

Министерство образования и науки РФ

---

Московского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового  
Красного Знамени государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

---

И. Н. Шубин, В. Г. Кондратенко

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ  
по курсу:**

**«Технология листовой штамповки»**

Методические указания разработаны в соответствии с учебным планом.

Рецензент доц. Н. И. Ляпунов

## **Введение.**

Курс «Технология листовой штамповки» в учебном плане для специальности «Машины и технология обработки металлов давлением» составляет 85 часов, из них 68 часов лекции, 17 часов лабораторные работы, которые проводятся в седьмом семестре.

Целью данных лабораторных работ является более глубокое изучение и закрепление теоретических разделов курса. Студентами проводятся экспериментальные исследования влияния отдельных факторов на процесс деформирования, устойчивость пластической деформации и предельное формоизменение, определяются сила деформирования и напряжение в опасном сечении. Результаты эксперимента сравниваются с расчетными данными.

Методические указания включают шесть работ, охватывающих различные разделы курса.

1. При исследовании операции вырубki изучают влияние зазора между пуансоном и матрицей на качество поверхности среза, силу вырубki и съёма, геометрические размеры детали и отверстия.
2. При исследовании операции гибки листового материала устанавливают величину углов пружинения в зависимости от рода материала, его толщины, радиуса и углов гибки.
3. При вытяжке цилиндрического стаканчика из плоской заготовки находят предельное значение коэффициента вытяжки, исследуют влияние коэффициента вытяжки и величины радиуса скругления кромки матрицы на напряжение в опасном сечении.
4. При исследовании операции обжима трубчатой заготовки изучают её формоизменение, определяют влияние угла конусности матрицы на напряжение в стенках заготовки и устанавливают условия, при которых происходит потеря устойчивости.
5. При исследовании операции отбортовки устанавливают влияние качества подготовки поверхности отверстия и относительной толщины заготовки на допустимую степень деформации, а также определяют предельное значение коэффициента отбортовки.
6. При разборке, сборке и наладке штампов для листовой штамповки изучают принцип их действия, работу и взаимодействие отдельных частей.

## Работа №1. ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИИ ВЫРУБКИ.

**Цель работы** – изучить влияние величины зазора при вырубке на качество поверхности среза, силу деформирования и съёма, а также на размеры детали и отверстия.

### Основные сведения о вырубке

Вырубка относится к разделительным операциям. В этих операциях стремятся к максимальной локализации очага пластической деформации.

Наличие зазора  $z$  приводит к тому, что возникает изгибающий момент, который вызывает изгиб заготовки, появление растягивающих напряжений и деформаций в меридиональном направлении.

Так как максимальная деформация происходит у режущих кромок, разрушение в первую очередь начинается в слоях заготовки вблизи них. Как только в этих слоях деформации достигнут своей предельной величины, возникнут трещины, быстро развивающиеся в толщину заготовки.

Слиянием этих трещин (так называемых трещин «скалывания») Завершается процесс разделения (рис.1).

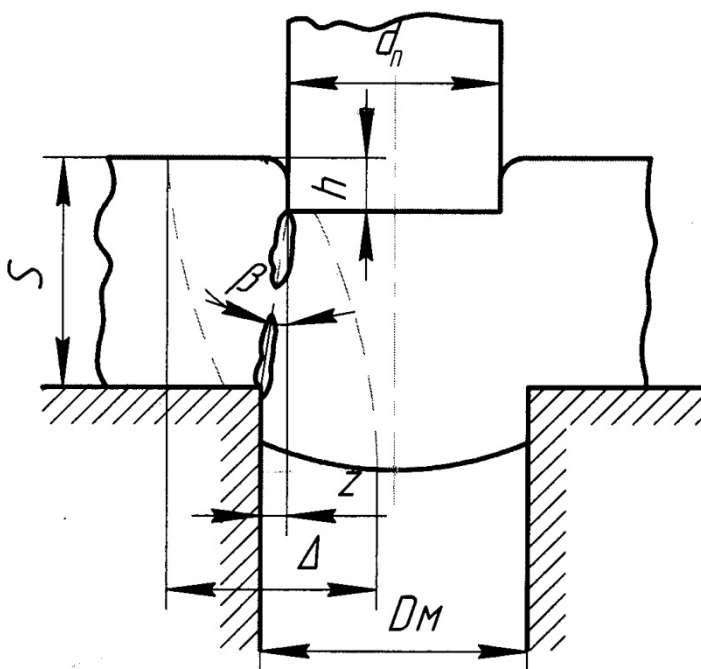


Рис. 1. Схема процесса вырубки

Трещины скалывания встречаются только при определённых величинах зазоров. Величина зазора  $z$ , обеспечивающая совпадение трещин, может быть приближённо найдена по формуле:

$$z = (S - h)tg\beta \quad (1)$$

где  $\beta$  – угол наклона трещины к оси инструмента;  
 $h$  – глубина внедрения режущей кромки до появления трещин;  
 $S$  – толщина заготовки.

Среднее значение угла  $\beta$  находится в пределах  $4...6^\circ$ , уменьшаясь с увеличением прочностных характеристик материала заготовки.

Глубина внедрения  $h$  до появления трещин колеблется от  $0,1s$  до  $0,5s$ , возрастая с увеличением пластичности материала заготовки (уменьшением прочности и твёрдости).

Минимальная величина зазора, обеспечивающая совпадение трещин, уменьшается с повышением пластичности металла (уменьшением прочности). Для мягких металлов необходимо устанавливать меньшие зазоры, чем для твёрдых.

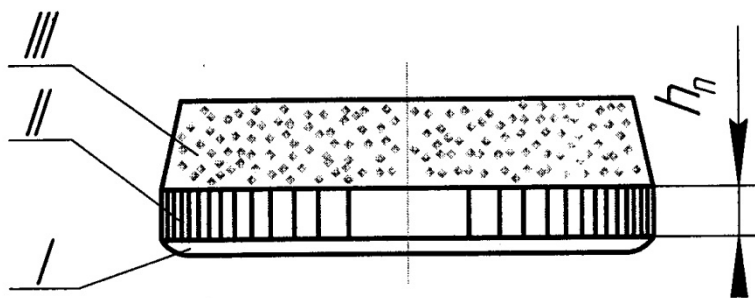
Минимальный зазор, обеспечивающий совпадение трещин, называют оптимальным. Уменьшение зазора по сравнению с оптимальным приводит к тому, что трещины скалывания не встречаются и боковая поверхность получается рваной с дополнительными поясками среза.

При увеличении зазора трещины встречаются, однако при этом возрастает наклон поверхности скалывания к вертикальной оси, увеличивается искажение (изгиб) отделяемой заготовки.

Боковая поверхность среза после вырубki с оптимальным или несколько большим оптимального зазором имеет три зоны (рис.2):

I – зона скругления; II – блестящий поясok; III – зона скалывания.

Величина зазора оказывает влияние на силу деформирования: его уменьшение приводит к увеличению силы, так как увеличивается шаровой тензор сжатия.



**Рис. 2. Боковая поверхность детали после вырубки**

Силу деформирования можно определить по формуле:

$$P_{max} = \sigma_{cp} \cdot L \cdot S \cdot k, \quad (2)$$

где  $\sigma_{cp}$  - напряжение среза;

$L$  – периметр среза;

$S$  – толщина заготовки;

$k = 1,1 \dots 1,3$  – коэффициент, учитывающий возможность притупления режущих кромок, колебания толщины и механических свойств материала заготовки.

Зазор оказывает существенное влияние на знак и величину упругих деформаций, следовательно, на размеры детали и отверстия после вырубки и пробивки.

При зазоре, большем оптимального, диаметр детали будет несколько меньше диаметра матрицы, а диаметр отверстия – больше диаметра пуансона. В результате вырубаемая деталь свободно пройдет через отверстие матрицы, а остающаяся высечка не будет препятствовать выходу пуансона.

При оптимальном или меньшем оптимального зазорах диаметр детали становится больше диаметра матрицы, а диаметр отверстия – меньше диаметра пуансона. Поэтому вырубаемая деталь застревает в матрице, а остающаяся высечка плотно охватывает пуансон. Требуются дополнительные силы на проталкивание детали и съём высечки.

Приближённо сила съёма может быть определена по формуле:

$$P_c = \mu \cdot \sigma_c \cdot L \cdot h_n, \quad (3)$$

где  $L$  – длина периметра вырубаемой детали или пробиваемого отверстия;

$h_n$  - высота блестящего пояса;

$\mu$  - коэффициент трения.

## **Содержание работы**

В работе необходимо исследовать влияние величины зазора между пуансоном и матрицей на качество поверхности среза, силу деформирования и съёма, размеры получаемой детали и отверстия. Кроме того, необходимо изучить влияние рода материала заготовки (твёрдый или мягкий) на величину оптимального зазора, высоту блестящего пояска и качество поверхности среза.

Вырубку проводят на заготовках из среднеуглеродистой стали (твёрдый материал) и алюминия (мягкий материал) на УИМ-50 в штампе со сменным набором пуансонов и матриц.

Фиксируют максимальную силу деформирования для разных величин зазоров.

После вырубки оценивают влияние величины зазора на качество поверхности среза и устанавливают его оптимальную величину на основании эксперимента.

Проводят измерение высоты блестящего пояска, а также размеров детали и отверстия после вырубки.

При снятии заготовки с пуансона после вырубки также фиксируют силу съёма.

Экспериментальные значения величин оптимального зазора, максимальной силы деформирования и силы съёма сравнивают с расчётными, определёнными по формулам (1), (2) и (3).

Сравнивают величину оптимального зазора и высоту блестящего пояска, полученные в экспериментах при вырубке твёрдого и мягкого материалов.

## **Оборудование, инструмент, образцы**

Оборудование – универсальная испытательная машина УИМ-50 или УИМ-100.

Инструмент – специальный штамп со сменным набором пуансонов и матриц, с номинальным размером  $d = 25\text{мм}$ .

Измерительный инструмент – масштабная линейка, штангенциркуль, микрометр, индикатор-нутромер.

Образцы – заготовки из среднеуглеродистой стали (марок сталь 35, сталь 45) – 6 шт. и меди - 3 шт.

## **Порядок выполнения работы**

1. Измерить толщину образцов.

2. Подобрать набор сменных пуансонов диаметром  $d_{\text{п}}$  матриц диаметром  $D_{\text{м}}$  с учётом зазора между ними, равного 1, 3, 5, 10, 15, 20% от толщины заготовки.
3. Установить штамп на стол УИМ-50 или УИМ-100 и провести вырубку заготовок из стали с выбранными величинами зазоров. Определить максимальную силу деформирования  $P_{\text{в}}$ , соответствующую каждому из зазоров.
4. В тех случаях, когда остающаяся часть заготовки плотно охватывает пуансон, при её съёме измерить силу.
5. Найти величину оптимального зазора из сравнения поверхности среза вырубленных деталей.
6. Измерить высоту блестящего пояска и установить глубину внедрения  $h$  режущей кромки пуансона до момента образования трещин.
7. Измерить диаметры получаемых деталей  $D_{\text{дет}}$  и отверстий  $d_{\text{отв}}$  и сравнить их с соответствующими размерами матриц и пуансонов.
8. Провести вырубку заготовок из меди с зазором между пуансоном и матрицей, равным 1, 5, 15% от толщины заготовки.
9. Измерить высоту блестящего пояска, глубину внедрения режущей кромки пуансона до момента появления трещин и установить величину оптимального зазора для заготовки из меди.

### Содержание отчёта

В отчёте даётся название и цель работы, приводятся формулы для определения величины оптимального зазора, силы деформирования при вырубке и силы съёма.

Даётся описание проведения экспериментов, оценивается влияние различных факторов на процесс вырубki.

Результаты экспериментального исследования и расчётные данные заносятся в табл. 1.

**Таблица 1.**

| Мате-<br>Риал | S | $d_{\text{п}}$ | $D_{\text{м}}$ | z | $\frac{z}{S}$ | $h_{\text{п}}$ | h | $z_{\text{опт}}$ | $\frac{z_{\text{опт}}}{S}$ | $d_{\text{отв}}$ | $D_{\text{дет}}$ | $P_{\text{вф}}$ | $P_{\text{вр}}$ | $P_{\text{с}}$ | $P_{\text{ср}}$ | $\frac{P_{\text{вф}}}{P_{\text{вр}}}$ | $\frac{P_{\text{сф}}}{P_{\text{ср}}}$ | $\frac{P_{\text{сф}}}{P_{\text{вф}}}$ | $\frac{P_{\text{ср}}}{P_{\text{вр}}}$ |
|---------------|---|----------------|----------------|---|---------------|----------------|---|------------------|----------------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 1             | 2 | 3              | 4              | 5 | 6             | 7              | 8 | 9                | 10                         | 11               | 12               | 13              | 14              | 15             | 16              | 17                                    | 18                                    | 19                                    | 20                                    |
|               |   |                |                |   |               |                |   |                  |                            |                  |                  |                 |                 |                |                 |                                       |                                       |                                       |                                       |



Расчётные значения величины оптимального зазора  $z_{\text{опт}}$ , силы вырубки  $P_{\text{вр}}$  и силы съёма  $P_{\text{ср}}$  определяются соответственно по формулам (1), (2) и (3).

По результатам эксперимента и расчёта строятся кривые, показывающие зависимость силы вырубки и съёма от величины относительного зазора, в координатах  $P - z/S$ .

В отчёте приводятся эскизы трёх заготовок после вырубки, соответственно, с зазорами  $z < z_{\text{опт}}$ ,  $z = z_{\text{опт}}$ ,  $z > z_{\text{опт}}$ .

Отчёт заканчивается выводами по проведённой работе.

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое оптимальный зазор и от каких факторов он зависит?
2. Как влияют механические характеристики материала на высоту блестящего пояска?
3. Как влияет величина зазора на качество поверхности среза?
4. Почему с увеличением зазора возрастает искажение заготовки и увеличивается возможность образования торцевого заусенца?
5. В каких случаях при вырубке остающаяся часть заготовки плотно охватывает пуансон? Чем это вызвано?
6. Как изменяются размеры детали и отверстия при вырубке в зависимости от величины зазора?

## **Работа № 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛОВ ПРУЖИНЕНИЯ ПРИ ГИБКЕ ЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА**

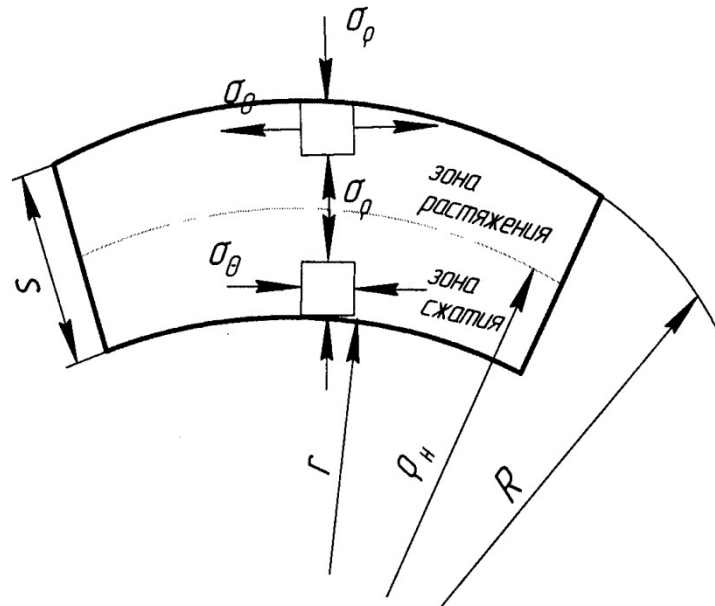
**Цель работы** – исследовать влияние на углы пружинения свойств материала, толщины полосы, радиусов и углов гибки.

### **Основные сведения о гибке**

При изгибе полосы в сечении заготовки можно выделить две зоны (рис.3) : зону растяжения, где действуют в тангенциальном направлении растягивающие напряжения  $\sigma_{\theta}$  и зону сжатия, где действуют сжимающие напряжения  $\sigma_{\theta}$ . На поверхности,

разделяющей эти две зоны, напряжения  $\sigma_\theta$  равны нулю. Эта поверхность называется нейтральной поверхностью напряжений, ее радиус  $\rho_H = \sqrt{R \cdot r}$ , где R и r, соответственно, наружный и внутренний радиусы заготовки.

В зоне растяжения слои заготовки получают тангенциальную деформацию растяжения, а в зоне сжатия – деформацию сжатия. При загрузке слои заготовки, находящиеся в процессе деформирования в зоне тангенциального растяжения, укорачиваются, а слои, находящиеся в зоне сжатия, удлиняются.



**Рис. 3. Зоны при изгибе полосы**

Разные знаки напряжений и деформаций по толщине заготовки приводят при разгрузке к тому, что сечения, перпендикулярные к срединной поверхности заготовки, поворачиваются, что ведет к изменению угловых размеров и кривизны срединной поверхности, появлению угла пружинения  $\Delta\alpha$ .

Угол пружинения определяется по формуле:

$$\Delta\alpha = \frac{3\sigma_T}{E} \left( \frac{r}{S} + 1 \right) \alpha, \quad (4)$$

- где  $\sigma_T$  - предел текучести материалы;  
 $E$  - модуль упругости;  
 $r$  - внутренний радиус гибки;  
 $S$  - толщина листового материала;  
 $\alpha$  - угол гибки.

Из формулы следует, что на величину угла пружинения существенное влияние оказывает отношение предела текучести к модулю упругости. Упрочнение повышает предел текучести, следовательно, наклепанный материал будет пружинить больше, чем отожженный. Более интенсивно упрочняющиеся материалы имеют большее пружинение.

Цветные сплавы (например, алюминиевые сплавы Д6, Д16, В95 и др.), имеющие предел текучести, близкий к пределу текучести стали, но значительно меньший (в 2,5 .. 3 раза) модуль упругости, пружинят больше, чем сталь.

Значительное влияние на величину угла пружинения оказывают относительный радиус изгиба  $r/S$  и угол  $\alpha$ ; с увеличением этих факторов увеличивается угол пружинения, так как возрастает длина зоны пластических деформаций.

Однако формула (4) не дает точные значения углов пружинения, так как при ее выводе были приняты допущения и не учтены некоторые факторы.

### **Содержание работы**

В работе исследуется влияние на величину угла пружинения свойств материала, его толщины, радиуса и угла гибки.

Для этого производится изгиб полос из различных материалов – малоуглеродистой стали и алюминиевого сплава – с различными углами и радиусами гибки в специальном приспособлении.

После гибки и снятия нагрузки измеряется угол пружинения. Проведенные исследования дают возможность установить влияние на угол пружинения свойств материала, угла гибки  $\alpha$  и радиуса гибки  $r$ .

Влияние толщины полосы на угол пружинения может быть оценено величиной относительной толщины  $r/S$ .

Для одного из материалов производится сопоставление экспериментальных и расчетных данных. Угол пружинения в этом случае определяется по формуле (4). Предел текучести и модуль упругости  $E$  берутся из справочной литературы.

### **Инструмент, образцы**

Инструмент – специальное приспособление для гибки полос со сменным комплектом пуансонов с различными радиусами.

Измерительный инструмент – штангенциркуль, угломер, масштабная линейка.  
Образцы – полосы двух материалов: малоуглеродистой стали и алюминиевого сплава толщиной 1...2 мм, шириной 20...25 мм и длиной 300...500 мм.

### Порядок выполнения работы

1. Измерить толщину  $S$  и ширину  $B$  исходных полос.
2. Подобрать комплект из трех пуансонов с различными радиусами скругления  $r$  (радиусами гибки), например: 3, 6, 9; 2, 5, 8 или 2, 6, 10 мм и т.д.
3. Установить один из пуансонов в приспособление для гибки.
4. Провести гибку полос с заданным радиусом последовательно на углы 30, 60 и 90°. Гибка производится на разных участках заготовки. После гибки на соответствующие углы измерить полученные углы пружинения после снятия нагрузки.
5. Замерить пуансон в приспособлении на пуансоны с другими заданными радиусами и повторить эксперименты.
6. Определить для одного из материалов величину угла пружинения по формуле (4).

### Содержание отчета

В отчете необходимо дать название и цель работы, объяснить влияние различных факторов на пружинение заготовки.

Провести эскиз приспособления для гибки с указанием основных деталей и дать описание проведения эксперимента.

Результаты экспериментального исследования и расчета записывают в табл. 2.

**Таблица 2.**

| Материал | S,<br>мм | B,<br>мм | r,<br>мм | $\frac{r}{S}$ | $\Delta\alpha$          |    |    |                         |    |    | $\frac{\Delta\alpha_{\text{ф}}}{\Delta\alpha_p}$ |  |
|----------|----------|----------|----------|---------------|-------------------------|----|----|-------------------------|----|----|--|--|
|          |          |          |          |               | Эксперимент             |    |    | Расчёт                  |    |    |  |  |
|          |          |          |          |               | $\Delta\alpha_p$ , град |    |    | $\Delta\alpha_p$ , град |    |    |  |  |
|          |          |          |          |               | 30                      | 60 | 90 | 30                      | 60 | 90 |  |  |
| 1        | 2        | 3        | 4        | 5             | 6                       | 7  | 8  | 9                       | 10 | 11 | 12   |  |
|          |          |          |          |               |                         |    |    |                         |    |    |  |  |

По результатам эксперимента и расчета строят два графика: первый показывает зависимость угла пружинения  $\Delta\alpha$  от угла гибки  $\alpha$  для различных материалов и разной относительной толщины; второй – зависимость угла пружинения  $\Delta\alpha$  от относительной толщины  $r/S$  для различных материалов и разных углов гибки.

Необходимо сопоставить экспериментальные и расчетные данные, оценить их сходимость.

Отчет заканчивается выводами по работе, в которых отражается влияние основных факторов на процесс пружинения при гибке.

### **Контрольные вопросы**

1. Почему при гибке с растяжением или сжатием угол пружинения уменьшается?
2. Как влияет нагрев металла на величину угла пружинения при гибке?
3. Почему с увеличением радиуса гибки, уменьшением толщины полосы и увеличением угла гибки, угол пружинения увеличивается?
4. Как влияет контактная зона под пуансоном при гибке на величину угла пружинения?
5. Почему при гибке V – образных деталей с подчеканкой угол пружинения может быть уменьшен?

## **Работа № 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ ВЫТЯЖКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО СТАКАНА ИЗ ПЛОСКОЙ ЗАГОТОВКИ**

**Цель работы** – установить значение предельного коэффициента вытяжки и исследовать влияние коэффициента вытяжки на напряжение в опасном сечении; изучить влияние величины радиуса скругления кромки матрицы на силу деформирования и напряжение в опасном сечении.

## Основные сведения о вытяжке

Посредством вытяжки из плоской листовой заготовки получается полая пространственная деталь.

В процессе вытяжки пуансон (рис. 4) действует на среднюю часть заготовки и вытягивает ее в отверстие матрицы с одновременным уменьшением диаметра. Чтобы исключить образование складок, применяется прижим.

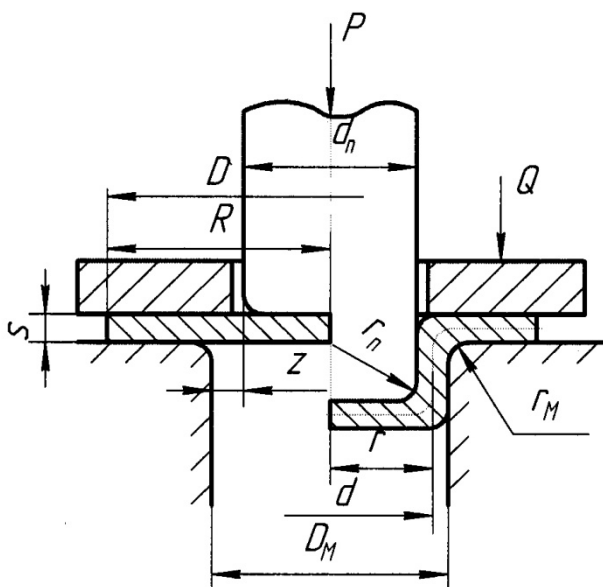


Рис. 4. Схема процесса вытяжки стакана из плоской заготовки

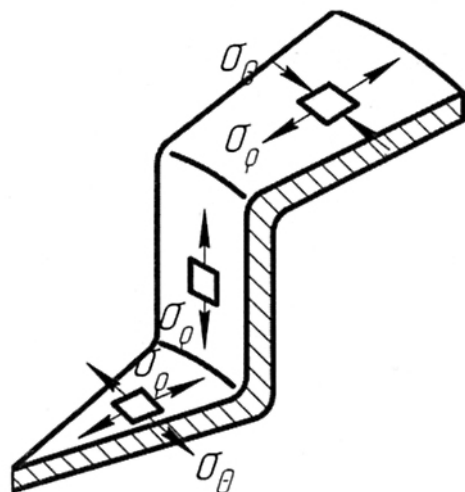


Рис. 5. Схемы напряженного состояния в отдельных точках при вытяжке

Перемещение средней части заготовки вызывает появление во фланце растягивающих меридиональных напряжений  $\sigma_\rho$ , действующих в радиальном направлении (рис.5). В тангенциальном направлении во фланце возникают сжимающие

напряжения  $\sigma_\theta$ . Суммарное действие этих напряжений обеспечивает втягивание фланца в отверстие матрицы.

В пластическом состоянии находятся фланец и часть заготовки, расположенная на скругленной кромке матрицы, остальная часть заготовки деформируется упруго или получает небольшие пластические деформации.

Напряженное состояние во фланце можно принять плоским разноименным, а напряжение  $\sigma_\rho$  и  $\sigma_\theta$  считать главными вследствие осевой симметрии деформирования (касательные напряжения  $\tau_{\rho\theta} = 0$ ). Донная часть заготовки (под торцем пуансона) также имеет схему плоского напряженного состояния, но одноименную – напряжения  $\sigma_\rho$  и  $\sigma_\theta$  являются растягивающими. В вертикальных стенках получающегося стакана напряженное состояние близко к линейному растяжению. Наиболее опасным сечением является зона перехода от вертикальной стенки к доннышку, где растягивающие напряжения достигают наибольших значений и происходит значительное утонение стенки, что приводит к отрыву доннышка.

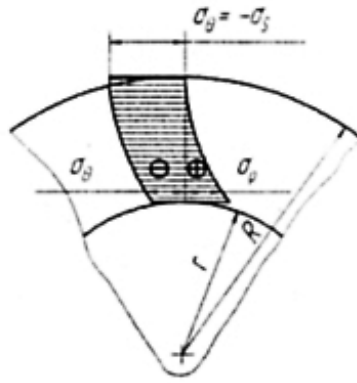
Для успешной вытяжки необходимо, чтобы максимальное растягивающее напряжение  $\sigma_\rho$ , действующее в опасном сечении, не превышало напряжения текучести (в пределе – временного сопротивления  $\sigma_B$ ).

Поле напряжений во фланце находится из совместного решения уравнений равновесия и пластичности:

$$\sigma_\rho = \sigma_s \ln \frac{R}{r}, \quad (5)$$

$$\sigma_\theta = -\sigma \left(1 - \ln \frac{R}{r}\right), \quad (6)$$

Эпюра распределения напряжений  $\sigma_\rho$  и  $\sigma_\theta$  во фланце заготовки представлена на рис. 6.



**Рис. 6. Эпюры напряжений  $\sigma_\rho$  и  $\sigma_\theta$  во фланце заготовки при вытяжке**  
Теоретическая величина предельного коэффициента вытяжки:

$$K_{TEOP} = \frac{R}{r} = \frac{D}{d} = e = 2.72.$$

Однако в реальных условиях деформирования имеется ряд факторов, которые увеличивают напряжение в опасном сечении, тем самым, уменьшая величину коэффициента вытяжки с 2,72 до 1,8...2.

В числе этих факторов основными являются трение под прижимом, изгиб и спрямление элементов заготовки на радиусной кромке матрицы, трение на кромке матрицы, упрочнение металла.

Увеличение напряжения  $\sigma_\rho$  в опасном сечении за счет влияния изгиба и спрямления на кромке матрицы можно учесть дополнительным слагаемым:

$$\sigma_{\rho_{изг}} = \sigma_S \frac{S}{2r_M + S}. \quad (7)$$

Как следует из этой формулы, увеличением радиуса скругления кромки матрицы напряжения в опасном сечении уменьшаются, с уменьшением радиуса  $\sigma_{\rho_{max}}$  увеличивается и при радиусе кромки матрицы, равном нулю, вытяжка становится невозможной.

Максимальное значение растягивающего напряжения, действующего в опасном сечении, определяется по формуле:

$$\sigma_{\rho_{max}} = \sigma_S \left( \ln \frac{R}{r} + \frac{\mu Q}{\pi R S \sigma_S} + \frac{S}{2r_i + S} \right) (1 + 1.6\mu). \quad (8)$$



Влияние упрочнения можно учесть по линейной, степенной или логарифмической зависимостями.

Необходимую силу прижима определяют по формуле:

$$Q = q \cdot F_{\phi n} = q \frac{\pi}{4} [D^2 - (D_m + 2r_m)^2],$$

где  $q$  – удельная сила прижима, которая находится по данным справочной литературы в зависимости от марки материала. Для малоуглеродистой стали можно принять  $q = 2,2 \dots 2,5$  МПа ( $0,2 \dots 0,25$  кгс/мм<sup>2</sup>).

Расчетное значение силы вытяжки после охвата заготовкой скругленной кромки матрицы может быть определено по формуле:

$$P_{\max} = 2\pi r \cdot S \cdot \sigma_{\rho \max}. \quad (9)$$

В процессе вытяжки толщина заготовки изменяется. У края фланца толщина заготовки увеличивается по мере вытяжки.

Толщина стенки достигает максимального значения у края вытянутого стакана и может быть определена по формуле:

$$S_{\max} = S_o \sqrt{\frac{D}{d}}. \quad (10)$$

В опасном сечении, в зоне перехода от стенки к доньшку, заготовка утоняется, и толщина ее в этом месте может быть приближенно оценена по формуле:

$$S_{\min} = \frac{S_o}{\left(\frac{R}{r}\right) S_o / 2r_m}. \quad (11)$$

Ввиду утолщения краевой части заготовки зазор между пуансоном и матрицей должен быть таким, чтобы исключить дополнительное принудительное утонение краевой части заготовки, которое повышает возможность отрыва доньшка и существенно снижает стойкость инструмента.

Поэтому односторонний зазор  $z$  назначают из условия:

$$z \geq S_o \sqrt{\frac{D}{d}}. \quad (12)$$

### **Содержание работы**

В работе устанавливается предельный коэффициент вытяжки и исследуется влияние величины радиуса скругления кромки матрицы на силу деформирования и напряжение в опасном сечении.

Для определения предельного значения коэффициента вытяжки производится вытяжка цилиндрических стаканов из плоских круглых заготовок, наружный исходный диаметр которых изменяется.

Предельный коэффициент вытяжки определяется по наибольшему диаметру заготовки, позволяющему вытянуть стакан без разрушения.

При вытяжке каждого стакана фиксируют максимальную силу деформирования и по окончании вытяжки измеряют конечную толщину краевой части вытянутого стакана.

Зная максимальную силу вытяжки, можно определить максимальные растягивающие напряжения, действующие в опасном сечении:

$$\sigma_{\rho_{\max}} = \frac{P_{\max \phi}}{\pi d S}. \quad (13)$$

Полученное значение напряжения  $\sigma_{\rho_{\max \phi}}$  сравнивают с расчетным  $\sigma_{\rho_{\max}}$ , найденным по формуле (8).

Вместо напряжения текучести  $\sigma_T$ , если влияние упрочнения не учитывают.

Влияние упрочнения можно учесть, например, по логарифмической зависимости:

$$\sigma_S = \sigma_T \cdot (1 + 0,5 \ln K).$$

Толщину краевой части вытянутого стакана сравнивают с расчетным значением, определенным по формуле (10).

Для того чтобы оценить влияние величины радиуса скругления кромки матрицы на силу деформирования и напряжение в опасном сечении, производят вытяжку стаканов из заготовок с неизменным наружным диаметром (при постоянном коэффициенте вытяжки), но в разных матрицах с различной величиной радиуса кромки. В процессе вытяжки фиксируют силу деформирования и определяют из формулы (13) напряжение в опасном сечении, которое сравнивают с расчетным, найденным по формуле (8).

Увеличение растягивающего напряжения в опасном сечении за счет изгиба и спрямления на кромке матрицы определяют по формуле (7).

### **Оборудование, инструмент, образцы**

Оборудование – универсальная испытательная машина УИМ-50.

Инструмент – специальный штамп для вытяжки с комплектами пуансонов и матриц различных диаметров, а также комплект матриц с разными значениями радиусов скругления кромок (3, 5, 9 мм).

Измерительный инструмент – штангенциркуль, микрометр.

Образцы – округлые заготовки из листовой малоуглеродистой стали, мягкой отожженной меди или мягких алюминиевых сплавов толщиной 2...3 мм с наружным диаметром от 60 до 70 мм (с интервалом 1-2 мм) – 5 шт., с наружным диаметром 43, 45 или 50 мм – 3 шт.

### **Порядок выполнения работы**

1. Измерить толщину и наружный диаметр исходных заготовок из одного материала.
2. Подобрать пуансон и матрицу таких размеров, чтобы коэффициент вытяжки находился в пределах 1,6...1,8.
3. Зазор между пуансоном и матрицей установить по формуле (12) с учетом возможного утолщения краевой части вытянутого стакана и принять равным (1,2...1,4)  $S_0$ .
4. Проверить необходимость применения прижима.
5. Установить матрицу, центрирующее кольцо и одну из заготовок меньшего диаметра в специальный штамп, предварительно смазав плоскость и кромку отверстия матрицы машинным маслом.
6. Установить штамп в сборе на стол УИМ-50 и провести вытяжку с записью силы деформирования по ходу.  
Аналогично провести вытяжку остальных заготовок и найти предельный коэффициент.
7. Измерить толщину стенки краевой части вытянутых стаканов.
8. Подобрать комплект из трех матриц с одинаковыми диаметральными размерами отверстий, но различными величинами радиусов скругления кромок.
9. Взять три заготовки из одного материала одинаковым наружным диаметром и толщиной. Наружный диаметр заготовок подобрать таким образом, чтобы коэффициент вытяжки был меньше предельного.
10. Произвести вытяжку трех заготовок с фиксацией максимальной силы деформирования и установить влияние величины радиуса скругления кромки матрицы на силу вытяжки.

### Содержание отчета

В отчете должны быть даны название и цель работы, схема процесса вытяжки, основные сведения о вытяжке, схемы напряженного состояния в отдельных точках вытягиваемого стакана и эпюры напряжений в очаге пластической деформации.

Приводится последовательность выполнения работы, дается эскиз, описание и принцип действия специального штампа для вытяжки.

Результаты экспериментов по определению предельного коэффициента вытяжки и влияния коэффициента вытяжки на силу деформирования, напряжение в опасном сечении и изменение толщины стенки краевой части стакана записываются в табл. 3. В таблице приводятся также результаты расчета.

**Таблица 3.**

| D | S <sub>0</sub> | D <sub>М</sub> | d <sub>n</sub> | r <sub>М</sub> | d | κ | S <sub>max φ</sub> | S <sub>max p</sub> | $\frac{S_{max φ}}{S_0}$ | $\frac{S_{max p}}{S_0}$ | P <sub>max φ</sub> | σ <sub>p max φ</sub> | σ <sub>p max p</sub> | $\frac{\sigma_{p max φ}}{\sigma_{p max p}}$ | $\frac{S_{max φ}}{S_{max p}}$ | Примечание |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|---|---|--------------------|--------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------|----------------------|---|-------------------------------|------------|
| 1 | 2              | 3              | 4              | 5              | 6 | 7 | 8                  | 9                  | 10                      | 11                      | 12                 | 13                   | 14                   | 15  | 16                            | 17         |
|   |                |                |                |                |   |   |                    |                    |                         |                         |                    |                      |                      |   |                               |            |

Результаты эксперимента и расчета по исследованию влияния величины радиуса скругления кромки матрицы на силовой режим деформирования записываются в табл. 4.

**Таблица 4.**

| D | S <sub>0</sub> | D <sub>М</sub> | d <sub>n</sub> | r <sub>М</sub> | d | κ | $\frac{S_0}{r_М}$ | P <sub>max φ</sub> | σ <sub>p max φ</sub> | σ <sub>p max p</sub> | $\frac{\sigma_{p max φ}}{\sigma_{p max p}}$ | Δσ <sub>p изг</sub> | $\frac{\Delta\sigma_{p изг}}{\sigma_{p max p}}$ | Примечание |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|---|---|-------------------|--------------------|----------------------|----------------------|---|---------------------|---|------------|
| 1 | 2              | 3              | 4              | 5              | 6 | 7 | 8                 | 9                  | 10                   | 11                   | 12  | 13                  | 14  | 15         |
|   |                |                |                |                |   |   |                   |                    |                      |                      |   |                     |   |            |

По данным таблиц строят графики, показывающие зависимости:

$$\sigma_{p max} = f(K), \frac{S_{max}}{S_0} = f(K), \sigma_{p max} = f\left(\frac{S_0}{r_М}\right).$$

На графике должны быть представлены экспериментальные и расчетные кривые.

Отчет заканчивается выводами по работе, в которых анализируется влияние исследуемых факторов на процесс вытяжки, приводится сопоставление расчетных и экспериментальных данных.

### Контрольные вопросы

1. Чем объясняется утолщение краевой части вытянутого стакана?
2. Чем объясняется утонение стенки стакана в области перехода к его доньшку?
3. Почему при вытяжке стакана из плоской заготовки применяется прижим? В каких случаях прижим не нужен?
4. Какое влияние оказывает величина радиуса скругления кромки матрицы на процесс вытяжки? Чем ограничивается увеличение и уменьшение этого радиуса?
5. Почему отрыв доньшка вытягиваемого стакана происходит в начальный момент вытяжки, а не в конце или середине процесса деформирования?
6. Почему при вытяжке желательно смазывать в первую очередь поверхность заготовки, прилегающую к матрице, а не к пуансону, и скругленную кромку матрицы?

### **Работа № 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИИ ОБЖИМА**

**Цель работы** – исследовать формоизменение заготовок, силовой режим деформирования, определить величину оптимального угла конусности матрицы.

#### Основные сведения об обжиге

При обжиге происходит уменьшение поперечных размеров краевой части полой цилиндрической заготовки или трубы.

Заготовка заталкивается в воронкообразную полость матрицы, и ее поперечные размеры уменьшаются. Меридиональные напряжения  $\sigma_\rho$  в очаге пластической деформации, направленные вдоль стенки, будут сжимающими.

Так как поперечные размеры кольцевых элементов стенки заготовки уменьшаются при наличии сжимающих меридиональных напряжений  $\sigma_\rho$ , то это возможно только в том случае, когда тангенциальные напряжения  $\sigma_\theta$  в очаге деформации также будут сжимающими (рис. 7).

Схема напряженного состояния в очаге деформации близка к схеме плоского напряженного состояния – двухосному сжатию. Опасности разрушения и появления трещин при обжиге не возникает (так как отсутствуют растягивающие напряжения), но

появляется возможность потери устойчивости заготовки, что ограничивает ее формоизменение.

Одним из видов потери устойчивости является образование кольцевых складок (гофр) в недеформированной части заготовки под действием сжимающих напряжений  $\sigma_p$ .

Другим видом потери устойчивости при обжиге является образование продольных складок в очаге деформации под действием сжимающих напряжений  $\sigma_\theta$ .

Часто обжим заготовки в конической матрице производится с выходом в цилиндр, в результате получается деталь, имеющая у края цилиндрический участок с диаметром, меньшим диаметра исходной заготовки (рис.8). В этом случае очаг пластической деформации будет состоять из трех участков: свободного изгиба на входе в матрицу, конического и свободного изгиба при выходе в цилиндр.

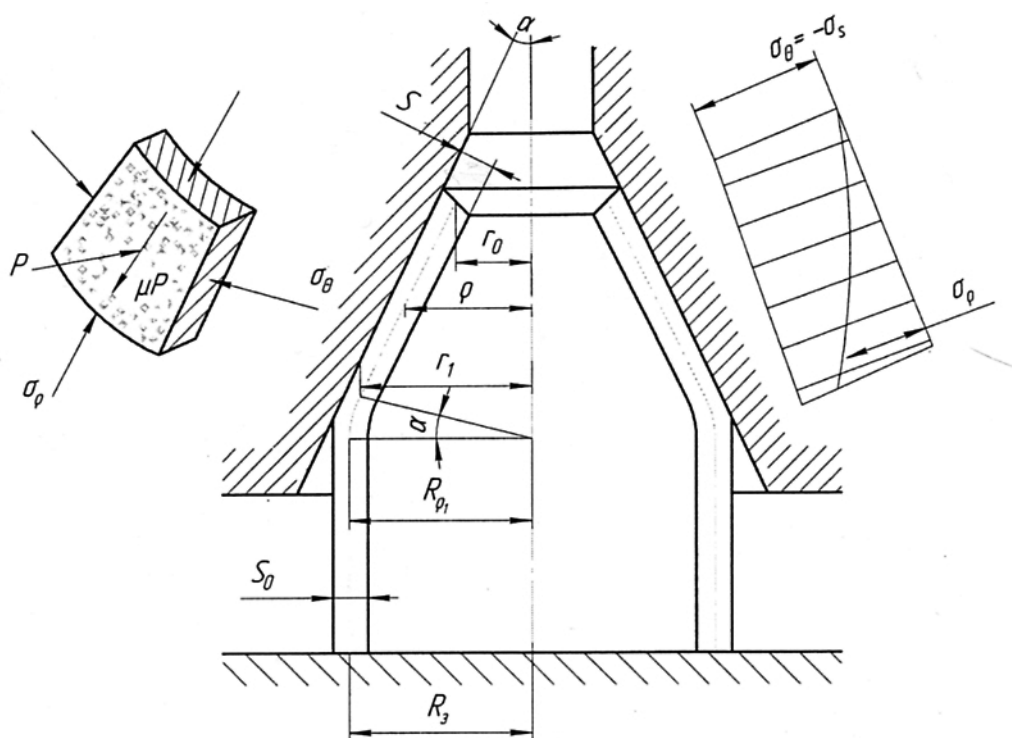


Рис. 7. Схема процесса обжима без выхода в цилиндр.

Диаметральный зазор  $\Delta d$  может быть определен по формуле:

$$\Delta d \approx \sqrt{d_m} \cdot S \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} - S(1 - \cos \alpha). \quad (14)$$

Толщина стенки у края заготовки без ее выхода в цилиндр (см. рис. 7):

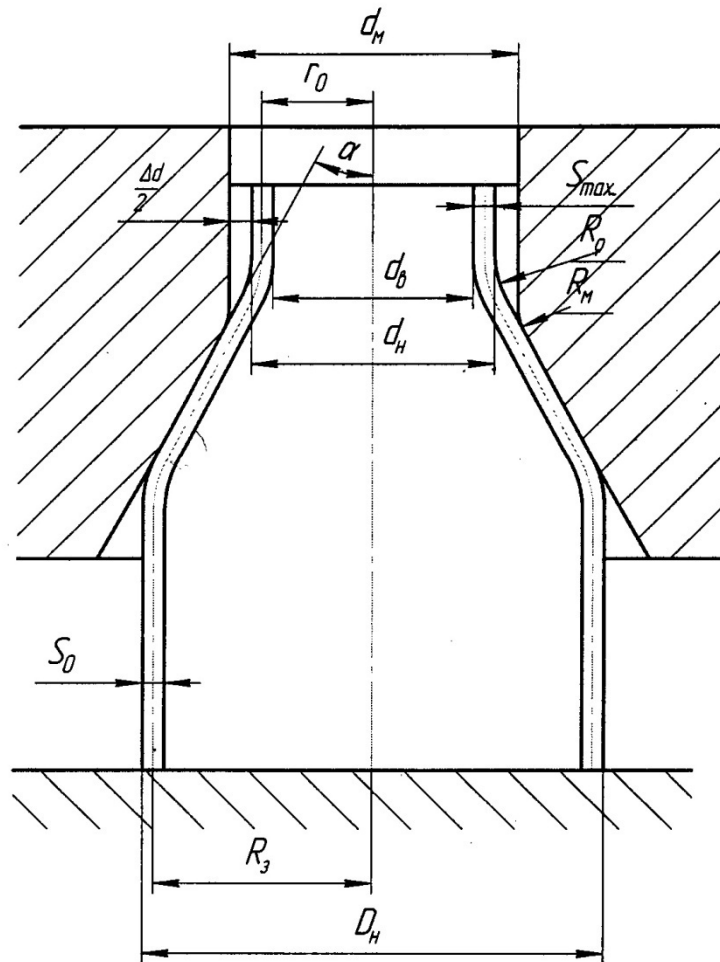
$$S = S_0 \sqrt{\frac{R_3}{r_0}}. \quad (15)$$

При обжиге заготовки с ее выходом в цилиндр (см. рис. 8) толщина стенки в обжатой цилиндрической заготовке будет плавно увеличиваться от  $S = S_0 \sqrt{R_3 / r_0}$  с краю заготовки до  $S_{\max}$  :

$$S_{\max} = S_0 \left( \frac{R_c}{r_0} \right)^{\frac{2\sigma_s - \sigma_{\rho \max}}{4\sigma_s + \sigma_{\rho \max}}} \quad (16)$$

Формула для определения напряжения  $\sigma_{\rho \max}$ , действующего в недеформированной частим заготовки, будет иметь вид:

$$\sigma_{\rho \max} = -\sigma_s \left[ (1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha) \left( 1 - \frac{r_0}{R_3} \right) + \sqrt{\frac{S}{2r_0}} \sin \alpha \right] \cdot \frac{1}{2} \left( 1 + \sqrt{\frac{R_3}{r_0}} \right) (3 - 2 \cos \alpha) \quad (17)$$



**Рис. 8. Схема процесса обжима с образованием цилиндрической части нового диаметра.**

Из формулы (17) следует, что на значение напряжения  $\sigma_{\rho \max}$  оказывают влияние величина формоизменения  $(1 - r_o / R_3)$ , трение  $(1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha)$ , изменение толщины заготовки  $\frac{1}{2}(1 + \sqrt{R_3 / r_o})$ , изгиб и спрямление на выходе в матрицу  $(3 - 2 \cos \alpha)$  и выходе из очага деформации  $(\sqrt{S / 2r_o} \cdot \sin \alpha)$ .

Упрочнение можно учесть по линейной, степенной или логарифмической зависимостям. Например, по логарифмической зависимости упрочнение можно учесть по формуле:  $\sigma_s = \sigma_T \left( 1 + \frac{1}{2} \ln K_{\sigma\delta} \right)$ .

Как видно из формулы (17), напряжение  $\sigma_{\rho \max}$  возрастает с увеличением коэффициента обжима  $K_{\sigma\delta} = R_3 / r_o$ , коэффициента трения  $\mu$  и зависит от угла конусности матрицы  $\alpha$ .

С увеличением угла  $\alpha$  уменьшается влияние трения и увеличивается влияние изгиба и спрямления на выходе в очаг деформации и на выходе из него.

Для определения оптимальных значений угла  $\alpha$ , при которых напряжение  $\sigma_{\rho \max}$  минимально, необходимо взять первую производную от  $\sigma_{\rho \max}$  по углу  $\alpha$  и приравнять к нулю. После дифференцирования и приближенного решения получим:

$$\sin \alpha_{\text{opt}} \approx \sqrt[3]{\frac{\mu}{2}}. \quad (18)$$

Сила деформирования может быть определена по формуле:

$$P_{\max} = 2\pi R_3 \cdot S_o \cdot \sigma_{\rho \max}. \quad (19)$$

### Содержание работы

В работе необходимо изучить постадийное формоизменение заготовки при обжиге, установить влияние угла конусности матрицы на силу деформирования и напряжение  $\sigma_{\rho \max}$ , найти оптимальное значение угла и определить условия, при которых заготовка теряет устойчивость.

Обжим проводят на трубчатых заготовках из меди или алюминия в матрицах, угол конусности которых меняется в широких пределах; в качестве смазки используют масло.

В процессе обжима записывают индикаторную диаграмму нагружения в координатах «сила – путь», фиксируют максимальную силу деформирования для разных



углов конусности матриц и находят оптимальную величину угла конусности, при которой сила деформирования, а следовательно, и  $\sigma_{\rho_{\max}}$  имеют наименьшее значение.

Измеряют наружный  $d_H$  и внутренний  $d_B$  диаметры цилиндрической части обжатых заготовок, определяют толщину стенки  $S_{\max}$  и диаметральный зазор  $\Delta d$  между стенкой матрицы и поверхностью заготовки.

Устанавливают наибольшую величину угла конусности, при которой заготовка теряет устойчивость с образованием поперечных складок (гофр).

На матрице с оптимальным углом конусности проводят постадийное деформирование, эскизируя изменение формы заготовки.

Экспериментальные значения зазора  $\Delta d$ , максимальной толщины стенки обжатой цилиндрической части заготовки  $S_{\max}$  напряжения  $\sigma_{\rho_{\max}}$  и оптимальной величины угла  $\alpha$  сравнивают с расчетными значениями, определенными соответственно по формулам (14), (16), (17) и (18). Коэффициент трения  $\mu$  берется 0,1...0,15.

### **Оборудование, инструмент, образцы**

Оборудование – универсальная испытательная машина УИМ-50.

Инструмент – набор сменных матриц с различными углами конусности: 10, 15, 20, 25, 30, 40°.

Измерительный инструмент – штангенциркуль, микрометр, масштабная линейка, угломер.

Образцы – заготовки из трубы с наружным диаметром 30 мм, толщиной стенки 1,5...2 мм и длиной 60...80 мм. Материал – медь или алюминий.

### **Порядок выполнения работы**

1. Измерить толщину стенки  $S_0$  и наружный диаметр  $D_H$  исходных заготовок.
2. Подобрать комплект сменных матриц, измерив у них угол конусности  $\alpha$  и диаметр цилиндрической части  $d_M$ .
3. Установить заготовку с матрицей на стол УИМ-50, предварительно смазав наружную поверхность заготовки и внутреннюю полость матрицы машинным маслом.

4. Провести обжим заготовки в матрицах с различным углом конусности, записывая при этом изменение силы деформирования по ходу на индикаторной диаграмме в координатах «сила – путь». После деформирования измерить наружный и внутренний  $d_M$  и внутренний  $d_B$  диаметры полученной цилиндрической части заготовки и найти толщину стенки  $S_{\max}$ .
5. В матрице, угол конусности которой соответствует наименьшей силе деформирования, провести постадийное деформирование заготовки, останавливая процесс в характерных точках кривой нагружения, эскизируя при этом формоизменение заготовки.
6. Провести обжим заготовки в матрице с наибольшим углом конусности, наблюдая потерю устойчивости заготовки и фиксируя максимальную силу деформирования.

## Содержание отчета

В отчете необходимо дать название и цель работы, схему процесса обжима заготовки с выходом в цилиндрическую часть, схему напряженного состояния в очаге пластической деформации.

Привести необходимые расчётные зависимости и дать описание особенностей процесса деформирования. Должны быть представлены эскизы формоизменения заготовок, отражающие этапы позадийного деформирования, и эскиз заготовки, потерявший устойчивость при обжиге.

Результаты эксперимента и расчётные данные заносятся в табл. 5.

По результатам эксперимента и расчёта строятся графики, показывающие влияние угла конусности матрицы на напряжение  $\sigma_{p\max}$  и зазор  $\Delta d$ :

$$\sigma_{p\max} = f(\alpha); \Delta d = f(\alpha)$$

**Таблица 5.**

| $D_H$ | $S_0$ | $R_3$ | $d_m$ | $\alpha^\circ$ | $P_{\max}$ | $\sigma_{p\max\phi}$ | $d_H$ | $d_B$ | $\Delta d_\phi$ | $S_{\max\phi}$ | $r_0$ | $\alpha^\circ_{\text{опт } p}$ | $\sigma_{p\max p}$ | $\Delta d_p$ | $S_{\max p}$ | $\alpha^\circ_{\text{опт } p}$ | $K_{\text{об}}$ | $\frac{\sigma_{p\max\phi}}{\sigma_{p\max p}}$ |
|-------|-------|-------|-------|----------------|------------|----------------------|-------|-------|-----------------|----------------|-------|--------------------------------|--------------------|--------------|--------------|--------------------------------|-----------------|---|
| 1     | 2     | 3     | 4     | 5              | 6          | 7                    | 8     | 9     | 10              | 11             | 12    | 13                             | 14                 | 15           | 16           | 17                             | 18              | 19  |
|       |       |       |       |                |            |                      |       |       |                 |                |       |                                |                    |              |              |                                |                 |   |

## Контрольные вопросы

1. Чем объясняется наличие оптимального значения угла конусности матриц?
2. Как будет влиять изменение коэффициента трения  $\mu$  на напряжение  $\sigma_{p\max}$  и оптимальный угол?
3. Как влияет анизотропия трения на контакте заготовки с конической поверхностью матрицы на предельное формоизменение и потерю устойчивости при обжиге?
4. Чем можно объяснить появление зазора  $\Delta d$  на выходе заготовки из очага деформации и входе в цилиндрическую часть матрицы?
5. Как влияет интенсивность упрочнения заготовки в очаге деформации при обжиге на предельное формоизменение и коэффициент обжима? Где можно получить больший коэффициент – при деформировании слабо упрочняющихся или сильно упрочняющихся заготовок?

6. В каком случае можно получить большую степень деформации – при обжиме отождённых или несколько упрочнённых заготовок из одного и того же материала?

## **Работа № 5. ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИИ ОТБОРТОВКИ**

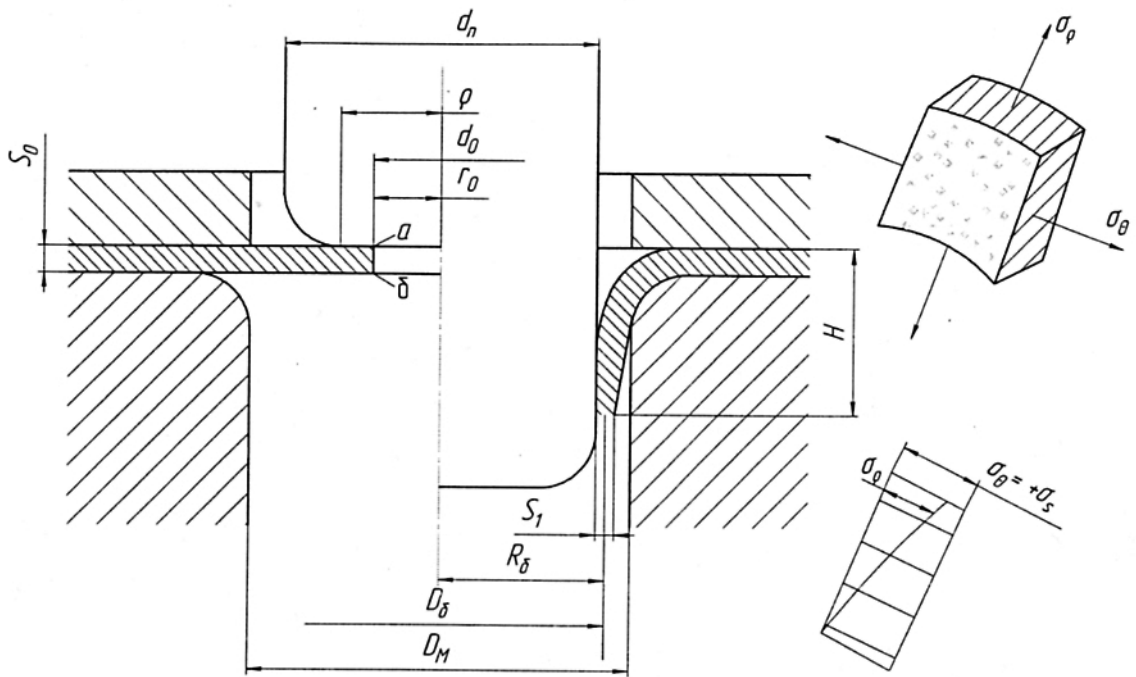
Цель работы – исследовать влияние качества подготовки поверхности отверстия и относительной толщины  $S_o/d_o$  заготовки на допустимую степень деформации и предельный коэффициент отбортовки.

### **Основные сведения об отбортовке**

Отбортовка – операция получения горловины в плоской или пространственной заготовке с предварительно подготовленным отверстием.

В процессе отбортовки (рис. 9) в очаге деформации будет плоская схема напряженного состояния. Максимальным главным растягивающим напряжением будет тангенциальное напряжение  $\sigma_\theta$ , равное напряжению текучести  $\sigma_s$  по очагу деформации, который распространяется от кромки отверстия до границы с недеформированной частью заготовки. Второе главное напряжение,  $\sigma_\rho$  также растягивающее и изменяется от 0 на кромке отверстия в заготовке до максимума на границе с недеформированной частью заготовки.

Под действием растягивающих напряжений толщина стенки борта уменьшается, причем наибольшее утонение происходит на его краевой части. На поверхности отверстия схема напряженного состояния будет линейной ( $\sigma_\theta = \sigma_s, \sigma_\rho = 0$ ).



**Рис. 9. Схема процесса отбортовки**

Деформация в тангенциальном направлении, которую получают элементы бортов конечный момент отбортовки, равна

$$\varepsilon_\theta = \frac{R_\delta - \rho}{\rho},$$

где  $R_\delta$  - радиус борта по средней поверхности;

$\rho$  - радиус, на котором находится элемент борта в заготовке  $R_\delta < \rho < r_0$ ;

$r_0$  - радиус отверстия в заготовке.

Очевидно, что  $\varepsilon_\theta = \varepsilon_{\theta \max}$  при  $\rho = r_0$ .

Разрушение заготовки в процессе отбортовки (образование трещин) всегда начинается с горловины борта. Поэтому предельное формоизменение при отбортовке ограничено величиной  $\varepsilon_{\theta \max}$ .

Предельное значение коэффициента отбортовки  $m = \frac{r_0}{R_\delta}$  соответствует моменту начала образования трещин у горловины борта.

На величину предельного коэффициента отбортовки оказывает влияние целый ряд факторов, важнейшими из которых являются пластические свойства материала, состояние материала у кромки отверстия в исходной заготовке и отношение толщины заготовки  $S_0$  к диаметру исходного отверстия  $d_0$ .

Если отверстие в заготовке было получено пробивкой, то на его поверхности образуются две зоны – блестящий поясок и шероховатая – зона скалывания. Металл у кромки отверстия будет наклепан. Поэтому предельный коэффициент отбортовки при использовании заготовок с предварительно пробитыми отверстиями будет больше ( $\varepsilon_\theta$  соответственно меньше), чем у заготовок с отверстиями, полученными сверлением и разверткой, так как в последнем случае наклеп у кромки металла будет практически отсутствовать и чистота поверхности выше.

При использовании относительно толстых заготовок с предварительно пробитыми отверстиями существенное влияние может ориентация по отношению к матрице блестящего пояска. Очевидно, (см. рис. 9), что тангенциальные деформации  $\varepsilon_\theta$  для точек  $a$  и  $b$  отверстия будут различными:

$$\varepsilon_{\theta a} = \frac{R_\theta - \frac{S_1}{2} - r_0}{r_0} ; \varepsilon_{\theta b} = \frac{R_\theta + \frac{S_1}{2} - r_0}{r_0} ,$$

где  $S_1$  - толщина стенки у кромки борта.

Так как  $\varepsilon_{\theta b} > \varepsilon_{\theta a}$ , то заготовку следует укладывать блестящим пояском к матрице; в этом случае предельная степень деформации будет больше (коэффициент отбортовки меньше). Если же шероховатая поверхность, имеющая микротрещины, будет обращена к матрице, то возможность появления трещин разрыва увеличивается. При малых толщинах заготовки влияние разницы  $\varepsilon_{\theta a}$  и  $\varepsilon_{\theta b}$  сказывается незначительно. С увеличением толщины заготовки (или относительной толщины  $S_0/d_0$ ) уменьшается предельный коэффициент отбортовки (возрастает допустимая степень деформации).

Это объясняется тем, что с увеличением толщины заготовки возрастает сдерживающее влияние соседних слоев на возможность образования локальной деформации (шейки) и появления трещин.

Толщину краевой части борта можно определить как

$$S_1 = S_0 \sqrt{\frac{r_0}{R_\theta}} . \tag{20}$$

### **Содержание работы**

Комплекты сменных пуансонов и матриц подбираются с учетом того, что толщина борта при отбортовке не может быть больше толщины исходной заготовки. Поэтому

величина одностороннего зазора между пуансоном и матрицей должна быть примерно равной толщине исходной заготовки.

Начинать эксперименты рекомендуется при коэффициенте отбортовки  $m = 0,5$ . В зависимости от полученных результатов (целый борт или с трещинами) следует увеличивать или уменьшать для последующих опытов диаметры пуансонов и матриц.

В экспериментах с заготовками, отверстия у которых получены пробивкой, необходимо следить за одинаковой ориентацией блестящего пояска в отверстии по отношению к инструменту. Для одного типоразмера заготовок с пробитым отверстием после определения предельного коэффициента отбортовки следует повторить эксперимент на предельном коэффициенте с переменной ориентацией заготовки по отношению к инструменту. Полученный результат позволит сделать вывод о влиянии ориентации блестящего пояска по отношению к матрице на предельный коэффициент отбортовки.

Коэффициент отбортовки определяется как:

$$m = \frac{d_o}{D_o}, \text{ где } D_o = d_n + S_1.$$

### **Оборудование, инструмент, образцы**

Оборудование – реечный пресс или УИМ-50.

Инструмент – экспериментальный штамп, набор пуансонов и матриц, штангенциркуль, радиусомер.

Образцы – комплект заготовок из малоуглеродистой стали с различными диаметрами отверстий, полученных сверлением с последующей разверткой и пробивкой. Три типоразмера диаметров для заготовок со сверленными отверстиями и три – для заготовок с пробитыми отверстиями.

### **Порядок выполнения работы**

1. Измерить толщину и диаметры отверстий исходных заготовок.
2. Подобрать пуансон и матрицу для отбортовки заготовки с предварительно пробитым отверстием, установив коэффициент  $m = 0,5$  и зазор, равный толщине заготовки или несколько больший.

3. Установить экспериментальный штамп с подобранными пуансоном и матрицей на стол прессы и произвести деформирование.
4. В зависимости от результата (целый борт или с трещинами) следует уменьшить или увеличить коэффициент отбортовки, подобрав соответствующий комплект из пуансона и матрицы.
5. Найти в результате эксперимента предельные значения коэффициента отбортовки, при которых отсутствуют трещины для трех типоразмеров диаметров заготовок с пробитыми отверстиями и трех типоразмеров со сверленными отверстиями.
6. Измерить толщину краевой части борта  $S_1$  горловины и высоту борта  $H$  у деталей, полученных с предельным коэффициентом отбортовки.

### Содержание отчета

В отчете необходимо привести название и цель работы, схему процесса отбортовки, основные сведения об отбортовке, особенности механизма деформирования, последовательность выполнения работы.

Дать эскизы экспериментального штампа и заготовок.

Результаты эксперимента и расчета заносятся в табл. 6, строятся графики  $m = f(S_o / d_o)$  и  $S_1 / S_o = f(m)$ .

Сравнивают расчетные значения  $S_1$  /формула (20)/ с экспериментальными.

Отчет заканчивается выводами по проведенной работе.

**Таблица 6.**

| $d_o$ | $S_o$ | $\frac{S_o}{d_o}$ | $d_n$ | $D_M$ | $z$ | $S_{1\phi}$ | $D_6$ | $S_{1p}$ | $\frac{S_{1\phi}}{S_o}$ | $\frac{S_{1p}}{S_o}$ | $H$ | $\frac{S_{1\phi}}{S_{1p}}$ | $m$ | Примечание |
|-------|-------|-------------------|-------|-------|-----|-------------|-------|----------|-------------------------|----------------------|-----|----------------------------|-----|------------|
| 1     | 2     | 3                 | 4     | 5     | 6   | 7           | 8     | 9        | 10                      | 11                   | 12  | 13                         | 14  | 15         |
|       |       |                   |       |       |     |             |       |          |                         |                      |     |                            |     |            |

### Контрольные вопросы

1. Как влияет качество поверхности кромки отверстия на коэффициент отбортовки?
2. Как влияет упрочнение металла на кромке отверстия на коэффициент отбортовки?
3. Как влияет отношение  $S_o / d_o$  на коэффициент отбортовки?
4. Из каких соображений выбирается зазор между пуансоном и матрицей при отбортовке?



5. Почему происходит утонение борта?
6. Почему трещина на торце борта направлена не по радиусу, а под некоторым углом к нему?

## **Работа № 6. ШТАМПЫ ДЛЯ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ**

Цель работы – ознакомиться с конструкцией типовых штампов для листовой штамповки, их сборкой и накладкой, а также материалами, используемыми для изготовления деталей штампов.

### **Основные сведения о штампах для листовой штамповки**

Штампы для листовой штамповки могут быть классифицированы по ряду признаков:

1. По способу действия – простого, последовательного и совмещенного действия.
2. По способу направления – без направления, с направляющей плитой, с направляющими колонками, с плунжерным направлением.
3. По значению и характеру выполняемых операций – штампы для вырубки, пробивки, гибки, вытяжки и т.п.

В работе рассматриваются штампы простого действия (одна рабочая позиция, в которой выполняется одна технологическая операция), последовательного действия (две или больше рабочих позиций, в каждой из которых выполняется одна технологическая операция) и совмещенного действия (одна рабочая позиция, в которой выполняются две и более технологических операций). Выбор типа штампа зависит от получаемых на нем изделий, серийности производства, размеров штампуемых изделий и т.п.

В каждом штампе есть детали, которые можно разделить по их функциональному назначению на следующие группы:

- I – рабочие инструменты – пуансоны и матрицы;
- II – элементы крепления рабочих инструментов – пуансонодержатели и матрицедержатели;
- III – базовые детали – верхние и нижние плиты;
- IV – элементы направления базовых деталей – направляющие колонки и направляющие втулки;
- V – элементы направления исходной заготовки – направляющие линейки, штыри и т.п.;

VI – элементы фиксации исходной заготовки – упоры (неподвижные, подвижные, автоматические, ножевые и т.д.), фиксаторы, трафареты и т.п.;

VII – элементы удаления деталей и отходов – съемники (неподвижные и подвижные), выталкиватели и т.д.;

VIII – присоединительные детали – хвостовики, центровики;

IX – вспомогательные детали – прокладки, крепежные детали.

Материалы для каждой группы деталей выбираются с учетом характера их работы, серийности производства и других факторов. Взаимодействие и взаимное положение деталей в штампе должно обеспечивать выполнение необходимых технологических операций и получение качественного изделия.

### **Методологические указания по выполнению работы**

При сборке штампов следует обратить особое внимание на соответствие присоединительных размеров двух соединяемых деталей и их взаимное положение.

Не разрешается при сборке и разборке применять для выколотки и постукивания стальной слесарный молоток. Для этих целей служит медный молоток.

### **Инструмент и материалы**

Штампы – три штампа различных типов.

Инструмент – отвертки, гаечные ключи, выколотки, молотки слесарный и медный, прокладки, штангенциркуль, мерительная линейка.

### **Порядок выполнения работы**

Произвести поочередную разборку штампов. Ознакомиться назначением каждого штампа, его деталей и взаимодействием их.

На основании обмеров выполнить эскизы деталей, получаемых в штампах, и заэскизировать штампы в сборе. По литературным источникам подобрать материалы для каждой детали штампа. Произвести сборку и накладку штампов.

## **Содержание отчета**

Отчет представляется в виде эскизов сборочных чертежей штампов, спецификаций к ним и описания работы штампов.

## **Контрольные вопросы**

1. Из каких материалов изготавливаются пуансоны и матрицы для вырубки (пробивки, вытяжки, гибки и т. д.)?
2. Из каких материалов изготавливаются направляющие втулки и колонки? Какая термообработка используется при их изготовлении и почему?
3. Как устанавливается штамп на пресс?
4. Что такое закрытая высота штампа?
5. Какие конструктивные исполнения хвостовиков Вы знаете?

## Литература

## Содержание

|   |    |
|---|----|
| Введение.....   | 3  |
| Работа № 1. Исследование операции вырубки.....  | 4  |
| Работа № 2. Определение углов пружинения при гибке листового материала.....                 | 9  |
| Работа № 3. Исследование операций вытяжки цилиндрического стакана из плоской заготовки..... | 13 |
| Работа № 4. Исследование операции обжима.....   | 21 |
| Работа № 5. Исследование операции отбортовки.....   | 27 |
| Работа № 6. Штампы для листовой штамповки.....  | 32 |
| Литература.....   | 35 |