000\*2000 мм с допуском по толщине по классу Б, 5 категории по нормируемым характеристикам, III группы отделки поверхности, глубокой вытяжки.

Листовая углеродистая, качественная сталь марок 05 кп, 08 кп, 08 пс, 10 кп, 10, 15 кп, 15, 20 кп, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, а также листовая углеродистая качественная сталь конструкционного назначения толщиной по 4 мм применяется в авто- и тракторостроения, приборостроения. Легко поддаются формоизменения с большими деформациями (вытяжка, формовка).

Важной технологической характеристикой тонколистовой качественной стали является величина зерен феррита, что особо важно для глубокой вытяжки. Величина зерна определяется по балам (10-бальная шкала) по ГОСТ 5639-65 (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Вид листа	05 кп, 08 кп, 10 кп	08 пс, 15 кп, 20 кп, 20 кп, 10, 15, 20	05 кп, 08 кп, 10 кп, 10, 15, 15 кп, 20 кп, 20
	Балл зерна феррита		
Холоднокатаный	6, 7, 8	6, 7, 8, 9	5, 6, 7, 8, 9
Горячекатаный	5, 6, 7, 8	5, 6, 7, 8, 9	5, 6, 7, 8, 8, 9, 10

Сталь толстолистовая, широкополосная универсальная из углеродистой стали общего назначения регламентируется ГОСТ 14637-69. Выпускается толщиной от 4 до 160 мм в виде листов, рулонов и универсальной полосы (4–12 мм – рулоны; 6–60 мм – полосы).

Сталь тонколистовая, конструктивная низколегированная поставляется в соответствии с ГОСТ 17066-80 толщиной от 0,5 до 3,9 в рулонах и листах, как холодно- так и горячекатаная (марки 12 гс, 14 хгс, 10 хснд и др.).

Сталь тонколистовая, конструктивная легированная высококачественная, специального назначения (ГОСТ 11268-76).

Поставляется в листах холодно- и горячекатаной, толщиной до 3,9 мм (марка 25ХГСА, 12Х2НВФА, 21Х2НМФА и др.).

Сталь тонколистовая, широкополосная, универсальная комбинированная, легированная высококачественная специального назначения (ГОСТ 11269-76). Толщина листов от 4 до 10 мм (холодно- и горячекатаная). Полосы – горячекатаные толщиной от 6 до 40 мм (марки 12ХГСА, 12Х2НМФА, 21Х2НМФА и др.).

Сталь сортовая коррозионностойкая, жаропрочная и жаростойкая (ГОСТ 24982-81), горячекатаная толщиной менее 2,0 мм и 11-22 мм, и холоднокатаная толщиной от 0,8 до 3,9 мм (марки стали ХН38ВТ, ХН78Т, ХН58В и др.).

Сталь сортовая электротехническая, нелегированная (ГОСТ 11036-75) марок 10864, 10895, 11864, 21895 и др. для магнитных цепей электрических аппаратов и приборов (листы и круг).

Цветные металлы и сплавы. В штамповке большое применение имеют цветные металлы и сплавы, главным образом медно-цинковые.

Медные листы и ленты М1, М2 и М3 изготавливаются холоднокатаными и горячекатаными и могут быть мягкими и твердыми. Наибольшее применение имеют медноцинковые сплавы Л90 – томпак, Л80 – полутомпак, Л54, Л63 и Л68 – латуни. Сплавы обладают высокой пластичностью и штампуемостью. Листы и ленты бывают мягкими, полутвердыми и твердыми.

Применяются также сплавы меди с оловом, никелем, алюминием – бронзы (Бр ОЦ4, Бр ОФ6, 5-2,5 и др.) – для штамповки пружин электротехнических приборов и др. Бронзы, однако, имеют низкую штампуемость и сильно нагартовываются.

Листовой цинк – Ц1, Ц2, Ц3, Ц4.

Алюминий и его сплавы: А1, А2, А3, АД, АД1, Д1, Д6, Д16.

Магнитно-марганцевые сплавы – АМ1, АМ8, АМг6М, АМг5М и др. – имеют низкую штампуемость, штампуются с подогревом до 340-380 °.

Титан и его сплавы имеют малый удельный вес и большую прочность. Применяются марки сплавов ВТ1-1, ВТ1-2, ВТ1-5. Штампуются из-за низкой пластичностью в холодном состоянии, с подогревом до 400-540 °.

Никель марок Н1, Н2, Н3. Никелевые сплавы НВ81 (мельхиор), НМЦ65-20 (нейзильбер), НМЖМЦ28-2,5-1,5 (монель-металл) – имеют высокую прочность и высокую пластичность.

Вольфрам, тантал, молибден, ниобий – относятся к одной группе тугоплавких металлов, имеют невысокую пластичность и штампуются с подогревом до 350-450 °. Штамповка затруднена ввиду их сильного налипания на инструмент и значительной нагартовки.

Из неметаллических материалов наибольшее применение имеют:

– электроизоляционный картон (ГОСТ 2824-75Е и 4194-85), прокладочный (ГОСТ 9347-74) и др. виды;

– фибра – листовая (ГОСТ 14613-63Е), толщиной от 0,8 до 12 мм;

– гетинакс (ГОСТ 2718-74) – листовой пластик на основе бумаги;

– пластмассы (термореактивные и термопласты) – полиэтилен (ГОСТ 16338-70); полистирол, полипропилен, пенопласт, фторопласт, винипласт (ГОСТ 9639-71), стекло органическое конструкционное (ГОСТ 15809-70Е), целлулоид (ГОСТ 21228-75), резина листовая (ГОСТ 7338-77), эбонит (ГОСТ 2748-77), текстолит конструкционный (ГОСТ 5-78), кожа техническая (ГОСТ 20836-750).

Механические свойства штампуемых металлов, сплавов и неметаллических материалов приведены в справочниках.

Сортамент материала. Для холодной штамповки применяется материал в виде листа, полосы и ленты, а в отдельных случаях прутковый материал и штучные мерные заготовки.

Лист применяются в случае штамповки небольшими партиями или при штамповке крупногабаритных деталей. При переработке листа имеют большие отходы и низкая производительность штамповки. Лист по ширине имеет неодинаковую толщину и механические свойства, что приводит к разным условиям деформирования.

В зависимости от толщины листы поставляются следующих размеров:

при  $S = 0,2 - 0,9$  мм 600·800 мм или 1200·1600 мм;  
 $S = 1,0 - 1,4$  мм 710·1000 мм или 1420·2000 мм;  
 $S = 1,5 - 2,75$  мм 710·1250 мм или 1420·2500 мм;  
 $S = 3,0 - 4,0$  мм 710·1400 мм или 1420·2800 мм.

Листы цветных металлов имеют размеры 510·710 мм. Толщина листов обычно достигает 4 мм с допустимыми отклонениями по толщине  $\pm 0,07 - 0,8$  мм при обычной степени точности,  $\pm 0,05 - 0,22$  – при повышенной и  $\pm 0,04 - 0,20$  при высокой. Отклонения по ширине и длине листа допускается  $\pm 1,0\%$  для всех размеров.

Полоса – ее размеры устанавливаются в зависимости от размеров штампуемой детали, что значительно уменьшает отход при штамповке и позволяет механизировать процесс. Полоса имеет толщину до 18-20 мм и ширину до 600 мм при длине 2,5-3,0 мм.

Лента – (ГОСТ 503-81, 19851-74, 4986-79, 21996-76) – наиболее рационально используется при штамповке, обеспечивает в лучшей степени возможности автоматизации. Более однородно по механическим свойствам и толщине. В зависимости от механических свойств (твердости) лента изготавливается: особо мягкая ОМ ( $\sigma = 280 - 400$  МПа,  $\delta = 30\%$ ), мягкая ( $\sigma = 330 - 450$  МПа,  $\delta = 20\%$ ), полумягкая ПМ ( $\sigma = 380 - 500$  МПа,  $\delta = 10\%$ ), полутвердая ПТ ( $\sigma = 420 - 550$  МПа,  $\delta = 4\%$ ) и твердая Т ( $\sigma = 500 - 800$  МПа,  $\delta$  – не определяется). Толщина ленты устанавливается до 3,5 мм и поставляется лента в бунтах.

### 2.3. Контроль и испытания штампуемых материалов

Перед штамповкой исходный материал, в целях его пригодности для штамповки подвергается испытанию и контролю. Сюда входит:

- 1) наружный осмотр поверхности и контроль размеров;
- 2) проверка химического состава;
- 3) контроль механических свойств;
- 4) контроль структуры;
- 5) технологические испытания.

Указания характеристики в целом позволяют определить штампуемость материала.

Контролю поверхностью и размеров подвергается каждый лист, полоса, лента. Толщина проверяется на расстоянии 20–15 мм от края. Оценка микрометрии поверхности проводится в соответствии с ГОСТ 2789-73 и ГОСТ 2.309.73. При химических испытаниях устанавливается содержание основных химических элементов. При механических испытаниях выявляются основные характеристики механических свойств – предел прочности  $\sigma_s$ , предел текучести  $\sigma_m$ , твердость, относительное удлинение  $\delta$  и относительное сужение  $\psi$ . Испытания производятся с помощью образцов по соответствующим стандартам и ГОСТам (ГОСТ 1497-73). Твердость дает возможность косвенно судить о механических и технологических свойствах материала и проверяется на приборах Виккерса (ГОСТ 2999-59), Бринеля (ГОСТ 9012-59), Роквелла (ГОСТ 22975-78) и микротвердость на приборе ПМТ-3 (ГОСТ 9450-60).

Твердость неметаллических материалов определяется по Шору.

Показатель нормальной анизотропии:  $r = \frac{b_o}{\frac{b}{\frac{t_o}{t}}}$ ,

где  $b_o$  и  $b$  – ширина;

$t_o$  и  $t$  – толщина.

Металлографические испытания выявляют микро- и макроструктуру – размеры и формы зерна, расположение включений и т.д. и проводятся с помощью оптических микроскопов МИМ7 и МИМ8 в соответствии с ГОСТ 5639-82, 16523-70.

Технологические испытания выявляют технологические свойства, т.е. способность материала к тому или иному процессу штамповки и их вид и характер устанавливается в зависимости от характера операции. В холодной листовой штамповке применяются такие виды испытаний как:

- 1) Испытание на срез, с помощью которого устанавливается сопротивление материала срезу которое проводится на универсальных испытательных машинах с помощью вырубного штампа. Сопротивление срезу определяется как:



$$\sigma_{cp} = \frac{P_{\max}}{F_{cp}} = \frac{P_{\max}}{\pi \cdot d_n \cdot S}, \quad (2.1)$$

где  $P_{\max}$  – максимальное усилие вырубки;  
 $F_{cp}$  – площадь поверхности среза.

2) Испытания на вытяжку сферической лунки на приборе Эриксона (ГОСТ 10510-80). О способности к вытяжке судят по глубине выдавленной лунки в образце до появления трещин или разрыва. Выдавливанию лунки на приборе Эриксона не в полной мере соответствует условиям вытяжки в штампе, так как деформация в приборе происходит в основном за счет растяжения. При вытяжке в штампе имеет место радиальное растяжение и тангенсальное сжатие.

Более правильный результат дает испытание (проба) на вытяжку цилиндрических колпачков с определением предельной степени вытяжки  $k = \frac{D}{d}$  (где  $D$  и  $d$  – диаметры заготовки и колпака) при которой происходит разрыв металла. Испытания производятся на прессах ПОШ, ЦНИИТМаш и др.

3) Испытания на гиб и перегиб осуществляют в тисках с различными радиусами губок, или в спецприспособлениях. Материал должен выдержать до разрушения определенное число гибов (ГОСТ 14019-80).

4) Испытания на отбортовку отверстия в листе (до появления трещин на кромке отверстия).

### 3. ОТРЕЗКА ЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА НА НОЖНИЦАХ

#### 3.1. Типы ножниц и область их применения

Существуют различные способы отрезки листовых материалов. Эти способы отличны друг от друга по типу оборудования, на котором осуществляется резание и по характеру отрезаемого металла.

Для резки листового металла в основном используются ножницы: с параллельными ножами, с наклонно расположенным ножом и дисковые (роликовые).

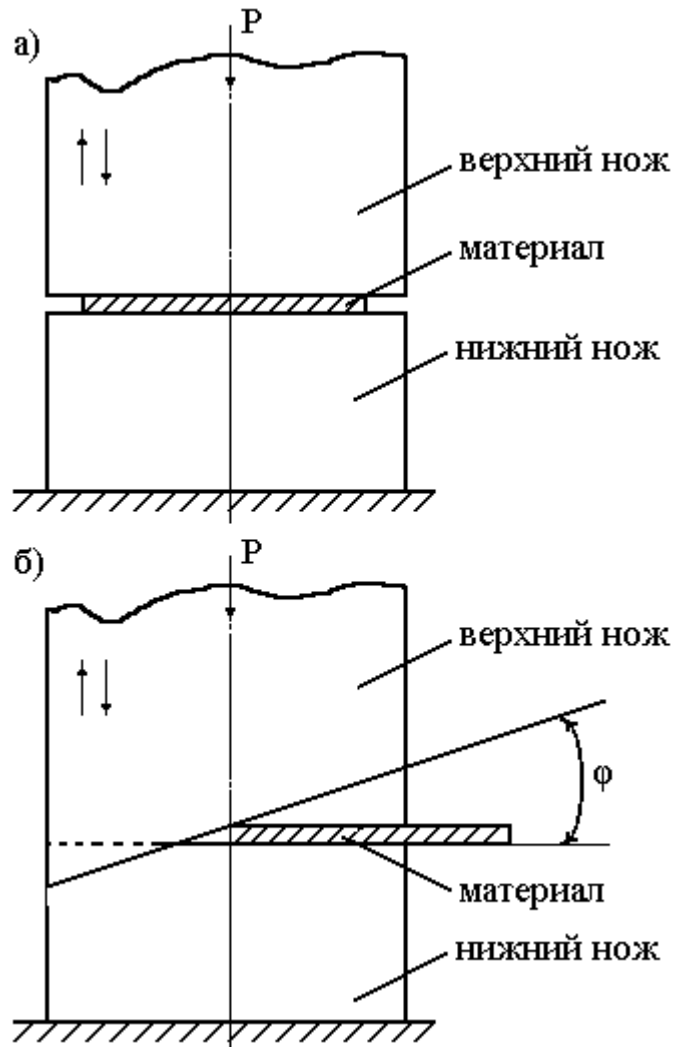


Рис. 3.1. Типы ножниц:

*а – с параллельно расположенными ножами; б – с наклонными ножом*

Ножницы с параллельно расположенными ножами (рис. 3.1, а) используются для резки узких и толстых полос до 40 мм, а также неметаллических материалов (гетинакс, текстолит и др.). ножницы с наклонным ножом (рис. 3.1, б) применяется для отрезки листа на полосы, являющимися заготовками для вырубки. Дисковые ножницы используются для продольной резки листового материала при значительной длине линии реза, а также для отрезки продольных кромок и вырезки круглых и более сложных по форме деталей.

### 3.2. Схема отрезки на ножницах с параллельными режущими кромками

Напряжения и деформация. Процесс резки листового материала ножницами состоит из нескольких последовательных стадий: а) упругой, когда деформации находятся в области упругих деформаций, а напряжения в металле не превосходят предела упругости. Здесь происходит смятие поверхности материала вследствие изгиба с растяжением, под действием усилия приложенного к ножу. б) Вторая стадия – пластическая. Деформации являются остаточными, а напряжения в металле превышают предел текучести и возрастают до максимума, отвечающего сопротивлению металла срезу (сдвигу). Т.е. во второй зоне начинается разрушение вследствие резкой концентрации напряжений по мере внедрения ножей в металл. Наибольшие деформации сдвига направлены по поверхностям скольжения, которые начинаются у острия кромок ножей. Во время второй стадии ножи углубляются в металл на 0,2-0,5 его толщины, в зависимости от твердого и пластичности металла. в) Третья стадия – разрушения (скалывание) материала. Здесь происходит образование микро- и макротрещин, которые направлены по поверхности скольжения. Они вызывают отделение одной части материала от другой. Происходит полное разрушение материала, определяющее внедрение режущей кромки. Это разрушение происходит раньше, чем встретятся режущие кромки.

На рис. 3.2, а показана схема отрезания.

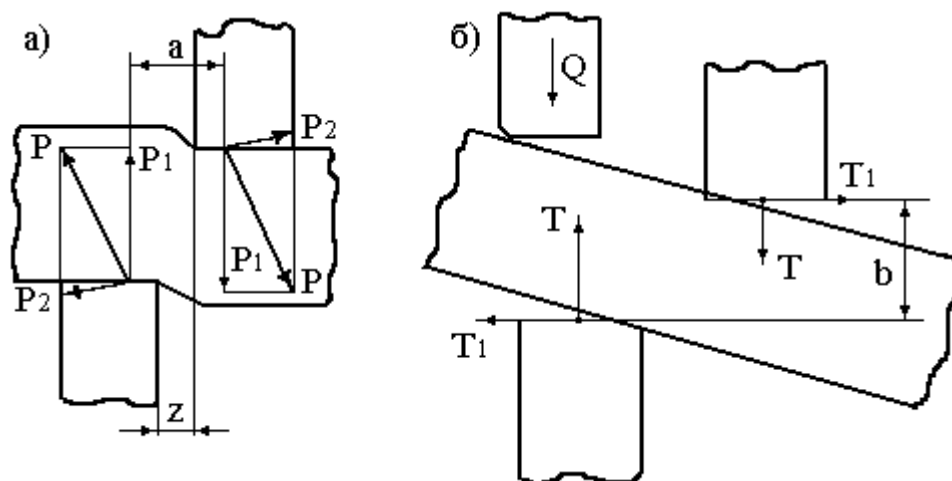


Рис. 3.2. Схема сил, действующих при отрезке (а) и при повороте листа (б)

Перерезывающие силы образуют пару с моментами  $M = P \cdot a$ , где  $a$  – плечо между точками приложения равнодействующих  $a = (1,5 - 2) \cdot z$ , где  $z$  – зазор между ножами 0,05–0,2 мм. в действительности процесс отрезания происходит гораздо сложнее. Пара сил стремится поставить разрезаемый лист в наклонное положение и раздвинуть и раздвинуть ножи (рис. 3.2, б), чтобы избежать поворота материала относительно плоскости резания, необходимо к заготовке приложить усилие  $Q$ , удерживающие ее в

горизонтальном положении (рис. 3.2). Разрезаемый материал будет поворачиваться до тех пор, пока

$$P \cdot a = T \cdot b, \quad (3.1)$$

$$Q = \frac{P \cdot a}{b} = T. \quad (3.2)$$

Для уменьшения сил трения задняя кромка ножей делается наклонной (рис. 3.3).



Рис. 3.3. Геометрия отрезного ножа

Задний угол  $\gamma$  делают равным  $2-3^\circ$ . Таким образом, плоскость разреза располагается не в плоскости перемещения ножей и поверхность среза оказывается неровной. При отрезании получается, следовательно, не простой сдвиг, а сложная деформация, состоящая из смятия, изгиба, растяжения и среза. При угле резания  $\delta = 90^\circ$  ( $79-87^\circ$ ) реакции от силы  $Q$  противодействует отжиманию ножей. С уменьшением  $Q$  сила  $T$  возрастает, вместе с ней возрастание и удельное давление. Для уменьшения усилия резания режущая кромка верхнего ножа делается под некоторым углом. Угол створа  $\varphi = 2 \div 12^\circ$  при его увеличении приводит к увеличению горизонтальной силы  $T$ , стремящейся вытолкнуть лист из-под ножей. Сила  $T$  должна быть уравновешена силой трения листа о ножи. Для этого нужно, чтобы тангенс угла наклона был меньше коэффициента трения. Таким требованиям удовлетворяет  $\varphi = 8 \div 10^\circ$ . При узкой полосе его делают равным  $5^\circ$ . Поверхность среза (рис. 3.4) состоит из 4 зон: 1) сжатие металла под верхним ножом, 2) зона погружения ножа, 3) зона скалывания, 4) зона сжатия металла нижним ножом.

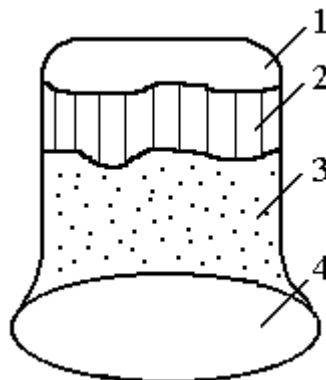


Рис. 3.4. Схема поверхности среза

При рассмотрении поверхности среза на срезаемой кромки выделяется две видимые зоны: узкая блестящая полоска соответствует пластической стадии деформирования. Более широкая матовая полоса – полоса скалывания.

### 3.3. Зазор между ножами

Для получения качественного среза при отрезки листового материала большое значение имеет выбор правильного зазора между ножами. При нормально выбранном зазоре поверхность сдвига и скалывающие трещины, возникающие у одной режущей кромки, совпадает с поверхностями сдвига и трещины, возникшими у другой режущей кромки. Образуется общая поверхность среза. При малом зазоре складывающиеся трещины не совпадают и образуют перемычку, которая в дальнейшем перерезается и образует на материале заусенец. В случае очень большого зазора на поверхности материала образуется рваные заусенцы от затягивания и обрыва металла в зазоре.

Заусенец образуется также в результате затупления режущих кромок ножей.

Величину зазора можно определить их теоретически по следующей формуле:

$$z = a \cdot \left(1 - \frac{h}{100}\right) \cdot \operatorname{tg} \beta, \quad (3.3)$$

где  $a$  – толщина материала;

$h$  – глубина погружения ножей;

$\beta$  – угол скалывания.

Практически зазор рекомендуется принимать около 10% от толщины материала.

### 3.4. Усилие резания и подбор ножниц

Величина усилия при отрезке на ножницах зависит:

- а) от формы и расположения ножей;
- б) механических свойств и структуры металлов;
- в) от толщины металла.

На ножницах с параллельно расположенными режущими кромками ножей, величина усилия при отрезке определяется по формулам:

$$P = B \cdot a \cdot \sigma \cdot k; \quad (3.5)$$

$$P = 1.25 \cdot B \cdot a \cdot \sigma, \quad (3.6)$$

(при заднем упоре) и без поддержки отрезаемой части:

$$P = 1,25 \cdot (1 - \cos \varphi) \cdot B \cdot a \cdot \sigma_s \quad (3.7)$$

где  $P$  – усилие отрезки в кН;

$\sigma$  – сопротивление материалу срезу, МПа;

$\sigma_s$  – предел прочности при разрыве, МПа;

$B$  – длина линии реза;

$a$  – толщина материала;

$k$  – поправочный коэффициент равный 1,2–1,5, учитывающий отклонение от явлений чистого среза, затупление ножей, неравномерность в толщине;

$\varphi$  – задний угол.

Подсчитав необходимое усилие по каталогу, выбирают тип ножниц для заданного материала. При обычных параллельных режущих кромках усилие резания не является постоянным. Изменение усилия резания видно из диаграммы изменения усилия резания в зависимости от проникновения ножа в металл (рис. 3.5).

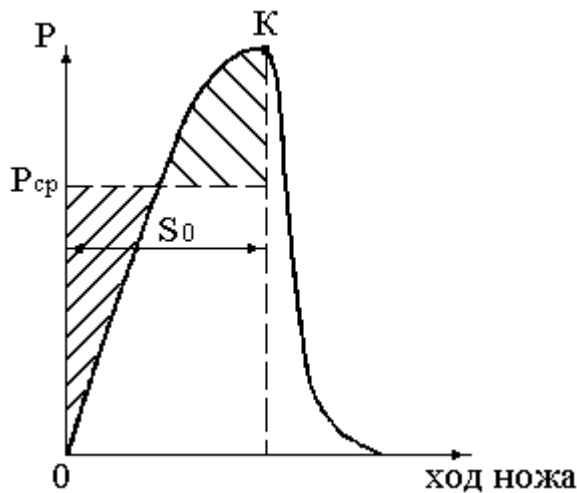


Рис. 3.5. Диаграмма изменения действия резания

Усилие, подсчитанное по формуле  $P = B \cdot a \cdot \sigma_{ср}$ , является максимальным и соответствует положению ножа в точке  $K$ . По индикаторной кривой, возможно, подсчитать затраченную работу по формулам:

$$\begin{aligned} A &= P_{ср} \cdot S_0 \\ A &= \frac{2 \cdot P \cdot S_0}{3}, \\ A &= \frac{\lambda \cdot P \cdot S_0}{1000} \end{aligned} \quad (3.8)$$

где  $S_0$  – абсолютная величина погружения ножей;

$\lambda = 0,35 \div 0,55$  – коэффициент полезного действия резания.

### 3.5. Работа резания. Мощность резания

Для вычисления работы и мощности, затрачиваемой при отрезке на ножницах с параллельным расположением режущих кромок, пользуются формулами:

а) для материалов с толщиной  $a < 2$  мм

$$A = \frac{(0,75 \div 0,55) \cdot B \cdot a^2 \cdot \sigma}{1000}; \quad (3.9)$$

б) для материалов с толщиной  $a = 2 \div 4$  мм

$$A = \frac{(0,55 \div 0,45) \cdot B \cdot a^2 \cdot \sigma}{1000}; \quad (3.10)$$

в) для толщины  $a > 4$

$$A = \frac{(0,45 \div 0,3) \cdot B \cdot a^2 \cdot \sigma}{1000}; \quad (3.11)$$

или по формуле Звороно:

$$A = \frac{B \cdot a^2 \cdot \sigma_e \cdot h}{1000}. \quad (3.12)$$

Значение величины работы позволяют вычислить мощность на ползуне, маховике, а также мощность электромотора.

1) Полезная мощность на ползуне:

$$N_p = \frac{A \cdot n}{60 \cdot 75}; \quad (3.13)$$

2) Мощность на маховике в л.с.:

$$N_m = \frac{x \cdot A \cdot n}{60 \cdot 75 \cdot \eta}; \quad (3.14)$$

3) Мощность электромотора

$$N_{\text{мощ}} = \frac{N_m}{\eta \cdot 1,36}, \quad (3.15)$$

где  $x$  – коэффициента режима работы 1,1–1,4;

$n$  – частота вращения коленчатого вала;

$\eta$  – к.п.д. ножниц 0,5–0,7;

$\eta_{\text{пер}}$  – к.п.д. передачи.

### 3.6. Резание на ножницах с наклонной режущей кромкой

Схема резания. Такие ножницы применяются для резки относительно тонких по сравнению с длиной реза материалов, толщиной до 14–16 мм. Особенностью резания ножниц является наличие наклонного верхнего ножа (рис. 3.6, а) и то, что резке подвергается не весь лист сразу, а столько его определенная часть, которая является постоянной и зависит от угла наклона верхнего ножа.

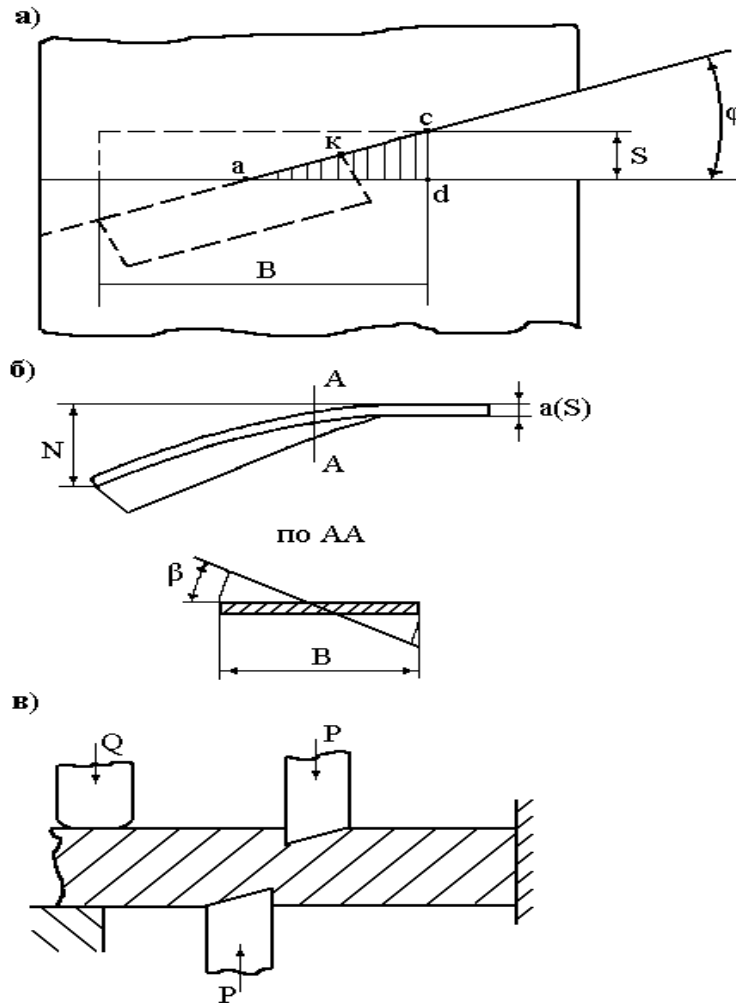


Рис. 3.6. Отрезка материала наклонным ножом:

*a* – схема отрезки;

*б* – поворот и изгиб отрезаемой полосы;

*в* – положение прижима при отрезки

Резание происходит последовательно, по участкам. Ввиду этого усилие на этих ножницах постоянно и по величине значительно меньше, чем на параллельных ножницах. Треугольник *dac* – металл, разрезаемый в данный момент. На участке *ac* имеются все фазы резания: смятие, изгиб, срез. Работа по существу выполняется окончательно. Но в точке “*a*” и в точке “*к*”, когда нож погрузился на глубину до образования скалывающихся трещин.

Под действием опрокидывающим моментом разрезаемый металл стремится повернуться, занять наклонное положение, заклинится между ножами и создает тем самым боковое распирающие усилие: изгиб и



скручивание полосы (рис. 3.6, б) зависит от толщины и ширины материала, угла створа ножей и механических свойств материала. Чем уже и толще полоса и чем больше угол створа ножей, тем больше будет изгиб и скручивание отрезаемой полосы. При отрезке толстых полос изгиб и скручивание настолько велики, что перед запуском в работу полосу необходимо править. Во избежание изгиба и скручивания вводят специальные прижимы для полосы (рис. 3.6, в). Для ориентировочно оценки изгиба и вместе с тем для определения правильности выбора угла створа, пользуются эмпирическими формулами:

$$N \cong 0,01 \cdot \varphi \cdot L \cdot \sqrt{\frac{S \cdot \delta}{B}}; \quad (3.16)$$

$$\beta \cong 0,003 \cdot L \cdot a \sqrt{\frac{\varphi \cdot a}{B}}, \quad (3.17)$$

где  $N$  – величина изгиба полосы, мм;  
 $\beta$  – угол скручивания в градусах;  
 $a$  – толщина полосы, мм;  
 $L$  – длина полосы, мм;  
 $\delta$  – относительное удлинение, %;  
 $\varphi$  – угол створа в градусах.

### 3.7. Минимальный угол створа и ход ножей

Минимальный угол створа ножей можно определить по глубине погружения ножей в металл.

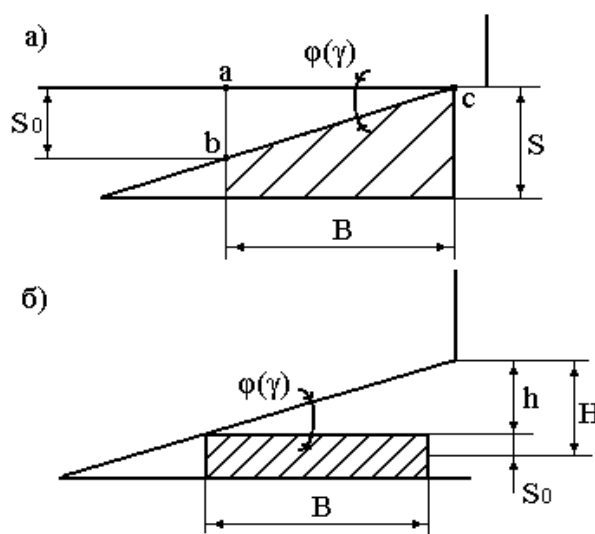


Рис. 3.7. Схемы к определению минимального угла створа ножей (а) и их перемещения (б)

Из треугольника  $abc$  (рис. 3.7, а)  $\frac{ab}{ac} = \operatorname{tg}\gamma$  или  $\operatorname{tg}\gamma = \frac{S_o}{B}$ .

Угол створа:

$$\gamma = \operatorname{arctg} \frac{S_o}{B}, \quad (3.18)$$

где  $S_o$  – глубина погружения ножей.

Минимальный ход ножа (рис. 3.7, б) определяется следующими отношениями:  $H = S_o + h$ , но  $h = B \cdot \operatorname{tg}\gamma$ , откуда

$$H = S_o + B \cdot \operatorname{tg}\gamma. \quad (3.19)$$

### 3.8. Усилие и работа отрезки

Усилие резания определяется по формуле Звороно:

$$P = \frac{(1 + 0,05 \cdot \gamma) \cdot h \cdot a \cdot \sigma_s}{\operatorname{tg}\gamma}. \quad (3.20)$$

Работа, затрачиваемая при отрезке, определяется по формуле:

$$A = \frac{P \cdot H}{1000} = \frac{P \cdot B \cdot \operatorname{tg}\gamma}{1000}. \quad (3.21)$$

Иногда при отрезке листов пользуются формулами:

$$P = \frac{0,225 \cdot S^2 \cdot \sigma_{cp}}{\operatorname{tg}\gamma} \text{ – формула Фишера}; \quad (3.22)$$

$$P = \frac{k \cdot S^2 \cdot U}{\operatorname{tg}\varphi} \text{ – формула Целикова}, \quad (3.23)$$

где  $U = 1,5 \div 10$  – удельная работа.

Мощность подсчитывается по тем же формулам, что и для ножниц с параллельными ножами. Работа на наклонных ножницах ведется по упорам – заднему, переднему и боковому. Помимо того, на столе можно устанавливать упоры – угольники под углом к ножам. По переднему и заднему упорам отрезаются полосы с параллельными сторонами, а по боковому и заднему упорам (или переднему) – заготовки с углом между сторонами  $90^\circ$ .

Как правило, отрезка ведется по заднему упору. Зазор между ножами  $z = 0,05 \div 0,2$  мм (5–7 % от толщины материала).

## 4. ОТРЕЗКА ЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА НА ДИСКОВЫХ НОЖНИЦАХ И ШТАМПАХ

### 4.1. Резание на дисковых ножницах

#### 4.1.1. Схема резания, усилие

Для отрезки полос толщиной до 30 мм широко применяются дисковые ножницы. Они бывают с одним наклонно расположенным ножом или с двумя ножами, расположенные под углом. Отрезка полосы (рис. 4.1) осуществляется двумя дисковыми ножами одинакового диаметра, которые вращаются в разные стороны с одинаковой скоростью. Отрезка начинается, когда материал будет захвачен ножами, и силой трения втянут между ними.

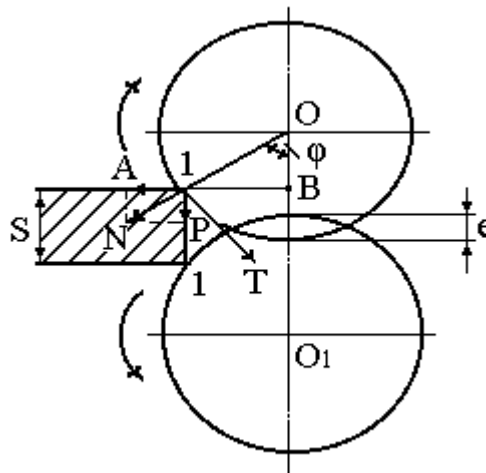


Рис. 4.1. Схема действующих сил при отрезке

В точках 1-1 ножи действуют на материал с силой  $N$  и направленными по радиусам  $O,1$  и  $O,1$ . равнодействующая этих сил направлена в сторону, обратную направлению движения металла и стремится вытолкнуть материал. Однако ей противодействуют силы трения  $T$  и  $T_1$ , которые направлены в обратную сторону. равнодействующая  $R_m$  этих сил при правильном выборе диаметре ножей больше равнодействующей  $R_p = (P + P_1)$ . Для подсчета усилия при отрезке на дисковых ножницах пользуются формулами:

$$P = \frac{0,5 \cdot a^2 \cdot \sigma \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot m \cdot k}{\cos \gamma}, \quad (4.1)$$

$$P = \frac{0,78 \cdot a^2 \cdot m \cdot \sigma \cdot k \cdot e}{2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2}}, \quad (4.2)$$

где  $\sigma$  – сопротивление срезу, МПа;

$D$  – диаметр ножа, мм;

$a$  – толщина материала, мм;

$\gamma$  – угол створа ножа;  
 $m$  – число пар дисковых ножей;  
 $k = 1,2 \div 1,5$  – коэффициент;  
 $e$  – величина перекрытия ножей.

Наиболее точные результаты дает формула (4.1).

#### 4.1.2. Геометрия ножей

Применение дисковых ножниц зависит от формы ножей. Типы ножей представлены на рис. 4.2.

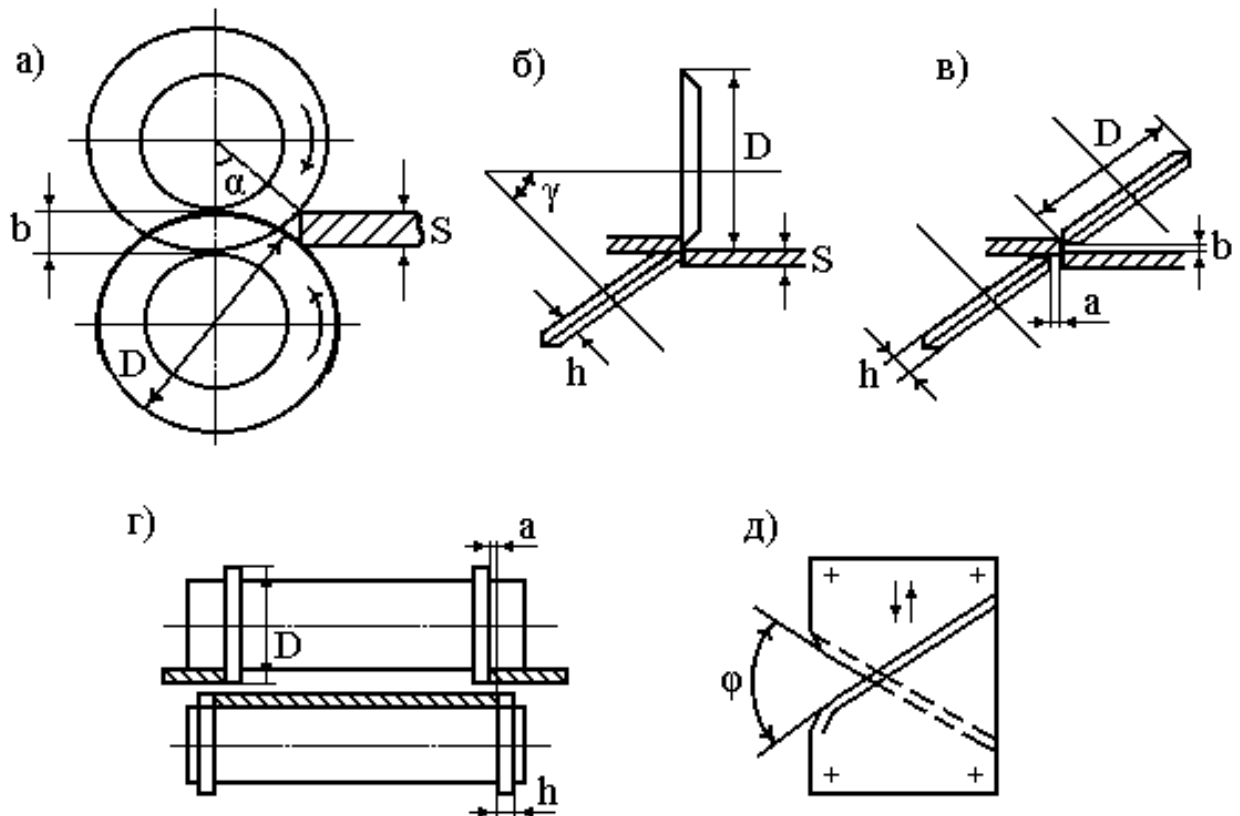


Рис. 4.2. Типы дисковых ножниц

Ножи выполнены по типу а) применяются при отрезки полос с прямолинейной кромкой. Ножи типа в) служат для вырезки круглого и криволинейных контуров по шаблону или разметке. Дисковые ножницы с ножами типа а) делают с одной или несколькими парами ножей. Тогда лист режется сразу на несколько полос. Точность отрезки полос на дисковых ножницах соответствует 7 качеству точности. Точность при отрезке и вырезки криволинейных контуров и кругов на дисковых ножницах по шаблону соответствует 8 качеству точности, а по разметке 9 качеству точности.

### 4.1.3. Перекрытие ножей, угол створа, диаметр роликов

Величина перекрытия ножей рекомендуется:  $e = 0,2 \div 0,4$  для стали и  $e = 0,65 \div 0,7$  для меди. Дисковые ножницы (рис. 4.2) изготавливаются только с одной парой ножей. Ножи смещены по вертикали на величину  $b = 0,3 \cdot a \div 0,5 \cdot a$ ; по горизонтали ножи смещены на величину  $c = 0,25 \cdot a$ . Смещение ножей позволяет легко поворачивать заготовку и вырезать разнообразные детали по кривым с небольшими радиусами. Отрезка на дисковых ножницах возможна только тогда, когда равнодействующая сил трения ножей о металл будет больше равнодействующей силы, выталкивающей металл, из-под ножей. Это выполнимо при условии, если угол створа ножей будет меньше  $150^\circ$ , т.е. в том случае, когда диаметр ножей будет больше 30-40 толщин разрезаемого металла. для определения диаметра ножей с учетом их уменьшения при переточке пользуются следующей формулой, при этом задаваясь углом створа  $\varphi$ , определив  $D$ . Из треугольника  $AOB$

$$OB = R \cdot \cos \varphi,$$

но

$$OB = R - \frac{S + e}{2},$$

тогда

$$R \cdot \cos \varphi = R - \frac{S + e}{2},$$

отсюда

$$2 \cdot R = \frac{S + e}{1 - \cos \varphi}$$

и

$$D = \frac{S + e}{1 - \cos \varphi}. \quad (4.3)$$

### 4.1.4. Минимальный радиус кривизны

Наименьшей радиус кривой при резании дисковыми ножами типа б) (рис. 4.2) зависит от диаметра ножей и толщины металла (табл. 4.1).

$$r_m = (0,4 \div 0,7) \cdot D. \quad (4.4)$$

Таблица 4.1

Диаметр ножей $D$	Толщина материала $S(a)$		
	до 1 мм	от 0,1 до 2,5	от 3 до 6
	Минимальные радиусы кривизны в мм, $r_m$		
75	40	45	50
90	50	75	85
100	50	75	90
125	50	90	90

### 4.1.5. Типы дисковых ножниц

а) дисковые ножницы с параллельными осями (рис. 4.2, а). На этих ножницах производят резку листов на полосы, а также резку круглых (дисковых) заготовок с выходом на край листа. Толщина материала до 30 мм. Заход ножей  $b = (0,2 \div 0,3) \cdot S$ . Угол захвата  $\alpha = \leq 14^\circ$ . Диаметр ножей для тонких материалов  $S < 3$  мм  $D = (35 \div 50) \cdot S$ , для толстых  $D = (25 \div 30) \cdot S$ ;

б) дисковые ножницы с одним наклонным ножом (рис. 4.2, б). На ножницах этого типа режут полосы, круглые, дисковые и кольцевые заготовки. Толщина разрезаемого материала до 30 мм. Угол наклона  $\gamma = 30 \div 40^\circ$ . Для тонких материалов  $S < 3$  диаметр ножей  $D = 28 \cdot S$ ,  $h = 15 \div 20$  мм; для толстых материалов  $S > 10$ ; диаметр ножей  $D = 20 \cdot S$ ,  $h = 50 \div 80$  мм;

в) дисковые ножницы с наклонными ножами (рис. 4.2, в). Такие ножницы применяются для резки круглых, дисковых, кольцевых и криволинейных заготовок с малым радиусом. Криволинейная поверхность задней режущей грани обеспечивает свободный проворот материала. Толщина материала до 20 мм. Зазор  $z \leq 0,2 \cdot S$ ,  $b \leq 0,3 \cdot S$ ,  $D = 12 \cdot S$  для толстого материала  $S > 10$   $h = 40 \div 60$ ; для тонкого материала  $S < 5$   $D = 20 \cdot S$ ,  $h = 10 \div 12$  мм;

г) ножницы многодисковые с параллельными ножами (рис. 4.2, г). Такие ножницы применяются для одновременной резки полос, а также для обрезки полос и лент по ширине. Толщина материала до 10 мм. Угол резания  $90^\circ$ ,  $D = (40 \div 125) \cdot S$ ,  $h = 15 \div 30$  мм. Зазор  $z = (0,1 \div 0,2) \cdot S$ .

## 4.2 Другие виды резания материалов

### 4.2.1 Резание вибрационными ножницами

Ножницы (рис. 4.2, д) служат для резки криволинейных заготовок по разметке или шаблонами с малым радиусом до  $r = 15$  мм. Ход ножа 2–3 мм. Передний угол  $\alpha = 6 - 7^\circ$ . Угол створа  $\varphi = 24 - 30^\circ$ . Ножницы имеют два ножа специальной формы, из которых один нижний закреплен неподвижно, а верхний получает до 2500 вибрирующих движений в минуту. Перекрытие ножей  $e = 0,25$  толщины материала, позволяет вырезать контуры по кривым малым радиусам (12-15 мм), а при вырезке внутренних контуров не прибегать к предварительному сверлению. Недостаток этих ножей: быстрый износ, наличие заусенцев и зарубов. Точность вырезки на вибрационных ножницах соответствует 10-12 качеству точности.

### 4.2.2 Отрезка на штампах

Простые формы штучных заготовок и с точностью грубее 8-9 качества точности изготавливают в штампах как с одно-, так и двухсторонней отрезкой. Отрезка на штампах ведется двумя способами: без отхода и с отходом. Односторонняя отрезка без отходов (рис 4.3, а) применяются для заготовок с прямолинейным контуром (прямоугольник, квадрат, ромб).

Отрезка в штампах с отходом, или так называемая двухсторонняя отрезка, особенно широко применяется при отрезке заготовок, у которых отрезаемая часть имеет криволинейный контур, а ширина или длина равна ширине полосы.

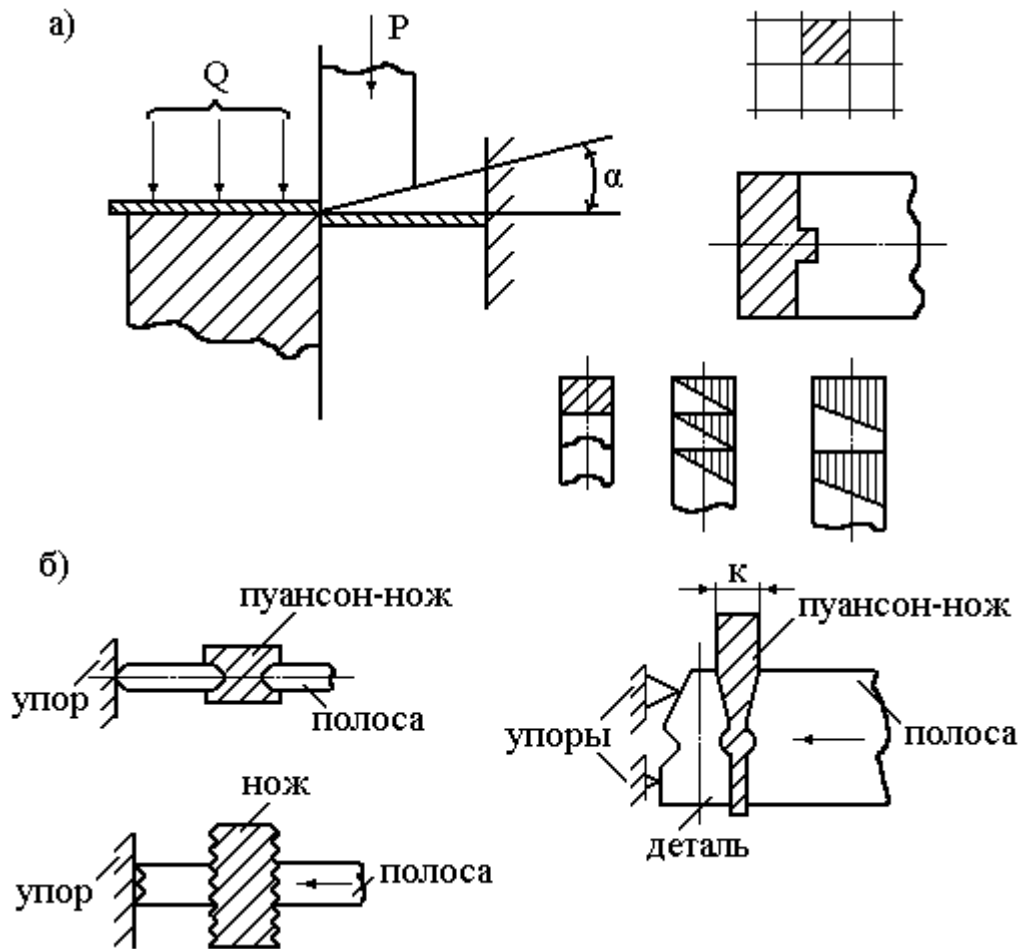


Рис. 4.3. Схемы отрезки на штампах  
а - односторонняя; б - двухсторонняя

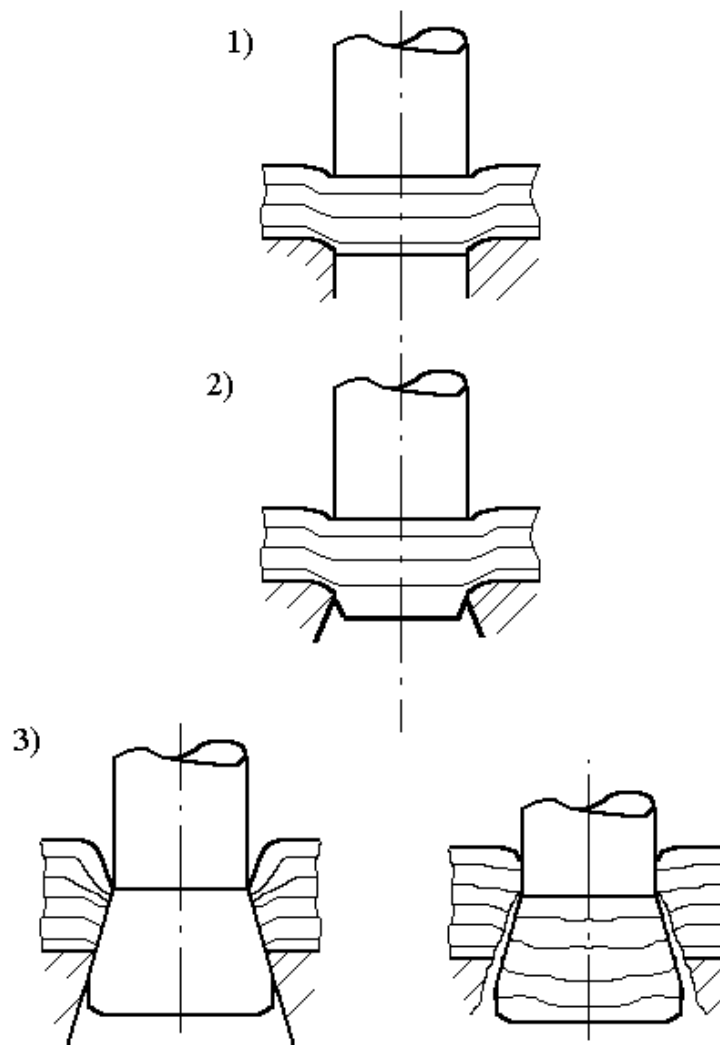
На рис. 4.3, б приведены схемы двухсторонней отрезки на штампах. Ширина удаляемого отхода  $k$  зависит от толщины ножа, составляющей от двух до четырех толщин разрезаемого материала. При материале толщиной  $S < 1$  мм ширина отхода  $k = 3$  мм.

## 5. РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ

### 5.1. Вырубка и пробивка листового материала на штампах

Вырубка и пробивка – это операции, в результате которых происходит отделение одной части материала от другой по замкнутому контуру. В результате вырубки получают наружные контуры детали, а при пробивке – внутренние (отверстия). Процесс резания штампами при вырезке (вырубке), пробивке и других операциях аналогичен процессу резания ножницами. В данном случае пуансон и матрица являются как бы ножами замкнутой конфигурации, имеющими сопряженные режущие кромки.

Процесс резания штампами тоже состоит из 3-х стадий (рис.5.1):



*Рис. 5.1 Процесс резания штампами:*

*1 – упругая стадия; 2 – стадия пластических деформаций;*

*3 – стадия скалывания*

1) стадии упругих деформаций, во время которых происходит упругое сжатие и изгиб металла с легким вдавливанием его в отверстие матрицы. При этом напряжения в металле не превосходят предела упругости;

2) стадии пластических деформаций, в течение которой происходит вдавливание пуансона в материал и выдавливание его в отверстие матрицы с



сильным изгибом и растяжением волокон. К концу этой стадии напряжения вблизи режущих кромок достигают максимальной величины, соответствующей сопротивлению металла срезу (сдвигу);

3) стадии скалывания, в течение которой происходит возникновение сначала микро-, а затем макротрещин, образующихся из режущих кромок пуансона и матрицы, направленных по линиям наибольших деформаций сдвига (поверхностям скольжения).

Скалывающие трещины зарождаются у режущих кромок пуансона и матрицы, распространяются на внутренние слои и вызывают отделение одной части металла от другой. При дальнейшем движении пуансон проталкивает деталь через рабочую шейку матрицы.

Напряженно – деформированное состояние возникает по линиям скольжения между режущими кромками пуансона и матрицы (рис. 5.2).

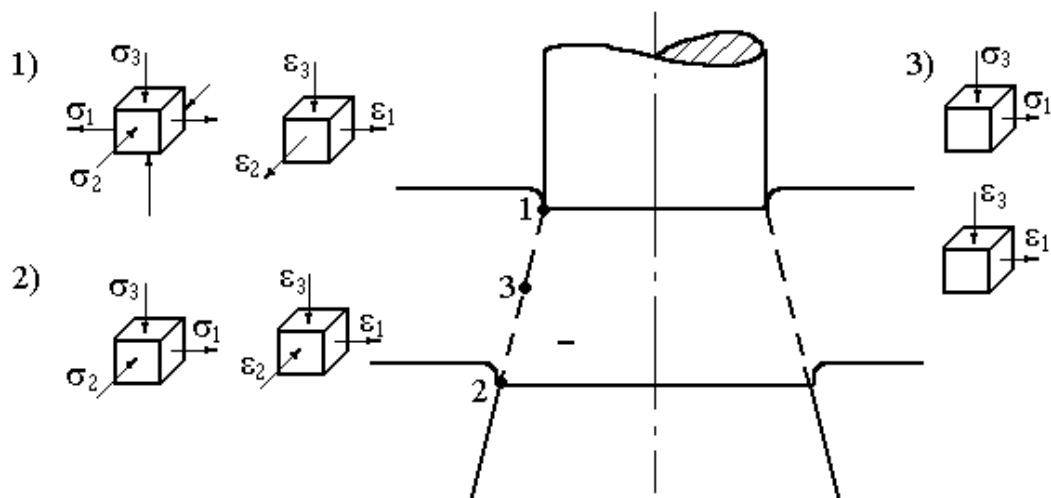


Рис. 5.2. Напряженно-деформированное состояние материала по линиям скольжения

Схемы указывают на наличие деформаций сдвига, так как волокна металла, расположенные приблизительно под углом  $45^\circ$ , подвергаются растяжению и вытягиваются, а в перпендикулярном направлении подвергаются сильному сжатию и укорачиваются. Пунктиром показано направление наибольших деформаций сдвига или так называемые линии скольжения. Таким образом, скалывающие трещины есть совокупность сдвигов и обрывов в наиболее деформированных зернах металла.

Направление скалывающих трещин по отношению к оси пуансона, находится под углом, зависящем от механических характеристик металла.

Углы наклона скалывающих трещин по Романовскому:

Латунь, мягкая сталь, алюминий	– 6 – 50;
Сталь средней твердости	– 5 – 40;
Твердая сталь	– 40.

Пластическая деформация элементарных слоев вблизи поверхности среза создает зону упрочненного (наклепанного) металла, что подтверждается замерами. Глубина наклепанного слоя зависит от толщины

металла, его свойств, первоначальной структуры, а также от величины зазора и качества режущих кромок. Так для мягкой стали глубина наклепанного слоя (ст. 2) не превышает  $0,35S$ , для тонких (до 10 мм) и  $0,2S$  для толстых (свыше 10 мм) листов.

Наличием наклепа нельзя пренебрегать. В каждом конкретном случае, в зависимости от характера дальнейших операций, необходимо применять соответствующие меры по устранению наклепа обработкой со снятием стружки или отжигом. Это позволяет вернуть металлу исходные механические свойства.

## 5.2. Усилие при вырубке, пробивке

Усилие, потребное для операции вырубке и пробивки зависит:

- 1) от габаритов вырубаемой детали или пробиваемого отверстия,
- 2) толщины штампуемого материала,
- 3) механических свойств материала,
- 4) зазора между пуансоном и матрицей,
- 5) формы и состояния режущих кромок пуансона и матрицы,
- 6) способа удаления вырубленной заготовки или отхода.

Усилия определяются по формулам:

для любой заготовки: $P = LS\sigma_{cp}$	для круглой $P = \pi dS\sigma_{cp}$	(5.1)
---	--	-------

где  $L$  – периметр резания, мм;  
 $d$  – диаметр детали, мм.

$$\sigma_{cp} = (0,8..0,86)\sigma_s \quad (5.2)$$

Так, например, для стали с содержанием  $0,1\%C - \sigma_{cp} = 250 - 320$  от накл. для латуни  $\sigma_{cp} = 250 - 380$ , для алюминия  $\sigma_{cp} = 100$  и  $150$  МПа.

Требуемое давление пресса берется больше расчетного усилия и принимается не менее:

$$P_{пресса} = 1,3P_{расч} \quad (5.3)$$

где 1,3 – коэффициент, учитывающий неравномерность толщины заготовки, затупление режущих кромок

Влияние зазора между пуансоном и матрицей на величину  $\sigma$  состоит в том, что с увеличением зазора значение  $\sigma$  уменьшается на 5–10 %. Затрачиваемая при вырубке работа и мощность могут быть определены по формулам, приведенным для отрезки на ножницах с параллельно расположенными режущими кромками.

Для уменьшения усилия при вырубке и пробивке, применяют штампы со скошенными режущими кромками пуансонов и матриц. Помимо этого, применяют ступенчатое расположение пуансонов.

### 5.2.1. Способы снижения усилий вырубке (пробивки)

Как уже указывалось, снижение усилия достигается применением пуансонов и матриц со скошенными кромками (рис.5.3 а).

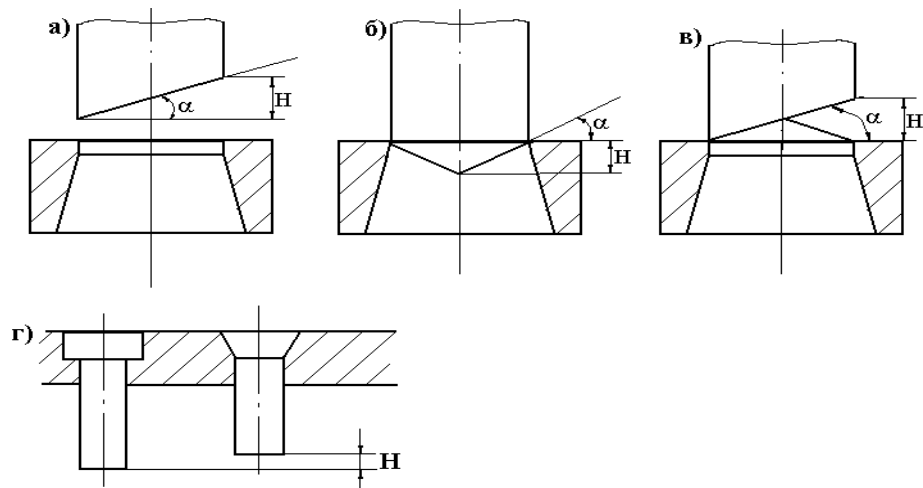


Рис.5.3. Конструкция инструмента для снижения усилий вырубке-пробивки

При наклонной режущей кромке процесс резания протекает одновременно не по всему контуру, а последовательно, как при резании на наклонных ножницах. От этого снижается усилие резания.

При одностороннем скосе на пуансоне или матрице давление распределяется не равномерно и вызывает перекося инструмента. При этом создается неравномерный зазор и ухудшается качество поверхности среза. Поэтому рекомендуется применять односторонний скос на пуансоне при его большом диаметре или если у него имеется противоотжим. В остальных случаях применяется инструмент с двухсторонним симметричным скосом. При этом следует иметь ввиду следующие правила:

1) при вырезке деталей (рис.5.3 б) скос делается на матрице, а пуансон должен быть плоским. В этом случае деталь получается плоской, а отход – изогнутым. Скос может быть вогнутым, выпуклым с небольшой горизонтальной площадкой для устойчивого положения штампуемой полосы. Для более плавного изменения усилия скос может быть выполнен и по кривой;

2) при пробивке отверстий скос делают на пуансоне (рис.5.3 в). В этом случае отход изогнут, а деталь плоская. При применении скосов на матрице или пуансоне усилие уменьшается на 30–60 %.

При вырубке (пробивке) пуансонами или матрицами с наклонно расположенными режущими кромками, деталей с прямолинейным очертанием контура (- и -) усилие  $P$  будет:

$$P = 2S\sigma \left( C + \frac{1,3S}{\operatorname{tg}\varphi} \right) \quad (5.4)$$

где  $C$  – длина прямого участка резки, мм.

Если пуансон или матрица имеет несколько волн, то

$$P = S\sigma \left( 2,6 \frac{nS}{\operatorname{tg}\varphi} + S_1 \right) \quad (5.5)$$

где  $n$  – число, мм;

$S_1$  – длины участков с параллельными кромками, мм.

В общем, формула для определения усилий вырубке при скошенных кромках определяется формулой:

$$P = LS\sigma k \quad (5.6)$$

где  $L$  – длина одного или нескольких участков подвергаемых одновременно вырубке или пробивке,

$k$  – коэффициент = (0,4... 0,6) при  $H = S$ ;

$k = 0,2...0,4$  при  $H = 2S$ .

Величина скосов приведена в таблице 5.1.

Таблица 5.1.

Толщина материала, мм	Скос, мм	Угол скоса, градус	Ср. усилие резания в % от
До 3	2	До 5	30 – 40
3 - 10		До 8	60 – 65

Характер уменьшения усилий с применением скосов показан на рис. 5.4.

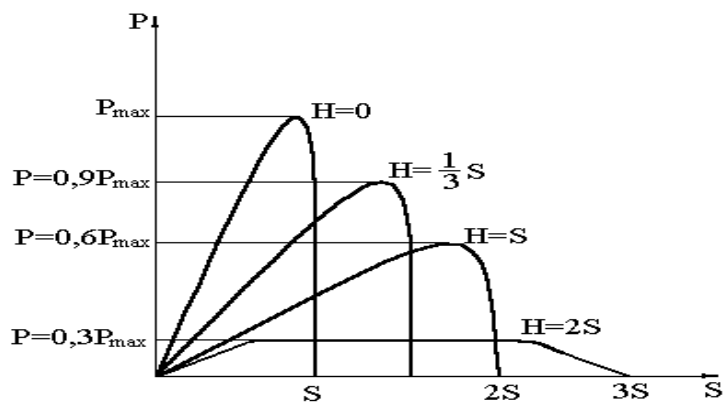


Рис. 5.4 Графики снижения усилий при вырубке-пробивке инструментом со скошенными кромками.

При многопуансонной пробивке или вырезке пуансоны делают разной длины (рис. 5.3. г). Этим снижают не только усилие вырубki и пробивки, но уменьшают износ и повышают стойкость пуансонов. Величина для тонких материалов берется обычно равной толщине материала, а для толстых – половине толщины материала.

После вырубki отход, а после пробивки деталь в силу упругих деформаций материала остаются на пуансоне. Для снятия отхода или детали необходимо приложить силу:

$$P_c = mP \quad (5.7)$$

где  $P_c$  – усилие съема, кН;

$P$  – усилие пробивки, вырубki, кг;

$m$  – коэффициент, зависящий от толщины материала  $m = 0,007...0,20$ .

Кроме того, необходимо знать усилие проталкивания вырубленной детали или отхода через матрицу, так как при накоплении отходов или деталей в матрице делает это усилие значительным.

$$Q = \frac{P \cdot c}{100} \quad (5.8)$$

где  $Q$  – усилие проталкивания;

$c$  – коэффициент в % от  $P$ ;

$P$  – усилие вырубki, пробивки.

Значение  $c$  в зависимости от материала:

Мягкая сталь  $c = 2...6\%$ ,

Латунь  $c = 2...5\%$ ,

Алюминий  $c = 3...6\%$ ,

Медь  $c = 3...7\%$ .

Или по формуле:

$$P_{np} = k_{np} \cdot P \cdot n \quad (5.9)$$

где  $P_{np}$  – полное усилие проталкивания;

$P$  – усилие вырубki пробивки;

$n$  – количество деталей в шейке матрицы;

$k$  – коэффициент =  $0,05...0,10$ .

Усилие съема полосы (рис. 5.5) можно определить по зависимости:

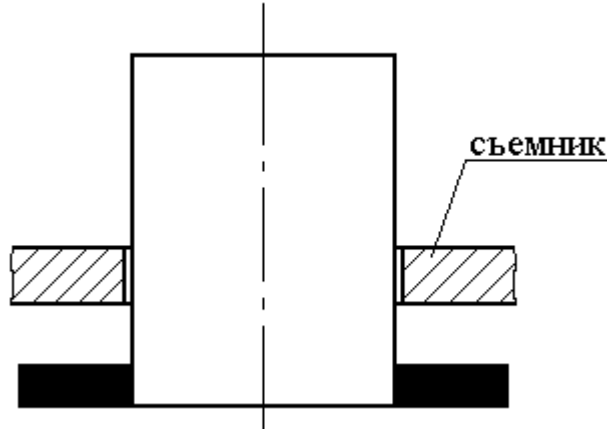


Рис. 5.5. Положение съемника

$$P_c = kP \quad (5.10)$$

где  $k$  – коэффициент, зависящий от механических свойств металла, его толщины, числа одновременно работающих пуансонов.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Для мягкой стали } k = 5,2\% \\ \text{меди } k = 3-4\% \\ \text{латуни } k = 3-4\% \end{array} \right\} \text{от усилия пробивки, вырезки}$$

Определение усилия съема необходимо вести для проверки на прочность крепежных деталей, которыми крепится съемник.

### 5.3. Минимальный диаметр пробиваемого (вырезаемого) контура

Минимальный диаметр, который можно вырезать или пробить, зависит от толщины материала и его механических свойств. Диаметр отверстия ограничивается прочностью пуансона.

Пуансон при работе испытывает смятие (рис.5.6). Нагрузка, которую он выдерживает при смятии:

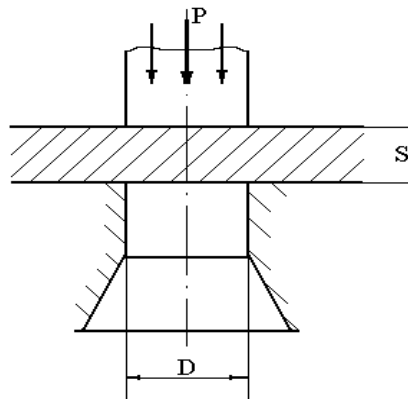


Рис.5.6. Схема к расчету размера минимального диаметра отверстия

$$P_{см} = \frac{\pi D^2 \sigma_{см}}{4} \quad (5.11)$$

откуда 
$$D = \frac{4S\sigma_{сп}}{\sigma_{см}} \quad (5.12)$$

Для стали  $D \geq S$ , для меди, латуни  $D \geq 0,9S$ .

Практикуется использование пуансонов с направленной втулкой и сильным прижимом.

#### 5.4. Зазор между матрицей и пуансоном

Зазором называется разность между размерами рабочих частей матрицы и пуансона.

$$z = D_m - d_n \quad (5.13)$$

При вырезании или пробивании изделий некруглой формы вместо диаметров принимаются расстояния между матрицей и пуансоном. Величина зазора влияет на:

- 1) качество вырубаемого (пробиваемого) изделия;
- 2) точность изделия;
- 3) усилие штамповки;
- 4) стойкость штампа.

В настоящее время нет ни единой методики для определения зазора. В зависимости от толщины и качества изделия зазор может колебаться в пределах 4–18 %.

Величину зазора определяют по Романовскому, исходя из угла скалывающихся трещин и глубины проникновения пуансона

$$z = 2S(1 - m) \operatorname{tg} \beta \quad (5.14)$$

где  $\beta$  – угол скалывания,

$m$  – средняя величина вдавливания пуансона (рис.5.7).

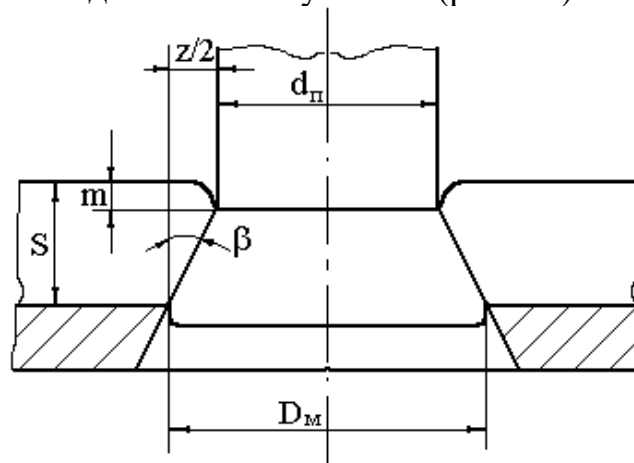


Рис.5.7. Схема к определению зазора между пуансоном и матрицей

Величину зазора можно определить также как:

$$z = \frac{S}{k} \quad (5.15)$$

где  $S$  – толщина материала;

$k$  – коэффициент, зависящий от механических свойств материалов.

Для латуни, меди, мягкой стали –  $k = 20$

Материалы средней твердости –  $k = 16$

Для твердых материалов –  $k = 14$

В зависимости от толщины материала величину зазора можно принять следующей:

Для точных работ до Н14 (кавалитет точности)

$z = 0,04S$  – мягкие материалы

$z = 0,05S$  – средней твердости

$z = 0,06S$  – твердые материалы

Для обычных работ от Н14 (кавалитет точности)

$z = 0,069S$  – мягкие материалы

$z = 0,08S$  – средней твердости

$z = 0,10S$  – твердые материалы.

Величины зазоров подсчитанные по формулам или принимаемые по справочникам – диаметральные зазоры, а не зазоры, принимаемые на сторону. В таблице 5.2 приведена величина двухсторонних зазоров в % от толщины металла.

Таблица 5.2.

Материал	Толщина материала					
	До 1	1–2	2–3	3–5	5–7	7–10
Сталь мягкая (0,8; ст.1; ст.2) медь	5	6	7	8	9	10
Ср. Тверд. Сталь (3 и 4)						
Тверд. Латунь	6	7	8	9	10	11
Тверд. Сталь (ст. 5,6)						
Тверд. Бронза	7	8	9	10	11	12

Так как в процессе работы изнашивается пуансон и матрица и происходит увеличение зазора, то назначение зазора должно быть большим расчетного или взятого из таблицы.

Величина максимального зазора зависит от величины допусков на износ пуансона и матрицы, он может быть допустим до 20 – 40% толщины при условии работы острым инструментом. При вырезке, пробивке материала толщиной менее 0,25 мм, зазором обычно пренебрегают и пригоняют пуансон по матрице.

Правило начисления зазора. Величина вырубаемой детали зависит от размера матрицы, а величина пробиваемого отверстия от величины пуансона. Т.е. в случае вырубаемого контура матрица должна изготавливаться по размеру



детали, а зазор осуществляется за счет пуансона; при пробивке отверстия пуансон делается по размеру отверстия, а зазор идет за счет матрицы.

Влияние зазора на качество среза. Чистая и ровная поверхность среза получается при правильно выбранном зазоре и острых кромках пуансона и матрицы. При малом зазоре скалывающиеся трещины не совпадают и образуют перемычку, которая затем перерезается режущими кромками, образуя заусенец. Таким образом получается двойной срез и рваная поверхность среза. Затрачивается дополнительное усилие. При больших зазорах и затупленных режущих кромках происходит изгиб материала. Скалывающиеся трещины также не совпадают, в результате получается кольцевая перемычка, которая не поддается вторичному срезанию – она просто разрывается. Боковая поверхность среза получается шероховатой с большим коническим сужением вверх и большим заусенцем. Однако при острых режущих кромках величина зазора не оказывает очень большого влияния на появление заусенца. Если затуплена кромка матрицы, заусенец появляется на отходе, если тупой пуансон зазор появляется на изделии.

Влияние зазора на усилие. Наименьшее усилие имеет место при нормальном зазоре. Усилие при недостаточных зазорах возрастает на 25–30 % по сравнению с нормальным (рис.5.8).

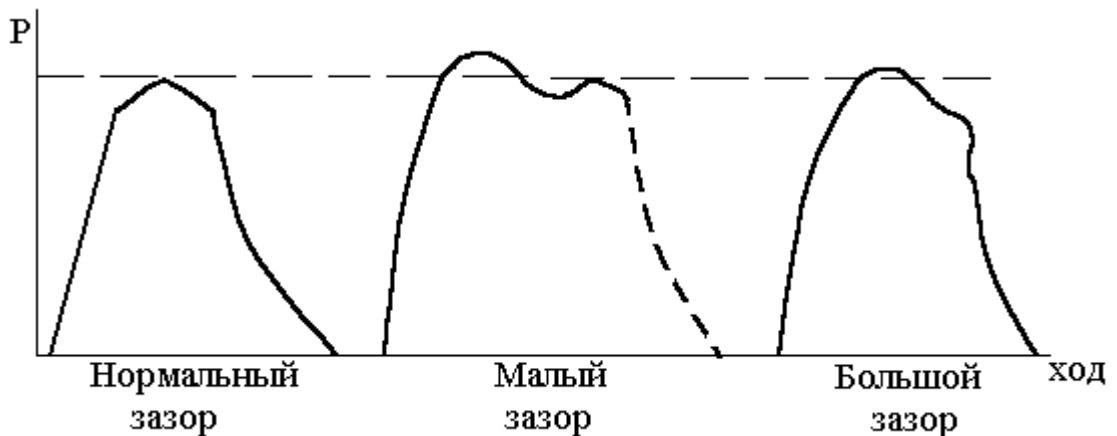
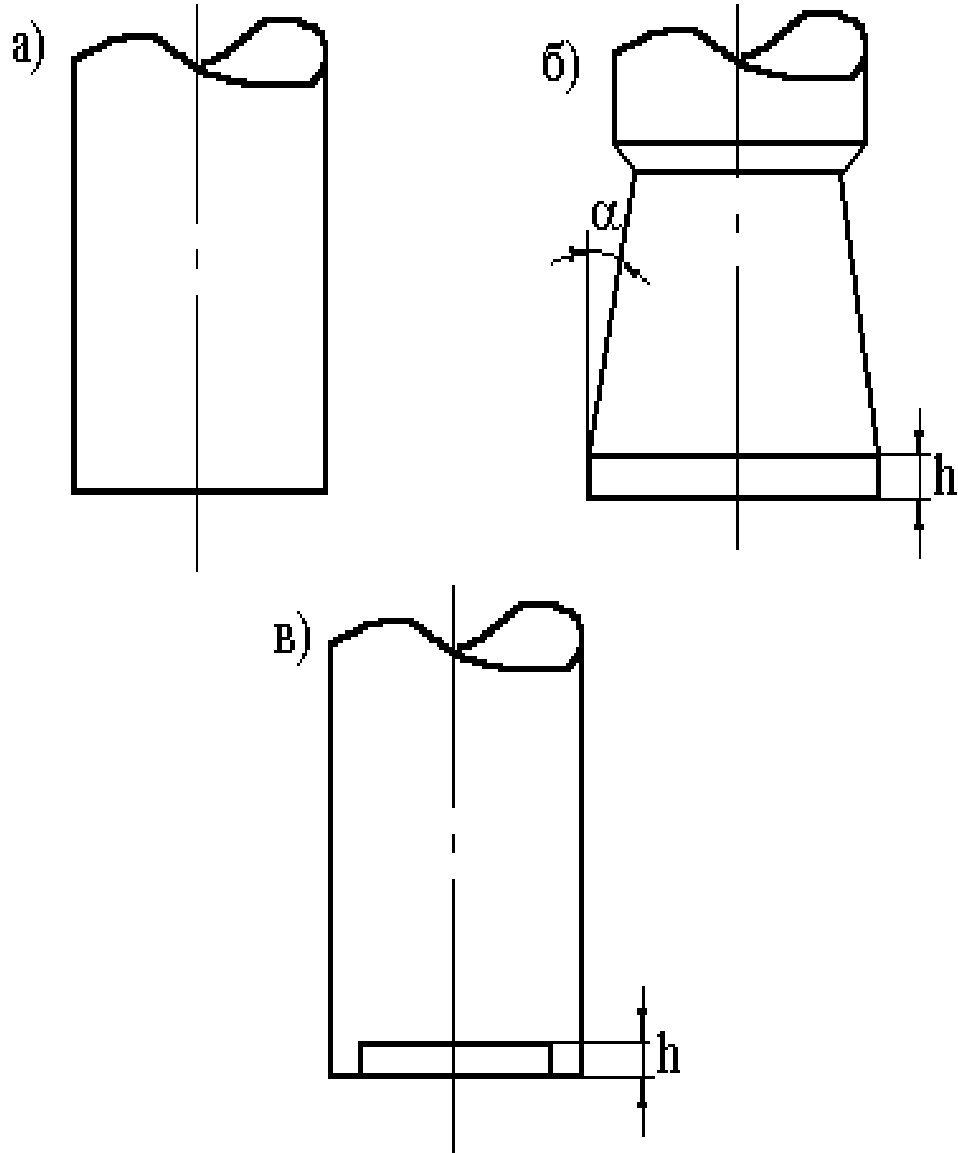


Рис. 5.8. Характер изменения усилия в зависимости от величины зазора

### 5.5. Конструкция режущих частей матриц и пуансонов

В зависимости от толщины материала, формы и размеров получаемых деталей конструкция режущих частей матриц и пуансонов может быть следующей. На рис.5.9 показаны пуансоны.



*Рис. 5.9. Типы пуансонов для разделительных операций*

Наиболее распространен тип а), тип б) применяется для толстых материалов, – в пуансоне используется конус для уменьшения трения  $\alpha = 2-3^\circ$ ,  $h = (1,5-2)S$ . Тип в) характерен для крупных пуансонов.

На рис.5.10 показаны матрицы. Тип а – матрица с цилиндрической шейкой – применяется для вырубki и пробивки простой и сложной конфигурации деталей.

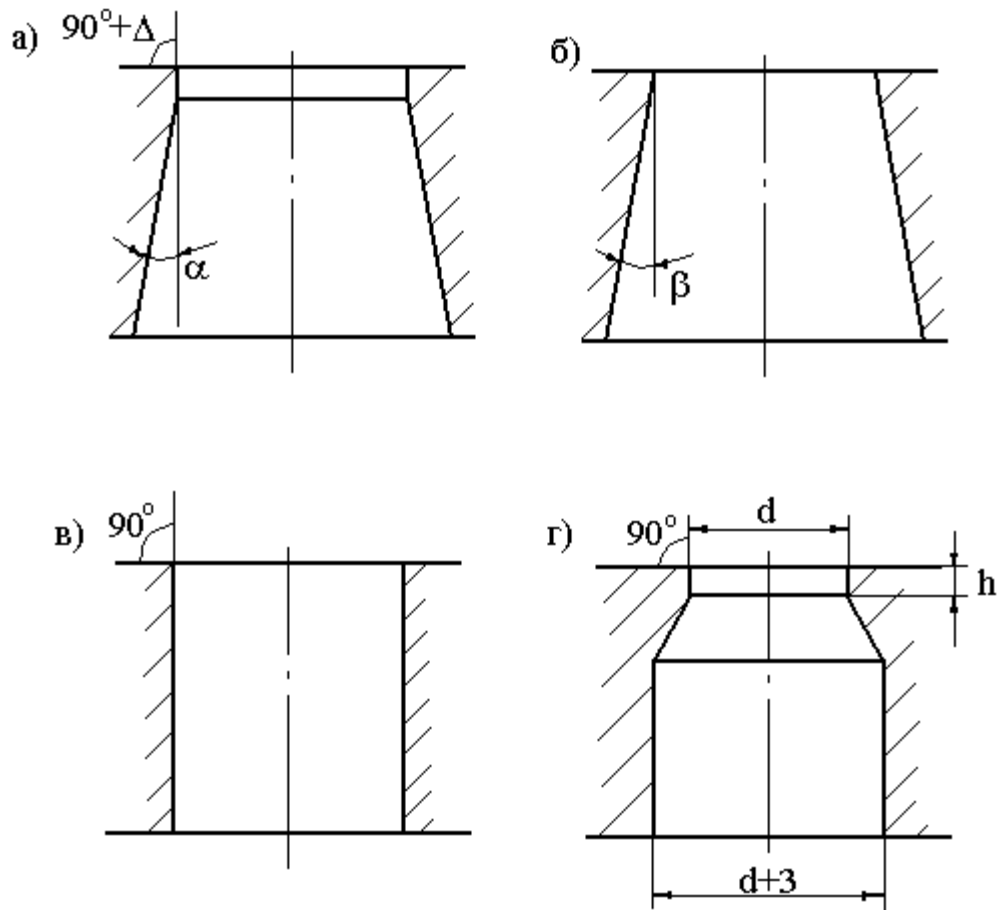


Рис. 5.10. Типы матриц применяемых для разделительных операций

При $S$ до 0,5 мм	$h = 3 - 5$ мм	$\Delta = 10^\circ$
до 0,5 – 5	$h = 5 - 10$ мм	$\Delta = 20^\circ$
до 5 – 10	$h = 10 - 15$ мм	$\Delta = 30^\circ$

Угол в зависимости от толщины металла берется  $3 - 5^\circ$ . Тип б – для вырубki небольших и относительно тонких деталей простой конфигурации;  $\beta = 10^\circ - 1^\circ$  в зависимости от толщины материала.

Тип в – при вырубке деталей с обратным выталкиванием и тип г – аналогично типу а применяется для круглых вставных матриц в штампах совмещенного действия.

## 6 ВЫРУБКА И ПРОБИВКА РЕЗИНОЙ. ЗАЧИСТКА. ЧИСТОВАЯ ВЫРУБКА

### 6.1. Вырезание и пробивание резиной

При изготовлении сравнительно крупных деталей в мелкосерийном производстве применяется вырезка и пробивка резиной. Вырезка с помощью резины применяется главным образом для мягких и тонких материалов: алюминий до – до 2-х мм, сталь мягкая – до 1–1,5 мм.

При вырезке наружного контура роль пуансона выполняет стальная пластина, а роль матрицы резиновая подушка (рис. 6.1 а).

При пробивке (вырезке) отверстий – наоборот – стальная служит матрицей и резиновый пуансон (рис. 6.1 б).

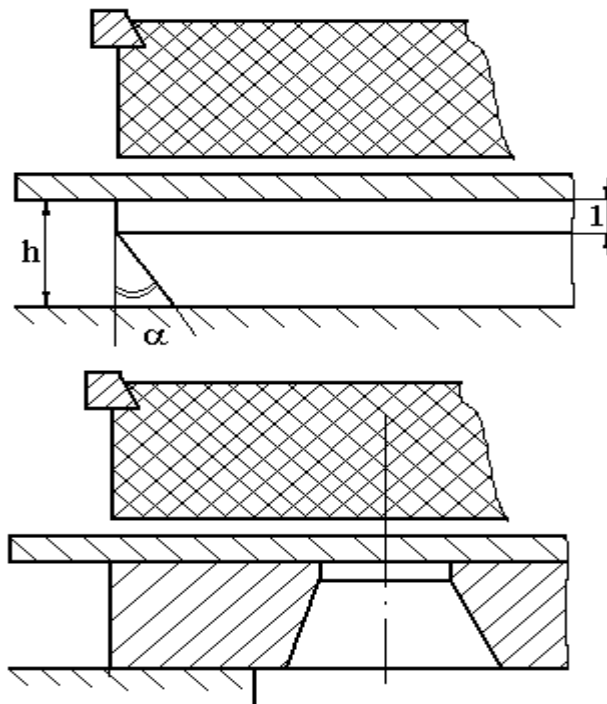


Рис. 6.1. Схема штампов для вырубki-пробивки резиной:  
а – вырубка; б – пробивка

Толщина вырезного шаблона  $h$  зависит от толщины вырезаемого изделия и составляет  $(7-8)S$ , но не менее 6 – 13 мм. По режущему контуру шаблон имеет поясok толщиной 1 мм, который переходит в конце в скос с углом  $\alpha = 8-12^\circ$ .

Практически установлено, что отверстия малого диаметра не удается пробивать. Минимальные размеры отверстия:

Толщина материала	0,3	0,5	0,6	0,75	0,8	1,0
Минимальный диаметр	7	9	10	11	12	14

Заготовка для детали, вырубаемой по внешнему контуру, должна иметь припуск  $h = 5-10\text{мм}$ , для нормального процесса работы.

Вырезка резиной производится на гидравлических прессах, причем одновременно из листа вырезается несколько (до 80 шт.) деталей различных конфигураций. Вырезка резиной с помощью простых и дешевых штампов значительно упрощает подготовку производства. К недостаткам относится повышенный отход материала, и детали после вырезки требуют зачистки кромок. Толщина резиновой подушки должна превышать в 5 – 4 раза высоту шаблона.

С помощью резины можно производить одновременно вырезку наружного контура и пробивку отверстия, а также комбинированные операции формовки и обрезки. В этом случае резина производит вырезку и пробивку. Жесткую резину брать не следует, ибо это приводит к возрастанию давления. Условия пробивки резиной более благоприятней, чем вырезка по контуру, т.е. удельное давление при пробивке больше в середине резиновой подушки, чем по краям. Для создания таких же условий на краях, а также с целью уменьшения припусков пери вырезке делают штампы с защемлением края заготовки на особых упорах или подкладных плитах

Для работы рекомендуется резина марок 5730 и 7000

$\sigma_s = 30 - 50 \text{ МПа}$ ,  $\delta = 300 - 400\%$  – относительное удлинение,

$H_{ш} = 45 - 65$  – твердость по Шору.

Наибольший срок службы резины при деформациях в 20–25 %. Для ликвидации деформирования резины в сторону, с целью создания равномерного давления по всей поверхности, ее помещают в специальный ограничивающий кожух. Усилие, потребное для вырезки резиной определяется по формуле:

$$P = Fq \quad (6.1)$$

где  $F$  – площадь заготовки,  $\text{см}^2$ ;

$q$  – удельное давление резины в  $\frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ .

Удельное давление зависит от толщины материала и его рода (механических свойств). Удельное давление, развиваемое резиной, зависит от степени ее сжатия, а также от того, свободна резина или заключена в кожух. Удельное давление:

S	0,5	0,6	0,8	50	53
Алюминий	55	70	82	105	130
Сталь мягкая	140	170	230	290	–

## 6.2. Зачистка (калибровка)

Изделие, полученное вырубкой, имеет неровную, слегка косую и шероховатую поверхность среза, особенно при толстом материале. Кроме того, изделие имеет закругление на кромке, и заусенец со стороны пуансона. Поэтому, когда требуется получить изделие точных размеров, а также ровную и чистую поверхность среза – после вырубки прибегают к операции зачистки, осуществляемой на штампах. Зачисткой можно получить изделия высокой точности. Зачистка производится как по наружному, так и по внутреннему контуру. Существуют следующие способы зачистки на штампах:

- 1) зачистка снятием припуска (рис.6.2. а),
- 2) зачистка пуансоном, который «полнее» матрицы, или одновременная пробивка и калибровка ступенчатым пуансоном (рис.6.2. б),
- 3) зачистка (наружного) контура обжимом в конусной матрице с заваленными кромками (рис.6.2. в).

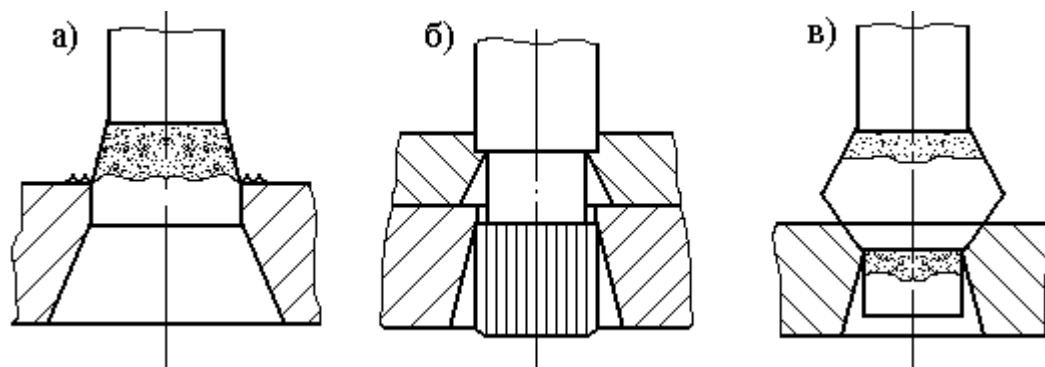


Рис. 6.2. Способы зачистки:

*а – снятием припуска; б – ступенчатым пуансоном; в – обжимом*

Первый способ наиболее распространен и заключается в снятии стружки по контуру детали. При толщине металла до 3-х мм применяется обычно одна зачистка, а при более толстых материалах и повышенной точности – 2 или 3 зачистки. Частота зависит от качества зачищаемого материала, состояния рабочих инструментов и величины припуска на зачистку.

Припуск на зачистку делается тем больше, чем тоньше и мягче металл. Наименьший припуск делается при зачистке деталей простой формы. В среднем величина припуска составляет: для мягких материалов 6–7 % от  $S$ , средней твердости 9–10 % от  $S$ , твердых 12–15 % от  $S$ .

Если при толстой детали шероховатость и конусность нельзя удалить за одну зачистку, то на следующих зачистках размеры пуансона и матрицы уменьшаются.

Размеры вырезанного пуансона и матрицы с учетом припуска на зачистку (рис. 6.2) определяются так:

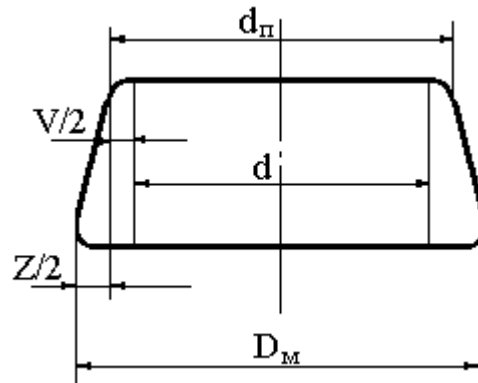


Рис. 6.3. Схема к расчету припуска при зачистке

$$d_n = d + V \quad (6.2)$$

$$D_M = d + (z + V) \quad (6.3)$$

где  $d$  – диаметр зачищаемой детали;  
 $z$  – зазор при вырезке.

Для увеличения чистоты поверхности при зачистке твердой стали режущие кромки матрицы слегка скругляются ( $r = 0,62$ ). Однократная зачистка обеспечивает точность деталей (размером до 500 мм) при толщине материала

До 1 мм	0,01–0,015 мм;
1–3 мм	0,025–0,03 мм;
3–5 мм	0,035–0,04 мм.

Зазор между пуансоном и матрицей зачистного штампа берется в пределах 0,006–0,01 мм.

Усилие при зачистке этим способом:

$$P = \left( \frac{V + z}{2} \right) L \cdot \sigma_{cp} + \sum Q \quad (6.4)$$

где  $\frac{V + z}{2}$  – односторонний суммарный припуск, мм;

$L$  – периметр зачистки;

$\sum Q$  – сумма усилий для проталкивания, сжатия буферов.

Во втором способе зачистки матрица имеет размеры зачищаемой детали, а пуансон – размеры заготовки. При этом способе пуансон не должен доходить до матрицы на 0,2–0,5 мм. Окончательная зачистка и проталкивание осуществляется следующей деталью. Диаметр пуансона берется обычно больше диаметра матрицы на  $(0,1 - 0,2)S$ .

Третий способ чаще применяется для мягких материалов. Припуск на обжатие должен быть не больше 0,04–0,06 мм на сторону. Чистота

поверхности и точность зачистки при этом несколько ниже, чем при срезании припуска.

### 6.3. Чистовая вырезка и пробивка

Поверхность среза при вырезке и пробивке детали в обычных штампах имеет значительную шероховатость, зависящую от условий штамповки. Уменьшению шероховатости поверхности среза может быть достигнуто применением зачистных или специальных штампов для чистовой вырезки и пробивки.

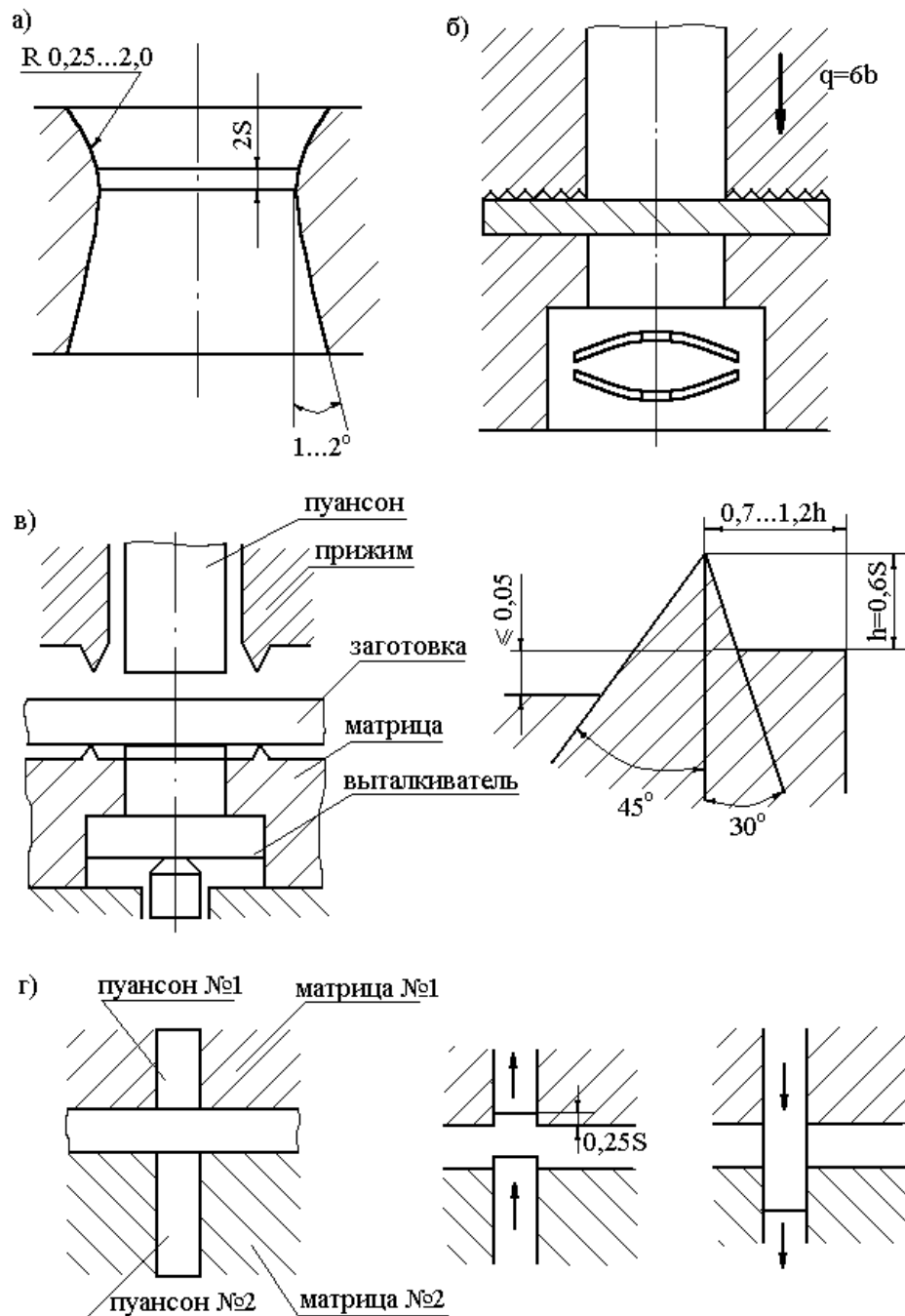


Рис. 6.4. Конструкции штампов для чистовой вырубки



Для чистой вырезки и пробивки рис. 6.3 применяются:

а) вырезные штампы с матрицами, имеющими закругленные режущие кромки. Применяются для малоуглеродистой отожженной стали, алюминиевых, медно-цинковых и других сплавов цветных металлов. Усилие здесь на 10–20 % выше обычной вырезки, работа производится со смазкой индустриальным маслом 20 по ГОСТ 1707-51.

б) Вырезные штампы с высоким удельным давлением прижима материала в зоне деформации и с прижимом выталкивателем (рис.6.3.б). Применяются для толщин материала до 4 мм. Давление прижима равно обрабатываемого материала.

в) Вырезные штампы с прижимом снабженным пальцевым ребром (рис.6.3.в). При штамповке материала до 4 – 6 мм кольцевое ребро делается только на прижиме при  $S > 6\text{мм}$  и сложном контуре ребра предусматриваются также на матрице. Усилие прижима определяется также по формуле:

$$P = klh_i \quad (6.5)$$

где  $k$  – удельное давление прижима,  $\text{кгс}/\text{мм}^2$ ;

$l$  – периметр кольцевого ребра, мм;

$h_i$  – глубина проникновения кольцевого ребра в материал ( $\approx 0,55$ ).

Величины удельного давления прижима приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1.

Материал	Давление прижима $ k $ , $\text{кгс}/\text{м}^2$
Нагартованный	0,5
Лента медная твердая	1,3
Лента латунная твердая	1,8
Сталь 45	2,5
Сталь X18H9T	3,0

Реверсивная чистовая вырезка и пробивка выполняется по схеме (рис.6.3. г). При этом необходим пресс тройного действия. Штампы для чистой вырезки и пробивки должны иметь повышенную жесткость по сравнению с обычными штампами.

Зазоры при чистой вырезке и пробивке между матрицей и пуансоном составляют всего 0,01–0,02 мм.

## 7. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ШТАМПОВКИ

### 7.1. Определение исполнительных размеров инструмента при вырезании и пробивке

Если вырезается изделие, то размеры его определяются размерами матрицы (рис.7.1).

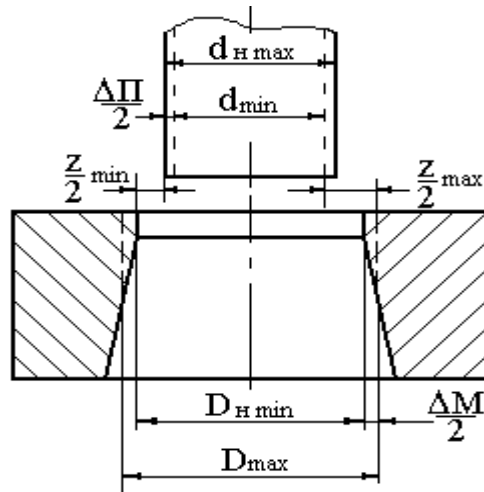


Рис. 7.1. Схема исполнительных размеров при вырубке-пробивке

Диаметр матрицы должен быть равен диаметру изделия, а диаметр пуансона должен быть меньше на величину зазора. Размеры матрицы или пуансона, взятые по размерам изделия – расчетные размеры или номинальные. При этом зазор между рабочим инструментом является номинальным или расчетным. Но выполнить матрицу или пуансон точно по чертежу нельзя, размеры их будут отличаться от чертежных на величину допуска на изготовление.

Размер матрицы или пуансона, полученный непосредственно перед измерением – действительный размер. В зависимости от действительных размеров меняется действительный зазор, который всегда больше расчетного, так как при изготовлении матрицы и пуансона допуск всегда назначается в тело.

Поэтому во избежании выпуска негодных изделий, предельные размеры (наибольший и наименьший) инструмента, в которых должен находиться действительный размер, должны ограничиваться определенным допуском на изготовление, что даст нормальный предельный зазор, представляющий собой наименьшую и наибольшую допустимую величину действительного зазора. Кроме неточности изготовления инструмента надо учитывать его износ.

При назначении допуска необходимо учитывать также величину распушинивания изделия, особенно при точных размерах. Оно учитывается при назначении размеров инструмента.

При вырезании сначала определяют размер матрицы, а пуансон определяются по фактическому размеру матрицы с учетом зазора (рис.7.2).

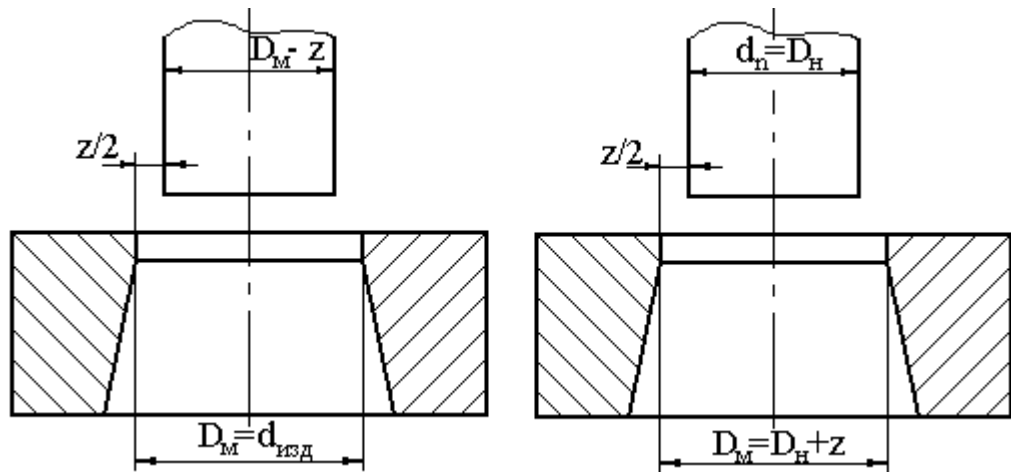


Рис. 7.2 Схема к расчету исполнительных размеров.

$$D_M = (D_H - \Delta)^{+\delta_M} \quad (7.1)$$

$$d_n = (D_M - z)_{-\delta_n} \quad (7.2)$$

где  $D_H$  – номинальный (чертежный) размер изделия;

$\Delta$  – допуск на неточность изготовленного изделия;

$\delta_M, \delta_n$  – допуск на неточность изготовления матрицы и пуансона.

Схема полей допусков на пуансон и матрицу при вырубке показана на рис. 7.3:

где  $\Delta$  – допуск на изготовление изделия;

$\delta'_n, \delta'_M$  – допуск на износ матрицы, пуансона;

$a$  – гарантийная величина, учитывающая изменение размеров вследствие упругих свойств материала и берется равной допуску на неточность изготовления отверстия 2-го класса точности скользящей посадки.

Допуск на износ матрицы  $\delta'_M$  – принимается  $\delta'_M \geq \frac{1}{6}\Delta$  и допуск на износ пуансона  $\delta'_n \geq \frac{1}{6}\Delta$ .

Таким образом:

$$\Delta = \delta'_M + \delta'_n + a \quad (7.3)$$

На пробивание отверстий (рис. 7.3) вначале определяется размер пуансона

$$d_n = (D_H + \Delta)_{-\delta_n} \quad (7.4)$$

$$D_M = (d_n + z)^{+\delta_M} \quad (7.5)$$

где  $D_n$  – номинальный (чертежный) размер отверстия;  
 $\Delta$  – допуск на изготовление отверстия;  
 $\delta_m, \delta_n$  – допуск на изготовление пуансона и матрицы.

Схема полей допусков при пробивке показана на рис.7.3.

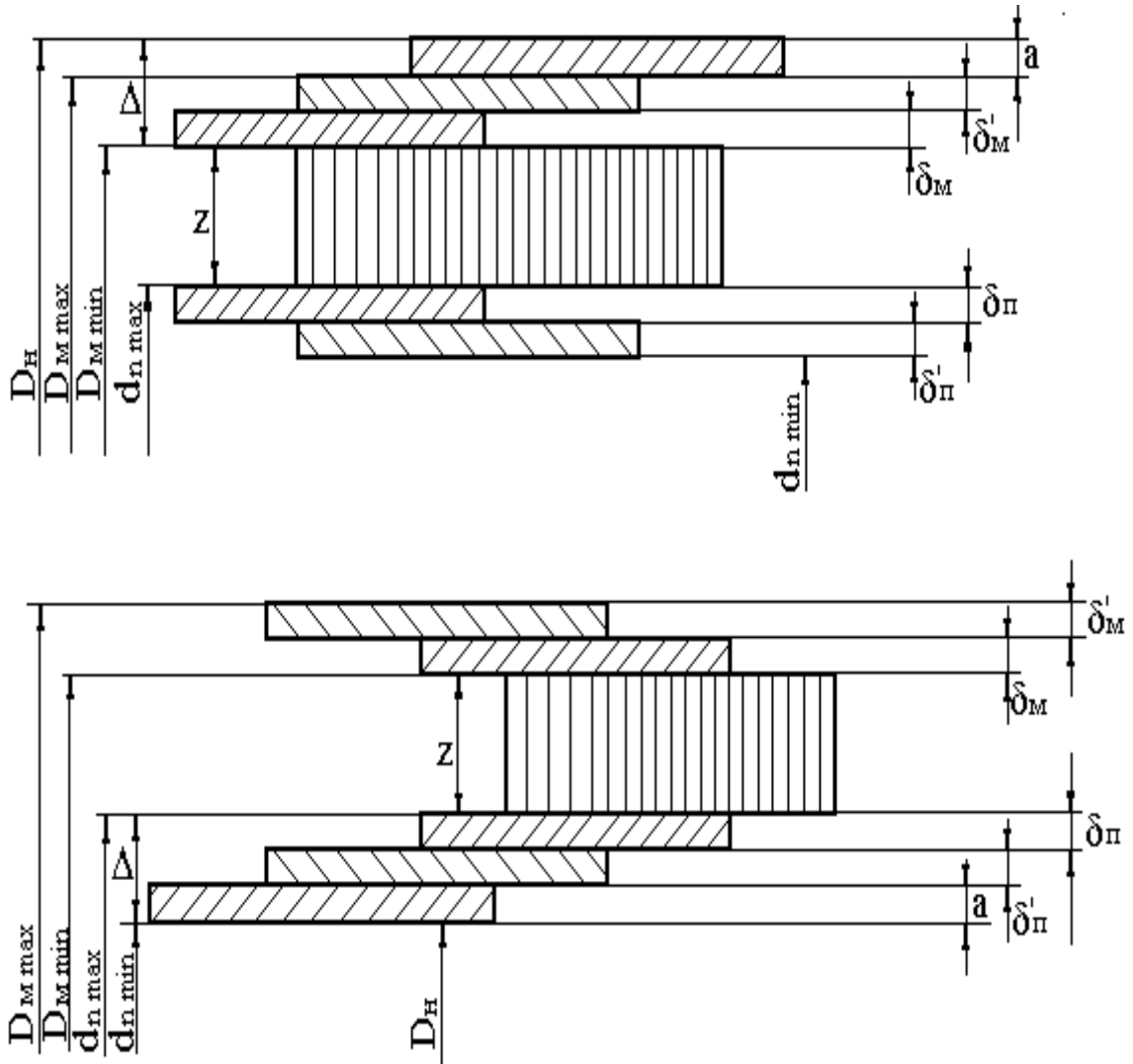


Рис. 7.3. Схема полей допусков при пробивке

где  $\Delta$  – допуск на изготовление изделия;  
 $\delta_m', \delta_n'$  – допуск на износ пуансона и матрицы;  
 $a$  – величина, учитывающая упругие деформации.

Здесь  $\delta_n' \geq \frac{1}{6} \Delta$  и  $\delta_m' \geq \frac{1}{6} \Delta$ ;

Таким образом:

$$\Delta = \delta_n + \delta_n' + a \quad (7.6)$$

Принимая величину пружинения, указанную ниже, величины допусков на износ и изготовление, можно получить изделия по 4, 5 классу качеству точности (если инструмент изготовлен по 2 классу качеству точности).

В таблице 7.1 даны допуски на неточность изготовления пуансонов и матриц в зависимости от размера изделия (диаметра, длины) и его толщины.

Таблица 7.1.

Номин. размеры изделия	Допуск	Толщина штампующего материала							
		0,25	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0
1–10 мм	$\delta_m$	0,015	0,015	0,030	0,035	0,050	0,055	0,060	0,07
	$\delta_n$	0,010	0,010	0,015	0,025	0,930	0,035	0,040	0,04
10–50 мм	$\delta_m$	0,020	0,020	0,045	0,055	0,065	0,080	0,090	0,10
	$\delta_n$	0,010	0,015	0,925	0,035	0,045	0,050	0,060	0,07
50–180 мм	$\delta_m$	0,020	0,030	0,065	0,075	0,090	0,105	0,115	0,1
	$\delta_n$	0,015	0,020	0,035	0,045	0,060	0,065	0,075	0,08
180–500 мм	$\delta_m$	–	0,045	0,065	0,085	0,105	0,120	0,135	0,15
	$\delta_n$	–	0,030	0,045	0,085	0,070	0,080	0,085	0,10

## 7.2. Определение размеров инструмента при вырезании и пробивании изделий сложного контура

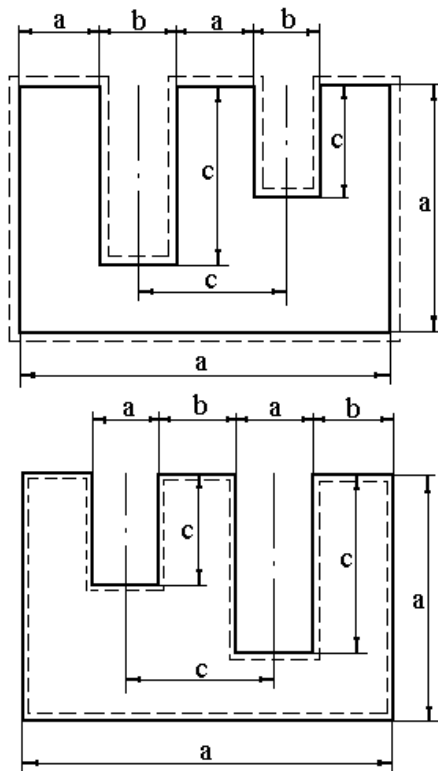


Рис.7.4 Характер изменения размеров при вырубке (а) и пробивке (б) деталей сложного контура.

1. Вырезание (рис. 7.4 а). При сложных контурах вырезаемых деталей режущие кромки пуансона и матрицы изнашиваются различно: некоторые их размеры увеличиваются, другие – уменьшаются, третьи – остаются неизменными. Соответственно этому меняются размеры изделия. Например, при вырезании изделия, можно отметить три группы размеров: 1 группа (а) – которые стремятся к увеличению за счет износа матрицы и за счет допуска на ее изготовление. 2 группа (в) – которые стремятся в силу тех же причин к уменьшению, и 3 группа (с) сохраняют свою величину.

При вырезании размеры матрицы для группы размеров «а» равны нижним предельным размерам изделия; допуск на инструмент дается в размере  $\frac{1}{4}$  допуска на изделие:

$$D_m = (D_n + \Delta_1)^{+0,25\Delta} \quad (7.7)$$

$$d_n = (D_m - z)_{-0,25\Delta} \quad (7.8)$$

Размер матриц для группы «в» принимается равным верхним предельным размерам изделия, допуск на изготовление принимается  $\frac{1}{4}$  допуска на изделие.

$$D_m = (D_n + \Delta_2)^{+0,25\Delta} \quad (7.9)$$

$$d_n = (D_m - z)_{-0,25\Delta} \quad (7.10)$$

Размеры матрицы для группы «с» равны верхнему предельному размеру изделия, минус половина полного допуска на этот размер:

$$D_m = \left[ D_n + \Delta_2 - \frac{1}{2}(\Delta_1 + \Delta_2) \right]^{\pm 0,25\Delta} = \left( D_n + \frac{\Delta}{2} - \frac{\Delta_1}{2} + \Delta_2 \right)^{\pm 0,25\Delta} \quad (7.11)$$

$$d_n = (D_m + 0)^{\pm 0,25\Delta} \quad (7.12)$$

где  $\Delta_1$  – нижнее отклонение на размер изделия;

$\Delta_2$  – верхнее отклонение и  $\Delta = \Delta_2 - \Delta_1$ .

2. Пробивка (рис. 7.4 б). Так же, как и при вырезании, при пробивании размеры изменяются различно: размеры «а» стремятся к уменьшению, группы «в» к увеличению, «с» – постоянны. Размеры пуансона для группы «а»: размер пуансона равен верхнему предельному размеру отверстия, допуск на пуансон в тело и равен 0,25 допуска на отверстие:

$$d_n = (D_n - \Delta_2)_{-0,25\Delta} \quad (7.14)$$

$$D_m = (d_n + z)_{-0,25\Delta} \quad (7.15)$$

Размеры инструмента для группы «в». Размер пуансона равен нижнему предельному размеру изделия:

$$d_n = (D_n - \Delta_1)_{-0,25\Delta} \quad (7.16)$$

$$D_m = (d_n + z)^{+0,25\Delta} \quad (7.17)$$

Размеры инструмента для группы «с». Номинальный размер пуансона равен нижнему предельному размеру пробиваемого отверстия плюс  $\frac{1}{2}$  допуска на соответствующий размер отверстия. Допуск на пуансон симметричный и равен  $\frac{1}{4}$  допуска на размер отверстия:

$$d_n = \left[ D_n - \Delta_1 - \frac{1}{2}(\Delta_1 + \Delta_2) \right]_{\pm 0,25(\Delta_1 + \Delta_2)} \quad (7.18)$$

$$D_m = (d_n - 0)^{\pm 0,25(\Delta_1 + \Delta_2)} \quad (7.19)$$

где  $\Delta_1$  – нижнее отклонение отверстия;

$\Delta_2$  – верхнее отклонение отверстия

## 8. РАСКРОЙ МАТЕРИАЛА

### 8.1. Раскрой материала

Штамповка из листовых материалов связана с потерей некоторой части его в виде отходов. Величина отхода при штамповке зависит от расположения вырубаемых деталей на полосе или ленте.

Способ расположения вырубаемых деталей на заготовке называется раскроем материала. При крупных масштабах производства, в крупносерийном и массовом, вопрос о наиболее выгодном раскрое материала является особо важным, так как рационально выбранный раскрой дает в этих условиях значительную экономию металла. Особо важное значение экономика металла объясняется тем, что стоимость материала штампованных деталей составляет от их общей стоимости примерно 60 – 75%, в то время как заработная плата лишь 5 – 15%. Существует 2 основных вида раскроя – с перемычкой (раскрой с отходом) и без перемычки (раскрой без отхода). Чаще применяется раскрой с перемычкой. Раскрой без перемычки применяется реже – для изделий простой формы и невысоких требованиях к точности и срезу.

Отходы, получающиеся от способа расположения деталей и наличия перемычек, относятся к технологическим отходам. Отходы от пробивки отверстий, а также отходы в начале и в конце полосы зависят исключительно от конструкции детали и не могут характеризовать самого способа раскроя.

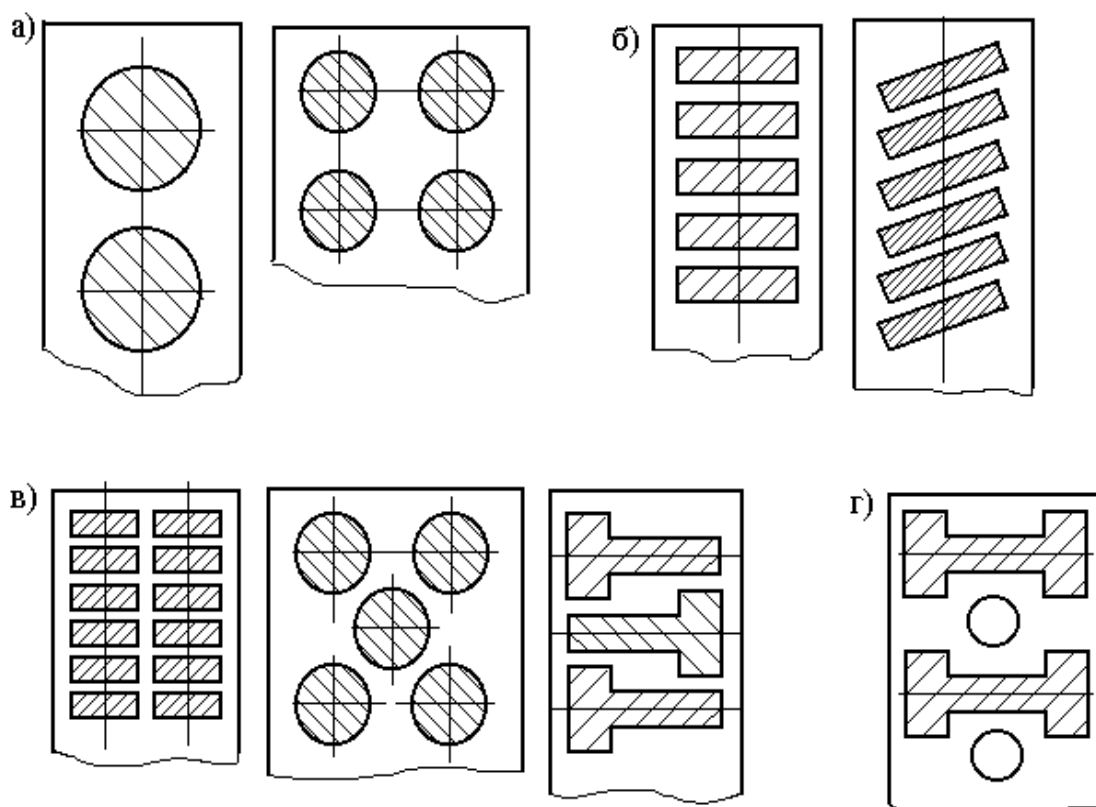


Рис. 8.1 Виды раскроя материала



Применяемые способы раскроя на практике можно классифицировать:

1) по количеству рядов изделия в полосе или ленте (рис.8.1а) – раскрой может быть однорядный и многорядный. При определенных размерах и форме изделий многорядный раскрой может оказаться более выгодным (с меньшими отходами). Обычно многорядный раскрой применяется при сравнительно небольших размерах штампуемых деталей;

2) по расположению штампуемых деталей относительно полосы или ленты – раскрой может быть прямой и наклонный (рис.8.1б). Как прямой, так и наклонный в зависимости от размеров изделия и других условий может быть однорядный и многорядный. Сравнение прямого и наклонного раскроев позволяет сказать, что наклонное расположение требует не только более узкой полосы ( $B > B_1$ ), но позволяет получить большее количество деталей по длине, т.е. расстояние между изделиями (шаг) уменьшается ( $a > a_1$ ). Наклонный раскрой чаще применяется для деталей сложной конфигурации, дающих при прямом раскрое большой отход. Прямой отход применяется для деталей простой формы;

3) по расположению деталей относительно друг друга – раскрой может быть рядовой, шахматный, встречный (рис.8.1 в).

Рядовой раскрой по количеству отходов, в большинстве случаев уступает шахматному. Как при шахматном, так и при встречном раскрое изделия можно располагать прямо и наклонно. Сравнивая рядовое расположение деталей и шахматное, можно видеть, что ширина полосы при шахматном раскрое нужна меньше.

Встречный раскрой применяется обычно для деталей типа Т, П, Ш – образной формы, дающих при обычном прямом или наклонном раскрое большие отходы.

4) Комбинированный – в целях полного использования материала, применяется для двух и более деталей, одинаковых по толщине и марке материала (рис.8.1 г).

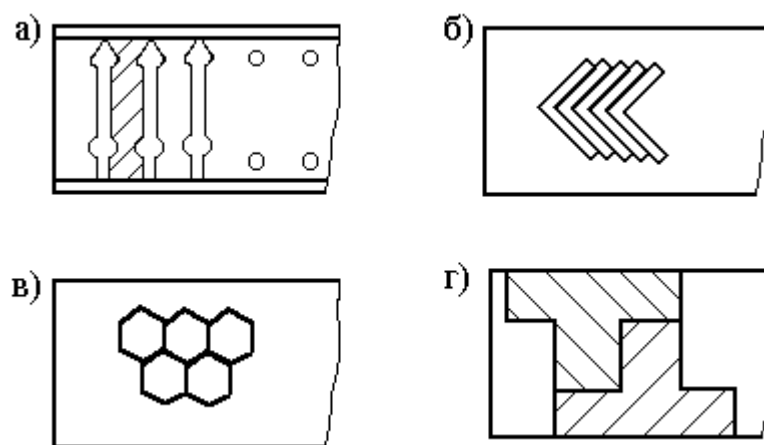


Рис.8.2. Раскрой с вырезкой перемычки (а) и без перемычки (б,в,г).

Кроме этих основных видов раскроя часто прибегают к штамповке с вырезкой перемычки (рис.8.2а) например, для мелких и узких деталей (стрелки часов). Раскрой без перемычки (безотходный и малоотходный)

может быть прямым, наклонным, встречным, комбинированным, однорядным, мноорядным и т. д. (рис.8.2 б,в,г).

## 8.2. Определение величины перемычки

Экономичность раскроя зависит в значительной степени от величины перемычки. При установлении рационального раскроя необходимо располагать изделия как можно плотнее друг к другу, однако так, чтобы между ними и краем полосы оставалась определенной величины перемычка.

Основное значение перемычки – компенсировать погрешность подачи материала и фиксации его в штампе. Величина перемычки влияет:

1) на стойкость штампа (при работе с нормальными перемычками стойкость увеличивается по сравнению с работой без перемычек на 50 %).

2) Качество среза (при малой перемычке она обрывается, образуя заусенец и рваные края).

3) безопасность работы (малая перемычка может втягиваться в матрицу и рвать ленту). С точки зрения полного использования материала перемычка должна быть минимальной, с другой стороны, она должна быть достаточно быть достаточно прочной и жесткой.

В ряде случаев перемычка применяется для фиксации полосы по упору, а при автоматической подаче материала – перемычка является элементом, за который тянет полоса. Величина перемычки зависит:

- 1) от толщины материала;
- 2) его механических свойств;
- 3) размеров и контура изделия;
- 4) типа раскроя;
- 5) типа упора;
- б) способа подачи (с боковым прижимом).

Величина перемычки (рис.8.3).

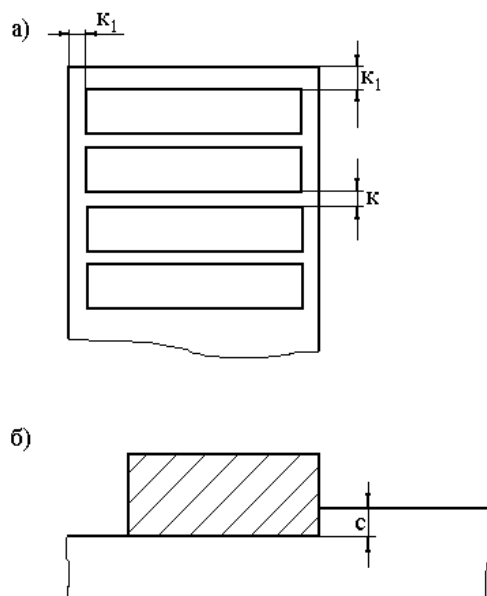


Рис. 8.3. Схема к расчету величины перемычки:  
а – без ножевого упора; б – с ножевым упором

$$k = xS \quad (8.1)$$

где  $x$  — коэффициент равный:

$S = 0,1 - 0,5 \text{ мм}$	$x = 2$
$S = 0,6 - 1,0 \text{ мм}$	$x = 1,5$
$S = 1 - 2 \text{ мм}$	$x = 1,25$
$S = 2 - 5 \text{ мм}$	$x = 0,8 - 1,25$

Или формулам: при  $S = до 1,5 \text{ мм}$

$$k = 3,7 - \sqrt{6,51 - S(S - 0,4)} \quad (8.2)$$

$$\text{при } S = 1,5 - 5 \text{ мм} \quad k = 0,57S + 0,64 \quad (8.3)$$

$$\text{при } S \geq 5 \text{ мм} \quad k = (0,6 - 0,7)S \quad (8.4)$$

Значения, полученные по этим формулам, справедливы для мягких сталей и латуни при ручной подаче материала. Для других материалов значения перемычек, определенные по этим формулам, следует умножить на коэффициент " $m$ ", равный:

- $m = 0,8$  — для твердой стали;
- $m = 0,9$  — для средней твердости стали;
- $m = 1,0 - 1,1$  — для бронзы и твердой латуни;
- $m = 1,0 - 1,2$  — для дюралюминия;
- $m = 1,3 - 1,4$  — для алюминия;
- $m = 1,5 - 2$  — для неметаллических материалов;

При вырубке деталей, форма которых требует двукратного пропуска через штамп с поворотом, значение перемычки необходимо увеличить на 30 %.

При автоматической подаче величину перемычки, подсчитанную по формулам и таблицам, также надо умножить на коэффициент  $m_1$ ,

- $m_1 = 0,9$  — для валковой подачи;
- $m_1 = 0,8$  — для клещевой подачи;
- $m_1 = 1,2 - 1,3$  — для крючковой подачи.

Таким образом,

$k_p = mk$  — для ручной подачи;

$k_a = mm_1k$  — для автоматической.

Перемиčky между краем полосы и изделием должна быть больше, чем перемиčka между изделиями на 15 – 20 %.

$$k_{kp} = (1,15 - 1,20)k \quad (8.5)$$

Минимальная величина перемиčky при вырезке резиной:

$$k_{рез} = \sqrt{2}h \quad (8.6)$$

В случае вырубкн изделий, очерченных по данным параллельным линиям, перемиčku во избежание ее выворота необходимо увеличить на 25 – 40 % против нормальной по расчетам. В случаях, когда вырезается крупная заготовка с последующей обрезкой, или когда изделие изготавливается из ценного металла, часто применяется штамповка с рассечкой. При увеличении числа рядов в полосе величина отхода может уменьшаться, но увеличивается сложность штампа, его наладка, габариты. Если вырубка производится с ножевыми упорами (рис.8.3б), т.е. с отрезкой одной или двух кромок полосы, то ширина обрезаемой кромки "с" должна быть:

$$\begin{aligned} \text{при } S = \text{до } 1,5\text{мм} & - c = 2\text{мм} \\ S = 1,5 - 2,5\text{мм} & - c = 2,5\text{мм} \\ S = 2,5 - 3,0\text{мм} & - c = 3,0\text{мм} \end{aligned}$$

### 8.3. Определение наивыгоднейшего раскроя, шага подачи и ширины полосы

Показателем, характеризующем качество раскроя материала, является коэффициент использования материала (коэффициент выхода годного)

$$\eta = \frac{F_0}{F} \cdot 100\% \quad (8.7)$$

где  $F_0$  – площадь изделия;

$F$  – площадь заготовки, приходящаяся на одну деталь.

Наиболее просто  $\eta$  определяется в случае вырубкн круглых изделий (рис.8.4).

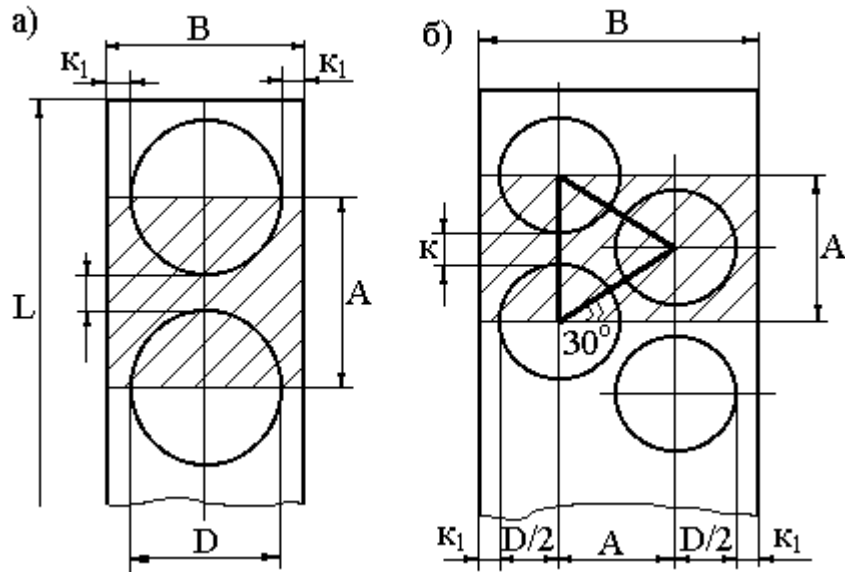


Рис 8.4 Схема к определению коэффициента использования материала:  
а – однорядный; б – шахматный раскрой

#### Однорядный раскрой

$$\eta = \frac{F_0}{F} \cdot 100\% = \frac{\pi D^2 / 4}{AB} = \frac{0,785 D^2 \cdot 100}{(D+k)(D+2k_1)} \% \quad (8.8)$$

Здесь  $A$  – шаг штамповки, т.е. расстояние, на которое надо подвинуть полосу для вырубки каждого последующего изделия (шаг подачи). Такой подсчет недостаточно точен, так как при нем не учитываются концевые отходы.

С учетом концевых отходов:

$$\eta = \frac{F_0 \cdot n}{B \cdot L} 100\%, \quad (8.9)$$

где  $L$  – длина полосы;

$n$  – число полных деталей получаемых из полосы.

Число целых (годных) деталей в полосе

$$n = (L - k_1)(D + k). \quad (8.10)$$

Ширина полосы

$$B = D + 2k_1. \quad (8.11)$$

Площадь материала, затрачиваемая на одно изделие (включая отходы):

$$F = \frac{BL}{n} = \frac{(D + 2k_1)L}{L - k/D + k},$$

и коэффициент использования полосы:

$$\eta = \frac{F_0}{F} = \frac{0,785D^2 \frac{L - k}{D + k}}{(D + 2k_1)L} \% \quad (8.12)$$

Для многорядного раскроя с параллельным расположением кружков:

$$B = D \cdot n + (n - 1)k + 2k_1 \quad (8.13)$$

Число изделий в полосе:

$$N = \frac{L - k_1}{D + k} n \quad (8.14)$$

где  $n$  – число рядов

Коэффициент использования:

$$\eta = \frac{F_0 N}{BL} = \frac{0,785D^2 \frac{L - k_1}{D + k} \cdot n \cdot 100}{[nD + (n - 1)k + 2k_1]L} \% \quad (8.15)$$

или без учета концевых отходов:

$$\eta = \frac{F_0}{F} = \frac{0,785D^2 n \cdot 100}{[nD + (n - 1)k + 2k_1](D + k)} \% \quad (8.16)$$

В случае шахматного расположения двухрядного раскроя (рис.8.4б).

Шаг подачи:

$$A = (D + k) \quad (8.17)$$

Ширина полосы:

$$B = k_1 + \frac{D}{2} + A_1 + \frac{D}{2} + k_1 = D + A_1 + 2k_1 \quad (8.18)$$

где

$$A = (D + k) \cos 30^\circ = (D + k) \frac{\sqrt{3}}{2} \quad (8.19)$$

$$\eta = \frac{2F_0}{F} = \frac{2 \cdot 0,785D^2 \cdot 100}{\left[ D + 2k_1 + (D+k) \frac{\sqrt{3}}{2} \right] L} \% \quad (8.20)$$

или с учетом концевых отходов:

$$\eta = \frac{2 \cdot 0,785D^2 \cdot L - k - \frac{D}{2} / (D+k)}{\left[ D + 2k_1 + (D+k) \frac{\sqrt{3}}{2} \right] L} \% \quad (8.21)$$

и для шахматного многорядного раскроя:

$$\eta = \frac{n \cdot 0,785 \cdot 100}{\left[ D + 2k_1 + (n-1)(D+k) \frac{\sqrt{3}}{2} \right] (D+k)} \% \quad (8.22)$$

без учета концевых отходов.

С учетом концевых отходов:

$$\eta = \frac{n \cdot 0,785D^2 \cdot \frac{L-k-D}{2} (D+k) \cdot 100}{\left[ D + 2k_1 + (n-1)(D+k) \frac{\sqrt{3}}{2} \right] L} \% \quad (8.23)$$

Применение шахматного раскроя дает значительную экономию материала при длинных полосах и небольших размерах кружка. При шахматном раскрое рекомендуются следующие числа рядов:

При

$D < 10 \text{ мм}$	$n = 13 \text{ рядов}$	$D = 30 - 50$	$n = 3 - 4$
$D = 10 - 20$	$n = 7 - 9$	$D = 50 - 80$	$n = 2$
$D = 20 - 30$	$n = 5 - 7$	$D = 80 - 100$	$n = 1 - 2$

Для определения оптимального раскроя изделий сложной конфигурации расчетный метод не применим. В этом случае пользуются шаблонами вырезаемой детали, которые располагаются на полосе с учетом нормальных перемычек, так чтобы площадь на одно изделие была бы наименьшей.

#### 8.4. Раскрой листа на полосы

При разрезке листа на полосы также следует стремиться, чтобы отходы были минимальные. Лист можно резать в продольном и поперечном направлениях. При этом направление резки определяется:

- 1) максимальным использованием материала;
- 2) производительностью работы;
- 3) назначением вырубаемого изделия и условиями его последующей обработки.

Для выявления наивыгоднейшего раскроя следует подсчитать число полос из листа при продольной и поперечной резке его, а затем подсчитать число изделий в обоих случаях. Выбирается наиболее экономичный вариант.

Продольный раскрой (рис.8.5а). Число полос в листе:

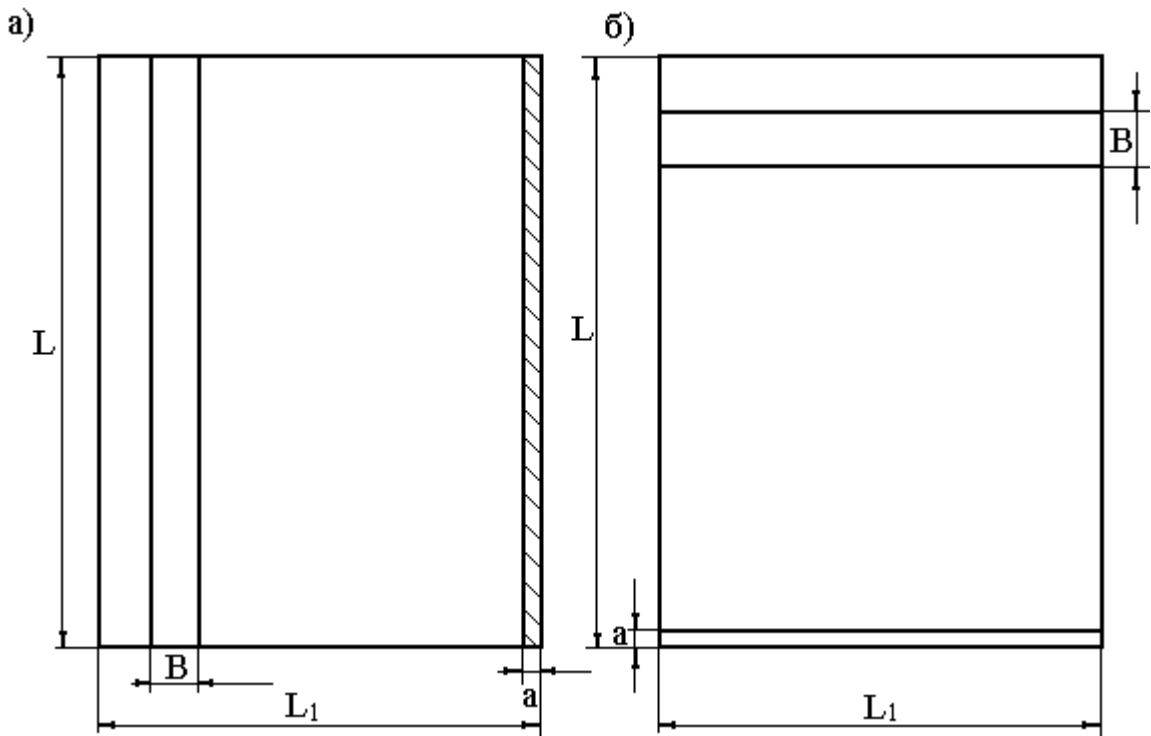


Рис. 8.5 Схемы раскроя листа:  
 а – продольный; б – поперечный

$$n = \frac{L_1}{B}$$

Число изделий в полосе:

$$n' = \frac{L - k_1}{A}$$

Количество изделий в листе определяется произведением числа полных полос на число полных изделий из полосы:

$$N = n \cdot n'$$

Коэффициент использования

$$\eta = \frac{N \cdot F_{изд} \cdot 100}{F_{заг}} = \frac{N \cdot F_{заг} \cdot 100}{L \cdot L_1} \% \quad (8.24)$$



Поперечный раскрой из листа (рис.8.5 б).

Здесь число полос из листа:

$$m = \frac{L}{B};$$

Число изделий в полосе:

$$m' = \frac{L_1 - k_1}{A}$$

Число изделий из листа:

$$N' = m \cdot m' \quad \text{и} \quad \eta = \frac{N \cdot F_{изд} \cdot 100}{F_{заг}} = \frac{N' \cdot F_{изд} \cdot 100}{L \cdot L_1} \% \quad (8.25)$$

Предпочтительно выбирать продольный раскрой листа, так как производительность резки листа полосы в этом случае выше. Кроме того при длинной полосе (продольный раскрой) меньше заправок материала в штамп, меньше приходится включать и останавливать пресс. Однако может оказаться, что более выгоден и экономичен продольный раскрой при большем  $\eta$ . В зависимости от того, какой фактор (производительность или стоимость отходов) имеет большое значение в данном случае – выбирается вид раскроя листа.

### 8.5. Графоаналитический способ определения оптимального раскроя

Особое значение в процессе получения заготовок и изготовления деталей имеют вопросы экономии материала. Она может быть обеспечена путем замены полос, нарезаемых из листа, лентами, нарезаемыми из рулона. Потери металла при изготовлении деталей из полос образуются в связи с тем, что каждая первая или последняя деталь идет в брак из-за несовпадения края полосы с контуром детали в штампе. Кроме того и наличие шаговых ножей также увеличивает расход материала. Экономия металла может быть достигнута в результате применения автоматических комплексов, где обеспечивается кратность шага и реализуется возможность использования длинных полос, вместо коротких.

Изготовление деталей из рулонного материала без его разрезки на узкие ленты позволяет увеличить число рядов штамповки и реализовать наиболее оптимальный раскрой материала. Основные принципы такого раскроя основаны на механической аналогии, представляющей размещение фигур, как твердых плоских тел, соприкасающихся без трения. При этом рассматриваются силы давления, приложенные к телам в точках, их взаимного контакта и направленные по нормали к поверхности в этих точках. В случае равновесия системы тел под действием указанных сил площадь, занимаемая этими телами, достигает минимума.

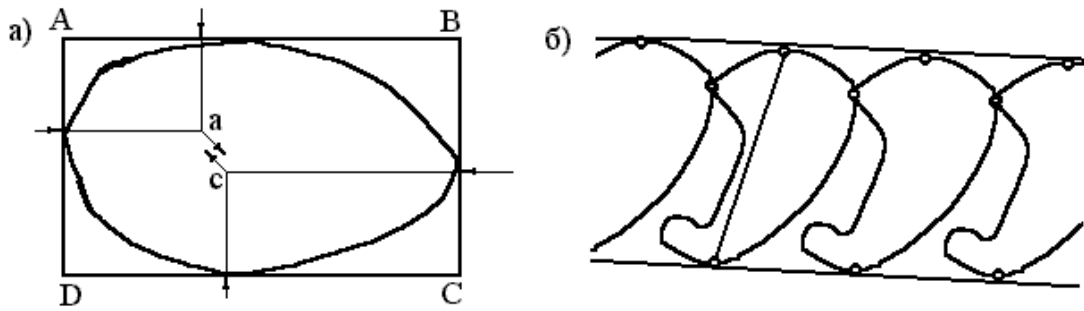


Рис. 8.6 Схема сил давления

Силы давления сторон прямоугольника на охватываемую фигуру (рис.8.6) принимаются численно равными длине соответствующих сторон. Сложением сил, действующих на стороны  $AB$  и  $AD$ ,  $BC$  и  $CD$  соответственно, находят их равнодействующие. Полученные две силы должны быть равны и противоположно направлены. Для равновесия необходимо и достаточно, чтобы они лежали на одной прямой. Если это условие не выполняется, то отличный от нуля момент этих сил показывает направление, в котором следует повернуть фигуру, чтобы уменьшить площадь прямоугольника, сохраняя направление его сторон.

При однорядной штамповке из ленты в начале находят минимальную площадь прямоугольника, охватывающего фигуру, а затем совмещают две равные стороны этих прямоугольников. Другим необходимым условием, при котором достигается наиболее плотное заполнение площади ленты, является параллельность линий, проходящей через точки касания фигуры с краями ленты и касательной в точке соприкосновения фигур (рис.8.7).

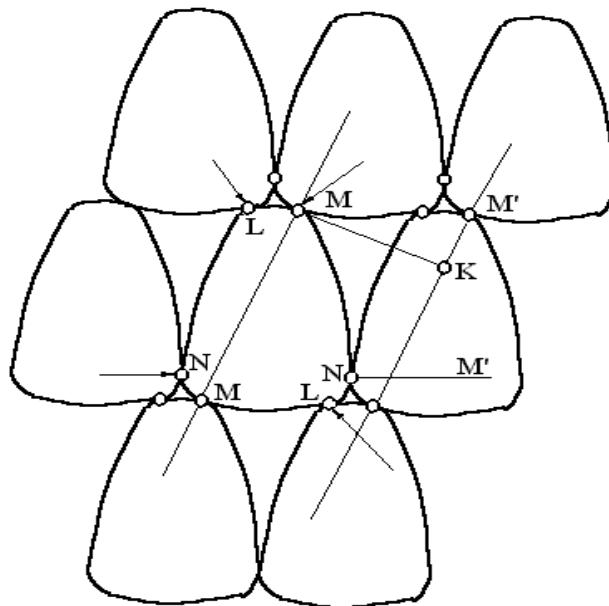


Рис. 8.7 Заполнение плоскости параллельно расположенными одинаковыми фигурами

Заполнение плоскости рядами параллельно расположенных одинаковых фигур производится по этому же принципу равновесия твердого тела под действием внешних сил (рис.8.6). При этом сила в точке  $M$  выбирается пропорционально расстоянию:

$$MK \quad (MK \perp MM; \quad MM \parallel M'M').$$

На стадии технологической подготовки производства наиболее удобен графоаналитический способ плотного размещения фигур, разработанный Г.А. Навроцким, В.К. Сенько и Ф.Ф. Буйволоной. В его основу заложен метод годографа функции плотного размещения. Плотное размещение заготовок графоаналитическим способом производится в три этапа. Первый этап включает выбор полюса деталей, построения эквидистанты, построения годографа функции плотного размещения, определения вариантов плотного размещения. Второй этап – это построение выпуклого многоугольника, описывающего эквидистанту, определение вариантов плотного размещения по выпуклому многоугольнику. Третий – выбор наиболее выгодного варианта плотного размещения деталей.

По чертежу выбирается полюс детали  $O$  (рис.8.8), представляющий точку пересечения осей симметрии детали (если такие имеются) или осей симметрии отдельных геометрических фигур, из которых построена деталь. Через полюс проводят оси координат, а саму деталь располагают таким образом, чтобы одна из ее сторон была параллельна оси  $OX$ . Размеры детали увеличиваются на половину междетальной перемычки, в результате чего вокруг детали строится эквидистантная линия. Во всех дальнейших построениях под деталью понимают фигуру, размеры которой увеличены на половину перемычки. Для построения годографа изготавливают копию детали с обозначенным полюсом и осями координат. Годографом будет являться линия, описываемая полюсом при перемещении одного чертежа детали по другому, остающемуся неподвижным. Перемещение производится таким образом, чтобы детали не накладывались друг на друга, а только касались. При этом необходимо соблюдать параллельный перенос осей координат. В результате такого построения получается прямой симметричный годограф (рис.8.8 а). При построении схемы раскроя с поворотом одной детали относительно другой на  $180^\circ$  получается встречный годограф (рис.8.8б). Для определения вариантов размещения деталей на материале используется свойство годографа, заключающееся в том, что функция плотного размещения имеет наименьшее значение во впадинах годографа (точки 1 – 4). Эти точки называются критическими. Одну из них соединяют с полюсом неподвижной детали и параллельно этой линии проводят прямые, касательные к ее крайним точкам. Наикратчайшее расстояние между ними будет шириной полосы  $B$ . Шаг подачи материала  $L$  равен расстоянию между полюсами деталей. Последовательно производятся такие же действия по всем остальным критическим точкам. Для каждой точки вычисляют произведение шага на ширину полосы, т.е. минимальную площадь прямоугольника для наиболее плотного размещения заготовок.

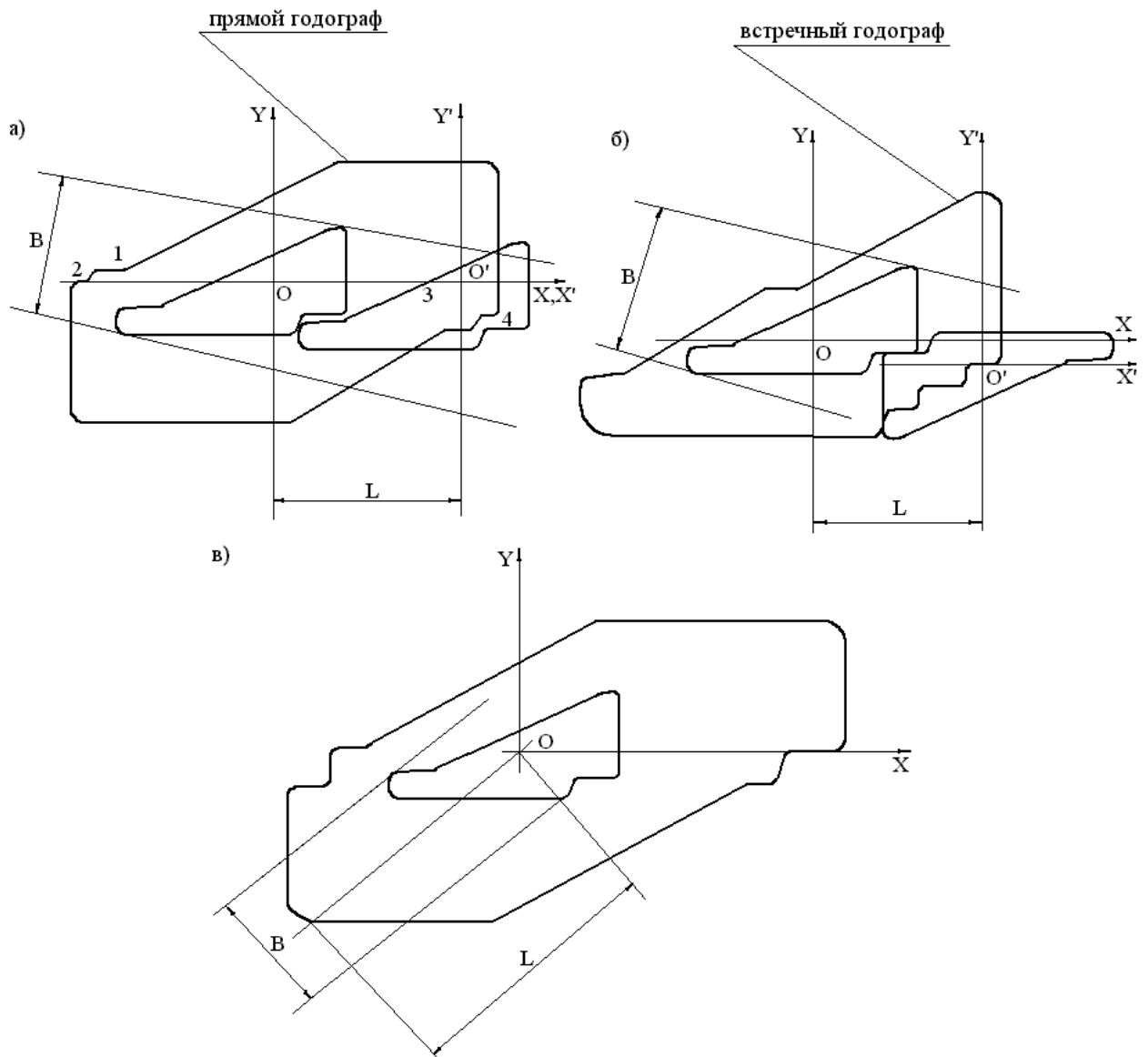


Рис. 8.8. Построение годографов

На втором этапе деталь описывается выпуклым многоугольником (рис.8.8в), одна сторона которого совещается с краем полосы. Затем параллельно ей проводится линия из полюса детали до пересечения с годографом (шаг подачи  $L$ ) и касательная к крайней точке детали (ширина полосы  $B$ ). Площади прямоугольников определяются при последовательном совмещении сторон указанного выше прямоугольника с краем полосы. Полученные на 1 и 2 этапах построений значения площадей сравнивают и определяют вариант с минимальной площадью, для которого определяется угол наклона деталей к направлению подачи. При построении многорядного размещения деталей достаточно ограничиться рассмотрением оптимального размещения деталей в один ряд, а последующие ряды размещать с одинаковым углом наклона деталей к направлению подачи или повернутым на  $180^\circ$ . Конфигурация некоторых деталей позволяет смещать последующие ряды относительно предыдущих и получать при этом наиболее плотное заполнение площади материала. Коэффициент использования материала:

$$\eta = \frac{nF_0}{LB}$$

где  $F_0$  – площадь детали;

$n$  – число рядов.

На ряде предприятий созданы и успешно работают системы проектирования «Автоштамп», с помощью которых решается задача выбора оптимальной схемы раскроя при многорядной штамповке. Автоматизированный выбор такой схемы производится только для типовых деталей и предусматривает несколько вариантов раскроя: однорядный, многорядный (2–3-х рядный) и встречный (прямой и наклонный).

Обработка рулона и листа на листоштамповочных с комплексах реализацией оптимального раскроя образуется путем двух перемещений, которые обеспечиваются конструкцией механизма для многорядной штамповки синхронно связанного с движением ползуна прессы. Известны два способа оптимального раскроя. Первый способ достигается в результате двух взаимноперпендикулярных перемещений  $(x, y)$  полюса вырубленной детали относительно полюса контура предыдущей вырубленной детали (рис.8.9 а). Второй способ заключается в перемещении  $x$  и повороте на угол  $\alpha_n$  полюса последующей вырубленной детали (рис.8.9 б). Регулируемые перемещения  $x, y$  или  $x, \alpha_n$  влияющие на оптимальный раскрой материала, необходимо определять не только в процессе наладки, но и при проектировании механизмов перемещения.

Условимся, что под лекальными кривыми будем понимать все линии, форма которых аппроксимируется полиномами второго порядка и выше. К деталям, имеющим правильную геометрическую форму, отнесем фигуры, образуемые кривыми одного порядка. Они могут быть получены пересечением прямых линий, очерчены окружностью, эллипсом и т.д. К фигурам, образованным прямыми линиями, относятся треугольники, прямоугольники, трапеции, правильные многоугольники. Фигуры называются разделяющимися, если найдутся такие полюса для которых плотное размещение этих фигур таково, что они не пересекаются при перемещении их вдоль линии, соединяющей полюса, в противоположные стороны. В противном случае фигуры называются неразделяющимися. Выпуклые фигуры являются неразделяющимися. Существующие метатические методы определения функции плотного размещения распространяются на разделяющиеся фигуры. Под функцией плотного размещения  $f_{ij}$  взаимно ориентированных фигур  $S_i$  и  $S_j$  понимается зависимость расстояния между полюсами  $0_i$  и  $0_j$  фигур от угла  $\Theta$  их поворота при условии, что фигуры касаются, но не пересекаются и не накладываются друг на друга. При  $0 \leq \Theta \leq 2\pi$  функция непрерывна и однозначна. В общем случае  $f_{ij}(\Theta) = f_{ij}(\Theta + 2\pi)$ ;  $f_{ij} = f_{ij}(\Theta + \pi)$ . Опорная функция  $h_i(\Theta)$  определяет зависимость расстояний между полюсом фигуры  $S_i$  и опорной прямой от

угла поворота фигуры  $\Theta$  при неподвижной опорной прямой. Составная опорная функция  $h_{ij}(\Theta) = h_i(\Theta) + h_j(\Theta + \pi)$ . Область определения и свойства опорной функции аналогичны области и свойствам функции  $f_{ij}(\Theta)$ .

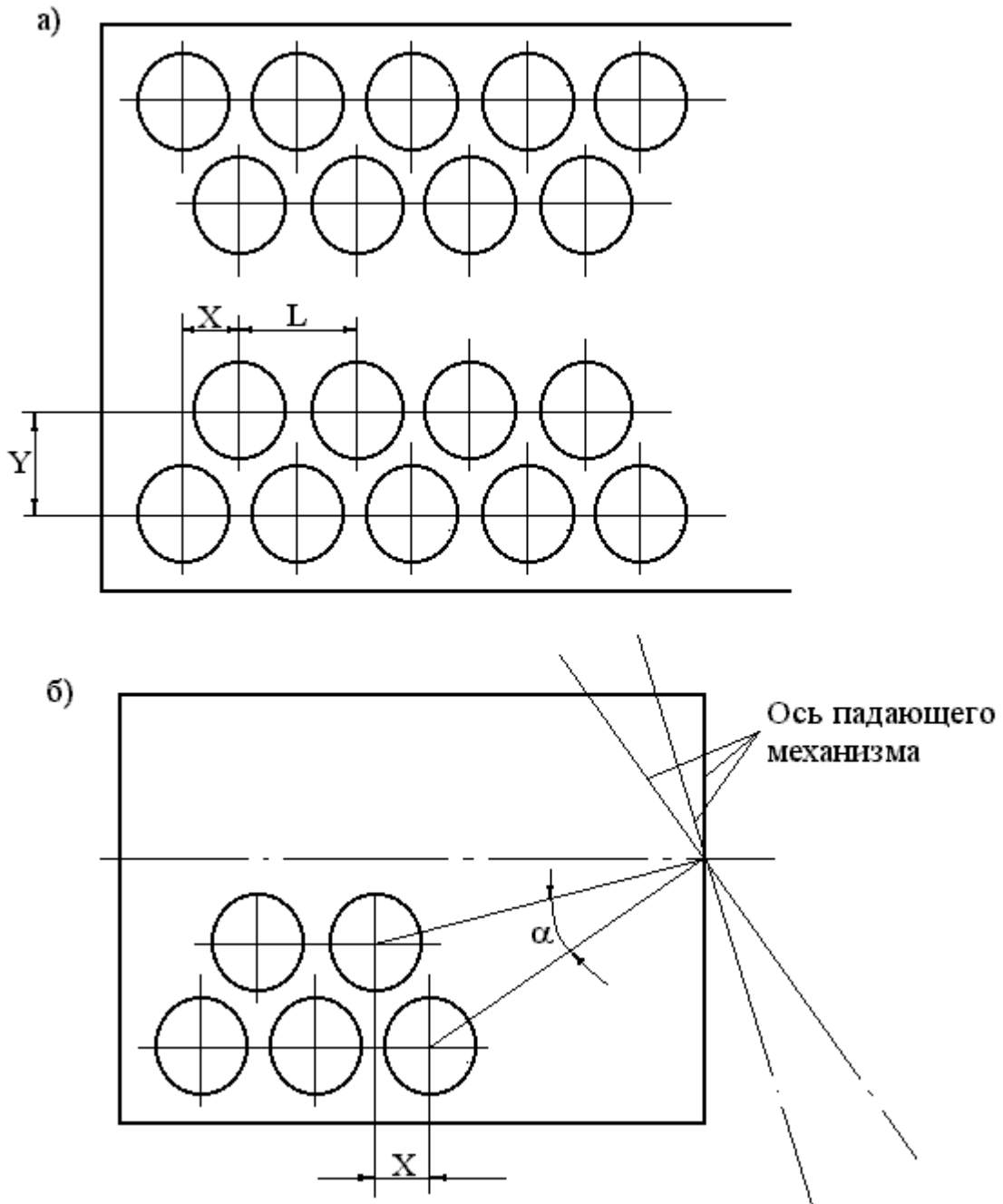


Рис. 8.9. Способы оптимального раскроя:  
 а – взаимноперпендикулярное перемещение координат  $X, Y$ ;  
 б – перемещение координаты  $X$  относительно полосы

Перемещение фигур вдоль параллельных линий, проходящих через их полюса, при условии их взаимного касания определяет периодичность размещения фигур. При этом расстояние между их полюсами есть шаг штамповки  $L$ , который при поиске размещения зависит от угла поворота фигуры  $L = L(\Theta)$ .

Задача нахождения более выгодного варианта размещения фигур на полосе заключается в нахождении параллелограмма наименьшей площади, в которой можно заключить фигуру. Длина основания параллелограмма является шагом перемещения фигуры (шаг штамповки). Площадь параллелограмма складывается из площадей параллелограммов, основания которых есть шаг штамповки, а высота определяется опорными функциями плотного размещения при многорядном размещении фигур.

$$S_n(\Theta) = L(\Theta) \left[ h_i(\Theta) + \sum_{ij=1}^{n=1} f_{ij}(\Theta + \gamma_n) \sin \gamma_n + h_n(\Theta + \pi) \right] \quad (8.26)$$

где  $\gamma_n$  — угол наклона фигур к направлению подачи материала, принимаемый равным для всех рядов штампуемых деталей.

Функция  $S_n(\Theta)$ , определяющая минимальную площадь параллелограмма, является функцией цели при поиске оптимального раскроя материала.

Анализ функции цели на экстремальность дает возможность выделить такое положение фигур, при котором возможны экстремумы функции цели. Поиск экстремума сводится к решению двух уравнений.

$$\begin{aligned} \frac{\partial S_n}{\partial \Theta} = \frac{\partial L(\Theta)}{\partial \Theta} [h_i(\Theta) + f_{ij}(\Theta + \gamma_n) \sin \gamma_n + h_n(\Theta + \pi)] + L(\Theta) \left[ \frac{\partial h_i(\Theta)}{\partial \Theta} + \right. \\ \left. + \frac{\partial f_{ij}(\Theta + \gamma_n)}{\partial \Theta} \sin \gamma_n + \frac{\partial h_n(\Theta + \pi)}{\partial \Theta} \right] = 0; \end{aligned} \quad (8.27)$$

$$\frac{\partial S_n}{\partial \gamma_n} = \frac{\partial f_{ij}(\Theta + \gamma_n)}{\partial \gamma_n} \sin \gamma_n + f_{ij}(\Theta + \gamma_n) \cos \gamma_n = 0.$$

При проектировании схемы раскроя, которая реализуется на листоштамповочных комплексах для многорядного раскроя, необходимо определять два перемещения  $x$  и  $y$  или  $x$  и  $\alpha$ . Они зависят от функции плотного размещения фигур и от угла их наклона к направлению подачи:

$$\begin{aligned} x(\Theta) &= \pm f_{ij} + (\Theta + \gamma_n) \cos \gamma_n; \\ y(\Theta) &= \pm f_{ij} + (\Theta + \gamma_n) \sin \gamma_n. \end{aligned} \quad (8.28)$$

Знак (-) соответствует перемещению  $x$  в направлении противоположном направлению подачи материала.

При штамповке деталей повторяющимися параллельными рядами значения  $x(\Theta)$  и  $y(\Theta)$  повторяются от ряда к ряду, поэтому достаточно их определить для двухрядного раскроя, а координаты полюсов деталей последующих рядов определять чередованием знаков при перемещении. Для двухрядной схемы раскроя система уравнений (8.27) упрощается, решая ее находят перемещение материала:

$$\begin{aligned}
 x(\Theta) &= -\frac{\partial f_{1,2}(\Theta + \gamma_n)}{\partial \Theta} \sin \gamma_n \\
 y(\Theta) &= -L(\Theta) \left[ \frac{\partial L(\Theta)}{\partial \Theta} \right]^{-1} \left[ \frac{\partial h_{1,2}(\Theta)}{\partial \Theta} - \frac{\partial f_{1,2}(\Theta + \gamma_n)}{\partial \Theta} \sin \gamma_n \right] - h_{1,2}(\Theta)
 \end{aligned}
 \tag{8.29}$$

Система уравнений (8.29) позволяет выбрать значения  $x, y$  удовлетворяющие условию оптимального раскроя. При этом значения  $x, y$  должны совпадать с рассчитанными по уравнению (8.29) для одинаковых значений углов  $\Theta$  и  $\gamma_n$ , удовлетворяющий условию плотного размещения, используется при проектировании штампа и определяет наклон оси детали к направлению подачи материала.

Угол поворота материала  $\alpha_n$  легко найти из уравнения (8.28) и (8.29), согласно которым оптимальный раскрой зависит от угла наклона детали к направлению подачи:

$$\alpha_n = \frac{\pi}{2} - \gamma_n
 \tag{8.30}$$

Определение  $x, y, L$  и  $\gamma_n$  из уравнений (8.28) – (8.30) возможно путем их численного решения на ЭВМ, при этом контур детали разбивается на отрезки прямых и лекальных линий. Полюс детали выбирается на пересечении диагоналей параллелограмма, описывающего деталь. В системе координат с центром в полюсе детали задаются точки, описывающие ее форму. Отрезки задаются двумя точками, лекальные кривые – тремя. Для учета технологических перемычек при штамповке координаты точек определяются по эквидистантной линии, описанной вокруг детали и удаленной от ее контура на половину перемычки.



## 9. ФОРМОИЗМЕНЯЮЩИЕ ОПЕРАЦИИ. ГИБКА.

### 9.1. Гибка. Виды и способы гибки. Схема напряженного состояния.

Гибка является одной из наиболее распространенных операций холодной листовой штамповки и осуществляется на кривошипных, эксцентриковых и гидравлических прессах, а также на специальных гибочных машинах и профилегибочных станках. Часто гибка производится одновременно с другими операциями холодной штамповки – отрезкой, пробивкой и вырубкой в комбинированных штампах.

Большинство деталей, получаемых гибкой из листовых материалов и профильных заготовок, получают окончательные размеры и не происходит дальнейшей обработки по изменению формы. Поэтому напряжения при гибке должны по величине превосходить предел текучести штампуемого материала.

Гибка листового материала представляет собой процесс упруго пластической деформации, протекающей различно с обеих сторон изгибаемой заготовки (рис.9.1).

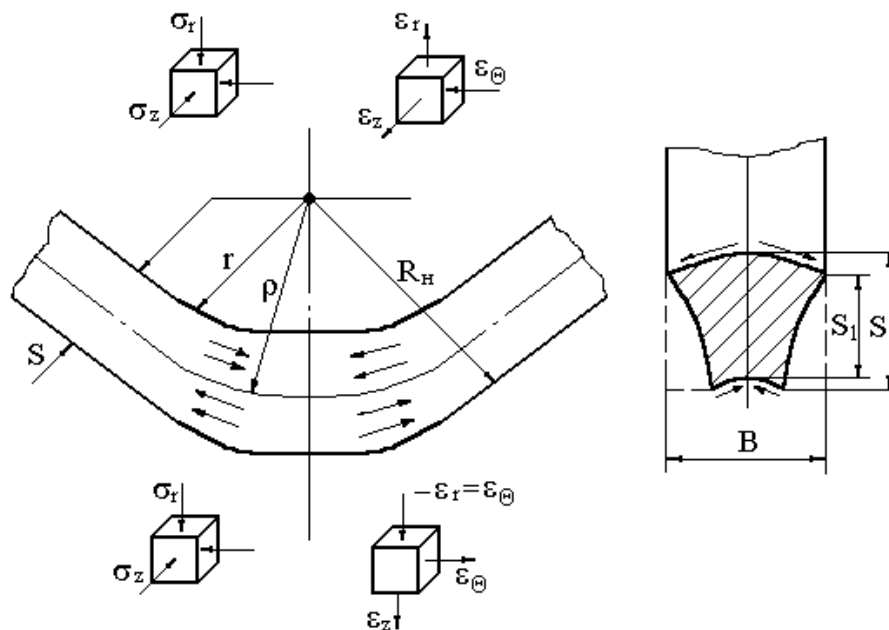


Рис.9.1 Схема действующих напряжений и деформаций при гибке листового материала

Слой материала со стороны пуансона, внутри углагиба сжимаются и укорачиваются в продольном и растягиваются в поперечном направлении. Со стороны матрицы – наружные слои растягиваются и удлиняются в продольном и сжимаются в поперечном направлении. Между наружным и внутренним слоем находится нейтральный слой, остающийся в процессе гибки неизменным. При гибке узких полос поперечное сечение сильно искажается, что приводит к уменьшению толщины в месте изгиба и наличию кривизны. В результате подобных искажений нейтральный слой в месте

изгиба не проходит в середине сечения, проходит ближе к малому радиусугиба.

При гибке широких полос также происходит утонение материала, но поперечное сечение почти не искажается. Поэтому схемы напряжений и деформаций различны, в случаегиба широких и узких полос.

Различают: 1. Свободную гибку, когда получают один угол или несколько углов, но последовательно. 2. Несвободная гибка – случай получения нескольких углов одновременно.

Оба случая отличаются условиями гибки. Гибку материала производят двумя способами: а) без прижима на провал (рис.9.2а), б) с прижимом (рис.9.2 б).

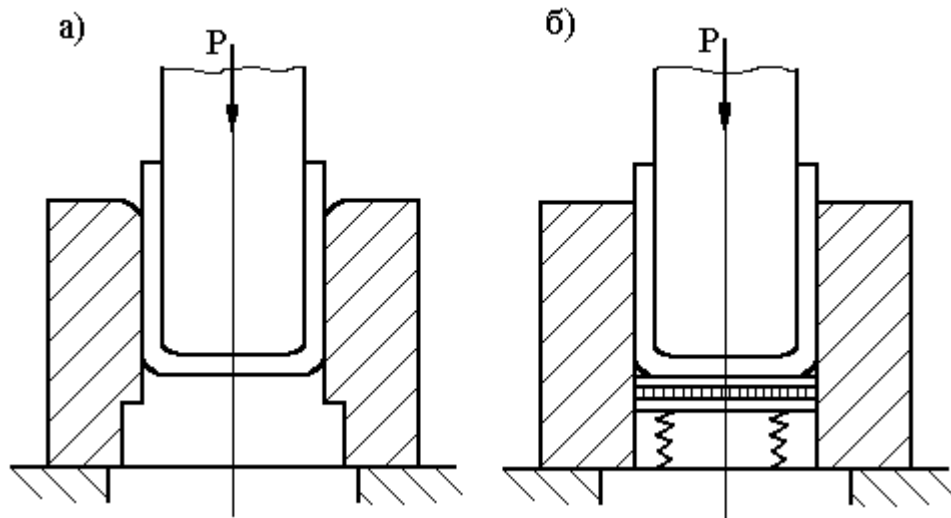


Рис. 9.2 Гибка листовой заготовки:  
а – без прижима; б – с прижимом.

Первый способ применяется для получения деталей по 14 качеству точности и ниже. С применением технологических баз можно получить 6 и 9 качества точности. Вторым способом можно получить детали по 11 и 12 качеству точности. Расчет заготовки с учетом способа гибки. Нейтральный слой смещается обычно в сторону сжатых волокон. Это смещение увеличивается с увеличением кривизны. Только при значениях  $\frac{r}{S} > 5$  нейтральная линия остается посередине:

$$a = (0,3 - 0,4)S$$

Другими словами, можно сказать, что смещение нейтрального слоя в сторону сжатых волокон тем больше, чем меньше радиусгиба. Определение смещения нейтрального слоя имеет большое значение. В зависимости от изменений радиуса кривизны при гибке можно рассматривать процессгиба в трех стадиях.

Упругий изгиб заготовки, когда напряжение и деформации любого элемента объема в очаге деформации не превышают значений напряжений,

предела текучести и значений упругих деформаций. Упругий изгиб характеризуется отношением:

$$\frac{S}{r} > \frac{1}{200} - \frac{1}{500}.$$

Упруго – пластический изгиб начинается обычно тогда, когда наиболее деформированные волокна изгибаемой заготовки (внутренние – обращенные к пуансону, наружные – в сторону матрицы), претерпевают пластическую деформацию. Считают, что относительный радиус кривизны составляет при этом  $\frac{S}{r} = \frac{1}{10} - \frac{1}{200}$ .

Пластический изгиб. Эта стадия начинается при значительной кривизне изогнутого участка и когда можно практически считать, что весь объем заготовки испытывает пластическую деформацию. Полагают, что весь объем имеет чисто пластический изгиб, когда  $\frac{S}{r} = \frac{1}{10} \div \frac{1}{200}$ . Нейтральный слой при гибке – слои, которые не претерпевают деформаций, т.е. не изменяют своей длины (- сжатие) (+ растяжение). Величина упругих деформаций при чисто – пластическом изгибе составляет 2%, чем обычно пренебрегают.

Расположение линии гiba. Линию гiba располагают поперек волокон проката в случае гибки с очень малым радиусом. При гибке с большим радиусом, расположение волокон проката безразлично. При гибке с малыми радиусами закруглений напряжения и деформации не сосредотачиваются по ребрам пуансона, а рассредотачиваются на значительную длину заготовки между опорами. Заготовка изгибается по параболической кривой, с постепенно увеличивающейся кривизной и уменьшением плеча изгиба.

## 9.2. Величина напряжений при гибке

В основу анализа положим два предположения: 1) аксиальное напряжение  $\sigma_z$  не зависит от координаты  $z$  ( $B > S$ ). 2) Материал в процессе изгиба не упрочняется.

Выделим в растянутой зоне (рис. 9.3) элемент ограниченный углом  $d\Theta$ , радиусом  $R$ , толщиной  $dR$  и длиной в аксиальном направлении равной 1 и рассмотрим условие его равновесия.

Положим, что напряжение  $\sigma_r$  является растягивающим, т.е. имеет положительный знак. Уравнение равновесия элемента, при проектировании всех сил на направление радиуса будет:

$$(\sigma_r + d\sigma_r)(R + dR)d\Theta \cdot 1 - \sigma_r R d\Theta \cdot 1 - 2\sigma_\Theta dR \cdot 1 \cdot \sin \frac{d\Theta}{2} = 0 \quad (9.1)$$

Принимая, ввиду малости угла  $d\Theta$   $\sin \frac{d\Theta}{2} = \frac{d\Theta}{2}$ , получим:

$$(\sigma_r + d\sigma_r)(R + dR) - \sigma_r R - \sigma_\Theta dR = 0 \quad (9.2)$$

или после упрощения, пренебрегая величинами второго порядка:

$$d\sigma_r = (\sigma_\Theta - \sigma_r) \frac{dR}{R} \quad (9.3)$$

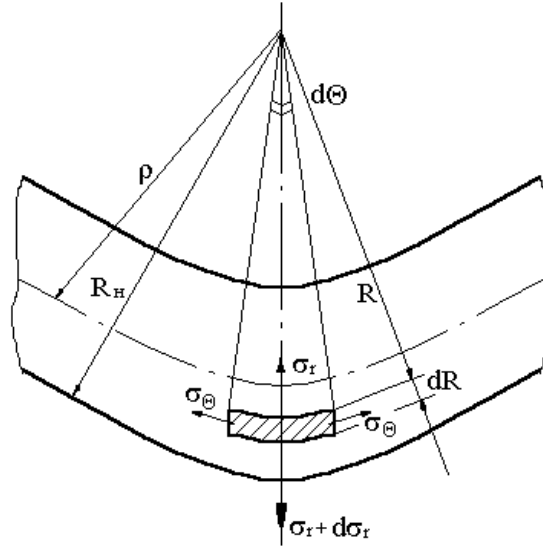


Рис. 9.3 Схема к определению напряжений в растянутой зоне

Используя уравнение пластичности:

$$\sigma_\Theta - \sigma_r = \beta \sigma_m \quad (9.4)$$

где  $\beta$  – коэффициент Лоде для плоско – деформированного состояния, равный 1,15, и решая его совместно с уравнением (9.3), получим:

$$d\sigma_r = \beta \sigma_m \frac{dR}{R} \quad (9.5)$$

или после интегрирования:

$$\sigma_r = \beta \sigma_m \int \frac{dR}{R} + C = \beta \sigma_m \ln R + C \quad (9.6)$$

Для определения постоянной интегрирования, используем граничные условия: при  $R = R_n$ ,  $\sigma_r = 0$ . Тогда:

$$C = -\beta \sigma_m \ln R_n \quad (9.7)$$

Подставляя (9.7) в (9.5), имеем:

$$\sigma_r = \beta \sigma_m \ln R - \beta \sigma_m \ln R_n; \quad \sigma_r = \beta \sigma_m \ln \frac{R}{R_n} \quad (9.8)$$

Поскольку  $\ln \frac{R}{R_n}$  при любых значениях величина отрицательная, то  $\sigma_r$  также является величиной отрицательной, т.е.  $\sigma_r$  – напряжение сжимающее.

Из уравнения (9.4) определим величину:

$$\begin{aligned} \sigma_\Theta &= \sigma_r + \sigma_m \beta; \quad \sigma_0 = \beta \sigma_m + \beta \sigma_m \ln \frac{R}{R_n} \\ \sigma_\Theta &= \beta \sigma_m \left( 1 + \ln \frac{R}{R_n} \right) \end{aligned} \quad (9.10)$$

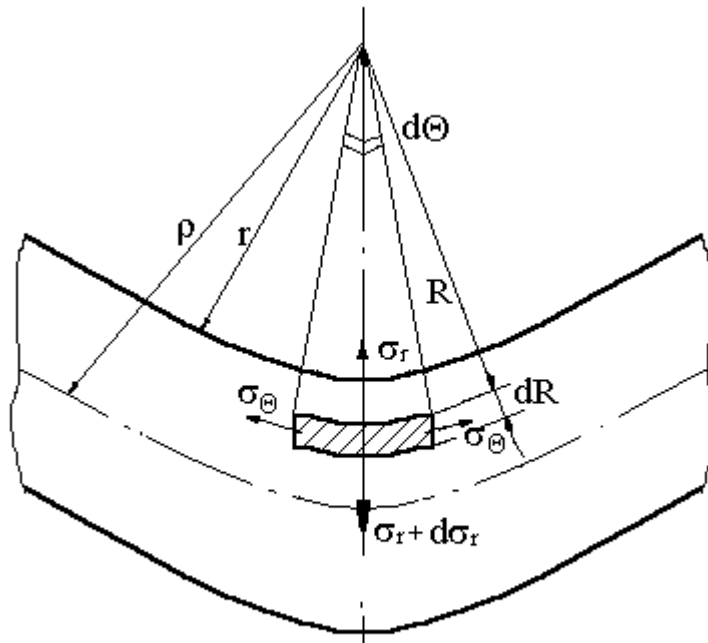


Рис. 9.4. Схема к определению напряжений в сжатой зоне

Для определения напряжений в сжатой зоне (рис. 9.4) рассмотрим условие равновесия, выделенного в ней элемента. Принимая как растягивающее напряжение, запишем:

$$d\sigma_r = (\sigma_\Theta - \sigma_r) \frac{dR}{R} \quad (9.11)$$

т.е. в общем виде для сжатой и растянутой зоны уравнения равновесия одинаковы.

Уравнения пластичности для сжатой зоны:

$$\sigma_r - \sigma_\Theta = \beta \sigma_m \quad (9.12)$$

Совместное решение (9.11) и (9.12) дает:

$$d\sigma_r = -\beta\sigma_m \frac{dR}{R} \quad (9.13)$$

После интегрирования:

$$\sigma_r = -\beta\sigma_m \ln R + C \quad (9.14)$$

Исходя из условия, что при  $R = r$   $\sigma_r = 0$ , найдем величину  $C$

$$C = \beta\sigma_m \ln r \quad (9.15)$$

Подставляя (9.17) в (9.16) получим:

$$\sigma_r = -\beta\sigma_m \ln R + \beta\sigma_m \ln r = \beta\sigma_m (\ln r - \ln R) \quad (9.16)$$

Так как при любых значениях  $R$  величина  $\ln \frac{r}{R}$  отрицательна, то и  $\sigma_r$  всегда отрицательно, т.е. сжимающее. Тангенциальное напряжение будет:

$$\begin{aligned} \sigma_\theta &= -\beta\sigma_m + \sigma_r = -\beta\sigma_m + \beta\sigma_m \ln \frac{r}{R} = \beta\sigma_m \ln \frac{r}{R} - \beta\sigma_m \\ \sigma_\theta &= \beta\sigma_m \left( \ln \frac{r}{R} - 1 \right) \end{aligned} \quad (9.17)$$

### 9.3. Положение нейтрального слоя

Определение положения нейтрального слоя и его кривизны играет большую роль при разработке технологии гибки, так как этим решаются многие вопросы и в частности: 1) определение длины заготовки, 2) определение наименьшего радиуса гибки.

Приравнивая  $\sigma_{r_{сж}}$  и  $\sigma_{r_{раст}}$  можно получить положение нейтрального слоя.

$$\begin{aligned} \text{При } \rho = R \quad \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_m \ln \frac{r}{\rho} &= \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_m \ln \frac{\rho}{R_n} \\ \ln \frac{r}{\rho} = \ln \frac{\rho}{R_n} \quad \rho &= \sqrt{rR_n} \quad - \text{Ренне} \end{aligned} \quad (9.18)$$

Так как среднее геометрическое из  $\sqrt{rR_n} < \frac{r+R_n}{2}$ , то, очевидно, что нейтральный слой смещается в сторону сжатых волокон. Экспериментальные и теоретические исследования показывают, что 1) положение нейтрального слоя не зависит от механических качеств и состояния металла (упрочнен или отожжен); 2) положение нейтрального слоя определяется в основном

относительной величиной радиуса гiba, т.е.  $\frac{r}{S}$ ; 3) положение нейтрального слоя зависит от коэффициента утонения металла  $\frac{S_1}{S} = 0,82 - 0,99$ .

Положение нейтрального слоя можно определить по формуле Романовского В.П.:

$$\rho = \frac{r + R_n}{2} \alpha \beta \quad (9.19)$$

где  $\alpha$  – коэффициент утонения заготовки –  $\frac{S_1}{S} = 0,81 - 0,99$ ;

$\beta$  – коэффициент уширения  $\beta = \frac{B_{cp}}{B} = 1 - 1,09$ .

#### 9.4. Определение минимального допустимого радиуса гiba

Определение минимального радиуса гiba должно вестись из условия, чтобы напряжения в крайних волокнах растянутой зоны не превышало предела прочности материала.

При выводе величины радиуса положим, что нейтральный слой проходит по середине заготовки, т.е.  $\rho = r + \frac{S}{2}$ ,  $r$  – радиус гiba должен быть не равен радиусу пуансона, при подчеканке равенство этих радиусов обязательно. Для нормальных условий гибки надо не доводить напряжения гибки больше 50 % от  $\sigma_s$ . Очевидно, что и минимальный радиус гибки должен устанавливаться по предельной деформации крайних растянутых волокон. В качестве характеристики предельно допустимой деформации лучше всего принимать величину относительного сужения  $\Psi$ , образующегося при растяжении. На рис. 9.5  $AA_1$  – длина нейтральной линии,  $BB_1$  – длина растянутых крайних волокон. До гибки  $AA = BB_1$ . Абсолютное удлинение волокна:

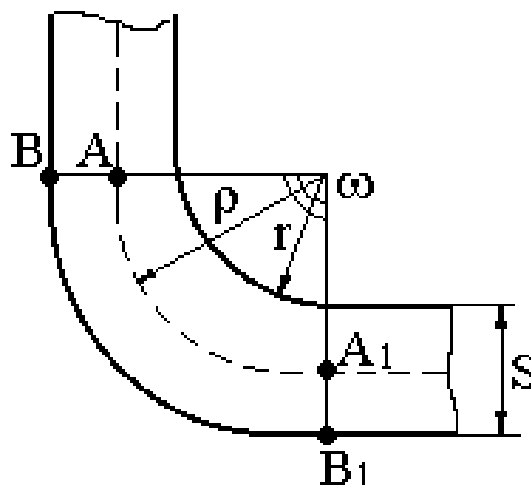


Рис.9.5 Схема к определению оптимального радиуса гiba

$$\Delta l = BB_1 - AA_1 = (r + S)\omega - \left(r + \frac{S}{2}\right)\omega = \frac{\omega S}{2} \quad (9.20)$$

Относительно удлинения крайних волокон:

$$\delta = \frac{S/2 \cdot \omega}{(r + S/2)\omega} = \frac{S/2}{2r + S} = \frac{S}{2r} + S \quad (9.21)$$

Отсюда:

$$r = \frac{S}{2} \left( \frac{1}{\delta} - 1 \right) \quad (9.22)$$

$$\delta = \frac{\psi}{1 - \psi} \quad (9.23)$$

$$r_{\min} = \frac{1 - 2\psi_{\max}}{2\psi_{\max}} S \quad (9.24)$$

В частности, при гибке железа  $\delta_{\max} = 14\%$ ,  $r_{\min} \approx 3,15$ . Этот вывод и полученное значение  $r_{\min}$  справедливо для случая гибки в направлении  $\perp$  направлению волокон в заготовке. Если направление гибки совпадает с направлением волокон, надо принимать  $\psi_{\max_{np}} = 0,7\psi_{\max_{non}}$ . Значения  $\psi$  и  $r_{\min}$  приведены в табл. 9.1.

Таблица 9.1.

$\psi, \%$	$r_{\min}$	$\psi, \%$	$r_{\min}$
62	0	30	0,85
55	0,1	20	1,7
50	0,2	10	4
45	0,3	4,5	10
40	0,43		

Если линиягиба направлена под углом к направлению волокон, то  $r_{\min}$  находится между конечными значениями  $\psi_{np}$  и  $\psi_{non}$ .

1) если на заготовке есть заусенцы и она обращена заусенцами к матрице – радиусгиба увеличивается,

2) если эти заусенцы обращены к пуансону, то их влияние почти отсутствует.



## 10. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ОПЕРАЦИИ ГИБКИ

### 10.1. Определение размеров заготовки при гибке

Длина заготовки при гибке определяется степенью деформации, которую принято обозначать отношением  $\frac{r}{S}$ . Если гибка производится по большому радиусу и не сопровождается вытяжкой или растяжением, то длина заготовки принимается равной длине прямых участков плюс длина изогнутой части по нейтральной линии (рис.10.1).

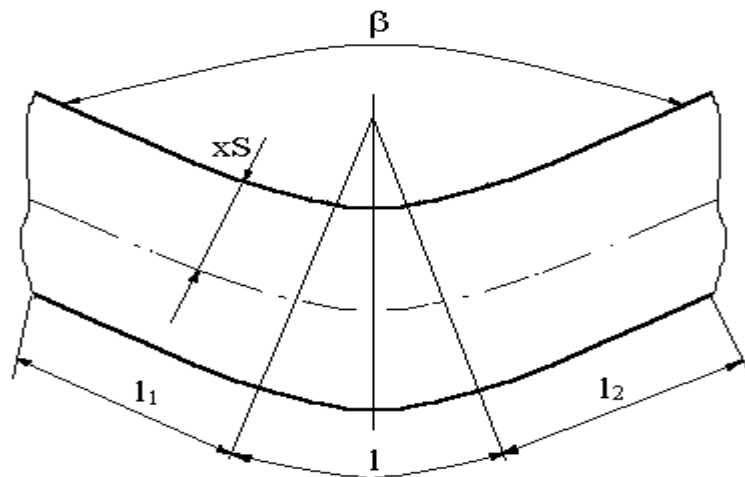


Рис. 10.1. Схема к определению длины заготовки

При гибке под острым углом или при малом радиусе  $\frac{r}{S}$  имеет место значительная вытяжка, поэтому длина заготовки должна быть принята меньшей, чем развертка.

При определении размеров заготовки можно иметь два случая:

- 1) гибка с закруглением по радиусу  $r > 0,5S$
- 2) гибка без закругления, т.е.  $r < 0,5S$

При гибке одного угла  $\leq \frac{\pi}{2}$  имеем:

$$l_{заг} = l_1 + l_2 + \frac{\pi}{2}(r + xS) \quad (10.1)$$

где  $xS$  – расстояние нейтрального слоя от внутреннего радиуса,

$x$  – коэффициент зависящий от отношения  $\frac{r}{S}$  (табл. 10.1).

Таблица 10.1

$r/S$	0,5	0,8	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
$x$	0,25	0,30	0,35	0,45	0,47	0,475	0,5

При свободной гибке вытяжка больше, чем при не свободной.

$$L_{заг} = l_1 + l_2 + l_3 + \dots + \frac{\pi}{2} n(r + xS) \quad (10.2)$$

1) при угле гибки равном  $90^\circ$  и с одинаковым радиусом сопряжения.

$$L_{заг} = l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n = l_1 + l_2 + \frac{\pi}{2}(r_1 + xS) + \frac{\pi}{2}(r_2 + xS) + \dots \quad (10.3)$$

2) гибка под углом  $= 90^\circ$  и разные радиусы сопряжения:

$$L_{заг} = l_1 + l_2 + \frac{\pi\rho}{180}(r + xS) \quad (10.4)$$

где  $\rho$  – угол загиба при гибке одного не прямого угла.

При нескольких равных углах –

$$L_{заг} = l_1 + l_2 + \dots + l_n + n \frac{\pi\rho_0}{180}(r + xS) \quad (10.5)$$

и

$$L_{заг} = l_1 + l_2 + \dots + l_n + n \frac{\pi\rho_1}{180}(r_1 + xS) + \frac{\pi\rho_2}{180}(r_2 + xS) + \dots \quad (10.6)$$

3) для детали с неравными углами.

Во втором случае следует различать свободную и не свободную гибку. При свободной гибке для  $r < 0,5S$  длина заготовки подсчитывается:

$$L_{заг} = l_1 + l_2 + 0,5S \quad (10.7)$$

для не свободной:

$$L_{заг} = l_1 + l_2 + \dots + l_n + n \cdot 0,25S \quad (10.8)$$

При  $r < 0,5S$  можно на каждый образуемый угол делать прибавку. Когда получается 1–2 угла прибавка составляет  $0,5S$ . В случае 2–4 углов –  $0,25S$ . Прибавка не дается, когда углов более 4-х. Окончательные размеры деталей определяются проверкой при работе на штампе.

## 10.2. Выбор параметров гибочных штампов

К параметрам гибочных штампов (рис.10.2) относятся:

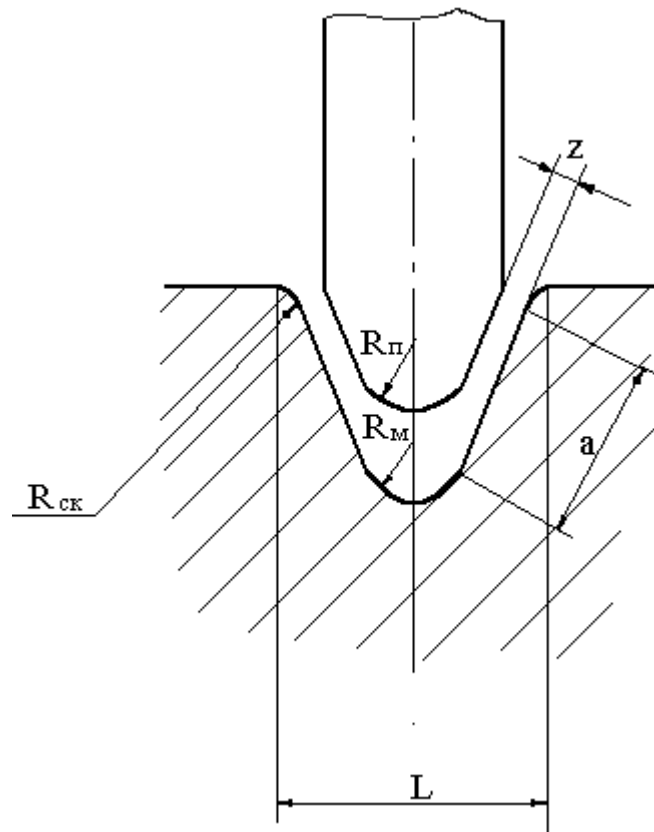


Рис. 10.2. Параметры гибочных штампов

- 1) Радиус пуансона гибки –  $R_n$ .
- 2) Расстояние между опорами –  $l_{on}$ .
- 3) Радиус скольжения –  $R_{ск}$ .
- 4) Радиус матрицы –  $R_m$ .
- 5) Высота прямолинейной части матрицы –  $a$ .
- 6) Для получения П и V деталей зазор –  $z$ .

На чертежах обычно дается только радиус пуансона  $R_n$ , если только радиус изделия не оговорен чертежом. Наиболее благоприятные условия гибки при большем радиусе пуансона. Расстояние между опорами в гибочном штампе выбирается в зависимости от величины радиуса пуансона и от угла загиба или угла матрицы. Под свободным изгибом будем понимать изгиб балки, лежащей на 2-х опорах свободно. Заготовка по мере увеличения прогиба изменяет величину изгибающего момента, причем его наибольшее значение на середине расстояния между опорами. На середине будет и большая крутизна. Радиус изделия может быть больше и меньше  $R_n$ . Радиус, который получает заготовка в процессегиба называется радиусом свободного изгиба, причем он на середине расстояния между опорами не зависит от  $R_n$ . Целесообразно подбирать такой радиус пуансона, при данном расстоянии  $l_{on}$  или такое  $l_{on}$ , чтобы радиус свободного изгиба соответствовал радиусу кривизны штампа. Тогда условия гибки более благоприятные, так как будут отсутствовать все прочие деформации. Если  $l_{on}$  выбрано больше необходимого, то процесс будет идти по 3 стадиям. Причем переход от одной к другой стадии сопровождается уменьшением угла детали. При

значительном  $l_{on}$  изгибаются полки в другую сторону. Может возникнуть чеканка, непредусмотренный изгиб и т.д.

Если остановить гибку в 1 стадии, то угол детали будет больше угла матрицы за счет упругих деформаций. Во втором случае угол будет меньшим. Расстояние  $l_{on}$  играет большую роль для  $M_{изг}$ ; с его уменьшением увеличивается  $M_{изг}$ . Аналитически  $l_{on}$  можно связать с углом гибки, но это сложно. При радиусе пуансона близком или равным толщине наиболее выгодное расстояние между опорами с точки зрения совпадения свободного радиуса изгиба с  $R_n$  составляет  $(6-9)S$  при  $\alpha = 75^\circ$ . С увеличением угла загиба расстояние  $l_{on}$  уменьшается и равно  $(5-8)S$   $\alpha = 60^\circ$ . Обычно  $l_{on}$  без учета угла загиба берется равным  $(4-8)S$ .  $R_n < (0,5-1)S$ .

Радиус закругления матрицы целесообразно выбирать таким, чтобы между поверхностью детали и поверхностью матрицы имелся зазор, обычно принимают  $R_n = R_m$ ;  $R_m$  не влияет на процесс гибки, а сказывается только на качестве изделия.

Радиус скольжения оказывает большое влияние на:

- 1) величину усилия;
- 2) качество изделия. Величина  $R_{ск}$  выбирается так, чтобы  $a > (2-3)S$ .  $R_{ск}$

и  $a$  должны обеспечить совпадение нормалей пуансона и матрицы.

Зазор (для П гибки) выбирается так, чтобы:

- 1) уменьшить усилие трения;
- 2) влияет на качество изделий;
- 3) должен обеспечить легкое удаление детали.

$$z = (S + \Delta + e)\beta \quad (10.9)$$

где  $S$  – толщина заготовки,

$\Delta$  – плюсовое отклонение по толщине.

$e$  – коэффициент, увеличивающий зазор для уменьшения сил трения, выбирается в зависимости от ширины полосы;

$$e = 0,05 - 0,20;$$

$\beta$  – коэффициент зависит от рода материала:

$$\beta = 1,0 - 1,5 - \text{для мягких,}$$

$$\beta = 1,05 - 1,1 - \text{для черных металлов.}$$

$$z = S + \Delta + eS \quad (10.10)$$

В практике  $z = (1-1,1)S$  – мягкие материалы,  $z = (1,05 - 1,15)S$  – для стали.

### 10.3. Упругое пружинение при гибке

Вследствие упругих деформаций при гибке деталь изменяет форму и размеры. Поэтому эти обязательства учитываются при проектировании гибочного инструмента. Так как в большинстве случаев пружинение детали

положительно, т.е. угол детали получается больше угла штампа, то при проектировании угол штампа должен быть взят меньше угла детали. Пружинение зависит: 1) от рода, свойств материала, от его предела текучести, 2) от степени деформации, 3) от толщины (при меньшей толщине – больше пружинение), 4) от формы детали (вида гибки). Распружинивание  $\Pi$  больше чем у  $V$ .

Не зависит распружинивание от глубины матрицы, от ширины заготовки. При свободной гибке пружинение больше, чем при несвободной.

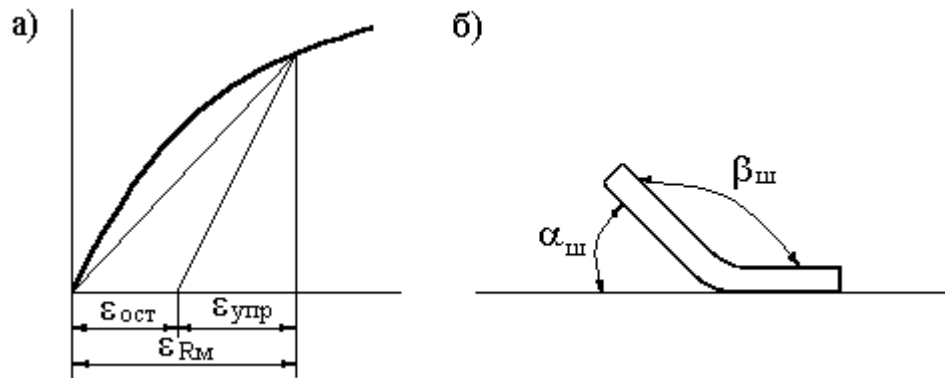


Рис. 10.3 Схема к определению радиуса в следствии пружинения (а) и при соответствии полной деформации угла штампа (б)

Изменение радиуса детали вследствие пружинения можно определить. Если принять, что деформация крайнего волокна к моменту окончания гибки известна (рис.10.3а), то:

$$\varepsilon_{R_n} = \frac{S/2}{R_n + S/2} = \frac{S}{2R_n + S} = \frac{1}{2R_n/S + 1} \quad (10.11)$$

Положим, что известна упругая деформация, которая будет снята в результате упругой разгрузки. По закону Гука:

$$\varepsilon_{упр} = \frac{\sigma_{кр}}{E} \quad \varepsilon_{упр} = \frac{\sigma_{кр}}{E(1-\mu^2)}$$

где  $\mu$  – коэффициент Пуассона;

$\sigma_{кр}$  – критическое напряжение в растянутых волокнах.

Рассматривая гибку, как напряженное объемное состояние:

$$\varepsilon_{упр} = \frac{\sigma_{кр}}{E(1-\mu^2)} = \frac{1,1\sigma_{кр}}{E} \quad \mu \approx 0,3$$

где  $\sigma_{кр}$  – можно определить по диаграмме, считая что  $\sigma_{кр} \approx \sigma_e$ .

$$\varepsilon_{ocm} = \frac{1}{\frac{2R_{uzd}}{S} + 1} \quad (10.12)$$

при растяжении.

Пренебрегая утонением стенки (изменение толщины  $(0,99 - 0,92)S$ )

$$\varepsilon_{ocm} = \frac{1}{\frac{2R_{uzd}}{S} + 1} = \varepsilon_{R_n} - \varepsilon_{ynp} = \frac{1}{\frac{2R_n}{S} + 1} - \frac{1,1\sigma_6}{E};$$

$$\frac{2R_n}{S} + 1 = \frac{1}{\left(\frac{2R_{uzd}}{S} + 1\right) + \frac{1,1\sigma_6}{E}};$$

$$R_n = \frac{S}{2} \left( \frac{1}{\frac{1}{\frac{2R_{uzd}}{S} + 1} + \frac{1,1\sigma_6}{E}} - 1 \right) \quad (10.13)$$

Приблизенно, но достаточно точное угловое пружинение можно определить из условия, что полная деформация соответствует углу штампа (рис.10.3б). Остаточная деформация соответствует углу  $\alpha$  (угол детали):

$$\frac{\varepsilon_{R_n} - \alpha_{ш}}{\varepsilon_0 - \alpha_\partial} \quad \text{или} \quad \frac{\alpha_\partial}{\alpha_{ш}} = \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_{R_n}}.$$

Угол пружинения:

$$\Delta\alpha = \alpha_\partial - \alpha_{ш} = \alpha_{ш} \left( \frac{\alpha_\partial}{\alpha_{ш}} - 1 \right) = \alpha_{ш} \left( \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_{ш}} - 1 \right) = \alpha_{ш} \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_{R_n}}{\varepsilon_{R_n}} \quad (10.14)$$

$$\Delta\beta = -\Delta\alpha = \alpha_{ш} \frac{1,1\sigma_6}{E} \left( \frac{2R_n}{S} + 1 \right) \quad (10.15)$$

Для определения угла пружинения можно использовать и следующие зависимости:

для V детали:

$$\operatorname{tg} \alpha = 0,375 \frac{l}{kS} \cdot \frac{\sigma_m}{E} \quad (10.16)$$

для II-детали

$$\operatorname{tg} \alpha = 0,75 \frac{l_1}{kS} \cdot \frac{\sigma_m}{E} \quad (10.17)$$

$l_1$  – плечо гибки =  $z + (R_n + R_m) + 1,25S$

$z$  – зазор,  $k$  – коэффициент, характеризующий положение нейтрального слоя  $k = 1 - x$ ;  $x = \frac{(\rho - r)}{S}$ .

Для жестких металлов величина пружинения  $9-12^\circ$ , для мягких  $1-3^\circ$ .

Мероприятия, устраняющие пружинение.

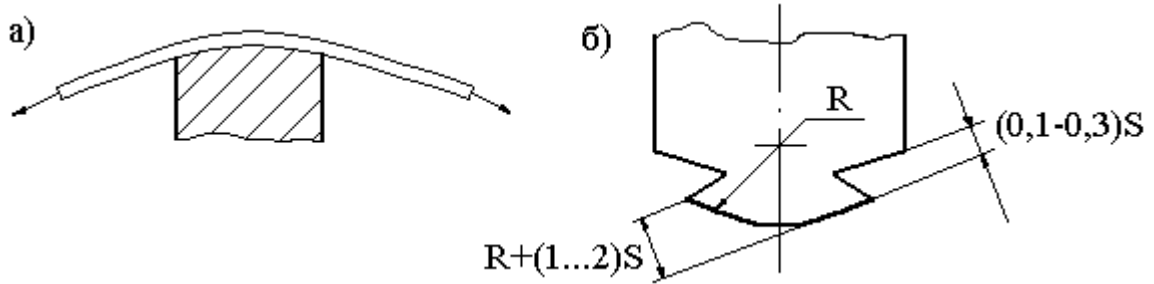


Рис. 10.4. Способы устранения пружинения  
а – растяжения; б – пуансон с уступом.

Гибка с растяжением (рис.11.4а).

Применение гибочных пуансонов с уступом (рис.11.4б).

Учет распружинивания при проектировании.

Гибка с подчеканкой (в самом штампе или вне его).

Точность – на нее влияют: 1) пружинение, 2) неточность фиксации 3) смещение заготовки в процессе гибки 4) неравномерность механических свойств, 5) неравномерность по толщине, 6) неточность изготовления штампа.

#### 10.4. Усилие гибки

Усилие гибки можно определить как аналитически, так и по экспериментальным формулам. Аналитически усилие гибки определяется исходя из равенства внешнего изгибающего момента моменту внутренних сил. Рассмотрим гибку V – образной детали (рис.10.5). Изгибающий момент для любой стадии гибки определяется как:

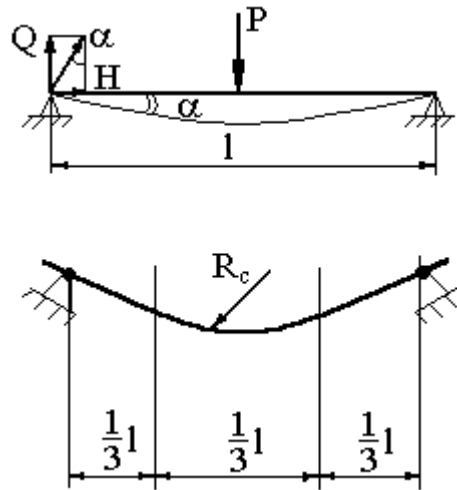


Рис. 10.5. Схема к определению усилия гибки V-образной детали

$$M = \frac{Ql}{2} + Hf = \frac{Pl}{4} + Hf$$

где  $l$  – расстояние между опорами, а  $f$  – стрела прогиба

$$H = Q \cdot \operatorname{tg} \alpha = \frac{P}{2} \operatorname{tg} \alpha$$

Максимальное усилие, как это установлено опытами, имеет место при  $\alpha = 45^\circ$ . Отвечающая этому усилию стрела прогиба будет:

$$f = \frac{l}{2} - (\sqrt{2} - 4)R_c$$

Изгибающий момент:

$$M = \frac{Pl}{4} + \frac{P}{2} \left[ \frac{l}{2} - (\sqrt{2} - 1)R_c \right]$$

Но  $H = Q \cdot \operatorname{tg} \alpha = \frac{P}{2} \operatorname{tg} \alpha = \frac{P}{2}$  при  $\alpha = 45^\circ$  и усилие:

$$P = \frac{M}{\frac{l}{4} + \frac{l}{4} - \frac{\sqrt{2}-1}{2}R_c} \quad \text{или} \quad P = \frac{2M}{l - 0,4R_c} \approx \frac{2,2}{l} M \quad (10.18)$$

Изгибающий момент (по Марковцу) равен:

$$M = \frac{BS^2}{4} \left[ \sigma_{mo} + \frac{1}{3}(\sigma_m - \sigma_{mo}) \right]$$

Экстраполированный предел текучести  $\sigma_{mo}$  определяется по диаграмме истинных напряжений как:



$$\sigma_{mo} = \sigma_{\epsilon} \frac{(1 - 2\psi_{\epsilon})}{(1 - \psi_{\epsilon})^2};$$

а истинное напряжение, отвечающее данной степени деформации

$$\sigma_m = \sigma_{\epsilon} \frac{(1 - 2\psi_{\epsilon} - \psi^2)}{(1 - \psi_{\epsilon})^2}$$

Подставляя значения  $\sigma_{mo}$  и  $\sigma_m$  в уравнение момента имеем:

$$M = \frac{BS^2}{4} \sigma_{\epsilon} \lambda = W \sigma_{\epsilon} \lambda;$$

Так как

$$\psi = \frac{S/2}{R_n + S/2};$$

то

$$\lambda = \sqrt{3} \left[ 1 + \frac{\frac{1}{3R_n/S + 1} - \psi_{\epsilon}^2}{(1 - \psi_{\epsilon})^2} \right] \quad \text{или}$$

окончательно

$$P = \frac{2,2\sigma_{\epsilon}W\lambda}{l} \quad (10.19)$$

Усилие гибки П-образных штампах можно определить следующим образом. Принимая за плечо гибки в конечный момент  $l = 1,1S = z$  запишем изгибающий момент:

$$M = \frac{Pl}{2} = W_n \sigma_{\epsilon},$$

а отсюда усилие будет:

$$P = \frac{2W_n \sigma_{\epsilon}}{l}.$$

Учитывая трение (около 30% от усилия гибки) получим:

$$P = \frac{1,3 \cdot 2W_n \sigma_{\epsilon}}{l} = \frac{2,6W_n \sigma_{\epsilon}}{l}$$

или окончательно:

$$P = \frac{2,6W_n \sigma_{\epsilon}}{1,15} \quad (10.20)$$

В литературе рекомендуется ряд формул для определения усилия гибки:

1) для гибки V-образных деталей:

$$P = \frac{0,6BS^2}{r+S} \sigma \quad (10.21)$$

2) для гибки П-образных деталей:

$$P = \frac{0,7BS^2}{r+1,2S} \sigma \quad (10.22)$$

где  $r$  – радиус гiba (радиус пуансона),

$\sigma$  – напряжение в крайних волокнах принимаемое  $\sigma = \sigma_s$ .

3) для свободной одноугловой гибки:

$$P = \frac{BS^2}{l} \cdot \sigma_s \cdot n = BS\sigma_s k \quad (10.23)$$

где  $l$  – расстояние между опорами;

$n$  – коэффициент, учитывающий упрочнение  $n = 1,6 - 1,8$ ;

$k$  – коэффициент

Зависящий от отношения  $\frac{l}{S}$  и равный 0,23 – 0,06 (при  $\frac{l}{S} = 8 - 30$ ).

4) для гибки П-образных деталей с прижимом:

$$P = 2BS\sigma_s k + P_{np} \approx 2,5BS\sigma_s k \quad (10.24)$$

5) для гибки V-образных деталей с калибровкой:

$$P = pF$$

где  $F$  – площадь заготовки пол пуансоном при калибровке;

$p$  – удельное давление равное  $1,5 - 4 \frac{\text{кГ}}{\text{мм}^2}$  для алюминия;

$p = 2 - 6 \frac{\text{кГ}}{\text{мм}^2}$  для латуни;

$p = 3 - 8 \frac{\text{кГ}}{\text{мм}^2}$  для стали 10 – 20 и  $p = 4 - 10 \frac{\text{кГ}}{\text{мм}^2}$  для стали 25 – 35  $\frac{\text{кГ}}{\text{мм}^2}$ .

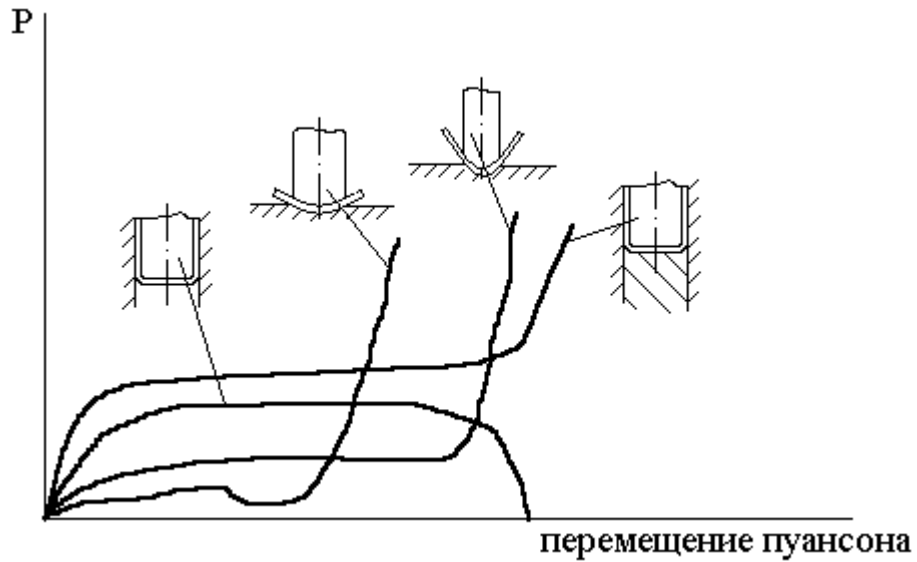
б) для свободной гибки без подчеканки

$$P = 1,25BS\sigma_s k \quad (10.25)$$

где 1,25 – коэффициент запаса;

$k$  – коэффициент = 0,06–0,55 (в зависимости от схемы гибки).

Характер индикаторных кривых усилий для различных случаев гибки показан на рис 10.6.



*Рис.10.6. Характер индикаторных кривых усилия гибки при различных процессах гибки*

## 11 ОДНООПЕРАЦИОННАЯ ВЫТЯЖКА.

### 11.1. Виды вытяжки

Вытяжка представляет собой превращение плоской заготовки в полую деталь любой формы и производится на вытяжных штампах.

На рис.11.1 изображена схема простой вытяжки цилиндрического колпачка диаметром  $d$ .

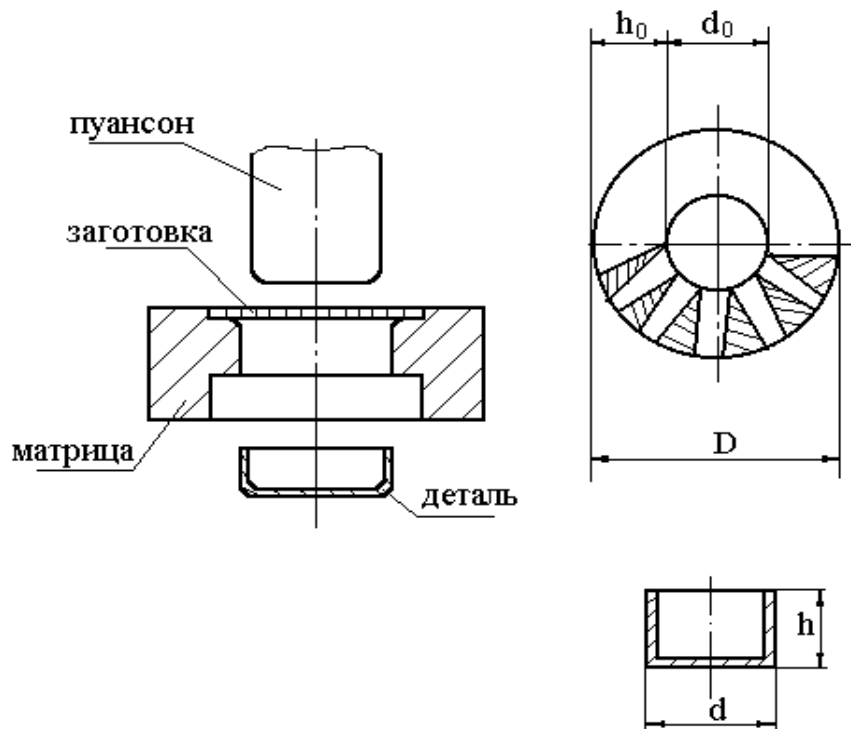


Рис.11.1. Схема вытяжки колпачка

В процессе вытяжки кольцевая часть заготовки  $D - d_0$  превращается в цилиндр диаметром  $d$  и высотой  $h$ . Так как объем металла при вытяжке постоянен, то высота колпачка  $h$  больше ширины кольцевой части:

$$h > \frac{D - d}{2}$$

Таким образом, вытяжка происходит за счет пластической деформации, которая сопровождается перемещением значительного объема металла вверх. Этот объем условно заштрихован в виде треугольников. О характере происходящих при вытяжке изменений можно получить представление, произведя сравнение структуры у различных участков заготовки со структурой уже вытянутого колпачка. В донной части структура не меняется, зато на боковых стенках зерна приобретают вытянутую форму. В детали меняется толщина и твердость вследствие воздействия растягивающих и сжимающих напряжений. Степень деформации при вытяжке может быть записана как:

$$V_{см} = S \frac{\pi}{4} (D - d_0)^2 \quad (11.1)$$

$$E = \frac{V_{см}}{V_{деф}} = \frac{(D - d_0)^2}{D^2 - d_0^2} = \frac{D - d}{D + d} \quad (11.2)$$

При большой степени деформации  $V_{см}$  является причиной складкообразования. В целях предотвращения складок применяют складкодержатели.

Вытяжкой моно получить детали типа: тела вращения; коробчатые, треугольные и квадратные любой формы; несимметричные; с различной толщиной стенки (рис.12.2).

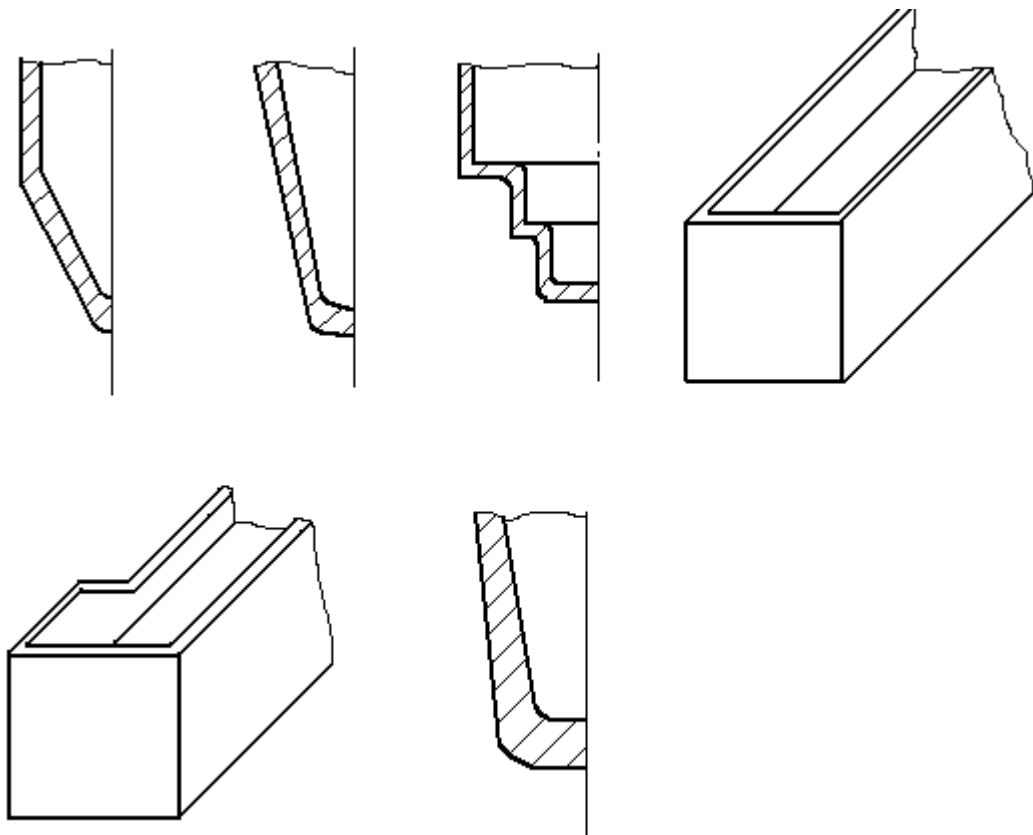


Рис. 11.2. Типы деталей получаемых вытяжкой

Различают вытяжку без преднамеренного изменения толщины стенки – вытяжки без утонения (рис.11.3 а) и с изменением толщины стенки – вытяжки с утонением (рис.11.3 б).

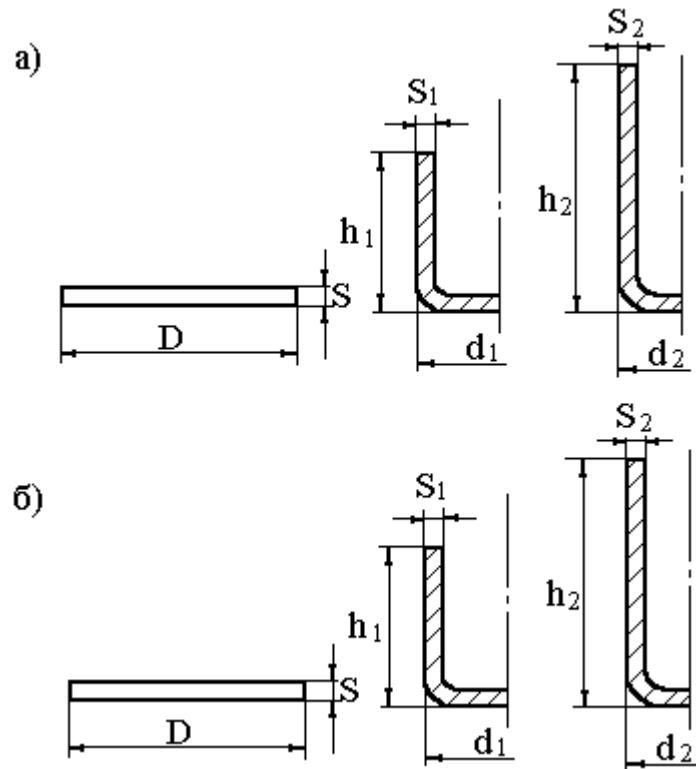


Рис. 11.3. Виды вытяжки:  
 а - без утонения стенки; б-с утонением стенки.

В первом случае:

$$S_1 = S_2 = S_3 = \dots = S_n$$

$$D > d_1 > d_2 > d_3 > \dots > d_n$$

$$h_1 < h_2 < h_3 < \dots < h_n$$

Во втором случае:

$$S_1 > S_2 > S_3 > \dots > S_n$$

$$D > d_1 > d_2 > d_3 > \dots > d_n$$

$$h_1 < h_2 < h_3 < \dots < h_n$$

Очевидно, что в случае вытяжки без утонения зазор больше толщины материала. При утонении он должен быть меньше. В этом случае относительное сужение выразится как:

$$\psi = \frac{F_0 - F}{F} \cdot 100\%.$$

Различают вытяжку однооперационную и многооперационную. Разновидность вытяжки без утонения стенки: 1) реверсивная вытяжка, 2) с подогревом фланца, 3) гидравлическая вытяжка для сложных форм, 4) вытяжка резиной, 5) пульсирующая вытяжка.

## 11.2. Напряженно-деформированное состояние

При вытяжке имеет место сложная пластическая деформация, в процессе которой элемент плоской заготовки (рис.11.4) изменяет свои размеры (удлиняется в радиальном и укорачивается в тангенциальном направлении), превращаясь в дальнейшем в элемент боковой поверхности изделия. В начале первой операции вытяжки для элемента заготовки 1, находящегося вблизи края фланца наибольшей по величине является деформация тангенциального сжатия, средней деформации удлинения, в радиальном направлении, а наименьшей – утолщение металла.

В результате деформации тангенциального сжатия при вытяжке тонкого материала образуются гофры (б). При тех же условиях в толстом материале таких гофр не получается.

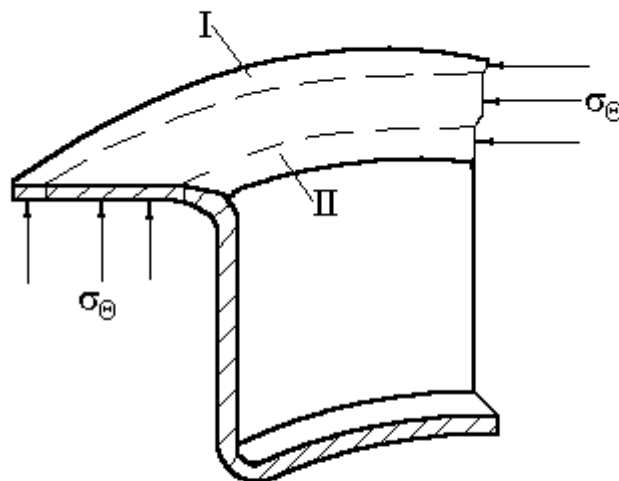


Рис. 11.4. Схема действующих напряжений при вытяжке

При перемещении элемента к вытяжному ребру матрицы 2 наибольшей деформацией становится деформация радиального направления (удлинения), так как тангенциальное сжатие уменьшается. При переходе элемента через вытяжное ребро матрицы эта деформация элемента усложняется появлением деформации пространственного изгиба. После этого элемент заготовки переходит в криволинейно – вертикальную стенку и получает осевое удлинение вдоль образующей при незначительном утонении материала.

Дно изделия подвергается незначительно воздействию сил, которым пренебрегают практически. Для наглядности характера деформации и

определения ее величины применяют метод нанесения на заготовку прямоугольной или радиально – кольцевой сетки, изучая потом ее искажения при вытяжке. Искажение показывает, что деформация тангенциального сжатия превосходит величину деформаций радиального растяжения.

Толщина материала в месте перехода от дна к стенкам уменьшается при увеличении степени деформации, пластичности металла и т.д. Рассмотрим схему вытяжки, разбив заготовку на несколько частей (рис.11.5).

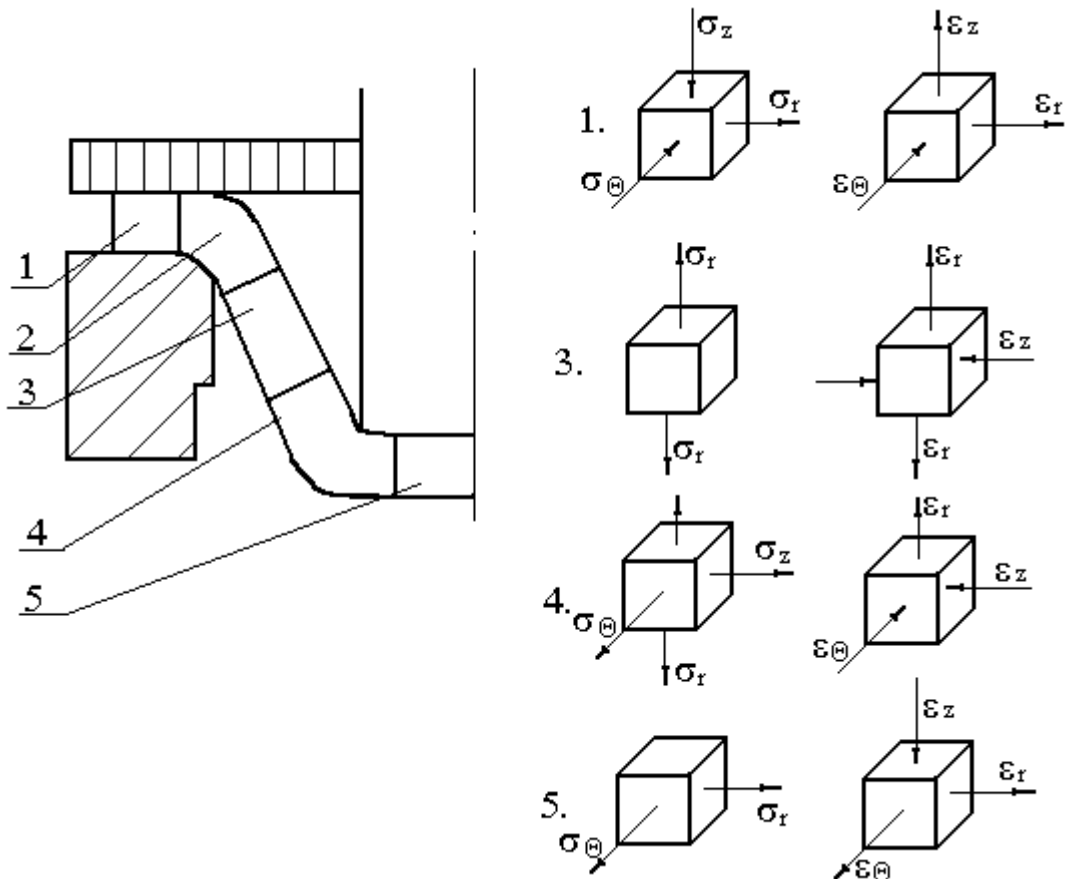


Рис. 11.5. Схема вытяжки и распределение напряжений и деформаций на различных участках заготовки

В каждой части выделим элемент объема и рассмотрим его напряженно-деформированное состояние. На первом участке элемент находится в объемно – деформированном состоянии.

При сильном прижиме считают:

$$\sigma_r = 0.$$

$\sigma_r$  – min у края и max у ребра.

$\sigma_\theta$  – max у края и min у ребра.

От  $\sigma_\theta$  фланец утолщается на 20–30 % от толщины материала и упрочняется. При слабом прижиме и тонком материале:

$$\frac{S}{D} \cdot 100 < 2 - \text{складки}$$



На втором участке элемент на закруглении испытывает сложную деформацию – растяжение и изгиб, незначительное сжатие.

На четвертом участке материал между пуансоном и матрицей можно считать находящимся в линейно напряженном и плоско - деформированном состоянии. У донного закругления элемент в металле возникают напряжения в виде двухосного сжатия, что приводит к значительному растяжению и утонению стенок. Здесь опасное сечение – отрыв дна. Утонение 10 – 18 % от толщины материала.

На пятом участке дно в плоско – напряженном и объемно – деформированном состоянии. Растяжение и сжатие на первой операции 1–3 % – можно пренебречь. На следующей операции нет. Дно утоняется.

Кроме этих напряжений действуют силы трения. От перераспределения моментов сил происходит увеличение толщины заготовки (рис. 11.6). Это изменение зависит от величины радиусов и пуансона.

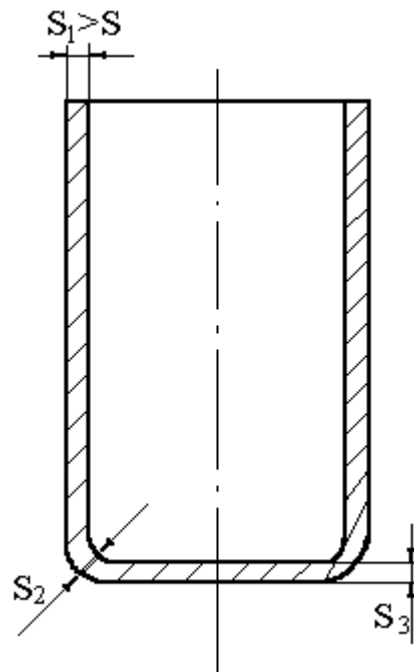


Рис. 11.6. Распределение толщины заготовки по контуру

Оно = 15–18% от  $S$ .

$$S_1 = (1,15 - 1,18)S; \quad \frac{D}{d} = k = 2$$

где  $S_2$  – утонение =  $(0,82 - 0,88)S$

$$S_3 = (0,97 - 0,98)S$$

$$S_{cp} = \frac{S_1 + S_2 + S_3}{3} \approx S$$

Изменение толщины зависит от:

1) геометрии вытяжного инструмента и величины радиусов  $R_m$  и  $R_n$ . Обычно применяют радиальные матрицы, иногда конические. При них выше

устойчивость стенки, меньше утонение. Чем больше  $R_n$  и  $R_m$ , тем меньше изменение толщины стенки, т.к. радиусы влияют на величину напряжений;

2) степени чистоты обработки рабочих поверхностей инструмента;

3) ряда качеств смазки. Чем она качественней, тем меньше изменение толщины;

4) степени деформации при вытяжке. Чем меньше коэффициент ступени, тем больше изменение в стенке.

5) скорости вытяжки, чем она выше, тем больше изменяется толщина стенки.

При вытяжке без утонения степень деформации принято выражать коэффициентом:  $m = \frac{d}{D}$  – коэффициент ступеней при вытяжке или

$k = \frac{D}{d}$  – коэффициент степени вытяжки.

Чем меньше  $m$  и чем больше  $k$ , тем больше будут сжимающие напряжения. Разность  $D-d$  определяет степень деформации. В результате действия сжимающих напряжений во фланце и перемещение избыточного объема может быть потеря устойчивости деформируемой заготовки, т.е. складки, гофры.

При толстой стенке и разнице в диаметрах, смещенный объем распределяется равномерно и складок не получается. Для устранения складок применяют прижимы. Необходимость прижима определяется отношением толщины стенки к диаметру заготовки –

1 переход при  $\frac{S}{D} \cdot 100 < 1,5$  – прижим  $m < 0,6$ ;

при  $\frac{S}{D} \cdot 100 > 2,0$  – без прижима  $m > 0,5$ .

$\frac{S}{D} \cdot 100 = 1,5 - 2$  возможны оба случая.

Все зависит от радиуса матрицы и пуансона, от смазки, чем они больше, тем больше возможность складкообразования. При  $D-d \geq (18-22)S$  нужен прижим (по Шофману).

## 12. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ОПЕРАЦИИ ВЫТЯЖКИ

### 12.1. Определение размеров и формы заготовки для вытяжки полых тел вращения

Для определения размеров заготовки при вытяжке полых тел в основном существует 5 методов:

Аналитические методы:

- 1) метод равенства площадей;
- 2) метод равенства объемов;
- 3) метод равенства весов.

Графические методы:

- 1) графо-аналитические;
- 2) графический.

1. Метод равенства площадей (рис.12.1).

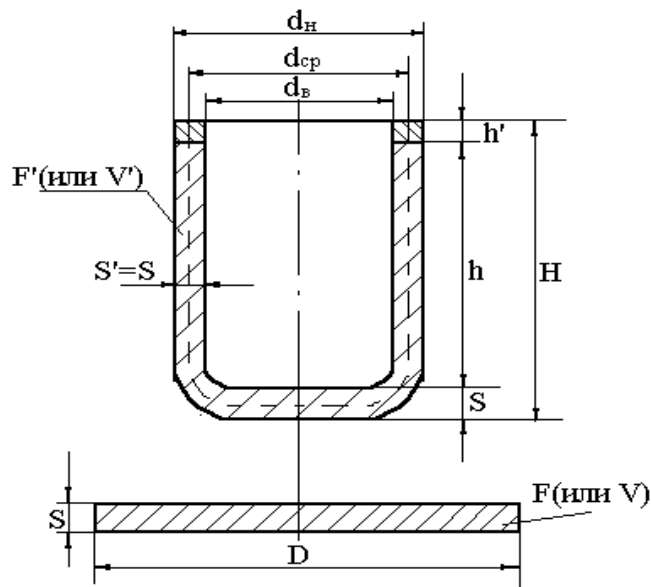


Рис.12.1. Схема к расчету заготовки по методу равенства площадей и объемов

Этот метод наиболее распространен в холодной штамповке. Им пользуются при нормальном процессе вытяжки без утонения, когда  $F' = F$  и  $t' = t$ . Изделие можно представить состоящим из двух частей: цилиндра (без дна) и дна. Исходя из геометрических соображений получим:

$$F' = F_{\text{д}} + F_{\text{б}} = \frac{\pi d_{\text{ср}}^2}{4} + \pi d_{\text{ср}} (h + h')$$

Так как  $F' = F = \frac{\pi D^2}{4}$ , то  $\frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi d_{\text{ср}}^2}{4} + \pi d_{\text{ср}} (h + h')$ .

Приведя обе части уравнения к одному знаменателю, имеем:

$$D^2 = d_{cp}^2 + 4d_{cp}(h + h');$$

Откуда:

$$D = \sqrt{d_{cp}^2 + 4d_{cp}(h + h')} = \sqrt{d_{cp}^2 + 4d_{cp}H'} \quad (12.1)$$

где

$$H' = h + h'$$

Эта формула выведена в предположении, что цилиндр имеет правильную форму и сопряжение дна с боковой стенкой происходит под прямым углом. В действительности в месте сопряжения имеется закругление и видимо приведенный расчет не является абсолютно точным. При произвольном числе простых поверхностей образующих тела вращения, определение размера заготовки при вытяжке сводится к определению:

$$F = \frac{\pi D^2}{4} = F' = F_1 + F_2 + \dots + F_n = \sum_{i=1}^n F_i \quad (12.2)$$

$$D^2 = \frac{4}{\pi} \sum_{i=1}^n F_i; \quad D = \sqrt{\frac{4}{\pi} \sum_{i=1}^n F_i}$$

где  $\sum_{i=1}^n F_i$  – сумма элементарных поверхностей вытягиваемого изделия.

2. Объемный метод (рис.12.1). Этим методом пользуются при вытяжке с утонением. 1 случай. Цилиндр с дном и стенками разной толщины ( $t' < t$ ). Объем изделия можно разбить на 2 объема:

а) объем дна  $V_0$  и б) объем стенок  $V_0'$

$$V' = V_0 + V_0' \quad \text{НО} \quad V' = V = \frac{\pi D^2}{4} t$$

$$\frac{\pi d_{cp}^2 t}{4} + \pi d_{cp}(h + h')t' = \frac{\pi D^2}{4} t$$

$$D^2 = d_{cp}^2 + \frac{4d_{cp}(h + h')t'}{t}$$

$$D = \sqrt{d_{cp}^2 + \frac{4d_{cp}(h + h')t'}{t}} \quad (12.3)$$

2 случай. При произвольном числе простых объемов. Диаметр заготовки определяется из уравнения:

$$V = \frac{\pi D^2 t}{4} = V' = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n = \sum_{i=1}^n V_i;$$

$$D^2 = \frac{4}{\pi t} \sum_{i=1}^n V_i; \quad D = \sqrt{\frac{4}{\pi t} \sum_{i=1}^n V_i} \quad (12.4)$$

3. Весовой метод. Диаметр изделия определяется по весу готового изделия, исходя из равенства весов готового изделия  $G'$  и заготовки  $G$ . При толщине металла  $t$  удельном весе  $\gamma$  из уравнения:

$$G = V\gamma = \frac{\pi D^2}{4} t\gamma = G';$$

отсюда:

$$D = \sqrt{\frac{1,28G'}{t\gamma}} = 1,128 \sqrt{\frac{G'}{t\gamma}}. \quad (12.5)$$

Все приведённые методы для сложных тел вращения не применяются, так как это довольно затруднительно и требует много времени. Лучше пользоваться для определения размеров заготовки в таких случаях графо-аналитическим или графическим методом.

4. Графо-аналитический метод (рис.12.2).

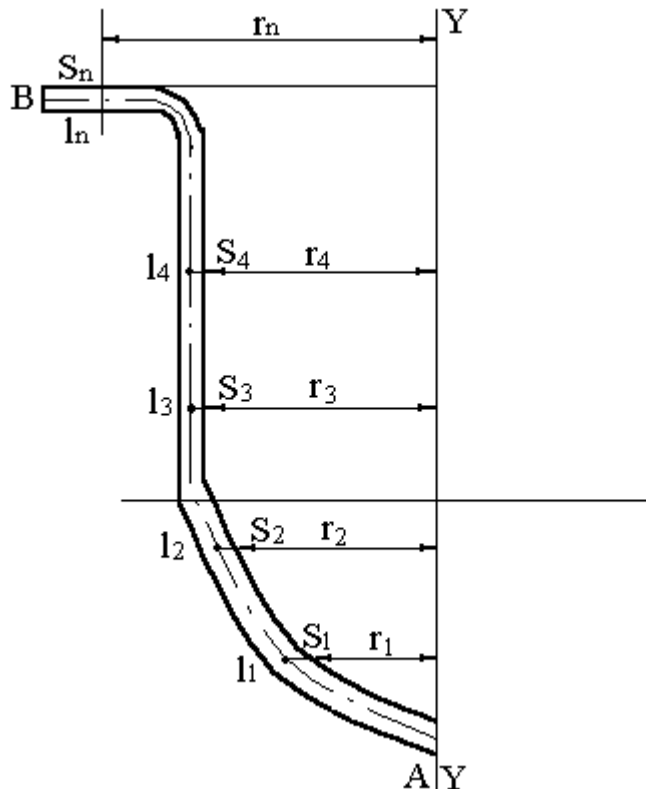


Рис. 12.2. Схема к расчету заготовки графо-аналитическим методом

Сущность этого метода заключается в определении графическим путём расстояния  $x$  от центра тяжести любого отрезка кривой до оси вращения, а также его длины. Если имеется изделие, представляющее собой тело вращения, полученное вращением образующей кривой  $AB$  вокруг оси  $YY$ , то необходимо кривую  $AB$  разбить на несколько частей  $l_1; l_2; l_3 \dots l_n$ , рассматривая их как прямые отрезки с соответствующим расстоянием  $r_1; r_2; \dots; r_n$  от центров тяжести  $S_1; S_2; S_3 \dots S_n$  до оси вращения. Расстояния  $r_1; r_2; \dots; r_n$  можно принять за радиусы вращения элементов кривой, так что поверхность тела вращения представится суммой элементарных поверхностей.

$$F' = 2\pi(r_1 l_1 + r_2 l_2 + \dots + r_n l_n) = 2\pi R_{cp} L$$

где

$$L = l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n = \sum_{i=1}^n l_i$$

Отсюда радиус вращения:

$$R_{cp} = \frac{r_1 l_1 + r_2 l_2 + \dots + r_n l_n}{l_1 + l_2 + \dots + l_n}$$

или если  $l_1 = l_2 = \dots = l_n$  и  $L = nl$ , то

$$R_{cp} = \frac{r_1 + r_2 + \dots + r_n}{n}; \quad F' = 2\pi R_{cp} L = 2\pi \frac{r_1 + r_2 + \dots + r_n}{n} nl = F = \frac{\pi D^2}{4};$$

Отсюда:

$$D = \sqrt{8(r_1 + r_2 + \dots + r_n)l} \quad (12.6)$$

5. Графический метод. Графическое определение расстояния от центра тяжести образующей кривой до оси вращения производится при помощи веревочного многоугольника. Образующая  $AB$  вычерчивается в увеличенном масштабе и разбивается на участки образующие контур. Через центры тяжести отдельных участков проводятся прямые параллельно оси вращения и затем строится веревочный многоугольник. Длина образующей устанавливается из чертежа.

$$L = L_1 + L_2 + \dots + L_n = \sum_{i=1}^n L_i ;$$

$$F' = 2\pi R_s L = F = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$D = \sqrt{8R_s L}; \quad (12.7)$$

Это уравнение можно привести к виду:

$$D^2 = 8R_s L \text{ или } [2R]^2 = 8\left(\frac{D_s}{2}\right)L$$

$$R^2 = D_s L$$

Т.е. квадрат радиуса заготовки равен площади прямоугольника одна сторона которого равна длине образующей  $L$ , а другая двойному расстоянию от центра тяжести до оси вращения ( $D_s = 2R_s$ ).

## 12.2. Определение размеров и формы заготовки при вытяжке квадратных и прямоугольных коробок

При вытяжке изделий таких очертаний заготовка имеет форму прямоугольника со срезанной по краям углами или в некоторых случаях (вытяжка высоких коробок) форму эллипса, круга или овала. Для нахождения формы и размеров заготовки пользуются графо-аналитическим способом, исходя из:

1) площадь заготовки должна быть равна поверхности отштампованной детали с учетом припуска на подрезку кромок;

2) полученный в результате подсчета и графического построения прерывистый контур заготовки должен быть откорректирован так, чтобы заготовка имела плавный контур, причем прибавляемые и отнимаемые площади должны быть равны. Чрезмерный излишек металла в углах приводит к складкообразованию, трещинам, при недостатке металла – неполная высота детали. Следует иметь ввиду, что при вытяжке коробок особенно высоких, некоторая часть металла перемещается с углового участка на прямые стенки. Поэтому надо различать высокие и низкие коробки без фланца и с фланцем. Низкими прямоугольными коробками считают те, которые вытягиваются за одну операцию ( $\approx h \approx 0,3B$ ). Наибольшая  $h$  зависит от ширины коробки  $B$ , относительного радиуса закругления на углах и у дна  $\frac{r}{B}$  и т относительной толщины  $\frac{S}{D}$ . Для мягкой стали наибольшая высота коробок без фланца, вытягиваемых за одну операцию:

$$h = (0,3 - 0,5)B \text{ при } r = 0,05 - 0,10B$$

$$h = (0,7 - 1,00)B \text{ при } r = 0,20 - 0,30B$$

Меньшие значения соответствуют  $\frac{S}{D} \cdot 100 = 0,1 - 0,3$

Большие  $\frac{S}{D} \cdot 100 = 1,5 - 2,0$ .

При определении размеров и формы заготовки для вытяжки таких коробок, можно считать, что вытяжка происходит лишь в углах, а прямые боковые стенки просто отгибаются. Потому прямые боковые стенки разворачиваются как при гибке, т.е.

$$L = [(l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_{n+1}) + \dots 0,5S \cdot n],$$

где  $n$  – число прямых углов, и  $(xS) \approx 0,25S$  – прибавка к длине, а углы определяют, как при вытяжке, а затем создают плавность контура.

При этом различают два случая вытяжки:

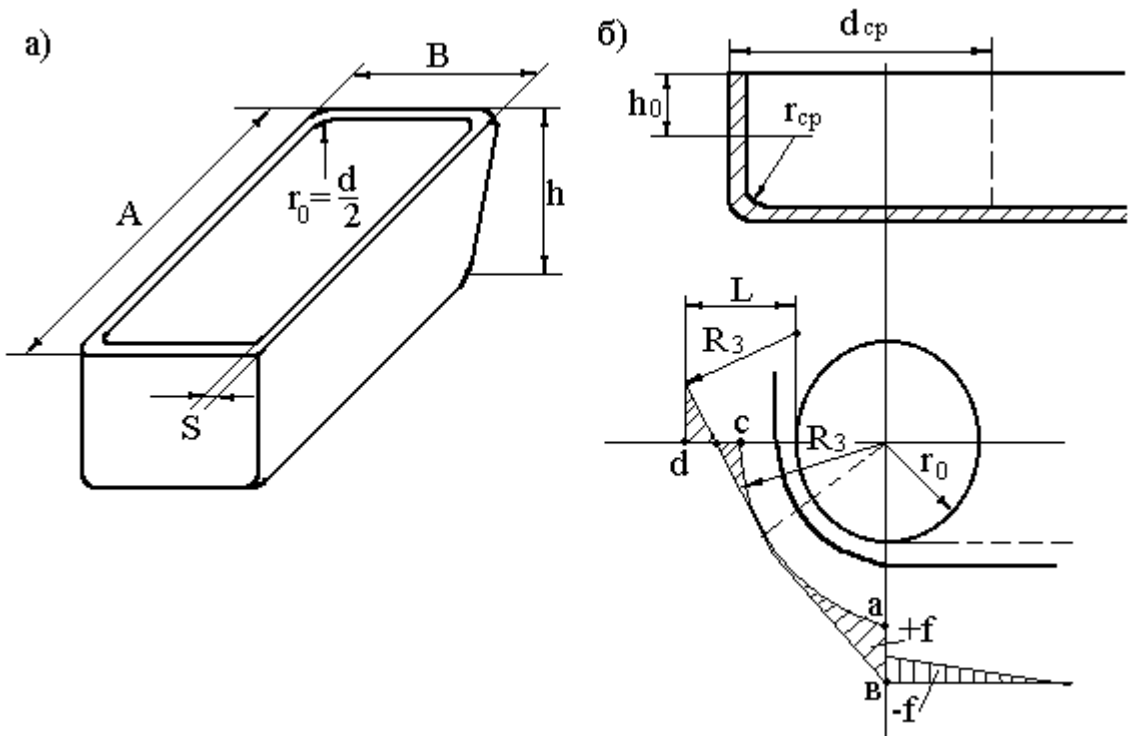


Рис. 12.3. Расчет заготовок по методу Звороно:  
а – коробка; б – методика построения углов.

1. Коробка имеет закругленные углы и закругленное сопряжение стенок и дна (рис.12.3 а). Контур дна имеет форму прямоугольника или квадрата. Для первого случая диаметр заготовки определяют по формуле  $D = \sqrt{d_{cp}^2 + 4d_{cp}H'}$  из метода поверхностей, а для второго по формуле:

$$D = \sqrt{d_0^2 + 4d_{cp}(h_0 + h') - \frac{\pi}{2} r_{cp}'(0,32d_{cp}' + d_0)} \quad (12.8)$$

Контур заготовки по способу Звороно (рис.12.3 б) можно построить так:

1) определяют длину отгибаемой части  $L$ , включая закругление у дна;



2) находят центр участка тела вращения  $O$  и через него проводят взаимно перпендикулярные прямые  $ob$  и  $od$ , затем из  $O$  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  $L + r_0$  от  $O$ ;

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 – контур заготовки для одного угла.

Для квадратной коробки с закругленными углами приближенный диаметр (размер) заготовки определяют так  $R_3 = \frac{B}{2} + h$ , описывая им окружность из середины квадрата плоского дна изделия.

2. При вытяжке высоких прямоугольных коробок и квадратных (за несколько операций) процесс вытяжки более сложен, так как в нем участвуют не только углы, но и боковые стенки и поэтому схема распределения металла будет иная. При вытяжке высоких квадратных коробок ( $h \geq 0,6B$ ) форма заготовки будет круг. Его диаметр определяется из равенства суммарной площади элементов готового изделия и площади заготовки (по Романовскому) по формуле:

$$D_3 = 1,13\sqrt{B^2 + 4B(H + 0,43r) - 1,72r(H + 0,33r)} \quad (12.9)$$

где  $H = h + 0,57r$  или  $R = \sqrt{2rh}$ .

На рис. 12.4 Отсекаемая от прямых стенок площадь  $f_1$  равна прибавляемой к развертке угла закругления площади  $f_2$  ( $f_3 \approx f_1$ ).

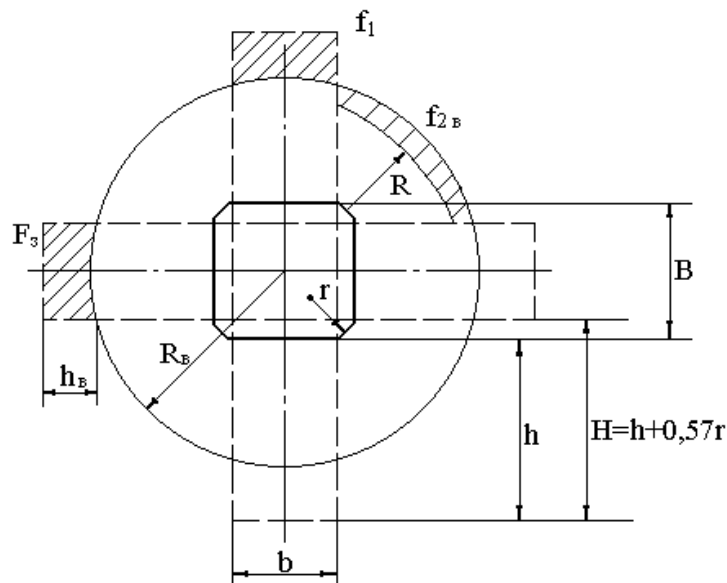


Рис.12.4. Схема к расчету высоких коробок

При вытяжке высоких прямоугольных коробок  $h \geq 0,5B$  заготовка имеет овальную форму. Радиусы у нее определяются по  $R_0$  (пред. ф-ла).

На практике форму заготовки упрощают, беря ее в виде прямоугольника со срезанными углами и плавным их закруглением.

Для расчета числа операций коэффициент вытяжки определяют из «условного» радиуса  $R_y = R_0 - 0,7b$ . В случае вытяжки высоких прямоугольных коробок с соотношением сторон  $A:B = 1,0 - 1,15$  (близко к квадратным) форма заготовки может быть круглой. Для узких коробок (высоких) заготовка в виде ромба. Величина припуска на обрезку у прямоугольных коробок без фланца берется в зависимости от относительной высоты  $\frac{h}{r}$ ; при  $\frac{h}{r} = 3 \div 25$  припуск  $(0,03 - 0,06)$ ;  $\frac{h}{r} = 25 \div 100$ , припуск  $(0,06 - 0,1)h$ . Для прямоугольных коробок с фланцем припуск на обрезку берут от 3 до 6 % от поверхности вытягиваемого изделия.

При вытяжке деталей весьма сложной формы размеры и форма заготовки определяются путем изготовления слепка готовой детали из грубой марли пропитанной воском толщиной 2–3мм.

### 12.3. Определение числа операций и их последовательности при вытяжке

При разработке технологических процессов необходимо знать может ли вытяжка быть проведена в одну операцию или в несколько. При определении числа операций вытяжки в основном нужно стремиться к тому, чтобы на всех операциях принималось такое уменьшение поперечного размера изделия, чтобы напряжение в материале не превосходило его предела прочности, однако при полном использовании его пластических свойств. Это значит, что на каждой операции вытяжки надо принимать максимально возможную степень деформации, которую обычно при вытяжке определяют по формуле:

$$\varepsilon = \frac{F_1 - F_2}{F_1} = \frac{d_1 - d_2}{d_1} = 1 - m = \frac{k - 1}{k};$$

где  $\varepsilon$  – степень деформации;

$F_1$  и  $F_2$  – площади поперечного сечения до и после вытяжки в мм<sup>2</sup>;

$d_1$  и  $d_2$  – диаметры до и после вытяжки, в мм;

$m$  – коэффициент вытяжки:  $\frac{d_1}{D}$ ;  $\frac{d_2}{d_1}$ ;  $\frac{d_n}{d_{n-1}}$ ;  $m < 1$ ;

$k$  – степень вытяжки – величина обратная коэффициенту вытяжки, т.е.  $k = \frac{1}{m} = \frac{d_1}{d_2}$  и т.д.  $k > 1$ .

Таким образом, значения  $m$  и  $k$  надо подбирать такими, чтобы напряжения при этих коэффициентах не превосходили указанного предела прочности материала.

Условимся, что коэффициент вытяжки  $m_0 = \frac{d_1}{D}$ .

Для первой вытяжки и  $m_1 = \frac{d_2}{d_1}$ ;  $m_2 = \frac{d_3}{d_2}$  .....  $m_{n-1} = \frac{d_n}{d_{n-1}}$ .

Как показала практика, коэффициенты вытяжки на последующих операциях могут быть одинаковыми:

$$m_1 = m_2 = \dots = m_{n-1} = m' = \frac{d_n}{d_{n-1}}.$$

Величины задаваемых коэффициентов определяют число и последовательность операций вытяжки. Чем меньше коэффициент вытяжки  $m_0$  и  $m'$ , тем лучше будут использованы пластические свойства материала и тем меньше потребуется операций вытяжки. Величина наименьшего возможного коэффициента вытяжки зависит от следующих факторов от:

- 1) способа вытяжки (с прижимом или без);
- 2) качества материала, размера зерна и т.д.;
- 3) толщины материала,
- 4) диаметра и формы изделия;
- 5) радиусов  $r_m$  и  $r_n$ ;
- 6) зазора  $z$ ;
- 7) скорости вытяжки;
- 8) материала штампа;
- 9) числа и порядкового номера операций вытяжки.

Влияние способа вытяжки на  $m$ . Опыты показали, что степень вытяжки или коэффициент сокращения диаметра при вытяжке  $k_0 = \frac{1}{m_0} = \frac{D}{d_1}$  могут быть

приняты больше в случае с прижимом, чем без него. Однако это только для тонких материалов. Основным правилом при выборе способа вытяжки является отношение толщины материала к диаметру заготовки, а для последующих операций – к диаметру изделий предшествующей операции. Для первой операции эта относительная толщина определяется формулой:

$$\Delta = \frac{t}{D} \cdot 100, \text{ а для последующих } \Delta' = \frac{t}{d_{n-1}} \cdot 100.$$

Для первой операции при  $\Delta < 1,5$  следует применять прижим, а при  $\Delta > 2,0$  работать без него. При следующих операциях  $\Delta' < 1,0$  – следует применять прижимы, а область  $\Delta' < 2,0$  – без прижима.

По Шофману можно не применять прижим при  $D - d \leq 18t(S)$ .

Влияние качества материала. Чем пластичнее и толще вытягиваемый материал, тем меньший коэффициент вытяжки может быть принят. Коэффициент вытяжки следует также увеличивать при увеличении диаметра вытяжки.

Влияние радиусов  $r_m$  и  $r_n$  на  $m_0$ . Большие радиусы закруглений матрицы и пуансона дают возможность уменьшить  $m_0$ . По мере возрастания  $(r_m + r_n)$ ,  $m_0$ , убывает вначале при больших закруглениях, а затем стремиться к меньшему значению.

Зависимость  $m$ .

Механические свойства 1) чем выше предел прочности при разрыве и меньше удлинение, тем больше по числовой величине  $m$  (отжиг).

Металлографические свойства 1) Крупное зерно  $m$  больше. Неоднородность понижает способность к вытяжке. 2) Чем чище обработка поверхности металла, тем меньше (ржавчина увеличивает  $m$  на 25 – 50 %).

Толщина металла. С увеличением  $S$  уменьшается  $m$  и наоборот. Особенно при  $S = 0,5\text{мм}$ .

Зазор. Нет числовых данных, но опыт говорит, что с уменьшением зазора возрастает значение  $m$ .

Прижим. Способ вытяжки.

Скорость. С ее увеличением больше  $m$ . В табл.12.1. приведены значения скорости вытяжки и соответствующие ей величины коэффициентов вытяжки.

Таблица 12.1.

Материал	$V, \text{м/сек}$	$m_{\text{перв.выт.}}$	$m_{\text{последующе}}$
Сталь	0,150 – 0,275	0,5 – 0,55	0,72 – 0,75
	0,280 – 0,350	0,6 – 0,68	0,8 – 0,87
Латунь	0,150 – 0,275	0,5 – 0,57	0,57 – 0,72
	0,280 – 0,350	0,57 – 0,6	0,75 – 0,8

С увеличением диаметра увеличивается  $m$ . Гладкие матрица и пуансон и правильно выбранная смазка уменьшают  $m$ . При изготовлении изделия с диаметром заготовки  $D$  и окончательными размерами  $d_n$  и  $h_n$  имеем:

$$d_1 = m_0 D; \quad d_2 = m' d_1 = m'(m_0 D) = \dots = d_n = m' d_{n-1} = m'^{(n-1)}(m_0 D)$$

Прологарифмировав последнее выражение, получим:

$$\lg d_n = (n-1) \lg m' + \lg(m_0 D)$$

Отсюда:

$$n = 1 + \frac{\lg d_n - \lg(m_0 D)}{\lg m'} \quad (12.10)$$

В этой формуле неизвестны  $m_0$  и  $m'$  которые приходится принимать по опытным данным (табл. 12.2).

Таблица 12.2.

Материал	$m_0$	$m'$
Медь, латунь	0,48 – 0,55	0,68 – 0,75
Сталь	0,55 – 0,60	0,75 – 0,80
	при $t < 2$	
	0,50 – 0,55	0,72 – 0,75
	при $t > 2$	

## 13. МНОГООПЕРАЦИОННАЯ ВЫТЯЖКА

### 13.1. Формоизменение заготовки.

Высота деталей, получаемых однооперационной вытяжкой, не превышает 0,7–0,8 их диаметра. При необходимости получения более высоких осесимметричных деталей вводятся несколько следующих друг за другом операций, на каждой из которых в качестве заготовки используется цилиндрический полуфабрикат, полученный на предыдущей операции, т. е. Применяется многооперационная вытяжка (рис.13.1).

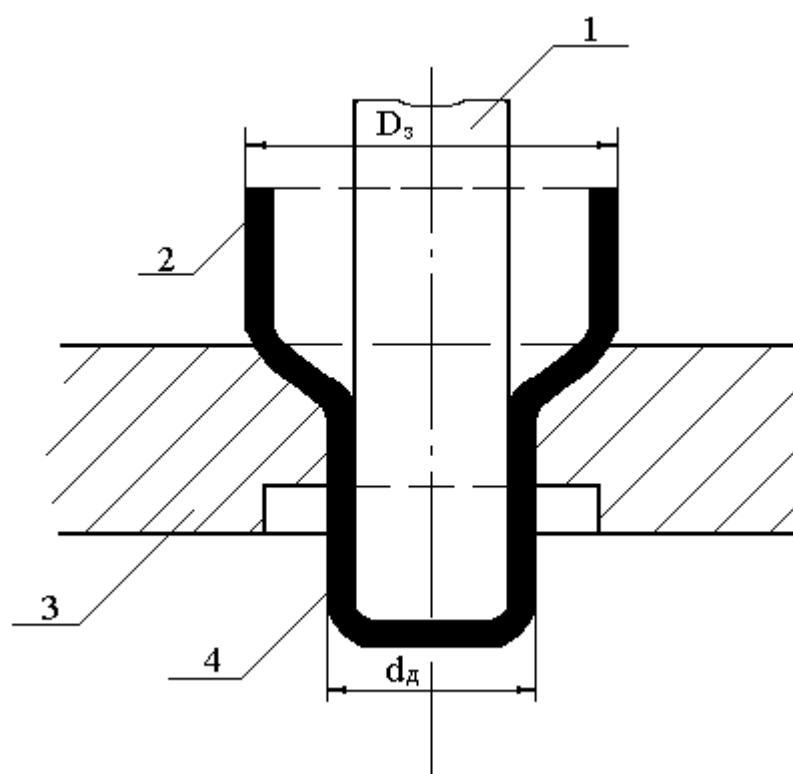


Рис. 13.1. Схема многооперационной вытяжки

Многооперационная вытяжка осуществляется на матрицах с тороидальной (рис.13.2 а) и конусно-тороидальной (рис.13.2 б) рабочими полостями. Рабочие поверхности матриц могут быть дополнены реактивной ( опорной ) поверхностью (рис.13.2 в).

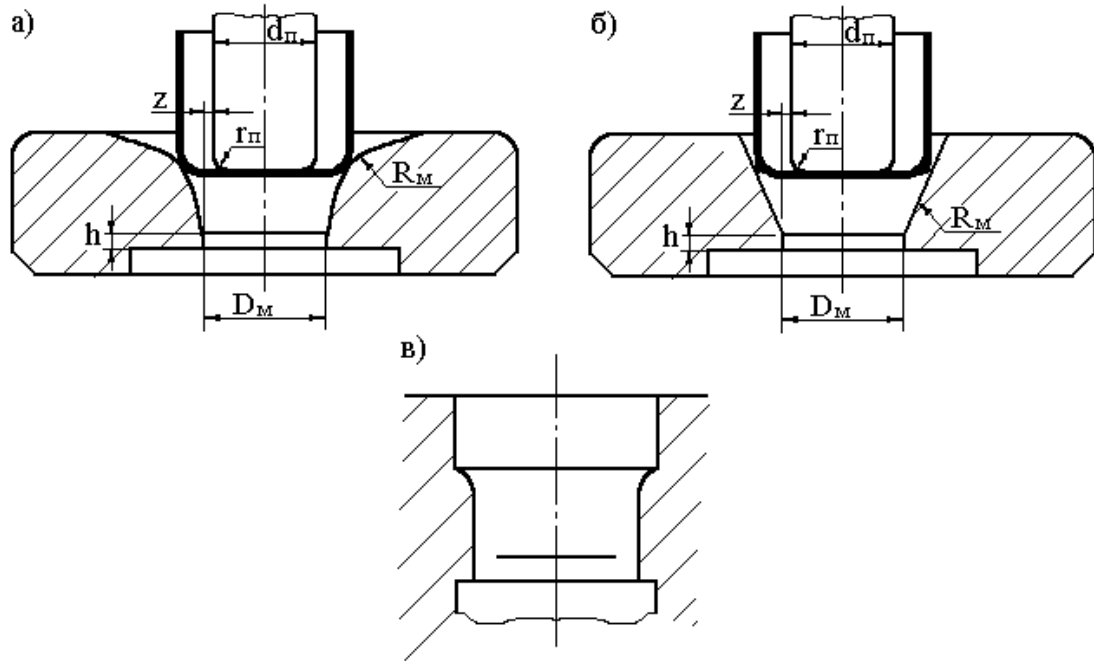


Рис. 13.2. Конструкции матриц для многооперационной вытяжки:  
 а – тороидальная; б – конусная; в – с реактивной полостью

Схема напряжённо-деформированного состояния при последующих операциях вытяжки на тороидальной матрице показана на рис. 13.3. Очаг деформации можно разделить на две зоны: 1 – свободного изгиба (внеконтактная деформация) и 2 – контактная (деформирование на торообразной кромке матрицы).

При вытяжке на матрице с тороидальной поверхностью напряжение в опасном сечении определяется с помощью формулы:

$$\sigma_{\rho_{\max}} = \sigma_s \left( \frac{\ln R_3}{r_{cp}} + \frac{S_0}{2R_\rho} + \frac{S_0}{(2r_m + S_0)(1 + \mu\alpha_1)} \right) \quad (13.1)$$

где  $R_3$  – средний радиус заготовки;

$r_{cp}$  – средний радиус изделия;

$\mu$  – коэффициент трения.

$$\cos \alpha_1 = 1 - \frac{(R_3 - r_{cp})}{\left( R_\rho + r_m + \frac{S_0}{2} \right)} \quad (13.2)$$

$$R_\rho = \frac{\sqrt{R_3 S_0}}{\sin \alpha_1} \quad (13.3)$$

$$\sin \frac{\alpha_1}{2} = \frac{\sqrt{R_3 S_0 + 4(2r_m + S_0)(R_3 - r)} - \sqrt{R_3 S_0(4r_m + 2S_0)}}{2} \quad (13.4)$$

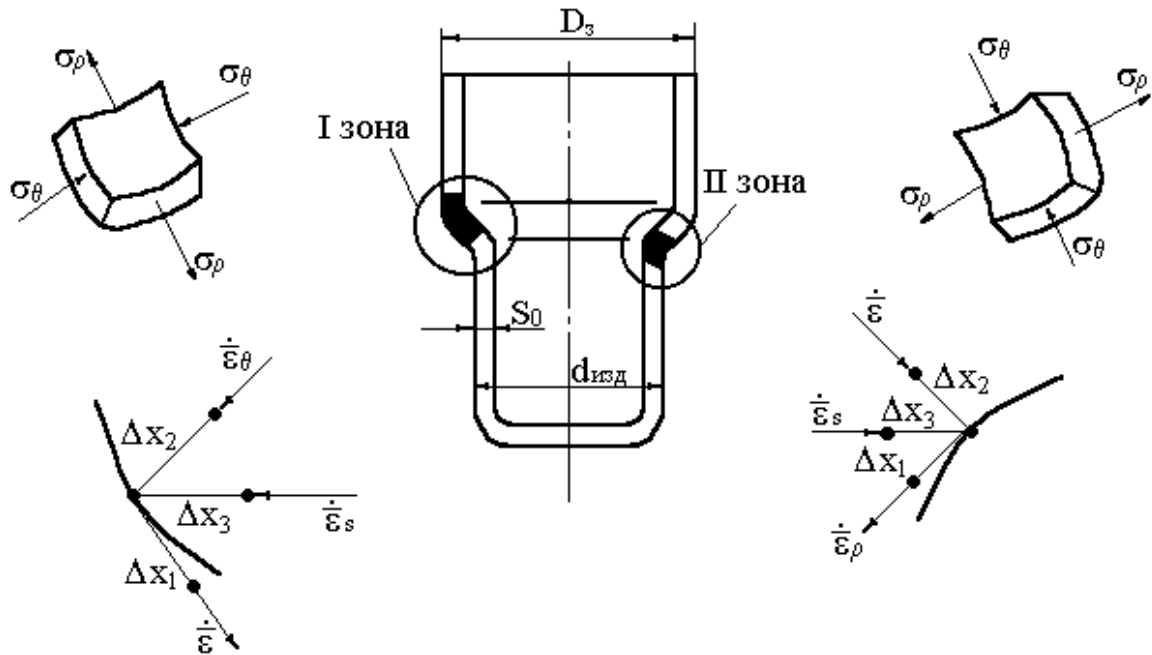


Рис. 13.3 Схема напряженно-деформированного состояния при вытяжке на тороидальной матрице

Для определения  $\sigma_{\rho_{\max}}$  следует найти величину  $\alpha_1$ , затем по  $\alpha_1$  – значение  $R_\rho$ , а по  $\alpha_1$  и  $R_\rho$  выражение (13.2). На рис.13.4 показана схема напряженно-деформированного состояния при последующих операциях вытяжки на матрице с конусно-тороидальной рабочей полостью.

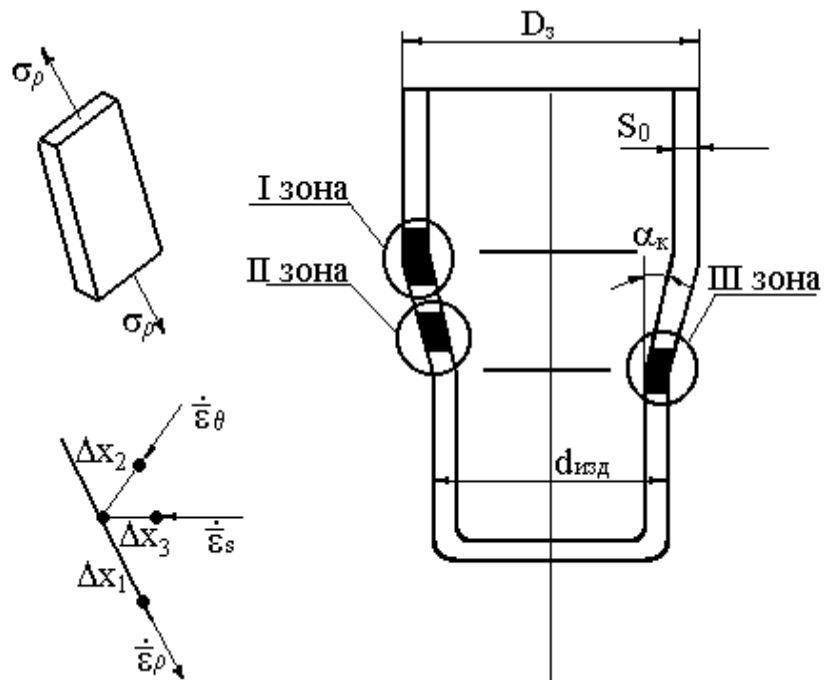


Рис. 13.4. Схема напряженно-деформированного состояния при вытяжке на конической матрице



В этом случае в очаге деформации можно выделить три зоны:

- 1 – свободного изгиба (внеконтактная деформация);
- 2 – контактной деформации на конусном участке;
- 3 – контактной деформации на тормозной кромке матрицы.

Характер напряжений и деформаций в 1 и 3 зоне очага деформации на конусно-тороидальной матрице соответствует характеру напряжений и деформаций 1 и 3 зоны, соответственно, при вытяжке на матрице с тороидальной полостью (рис.13.3). В конусной части матрицы материал находится в плоско-напряженном и объёмно-деформированном состоянии. Максимальное растягивающее напряжение при вытяжке на матрице с конусно-тороидальной полостью определяется как:

$$\sigma_{\rho_{\max}} = \left[ \left( 1 + \frac{\mu}{tg\alpha_k} \right) - \sqrt{\frac{S_0}{R_3}} (\mu \cos \alpha_k) \left( 1 - \frac{r_{cp}}{R_3} \right) + \sqrt{\frac{S_0}{R_3}} \sin \alpha_k + \frac{S_0}{2r_m} + S_0 \right] \times (1 + \mu \alpha_k) \quad (13.5)$$

где  $\alpha_k$  – угол конусности матрицы.

Оптимальное значение угла конусности  $\alpha_k$  в каждом конкретном случае может быть определено по формуле:

$$\sin \alpha_k = \sqrt{\mu \sqrt{\frac{R_3}{S_0}} \left( 1 - \frac{r_{cp}}{R_3} \right)} \quad (13.6)$$

Практическое значение  $\alpha_k$  при многооперационной вытяжке принимается в пределах 15–20°. Из сопоставления схем напряженно-деформированного состояния, видно, что при вытяжке на матрице с коническо-тороидальной полостью могут быть реализованы более жесткие условия деформирования, поскольку изгибающие напряжения на участке свободного изгиба и на тороидальной кромке значительно меньше тех, которые имеют место при вытяжке на матрице с тороидальной кромкой.

По завершении процесса вытяжки в 1 зоне между очагами деформации и цилиндрическими стенками исходной заготовки действует изгибающий момент, приводящий к изгибу элементов, поступающих в очаг деформации. При этом в стенках заготовки еще не получивших пластическую деформацию, возникают тангенциальные напряжения растяжения. В результате происходит увеличение диаметральных размеров краевой части заготовки и возникающая в ней тангенциальная деформация растяжения приводит к разрушению края заготовки с образованием продольных трещин.

С целью получения качественных изделий многооперационную вытяжку целесообразно проводить на матрицах, имеющих реактивную полость, препятствующую образованию раструба по краю цилиндрической стенки вытягиваемой оболочки.

Многооперационной вытяжкой изготавливают изделия, как с узким, так и с широким фланцем. Цилиндрические оболочки с узким фланцем, когда отношение высоты оболочки к ее диаметру больше 1,0, а отношение диаметра фланца к диаметру оболочки составляет 1,1–1,4, изготавливают обычно многооперационной вытяжкой, получая на предыдущих операциях цилиндрические полуфабрикаты. Фланец у таких изделий образуется на последней операции, а затем обрезается на заданный размер. Широкий фланец при многооперационной вытяжке получают сразу на первой операции вытяжки из плоской заготовки. На последующих операциях размеры фланца остаются постоянными, а формоизменению подвергается оставшаяся часть заготовки.

При определенных геометрических соотношениях диаметра изделия и диаметра заготовки действия сжимающих вызывают потерю устойчивости материала заготовки, выражающуюся в образовании складок. Возможность потери устойчивости заготовки зависит от степени деформации, относительной толщины заготовки и свойств материала. Устойчивость фланца будет тем больше, чем толще исходная стенка заготовки при данном диаметре и меньше разность между диаметром заготовки и диаметром получаемого изделия. Заготовка из наклепанного материала более склонна к складкообразованию, чем заготовка отожженная.

Складкообразование при вытяжке можно устранить, если в конструкции штампа использовать специальный прижим. В связи с этим различают два способа многооперационной вытяжки – с прижимом и без прижима. В зависимости от размеров детали, ее формы, толщины материала и количества операций может быть использован, например, прижим (рис.13.5).

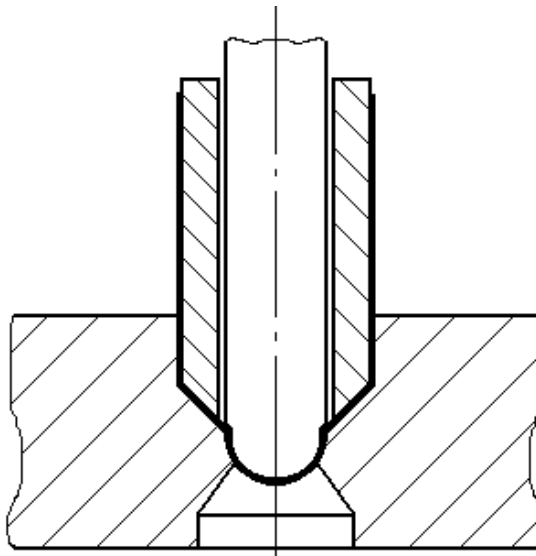


Рис.13.5. Схема прижима при многооперационной вытяжке

Необходимость применения прижима при многооперационной вытяжке определяется соотношением  $\frac{S_0}{d_0}$  и значением коэффициента вытяжки  $m$ .

При  $\frac{S_0}{D_3} \cdot 100 < 1$  и  $m < 0,8$  вытяжку нужно вести с прижимом. Если  $\frac{S_0}{D_3} \cdot 100 > 2$  и  $m > 0,8$  – вытяжка осуществляется без прижима. В общем случае необходимость использования прижима определяется по формуле:

$$\frac{S_0}{D_3} \cdot 100 \leq (5 \div 7) \left( \frac{m_n}{m_{n-1}} \right) \quad (13.7)$$

где  $m_n$  и  $m_{n-1}$  – коэффициенты вытяжки на последующей и предыдущей операциях.

Толщина стенки оболочки на каждой операции неодинакова. На ее краю возникает утолщение материала, величина которого зависит от относительных диаметров заготовки и изделия, а также от анизотропии листового материала.

Толщина края детали может быть определена по выражению:

$$S_{\max} = S_0 \left( \frac{1}{m} \right)^f \quad (13.8)$$

где

$$f = \frac{1}{(1 + r_\alpha)} \quad (13.9)$$

Для изотропного материала толщина края детали:

$$S_{\max} = S_0 \left( \frac{1}{m} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (13.10)$$

Изменение толщины стенки имеет место и в донной части цилиндрической заготовки. Наименьшая толщина стенки (на 10–15 % меньше исходной) наблюдается на тороидальном участке в месте сопряжения.

В зависимости от выбранных значений коэффициентов вытяжки и характеристик используемого материала многооперационная вытяжка может осуществляться с применением термообработки или без нее.

В случае многооперационной вытяжки изделий из сильно упрочняющихся материалов в технологическом процессе следует предусмотреть межоперационную термообработку. В результате отжига в окислительной среде на поверхности детали образуется окалина, которая удаляется травлением или различными видами механической очистки. Рецепт состав ванн травления подбирается в зависимости от рода материала. После травления для удаления следов кислоты с деталей их

промывают в холодной и горячей воде, а затем нейтрализуют в слабом щелочном растворе при температуре 60 – 80 °С.

Предпочтительным является безокислительный (светлый) отжиг в печах с нейтральной или восстановительной средой, в результате которого не происходит образования окалины и не требуется выполнение операций травления.

Если в технологическом процессе предусмотрены межоперационные отжиги, то значения  $m$  на операциях можно принять одинаковыми. Если же термообработка не проводится, то на первых операциях должны быть приняты меньшие на 3–5 % значения  $m$ . Тогда более эффективно используются пластические свойства материала и потребуется меньшее число операций для получения изделия.

### 13.2. Расчет количества операций, геометрических параметров заготовки и инструмента

По найденным значениям предельных коэффициентов вытяжки определяется необходимое для получения изделия число операций:

$$n = 1 + \frac{[\lg d_0 - \lg(D_3 \cdot m_1)]}{\lg m_{cp}} \quad (13.11)$$

где  $m_1$  и  $m_{cp}$  – коэффициенты вытяжки на первой операции и средний коэффициент вытяжки, соответственно.

Число операций при последовательной вытяжке в ленте определяется исходя из расчетного диаметра заготовки  $D_3$  и принятых значений коэффициентов вытяжки в соответствии с методикой расчета для обычной вытяжки.

В табл. 13.1 приведены данные о количестве операций вытяжки из различных материалов, которые можно реализовать, не прибегая к термообработке.

Таблица 13.1.

Количество операций вытяжки, выполненных без отжига

Материал	Кол-во операций без отжига	Материал	Кол-во операций без отжига
Сталь 08, 10, 15	3–4	Нерж. сталь	1–2
Алюминий	4–5	1Х18Н9Т	
Медь	1–2	Магниеые сплавы	1

По установленному значению  $m$  можно рассчитать пооперационные размеры заготовок и их высоту. Исходной заготовкой при осесимметричной вытяжке является кружок, диаметр которого определяется как:

$$D_3 = 1,13\sqrt{F}, \quad (13.12)$$

где  $F = \sum F_i$  – площадь готового изделия.

С увеличением радиуса матрицы улучшаются условия вытяжки за счет снижения сопротивления изгибу и уменьшения ширины перетягиваемого фланца. Это позволяет интенсифицировать процесс вытяжки, используя меньшее значение  $m$ . С другой стороны увеличение радиуса матрицы приводит к увеличению возможности складкообразования.

В табл. 13.2 приведены радиусы скругления вытяжных матриц, принимаемых в зависимости от материала изделия.

Таблица 13.2.

Радиусы скругления вытяжных матриц  $R_m$

Материал	Толщина материала $S$ , мм	
	До 3	Свыше 3
Сталь для вытяжки	$(6-10)S_0$	$(4-6)S_0$
Нержавеющие и жаропрочные стали	$(8-10)S_0$	$(6-8)S_0$
Латунь, медь	$(5-8)S_0$	$(3-5)S_0$
Алюминий	$(4-7)S_0$	$(3-5)S_0$

Примечание: большие значения  $R_m$  берутся для первой операции и тонкого материала.

На последующих операциях вытяжки радиусы закругления кромок матрицы принимают:

$$r_{m1} = (0,7 \div 0,9)r_{m-1} \quad (13.13)$$

где  $r_{m-1}$  – радиус матрицы на предыдущей операции.

Радиус закругления пуансона на последующих операциях:

$$r_n = 0,5(d_{n-1} - d_n) \quad (13.14)$$

На последней операции вытяжки  $r_n$  принимается равным радиусу детали оговоренным чертежом, но не менее  $(3-2)S_0$  для материалов толщиной до 6 мм и не менее  $(2-1,5)S_0$  толщиной свыше 6 мм. Рекомендуемая высота рабочего пояса матрицы приведена в табл. 13.3.

Высота рабочего пояса матрицы  $h$ 

Диаметр вытяжки	До 20	20–25	Свыше 50
Высота пояса, мм	0,4	0,3	0,2

При вытяжке оболочек с широким фланцем применяется прижимное устройство. В этом случае радиусы закруглений матрицы могут быть приняты большими, чем при вытяжке деталей без фланца.

$$\text{Так при } \frac{S_0}{D_3} \cdot 100 = (2,0 - 1,0) - r_m = (10 - 15)S_0,$$

$$\text{при } \frac{S_0}{D_3} \cdot 100 = (1,0 - 0,2) - r_m = (15 - 20)S_0 \text{ и при } \frac{S_0}{D_3} \cdot 100 = (0,2 - 0,06) - r_m = (20 - 30)S_0.$$

Радиусы закруглений матрицы должны постепенно уменьшаться по переходам. Радиус закругления пуансона при вытяжке изделий средних размеров принимается равным, а при вытяжке мелких деталей – больше радиуса закругления матрицы.

По диаметрам вытяжек на операциях и выбранным радиусам закруглений определяется глубина вытяжки:

– для  $n$ -ой вытяжки:

$$H_n = \frac{(D_3^2 - D_\phi^2)}{4d_n} + 0,86r_n \quad (13.15)$$

## 14. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ МНОГООПЕРАЦИОННОЙ ВЫТЯЖКИ

### 14.1. Расчет силовых параметров

На величину максимального напряжения  $\sigma_{\rho_{\max}}$  в сечении цилиндрической стенки и усилие вытяжки влияют: геометрия инструмента и качество обработки его поверхности, величина зазора между пуансоном и матрицей, свойства штампуемого материала. Наиболее существенным является влияние кривизны тороидального участка рабочей поверхности тороидальной и угла конусности коническо-тороидальной матриц. Максимальное усилие вытяжки для второй и последующих операций:

$$P = \pi d_0 S_0 \sigma_{\rho_{\max}} n \quad (14.1)$$

где  $n$  – поправочный коэффициент, зависящий от значений коэффициента вытяжки  $m$  (табл. 14.1).

Таблица 14.1.

Значение поправочного коэффициента  $n$  для определения усилия вытяжки

$m$	0,70	0,72	0,75	0,77	0,80	0,85	0,90	0,95
$n$	1,0	0,95	0,90	0,85	0,80	0,70	0,60	0,50

Если последующая вытяжка осуществляется с прижимом, то необходимо знать величину усилия прижима, соответствующего.

Усилие прижима на последующих операциях подсчитывается по формуле:

$$Q = q_{np} F = q_{np} \frac{\pi}{4} [d_{n-1}^2 - (d_n - 2r_{\text{м1}})^2] \quad (14.2)$$

где  $q_{np}$  – удельное давление прижима;

$F$  – площадь заготовки под прижимом;

$d_{n-1}$  – диаметр вытяжки на предыдущей операции;

$d_n$  – диаметр вытяжки на последующей операции;

$r_{\text{м1}}$  – радиус сопряжения дна и стенки.

В табл. 14.2 приведены значения  $q_{np}$  для различных материалов.

Удельное давление прижима

Материал	$q_{np}$ , кг/мм <sup>2</sup>
Алюминий	0,08 – 0,12
Латунь	0,15 – 0,20
Медь	0,10 – 0,15
Сталь мягкая $S_0 > 1,5$	0,15 – 0,25
$S_0 < 0,5$	0,20 – 0,30
Аустенитные стали	0,25 – 0,30

Полное усилие вытяжки для прессов простого действия:

$$P = P_g + Q \quad (14.3)$$

а для двойного действия  $P = P_g$ .

Если в конструкции вытяжного штампа предусмотрены буферные устройства и выталкиватели, то величина усилия буферного устройства при многооперационной вытяжке с прижимом на прессах простого действия будет:

$$Q = \frac{q_{np} \pi d_{n-1} [1 - (m)^2]}{4 \sin \alpha_k} (\mu \cos \alpha_k + \sin \alpha_k) \quad (14.4)$$

Работу формоизменения при вытяжке характеризует площадь диаграммы усилие – путь. Обычно величину работы, затрачиваемой на последующих операциях вытяжки, определяют по формуле:

$$A_n = \frac{c_n P_{n_{max}} H_n}{1000} \quad (14.5)$$

где  $A_n$  – работа на последующей вытяжке,

$H_n$  – глубина вытяжки,

$P_{n_{max}}$  – максимальное усилие вытяжки на операции,

$c_n$  – коэффициент полноты диаграммы усилие – путь на последующих переходах (табл. 14.3).

Таблица 14.3.

Значения коэффициента "с"

Коэффициент вытяжки $m$	0,70	0,74	0,80	0,90
Коэффициент "с"	0,85	0,80	0,75	0,70

При наличии буферных устройств и выталкивателей:



$$A_n + A_\sigma \leq A_{np} \quad (14.6)$$

где  $A_\sigma$  – работа, затрачиваемая на сжатие буфера;  
 $A_{np}$  – работа прессы за один рабочий ход.

Под скоростью вытяжки обычно понимают скорость перемещения инструмента в начале вытяжки. Для кривошипных прессов:

$$V = 0,105n' \sqrt{h(H_{np} - h_{np})} \quad (14.7)$$

где  $H_{np}$  – ход прессы;  
 $h_{np}$  – рабочая часть хода;  
 $n'$  – частота ходов в минуту.

Рекомендуемые величины скорости для различных материалов даны в табл. 14.4.

Полезная мощность при вытяжке подсчитывается по формуле:

$$N = \frac{An'}{60 \cdot 75} \quad (14.8)$$

Мощность на маховике будет:

$$N_m = \frac{k' \cdot A \cdot n'}{60 \cdot 75 \cdot \eta} \quad (14.9)$$

Таблица 14.4.

Скорость движения инструмента в начале процесса вытяжки

Материал	Скорость вытяжки $V$ на прессах <i>мм/сек</i>	
	Простого действия	Двойного действия
Алюминий	875	500
Алюминиевые сплавы	1500–200	–
Латунь	100000	500
Медь	750	430
Сталь малоуглеродистая	275	175–200
Сталь нержавеющая	–	100–150

где  $k' = 1,2 - 1,4$  – коэффициент неравномерности,  $\eta = 0,6 - 0,8$  – к.п.д.

Мощность мотора определяется из выражения:

$$N_{\text{мот}} = \frac{N_m}{\eta_1 \cdot 1,36} \quad (14.10)$$

где  $\eta_1$  – кпд передачи мотору.

Для снижения значений  $\sigma_{\rho_{\max}}$  и усилия вытяжки за счет уменьшения трения между материалом и инструментом и повышения стойкости штампов в процессе вытяжки используются различные смазки. Применяемая смазка должна: хорошо удерживаться на поверхности материала и заготовки и выдерживать значительные давления, легко удаляться с поверхности изделий, не вызывать коррозии металла и инструмента, быть дешевой и не оказывать вредных воздействий на работающих.

Различают смазки с наполнителем и без наполнителя. Наиболее предпочтительные смазки с наполнителем (мелом, тальком, графитом), позволяющие снизить коэффициент трения в 2–3 раза.

В случае легкой вытяжки можно рекомендовать в качестве смазки 20% раствор зеленого мыла в воде, водную эмульсию, содержащую по 3% зеленого мыла и талька и эмульсию стандартного эмульсола. При средней вытяжке рекомендуется смесь, в %: 25 растительного масла, 5 натрового мыла, 45 мела и 25 воды, а для тяжелой вытяжки – эмульсионная смазка «Укринол 5/5». Для вытяжки труднодеформируемых сталей и сплавов используются лаки марок: ХВ 5179, А-113 или АК 113Ф.

#### 14.2. Точность изделий получаемых многооперационной вытяжкой

Получаемая в результате многооперационной вытяжки точность оболочек определяется допусками на их диаметр и высоту. Отклонение размеров по диаметру зависит от величины зазора между пуансоном и матрицей и точности изготовления штампа.

Зазор между цилиндрическими поверхностями пуансона и матрицы назначается больше исходной толщины материала заготовки:

$$z = \frac{D_m - d_n}{2} > S_0 \quad (14.11)$$

где  $z$  – односторонний зазор между цилиндрическими поверхностями пуансона и матрицы.

Величина одностороннего зазора  $z$  при обычной вытяжке с прижимом рассчитывается по формуле:

$$z = n_3 S_0 + S' \quad (14.12)$$

где  $n_3$  – коэффициент (табл. 14.4);

$S_0$  – максимальная толщина заготовки с учетом верхнего плюсового отклонения.

Величины зазоров между матрицей и пуансоном при вытяжке без прижима приведены в табл. 14.7.

Таблица 14.7.

Значение коэффициента  $n_3$

Общее количество операций вытяжки	Порядковая операция вытяжки	Начальная толщина стенки		
		0,5–2	2–4	4–6
3	2	0,30	0,25	0,20
	3	0,1/0	0,1/0	0,1/0
4	2	0,50	0,40	0,35
	3	0,30	0,25	0,20
	4	0,1/0	0,1/0	0,1/0
5	2	0,50	0,40	0,35
	3			
	4	0,30	0,25	0,20
	5	0,1/0	0,1/0	0,1/0

Таблица 14.8.

Формулы для определения одностороннего зазора при вытяжке

Переходы вытяжки	Величина зазора в зависимости от величины вытягиваемой детали	
	11–12	14–16
2-я и последующие операции	$z = S_0 + \delta' + 2a'$	$z = S_0 + \delta' + (2,5 - 3)a'$
Последняя операция	$z = S_0 + \delta'$	$z = S_0 + \delta' + 2a'$

Обозначения:  $\delta'$  – положительное (плюсовое) отклонение допуска на толщину материала, мм;  $a'$  – прибавка (табл. 14.9).

Таблица 14.9.

Значение прибавки " $a'$ "

Толщина материала $S_0$ , мм	Прибавка $a'$ , мм	Толщина материала $S_0$ , мм	Прибавка $a'$ , мм
0,2	0,05	1,8	0,21
0,5	0,10	2,0	0,22
0,8	0,12	2,5	0,25
1,0	0,15	3,0	0,30
1,2	0,17	4,0	0,35

Порядок выбора направления зазора при вытяжке определяется следующими правилами:

- 1) для всех операций, кроме последней, направление зазора безразлично,  
 2) на последней операции при вытяжке цилиндрических деталей с заданным наружным размером зазор устанавливается за счет пуансона:

$$D_m = d_{изд.нар.}; \quad d_n = D_m - 2z \quad (14.13)$$

- 3) при вытяжке цилиндрических деталей с заданным внутренним размером зазор устанавливается за счет матрицы:

$$d_n = d_{изд.вн.}; \quad D_m = d_n + 2z \quad (14.14)$$

Исполнительные размеры рабочих частей пуансонов и матриц назначаются в зависимости от того как сопрягается в процессе сборки вытягиваемая деталь: по наружному или внутреннему контуру. В табл. 14.10 приведены формулы для расчета исполнительных размеров пуансонов и матриц вытяжных штампов.

Таблица 14.10.

## Исполнительные размеры вытяжных пуансонов и матриц

Инструмент	Сопряжение детали по наружному контуру	Сопряжение детали по внутреннему контуру
Пуансон	$d_n = (D_m - \Delta - 2z)_{-\delta_n}$	$d_n = (D_n + 0,5\Delta)_{-\delta_n}$
Матрица	$D_m = (D_n - \Delta)^{+\delta_m}$	$D_m = (D_n + 0,5\Delta + 2z)^{+\delta_m}$

В формулах приведенных в табл. 14.9 и 14.10 приняты следующие обозначения:  $d_n$  и  $D_m$  – исполнительные размеры пуансона и матрицы,  $D_n$  – номинальный диаметр по наружному и внутреннему контуру,  $\Delta$  – допуск на изготовление детали,  $z$  – односторонний зазор,  $\delta_n$  и  $\delta_m$  – допуски на изготовление пуансона и матрицы,  $\delta_n = (0,08 - 0,12)\Delta$  и  $\delta_m = (0,12 - 0,16)\Delta$ , но не выше допусков 8–9 качества точности на соответствующий размер.

Допускаемые отклонения по внутреннему диаметру вытянутых деталей приведены в табл. 14.11.

Таблица 14.11.

## Допустимые отклонения по внутреннему диаметру вытянутых деталей

Толщина материала $S_0$ , мм	Номинальный внутренний диаметр			Толщина материала $S_0$ , мм	Номинальный внутренний диаметр		
	До 50	50–100	100–300		До 50	50–100	100–300
0,5	$\pm 0,12$	-	-	2	$\pm 0,40$	$\pm 0,50$	$\pm 0,70$
0,6	$\pm 0,15$	$\pm 0,20$	-	2,5	$\pm 0,45$	$\pm 0,60$	$\pm 0,80$
0,8	$\pm 0,20$	$\pm 0,25$	$\pm 0,30$	3,0	$\pm 0,50$	$\pm 0,70$	$\pm 0,90$
1,0	$\pm 0,25$	$\pm 0,30$	$\pm 0,40$	4,0	$\pm 0,60$	$\pm 0,80$	$\pm 1,00$
1,2	$\pm 0,30$	$\pm 0,35$	$\pm 0,50$	5,0	$\pm 0,70$	$\pm 0,90$	$\pm 1,10$
1,5	$\pm 0,35$	$\pm 0,40$	$\pm 0,60$	6,0	$\pm 0,80$	$\pm 1,00$	$\pm 1,20$

Точность осесимметричной вытяжки по высоте иллюстрирует табл. 14.12.

Таблица 14.12.

Допускаемые отклонения по высоте изделий, полученных вытяжкой

Толщина материала, мм	Высота вытягиваемой детали, мм						
	До 18	18 – 30	30 – 50	50 – 80	80–120	120–180	180–260
До 1,0	±0,5	±0,6	±0,8	±1,0	±1,2	±1,5	±1,8
1,0 – 2,0	±0,6	±0,8	±1,0	±1,2	±1,5	±1,8	±2,0
2,0 – 4,0	±0,8	±1,0	±1,2	±1,5	±1,8	±2,0	±2,5
4,0 – 6,0	±1,0	±1,2	±1,5	±1,8	±2,0	±2,5	±3,0

## 15. ДРУГИЕ ВИДЫ ВЫТЯЖКИ

### 15.1. Вытяжка в ленте

Одним из видов многооперационной вытяжки является многооперационная последовательная вытяжка в ленте без промежуточного отжига, осуществляемая на последовательных вытяжных штампах, устанавливаемых обычно на кривошипных прессах, с автоматической подачей ленты.

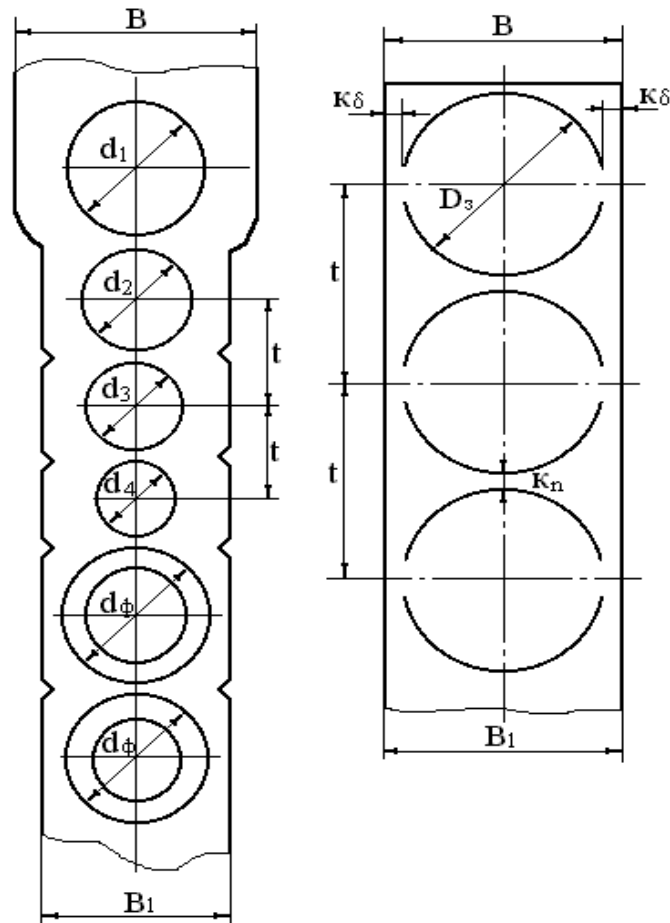


Рис. 15.1. Вытяжка в ленте:  
а – без надрезов; б – с надрезами

Различают два способа вытяжки в ленте: без надрезки ленты (рис.15.1 а) и с надрезкой ленты (рис.15.1 б). Вытяжка в целой ленте характеризуется большим числом операций и может быть рекомендована при изготовлении мелких деталей с малой величиной фланца:

$$D_{\phi} \neq (1,1-1,2)d_{\phi} \text{ и } S_0 \geq 0,05d_{\phi}.$$

Вытяжка с надрезкой ленты может быть использована при получении изделий с  $D_{\phi} > 1,2d_{\phi}$  и  $S_0 < 0,05d_{\phi}$ .

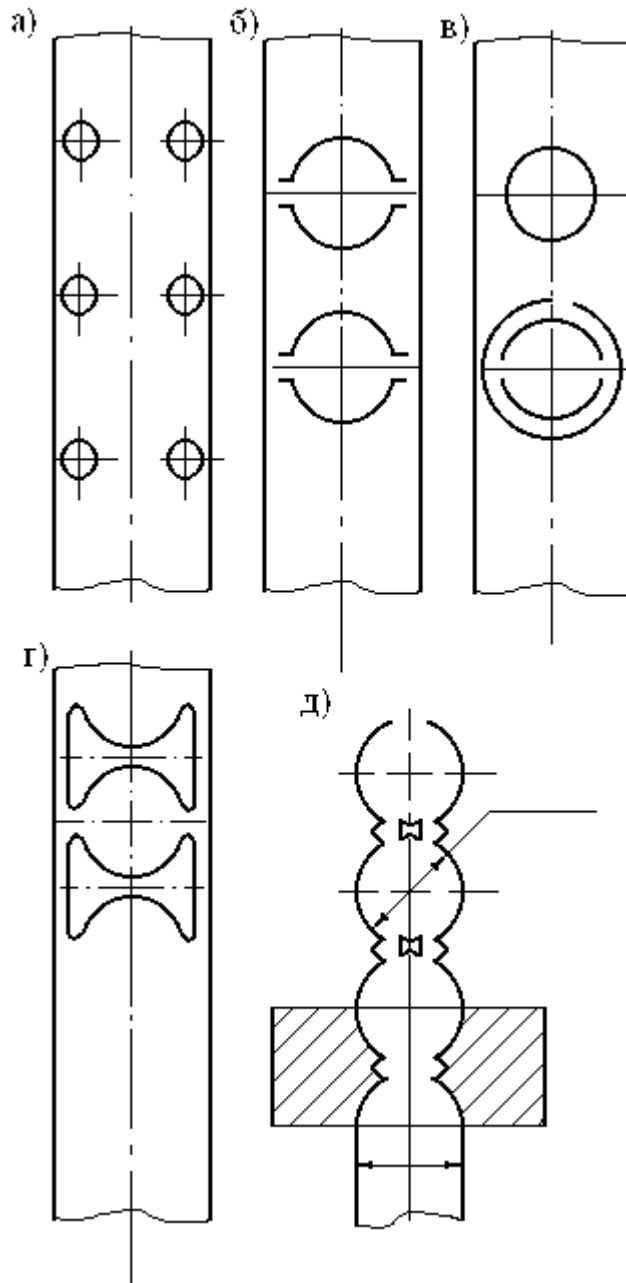


Рис. 15.2. Форма надрезки ленты

Форма надрезки ленты (рис.15.2) выбирается в зависимости от конфигурации изделия. Так надрезка по форме (рис.15.2 а) применяется при вытяжке прямоугольных коробок. При вытяжке круглых изделий большого диаметра с  $S_0$  до 1 мм используется форма надреза, приведенная на рис. 15.2 б. В случае применения надрезки в форме (рис.15.2 в) изменение ширины ленты при штамповке не происходит. Это позволяет вести вытяжку в ленте с установкой фиксаторов в штампе. При форме надрезки, показанной на рис.15.2 г, вырезается поперечная перемычка, в результате чего лента сужается и использование фиксаторов невозможно. Рекомендуется такую форму надрезов использовать при вытяжке круглых деталей малого диаметра. Форма надрезов, показанная на рис.15.2 г, дает возможность использования с меньшей шириной  $B = D_s$ . Такая форма надрезов применяется при вытяжке круглых изделий малого диаметра.

### 15.1.1. Предельные коэффициенты вытяжки в ленте

Количество операций, необходимое для получения готового изделия, зависит от его высоты и диаметра, относительной толщины заготовки  $\frac{S_0}{d_0}$  и механических свойств материала. Проектируемый технологический процесс должен содержать минимально возможное количество операций. Это обеспечивается количеством операций таким изменением поперечного сечения заготовки и таким уменьшением толщины стенки в опасном сечении, чтобы напряжения и деформации, возникающие в материале, не приводили к его разрушению.

Итоговое значение коэффициентов вытяжки за  $n$ -е количество операций определяется по выражению:

$$m = \frac{d_n}{D_3} \quad (15.1)$$

где  $d_n$  – диаметр цилиндрического участка оболочки, вытягиваемой на  $n$ -ой операции.

В табл. 15.1 приведены значения коэффициентов вытяжки цилиндрических оболочек без фланца из сталей 08, 10 и латуней Л59 – Л80 на тороидальной матрице с прижимом, без промежуточного отжига.

Вытяжка цилиндрических оболочек с небольшим фланцем ( $\frac{D_{\phi}}{d_0} = 1,1 - 1,4$  при  $\frac{H}{d_0} > 1,0$ ) осуществляется также, как вытяжка оболочек без фланца, т.е. путем перетяжки фланца в цилиндрическую часть изделия. При этом могут быть использованы те же коэффициенты вытяжки, приведенные в таблице 15.1. Фланец у таких оболочек образуется под прижимом штампа только на завершающей операции.

Таблица 15.1.

Коэффициенты вытяжки цилиндрических оболочек с прижимом на тороидальной матрице

Коэффициент вытяжки $m_i$	Относительная толщина плоской заготовки $\frac{S}{D}$				
	2 – 1,5	1,5 – 1,0	1,0 – 0,6	0,6 – 0,3	0,3 – 0,1
$m_1$	0,48 – 0,50	0,50 – 0,53	0,53 – 0,55	0,55 – 0,58	0,58 – 0,60
$m_2$	0,73 – 0,75	0,75 – 0,76	0,76 – 0,78	0,78 – 0,79	0,79 – 0,80
$m_3$	0,76 – 0,76	0,78 – 0,78	0,79 – 0,80	0,80 – 0,81	0,81 – 0,82
$m_4$	0,78 – 0,80	0,80 – 0,82	0,81 – 0,82	0,82 – 0,83	0,83 – 0,85
$m_5$	0,80 – 0,82	0,82 – 0,84	0,84 – 0,85	0,85 – 0,86	0,86 – 0,87



Оболочки с большим фланцем вытягивают так, чтобы фланец образовался на первой операции вытяжки из плоской заготовки. В дальнейшем величина фланца не изменяется, а формоизменяется остальная часть оболочки. Величина возможной степени деформации будет зависеть от относительной толщины исходной заготовки, определяющей устойчивость фланца.

Предельные значения коэффициентов вытяжки цилиндрических оболочек из малоуглеродистых сталей и латуней на коническо – тороидальных матрицах без прижима и промежуточного отдыха показаны в табл. 17.2.

Вытяжка в целой ленте сопровождается формоизменением не только материала, используемого внутри круглого контура расчетного диаметра заготовки, но и всей ленты. Поэтому для устранения влияния действительных напряжений  $\sigma_{\rho_{max}}$ , имеющих значения больше расчетных, и устранения разрушения ленты, величина коэффициентов вытяжки принимается меньше обычной. Коэффициенты вытяжки для последовательной вытяжки в целой ленте латунных и малоуглеродистых сталей приведены в табл. 15.3. В табл. 15.4 даны значения коэффициентов вытяжки для последовательной вытяжки в ленте с надрезами.

Таблица 15.2.

Предельные коэффициенты вытяжки цилиндрических оболочек без прижима на коническо – тороидальной матрице

Отношение $\frac{d_2}{d_1}$	Степень вытяжки при относительной толщине плоской заготовки $\frac{S_0}{D_3} \cdot 100$				
	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0
0,6	0,50	0,52	0,54	1,56	0,58
0,70	0,58	0,60	0,62	0,64	0,66
0,8	0,66	0,68	0,70	0,72	0,75
$\frac{d_1}{d_2}$ – отношение нижнего диаметра конуса матрицы к верхнему					

Таблица 15.3.

Значения коэффициентов вытяжки для последовательной вытяжки в целой ленте

Переходы	Коэффициент вытяжки $m$
1	0,72 – 0,68
2	0,85 – 0,80
3	0,88 – 0,82
4	0,90 – 0,85
5	0,92 – 0,88
6	0,95 – 0,90

Таблица 15.4.

Значения коэффициентов вытяжки для последовательной вытяжки в ленте с надрезами

Материал	Толщина $S_0$ , мм	Коэффициент вытяжки $m$	
		Первая операция	Последующие операции
Сталь малоуглеродистая	1	0,60 – 0,58	0,85 – 0,83
	1	0,56 – 0,54	
Латунь Л62, Л68	1	0,58 – 0,55	0,80 – 0,79
	1	0,52 – 0,50	

При последовательной вытяжке в ленте радиусы закруглений матрицы принимаются меньшими, чем при однооперационной вытяжке (табл. 15.5).

Таблица 15.5.

Радиусы закруглений пуансона и матрицы при последовательной вытяжке в ленте

Операции вытяжки	Радиусы закруглений при $\frac{S_0}{D_3} \cdot 100$		
	Свыше 2,0	2,0–1,0	1,0–0,5
Последующие операции	$(0,6 - 0,7)r_{n-i}$	$(0,65 - 0,7)r_{n-i}$	$(0,7 - 0,8)r_{n-i}$

## 15.2. Вытяжка тел вращения сложной формы

Распределение операций при вытяжке ступенчатых и конических изделий в основном такое же, как и у цилиндрических. Отличительной чертой изготовления таких деталей является необходимость последней, формовочной операции после всех вытяжек.

На этой операции диаметр изменяется незначительно. Материал здесь подвергается растяжению с целью разглаживания складок и переходных рисок. Для сокращения числа операций, а также предотвращения складкообразования при вытяжке конических, сферических и других сложных изделий, вытяжным матрицам придают так называемые ребра (рис.15.3).

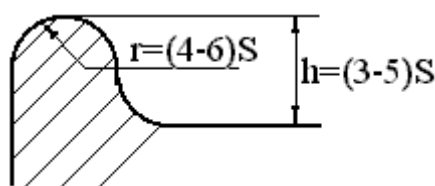


Рис.15.3. Ребро на вытяжной матрице

Последние создают натяжение материала, что способствует получению гладких, без складок изделий и в некоторых случаях значительному

сокращению числа вытяжек. В изделиях такого рода, кроме установления коэффициента вытяжки большую роль играет ряд следующих факторов:

1) чем сложнее форма вытягиваемого изделия, тем больше операций требуется для его изготовления.

2) в большинстве случаев целесообразно разделить готовое изделие на 2 части – внутреннюю и наружную и вытягивать вначале внутреннюю, а затем наружную.

3) наименьшее сопротивление деформации оказывают прямые, наклонные и вертикальные поверхности. Выпуклости следует формировать в конце рабочего процесса.

4) при каждой вытяжной операции нужно втягивать в матрицу материала на 10–15 % больше нормы, ибо нехватка материала образует разрывы, а излишек – складки.

При вытяжке без утонения стенки можно производить операции без термообработки – 8–11 переходов. Только после этого можно обновить структуру и провести отжиг. В случае вытяжки с утонением число переходов без термообработки может быть 3–6. Если число переходов не целое, то его следует округлять в большую сторону.

### 15.2.1. Вытяжка конических деталей

Имеется несколько случаев получения таких изделий:

1) из плоской заготовки вытягивают тело вращения и в конце придают образующую (оживало) (рис.15.4 а);

2) получают ступенчатую деталь, которую затем превращают в конус (рис.15.4 б).

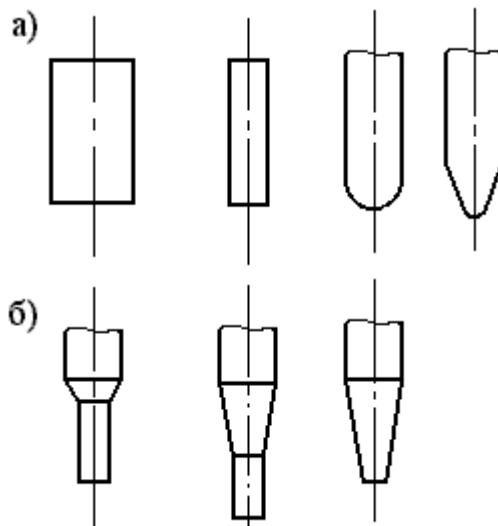


Рис.15.4. Вытяжка конических деталей:  
а – с приданием образующей; б – с получением ступеней

Вытяжку конических деталей ( $h < 0,3d_0$ ) из тонкого материала  $\left(\frac{S}{D} \cdot 100 > 2\right)$  и  $\alpha$  до 10° ведут за одну операцию с прижимом, а при  $\alpha > 45^\circ$  на

штампе с вытяжными ребрами. При средней высоте  $h = (0,4 - 0,7)d_0$  с плоским дном при  $\frac{S}{D} \cdot 100 > 2,5$  можно вести за 1 переход. При  $\frac{S}{D} \cdot 100 < 1,5$  вытяжка за 2 операции. При вытяжке высоких конических деталей  $h > 0,9d$  вытяжка ведется за 5 – 6 операций. Число операций устанавливают в зависимости от угла  $\alpha$ . Для  $\alpha = 10 - 30^\circ$  коэффициент вытяжки  $m = \frac{d_n}{d_{n-1}}$  выбирают в зависимости от  $\frac{S}{D} \cdot 100$ ; при  $\frac{S}{D} \cdot 100$  от 0,5 до 1,0  $m = 0,85 - 0,80$  при  $\frac{S}{D} \cdot 100$  от 1,5 до 2,0  $m = 0,75 - 0,7$ .

### 15.2.2. Вытяжка тел ступенчатой формы

Такая вытяжка аналогична вытяжкам тел вращения цилиндрической формы (рис.15.5).

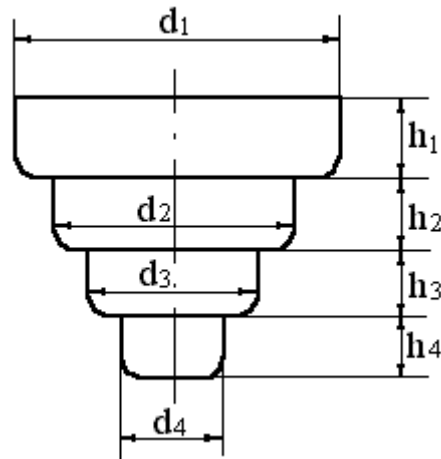


Рис. Вытяжка тел ступенчатой формы

Удобна при плавном переходе ступеней. Определение переходов производится также и идет из соотношения  $\frac{S}{D}$ .

Особенности вытяжки: 1) за один переход возможно получение 1-й ступени, 2) на первом переходе надо втягивать металл в матрицу на 10 % больше, чем поверхность детали – иначе будут надрывы и обрывы. Возможность получения ступенчатой детали за 1 переход можно определить по условному пропорционально суммарному коэффициенту вытяжки, предложенному Кальмановичем:

$$m = \frac{\frac{h_1}{h_2} \cdot \frac{d_1}{D} + \frac{h_2}{h_3} \cdot \frac{d_2}{D} + \dots + \frac{d_{n-1}}{D} \cdot \frac{h_{n-1}}{h_n} \cdot \frac{d_n}{D}}{\frac{h_1}{h_2} + \frac{h_2}{h_3} + \dots + \frac{h_{n-1}}{h_n} + 1} \quad (15.1)$$

Если  $m \geq$  коэффициент допуст. – можно получить деталь за 1 переход.  
Если  $m <$  допуст., то нельзя получить деталь за 1 переход.

### 15.3. Вытяжка полых деталей с подогревом фланца

Предельную степень деформации за одну операцию можно было бы повысить, применив заготовку с наибольшей пластичностью во фланцевой части и наибольшей прочностью в ее центральной части, из которой формируются дно и стенки. Такое выгодное соотношение между прочностью металла в опасном сечении и сопротивлением деформированию фланца можно обеспечить нагревом фланца до оптимальной температуры металла и одновременным охлаждением стенок детали (рис.17.6).

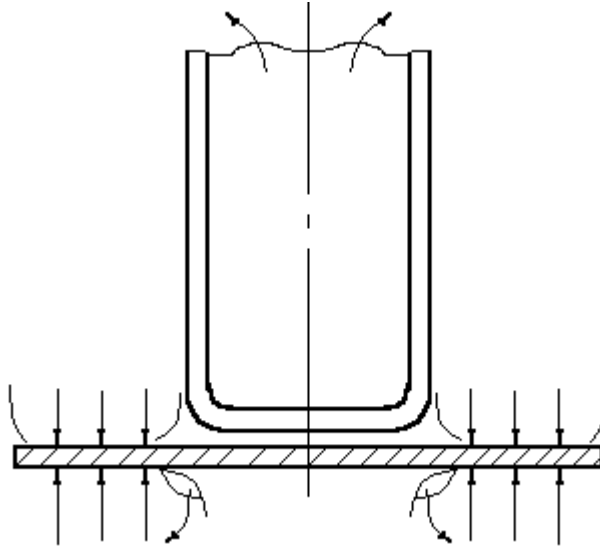


Рис. 17.6. Вытяжка с подогревом фланца

При этом получается значительное снижение сопротивления заготовки пластическому деформированию при неизменной прочности опасного сечения у дна детали. Такие условия лучше всего обеспечиваются электронагревом при котором поддерживается постоянная температура.

Пуансон охлаждается циркулирующей в нем водой (проточной). Охлаждается также вытяжное ребро матрицы, что еще более способствует повышению прочности стенки в опасном сечении и т.о. увеличению допустимой степени деформации за одну операцию. Такая вытяжка применяется главным образом при штамповке деталей из алюминиевых и магниевых сплавов, но может быть использована для латуней и сталей. Особо важен подогрев для магниевых сплавов, которые в холодном состоянии плохо тянутся. Форма деталей может быть любая, но наибольший эффект при особо сложных формах.

*Оптимальная температура нагрева.*

Алюминиевый сплав: 320 – 340°, магниевый сплав 360 – 380°, латунь Л62 480 – 500°, деканированная сталь 580 – 600°.

Пуансон должен нагреться не более 100°. Температура стенки для латуни не > 300°, а для стали не > 450°. При такой вытяжке коэффициент  $m$  может быть в 2 раза меньшим, а отношение  $\frac{h}{d} = 2,0 - 2,5$ . При вытяжке

квадрата  $\frac{h_{пред}}{d} = 3,0 - 3,2$  или в 3–6 раз больше высоты получаемой в холодном состоянии. Таким образом, одна операция вытяжки с подогревом фланца может заменить от 3-х до 5 операций холодной вытяжки. Особые преимущества при изготовлении сложных, удлиненной формы деталей, высота которых может быть достигнута в 6 – 10 раз больше высоты получаемой при холодной вытяжке. Из опытов значения  $m$ :

Al сплав – 0,39 – 0,42      латунь 0,33 – 0,40

Mg сплав – 0,30 – 0,32      сталь 0,36 – 0,40.

Нижние пределы для толщин более 1,5мм, верхние для тонких. В производстве эти значения должны быть увеличены против лабораторных на 10–15 %. При второй операции вытяжки  $m_2 = 0,54 - 0,64$ . Между операциями отжиг 260–350° с выдержкой в печи около часа. Максимальное удельное давление при вытяжке с подогревом фланца:

$$P_1 = k_1 \left( \frac{1}{m_1} - k_2 \right) \sigma_s \quad (15.2)$$

где  $m_1$  – оптимальный коэффициент вытяжки;

$\sigma_s$  – предел прочности при отжиге  $T^\circ$  нагрева;

$k_1$  и  $k_2$  – коэффициенты, характеризующие интенсивность упрочнения металла при вытяжке с подогревом.

Они определяются в зависимости от относительного сужения. Так при  $\psi = 0,03$  до 0,30  $k = 0,44 - 0,7$  и  $k = 0,2 - 0,85$ .

Тогда:

$$P_1 = \pi d_1 S p_1 = \pi d_1 S k_1 \left( \frac{1}{m_1} - k_2 \right) \sigma_s$$

Усилие для вытяжки квадратных и прямоугольных коробок определяется обычным путем. Удельное давление прижима:

Алюминиевый сплав и магниевый сплав:  $3 - 7 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ , латунь:  $7 - 10 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ ,

сталь  $10 - 15 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ .

Радиусы закруглений и зазоры такие же, как и при обычной вытяжке. Смазка – масло «Вапор» с порошкообразным графитом или мыло с графитом.

## 16. ВЫТЯЖКА С УТОНЕНИЕМ СТЕНКИ

### 16.1. Вытяжка с утонением стенки

При вытяжке с утонением стенки диаметр изделия изменяется незначительно, а меняется толщина стенки, т.е. происходит принудительное утонение  $S_1 > S_2 > S_3 > \dots S_n$  (рис. 16.1).

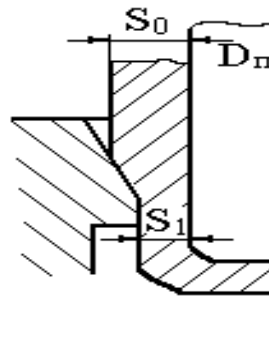


Рис. 16.1. Вытяжка с утонением стенки

Преимущества вытяжки с утонением:

- 1) экономия материала до 10–20 %;
- 2) не требуется складкодержателем;
- 3) осуществляется на прессах простого действия;
- 4) обеспечивает более короткий технологический цикл;
- 5) улучшается качество изделий за счет упрочнения.

Вытяжка осуществляется как в одной, так и в двух матрицах. Допустимая толщина определяется прочностью материала при выходе его из цилиндрического пояса матрицы. Степень деформации определяется изменением толщины стенки:

$$\varepsilon = F_0 - \frac{F}{F_0} \cdot 100\%; \quad \varepsilon = \frac{\pi D_0 S_0 - \pi D S}{\pi D_0 S_0} = 1 - \frac{S}{S_0}.$$

Вытяжка производится в конических (рис.16.2 а), или радиальных (рис.16.2 б) матрицах. Вытяжка цилиндрических изделий идет коническим пуансоном (рис.16.2 в).

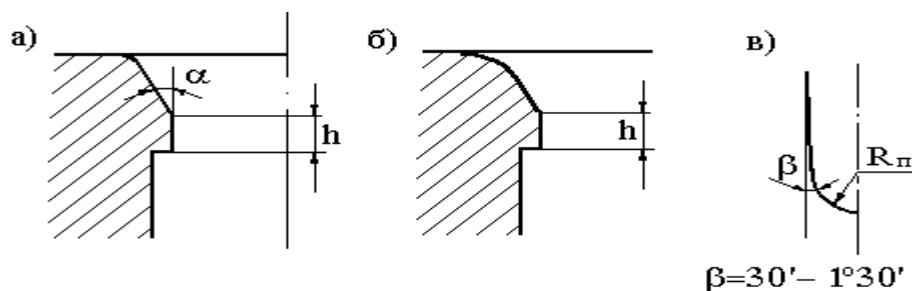


Рис. 16.2. Конструкция матрицы и пуансона для вытяжки с утонением.  
а – коническая матрица; б – радиальная матрица; в – конический пуансон

Чем больше угол на пуансоне, тем легче снять с него полуфабрикат. Если вытяжка идет через две матрицы, то ставить их следует на таком расстоянии друг от друга, чтобы процесс вытяжки закончился в первой и не начинался во второй. Иначе появляются дополнительные напряжения, что вызывает трещины. Обычно такая вытяжка идет с сильным изменением механических качеств:  $\sigma_s = 380 - 330 \text{ МПа}$ .

После вытяжки  $\sigma_s = 750 - 800 \text{ МПа}$  (латунь) и  $\sigma_s = 110 - 120 \text{ МПа}$  (сталь). При этом материал теряет пластичность. Поэтому отжигают после каждого перехода.

Процесс вытяжки определяется геометрией вытяжного инструмента и степенью деформации. Геометрические параметры:  $\alpha$  – угол ската в матрице,  $R_m$  и  $R_n$ . При увеличении угла ската увеличивается усилие, особенно при небольших степенях деформации (рис.16.3).

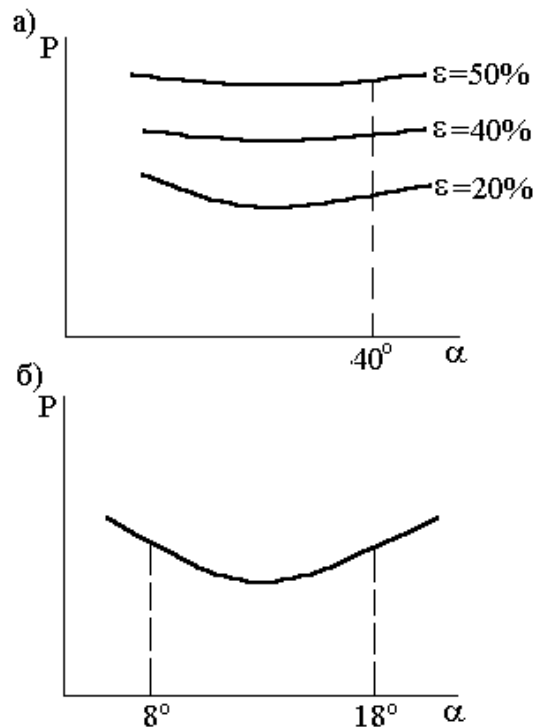


Рис. 16.3. Характер изменения усилия в зависимости от степени деформации (а) и угла конусности матрицы (б)

При уменьшении  $\varepsilon$  значительно меняется усилие. Оптимальные значения углов определяют минимальное усилие. Обычно с  $\varepsilon$  не считаются и берут  $\alpha \approx 18^\circ$ . По данным Попова Е.А.  $\min$  усилие соответствует  $8-18^\circ$ . Целесообразней применять конические матрицы, так как:

- 1) их легче изготовить,
- 2) дает усилие вытяжки меньше на 15–20%,
- 3) в них меньше неравномерность деформаций по их периметру,
- 4) обеспечивают стабильность изделий.

Усилие не зависит от угла конусности пуансона, но  $\beta$  влияет на перераспределение материала в стенках и дне. Варьируя углом матрицы, угол



конусности  $\beta$  и  $R_n$  можно производить нагон металла в дно изделия. Или, например, с помощью геометрии инструмента (гильзовое производство) можно металл перегонять в дно из стенок. Высота пояска  $h$  влияет на величину трения, т.е. увеличивает усилие вытяжки.

### 16.1.1. Напряжения и усилия вытяжки с утонением стенки

Определим напряжения, исходя из допущений, что:

- 1) горизонтальные составляющие радиальных сжимающих напряжений от реактивных сил на контактных поверхностях матрицы и пуансона одинаковы по величине;
- 2) напряжения – продольные – равномерно распределены по сечению заготовки;
- 3) материал не упрочняющийся;
- 4) конусность пуансона не принимается во внимание.

Процесс рассматривает как плоскую схему деформированного состояния (рис.16.4).

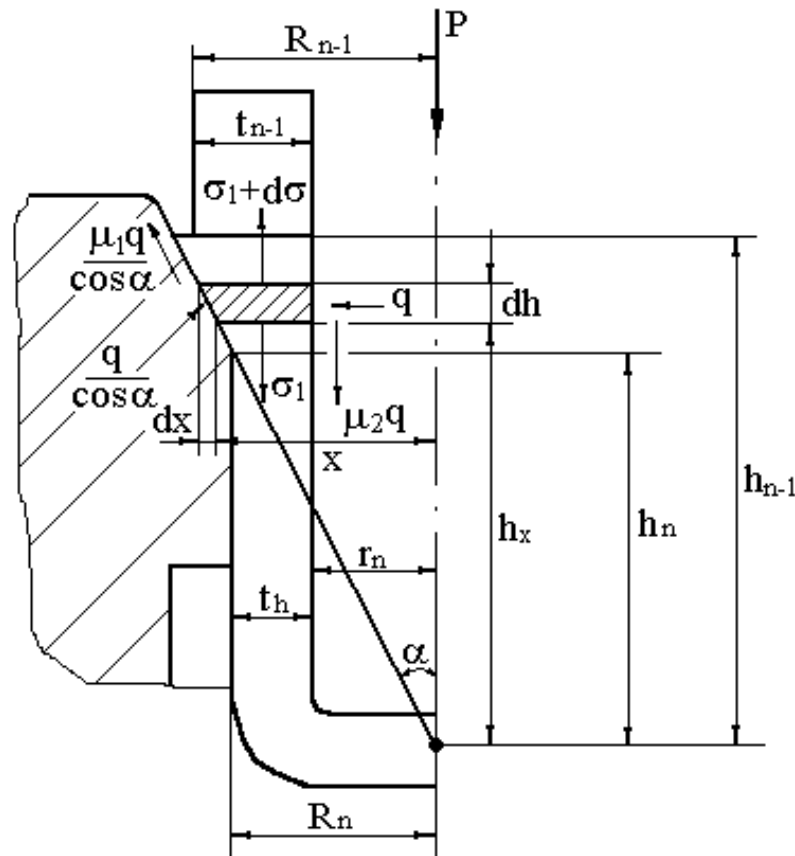


Рис. 16.4. Схема к определению напряжений при вытяжке с утонением

Уравнение равновесия выделенного элемента в очаге деформации с внешним диаметром  $2x$ , высотой  $dh = \frac{dx}{\operatorname{tg} \alpha}$  и площадью поперечного сечения  $F_x$  будет:

$$(\sigma_1 + d\sigma_1)(F_x + dF_x) - \sigma_1 F_x + \frac{2\pi q}{\cos\alpha} \cdot x dx + \frac{2\pi\mu_1 x dx}{\sin\alpha} - \frac{2\pi\mu_2 q r_n dx}{tg\alpha} = 0 \quad (16.1)$$

После преобразований:

$$d\sigma_1 F_x + \sigma_1 dF_x + 2\pi q x dx \left( \frac{1}{\cos\alpha} + \frac{\mu_1}{\sin\alpha} - \frac{\mu_2 k}{tg\alpha} \right) = 0 \quad (16.2)$$

где  $k = \frac{R_n}{x_{cp}}$ ;  $x_{cp} = \frac{R_{n-1} + R_n}{2}$ ;

Обозначая  $\left( \frac{1}{\cos\alpha} + \frac{\mu_1}{\sin\alpha} - \frac{\mu_2 k}{tg\alpha} \right) = A$ ;

И принимая во внимание, что  $F_x = \pi(x^2 - r_n^2)$ ;  $dF_x = 2\pi x dx$ ;

Получим:

$$2\sigma_1 x dx + (x^2 - r_n^2) d\sigma_1 + 2A q x dx = 0 \quad (16.3)$$

Условие пластичности для данного случая:

$$\sigma_1 + q = 1,15\sigma_m \quad \text{или} \quad q = 1,15\sigma_m - \sigma_1 \quad (16.4)$$

Решая совместно уравнение равновесия и пластичности, после интегрирования имеем:

$$\sigma_1 = \frac{1,15A\sigma_m}{A-1} F_n \left[ 1 - \left( \frac{F_n}{F_{n-1}} \right)^{A-1} \right] \quad (16.5)$$

где  $\sigma_m$  – среднее сопротивление деформированию.

Усилие вытяжки будет:

$$P = \frac{1,15A\sigma_m}{A-1} F_n \left[ 1 - \left( \frac{F_n}{F_{n-1}} \right)^{A-1} \right] \quad (16.6)$$

Напряжения и усилия могут быть определены с помощью формул, предложенных Е.А. Поповым:

$$\sigma_z = \sigma_s \left[ \ln \frac{S_0}{S_1} + \frac{\mu}{2 \sin \alpha / 2} \left( 1 - \frac{1}{2} \ln \frac{S_0}{S_1} \right) \left( 1 - \frac{S_1}{S_0} \right) \right] + tg \frac{\alpha}{2} \quad (16.7)$$

и

$$P = \pi d_n S_1 \sigma_s \left[ \ln \frac{S_0}{S_1} + \frac{\mu + \mu_2}{4 \operatorname{tg} \alpha / 2} \left( 1 - \frac{1}{2} \ln \frac{S_0}{S_1} \right) \left( \frac{S_0^2 - S_1^2}{S_0 S_1} \right) \right] + \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \quad (16.8)$$

где  $S_0$  и  $S_1$  – исходная и конечная толщина стенок;

$\mu_1$  и  $\mu_2$  – коэффициенты трения, соответственно, на матрице и пуансоне;

$\alpha$  – угол конусности матрицы;

$d_n$  – диаметр пуансона.

### 16.1.2. Предельная степень вытяжки

Максимальная степень деформации при вытяжке связана с 1) качеством получаемых деталей, 2) длительностью производственного цикла и 3) стойкостью инструмента.

Теоретически возможная степень деформации за один переход может быть определена из условия, что растягивающее напряжение не должно превышать предела сопротивления деформируемого материала. Для определения максимально допустимой степени деформации в формуле (16.5) необходимо положить  $\sigma_1 = \sigma_m$ . Тогда:

$$1 = \frac{A}{A-1} \left[ 1 - \left( \frac{F_n}{F_{n-1}} \right)^{A-1} \right];$$

Подставляя

$$\frac{F_n}{F_{n-1}} = 1 - k;$$

Имеем:

$$1 = \frac{A}{A-1} \left[ 1 - (1-k)^{A-1} \right] \text{ или } \lg(1-k) = \frac{\lg 1/A}{A-1}. \quad (16.9)$$

Из формулы (16.9) следует, что степень деформации зависит от механических свойств материала  $\sigma_m$ , угла матрицы  $\alpha$  и коэффициента трения  $\mu$ .

### 16.1.3. Определение числа переходов

Расчет числа операций при вытяжке с утонением ведут исходя из допустимой степени деформации на одну операцию. Так как при вытяжке с утонением одновременно с уменьшением диаметра происходит уменьшение толщины стенки, то в этом случае степень деформации определяют не по изменению диаметра, а по общей площади поперечного сечения детали.

Обозначим через  $F_1, F_2, F_3 \dots F_{n-1}$  и  $F_n$  – поперечные сечения полуфабриката  $n$ -го количества переходов. Через  $k_1, k_2, k_{n-1}$  и  $k_n$

соответственно степени деформации. Тогда применяя первую шкалу получим систему нескольких уравнений:

$$k_1 = \frac{F_0 - F_1}{F_0} = 1 - \frac{F_1}{F_0} \text{ или } 1 - k_1 = \frac{F_1}{F_0};$$

$$k_2 = \frac{F_1 - F_2}{F_1} = 1 - \frac{F_2}{F_1} \text{ или } 1 - k_2 = \frac{F_2}{F_1};$$

.....

$$k_n = \frac{F_{n-1} - F_n}{F_{n-1}} = 1 - \frac{F_n}{F_{n-1}} \text{ или } 1 - k_n = \frac{F_n}{F_{n-1}}.$$

Перемножим, левые и правые части уравнений:

$$(1 - k_1)(1 - k_2) \dots (1 - k_n) = \frac{F_1}{F_0} \cdot \frac{F_2}{F_1} \dots \frac{F_n}{F_{n-1}} = \frac{F_n}{F_0};$$

С другой стороны:

$$k_{\text{общ}} = \frac{F_0 - F_n}{F_0} = 1 - \frac{F_n}{F_0} \text{ или}$$

$$1 - k_{\text{общ}} = \frac{F_n}{F_0}.$$

$$\text{Тогда } 1 - k_{\text{общ}} = (1 - k_1)(1 - k_2) \dots (1 - k_n) = \frac{F_n}{F_0}.$$

Максимальную степень деформации следует задавать на первой вытяжке, минимальную на последней. При предварительном определении числа операций степени деформации принимают одинаковыми:

$$k_1 = k_2 = \dots = k_n = k_{cp},$$

где  $k_{cp}$  – средняя допустимая степень деформации за одну вытяжку.

Подставим  $k_{cp}$  в последнее уравнение:

$$1 - k_{\text{общ}} = (1 - k_{cp})^n = \frac{F_n}{F_0};$$

Прологарифмируем:  $n \lg(1 - k_{cp}) = \lg F_n - \lg F_0;$

$$n = \frac{\lg F_n - \lg F_0}{\lg(1 - k_{cp})}. \quad (16.10)$$

Если вытяжка идет с утонением на первой операции (свертка), то:

$$n' = \frac{\lg F_n - \lg F_{заг}}{\lg(1 - k_{cp})}.$$

Средние значения степени деформации, применяемые на практике, показаны в табл. 16.1.

Таблица 16.1.

Материал	Свертка	Вытяжка
Среднее значение наклепа %		
Сталь мягкая	55 – 60	35 – 45
Латунь	60 – 70	50 – 60
Алюминий	60 – 65	40 – 50
Сталь = 0 = 0,45%	35 – 40	25 – 30

Допустимые утонения стенки на каждом переходе вытяжки составляют для стали 30 – 35%, а латуни 35 – 40%. При расчете числа переходов размеры пуансона и матрицы, а также размеры полуфабриката на переходах устанавливаются по величине утонения и диаметру изделия, принимая увеличение по диаметру на переходах на 0,2 мм.

Обработка поверхности инструмента особенно сказывается при вытяжке без утонения. Главным образом она влияет на коэффициент трения (чем чище, тем  $\mu$ ) и на прилипаемость материала к поверхности инструмента, особенно при высоких удельных давлениях.

Инструмент обрабатывают по  $R_a = 0,4 \text{ мкм} - 0,025 \text{ мкм}$  (шлифовка с полировкой). При вытяжке с утонением обработка пуансона и матрицы 0,8 мкм или 0,4 мкм. Рабочие поверхности хромируются при толщине  $s_r = 0,02 - 0,05 \text{ мм}$ . Хромирование не только обеспечивает чистоту поверхности, но и стойкость против истирания.

При вытяжке имеет место упрочнение металла с изменением механических свойств и пластичности. Для восстановления прежних свойств материала и его пластичности применяется высоко – низкотемпературный отжиг. Тонкие металлы ( $s < 2$ )  $T^\circ = 600 - 650^\circ$  для более толстых  $T^\circ = 650 - 700^\circ$  – межоперационный отжиг.

Лучше применять низкотемпературный отжиг, т.е. при температуре ниже критической точки Алюминий – 230 – 250°, медь – 400 – 500°, латунь – 500 – 540° – 40 – 45 минут. (Эл. Печи с защитной атмосферой. Индукционный нагрев с выдержкой 20 – 40 сек. Травление, обезжиривание. Виды брака).

## 17. ПРОЧИЕ ФОРМОИЗМЕНЯЮЩИЕ ОПЕРАЦИИ

### 17.1. Отбортовка

Операцией отбортовки достигается образование борта или горловины в плоской или пространственной заготовке (рис.17.1).

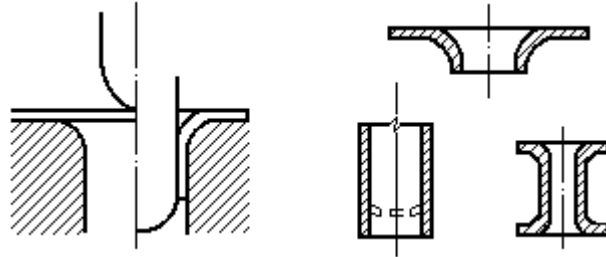


Рис.17.1. Виды отбортовки

Различают два вида отбортовки: отбортовку отверстий и отбортовку наружного контура.

Отбортовка отверстий представляет собой процесс образования борта вокруг предварительно пробитого отверстия в плоской или полой заготовке за счет растяжения материала. Отбортовкой можно получить детали с фланцем, кольцевые детали, детали с двойным бортом и заклепки.

#### 17.1.1. Напряжения и деформации

Деформируемая часть заготовки при отбортовке плоским пуансоном, находящимся над отверстием матрицы, имеет плоско-напряженное и объемно-деформируемое состояние (рис.17.2).

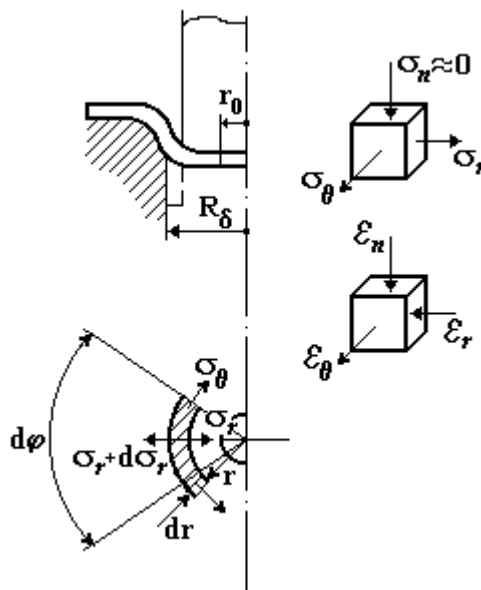


Рис.17.2. Схема для определения напряжений и деформаций при отбортовке

Напряжения в радиальном и тангенциальном направлении – растягивающие, в тангенциальном направлении имеет место деформация растяжения и уменьшение толщины заготовки.

Радиальное напряжение изменяется от нуля на кромке отверстия до максимального значения на границе очага деформации (у кромки матрицы). Наиболее простой анализ можно получить без учета изгиба заготовки.

Условия равновесия:

$$(\sigma_r + d\sigma_r)(r + dr)S \cdot d\varphi - \sigma_r r S \cdot d\varphi - 2\sigma_\theta S \cdot dr \cdot \sin \frac{d\varphi}{2} = 0 \quad (17.1)$$

Пренебрегая малыми величинами и считая  $\sin \frac{d\varphi}{2} = \frac{d\varphi}{2}$  получим:

$$r \frac{d\sigma_r}{dr} - \sigma_\theta + \sigma_r = 0 \quad (17.2)$$

Для плоской одноименной схемы:

$$\sigma_\theta = \beta \sigma_T \quad (17.3)$$

Решая совместно (20.2) и (20.3) и принимая  $\beta = 1,1$ , имеем:

$$\frac{d\sigma_r}{\sigma_r - 1,1\sigma_T} = -\frac{dr}{r} \quad (17.4)$$

Интегрирование уравнения (17.4) дает  $\ln(\sigma_r - 1,1\sigma_T) - \ln r + C$  или потенцируя, получим:

$$\sigma_r = 1,1\sigma_T + \frac{C}{r} \quad (17.5)$$

Значение  $C$  определяется из граничных условий, что при  $r = r_0$ ;  $\sigma_r = 0$  т.е.  $C = -1,1\sigma_T r_0$  и таким образом:

$$\sigma_r = 1,1\sigma_T \left(1 - \frac{r_0}{r}\right) \quad (17.6)$$

Максимальное значение  $\sigma_r$  будет при  $r = R_\delta$ , т.е.

$$\sigma_{r \max} = 1,1\sigma_T \left(1 - \frac{r_0}{R_\delta}\right) \quad (17.7)$$

Усилие отбортовки:

$$P = \sigma_{r_{\max}} 2\pi R_{\delta} \cdot S \quad (17.8)$$

или более просто

$$P = 1,1\pi S \sigma_T (D - d) \quad (17.9)$$

где  $d$  и  $D$  – диаметр отверстия под отбортовку и диаметр отбортовки, мм.

$P_{\min}$  при отбортовке коническим или сферическим пуансоном.

### 17.1.2. Коэффициент отбортовки

$$k_0 = \frac{d}{D} = 1 - \psi \quad (17.10)$$

где  $\psi$  – относительное сужение площади поперечного сечения образца при растяжении.

Зависит от:

- 1) вида штампуемого материала и его толщины;
- 2) чистоты поверхности отверстия под отбортовку и наличия заусенца (чем грубее поверхность, тем больше  $k_0$ );
- 3) наличия и характера последующей обработки (если обрезка, то  $k_0$  может быть меньше).

Приведенные в таблице 17.1 значения  $k_0$  принимаются для отожженных материалов. Значительное влияние оказывает относительная толщина материала  $\frac{S}{D}$  – чем больше эта величина, тем можно допустить меньший коэффициент отбортовки.

Таблица 17.1.

Материал	$k_0$
Сталь ( $S = 3 \div 6$ мм)	0,75 – 0,78
Сталь декапированная	0,68 – 0,72
Латунь Л62 ( $0,5 \div 6$ мм)	0,62 – 0,68
Алюминий ( $S = 0,5 \div 5$ мм)	0,64 – 0,70

$k_0$  можно принимать на 10–20 % меньше при отбортовке полусферическим и конусным пуансоном.



### 17.1.3. Размеры отверстия под отбортовку и борта

Диаметр отверстия под отбортовку можно определить из выражения:

$$d = D_1 - \pi\left(r_1 + \frac{S}{2}\right) - 2h \quad (17.11)$$

Более точно диаметр отверстия определяется по формуле, основанной на равенстве объемов:

$$d = \sqrt{D_1^2 - 2\pi D_1\left(r_1 + \frac{S}{2}\right) + 8\left(r_1 + \frac{S}{2}\right)^2 - 4(D_1 - 2r_1 - S)h} \quad (17.12)$$

Высота борта:

$$H = h + r_1 + S = \frac{D - d}{2} + 0,43r + 0,72S \quad (17.13)$$

### Отбортовка наружного контура

При наружной отбортовке коэффициент отбортовки определяется как:

$$k_0 = \frac{R_2}{R_1} \quad (17.14)$$

где  $R_1$  и  $R_2$  – радиус контура плоской заготовки и радиус отбортованного контура детали,  $k_0 = 0,85 - 0,95$ .

Отбортовка наружного контура широко используется в автомобильной и авиационной промышленности.

## 17.2. Обжим

Обжим – это операция, когда производится уменьшение поперечного сечения открытого конца (и закрытого) заготовки предварительно вытянутой детали (рис.17.4).

Обжим весьма распространенный вид операции, особенно в гильзовом производстве. Обжим может производиться со стороны закрытой или открытой части заготовки. В случае обжима со стороны закрытой части операция производится на ротационных машинах. Получают этим способом довольно сложные полые изделия (редуцирование). На прессах производится обжим изделий со стороны открытой части. Причем обжим может вестись в один или несколько переходов. Это зависит от размеров изделия, рода и качества материала. Для определения числа переходов руководствуются

отношением  $\frac{d}{D}$  – коэффициент обжима, и отношением  $\frac{S}{D}$ , от которого и зависит  $m$ .

Рекомендуется средний коэффициент обжима для стальных изделий  $m = 0,85-0,90$ , для алюминиевых  $m = 0,80-0,85$ .

Существует так называемый предельный коэффициент обжима, при котором наблюдается потеря устойчивости стенки изделия, то есть получают складки и трещины. Этот коэффициент зависит от рода материала, концентрации матрицы, смазки, коэффициента трения и т.д.

Число обжимов можно определить по формуле:

$$n = \frac{\lg d - \lg D}{\lg m_{cp}}. \quad (17.15)$$

Между обжимами должен быть отжиг.

Коэффициент обжима  $m$  зависит также от способа обжима (дульцем вверх, вниз). Используется обжим с расправочным стержнем, который служит для предотвращения возможных складок.

Обжимом можно получить детали с криволинейной и прямолинейной образующей.

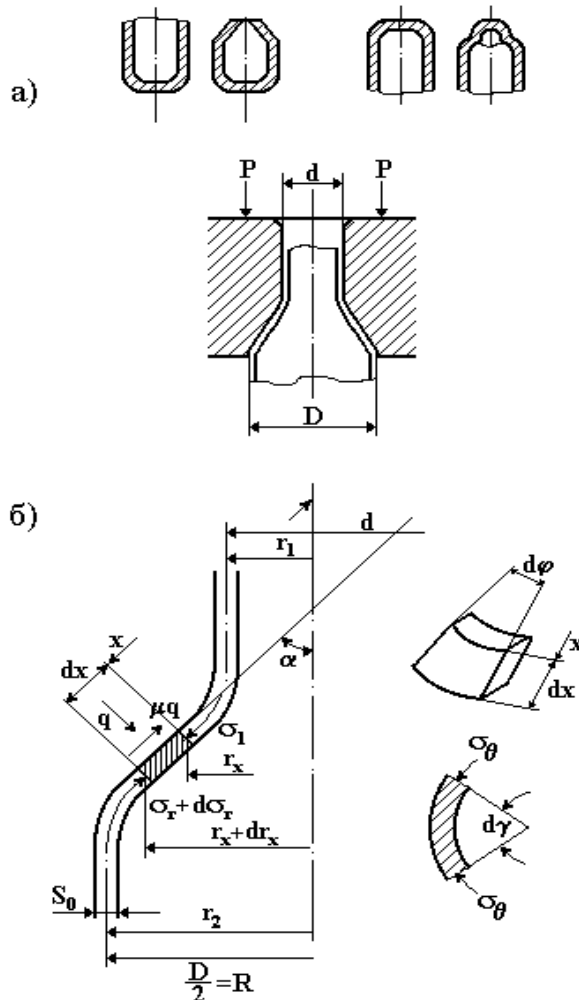


Рис.17.4. Операция обжим:

а – виды обжима; б – схема к определению напряжений при обжиме

### 17.2.1. Напряжения и деформации при обжиге. Усилие обжима

Для определения напряжения выделим в очаге деформации элемент с текущим радиусом (рис.17.4). Заготовка заталкивается в матрицу и стало быть в меридиональном сечении она испытывает напряжение. При обжиге диаметр уменьшается за счет экваториальных напряжений. При этом происходит удлинение элементов заготовки, и толщина не только уменьшается, но и увеличивается у среза дульца.

В результате давления на заготовку возникают: меридиональное напряжение  $\sigma_r$ , экваториальное  $\sigma_\theta$ , давление со стороны стенок матрицы  $q$  и сила трения  $\mu q$ . Таким образом, деформированное состояние элемента при обжиге характерно трехосным сжатием.

Для определения величины действующего напряжения и усилия при обжиге составим уравнение равновесия.

На ось X:

$$\sigma_r \cdot f_3 - (\sigma_r + d\sigma_r) f_1 + 2\sigma_\theta f_2 \sin \frac{d\varphi}{2} + \mu q f_4 = 0 \quad (17.16)$$

На ось Y:

$$2\sigma_\theta f_2 \cos \alpha \sin \frac{d\gamma}{2} - q f_4 = 0 \quad (17.17)$$

Учитывая, что площади элемента равны:

$$f_1 = S_0(x + dx)d\varphi; \quad f_2 = S_0 dx; \quad f_3 = S_0 x d\varphi \quad \text{и} \quad f_4 = x d\varphi dx;$$

и

$$\sin \frac{d\varphi}{2} \approx \frac{d\varphi}{2}, \quad \text{а} \quad \sin \frac{d\gamma}{2} \approx \frac{d\gamma}{2}$$

Получим:

$$\sigma_r S_0 x - (\sigma_r + d\sigma_r)(x + dx)S_0 + \sigma_\theta S_0 dx + \mu q x dx = 0 \quad (17.18)$$

$$\sigma_\theta S_0 \cdot \cos \alpha d\gamma - q x d\varphi = 0 \quad (17.19)$$

так как

$$d\gamma = \frac{d\varphi}{\sin \alpha}, \quad \text{то} \quad \sigma_\theta S_0 \cos \alpha \frac{d\varphi}{\sin \alpha} - q x d\varphi = 0;$$

откуда

$$q = \frac{\sigma_{\theta} S_0}{x} \operatorname{ctg} \alpha \quad (17.20)$$

Решая совместно (17.18) и (17.20), получим:

$$\sigma_{\theta} = (1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha) dx - \sigma_r dx - x d\sigma_r = 0 \quad (17.21)$$

Интегрирование уравнения (17.21) при  $\sigma_{\theta} = 1,1\sigma_T$  и граничных условиях когда  $r_x = r_1$ ;  $\sigma_r = 0$  дает:

$$\sigma_r = 1,1\sigma_T \left(1 - \frac{r_1}{r_x}\right) (1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha) \quad (17.22)$$

При  $r_x = r_2$   $\sigma_r$  будет максимальным:

$$\sigma_{r_{\max}} = 1,1\sigma_T \left(1 - \frac{r_1}{r_2}\right) (1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha) \quad (17.23)$$

Усилие обжима:

$$P = 2\pi r_2 S_0 \sigma_{r_{\max}} \frac{1}{\cos \alpha} \quad (17.24)$$

где  $\sigma_{r_{\max}} \frac{1}{\cos \alpha}$  – проекция напряжения  $\sigma_r$  на ось.

Или

$$P = \pi D S_0 \sigma_T \left(1 - \frac{d}{D}\right) (1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha) \cos \alpha \quad (17.25)$$

Усилие обжима определяется также по формуле:

$$P = \sigma_{r_{\max}} \cdot \pi D S_0 \quad (17.26)$$

При обжиме в матрице с конической образующей усилие определяется по формуле Попова Е. А.:

$$P = 1,1\pi D S_0 \sigma + \left(1 - \frac{d}{D}\right) (1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha) \frac{1}{\cos \alpha} \quad (17.27)$$

### 17.3. Правка (рихтовка)

Правка – операция штамповки, при которой осуществляется выравнивание поверхности изделия с помощью гладких, или насечных поверхностей штампов (рис. 17.5).

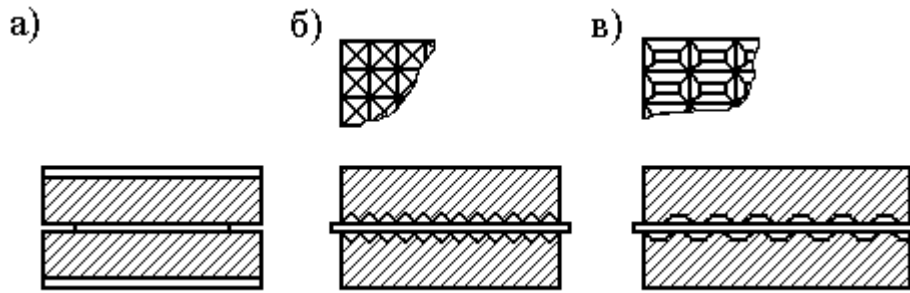


Рис.17.5. Штампы для правки:  
*а – гладкий; б – точечный; в – вафельный.*

Обычно правку производят после вырубки или гибки без прижима. Толстые детали правят обычно на фрикционных прессах. Вместе с этим правку деталей можно вести вместе с другими операциями (гибка). Тогда используется кривошипный пресс или пресс двойного действия.

Усилие правки:

$$P = pF \quad (17.28)$$

где  $F$  – площадь рихтовки в мм<sup>2</sup>;

$p$  – удельное давление в кг/мм<sup>2</sup> зависит от характеристик материала и вида штампа (гладкий, точечный, вафельный).

Для тонких и мягких материалов  $S < 2$  мм при гладких штампах  $p = 50-100$  МПа (рис. 17.5а) Твердые толстые материалы  $S > 2$  мм  $p = 100-200$  МПа (точечный штамп, (рис. 17.5б). Вафельный штамп  $p = 200-300$  МПа (рис. 17.5в).

#### 17.4. Чеканка

Чеканка – одна из операций штамповки, аналогичная по характеру с такими видами обработки, как клеймение, разметка и холодное выдавливание.

Операции эти основаны на перемещении и перераспределении части или всего объема металла. Схема напряженного состояния при всех этих операциях представляет собой неравномерное объемное сжатие.

Операции чеканки применяются: для нанесения неглубокого рисунка или рельефа, для выравнивания отдельных поверхностей, для получения окончательной формы, для получения точных размеров (обычная  $\pm 0,1$  мм, точная  $\pm 0,05$  мм).

Различают плоскостную, объемную и объемно-плоскостную чеканку. Ведут чеканку на фрикционных, гидравлических прессах или на 2-х кривошипных прессах с малым ходом.

В случае плоскостной чеканки изменение размеров допускается только в одном направлении перпендикулярном оси чеканки. При объемной чеканке деформируются все поверхности детали. Избыточный материал образует

заусенец, который снимают шлифовкой. Чтобы получить точную, гладкую поверхность по отдельным размерам, вначале делают объемную, а затем плоскостную чеканку.

Операции клеймения аналогичны чеканке, но глубина деформации в них меньше (меньше и усилие).

Усилие  $P = pF$  – удельное давление = 120–300 кг/мм<sup>2</sup> и зависит от рода материала, его толщины, качества подготовки поверхности.

Конструкционная сталь  $p = 130–160$  МПа – плоская,  $p = 180–220$  МПа – объемная.

Конструкционная хромоникелевая сталь  $p = 180–220$  МПа и  $p = 250–330$  МПа. Алюминий  $p = 100–120$  МПа и  $p = 140–180$  МПа.

## 18. ШТАМПЫ ДЛЯ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

### 18.1. Штампы и их детали

Штампы для холодной штамповки могут быть квалифицированы по 3 признакам:

- 1) технологическому (по роду операций и их совмещенности);
- 2) конструктивному (по способу направления);
- 3) эксплуатационному (по способу подачи заготовки и удалению деталей и отходов).

По технологическому признаку штампы разделяются на типовые группы по роду выполняемых операций: штампы для отрезки, гибки, вытяжки, формовки, объемной штамповки, сборочные штампы, комбинированные штампы.

По совмещенности операций штампы делятся на простые (однооперационные) и комбинированные, предназначенные для выполнения нескольких операций. Комбинированные штампы делятся в свою очередь на штампы:

- 1) последовательного действия, где изготовление детали происходит за несколько переходов под разными пуансонами при последовательном перемещении заготовки;

- 2) совмещенного действия, в которых изготовление детали происходит за один ход пресса, при неизменном положении заготовки.

По конструктивному признаку штампы делят на 2 группы:

- 1) штампы без направления;
- 2) штампы с направляющими устройствами.

Штампы без направляющих просты, имеют малый вес и габариты, неудобны при установке, опасны в работе. Штампы без направляющих устройств применяются только в мелкосерийном производстве. Штампы с направлением более сложны в изготовлении, но имеют повышенную стойкость, удобны при установке. Применяются в серийном, крупносерийном и массовом производстве.

По эксплуатационному признаку штампы различаются:

- 1) По способу подачи и установки заготовки. В данном случае применяются штампы с ручной и автоматической подачей. Штампы с ручной подачей отличаются конструкцией применяемого упора, а штампы с автоматической подачей разнятся по способу подачи ленты или штучных заготовок.

- 2) По способу удаления деталей. При этом детали в штампах могут удаляться или через отверстие в матрице на провал, или с обратной вставкой в ленту, или выталкиванием на поверхность штампа и ручным снятием, а также с помощью обратного выталкивания и автоматическим сбросом.

- 3) По способу удаления отходов, которые могут удаляться в виде остатков полосы или ленты. При крупных деталях отход удаляется вручную. При обрезке деталей отход разрезают на две или три части, и он сваливается.

Отход может удаляться автоматически с помощью пневматических, механических, пружинных сбрасывателей, которые применяются главным образом при небольших деталях массового производства.

## 18.2. Классификация деталей штампов

Детали штампов могут быть разбиты на две группы:

1) Детали непосредственно участвующие в рабочем процессе, т.е. находящиеся во взаимодействии с материалом или изделием, относятся к деталям технологического назначения. К таким деталям штампов относятся рабочие детали (пуансоны, матрицы), фиксирующие детали, необходимые для правильной установки материала во время операции и прижимающие или удаляющие детали, удерживающие заготовку во время операции или удаляющие ее в конце работы.

2) Детали конструктивного характера, входящие в конструкцию штампа. К ним относятся опорные и держащие детали, направляющие детали, крепежные детали.

### 18.2.1. Детали штампов

Плиты (ГОСТ 13110-75-131/6-75). Определение размеров нижних плит можно производить в зависимости от размеров матрицы. Толщина плиты определяется по эмпирической формуле:

$$H_n = (1 \div 1,5)H_m = 18 \div 60 \text{ мм.}$$

Габаритные размеры нижних плит делаются на 40-70 мм больше размеров матрицы. Для лучшего выхода и предотвращения скопления отходов или деталей в провальном отверстии нижней плиты, размеры его больше размеров матрицы, они определяются по формуле:

$$A = 2(H - h)\operatorname{tg}\alpha + A_m$$

где  $A$  – размер отверстия в плите;

$H$  – высота матрицы;

$h$  – высота пояса,  $\alpha = 3 \div 5^\circ$ ;

$A_m$  – размер рабочей части матрицы.

В конусных матрицах с углом  $\alpha = 30' - 1^\circ$ , размер провального отверстия рассчитывается по формуле:

$$\text{при } A_m \text{ до } 5 \text{ мм, } A = A_m + x; \quad \text{при } A_m > 5 \text{ мм } A = A_m + 2x$$

Значения  $x$  приведены в таблице 18.1.



Таблица 18.1.

Толщина матрицы в мм	До 10	10–15	15–20	20–25	25–30	30–35
$x$ в мм при $\alpha = 30' - 1^\circ$	1,2	1,4	1,6	1,9	2,1	2,4

Если в матрице имеются два вырубных контура малых размеров, находящихся близко друг от друга, провальное отверстие принимается общим. По ГОСТ 13110 – 75 – 131/6 – 75 разработаны четыре типа плит к блочным и пакетным штампам. Плиты могут быть стальными и чугунными.

В производственной практике конструктору обычно не приходится производить расчеты на прочность, так как он пользуется стандартами и нормами. В случае, когда использование нормалей не представляется возможным, ведут расчет на прочность нижних плит (рис.18.1).

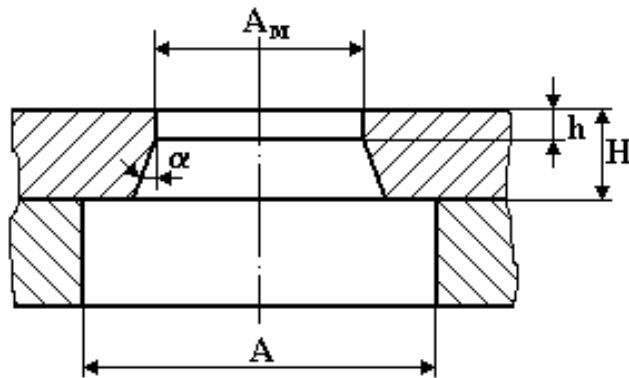


Рис.18.1. Схема к расчету нижней плиты штампа

Исходные данные для этого случая: 1) отверстие в плите одинаково с отверстием в матрице (рис.18.2, а). Расчет ведется тогда по сечению АВ как для балки свободно лежащей на двух опорах.

$$M_{\max} = W\sigma = \frac{Pl}{2}.$$

2) Отверстие для провала  $L_0 \times L$  в столе прессы расположено симметрично относительно осей плиты (рис.18.2, б). Расчет ведут по сечению СД, как для балки на двух опорах с полужакрытыми концами.

$$M_{\max} = W\sigma = \frac{3}{16PL_0}.$$

3) Матрица накладная и в сопротивлении нагрузке не участвует (рис.18.2, в). Нагрузка целиком на нижнюю плиту. Расчет ведется по опорному сечению. Для прямоугольных отверстий:

$$M_{\max} = \frac{P}{2} \cdot \frac{n}{2} - \frac{P}{2} \cdot \frac{m}{2} = \frac{P}{4}(n - m) = W\sigma.$$

Для круглых отверстий:

$$M_{\max} = 0,64(R - r) \frac{P}{2} = W\sigma,$$

где  $M_{\max}$  – максимальный изгибающий момент;

$W$  - момент сопротивления в данном сечении,  $\text{м}^3$ ;

$l$  – расстояние от равнодействующей до стенки отверстия стола пресса в мм;

$m$  – расстояние между углами отверстия в плите по сечению EF в мм;

$n$  – расстояние между углами провального отверстия в мм;

$R$  – радиус отверстия в столе пресса;

$r$  – радиус отверстия в плите штампа.

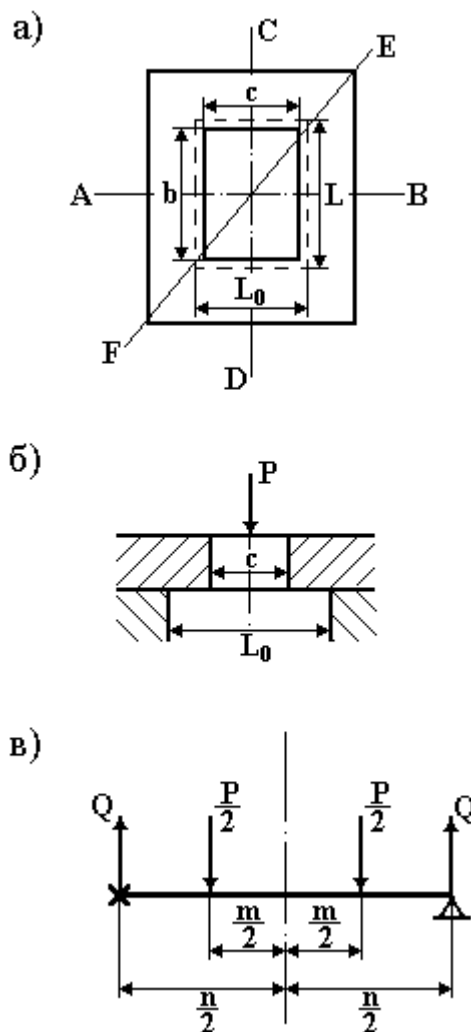


Рис.18.2. Схемы к расчету плит в зависимости от расположения провальных отверстий

Хвостовики. Выбор хвостовика зависит от толщины плиты, конструкции и габаритов штампа. ГОСТ 16722–71 предусматривает четыре типа хвостовиков (рис.18.3).

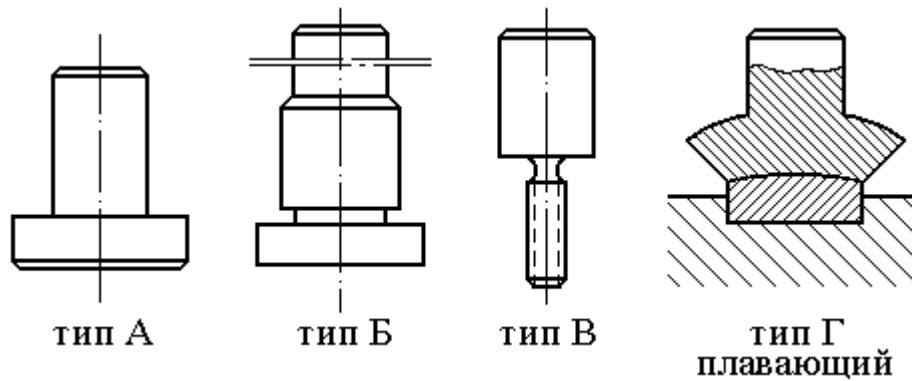


Рис.18.3. Конструкции хвостовиков

Хвостовики типа А с фланцем применяются для крупных штампов. Хвостовик с буртиком, тип Б, применяется для всех блочных и пакетных штампов. Для штампов с направляющими колонками, для гибочных и вытяжных работ применяется хвостовик с креплением на резьбе типа В. При вырубке материалов толщиной меньше 0,25 мм применяются плавающие хвостовики с фланцем типа А,Б,В. основной материал, из которого изготавливаются хвостовики – Ст35, Ст4, Ст5.

Прокладки (упорные пластины). Упорные пластины (рис.18.4) применяются в случае: когда удельное давление передаваемое пуансоном на верхнюю плиту, превосходит 180 – 200 МПа при плитах из мягкой стали и при плитах из чугуна 80 – 90 МПа.

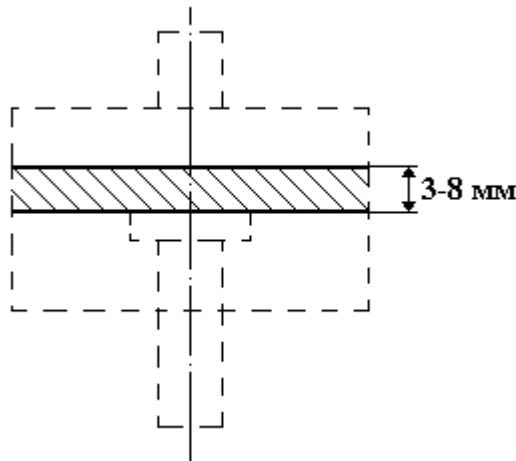


Рис.18.4. Схема к расчету прокладок

Размеры прокладки должны соответствовать размерам пуансонодержателя и толщина их должна быть не менее 3–8 мм. Величина удельного давления, передаваемого пуансоном на нижнюю плиту, определяется формулой:

$$q = \frac{P_p}{F} \leq \sigma_{сж},$$

где  $q$  – удельное давление в МПа;

$P_p$  – усилие вырубki (пробивки) в кН;

$F$  – площадь сечения в верхней части пуансона в м<sup>2</sup>;

$\sigma_{сж}$  – допустимое напряжение на сжатие в Н/мм<sup>2</sup>, для стали 180–200 Н/мм<sup>2</sup>, для чугуна 80–90 Н/мм<sup>2</sup>.

Упорные пластины изготавливаются из стали марки У8А или заменителей ст. 2 и ст. 10. Прокладки проходят термообработку и должны иметь твердость порядка  $HR_c = 45 - 50$  единиц.

Пуансонодержатели. Пуансонодержатели бывают круглые и прямоугольные (рис.18.5).

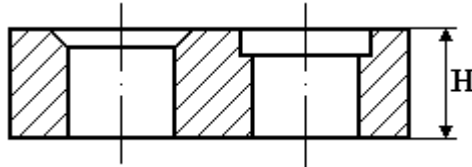


Рис.18.5. Пуансонодержатель

Толщина пуансонодержателя определяется по формуле:

$$H_{\text{пуансонодр.}} = (0,6 \div 0,8)H_m,$$

где  $H_m$  – толщина матрицы.

В целях обеспечения установки пуансонов в вертикальном положении поверхности пуансонодержателя шлифуют. Отверстия под пуансоны должны быть строго перпендикулярны к опорным плоскостям в случае фасонного пуансона иметь фаску под расклепку. В мелких и средних штампах пуансонодержатели крепятся винтами к верхней плите с обязательной фиксацией шрифтами. Крепление пуансонов в пуансонодержателях осуществляется расклепкой, пайкой и т.д. Пуансонодержатели изготавливаются из стали марок ст. 40, 45 с последующей термообработкой  $HR_c = 40 - 45$ .

Пуансоны. В холодной штамповке применяется огромное количество пуансонов различного технологического назначения. Значительная часть их не является типовой, а зависит от формы и характера штампуемой детали, как например, гибочные, вырубные и т. д. Выбор размеров на пуансоны рекомендуется производить по нормалям.

### Классификация пуансонов

1) По форме поперечного сечения пуансоны различают: круглые, квадратные, шестигранные, прямоугольные, фасонные (рис.18.6).

2) По форме режущих кромок: плоские (рис.18.6,а), для пробивки отверстий в разметке (рис.18.6,б), для проколки отверстий небольшого диаметра (рис.18.6,в) и наклонные (рис.18.6,г).

3) По способу крепления в пуансонодержателе: удерживаемые буртиком, удерживаемые расклепкой, составные пуансоны, удерживаемые винтами и шрифтами, быстросменные пуансоны.

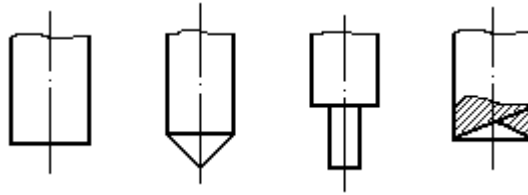


Рис.18.6. Конструкции пуансонов

Кроме того, применяются и другие виды пуансонов в зависимости от технологического назначения. Так, например, при вырубке деталей больших габаритных размеров пуансон собирается из секций, которые монтируются на плите с помощью винтов и установочных шрифтов. В комбинированных штампах последовательного действия применяется шаговый нож при подаче материала менее 50 мм и толщиной менее 3 мм.

В вырезных и обрезных штампах простой формы, для материала толщиной до 3-х мм применяются пуансоны быстросменные и пуансоны с заплечиками. Материал для пуансонов в основном марок стали У8А и У10А. Они могут быть заменены марками У8, У10, ШХ15. Термообработка пуансонов  $HR_c = 56 - 58$ . Пуансоны вырезных и обрезных штампов сложной формы, а также пуансоны для материала толщиной свыше 3 мм изготавливаются из стали Х12, Х12М, с термообработкой  $HR_c = 56 - 58$ .

Под действием усилия пуансоны в процессе работы подвергаются продольному изгибу. Расчет пуансона на прочность производится тогда, когда рабочая часть пуансона имеет небольшое сечение при наличии значительных усилий пробивки. Действительное напряжение, возникающее в пуансоне, определяется по формуле:

$$\sigma_{сж} = \frac{P_p}{F} \leq [\sigma_{сж}],$$

где  $\sigma_{сж}$  – действительное напряжение, возникающее в пуансоне, Н/мм<sup>2</sup>;

$F$  – площадь наименьшего поперечного сечения пуансона в м<sup>2</sup>;

$[\sigma_{сж}]$  – допускаемое напряжение на сжатие в Н/мм<sup>2</sup> для закаленной стали.

Принимается в 1,5–3 раза больше, чем для сырой.

Длинные и тонкие пуансоны следует проверять не только на прочность, но и на изгиб. В зависимости от конструкции штампа расчет пуансонов на продольный изгиб ведется для случая: а) когда пуансон работает без направляющей плиты; б) когда в процессе работы конец пуансона не выходит из направляющей. Сила, при которой может начаться изгиб пуансона, называется критической нагрузкой  $P_{кр}$  и для первого случая (а) определяется по формуле:

$$P_{кр} = \frac{\pi^2}{4} \cdot \frac{EJ_{\min}}{L^2} \quad *)$$

для второго случая (б) по формуле:

$$P_{кр} = 2\pi^2 \cdot \frac{EJ_{\min}}{L^2} \quad (**)$$

где  $E$  – модуль упругости равный 2150000 кг/см<sup>2</sup> для инструментальной стали;

$J_{\min}$  – минимальный момент инерции сечения пуансона;

$L$  – расстояние от пуансонодержателя до режущего конца пуансона (а) или до середины толщины направляющей плиты (б).

Критическая нагрузка  $P_{кр}$  уменьшается на величину коэффициента безопасности  $n$ , который берется  $n = 4-5$  при сырой стали и 2–3 из закаленной стали. Пуансон будет нормально работать при условии:

$$P \leq \frac{P_{кр}}{n}.$$

В случае, если требуется определить какую наибольшую длину пуансона можно принять, используют следующий момент: из формулы  $P = \frac{P_{кр}}{n}$ , зная усилие пробивки и коэффициент безопасности, определяют  $P_{кр} = Pn$ . Подставляя значение  $P_{кр}$  в формулы \*) и \*\*) определяют  $L$  соответственно:

$$L = \sqrt{\frac{\pi^2 EJ_{\min}}{nP}} \quad \text{и} \quad L = \sqrt{\frac{2\pi^2 EJ_{\min}}{nP}}.$$

Ориентировочно длину пуансона можно определить по эмпирической формуле:

$$L = H_1 + H_2 + H_3 + \dots + (10 \div 20) \text{ мм.}$$

Ловители (рис.24.7) применяются в комбинированных штампах последовательного действия.

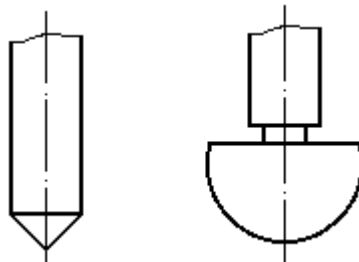


Рис.18.7. Формы ловителей

Ловители фиксируют полосу (ленту) по отверстиям детали или по специально пробиваемым технологическим отверстиям. Диаметр ловителя определяется формулой:

$$d = (D_n - 0,05)^{-\Delta},$$

где  $d$  – диаметр ловителя;

$D_n$  – диаметр пуансона;

$\Delta$  – допуск на диаметр ловителя, принимается по скользящей посадке 3-го качества точности.

Погрешность при изготовлении не должна превосходить величины зазора, принимаемого между диаметром ловителя и отверстием, в которое оно входит 0,5 мм. Тип ловителя выбирается в зависимости от формы вырубленного отверстия, его размеров и толщины по рекомендуемым нормам.

Ловители изготавливаются из марок стали У8А, У10А и продолжают термообработку  $HR_c = 56 - 58$ . Ловители могут быть вставными, запрессованными, на резьбе, накладные. Вставной ловитель применяется для отверстий диаметром от 3-х до 10 мм. Для отверстий диаметром от 6 до 30 мм применяются ловители запрессованные. Ловители с резьбой для отверстий от 6 до 30 мм, если к детали не предъявляется строгих требований относительно центричности, предварительно пробитого отверстия по отношению к контуру вырезного пуансона. Накладные ловители применяются для фиксации прямоугольных отверстий. Вставные ловители, укрепленные винтом, используются для фиксации отверстий диаметром от 25 до 250 мм.

Матрицы могут быть разбиты на группы по следующим признакам: по внешней форме и способу закрепления их в матецидержателе или нижней плите штампа:

- 1) матрицы прямоугольные, плитовые;
- 2) матрицы дисковые (круглые) удерживаемые запрессовкой;
- 3) матрицы круглые, удерживаемые кольцами;
- 4) матрицы для блок – штампов и составные матрицы.

По профилю рабочего отверстия различают:

- а) матрицы с цилиндрическим пояском, переходящим в конус (рис.18.8, а);
- б) матрицы с конусом от верхней плоскости матрицы (рис.18.8, б);
- в) матрицы с двумя цилиндрическими участками, соединенными по конусу (рис.18.8, в);
- г) матрицы с двумя конусами (рис.18.8, г).

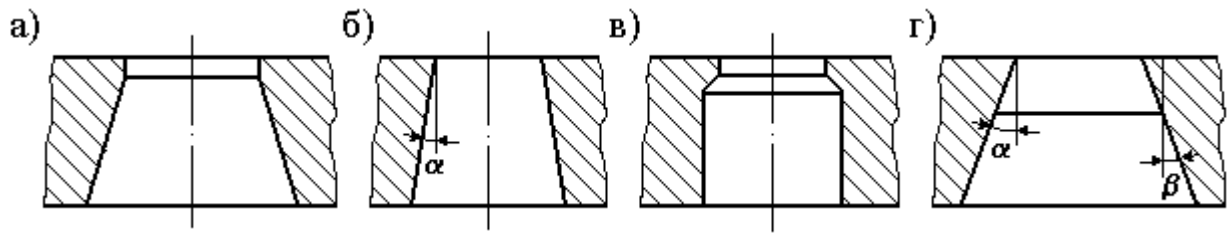


Рис.18.8. Конструкции матриц

Наибольшее распространение на практике имеют матрицы типа а) и б). Преимущества типа а) заключаются в том, что матрица имеет достаточно прочную режущую кромку и не теряет при заточке своего рабочего размера, недостаток – это скопление в рабочем очке матрицы отходов или деталей и т. д. образование в матрице обратного конуса от их проталкивания. Такие матрицы используют в штампах обязательно с обратной выдачей детали из-за их возможного заклинивания. Высота рабочего пояска  $h$  у этих матриц принимается в пределах от 3 до 12 мм, в зависимости от толщины и размеров деталей. В целях обеспечения более легкого выхода деталей после вырубki угол наклона конусной части матрицы  $\alpha = 3-5^\circ$ .

Матрица типа б) имеет легкий выход для изделия или отхода благодаря углу, который для различных толщин материалов колеблется в пределах от  $0^\circ 30'$  до  $1^\circ 30'$ . Режущая кромка таких матриц значительно слабее, чем в первом случае, а при заточке она легко меняет свои размеры.

Однако, изменение этих размеров незначительно и допускаемое число переточек обычно полностью не используется. Так как в рабочем отверстии матрицы с конусом, в процессе вырубki скапливается небольшое количество деталей, отчего значительно уменьшается их трение о стенки, то естественно, что стойкость таких матриц будет значительно выше, чем стойкость матрицы с пояском. Матрицы типа в) применяются только для пробивки небольших круглых отверстий.

С целью упрощения изготовления матриц типа б) отверстие в ней с точными размерами и углом  $\alpha$  выдерживают на высоте шейки  $h$ . В нерабочей части угол берут  $\alpha = 3-5^\circ$ . Высота шейки зависит от толщины материала.

По способу крепления матрицы различаются: матрицы плитовые прямоугольные – крепятся на плите при помощи винтов и штифтов. Этот тип матриц широко применяется в штампах простого и последовательного действия. Толщину матрицы для вырубki деталей толщиной от 0,8 до 3 мм можно определить по формулам: например для материала шириною  $b = 100-200$  мм, ширина матрицы  $H = (0,22 - 0,18)b$ ,  $b = 50$  мм,  $H = (0,5 - 0,35)b$ , но не менее 15 мм.

Ширину матрицы определяют по формуле:

$$B_m \approx b + (2,5 \div 4)H_m.$$



Матрицы втулочные, удерживаемые путем запрессовки, могут быть закреплены путем плотной или тугой посадки или закрепляются только запрессовкой.

Матрицы дисковые, с прижимным кольцом, применяются для вырубки при диаметре рабочей части от 15 до 100 мм. Угол наклона боковых стенок принимается равным  $5-10^\circ$ .

Достоинствами матриц, которые рассмотрены, являются следующие:

- 1) малый расход инструментальной стали;
- 2) удобный и надежный метод крепления;
- 3) удобный и безопасный тип нижней плиты;
- 4) быстросменность матриц;

5) отсутствие трещин во время термообработки из-за отсутствия в матрицах резких линий перехода.

Большое применение получили в холодной штамповке составные и сварные конструкции матриц. Такие матрицы имеют свои преимущества:

- 1) простота изготовления отдельных частей по сравнению с изготовлением цельной матрицы;
- 2) гораздо лучше условия для термообработки отдельных частей;
- 3) возможность замены любой вышедшей из строя части вместо смены целой матрицы.

Крепление сборных матриц осуществляется на плите или на промежуточном основании, винтами и установочными штифтами. В сварочных конструкциях рабочие части сначала свариваются с промежуточным основанием, а затем вместе с ним крепятся на нижнюю плиту штампа. При разбивке режущего контура секционных матриц или пуансонов на участки, следует выделять выступающие режущие части малой длины выделять в самостоятельные секции. Болты для крепления секций располагают ближе к режущей кромке в шахматном порядке, а фиксирующие штифты на максимально возможном расстоянии от нее.

Цельные матрицы и рабочие части составных конструкций изготавливаются: для вырубки деталей простой конфигурации, из углеродистой инструментальной стали марок У8А, У10А, для деталей сложной конфигурации из легированной инструментальной стали марок Х12, Х12М, ХГ и т.д. с последующей закалкой и отпуском, шлифовкой. Твердость после закалки должна быть  $HR_c = 58-62$  до 64. Рабочие части секций сварных конструкций изготавливаются из стали У10А. Для промежуточных оснований составных и сварных конструкций применяют обыкновенную сталь марки 20.

Расчет на прочность цельных матриц. Расчет матриц на прочность можно производить, рассматривая сопротивление плоских плит при изгибе в случае равномерно распределенного давления по периметру вырубки (рис.18.9).

а) Круглая матрица, опертая на кольцо с внутренним диаметром  $d_0 = 2r_0$  (рис.18.9,а). Напряжение изгиба определяется по формуле:

$$\sigma_{uz} = 1,5 \frac{P_p}{H_m^2} \left(1 - \frac{2r}{3r_0}\right) \leq [\sigma_u].$$

Подобрав  $[\sigma_u]$  для соответствующей марки стали, можно определить толщину матрицы:

$$H = \sqrt{\frac{1,5P_p}{[\sigma_u]} \left(1 - \frac{2r}{3r_0}\right)}.$$

б) Прямоугольная матрица, опертая на плиту с квадратным отверстием со стороной  $a$  (рис.18.9,б).

$$[\sigma_u] = \frac{1,5P_p}{H_m^2}; \quad H_m = \sqrt{\frac{1,5P_p}{\sigma_u}}.$$

в) Прямоугольная матрица, опертая на плиту с прямоугольным отверстием:

$$[\sigma_u] = \frac{3P_p}{H_m^2} \left( \frac{\frac{b}{a}}{1 + \frac{b^2}{a^2}} \right) \leq [\sigma_u]; \quad H_m = \sqrt{\frac{3P_p}{[\sigma_u]} \left( \frac{\frac{b}{a}}{1 + \frac{b^2}{a^2}} \right)}.$$

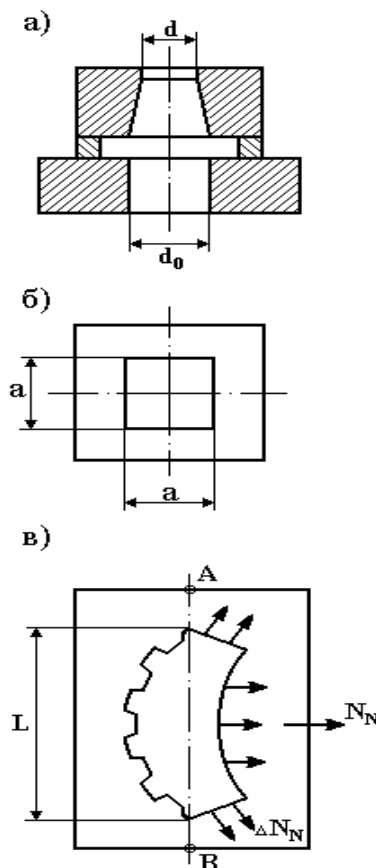


Рис.18.9. Схема к расчету матрицы.

## Расчет прочности крепления матриц (пуансонов) из составных секций

Расчет составных секций связан с установлением главных действующих сил, которыми распираются секции, стремясь отойти в стороны и оказывая давление на штифты и шпонки (рис.18.9, в). Максимальная распирающая сила определяется по формуле:

$$N = N_N - N_T - N_o,$$

где  $N_N$  – распирающая сила, направленная перпендикулярно линии разъема матрицы АВ и действующая одновременно с усилием вырубки.

Она равна  $(0,3 - 0,4)P_p$ ,

где  $P_p$  – максимальное усилие вырубки, приходящееся на данную секцию;

$N_T$  – сила трения между секцией и нижней плитой:

$$N_{mp} = \mu P_{mp}; \quad \mu = 0,15,$$

где  $N_o$  – боковая сила, действующая по торцу застрявшей в матрице детали.

$$N_o = q_{np}Lt,$$

где  $q_{np}$  – удельное давление при проталкивании;

$L$  – длина секции;

$t$  – толщина вырубемого материала.

Действие сил  $N_N$  и  $N_o$  может быть уподоблено действию гидростатического давления. Таким образом:

$$N = (0,3 \div 0,4)P_p + \mu P_p + q_{np}Lt.$$

На эту максимальную силу следует рассчитывать выступы в плите, шпонки, штифты и другие детали, удерживающие секцию от сложения.

**Упоры.** Упоры предназначаются для подачи обрабатываемых полос в штампе на определенный шаг или для правильной установки полуфабриката при его последующей установке.

Типы упоров разделяются на 2 группы:

1) неподвижные упоры, к которым относятся штифтовые, планочные, рамочные и др.,

2) подвижные упоры, к ним относятся пружинящие, предварительные (боковые, верхние), автоматические упоры изготавливаются из стали У7 с последующей закалкой или Ст2 и цементацией и закалкой на твердость.

**Направляющие линейки и лотки.** Направляющие линейки применяются в штампах с направляющей плитой простого и последовательного действия,

реже в штампах открытого типа. Линейки могут быть выполнены в виде одного целого с направляющей плитой или отдельно от нее. Последний вариант более удобен и применяется преимущественно для ленточного материала. Линейки изготавливаются из материала Ст5. Кроме того имеются еще линейки с регулировкой по ширине. К направляющим линейкам привертывается обычно лоток, длина которого равна ширине матрицы, а толщина 1,5–2 мм. Толщина самих линеек в пределах 4–15 мм.

Направляющие устройства в штампах. Направляющие устройства разделяются на 3 группы: а) направляющие плиты, б) направляющие колонки и втулки, в) направляющие цилиндры (плунжеры).

Направляющие плиты. Назначение направляющих плит – это обеспечение правильного направления пуансона относительно матрицы. Одновременно направляющие плиты являются съемниками. Направляющие плиты бывают жесткими и подвижными. Для надежного направления пуансонов плиты должны быть достаточно толстыми. Их толщина определяется по формуле:

$$H_{ин} \approx (0,8 \div 1,0) \cdot H_{м} = 18 \div 30 \text{ мм.}$$

Направляющие плиты изготавливаются из Ст5 или Ст35.

Направляющие колонки и втулки (рис.24.10).

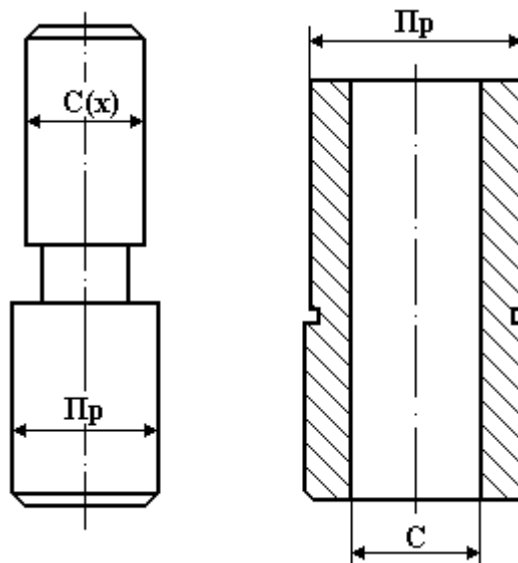


Рис.18.10. Направляющая колонка и направляющая втулка

Штампы с направляющими колонками получили широкое применение во всех отраслях промышленности. Колонки обеспечивают надежное направление верхней части штампа по отношению к нижней. Число колонок колеблется от 2 до 4. Колонки могут быть расположены по одной оси штампа, по диагонали, по четырем углам, а также несимметрично за осевой линией штампа.

В практике встречается большое количество различных конструкций направляющих колонок. Наиболее распространены 2 типа:

- 1) цилиндрическая неступенчатая колонка;
- 2) цилиндрическая ступенчатая колонка двух диаметров.

При индивидуальном изготовлении штампов предпочтение следует отдавать ступенчатой колонке, так как она позволяет производить обработку в верхней и нижних плитах (под колонку и втулку одновременно), т.е. за один проход сверла. Это гарантирует более точное совпадение осей этих отверстий. При серийном производстве, при наличии кондукторов, ступенчатую колонку применять невыгодно: она требует большего расхода материала и сложнее ее обработка. Колонки изготавливаются из стали марок Ст2 (или Ст10) и из стали У8 и закалкой на твердость  $HR_c = 55 - 60$ . Канавки на направляющих втулках предназначены для смазки. Втулки делаются выступающими из плиты для удлинения направляющей части. Крепятся втулки в верхней плите. Материал для втулок Ст2 (или Ст10) с последующей цементацией и закалкой на твердость  $HR_c = 50 - 55$ .

Направляющие цилиндры получили применение в штампах плунжерного типа, преимущественно в часовом производстве.

Крепежные детали. Крепежными деталями штампов являются винты и болты, соединяющие между собой различные детали штампа и установленные штифты, служащие для предотвращения взаимного смещения деталей штампа при сборке, а также для противодействия боковым срезающим усилиям.

Соединительные винты применяют только с цилиндрическими головками для соединения в потай. Кроме того применяются винты с углублением под шестигранный ключ. Диаметр винтов применяется в пределах от 6 до 24 мм. Остальные размеры берутся по ОСТ. Материалом винтов со шлицем служит Ст3, Ст4, а для винтов с углублением Ст2 с последующей цементацией и закалкой головки до  $= 40-45$ . Штифты для штампов принимаются цилиндрические диаметром от 6 до 24 мм. Материалом для них служит Ст6 с последующей закалкой  $HR_c = 52 - 56$ . Цилиндрическая поверхность шлифуется.

Пружины для штампов. Для прижима обрабатываемого материала, для снятия материала с пуансона, для выталкивания готовых изделий из матрицы и т.д. применяются цилиндрические пружины, работающие на сжатие. В практике заводов пружины изготавливаются из проволоки различных сечений: круглого, квадратного, прямоугольного. Чаще всего применяется круглое и квадратное сечение проволоки. Средний диаметр  $D_{cp}$  пружины из круглой проволоки принять от 7 до 65 мм, диаметр проволоки от 0,7 до 16 мм. Максимальная расчетная нагрузка от 1 до 1250 кг. Средний диаметр пружин второго типа принят от 30 до 40 мм, сторона квадрата от 5 до 10 мм. Максимальная нагрузка от 80 до 520 кг. Материалом для пружин служит пружинная сталь марки 65Г. Пружины закаляются в масле с отпуском ( $HR_c = 38 - 45$ ).

Расчет пружин производить можно по следующим формулам. Для пружины из круглой проволоки диаметром  $d$ :

$$P = \frac{\pi d^3 [\sigma_{кр}]}{8D_{cp}}; \quad f = \frac{\pi [\sigma_{кр}]}{G} \left(\frac{D_{cp}}{d}\right)^2 d;$$

$$F = nf = \frac{\pi \sigma_{кр}}{G} \cdot \frac{D_{cp}^2}{d} n,$$

где  $D_{cp}$  – средний диаметр пружины в мм;

$f$  – перемещение одного витка при сжатой до соприкосновения витков пружины, мм.;

$F = nf$  – максимальное перемещение всей пружины, мм;

$n$  – число рабочих витков,

$P$  – максимальная допустимая нагрузка, кг,

$[\sigma_{кр}]$  – допускаемое напряжение на кручение, равное 500 МПа,

$G$  – модуль сдвига равный 800 МПа.

Формулы эти действительны при условии  $\frac{D_{cp}}{d} \geq 4$ .

Учитывая, что в рабочем положении пружина сжата до длины  $L$ , действительное сжатие составит  $F = L - L_1$ ,

где  $L$  – длина пружины в свободном состоянии:

$$L = (n + 1,5)H,$$

где  $H$  – шаг пружины равный  $d + f$ , 1,5 – число нерабочих витков.

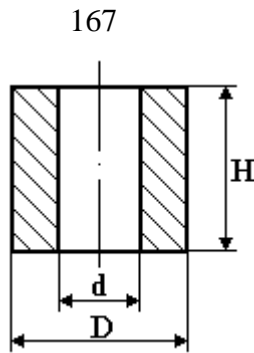
Так как изменение нагрузки пружины происходит по закону прямой линии, то при данной степени сжатия пружина развивает давление:

$$P_1 = \frac{pF_1}{F}.$$

Зная характеристику пружины (жесткость), можно по этой формуле для любой степени ее сжатия установить действительное давление, развиваемое пружиной.

Для надежной работы пружины усилие  $Q_{сн}$  для снятия материала (отхода) с пуансона, а также  $Q_{пр}$  для проталкивания заготовки через матрицу, должны быть меньше усилия  $P_1$ , развиваемого пружиной.

Резина для штампов. Вместо пружин широкое применение в штампах имеет резина (рис.18.11).



*Рис.18.11. Резиновая втулка.*

Она употребляется как для съемников и выталкивателей, так и для прижимов к гибочным и вытяжным штампам. Форму и размеры резиновых буферов выбирают в зависимости от потребного усилия, величины опускания выталкивателя, съемника или прижима и вообще от конструкции штампа. Давление, развиваемое буфером, определяется по формуле:

$$P = pS ;$$

Диаметр резины:

$$D = \sqrt{d^2 + \frac{4P_c}{\pi q 20\%}} ;$$

Высота резины:

$$H = \frac{L}{0,15} ,$$

где  $p$  – удельное давление;

$S$  – площадь поперечного сечения.

При выборе размеров резинового буфера не следует максимальное сжатие его брать более 45%. В противном случае резина быстро изнашивается. Отношение высоты резины  $H$  к ее диаметру  $d$  должно быть в пределах  $0,5 \leq \frac{H}{d} \leq 1,5$ .

### 18.2.2. Стойкость штампов

Стойкость штампов измеряется количеством деталей отштампованных до полного износа рабочих частей, определяемого невозможностью их восстановления. Однако, раньше этого возникает брак по низкому качеству штампуемых деталей (заусеницы, царапины, задиры). Этот вид брака легко устраняется путем перешлифовки рабочих частей штампа.

Следует различать:

- 1) полную (размерную) стойкость штампа;
- 2) промежуточную (качественную) стойкость и стойкость между двумя перешлифовками. Полная стойкость всегда находится в зависимости от качественной стойкости, так как количество перешлифовок ограничено полным использованием рабочих частей.

Стойкость штампа зависит от:

- 1) сорта и свойств штампуемого материала;
- 2) конфигурации деталей;
- 3) толщины материала;
- 4) типа штампа и производимой операции;
- 5) материала и термообработки рабочих деталей штампа;
- 6) состояния пресса к состоянию штампа.

Для повышения стойкости штампов при вытяжке рабочие части их изготавливают из различных материалов, так для глубоких вытяжек идет специальный хромоникелевый чугун, для штампов средних размеров – сталь марок ЭИ293 и ЭИ366. Для мелких матриц твердые сплавы ВК8 и ВК15. Хорошим способом повышения износостойкости матриц и пуансонов является их хромирование и азотирование, а также для вырубных штампов применение электро способа упрочнения поверхности. Толщина хрома, в зависимости от условий работы, выбирается в пределах от 0,01 до 0,6 мм.



## Практический раздел

### 19. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

#### 19.1. Определение пригодности листового металла к вытяжке

**Цель работы:** проведение технологического испытания тонких листовых металлов методом выдавливания лунки, устанавливающего зависимость глубины и качества поверхности лунки от толщины и вида материала.

**Общие сведения.** Пригодность металла к вытяжке как одно из важных его технологических свойств зависит в основном от механических характеристик, на которые существенно влияют химический состав, структура и величина зерна, термообработка, степень предварительного наклепа, а также толщина металла, условия трения и др.

Определение способности листового металла к вытяжке производится различными методами. Наиболее распространены методы выдавливания сферической лунки и вытяжки цилиндрического стакана.

Первый метод характеризуется наличием двухосного растяжения и сопровождается сильным утонением материала в центральной части деформируемого участка заготовки. Данный вид испытаний наиболее эффективен для оценки штампуемости металла, предназначенного для получения сложных пространственных деталей сферической и параболической формы, при вытяжке которых в очаге деформации возникает двухосное растяжение. При других формоизменяющих операциях метод малоэффективен.

Методом выдавливания сферической лунки испытываются листы и ленты толщиной 0,1...2 мм из черных и цветных металлов. Качество металла оценивается по глубине лунки, полученной к моменту образования трещины, форме трещины и виду поверхности вершины лунки. Разрыв материала по дуге окружности указывает на изотропность металла, прямолинейный разрыв свидетельствует об анизотропии металла, полосчатости структуры или наличии дефектов прокатки. Чистая гладкая поверхность лунки характеризует мелкозернистую структуру металла, а шероховатая – свидетельствует о крупнозернистой структуре.

При вытяжке в штампах цилиндрических или коробчатых деталей с вертикальными стенками напряженно-деформированное состояние металла во фланце характеризуется наличием тангенциального сжатия и радиального растяжения. В этом случае для правильной оценки способности металла к вытяжке используют второй метод. Он заключается в пробных испытаниях вытяжки цилиндрических колпачков из круглых заготовок и определении предельной степени вытяжки  $K_B = D/d$ , при которой происходит разрыв колпачка.

Поскольку метод выдавливания сферической лунки отличается простотой и экономичностью, он принят как основной вид испытаний для

оценки способности тонколистовых металлов к вытяжке. Условия проведения испытания регламентированы ГОСТ 10510-80.

**Материалы, инструмент, оборудование.** Для выполнения работы используются:

- машина для испытаний технологических свойств листового металла МТЛ-10Г или ручной прибор типа ПТЛ;
- пуансон и матрица диаметром соответственно 20 и 27 мм;
- образцы размером 90×90 мм из декапированной и качественной углеродистой стали, меди или латуни толщиной 0,5; 0,8; 1; 1,5; мм.

**Выполнение работы.** Смазанные с обеих сторон тонким слоем индустриального масла образцы зажимают между матрицей и прижимным кольцом машины (зажимным винтом прибора) усилием не менее 10 кН. Плавно перемещая пуансон со скоростью 10...25 мм/мин, выдавливают лунку до появления трещины в металле. Заданную скорость перемещения пуансона обеспечивают рукояткой дросселя испытательной машины либо медленным равномерным вращением маховичка прибора. О появлении трещины в образце узнают по падению усилия, фиксируемого на шкале силоизмерителя испытательной машины либо визуально при наблюдении за процессом выдавливания с помощью зеркала, установленного на приборе.

Данные экспериментов сводят в таблицу 19.1.

Таблица 19.1

№ п.п.	Металл	Толщина металла, мм	Глубина лунки, мм	Форма трещины	Качество поверхности лунки

Делают заключение о качестве металла.

## 19.2. Исследование процесса вырубки листового металла в штампах

**Цель работы:** ознакомление с процессом вырубки листового металла; установление зависимости усилия вырубки от свойств материала и его толщины; определение влияния величины зазора на усилие вырубки и качество среза.

**Общие сведения.** Вырубка (пробивка) – наиболее распространенная технологическая операция листовой штамповки. Она применяется как для получения готовых изделий, так и заготовок под дальнейшую обработку. Процесс вырубки (пробивки) сопровождается пластической деформацией смятия, изгиба и сдвига. В результате вблизи кромок вырубленного изделия (пробитого отверстия) создается наклепанная зона повышенной твердости. При этом плоскостность заготовки нарушается. Завершается процесс отделением одной части материала от другой в результате образования скалывающихся трещин у режущих кромок матрицы и пуансона.

Поверхность среза состоит из нескольких участков, существенно отличающихся по шероховатости: блестящего пояска с шероховатостью Ra 1,25–0,32, образованной в результате сдвига, и матовой поверхности с шероховатостью Ra 2,5–40, образованной в результате развития скалывающих трещин. Качество поверхности среза – высота блестящего пояска, угол наклона к вертикали матовой шероховатой поверхности – существенно зависит от зазора между пуансоном и матрицей. Зазор, при котором получается наилучшее качество поверхности разделения, называют оптимальным. Значения оптимальных зазоров изменяются в зависимости от механических свойств и толщины штампуемого материала и приводятся в справочной литературе.

Основным фактором, влияющим на усилие вырубki, является сопротивление материала срезу  $\sigma_{cp}$ . Оно зависит в первую очередь от прочности материала (для металлов оно составляет  $(0,8...0,85)\sigma_b$ ) и затем от зазора между матрицей и пуансоном, состояния режущих кромок и их геометрии, формы и размеров вырубаемого изделия.

Усилие вырубki (пробивки) зависит от толщины и свойств штампуемого материала и длины контура вырубаемого изделия:

$$P = kL_k S \sigma_{cp} \quad ,$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий состояние режущих кромок, неравномерность зазора, отклонения от номинала в толщине материала и его свойствах ( $k = 1,2...1,3$ );

$L_k$  – длина контура вырубаемого изделия, мм;

$S$  – толщина материала, мм.

Сопротивление материала срезу определяется экспериментально при испытании материала на срез по формуле:

$$\sigma_{cp} = P_{max} / (L_k S) \quad ,$$

где  $P_{max}$  – максимальное усилие вырубki.

Испытания проводят с острыми кромками пуансона и матрицы при оптимальном зазоре между ними. При этих условиях  $P_{max}$  и  $\sigma_{cp}$  получаются наименьшими. Все отклонения от идеальных условий вырубki (пробивки) в производственных условиях учитываются коэффициентом  $k = 1,2...1,3$ .

**Материалы, инструмент, оборудование.** Вырубка производится в вырубном штампе простого действия (рис. 19.2) с комплектом быстросменных пуансонов на универсальной испытательной машине. Для изучения процесса вырубki используют полосы шириной 35...40 мм из конструкционной стали толщиной 1; 1,5; 2 и 3 мм, алюминия и латуни толщиной 3 мм.

**Выполнение работы.** В работе изучается влияние следующих факторов на сопротивление срезу:

а) толщины материала при вырубке мягкой стали толщиной 1; 1,5; 2 и 3 мм. Вырубку производят пуансоном диаметром 29,8 мм.

б) величины зазора при вырубке заготовок из алюминия толщиной 3 мм тремя сменными пуансонами, диаметры которых указаны в табл. 19.2;

в) прочности материала при штамповке заготовок из всех материалов толщиной 3 мм.

Во всех эксперимента фиксируется максимальное усилие вырубки по силоизмерителю машины и визуально оценивается качество поверхности среза.

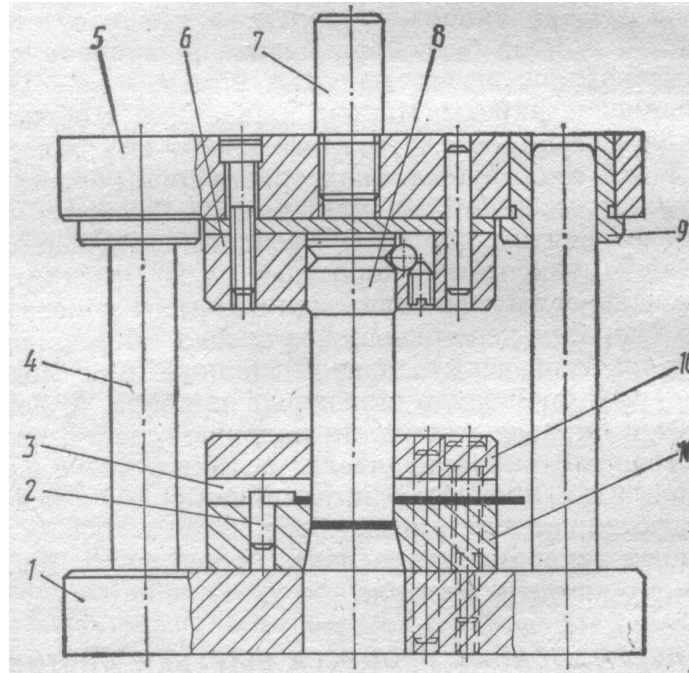


Рис. 19.2. Вырубной штамп:

- 1 – нижняя плита; 2 – упор; 3 – направляющая линейка;  
 4 – направляющая колонка; 5 – верхняя плита; 6 – пуансонодержатель;  
 7 – хвостовик; 8 – сменный пуансон;  
 9 – направляющая втулка; 10 – жесткий съемник; 11 – вырубная матрица

Таблица 19.2

Диаметр матрицы, мм	Диаметр пуансона, мм	Зазор (в процентах от толщины штампуемого материала)
30	29,60	13 % (нормальный)
–	29,95	1,5 % (малый)
–	29,0	33 % (большой)

Для всех образцов определяется относительная величина двустороннего зазора. По формуле  $\sigma_{ср} = P/(L_k S)$  определяется сопротивление материала срезу. Коэффициент  $k$  при этом не учитывается, так как условия штамповки строго определены.

Строятся графики зависимости сопротивления срезу от толщины и предела прочности материала, величины двустороннего зазора.

Результаты каждого эксперимента анализируются, и делается вывод о том, какие зазоры являются наиболее оптимальными.

### 19.3. Изучение явления пружинения при гибке

**Цель работы:** изучение явления пружинения и влияния на него механических свойств металла, радиуса изгиба и усилия гибки.

**Общие сведения.** Гибка является одной из наиболее распространенных формоизменяющих операций листовой штамповки и осуществляется в штампах на прессах, на специальных гибочных машинах, в ручных и механических приспособлениях.

В условиях пластического деформирования полная деформация включает как пластическую, так и упругую составляющие. При разгрузке тела от действия внешних сил упругая деформация исчезает и происходит изменение формы и размеров тела по сравнению с конечным моментом нагружения. Такое явление называется упругим последствием или пружинением. Пружинение имеет место при всех процессах обработки металлов давлением, однако при гибке вследствие особенностей процесса и формы изделий влияние пружинения на изменение формы и размеров особенно значительно.

В процессе гибки наружные слои, расположенные со стороны матрицы, испытывают растяжение, а внутренние, обращенные к пуансону, – сжатие. Между ними находится не изменяющийся по длине нейтральный слой. По окончании гибки при разгрузке упругая деформация исчезает. Это приводит к некоторому укорочению наружных и удлинению внутренних слоев. В результате происходят заметные отклонения от заданного взаимного расположения полков изогнутой заготовки после разгрузки.

При гибке в результате пружинения изменяются и радиус и угол изгиба заготовки (рис. 19.3). Пружинение приводит к необходимости корректировать размеры рабочих частей штампа.

Эффект пружинения оценивается по разному в зависимости от относительного радиуса  $r/s$ , где  $r$  – радиус кривизны пуансона,  $s$  – толщина материала. При малых относительных радиусах гибки ( $r < 10s$ ) изменение радиуса изгиба заготовки в результате пружинения незначительно, и им можно пренебречь.

Показателем пружинения в этом случае служит угол пружинения  $\Delta\alpha = \alpha_1 - \alpha$ , где  $\alpha$  – угол изогнутой заготовки до разгрузки (угол инструмента),  $\alpha_1$  – после разгрузки. Здесь возможны два случая. Если  $r < 3s$ , угол пружинения имеет отрицательное значение. Изогнутые полки отпружинивают в сторону уменьшения угла, заданного инструментом, т. е.  $\alpha_1 < \alpha$ . Если  $r > 3s$ , угол положительный, следовательно,  $\alpha_1 > \alpha$ .

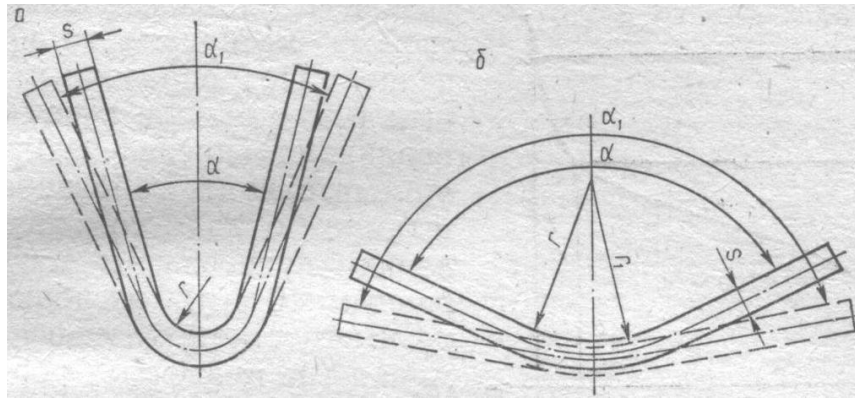


Рис. 19.3. Случаи пружинения изогнутых заготовок:  
*a* – гибка с малыми радиусами ( $r < 10s$ );  
*б* – гибка с большими радиусами ( $r > 10s$ )

При больших относительных радиусах гибки ( $r > 10s$ ) показателями пружинения являются угол пружинения  $\Delta\alpha$  и упругое изменение радиуса  $\Delta r = r_1 - r$ , где  $r_1$  – внутренний радиус изогнутой заготовки после разгрузки.

Экспериментальными исследованиями установлено, что на пружинение главным образом влияют механические свойства металла, относительный радиус изгиба и усилие гибки. Чем выше предел текучести материала  $\sigma_T$  и больше относительный радиус изгиба  $r/s$ , тем значительнее упругое пружинение. С увеличением усилия деформирования в конце процесса гибки пружинение уменьшается. Существенному уменьшению пружинения способствует калибровка в конце гибки, обеспечивающая пластическое смятие поверхностных слоев материала заготовки с одновременной чеканкой угла. Однако увеличение усилия калибровки сверх определенного значения нецелесообразно, так как это не приводит к заметному уменьшению пружинения.

Наглядное представление о характере деформирования для случая одноугловой гибки дает диаграмма «усилие гибки – ход пуансона» (рис. 19.4).

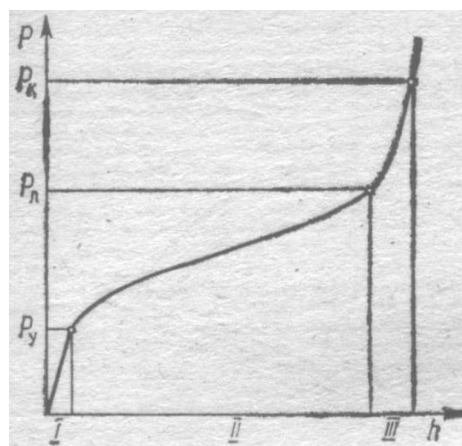


Рис. 19.4. Диаграмма «усилие гибки – ход пуансона»:  
*I* – область упругого изгиба; *II* – область пластического изгиба;  
*III* – область калибровки

**Материалы, инструмент, оборудование.** Для выполнения работы необходимы:

- универсальная испытательная машина;
- гибочный штамп с V-образной матрицей и углом гибки  $90^\circ$ ;
- набор гибочных пуансонов с радиусами закругления равными 5, 10, 15, 20 и 25 мм;
- образцы размером  $2 \times 40 \times 110$  мм из листовой латуни, алюминия и сталей двух марок с различным содержанием углерода;
- измерительные инструменты – угломер, радиусомер, штангенциркуль и линейка.

### **Выполнение работы.**

#### *1. Изучение влияния механических свойств материала на пружинение.*

По справочным данным или опытным путем устанавливают предел текучести  $\sigma_T$  материала образцов. В штампе с радиусом закругления пуансона и матрицы, равным 10 мм, изгибают образцы из стали, латуни и алюминия (не менее трех образцов для каждого материала). Гибку производят без калибровки. При выполнении всех опытов записывают диаграмму «усилие гибки – ход пуансона». После гибки измеряют углы  $\alpha_1$  изогнутых образцов и определяют углы пружинения  $\Delta\alpha$ . Полученные данные заносят в таблицу.

По результатам опытов строят график зависимости угла пружинения от предела текучести материала.

#### *2. Изучение влияния радиуса изгиба на пружинение.*

В штампе с радиусами закругления пуансонов 5, 10, 15, 20 и 25 мм изгибают образцы из стали одной марки. Гибку (не менее трех образцов для каждого радиуса) производят без калибровки с записью диаграммы «усилие гибки – ход пуансона». После гибки измеряют углы  $\alpha_1$  и радиусы  $r_1$  изогнутых образцов и определяют углы пружинения  $\Delta\alpha$  и упругое изменение радиуса  $\Delta r$ . Полученные данные записывают в таблицу.

По результатам опытов строят графики зависимости  $\Delta\alpha$  и  $\Delta r$  от радиуса изгиба  $r$ .

#### *3. Изучение влияния усилия гибки на пружинение.*

В штампе с радиусом закругления пуансона, равным 20 мм, изгибают образцы из стали одной марки. Гибку производят при нескольких деформирующих усилиях, фиксируемых записью диаграммы «усилие гибки – ход пуансона». Для каждого деформирующего усилия производят не менее трех опытов. После гибки определяют углы  $\alpha_1$  изогнутых образцов и углы пружинения  $\Delta\alpha$ . Полученные данные записывают в таблицу.

По результатам опытов строят график зависимости угла пружинения от усилия гибки.

После выполнения работы делают вывод о влиянии механических свойств материала, радиуса изгиба и усилия гибки на пружинение.

#### 19.4. Определение минимального радиуса изгиба листовых заготовок

**Цель работы:** определение минимального радиуса изгиба в зависимости от направления волокна проката и содержания углерода в стали.

**Общие сведения.** Знание минимального радиуса изгиба листовой заготовки имеет большое практическое значение, так как позволяет определить возможные радиусы сопряжения отдельных участков изогнутых деталей и выбрать правильные режимы гибки.

При гибке наружные слои заготовки растягиваются. Причем, чем меньше радиус гибки заготовки, тем больше деформация растяжения наружных слоев. Величина деформации растяжения и соответственно напряжения могут достичь таких значений, которые вызовут разрушение заготовки.

Первые признаки разрушения появляются в средней по ширине части заготовки. Дальнейшее деформирование характеризуется появлением большого числа микротрещин, а затем и первой макротрещины, которая развивается в направлении кромок и приводит к разрушению заготовки.

Радиус изгиба, соответствующий началу разрушения, называется минимальным  $R_{\min}$ .

**Материалы, инструмент, оборудование.** При выполнении работы используются:

- универсальная испытательная машина;
- гибочный штамп с V-образной матрицей и углом гибки 90 °;
- пуансон с радиусом закругления 5 мм;
- плоские бойки;
- образцы с размерами 3×40×110 мм из листовой стали с различным содержанием углерода. Из одного листа или полосы вырезаются образцы двух видов: одни вдоль направления прокатки, другие – поперек;
- измерительный инструмент: радиусомер, угломер и штангенциркуль.

**Выполнение работы.** Образцы подвергают гибке в штампе. Изгибается не менее трех образцов каждого вида и каждой марки стали. Гибка в штампе прерывается в случае появления трещины на наружной стороне образца. Если после гибки на образце не обнаружены трещины, то гибка образца продолжается путем сплющивания между плоскими бойками до появления трещины.

После гибки определяется радиус  $r$  и внутренний угол  $\alpha$  изогнутой заготовки.

Данные опытов заносятся в табл. 19.3 и 19.4.



Таблица 19.3

№ п.п.	Материал образца	Направление волокон проката	Угол изогнутой заготовки, соответствующий началу разрушения $\alpha$ , град.	Внутренний радиус образца, соответствующий началу разрушения $R$ , мм	Характер разрушения

Таблица 19.4

№ п.п.	Материал образца	Содержание углерода С, %	Угол изогнутой заготовки, соответствующий началу разрушения $\alpha$ , град.	Внутренний радиус образца, соответствующий началу разрушения $R$ , мм	Характер разрушения

По полученным данным строятся графики зависимости минимального радиуса изгиба от содержания углерода в стали и делаются соответствующие выводы. Необходимо зарисовать характер разрушения.

### 19.5. О пределение минимального коэффициента вытяжки цилиндрических деталей

**Цель работы:** ознакомление с процессом вытяжки цилиндрических изделий без утонения стенки на первом переходе; установление зависимости наименьшего коэффициента вытяжки от механических свойств и толщины штампуемого материала; определение усилий, необходимых для вытяжки изделий при различных условиях.

**Общие сведения.** Вытяжка – процесс получения из плоской или полый заготовки полого изделия, открытого с одной стороны. Вытяжкой получают изделия самой различной формы – круглые, прямоугольные, фасонные. Наиболее простой и распространенной операцией является получение цилиндрических изделий.

В зависимости от требуемых глубины и диаметра изделия вытяжка производится в одну или несколько операций. На первой операции происходит свертывание плоской заготовки в полое изделие определенного диаметра, на последующих операциях – уменьшение его диаметра и увеличение высоты. Различают вытяжку цилиндрических деталей без утонения и с утонением стенки.

На рис. 19.5, а приведено схематическое изображение процесса вытяжки цилиндрического колпачка без утонения стенки из плоской заготовки (кружка).

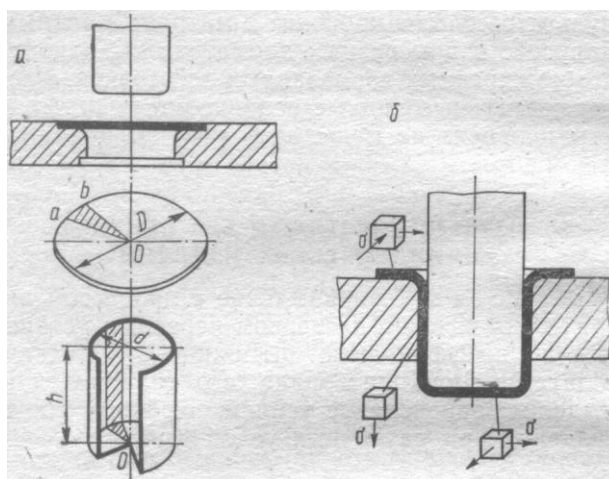


Рис. 19.5. Вытяжка цилиндрического колпачка:

*a* – схема процесса вытяжки;

*б* – схема напряженного состояния при вытяжке без прижима

В процессе вытяжки заготовка диаметром  $D$  превращается в цилиндр диаметром  $d$  и высотой  $h$  за счет вытеснения металла из фланца. Вытесняемый металл условно изображен в виде заштрихованных секторов. Как видно, часть треугольника, приходящаяся на дно изделия, изменяется весьма мало, часть же, образующая стенку, превращается в прямоугольник и претерпевает наибольшие изменения.

Процесс вытяжки характеризуется наличием радиальных растягивающих и тангенциальных сжимающих напряжений (рис. 19.5, б). В донной части вытягиваемой заготовки действуют сравнительно небольшие двухосные растягивающие напряжения, вызывающие незначительное утонение дна (1...3 %). В стенке возникают растягивающие напряжения, убывающие от дна к краю фланца изделия. Наибольшее их значение будет в месте перехода дна в стенку изделия; на краю фланца напряжения растяжения равны нулю. Во фланце изделия действуют напряжения растяжения и тангенциального сжатия. Последние возрастают от нуля в вертикальной стенке изделия до наибольшего значения у края фланца. Действующие напряжения при прочих равных условиях тем больше, чем больше диаметр заготовки, протягиваемой через данную матрицу. Отношение диаметра изделия  $d$  к диаметру заготовки  $D$  принимается за степень формоизменения при вытяжке и носит название коэффициента вытяжки:

$$m = d/D.$$

Чем меньше  $m$ , тем интенсивнее идет вытяжка. Коэффициент вытяжки ограничивается либо образованием складок во фланцевой части заготовки либо обрывом дна изделия. Образование складок обусловлено потерей устойчивости плоского фланца под действием тангенциальных сжимающих напряжений при вытяжке относительно тонкой заготовки. При вытяжке относительно толстой заготовки коэффициент вытяжки ограничивается ее

разрушением в зоне перехода донной части заготовки в стенку (опасное сечение) от действия продольных растягивающих напряжений при достижении ими предела прочности материала.

Наименьший (предельно допустимый) коэффициент вытяжки зависит в первую очередь от механических свойств материала. В частности, чем меньше отношение предела текучести  $\sigma_T$  к пределу прочности  $\sigma_B$ , тем меньше коэффициент вытяжки.

На коэффициент вытяжки без прижима сильное влияние оказывает толщина заготовки: чем толще металл, тем он сильнее сопротивляется образованию складок, тем меньше коэффициент.

Для того чтобы произвести вытяжку, необходимо приложить некоторое усилие, которое зависит от механических свойств материала и его толщины, размера изделия, коэффициента вытяжки, коэффициента трения между заготовкой и инструментом, радиуса закругления матрицы и пуансона. Для его определения применяются либо теоретические, либо эмпирические формулы.

Усилие вытяжки без прижима можно определить по формуле:

$$P = \pi d s K_{BT} \sigma_B \quad ,$$

где  $d$  – диаметр вытягиваемой детали по срединной линии;

$s$  – толщина материала;

$K_{BT}$  – коэффициент, зависящий от коэффициента вытяжки;

$\sigma_B$  – предел прочности материала.

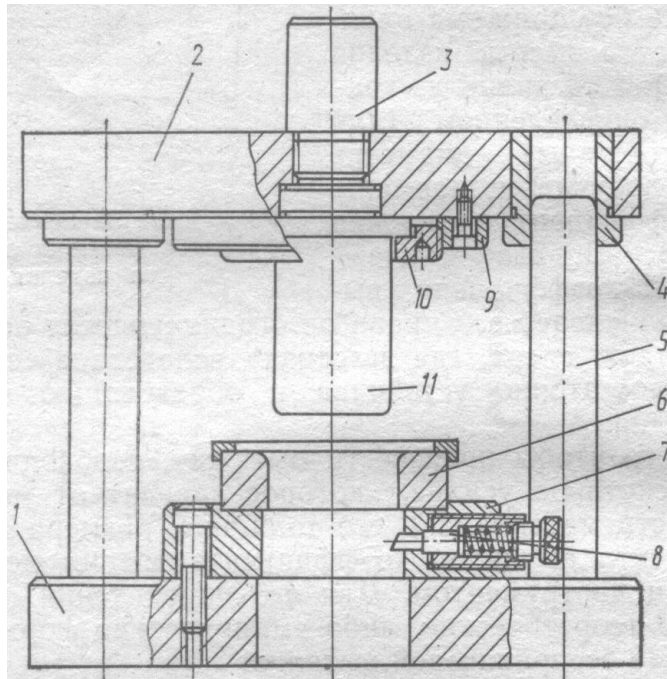


Рис. 19.6. Вытяжной штамп:

1 и 2 – нижняя и верхняя плиты; 3 – хвостовик; 4 – направляющие втулки;  
5 – направляющие колонки; 6 – матрица; 7 – матрицедержатель; 8 – съемник;  
9 – кольцо; 10 – пуансонодержатель; 11 – пуансон

При вытяжке с коэффициентами близкими к предельно допустимым растягивающие напряжения в опасном сечении близки к пределу прочности материала заготовки ( $K_{BT} = 1$ ). Для других коэффициентов вытяжки значения  $K_{BT}$  принимаются по таблице 19.5.

Таблица 19.5

m	0,55	0,58	0,60	0,63	0,65	0,68	0,70	0,73	0,75	0,78	0,80
$K_{BT}$	1,00	0,93	0,86	0,79	0,72	0,66	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40

**Материалы, инструмент, оборудование.** Для выполнения работы необходимы:

- универсальная испытательная машина;
- вытяжной штамп для бесприжимной вытяжки (рис. 19.6) с набором сменных пуансонов;
- заготовки из стали марки 10 толщиной 1; 1,5; 2; 3 мм, алюминия толщиной 1,5 мм, дюралюминия – 1,5 мм, латуни Л68 – 1,5 мм;
- масло индустриальное;
- измерительный инструмент: микрометр и штангенциркуль.

### **Выполнение работы.**

1. *Изучение зависимости коэффициента вытяжки от механических свойств материала.* При выполнении эксперимента проводится вытяжка колпачков из стали, алюминия, дюралюминия и латуни толщиной 1 мм на матрице с диаметром рабочего отверстия 50 мм. При вытяжке без утонения толщина образуемой стенки увеличивается по направлению к открытому концу вытягиваемого изделия. Для предотвращения протяжки утолщенного края заготовки в вытяжном зазоре последний должен быть на 25–30% больше толщины исходной заготовки. С учетом этого вытяжку образцов толщиной 1 мм следует проводить пуансоном с диаметром  $47,5 \pm 0,1$  мм. Вытяжку осуществляют, постепенно увеличивая диаметр заготовок до определения наибольшего диаметра для каждого материала, при котором получают годные изделия.

Во время экспериментов фиксируется усилие вытяжки.

На основании проведенных экспериментов определяются наименьшие коэффициенты вытяжки и строятся графики в координатах  $m = f(\sigma_T/\sigma_B)$ .

2. *Изучение зависимости коэффициента вытяжки от толщины материала.* Кружки различных диаметров из стали толщиной 1,5; 2 и 3 мм протягиваются через матрицу диаметром 50 мм и определяются наибольшие диаметры заготовок, при которых получают годные изделия (для толщины 1 мм используются данные, полученные при выполнении пункта 1). Требуемая величина одностороннего зазора для каждой толщины материала обеспечивается подбором пуансона соответствующего диаметра.

Во время экспериментов фиксируется усилие вытяжки.

На основании полученных данных определяются наименьшие коэффициенты вытяжки и строятся графики в координатах  $m = f(s)$ .

3. Сравниваются расчетные усилия вытяжки с усилиями, полученными экспериментально.

Делаются выводы по всем разделам работы.

## 19.6. Изучение процесса многопереходной вытяжки без прижима

**Цель работы:** ознакомление с процессом вытяжки на последующих переходах; установление характера изменения величины предельно допустимого коэффициента вытяжки в зависимости от номера перехода; определение величины усилия, необходимого для вытяжки.

**Общие сведения.** Процессы деформации металла при вытяжке на первом и последующих переходах сильно различаются. Если на первом переходе используется плоская заготовка из листового металла, еще не подвергавшегося холодной деформации, то на последующих переходах штамповке подвергается полая заготовка из металла, получившего наклеп на предыдущих операциях.

Другим важным различием является то, что на первом переходе объем металла, участвующий в деформации, все время уменьшается, тогда как на последующих переходах он остается примерно постоянным, уменьшаясь только в конце процесса.

Прочность наиболее напряженной части изделия (области перехода от дна к стенке) остается примерно постоянной на всех переходах, так как каждый раз эта область располагается на новом, еще не деформированном участке дна.

Вследствие наклепа металла его пластичность с каждым переходом уменьшается, а сопротивление деформированию увеличивается. В связи с этим значение коэффициента вытяжки возрастает от перехода к переходу. Вначале имеет место заметное возрастание коэффициента вытяжки, в дальнейшем он изменяется менее резко, стремясь к единице. Для восстановления пластичности при многооперационной вытяжке вводят промежуточный отжиг. Однако если правильно построить технологический процесс вытяжки, т.е. полностью использовать пластические свойства металла на каждом переходе, можно получить значительную суммарную степень деформации без применения отжига.

Общий (суммарный) коэффициент вытяжки равен произведению коэффициентов вытяжки на отдельно взятых операциях

$$m_{\text{об}} = m_1 \cdot m_2 \cdot m_3 \cdot \dots \cdot m_{n-1} \cdot m_n = d_1/d_0 \cdot d_2/d_1 \cdot d_3/d_2 \cdot \dots \cdot d_{n-2}/d_{n-1} \cdot d_n/d_{n-1}.$$

Усилие вытяжки на последующих переходах резко возрастает в начале вытяжки, плавно растет до некоторого максимума в конце операции и затем падает.

Усилие вытяжки на последующих переходах можно определять по упрощенной формуле:

$$P = 1,3\pi d_{\text{п}} s \sigma_{\text{в}} \left( \frac{1}{m_n} - 1 \right),$$

где  $d_{\text{п}}$  – диаметр изделия на данной операции;  
 $m_n$  – коэффициент вытяжки на данной операции.

**Материалы, инструмент, оборудование.** Работа выполняется на универсальной испытательной машине. В качестве инструмента применяется штамп, описание которого дано в работе 3.6. Штамп снабжен комплектом сменных матриц и пуансонов, размеры которых указаны в табл. 19.6.

Таблица 19.6

Диаметры матриц, мм	Диаметры пуансонов, мм
13; 15; 17; 18; 19; 20; 22; 24; 26; 29; 32; 39; 43; 47; 50	10,6; 12,5; 13,6; 14,6; 15,6; 16,8; 17,8; 19,5; 21,5; 22,8; 25; 28; 29,5; 30; 31,5; 32,5; 34; 35,6; 36,8; 38; 39,5; 40,8; 42; 43,5; 44,8; 47,5

В качестве заготовок используются цилиндрические колпачки из стали толщиной 1 мм. В качестве смазки применяется машинное масло. Необходимые замеры производятся микрометром и штангенциркулем.

**Выполнение работы.** Полые заготовки диаметром 50 мм протягиваются через матрицу меньшего диаметра, который определяется пробными вытяжками. Матрица должна быть наименьшей из всех, через которую можно протянуть данный колпачок без образования складок или обрыва дна. После установления наименьшего диаметра матрицы через нее протягиваются последовательно все заготовки. Затем процесс повторяется для следующего перехода и т. д. Всего необходимо сделать не менее четырех последующих переходов.

В процессе штамповки фиксируется усилие вытяжки.

По данным, полученным из экспериментов, строится график в координатах «коэффициент вытяжки – порядковый номер перехода».

По вышеприведенной формуле рассчитывается усилие, необходимое для вытяжки на всех переходах, и сравнивается со значением усилия, полученным из эксперимента.

Используя данные расчетов и экспериментов, строится график «сопротивление деформированию – суммарный коэффициент вытяжки». Во время штамповки ведется наблюдение за качеством получаемых стаканов.

После завершения работы делаются выводы.

### 19.7. Изучение процесса вытяжки с утонением стенок

**Цель работы:** ознакомление с процессом вытяжки с утонением стенки; определение степени деформации.

**Общие сведения.** Вытяжка с утонением (протяжка) применяется для получения изделий, у которых стенка тоньше дна. Заготовка, в качестве которой служит предварительно вытянутый колпачок, протягивается через матрицу с зазором меньшим толщины стенки полой заготовки. При протяжке происходит уменьшение толщины стенки изделия, а также небольшое уменьшение наружного и внутреннего диаметров (рис. 3.6). В результате увеличивается высота детали. На последней операции производят вытяжку с зазором равным толщине стенки готового изделия.

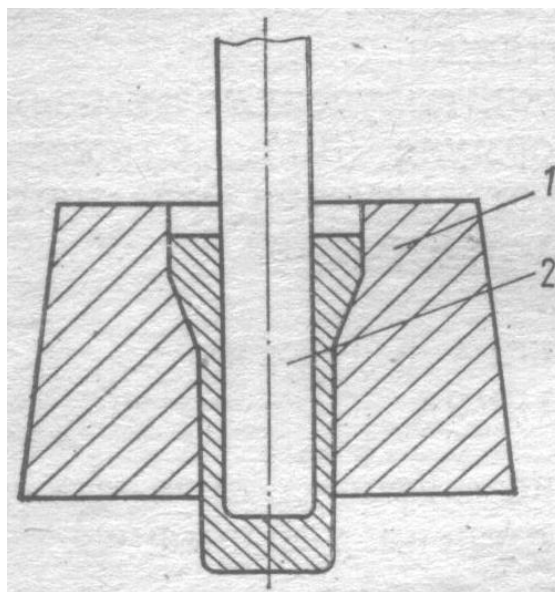


Рис. 19.7. Схема вытяжки с утонением:  
1 – матрица; 2 – пуансон

Вытяжка может осуществляться последовательно через две или три матрицы. В этом случае можно получить большую степень деформации за один ход пресса.

Так как основной деформацией является утонение стенок, изменением внутреннего диаметра при расчете степени деформации можно пренебречь.

Степень деформации определяется по формуле:

$$K_y = \frac{F_1 - F_2}{F_1} \approx \frac{S_1 - S_2}{S_1},$$

где  $F_1$  и  $F_2$  – площадь поперечного сечения стенок изделия до и после деформации;

$S_1$  и  $S_2$  – толщина стенок изделия до и после деформации.

При технологических расчетах вытяжки с утонением можно пользоваться коэффициентом утонения стенки:

$$m_s = S_n / S_{n-1},$$

где  $S_{n-1}$  и  $S_n$  – толщина стенки до и после протяжки.

Количество операций вытяжки определяется по суммарным коэффициентам утонения:

$$m_s = m_{s1} \cdot m_{s2} \cdot m_{s3} \cdot \dots = S_n / S_0,$$

где  $S_n$  – толщина стенки готового изделия;

$S_0$  – толщина стенки заготовки.

**Материалы, инструмент, оборудование.** Для выполнения работы необходимы:

- универсальная испытательная машина;
- штамп с набором пуансонов, диаметр рабочей части которых равен 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 и 17 мм;
- вытяжная матрица с диаметром рабочего отверстия 18 мм;
- заготовки в виде колпачков из латуни, алюминия и стали, полученные точением из прутка (диаметр внутренней полости заготовки равен диаметру пуансона, рис. 3.7);
- масло индустриальное.

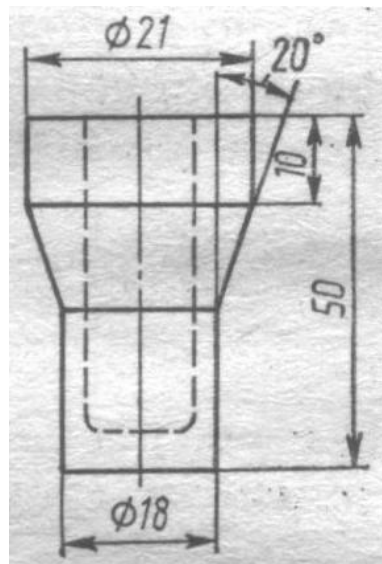


Рис. 19.8. Образец для вытяжки с утонением

**Выполнение работы.** Заготовки с различными внутренними диаметрами протягиваются через матрицу. В процессе опытов фиксируется максимальное усилие вытяжки, определяется коэффициент утонения и степень деформации для исследуемых металлов. Строятся графики зависимости усилия вытяжки от степени деформации.

После окончания работы делаются выводы



## 19.8. Изучение устройства штампа для вырубки и пробивки

**Цель работы:** изучение конструкции и принципа работы штампа последовательного действия для вырубки пружинной шайбы.

**Общие сведения.** Штампом называют технологическую оснастку, с помощью которой заготовка в процессе ее обработки давлением приобретает требуемые форму и размеры. Штамп – сложный инструмент, состоящий из большого числа деталей различного функционального назначения. Детали штампов подразделяются на детали технологического назначения, непосредственно находящиеся во взаимодействии со штампуемым материалом, и конструктивные элементы, имеющие сборочно-монтажное назначение.

К деталям технологического назначения относятся рабочие, фиксирующие, прижимные и удаляющие детали. К рабочим (деформирующим) деталям относятся пуансоны и матрицы, выполняющие разделение или формоизменение заготовки; к фиксирующим – направляющие планки для материала, упоры, фиксаторы, трафареты, шаговые ножи, обеспечивающие необходимое положение заготовки во время выполнения операции; к прижимным и удаляющим – прижимы, съемники, выталкиватели, сбрасыватели и ножи для резки отхода, служащие для удержания заготовки, а также для съема и удаления детали и отхода после выполнения операции.

К деталям конструктивного назначения относятся монтажные, направляющие и крепежные детали. К монтажным деталям относятся плиты, пуансонодержатели и подкладные плитки, служащие для монтажа деталей штампа; к направляющим – колонки и втулки, служащие для взаимного направления верхней и нижней частей штампа; к крепежным – болты, винты, гайки, штифты, хвостовики.

Кроме того, в некоторых штампах применяются детали кинематического назначения, обеспечивающие необходимые перемещения частей штампа, в том числе преобразование вертикального движения ползуна прессы в поступательные, вращательные, колебательные движения отдельных элементов штампов и вспомогательных устройств.

Штамп состоит из двух основных сборочных единиц – блока и пакета. Блок служит для крепления пакета и совмещения рабочих деталей штампа во время штамповки. Он состоит из верхней и нижней плит, направляющих колонок и втулок. Для штампов небольших размеров в состав блока входит еще и хвостовик.

Плиты служат для монтажа всех деталей штампа. Верхняя плита, на которой смонтированы детали подвижной части штампа, крепится с помощью хвостовика к ползуну прессы. У штампов больших габаритных размеров верхняя плита крепится к ползуну прессы болтами или прижимами, аналогично крепится нижняя плита штампа к столу прессы. В этом случае хвостовик вовсе не ставят, а если и применяют, то только для облегчения установки штампа в центре ползуна, используя для этого центральное отверстие последнего. На нижней плите, которая закрепляется на

подштамповой плите, устанавливаемой на столе прессы, монтируется неподвижная часть штампа.

Направляющие колонки и втулки служат для точного направления одной части штампа относительно другой.

Пакет включает комплект деталей, обеспечивающих выполнение заданных операций штамповки. В пакет собираются рабочие и вспомогательные детали штампа, которые служат для фиксации и крепления рабочих деталей, а также для выполнения действий, сопровождающих штамповочные операции. В пакет входят пуансоны, матрицы, пуансонодержатели, съемники, выталкиватели, упоры, фиксаторы, направляющие линейки и пр. Пакет крепится в блоке штампа.

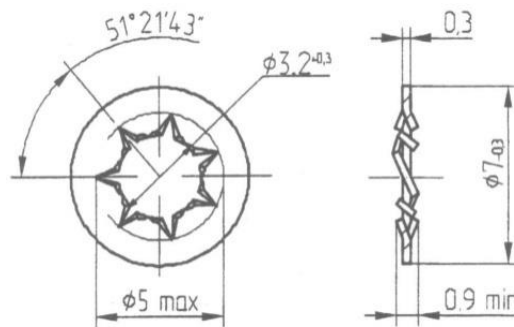
По числу выполняемых операций штампы подразделяют на штампы простого действия, предназначенные для выполнения одной операции, и комбинированные, выполняющие одновременно несколько операций. Комбинированные штампы в свою очередь, делятся на штампы последовательного и совмещенного действия.

В штампах последовательного действия выполняется несколько технологических операций или переходов на нескольких позициях различными парами пуансонов и матриц за соответствующее число ходов прессы при последовательном перемещении заготовки, причем одновременно деформируется количество полуфабрикатов, равное количеству рабочих позиций.

В штампах совмещенного действия инструмент расположен концентрично, и на одной рабочей позиции выполняется одновременно несколько различных операций.

**Описание устройства и работы штампа последовательного действия для вырубки пружинной шайбы.**

Для изготовления пружинной шайбы, эскиз которой приведен на рис.3.8, необходимо выполнение следующих штамповочных операций: пробивка отверстия  $3,2^{+0,30}$  мм, надрезка семи радиальных участков от диаметра отверстия до диаметра 5 мм, отгибка надрезанных участков заготовки в размер 0,9 мм и вырубка детали по контуру.



Материал: лента 65Г - С - Н - 0,3 х М) ГОСТ 2283-79

Рис.19.9. Эскиз детали «Шайба пружинная»

С целью повышения производительности труда и более экономного использования материала в штампе применен четырехрядный раскрой ленты (рис.19.10).

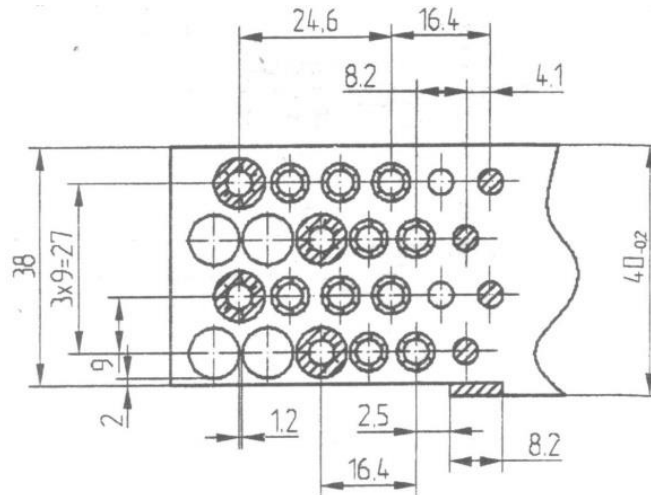


Рис.19.10. Схема раскроя полосы

Конструкция штампа приведена на рис.19.10, 19.11 и 19.12. Штамп содержит нижнюю 1 и верхнюю 9 плиты, направляющие колонки 17, 18 и направляющие втулки 19, 20, которые вместе с хвостовиком 8, установленным в верхней плите, образуют штамповый блок.

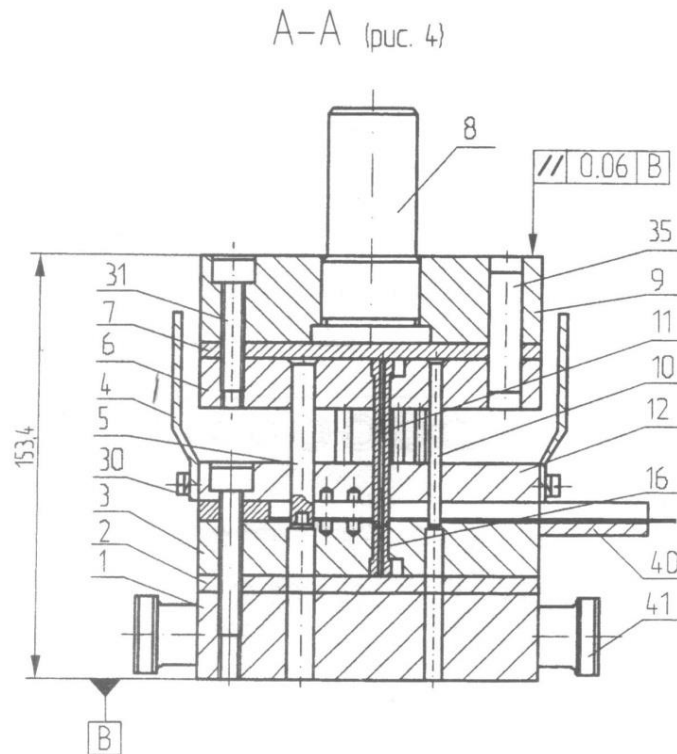


Рис.19.11. Продольный разрез штампа

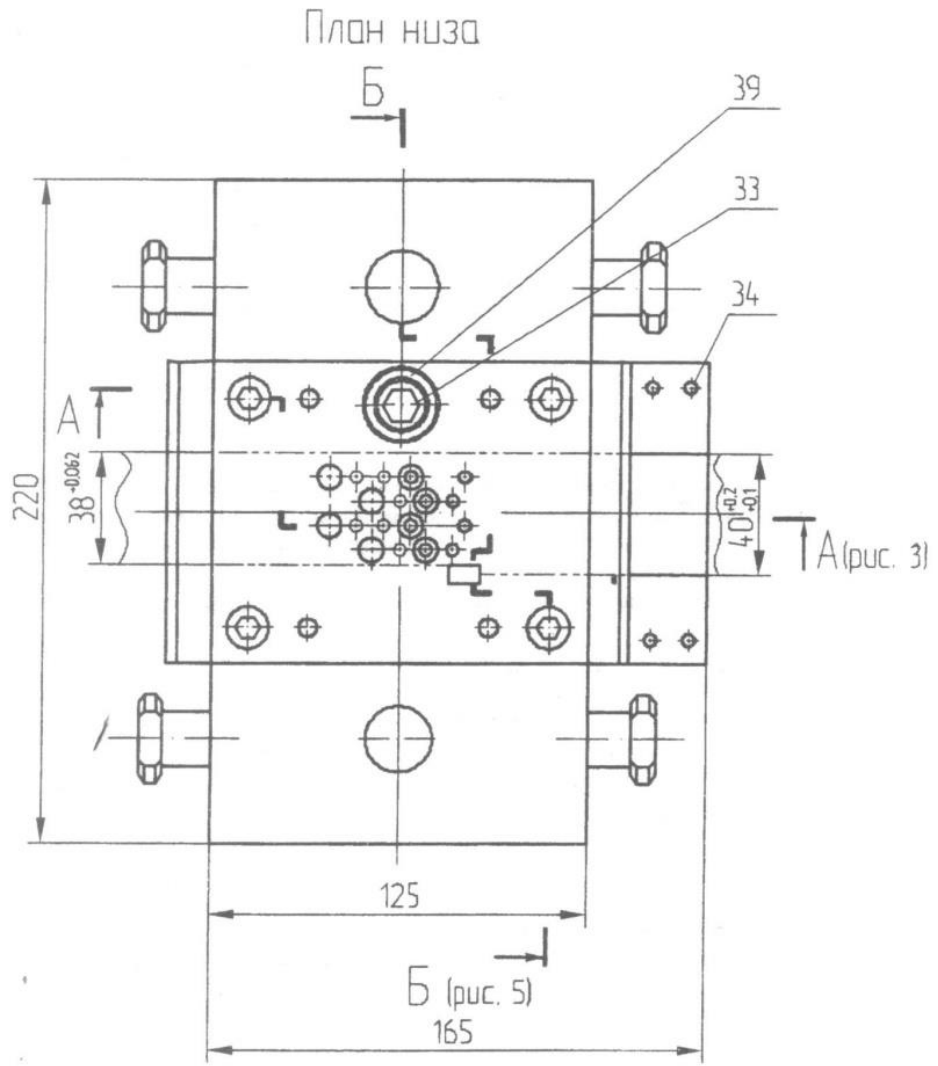


Рис.19.12. План низа штампа

Б-Б ○ (рис. 4)

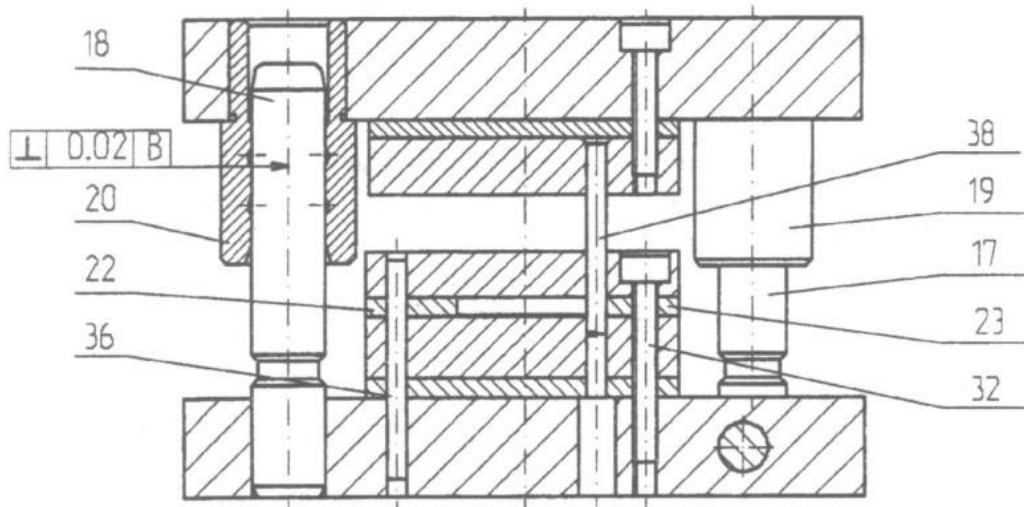


Рис.19.13. Поперечный разрез штампа

Хвостовик 8 служит для крепления верхней плиты штампа к ползуну пресса.

Верхняя часть штампа при перемещении направляется по колонкам 17 и 18, которые запрессованы в нижней плите 1. Направляющие втулки 19 и 20 запрессованы в верхней плите 9. С целью исключения неправильного совмещения верхней и нижней частей штампа направляющие колонки выполнены разного диаметра.

Для крепления пуансонов к верхней плите штампа применяется пуансонодержатель 6, в котором пробивные пуансоны 10, вырубные пуансоны 5 и шаговый нож 38 удерживаются с помощью расклепки, а пуансоны для надрезки 11 – спомощью буртиков. Пуансонодержатель 6 с пуансонами крепится к верхней плите 9 с помощью двух штифтов 35 и четырех винтов 31 с внутренним шестигранным углублением под ключ.

С целью предотвращения смятия верхней плиты пуансонами между пуансонодержателем 6 и плитой 9 установлена подкладная плитка 7 (подкладная плитка ставится в том случае, когда давление от пуансонов на верхнюю плиту больше допустимого для материала плиты).

Шаговый нож 38 предназначен для обрезки края ленты с целью повышения точности шага подачи материала (рис.3.9).

На нижней плите 1 установлена матрица 3, направляющие 22 и 23, служащие для правильного направления ленты, неподвижный съёмник 12 для снятия ленты с пуансонов. Крепление съёмника 12, направляющих 22 и 23 и матрицы 3 к нижней плите осуществляется через подкладную плитку 2 четырьмя штифтами 36 и четырьмя винтами 32 с шестигранным углублением под ключ. Съёмник расположен на расстоянии от верхней плоскости матрицы, достаточном для свободного перемещения ленты.

В матрице установлены встречные пуансоны 16 для надрезки и отгибки "усов". С целью предотвращения поломки надрезных пуансонов 11 и 16 предусмотрен ограничитель 39, который крепится на съёмнике 12 с помощью винта 33.

Для исключения попадания пальцев между съёмником и пуансонодержателем предусмотрены защитные щитки 4.

Для транспортировки штампа в нижней плите установлены транспортировочные штыри 41.

При сборке штампа необходимо обеспечить равномерное распределение зазора между пуансоном и матрицей. Это достигается тем, что сначала пуансонодержатель и матрицу закрепляют винтами предварительно. Затем регулируют зазор между пуансоном и матрицей до его равномерного распределения по всему периметру рабочего отверстия. После этого окончательно затягивают винты и одновременно в верхней плите и пуансонодержателе сверлят отверстия под штифты, просверленные отверстия развёртывают и забивают штифты. Отверстия под штифты в нижней плите сверлят и развёртывают по отверстиям в матрице. Если во время ремонта производится разборка штампа, то при последующей его сборке штифты должны быть установлены в других местах.

Применение винтов не с наружным, а с внутренним шестигранником объясняется тем, что необходимый диаметр гнезда для головки с внутренним шестигранником примерно в 2 раза меньше, чем для головки с наружным шестигранником с учетом ключа для него. Что касается винтов с прорезью, то их применяют только в исключительных случаях. Такие винты завинчивают отверткой, в силу чего их нельзя так надежно затянуть, как винты, имеющие шестигранник.

Для крепления деталей штампа применяют цилиндрические штифты. Штифты служат не только для правильного центрирования деталей при сборке, но и для восприятия боковых нагрузок во время работы штампов. Диаметры штифтов обычно принимают больших размеров, чем диаметры, полученные расчетом на срез, и, как правило, не менее 6 мм. Такой выбор обеспечивает надежность работы штампа и удобство в эксплуатации. Кроме того, штифты малых диаметров при большой их длине могут быть погнуты.

При ходе ползуна вниз верхняя часть штампа, закрепленная на ползуне, опускается. При этом пуансоны 10, воздействуя на ленту, пробивают четыре отверстия 3,2 мм, а отрезной нож 38 обрезает край ленты длиной 8,2 мм (рис.3.9). При следующем ходе ползуна лента перемещается на расстояние 8,2 мм (шаг подачи), при этом на первой позиции производится пробивка четырех новых отверстий 3,2 мм, а на второй позиции – надрезка и отгибка "усов" пуансонами 11 и 16. На третьей позиции производится вырубка четырех деталей пуансонами 5. Отходы от пробитых отверстий и вырубленные детали проталкиваются пуансонами в матрицу и удаляются через провальное отверстие в нижней плите и столе пресса.

После каждого рабочего хода лента остаётся на пуансонах. При обратном ходе ползуна пресса происходит съём отхода с пуансонов с помощью съёмника 12. Лента подается в штамп вручную или с помощью автоматического подающего устройства.

#### ***Оборудование, инструмент, документация.***

Для выполнения работы необходимы:

- слесарный верстак;
- набор слесарного инструмента;
- документация: сборочный чертеж штампа, комплект рабочих чертежей деталей штампа, таблица допусков и посадок.

#### ***Выполнение работы.***

1. Ознакомиться с описанием устройства штампа.
2. Разобрать штамп.
3. Определить функциональное назначение деталей штампа.
4. Собрать штамп.
5. По рабочим чертежам деталей определить отклонения размеров и, используя таблицы допусков и посадок, установить характер сопряжения (вид посадки и класс точности сопряжения) следующих деталей: пуансоны - пуансонодержатель; колонка направляющая - нижняя плита; втулка направляющая - верхняя плита; колонка направляющая - втулка направляющая; хвостовик - верхняя плита; штифт - сопрягаемые с ним детали (пуансонодержатель, матрица, плиты и др.).

6. По рабочим чертежам деталей определить марку материала, из которого изготовлены детали, качество обработки поверхности и вид термообработки.

7. Оформить отчет по работе.

### ***Порядок разборки и сборки штампа***

#### Разборка штампа.

1. Снять верхнюю часть штампа с направляющих колонок.
2. Разобрать верхнюю часть штампа в следующей последовательности:
  - выбить два штифта (поз.35);
  - отвернуть четыре крепёжных винта 31;
  - снять пуансонодержатель 6 с пуансонами;
  - снять подкладную плитку 7;
  - выбить хвостовик 8.
3. Разобрать нижнюю часть штампа в следующей последовательности:
  - снять два щитка ограждения 4, отвернув четыре винта 30;
  - снять ограничитель закрытой высоты 39, отвернув винт 33;
  - выбить четыре штифта 36;
  - отвернуть четыре винта 32;
  - снять съёмник 12, направляющие планки 22 и 23, матрицу 3 и подкладную плитку 2.

#### Сборка штампа.

1. На нижнюю плиту 1 установить подкладную плитку 2, матрицу 3, направляющие планки 22 и 23, съёмник 12; забить четыре штифта 36; завинтить четыре винта 32; установить ограничитель закрытой высоты 39 и завинтить винт 33; установить ограждение 4, закрепив его винтами 30.
2. На верхней плите установить хвостовик 8, подкладную плитку 7, пуансонодержатель 6 с пуансонами; забить два штифта 35; завинтить четыре винта 31.
3. Собрать верхнюю и нижнюю части штампа.

#### Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Назначение деталей штампа, материалы из которых они изготовлены и термообработка их.
3. Эскизы сопрягаемых деталей с обозначением посадок и указанием шероховатости сопрягаемых поверхностей.

**Вспомогательный раздел  
Учебная программа дисциплины**

**Белорусский национальный технический университет**

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по учебной работе  
Белорусского национального  
технического университета

\_\_\_\_\_ О.К. Гусев

\_\_\_\_\_ /уч.  
Регистрационный № УД-\_\_\_\_\_

**ТЕХНОЛОГИЯ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ**

**Учебная программа учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине для специальности**

**1-36 01 05 «Машины и технология обработки материалов давлением»**

**2017г.**



Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта ОСВО 1-36 01 05-2013

**СОСТАВИТЕЛИ:**

**Л.А.Исаевич**, профессор кафедры «Машины и технология обработки металлов давлением» Белорусского национального технического университета, доктор технических наук, профессор;

**С.А.Ленкевич**, ассистент кафедры «Машины и технология обработки металлов давлением» Белорусского национального технического университета

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

**И. В. Качанов**, заведующий кафедрой «Кораблестроение и гидравлика» Белорусского национального технического университета, доктор технических наук, профессор;

**Г. Н. Здор**, заведующий кафедрой «Робототехнические системы» Белорусского национального технического университета, доктор технических наук, профессор

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой «Машины и технология обработки металлов давлением»  
Белорусского национального технического университета  
(протокол № \_\_\_\_\_ от «\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.)

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ К.Е.Белявин

Методической комиссией механико-технологического факультета  
Белорусского национального технического университета  
(протокол № \_\_ от «\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.)

Председатель методической комиссии \_\_\_\_\_ Н.И.Иваницкий

Научно-методическим советом Белорусского национального технического университета (протокол № \_\_\_\_\_ секции №1 от \_\_\_\_\_ 2017г.)

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебная программа по учебной дисциплине «Технология листовой штамповки» разработана для специальности 1 – 36 01 05 «Машины и технология обработки материалов давлением».

Основная цель дисциплины - подготовка специалистов, способных решать вопросы технологии промышленного производства деталей машин, аппаратов и приборов, а также правильно оценивать, разрабатывать и реализовывать новые наиболее перспективные и оптимальные технологические процессы листовой штамповки.

Задача дисциплины - формирование умений и навыков осуществлять общий анализ процессов листовой штамповки и способы интенсификации их, разрабатывать технологическую документацию на новую технологию, выбирать наиболее оптимальный вариант технологического процесса, рассчитывать его, осуществлять расчет, техническое и рабочее проектирование инструментальной оснастки.

Решение этих задач достигается с учетом указанной выше основной цели дисциплины на основе умений, навыков и знаний, приобретенных студентами к началу ее изучения, а именно:

- составления алгоритмов и программ для решения математических задач, знать дифференциальное и интегральное исчисление, решение дифференциальных уравнений, векторное и тензорное исчисление, предусмотренных в курсах «Информатика», «Математика»;

- чтения и составления рабочих и сборочных чертежей соответственно требованиям программы курса «Инженерная графика»;

- производить обоснованный выбор материалов элементов конструкций инструментальной оснастки с обоснованием норм твердости и видов термической и упрочняющей обработки соответственно требованиям программы курса «Материаловедение»;

- разрабатывать схемы деформирования, рассчитывать основные технологические и энергосиловые параметры процессов пластической деформации, знать основные понятия (дислокация, ресурс пластичности, упрочнение, сверхпластичность, интенсивность напряжений и деформаций, скорости деформаций, неразрывность деформаций и др.), основные величины, характеризующие состояние пластичности, параметры деформации при переходе в пластическое состояние и разрушение при пластическом деформировании, методы анализа напряженного и деформированного состояния, рассматриваемые в курсе «Теория обработки металлов давлением»;

- наметить принципиальную схему технологического процесса изготовления элементов конструкции инструментальной и технологической оснастки соответственно требованиям программы курса «Технология материалов»;

- осуществлять обоснованный выбор норм точности изготовления, допусков и посадок при проектировании инструментальной и технологической оснастки соответственно требованиям программы курса «Нормирование точности и технические измерения»;

– производить расчеты на прочность, устойчивость и усталость при проектировании инструментальной и технологической оснастки соответственно требованиям курсов «Теория механизмов машин и манипуляторов» и «Детали машин».

***В результате изучения учебной дисциплины «Технология листовой штамповки» студент должен:***

*знать:*

- классификацию основных операций листовой штамповки;
- схемы деформирования и физическую сущность протекающих процессов при их выполнении, поле распределения напряжений и деформаций на разных участках очага деформаций;
- методику расчета основных технологических и энергосиловых параметров при выполнении операций листовой штамповки;

*уметь:*

- разрабатывать технологическую документацию на штамповку деталей;
- выбирать наиболее оптимальный вариант технологического процесса, рассчитывать его;
- осуществлять расчет, технологическое и рабочее проектирование инструментальной и технологической оснастки;

*владеть:*

- методикой определения механических и технологических свойств листового материала;
- методикой разработки технологических процессов листовой штамповки;
- навыками проектирования конструкции штампов, их узлов и деталей и расчета деталей штампов на прочность.

Освоение данной учебной дисциплины обеспечивает формирование следующих компетенций:

- АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.
- АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом.
- АК-3. Владеть исследовательскими навыками.
- АК-4. Уметь работать самостоятельно.
- АК-6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.
- АК-10. Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности.
- АК-11. Применять соответствующий физико-математический аппарат, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в физике, химии, экологии для решения проблем, возникших в ходе профессиональной деятельности.
- СЛК-4. Владеть навыками здоровьесбережения.
- СЛК-5. Быть способным к критике и самокритике.
- СЛК-6. Уметь работать в коллективе.
- ПК-1. Выбирать критерии оптимального построения технологических процессов пластического формообразования деталей.

– ПК-2. Создавать условия для соответствия режимов работы агрегатов (поточных линий, технологических участков) действующим правилам и нормам, используя результаты (данные) технологического процесса производства.

– ПК-3. Выявлять причины неоптимальности технологического процесса производства и разрабатывать пути их устранения на основе анализа показателей работы объектов производства и технического состояния оборудования.

– ПК-4. Принимать участие в развитии комплекса автоматизированных систем технологической подготовки производства для обеспечения своевременности, качества и надежности снабжения производства технологической оснасткой.

– ПК-5. Разрабатывать технологическую документацию, принимать участие в создании стандартов и нормативов.

– ПК-6. Проводить технические разработки и на их основе принимать на современном уровне инженерные решения по уменьшению материало- и энергоемкости производства.

– ПК-7. Рассчитывать потери металла и анализировать технологичность выпускаемых изделий (поковок, штамповок и др.) в соответствии с технологическими возможностями предприятия.

– ПК-8. Подбирать необходимое технологическое оборудование для серийного и крупносерийного производства изделий.

– ПК-9. Определять причины и намечать пути предотвращения брака заготовок и деталей (поковок, штамповок и пр.).

– ПК-10. Выполнять технико-экономическое обоснование вариантов организации производства или реконструкции объекта производственной системы.

– ПК-14. Профессионально эксплуатировать современное оборудование и приборы.

– ПК-16. Производить своевременно ремонт и техническое обслуживание технологического оборудования и штамповой оснастки.

– ПК-17. Осуществлять оперативный контроль за функционированием технологических систем (агрегатов, линий, участков) и их элементов и режимами их работы.

– ПК-18. Обеспечивать необходимые технологии проведения ремонтов и проверять состояние элементов технологических систем после их ремонта, вести необходимую технологическую документацию по ремонту.

– ПК-19. Контролировать строгое соблюдение технологии.

Согласно учебным планам на изучение учебной дисциплины отведено:

– для очной формы получения высшего образования всего 250 ч., из них аудиторных – 132 часов; на курсовой проект отводится всего 60 часов;

– для заочной формы получения высшего образования всего 250 ч., из них аудиторных – 28 часов; на курсовой проект отводится всего 60 часов;

– для заочной формы получения высшего образования интегрированного со средним специальным образованием всего 250 ч., из них аудиторных – 24 часов, на курсовой проект отводится всего 60 часов.

Распределение аудиторных часов по курсам, семестрам и видам занятий приведено в табл.1,2,3.

Таблица 1.

Очная форма получения высшего образования					
Курс	Семестр	Лекции, ч.	Лабораторные занятия, ч.	Практические занятия, ч.	Форма текущей аттестации
3	6	34			зачет
4	7	48	16	16	экзамен
4	8			18	защита курсового проекта

Таблица 2.

Заочная форма получения высшего образования					
Курс	Семестр	Лекции, ч.	Лабораторные занятия, ч.	Практические занятия, ч.	Форма текущей аттестации
4	8	6			
5	9	10	8	4	экзамен
5	10				защита курсового проекта

Таблица 3.

Заочная форма получения высшего образования интегрированного со средним специальным образованием					
Курс	Семестр	Лекции, ч.	Лабораторные занятия, ч.	Практические занятия, ч.	Форма текущей аттестации
3	4	2			
3	5	10	8	4	экзамен
3	6				защита курсового проекта

## СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

### Раздел 1. Введение

#### **Тема 1.1 Общая характеристика технологии листовой штамповки**

Область и масштабы применения технологии листовой штамповки, ее значение в общем комплексе технологии машиностроения. Достоинства листовой штамповки. История развития, современное состояние и перспективы развития технологии листовой штамповки.

Объем и последовательность изучения дисциплины. Литература.

Общие положения штамповки листового материала. Понятие о рабочем инструменте и штампе. Классификация операций листовой штамповки и их характеристика.

### **Раздел 2. Материалы для листовой штамповки и оценка их штампуемости**

#### **Тема 2.1 Материалы для листовой штамповки**

Соображения по выбору материала для штампуемых деталей. Характеристика листового проката в виде листов, полос, ленты, рулонов, холодно- и горячекатаного.

Характеристика холоднокатаных низколегированных сталей повышенной прочности, в том числе двухфазных сталей с ферритно-мартенситной структурой (ДФМС). Легированные листовые стали (хромистые и хромоникелевые коррозионно- и жаростойкие), их характеристика и область применения.

Стальной листовой прокат специального назначения: декапированная сталь, жечь биметаллы и т.п. Листовой прокат из цветных металлов и сплавов. Назначение. Характеристики. Применение.

Сортамент листового проката. Маркировка. ГОСТы.

#### **Тема 2.2 Неметаллические материалы для листовой штамповки и особенности их деформирования**

Неметаллические материалы, применяемые для листовой штамповки: особенности структуры, физических и механических свойств, область применения. Особенности деформирования неметаллических материалов. Пластические массы слоистой и гомогенной структуры, материалы на основе бумаги и резины, материалы минерального происхождения, комбинированные материалы. Композиционные материалы (композиты), их особенности, область применения.

#### **Тема 2.3 Изменение свойств листового металла в процессе обработки и с течением времени**

Появление линий течения и скольжения (неглубоких рисок и углублений) на поверхности листового стали при штамповке с небольшими степенями деформации. Линии течения в условиях двухосного растяжения хаотично

расположены, линии скольжения в условиях сжато-растянутой схемы напряженного состояния имеют определенный рисунок. Причины появления линий течения и скольжения и факторы, влияющие на их появление. Меры борьбы (дрессировка, многовалковая гибка).

Коррозионное растрескивание. Причины появления, меры борьбы с коррозионным растрескиванием.

Деформационное и естественное («временное») старение металла. Меры борьбы со старением. Текстура деформации. Образование «фестонов». Влияние исходной анизотропии на «фестонообразование».

#### **Тема 2.4 Штампуемость. Методы оценки штампуемости листового материала**

Понятие штампуемости. Факторы, влияющие на штампуемость: хим. состав, размер и форма зерен, наличие и форма неметаллических включений, структурное состояние, тип кристаллической решетки, исходная анизотропия, склонность к деформационному старению, полосчатость микроструктуры, качество поверхности, наличие внешних и внутренних дефектов и т.д.

Способы испытания листовых материалов.

Физико-химические исследования (химический анализ и металлографические исследования).

Механические испытания (испытание на растяжение, определение твердости и др.). Влияние характеристик механических свойств на штампуемость металла, в том числе коэффициента нормальной анизотропии  $A_n$ , показателя деформационного упрочнения  $\phi$  и относительного равномерного удлинения  $\delta$ . Влияние твердости на штампуемость металла, методы определения твердости листового материала (по Бринеллю, Роквеллу, Викерсу, испытание на микротвердость). Корреляция результатов испытаний.

Технологические испытания (технологические пробы), назначение, методика проведения.

Испытания на вырубку-пробивку для определения сопротивления срезу и высоты блестящего пояса, испытания на перегиб и изгиб, испытания на глубину формовку лунки (по А.Эриксену).

Дополнительные способы технологических испытаний – вытяжка цилиндрического колпачка с последующим отрывом дна (метод Энгельгардта-Гросса, А.Ю.Аверкиева), вытяжка конического колпачка (метод Фукуи), расширение отверстия - отбортовка (метод А.Зибеля и А.Помпа), протягивание клинового образца (метод Г.Закса), вытяжка колпачка в условиях динамического нагружения (метод Петраша) и др.

#### **Тема 2.5 Корреляция результатов испытаний листовых материалов на штампуемость.**

Понятие о ресурсе пластичности. Коэффициент локального использования пластичности по А.Д.Томленову, коэффициент использования ресурса пластичности по В.Л.Колмогорову, их применение при оценке штампуемости металла.

Диаграммы предельных деформаций по С.П.Келеру, Г.М.Гудвину (США), И.П.Ренне, методика построения и использования.

### **Раздел 3. Основные положения теории листовой штамповки**

#### **Тема 3.1 Уравнение равновесия. Уравнение пластичности применительно к операциям листовой штамповки**

Напряженно-деформированное состояние. Влияние различных факторов на процесс пластической деформации при листовой штамповке. Уравнение равновесия. Уравнение пластичности применительно к операциям листовой штамповки. Учет влияния силы трения, упрочнения на поле напряжений и деформаций. Методика учета влияния изгиба на поле напряжений.

### **Раздел 4. Разделительные операции листовой штамповки**

#### **Тема 4.1 Механизм деформирования в разделительных операциях. Оптимальный зазор**

Механизм деформирования в разделительных операциях. Размерные характеристики инструмента в разделительных операциях. Характер деформирования заготовки, схема действия сил. Развитие очага деформации во времени. Стадии деформирования.

Схемы напряженного состояния, эпюры напряжений и деформаций в очаге деформации. Характер поверхности среза - зоны скругления, смятия, скалывания, блестящий пояс. Условия встреч трещин скалывания. Понятие об оптимальном зазоре. Факторы, влияющие на величину оптимального зазора. Влияние зазора на качество поверхности среза.

#### **Тема 4.2 Расчет силовых параметров и работа деформации в разделительных операциях.**

Изменение усилия деформирования по пути. Влияние упрочнения и поворота главных кристаллографических осей на максимальное усилие деформирования. Величина бокового усилия. Работа деформирования.

Величина упрочненной зоны. Факторы, влияющие на величину зоны пластической деформации – свойства материала заготовки, скорость деформирования, величина зазора, степень притупления режущих кромок. Образование торцевого заусенца.

Понятие сопротивления срезу в разделительных операциях.

Особенности процесса разделения неметаллических материалов.

#### **Тема 4.3 Отрезка на ножницах с возвратно-поступательным движением ножей**

Характеристика операции «отрезка». Отрезка на ножницах с возвратно-поступательным движением ножей – с параллельным и наклонным расположением режущих кромок. Схемы отрезки. Области применения.

Факторы, влияющие на искажение формы отрезаемой заготовки.



Усилие, боковые усилия и работа деформирования при отрезке. Зазор между режущими кромками. Конструкции и материал ножей. Главные параметры ножниц.

#### **Тема 4.4 Отрезка на ножницах с вращательным движением ножей**

Область применения. Условия захвата. Минимальный диаметр ножа (диска), обеспечивающий устойчивый процесс отрезки. Усилие отрезки и крутящий момент.

Возможные схемы взаимного расположения ножей. Двухдисковые и многодисковые ножницы, области их применения. Продольная отрезка широкорулонной ленты на специализированных линиях продольной резки.

Отрезка в штампах. Особенности отрезки профильного проката. Особенности отрезки труб. Схемы штампов.

Характеристика операции «вырезка». Вырезка на дисковых ножницах с наклонным расположением ножей. Особенности их настройки. Факторы, влияющие на величину минимального радиуса кривизны вырезаемого контура.

Вырезка на вибрационных ножницах. Особенности их настройки и эксплуатации.

#### **Тема 4.5 Вырубка и пробивка**

Характеристика операций вырубки и пробивки, назначение, область применения. Форма очага пластической деформации. Схемы действия сил и напряженного состояния в очаге деформации, характер распределения напряжений и деформаций. Причины, вызывающие неравномерное распределение напряжения и деформаций по очагу деформации.

«Направление» зазора. Влияние зазора между пуансоном и матрицей на значение упругих деформаций. Методика определения исполнительных размеров рабочих частей пуансонов и матриц при вырубки и пробивке.

#### **Тема 4.6 Энергосиловые характеристики процесса вырубки и пробивки**

Усилие при вырубки и пробивке. График изменения усилия деформирования по ходу движения пуансона. Способы уменьшения усилия. Применение скошенных режущих кромок матрицы и пуансона. Совмещение вырубки с гибкой при скосах на пуансоне.

Перемычки при вырубки. Назначение перемычек и факторы, влияющие на рекомендуемую величину перемычек. Определение ширины исходной полосы, ленты и шага подачи.

Усилие проталкивания и съема. Точность при вырубки и пробивке. Факторы, влияющие на точность.

#### **Тема 4.7 Специальные способы вырубки и пробивки**

Особенности вырубки и пробивки при высоких скоростях деформирования.

Многопуансонная пробивка. Минимальные размеры пробиваемых отверстий. Факторы, влияющие на минимальные размеры пробиваемых

отверстий. Способы пробивки отверстий с размерами, значительно меньшими толщины заготовки.

Особенности вырубки и пробивки неметаллических материалов.

#### **Тема 4.8 Чистовая вырубка и пробивка**

Сущность способов чистовой вырубки и пробивки, особенности процесса, область применения.

Чистовая вырубка со сжатием. Схема рабочего инструмента, последовательность его работы. Назначение клинового ребра. Вырубка пуансоном полнее матрицы (с «отрицательным зазором»), с притуплением режущей кромки матрицы, в матрице с обратным конусом.

Чистовая пробивка пуансоном с притупленной режущей кромкой, ступенчатым и конусным пуансоном.

#### **Тема 4.9 Зачистка, надрезка и обрезка листового материала**

Зачистка наружного и внутреннего контуров. Схемы процесса. Область применения. Влияние величины припуска на точность и чистоту поверхности среза. Рекомендуемые величины припусков под зачистку. Усилие зачистки.

Расчет размеров пуансонов и матриц. Вырубка и пробивка с учетом последующей зачистки. Зазоры при зачистке.

Способы зачистки наружного контура: пуансоном меньше матрицы, пуансоном больше матрицы (с «отрицательным зазором»), зачистка обжатием (калибровка).

Совмещение вырубки с зачисткой и пробивка с зачисткой в одном штампе.

Виброзачистка. Влияние смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС) на чистоту поверхности и стойкость инструмента.

Характеристика операции надрезки. Деформирование заготовки при надрезке. Односторонняя надрезка. Двусторонняя надрезка. Схемы. Предельные степени деформации. Изготовление «безотходной» сетки. Конструкция рабочего инструмента для надрезки и его размерные характеристики.

Характеристика операции обрезки. Применение. Способы обрезки. Обрезка на станках резцами и дисковыми ножницами. Обрезка в штампах. Схемы штампов для обрезки фланца. Величина припуска на обрезку.

Совмещение вытяжки с обрезкой на первом и последующих переходах вытяжки.

Схема штампа для обрезки торца детали с движением инструмента по замкнутому контуру.

#### **Тема 4.10 Раскрой листового материала**

Понятие о раскрое. Показатели эффективности раскроя. Определение коэффициента использования материала, коэффициента раскроя. Влияние величины перемычки на ширину исходной полосы, ленты и шаг подачи.

Типы раскроев, области их применения. Способы отыскания оптимального раскроя. Оптимизация раскроя с помощью ЭВМ. Программное обеспечение. Пути повышения эффективности раскроя.

## **Раздел 5. Формоизменяющие операции листовой штамповки**

### **Тема 5.1 Общие положения анализа формоизменяющих операций**

Краткая методика анализа формоизменяющих операций. Принимаемые допущения. Оценка методов решения задач применительно к операциям листовой штамповки: совместного решения приближенных дифференциальных уравнений равновесия и пластичности, «инженерного», характеристик, верхней оценки, баланса работ, конечных элементов и т.д.

Используемые для анализа уравнения: равновесия, пластичности, связи напряжений и деформаций, несжимаемости.

Методика учета на поле напряжений: изгиба и спрямления, изменения толщины заготовки, упрочнения.

### **Тема 5.2 Гибка листового материала моментом и усилием**

Характер деформирования заготовки при гибке моментом. Зоны растяжения и сжатия. Зона немонотонной деформации.

Понятия: срединная поверхность, нейтральные поверхности напряжений и деформаций. Их радиусы кривизны.

Поля напряжений и деформаций при изгибе широкой и узкой полос моментом. Величина изгибающего момента. Величина усилия гибки и его изменение в процессе гибки.

### **Тема 5.3 Определение размеров исходной заготовки при гибке**

Определение размеров исходной заготовки при гибке по прямой определенного радиуса, под углом без закругления, при гибке толстых материалов.

Минимальный допустимый радиус гибки и факторы, влияющие на его величину.

### **Тема 5.4 Упругое пружинение при гибке и минимальный допустимый радиус гибки**

Упругое пружинение и факторы, влияющие на его величину. Способы компенсации угла пружинения. Точность деталей, полученных гибкой. Минимальный допустимый радиус гибки и факторы, влияющие на его величину.

### **Тема 5.5 Конструктивные элементы гибочных штампов**

Расчет исполнительных размеров пуансонов и матриц гибочных штампов.

### **Тема 5.6 Специальные способы гибки**

Специальные способы гибки: с растяжением, сжатием. Схемы процесса. Область применения.

Технологические схемы профилирования.

### **Тема 5.7 Процесс вытяжки листового материала**

Вытяжка листовых материалов. Характеристика процесса. Способы вытяжки и область применения. Анализ напряженно-деформированного состояния. Степень деформации и коэффициенты вытяжки. Предельная степень деформации при вытяжке. Анизотропия и ее влияние на вытяжку.

### **Тема 5.8 Расчет силовых параметров и работа деформации при вытяжке**

Расчет силовых параметров, работа деформации при вытяжке. Факторы, влияющие на величину максимальных напряжений в опасном сечении и соответственно усилие вытяжки.

### **Тема 5.9 Многооперационная осесимметричная вытяжка**

Многооперационная осесимметричная вытяжка. Формоизменение заготовки. Схема напряженного и деформированного состояния, распределение напряжений в очаге деформаций при последующих операциях вытяжки заготовки. Усилие вытяжки. Деформирование краевой части заготовки. Расчет числа операций при многопереходной вытяжке.

### **Тема 5.10 Методы определения размеров заготовки для вытяжки деталей типа тел вращения**

Аналитический, графический и графоаналитический методы определения размеров заготовки для вытяжки деталей типа тел вращения.

### **Тема 5.11 Вытяжка цилиндрических деталей с широким фланцем**

Вытяжка цилиндрических деталей с широким фланцем. Основные правила. Расчетная схема объемного перераспределения металла. Усилие деформации. Способ проталкивания полуфабриката в матрицу при вытяжке деталей с широким фланцем.

### **Тема 5.12 Вытяжка ступенчатых и конических деталей**

Вытяжка ступенчатых и конических деталей. Формоизменение заготовки. Силовые параметры процесса. Варианты многопереходной вытяжки конических деталей.

### **Тема 5.13 Последовательная вытяжка деталей в ленте**

Многооперационная последовательность вытяжки в ленте. Область применения. Способы вытяжки в ленте. Форма подрезов в ленте. Технологические расчеты процесса последовательной вытяжки в ленте.

### **Тема 5.14 Вытяжка коробчатых деталей**

Вытяжка коробчатых деталей. Схемы формоизменения и напряженно-деформированного состояния заготовки в процессе вытяжки коробчатых деталей. Распределение напряжений в части фланца на угловых скруглениях при вытяжке коробчатой детали.

### **Тема 5.15 Определение формы и размеров плоской заготовки при вытяжке коробчатых деталей**

Расчет формы, размеров плоской заготовки и выбор способа построения контура при вытяжке низких, средних и высоких коробчатых деталей.

### **Тема 5.16 Вытяжка цилиндрических деталей с утонением стенок**

Вытяжка цилиндрических деталей с утонением стенок. Схема процесса. Напряженно-деформированное состояние. Степени деформации при вытяжке с утонением. Установление числа операций. Усилия деформации при вытяжке с утонением.

### **Тема 5.17 Вытяжка кузовных (облицовочных) деталей**

Вытяжка кузовных (облицовочных) деталей. Особенности технологии штамповки кузовных деталей. Разработка вытяжных переходов при изготовлении кузовных деталей.

### **Тема 5.18 Конструктивные элементы вытяжных штампов**

Выбор радиусов закругления матрицы и пуансонов вытяжных штампов, зазора между матрицей и пуансоном. Расчет исполнительных размеров вытяжных матриц и пуансонов.

Роль смазки при вытяжке, характеристика смазок.

### **Тема 5.19 Отбортовка отверстий. Раздача и обжим.**

#### **Рельефная формовка, правка и чеканка**

Сущность процесса формоизменения заготовки при отбортовке отверстий. Напряженно-деформированное состояние. Коэффициент отбортовки и факторы, влияющие на его величину. Расчет силовых и технологических параметров при отбортовке отверстий.

Отбортовка с утонением материала, отверстий сложной формы и наружного контура.

Технологические схемы процессов. Схема внешних и внутренних сил при раздаче и обжиге и напряженно-деформированное состояние очага деформации. Степень деформации и предельный коэффициент деформирования. Расчет геометрических параметров заготовки. Усилие деформирования и работа деформации при раздаче и обжиге. Виды дефектов. Качество изделий.

Характеристика процесса формовки. Усилие формовки. Назначение и технологические схемы правки. Сущность чеканки. Силовые параметры процесса.

## **Раздел 6. Проектирование технологических процессов и штампов листовой штамповки**

### **Тема 6.1 Технологичность конструкции листовых штампованных деталей**

Общие технологические требования к конструкции листовых штамповочных деталей. Показатели технологичности.

Технологичность конструкции деталей, изготовленных с помощью разделительных операций (отрезка, вырубка, пробивка).

Технологичность конструкции деталей, изготовленных с помощью формоизменяющих операций.

Точность листоштампованных деталей, изготовленных посредством разделительных и формоизменяющих операций. Нормы точности.

Способы повышения технологичности конструкций листовых штампованных деталей.

Технологическая подготовка производства. Элементы системы автоматизированного проектирования технологических процессов листовой штамповки. Содержание технологической подготовки производства.

Содержание работ при проектировании и расчете технологических процессов. Этапы и порядок разработки технологических процессов листовой штамповки.

Выбор оптимального варианта технологического процесса. Формирование технического задания на проектирование штампа. Технологическая документация.

Сущность и назначение системы автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП). Информационная база программной системы. Технологические средства САПР ТП.

### **Тема 6.2 Штампы для листовой штамповки, расчет деталей штампов на прочность**

Классификация и типовая конструкция штампа. Классификация штампов по технологическому, конструктивному, эксплуатационному признаку, по количеству одновременно выполняемых операций за один проход прессы.

Типовая конструкция штампа. Назначение основных элементов штампа.

Материалы и термическая обработка рабочих деталей штампов. Требования к сталям для изготовления рабочих деталей штампов, их характеристика. Область применения сталей, модифицированного чугуна и сплавов на основе цинка для изготовления деталей штампов. Термическая обработка деталей штампов, область применения незакаленного инструмента.

Стойкость рабочих деталей штампов. Методы определения норм стойкости. Факторы, влияющие на стойкость штампов. Химико-термические и физические способы повышения стойкости штампов. Использование инструмента, армированного твердыми сплавами (вставками).

Элементы расчеты деталей штампов на прочность, устойчивость, жесткость. Расчет пуансонов малого диаметра на прочность и устойчивость.

Расчет матриц на прочность. Приближенный расчет плит штампов. Определение центра давления штампа.

### **Тема 6.3 Методика проектирования штампов**

Порядок и этапы проектирования штампов. Исходные данные. Выбор и обоснование конструктивной схемы штампа. Подбор стандартных деталей и сборочных единиц. Поверочный расчет на прочность и жесткость отдельных деталей штампа. Технологические расчеты.

Компоновка деталей штампа.

Требования техники безопасности и промышленной эстетики в конструкциях штампов.

Основные правила выполнения сборочных чертежей штампов.

Сущность системы автоматизированного проектирования штампов (САПР Ш). Организационно-методическое, программное, методическое и информационное обеспечение системы. Типовая схема функционирования системы автоматизированного проектирования штампов.

## **Раздел 7. Совершенствование технологии листовой штамповки**

### **Тема 7.1 Выбор оптимального варианта технологического процесса листовой штамповки**

Выбор оптимального варианта технологического процесса с учетом экономических показателей, повышения качества деталей, облегчения условий труда. Возможность отыскания оптимума на стыке смежных технологий (штампо-сварные конструкции).

Использование ЭВМ и создания САПР для оптимизации раскроя исходного материала, проектирования штампов и технологических процессов.

Проектирование технологических процессов для гибких производств.

Интенсификация технологических процессов листовой штамповки и повышение допустимых степеней деформации.

Совершенствование методики расчета и проектирования технологических процессов на основе широкого использования аналитических

решений теории обработки металлов давлением с привлечением ЭВМ как для расчетов, так и для оптимизации. Применение компьютерного моделирования на ЭВМ.

### **Тема 7.2 Мероприятия по технике безопасности и производственной санитарии в прессовых цехах**

Требования по технике безопасности и производственной санитарии: к производственным помещениям и цеховому транспорту, к ручному инструменту и приспособлениям, к штамповой оснастке, к оборудованию, применяемому в прессовых цехах.

### **Тема 7.3 Методика анализа технико-экономического уровня технологии листовой штамповки**

Технико-экономическая характеристика технологии листовой штамповки.  
Методика анализа технико-экономического уровня листовой штамповки.

#### **ТРЕБОВАНИЯ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ**

Цель курсового проекта - приобретение практических навыков самостоятельного проектирования технологических процессов листовой штамповки и конструирования штампов.

Курсовое проектирование развивает навыки самостоятельной работы, дает возможность студенту закрепить и углубить полученные знания, научиться умело использовать справочные материалы, периодическую отечественную и зарубежную научно-техническую литературу, материалы технической информации и т.п.

Проектирование и расчет технологического процесса предусматривает: анализ технологичности заданной детали, анализ возможных вариантов изготовления детали и выбор наиболее экономически целесообразного варианта, определение размеров и формы заготовки, выбор исходного материала и его раскрой, расчет технологических и энергосиловых параметров процесса, выбор оборудования, выбор схем организации рабочих мест.

Конструирование и расчет штампов включает: выбор типа штампа и отдельных его сборочных единиц, расчет исполнительных размеров рабочего инструмента, расчет отдельных деталей штампа на прочность, устойчивость, жесткость, составление конструктивных схем всех штампов, необходимых для изготовления детали, выполнение сборочных чертежей с элементами автоматизации и механизации и частичную детализацию.

Общий объем графической части проекта 4 - 5 листов формата А1.

Расчетно-пояснительная записка объемом 20-30 страниц рукописного текста формата А4 должна содержать технико-экономическое обоснование разрабатываемого технологического процесса, его актуальность и преимущества по сравнению с другими способами, определение размеров заготовки и исходного материала; расчеты технологических и энергосиловых параметров (предельного формоизменения, необходимого количества переходов, величин напряжений в опасном сечении, деформирующих усилий, работы деформирования и т.д.); выбор необходимого оборудования, расчет себестоимости.

В записке приводятся расчеты штампов и оснастки, описание их конструкции и работы, даются результаты теоретического анализа и экспериментальных исследований; показывается как результаты исследований использованы при разработке технологического процесса и штампов; указывается список использованной литературы и спецификации.

Желательно, чтобы курсовое проектирование сопровождалось использованием САПР.

Задание выдается индивидуально каждому студенту.

Пример задания на курсовой проект.



Тема: «Разработать технологический процесс листовой штамповки детали и спроектировать штамп для ее изготовления».

Исходные данные:

– чертеж детали, на котором должны быть проставлены все необходимые размеры, указана точность изготовления и чистота обработки, средства механизации и автоматизации.

В задании указывается содержание и объем проекта.

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**очная форма получения высшего образования**

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	<b>6 семестр</b>							
1	Введение							
1.1	Общая характеристика технологии листовой штамповки	1						
2	Материалы для листовой штамповки и оценка их штампуемости							
2.1	Материалы для листовой штамповки	1						
2.2	Неметаллические материалы для листовой штамповки и особенности их деформирования	1						
2.3	Изменение свойств листового металла в процессе обработки и с течением времени	2						
2.4	Штампуемость. Методы оценки штампуемости листового материала	4						
2.5	Корреляция результатов испытаний листовых материалов на штампуемость	2						
3	Основные положения теории листовой штамповки							
3.1	Уравнение равновесия. Уравнение пластичности применительно к операциям листовой штамповки	4						
4	Разделительные операции листовой штамповки							
4.1	Механизм деформирования в разделительных операциях.	2						

	Оптимальный зазор							
4.2	Расчет энергосиловых параметров и работа деформации в разделительных операциях	2						
4.3	Отрезка на ножницах с возвратно-поступательным движением ножей	2						
4.4	Отрезка на ножницах с вращательным движением ножей	2						
4.5	Вырубка и пробивка	2						
4.6	Энергосиловые характеристики процесса вырубки и пробивки	2						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
4.7	Специальные способы вырубки и пробивки	2						
4.8	Чистовая вырубка и пробивка	2						
4.9	Зачистка, надрезка и обрезка листового материала	1						
4.10	Раскрой листового материала	2						
	Итого за семестр:	34						зачет
	<b>7 семестр</b>							
5	Формоизменяющие операции листовой штамповки							
5.1	Общие положения анализа формоизменяющих операций	1						
2.4	Штампуемость. Методы оценки штампуемости листового материала				2			
5.2	Гибка листового материала моментом и усилием	3						
4.5	Вырубка и пробивка		2		2			
5.3	Определение размеров исходной заготовки при гибке	1	2					
5.4	Упругое пружинение при гибке и минимальный допустимый радиус гибки	2			4			
5.5	Конструктивные элементы гибочных штампов	3						
5.6	Специальные способы гибки	2						
5.7	Процесс вытяжки листового материала	2			2			
5.8	Расчет силовых параметров и работа деформации при вытяжке	2						
5.9	Многооперационная осесимметричная вытяжка	2			2			
5.10	Методы определения размеров заготовки для вытяжки деталей типа тел вращения	2	2					

5.11	Вытяжка цилиндрических деталей с широким фланцем	2	2					
5.12	Вытяжка ступенчатых и конических деталей	2	2					
5.13	Последовательная вытяжка деталей в ленте	2	2					
5.14	Вытяжка коробчатых деталей	2						
5.15	Определение формы и размеров плоской заготовки при вытяжке коробчатых деталей	2	2					
5.16	Вытяжка цилиндрических деталей с утонением стенок	2	2		2			
5.17	Вытяжка кузовных (облицовочных) деталей	2						
5.18	Конструктивные элементы вытяжных штампов	2						
5.19	Отбортовка отверстий. Раздача и обжим. Рельефная формовка, правка и чеканка	2						
6	Проектирование технологических процессов и штампов листовой штамповки							
6.1	Технологичность конструкции листовых штампованных деталей	1						
6.2	Штампы для листовой штамповки, расчет деталей штампов на прочность	3			2			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
6.3	Методика проектирования штампов	2						
7	Совершенствование технологии листовой штамповки							
7.1	Выбор оптимального варианта технологического процесса листовой штамповки	2						
7.2	Мероприятия по технике безопасности и производственной санитарии в прессовых цехах	1						
7.3	Методика анализа технико-экономического уровня технологии листовой штамповки	1						
	Итого за семестр:	48	16		16			экзамен
	<b>8 семестр</b>							
4.10	Раскрой листового материала		2					
5.5	Конструктивные элементы гибочных штампов		2					
5.18	Конструктивные элементы вытяжных штампов		2					
6.2	Штампы для листовой штамповки, расчет деталей штампов на		2					

	прочность							
6.3	Методика проектирования штампов		4					
7.1	Выбор оптимального варианта технологического процесса листовой штамповки		2					
7.2	Мероприятия по технике безопасности и производственной санитарии в прессовых цехах		2					
7.3	Методика анализа технико-экономического уровня технологии листовой штамповки		2					
	Итого за семестр:		18					защита курсового проекта
	Всего аудиторных часов						132	

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**заочная форма получения высшего образования<sup>1</sup>**

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	<b>8 семестр</b>							
2.4	Штампруемость. Методы оценки штампруемости листового материала	1						
4.1	Механизм деформирования в разделительных операциях. Оптимальный зазор	1						
4.5	Вырубка и пробивка	1						
5.2	Гибка листового материала моментом и усилием	1						
5.7	Процесс вытяжки листового материала	1						
5.19	Отбортовка отверстий. Раздача и обжим. Рельефная формовка, правка и чеканка	1						
	Итого за семестр:	6						
	<b>9 семестр</b>							
4.2	Расчет энергосиловых параметров и работа деформации в разделительных операциях	1						
4.5	Вырубка и пробивка				2			
4.6	Энергосиловые характеристики процесса вырубки и пробивки	1						

<sup>1</sup> Темы учебного материала, не указанные в Учебно-методической карте, отводятся на самостоятельное изучение студентом.

4.10	Раскрой листового материала	1						
5.3	Определение размеров исходной заготовки при гибке	1						
5.4	Упругое пружинение при гибке и минимальный допустимый радиус гибки				2			
5.5	Конструктивные элементы гибочных штампов	1						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
5.7	Процесс вытяжки листового материала				2			
5.10	Методы определения размеров заготовки для вытяжки деталей типа тел вращения	2						
5.15	Определение формы и размеров плоской заготовки при вытяжке коробчатых деталей	2						
5.18	Конструктивные элементы вытяжных штампов	1						
6.2	Штампы для листовой штамповки, расчет деталей штампов на прочность		2		2			
6.3	Методика проектирования штампов		2					
	Итого за семестр:	10	4		8			экзамен
	<b>10 семестр</b>							
	Курсовой проект							Защита курсового проекта
	Всего аудиторных часов:				28			

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

заочная форма получения высшего образования интегрированного со средним специальным образованием<sup>2</sup>

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	<b>4 семестр</b>							
4.1	Механизм деформирования в разделительных операциях. Оптимальный зазор	1						
5.1	Общие положения анализа формоизменяющих операций	1						
	Итого за семестр:	2						
	<b>5 семестр</b>							
4.2	Расчет энергосиловых параметров и работа деформации в разделительных операциях	1						
4.5	Вырубка и пробивка				2			
4.6	Энергосиловые характеристики процесса вырубки и пробивки	1						
4.10	Раскрой листового материала	1						
5.3	Определение размеров исходной заготовки при гибке	1						
5.4	Упругое пружинение при гибке и минимальный допустимый радиус гибки				2			
5.5	Конструктивные элементы гибочных штампов	1						
5.7	Процесс вытяжки листового материала				2			

<sup>2</sup> Темы учебного материала, не указанные в Учебно-методической карте, отводятся на самостоятельное изучение студентом.



5.10	Методы определения размеров заготовки для вытяжки деталей типа тел вращения	2						
5.15	Определение формы и размеров плоской заготовки при вытяжке коробчатых деталей	2						
5.18	Конструктивные элементы вытяжных штампов	1						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
6.2	Штампы для листовой штамповки, расчет деталей штампов на прочность		2		2			
6.3	Методика проектирования штампов		2					
	Итого за семестр:	10	4		8			экзамен
	<b>6 семестр</b>							
	Курсовой проект							Защита курсового проекта
	Всего аудиторных часов				24			

## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### Список литературы

#### Основная литература

1. Аверкиев, Ю.А. Технология холодной штамповки: Учебник для вузов по специальностям «Машины и технология обработки металлов давлением» и «Обработка металлов давлением» / Ю.А. Аверкиев, А.Ю. Аверкиев. – М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.
2. Зубцов, М.Е. Листовая штамповка: Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Машина и технология обработки металлов давлением». – 3-е изд., перераб. и доп. / М.Е.Зубцов. – Л.: Машиностроение. Ленинградское отд., 1980. – 432 с.
3. Попов, Е.А. Основы теории листовой штамповки: Учебное пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. / Е.А. Попов. – М.:Машиностроение, 1977. – 278 с.

#### Дополнительная литература

4. Ковалёв, В.Г. Технология листовой штамповки. Технологическое обеспечение точности и стойкости : учебное пособие / В.Г. Ковалёв, С.В. Ковалёв. – М.: КНОРУС, 2010. – 224 с.
5. Технологические расчеты в процессах холодной листовой штамповки. Учебное пособие / В.Н. Кокорин [и др.]. – Ульяновск: УлГТУ, 2002. – 36 с.
6. Килов, А.С. Производство заготовок. Листовая штамповка / А.С. Килов, К.А. Килов // Серия учебных пособий из шести книг. Книга 2. Получение заготовок из листового материала и гнутые профили: – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 182с.
7. Никитенко, В.М. Штампы листовой штамповки. Технология изготовления штамповой оснастки: текст лекций. В 2 ч. Ч. 1 / В.М. Никитенко, Ю.А. Курганова. – Ульяновск : УлГТУ, 2010. – 68 с.
8. Аверкиев, А.Ю. Методы оценки штампуемости листового металла. / А.Ю. Аверкиев. – М.: Машиностроение, 1985. – 176 с.
9. Бабаев, Ф.В. Оптимальный раскрой материалов с помощью ЭВМ / Ф.В. Бабаев. – М.: Машиностроение, 1982. – 168 с.
10. Горбунов, М.Н. Технология заготовительно-штамповочных работ в производстве самолетов: Учебник для вузов. – 2-е изд. перераб. и доп. / М.Н.Горбунов. – М.: Машиностроение, 1981. – 224 с.
11. Григорьев, Л.А. Автоматизированное проектирование в холодной листовой штамповке / Л.А.Григорьев. – Л.: Машиностроение, 1984. – 280 с.
12. Ковка и штамповка: Справочник. В 4-х т./ Ред. совет: Е.И.Семенов (предс.) и др. – М.: Машиностроение. Т.1, 1985. – 568 с., Т. 4, 1987. – 544 с.
13. Мещерин, В.Т. Листовая штамповка (атлас схем). 3-е изд. перераб. и доп. / В.Т.Мещерин. – М.: Машиностроение, 1975. – 226 с.

14. Михаленко, Ф.П. Стойкость разделительных штампов. – 2-е изд. перераб. и доп. / Ф.П.Михаленко. – М.: Машиностроение, 1986. – 224 с.
15. Романовский, В.П. Справочник по холодной штамповке. – 6-е изд. перераб. и доп. / В.П.Романовский. – Л.: Машиностроение, 1979. – 520 с.
16. Скворцов, Г.Д. Основы конструирования штампов для холодной листовой штамповки. / Г.Д.Скворцов. – М.: Машиностроение, 1972. – 360 с.
17. Степанов, В.Г. Высокоэнергетические импульсные методы обработки металлов / В.Г.Степанов, И.А.Шавров. – Л.: Машиностроение, 1975. – 280 с.
18. Сторожев, М.В. Теория обработки металлов давлением. Учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. / М.В.Сторожев, Е.А.Попов. – М.: Машиностроение, 1977. – 423 с.
19. Теория пластических деформаций металлов / Е.П.Унксов, У.Джонсон, В.Л.Колмогоров и др. Под ред. Е.П.Унксова, А.Г.Овчинникова. – М.: Машиностроение, 1983. – 598 с.
20. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка / Под общ. ред. Л.И.Рудмана. – М.: Машиностроение, 1988. – 496 с.
21. Технологичность конструкций изделий: Справочник / Т.К.Алферова, Ю.Д.Амиров, П.Н.Волков и др.: Под ред. Ю.Д.Амирова. – М.: Машиностроение, 1986. – 368 с.
22. Технология листовой штамповки. Курсовое проектирование. / В.И.Стеблюк [и др.]. – Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1983. – 280 с.
23. Яковлев, С.П. Штамповка анизотропных заготовок. / С.П. Яковлев, В.Д. Кухарь. – М.: Машиностроение, 1986. – 136 с.
24. Штампы для холодной штамповки мелких деталей (альбом конструкций и схем) / М.И. Дурандин [и др.]. – М.:Машиностроение, 1978. – 108 с.

### **Средства диагностики результатов учебной деятельности**

Оценка уровня знаний студента производится по десятибалльной шкале.

Для оценки достижений студента рекомендуется использовать следующий диагностический инструментарий:

- устный и письменный опрос во время практических занятий;
- защита выполненных на практических и лабораторных занятиях индивидуальных заданий;
- защита выполненных в рамках управляемой самостоятельной работы индивидуальных заданий;
- защита курсового проекта;
- сдача экзамена.

### **Перечень тем практических занятий**

1. Изучение типовых конструкций штампов простого, последовательного и совмещенного действия для разделительных и формообразующих операций листовой штамповки.

2. Изучение некоторых типовых деталей штампов технологического назначения и конструктивного характера, их крепления.
3. Определение центра давления штампа.
4. Определение размеров исходной заготовки при гибке, вытяжке деталей типа тел вращения, коробчатой формы.
5. Расчет исполнительных размеров рабочих частей пуансонов и матриц при вырубке, пробивке, гибке и вытяжке.
6. Расчет буферных устройств штампа.
7. Расчет штампа для вырубки и пробивки.
8. Расчет и проектирование гибочного штампа.
9. Расчет зачистного штампа.
10. Расчет и проектирование штампа для вытяжки цилиндрических деталей.
11. Расчет штампа для вытяжки деталей с широким фланцем.
12. Разработка технологического процесса последовательной вытяжки в ленте с надрезом и проектирование штампа.
13. Разработка технологического процесса и проектирование штампа для вытяжки прямоугольных деталей.
14. Расчет штампа для вытяжки конических деталей.
15. Расчет штампа для отбортовки отверстий.

### **Перечень лабораторных занятий**

1. Определение штампуемости листового материала.
2. Исследование процесса вырубки листового металла в штампах.
3. Определение показателей пружинения при гибке листового металла в штампах.
4. Определение минимального радиуса изгиба листовых заготовок.
5. Изучение вытяжки без прижима цилиндрических деталей из плоской заготовки.
6. Изучение процесса многооперационной вытяжки без прижима.
7. Исследование процесса вытяжки с утонением стенки.
8. Изучение конструкций штампов для листовой штамповки путем их разборки, сборки, наладки.

### **Перечень контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы**

1. Сформулируйте признаки классификации операций листовой штамповки.
2. Приведите уравнения пластичности используемые при анализе операций листовой штамповки.
3. Назовите методы оценки штампуемости металла и факторы, влияющие на нее.
4. Объясните появление линий течения, возникновение сезонного растрескивания и старения.

5. Назовите стадии процесса деформирования при разделительных операциях.
6. Сформулируйте особенности деформирования при отрезке ножами с поступательным и вращательным движением.
7. Сформулируйте особенности конструкции ножей для вырезки.
8. Приведите факторы, влияющие на качество поверхности среза при отрезке, вырезке, вырубке и пробивке.
9. Объясните механизм деформирования при зачистке и калибровке.
10. Сформулируйте особенности деформирования при надрезке.
11. Приведите способы обрезки краевой части полуфабриката.
12. Нарисуйте схему распределения напряжений по толщине заготовки при гибке моментом, поперечной и продольной силой.
13. Приведите факторы, влияющие на углы пружинения при гибке.
14. Сформулируйте особенности гибки профильных заготовок.
15. Нарисуйте схему распределения напряжений во фланце при вытяжке из плоской заготовки.
16. Приведите факторы, влияющие на предельный коэффициент вытяжки.
17. Назовите особенности деформирования на последующих переходах вытяжки цилиндрических деталей.
18. Опишите механизм деформирования при вытяжке с утонением стенки.
19. Нарисуйте схему распределения напряжений и особенности деформирования при комбинированной вытяжке.
20. Сформулируйте особенности процесса вытяжки в ленте.
21. Опишите механизм деформирования при обжиге.
22. Приведите факторы, влияющие на предельную степень деформации при обжиге.
23. Нарисуйте схему распределения напряжений при отбортовке и приведите факторы, влияющие на предельную степень деформации.
24. Опишите механизм деформирования при раздаче и приведите факторы, влияющие на предельную степень деформации.
25. Опишите механизм деформирования при формовке.
26. Назовите основные типы и особенности строения неметаллических и композиционных штампуемых материалов.
27. Перечислите основные технологические операции штамповки листовых пластмасс.
28. Назовите параметры шероховатости поверхности и дефекты, возникающие при вырубке-пробивке слоистых и волокнистых материалов.
29. Перечислите типы штампов, применяемых для вырубки деталей из неметаллических материалов с высокими и невысокими требованиями к качеству детали.
30. Укажите назначение и сущность подготовки заготовок к листовой штамповке.

31. Назовите признаки классификации штампов по способу действия, направлению, характеру выполняемых операций.

32. Укажите типовые конструкции штампа и основные группы деталей штампа.

33. Расскажите о марках материалов пуансонов и матриц, о требованиях к материалу и их термообработке.

34. Приведите особенности механизма деформирования при разделении листовых заготовок эластичным инструментом. Представьте конструкцию универсального штампа и свойства эластичного материала.

35. Представьте механизм деформирования при вытяжке жестким пуансоном в эластичную матрицу. Изобразите схему процесса.

36. Приведите особенности механизма деформирования листовой заготовки при гибке и отбортовке эластичным инструментом. Укажите меридиональные растягивающие напряжения и представьте схемы процессов.

37. Изобразите схемы формовки плоских и пространственных заготовок эластичным пуансоном и сильфонов эластичным пуансоном в разъемных матрицах

38. Назовите особенности процесса деформирования при штамповке листовых заготовок жидкостным пуансоном в жесткую матрицу и жестким пуансоном в жидкостную матрицу. Представьте конструкции штампов. Укажите область применения.

### **Методические рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы студентов**

При изучении дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

– контролируемая самостоятельная работа в виде решения индивидуальных задач в аудитории во время проведения практических занятий под контролем преподавателя в соответствии с расписанием;

– подготовка курсового проекта по индивидуальным заданиям, в том числе разноуровневым заданиям.

## **Контроль знаний**

### **Контрольные вопросы**

1. Сформулируйте признаки классификации операций листовой штамповки.
2. Приведите уравнения пластичности используемые при анализе операций листовой штамповки.
3. Назовите методы оценки штампуемости металла и факторы, влияющие на нее.
4. Объясните появление линий течения, возникновение сезонного растрескивания и старения.
5. Назовите стадии процесса деформирования при разделительных операциях.
6. Сформулируйте особенности деформирования при отрезке ножами с поступательным и вращательным движением.
7. Сформулируйте особенности конструкции ножей для вырезки.
8. Приведите факторы, влияющие на качество поверхности среза при отрезке, вырезке, вырубке и пробивке.
9. Объясните механизм деформирования при зачистке и калибровке.
10. Сформулируйте особенности деформирования при надрезке.
11. Приведите способы обрезки краевой части полуфабриката.
12. Нарисуйте схему распределения напряжений по толщине заготовки при гибке моментом, поперечной и продольной силой.
13. Приведите факторы, влияющие на углы пружинения при гибке.
14. Сформулируйте особенности гибки профильных заготовок.
15. Нарисуйте схему распределения напряжений во фланце при вытяжке из плоской заготовки.
16. Приведите факторы, влияющие на предельный коэффициент вытяжки.
17. Назовите особенности деформирования на последующих переходах вытяжки цилиндрических деталей.
18. Опишите механизм деформирования при вытяжке с утонением стенки.
19. Нарисуйте схему распределения напряжений и особенности деформирования при комбинированной вытяжке.
20. Сформулируйте особенности процесса вытяжки в ленте.
21. Опишите механизм деформирования при обжиге.
22. Приведите факторы, влияющие на предельную степень деформации при обжиге.
23. Нарисуйте схему распределения напряжений при отбортовке и приведите факторы, влияющие на предельную степень деформации.
24. Опишите механизм деформирования при раздаче и приведите факторы, влияющие на предельную степень деформации.
25. Опишите механизм деформирования при формовке.

26. Назовите основные типы и особенности строения неметаллических и композиционных штампуемых материалов.

27. Перечислите основные технологические операции штамповки листовых пластмасс.

28. Назовите параметры шероховатости поверхности и дефекты, возникающие при вырубке-пробивке слоистых и волокнистых материалов.

29. Перечислите типы штампов, применяемых для вырубки деталей из неметаллических материалов с высокими и невысокими требованиями к качеству детали.

30. Укажите назначение и сущность подготовки заготовок к листовой штамповке.

31. Назовите признаки классификации штампов по способу действия, направлению, характеру выполняемых операций.

32. Укажите типовые конструкции штампа и основные группы деталей штампа.

33. Расскажите о марках материалов пуансонов и матриц, о требованиях к материалу и их термообработке.

34. Приведите особенности механизма деформирования при разделении листовых заготовок эластичным инструментом. Представьте конструкцию универсального штампа и свойства эластичного материала.

35. Представьте механизм деформирования при вытяжке жестким пуансоном в эластичную матрицу. Изобразите схему процесса.

36. Приведите особенности механизма деформирования листовой заготовки при гибке и отбортовке эластичным инструментом. Укажите меридиональные растягивающие напряжения и представьте схемы процессов.

37. Изобразите схемы формовки плоских и пространственных заготовок эластичным пуансоном и сильфонов эластичным пуансоном в разъемных матрицах

38. Назовите особенности процесса деформирования при штамповке листовых заготовок жидкостным пуансоном в жесткую матрицу и жестким пуансоном в жидкостную матрицу. Представьте конструкции штампов. Укажите область применения.