

Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика  
С.П. Королева

**Исследование процессов раздачи и отбортовки  
осесимметричных деталей**

**Лабораторная работа**

Составитель: проф. Попов И.П.

**САМАРА 2001**

# Исследование процесса раздачи цилиндрической трубной заготовки

**Цель работы:** Изучить механизм и установить схемы напряженно - деформированного состояния процесса раздачи осесимметричной заготовки.

**Задание:**

1. Определить величины деформаций, полученных заготовкой, и установить схему деформированного состояния процесса.
2. Установить схему напряженного состояния процесса.
3. Определить предельный коэффициент раздачи.

## Механизм процесса раздачи

Раздача – процесс формообразования, при котором совокупность действия факторов приводит к следующей характерной схеме напряженно-деформированного состояния (рис. 1).

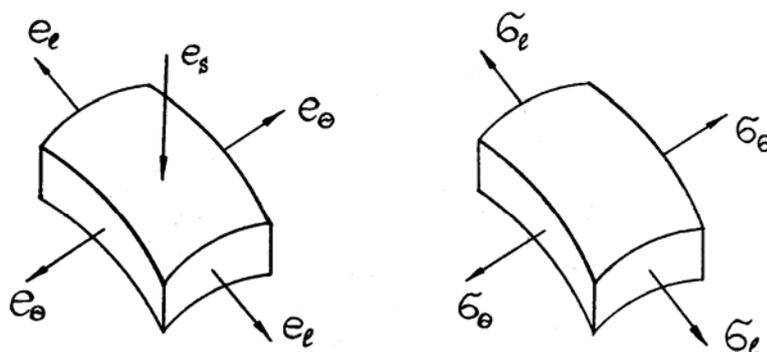
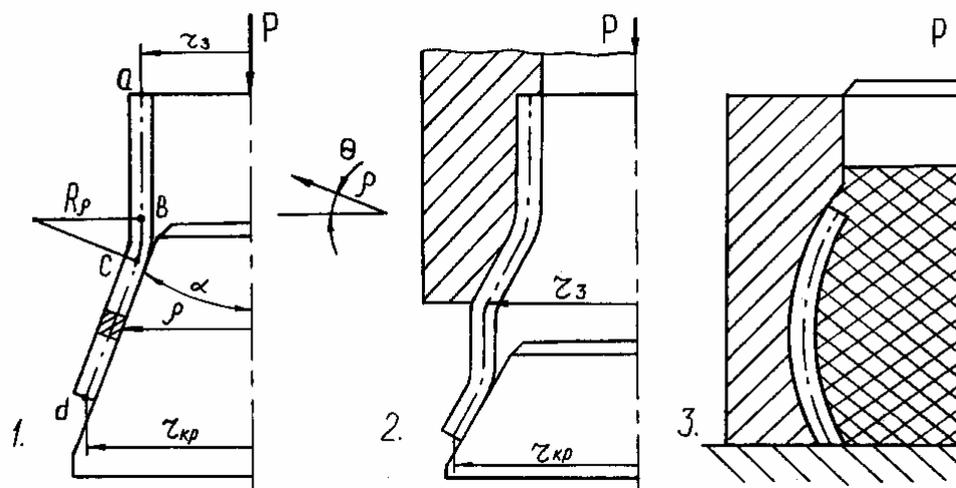


Рисунок 1. – Схемы напряжений и деформаций при раздаче в полярной системе координат

Процесс раздачи можно реализовать разными способами формообразования в том числе:



1. Раздача на конической оправке,
2. Последующая раздача на конической оправке,
3. Раздача эластичным наполнителем

Рисунок 2. – Способы реализующие процесс раздачи.

Наглядно процесс раздачи связан с увеличением диаметров элементов заготовки ( $2r_3$ ) до максимального значения диаметра кромки ( $2r_{кр}$ ). Количественным показателем, характеризующим величину раздачи, является коэффициент раздачи. Это отношение диаметра кромки к диаметру заготовки.

$$K_p = \frac{d_{кр}}{d_3}$$

При этом заготовку можно условно разбить вдоль образующей на три участка:

- d-c – основной участок пластической деформации,
- c-b – участок пластической деформации свободного изгиба,
- b-a – участок упругого деформирования, передающий усилие в зону пластической деформации.

При раздаче наиболее вероятны образование двух дефектов: потеря устойчивости в зоне радиусного перехода  $R_p$  (рис. 3) в результате гофрообразования, либо разрыв кромки заготовки в результате исчерпания пластичности (рис. 4).

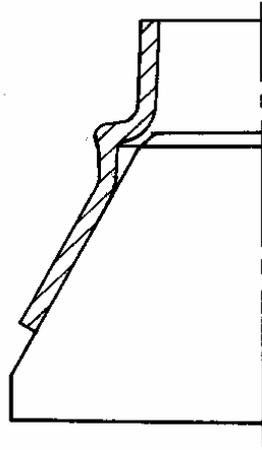


Рисунок 3. – Потеря устойчивости  
в результате  
гофрообразования

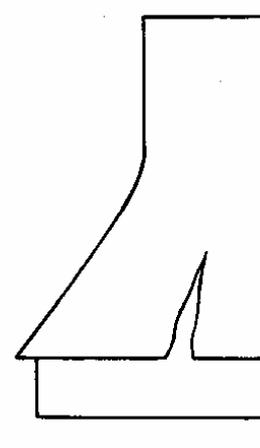


Рисунок 4. – Разрыв кромки  
заготовки

Количественным показателем, определяющим величину максимально возможной раздачи, является предельный коэффициент раздачи. Им называется максимальный коэффициент раздачи, при котором заготовка деформируется без дефектов.

### Установление схем деформированного и напряженного состояния

При рассмотрении схем напряженно-деформированного состояния следует представить, что напряжения и деформации относятся к бесконечному элементу очага деформации. За такой элемент удобно взять бесконечно малый объем, ограниченный двумя плоскостями, проходящими через ось симметрии заготовки под углом  $d\theta$ . Это плоскости  $abcd$  и  $a'b'cd$ . Элемент ограничен также двумя поверхностями, проходящими  $b's'b$  и  $a'd'a$  на расстоянии  $d\ell$  перпендикулярными двум предыдущим плоскостям и наконец двумя коническими поверхностями на расстоянии  $\delta$ , между которыми на расстоянии  $\delta/2$  от одной и другой находится срединная плоскость  $a'b'ba$ . В последнем случае за бесконечно малое расстояние принята толщина заготовки в виду ее малости. Таким образом, б.м. элемент очага пластической деформации можно характеризовать напряжениями и деформациями в  $3^x$  взаимно перпендикулярных направлениях: вдоль образующей заготовки “ $\ell$ ”, в тангенциальном, т.е. по направлению касательной к окружности “ $\theta$ ”, и наконец, по направлению толщины заготовки “ $\bar{\delta}$ ”.

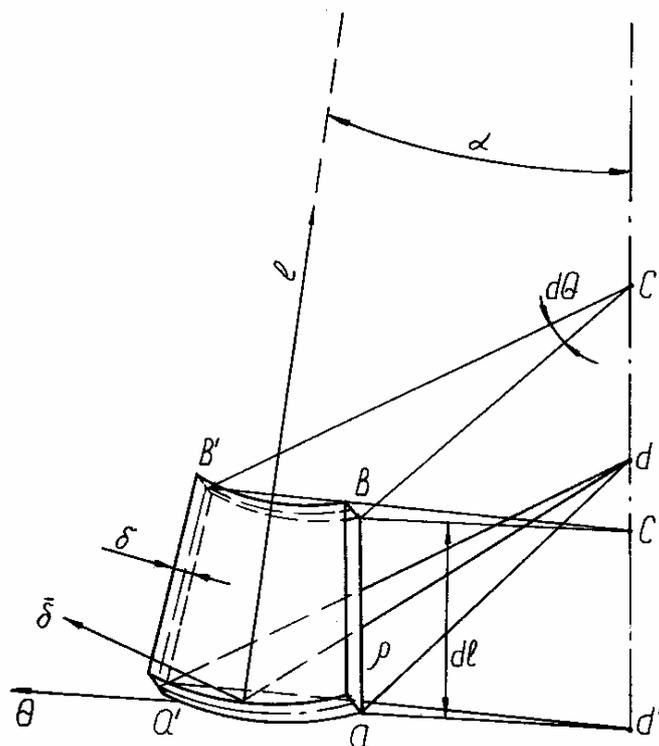


Рисунок 5. – Схема к установлению координат б.м. элемента и направлений действия на него напряжений и деформаций.

Ввиду малости толщины заготовки делается допущение, что все напряжения и деформации в направлении толщины заготовки не меняются и относятся к срединной поверхности. Другими словами напряжения и деформации являются функциями только координаты “ $l$ ”, т.к. в направлении  $\theta$  схема напряженно-деформированного состояния также не меняется ввиду осевой симметрии.

Местоположение рассматриваемого б.м. элемента наиболее просто установить в полярной системе с координатами  $\rho$  и  $\theta$  (рис. 5).

Из геометрии видно, что координаты  $\rho$  и  $l$  связаны между собой углом “ $\alpha$ ”.

Схему деформированного состояния наиболее просто установить, если определить радиусы и толщины элементов до и после деформации. Тогда деформация в тангенциальном направлении и по толщине равны: в силу осевой симметрии по углу  $\theta$ .

$$\ell_{\theta} = \ln \left| \frac{\rho d\theta}{r_3 d\theta} \right| = \ln \left| \frac{\rho}{r_3} \right| = \ln \left| \frac{d}{d_3} \right|, \quad (1)$$

деформация по толщине

$$\ell_{\delta} = \ln \frac{\delta}{\delta_3}, \quad (2)$$

где  $r_3, \rho$  – координаты рассматриваемого элемента до и после деформации,  $\delta_3, \delta$  – толщина рассматриваемого элемента до и после деформации.

Третью деформацию находим из условия постоянства объема

$$e_\ell = -e_\delta - e_\theta, \quad (3)$$

$e_\ell$  - деформация вдоль образующей заготовки.

Чтобы установить схемы напряжённого состояния, достаточно выявить соотношение напряжений, используя уравнение связи напряжений и деформаций. Для изотропного материала имеем

$$\frac{\sigma_\ell}{\sigma_\theta} = \frac{1 + 2\frac{e_\ell}{e_\theta}}{1 - 2\frac{e_\ell}{e_\theta}}, \quad (4)$$

где  $\sigma_\ell, \sigma_\theta$  - напряжения вдоль образующей заготовки и в тангенциальном направлении.

Соотношение (4) приведено из условия, что напряжение  $\sigma_\delta$ , действующее в направлении толщины, равно нулю из-за его малости. Это условие можно подтвердить, проводя следующие расчеты

$$\sigma_{\delta.cр} = \frac{P_{max} \cdot \sin\alpha}{F_\kappa}, \quad (5)$$

$$\sigma_{\ell.cр} = \frac{P_{max}}{F_c}, \quad (6)$$

где  $P_{max}$  - максимальное усилие раздачи,

$F_\kappa = \pi \frac{d_{кр}^2 - d_3^2}{4\sin\alpha}$  - горизонтальная проекция площади контакта между заготовкой и оправкой (рис. 6).

$F_c = \pi d_3 \delta$  - площадь сечения заготовки перпендикулярная вектору приложения силы  $P_{max}$ .

$\sigma_{\delta.cр}, \sigma_{\ell.cр}$  - средние величины напряжений по очагу деформации в направлении толщины и по длине образующей заготовки.

Разделив (5) на (6) получим

$$\frac{\bar{\sigma}_{\delta.cр}}{\bar{\sigma}_{\ell.cр}} = \frac{d_3 \cdot \delta}{d_{кр}^2 - d_3^2} \ll 1$$

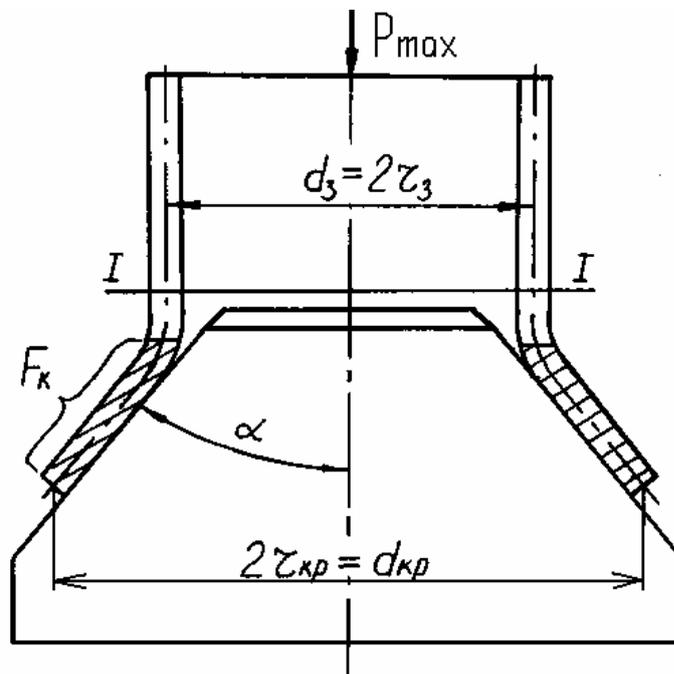


Рисунок 6. – Схема действия сил

### Методика проведения эксперимента

Изучение процесса раздачи производится с использованием способа раздачи на конической оправке (рис. 6). Заготовкой является цилиндрическая тонкостенная труба. Перед деформацией производят замер её наружного диаметра, толщины. Замер и разметку производят с помощью штангенциркуля, штангенрейсмуса и часового индикатора. Раздачу производят на конической оправке с использованием гидропресса ЦДМПУ-30. Угол конусности оправки замеряют угломером. Оправку устанавливают на нижнюю плиту пресса, усилие передают через верхнюю плиту пресса. Окончание процесса по началу образования дефекта: либо трещины на кромке, либо гофра в зоне радиусного перехода. В этот момент с силоизмерителя снимаются показания усилия.

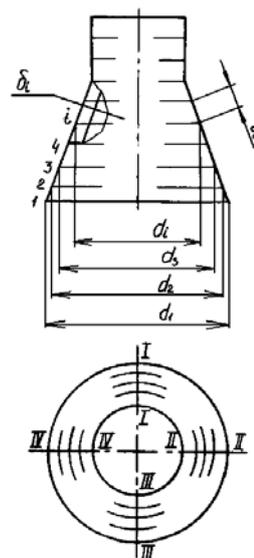
После окончания деформирования проводят замер линейных размеров: толщины и диаметров кольцевых элементов в 4<sup>х</sup> сечениях, по приведенной схеме.

Полученные величины заносят в таблицы 1, 2.

Таблица 1

Результаты замеров толщины

$N_c \backslash N_k$	1	2	3		i	
I-I						
II-II						
III-III						
IV-IV						
Среднее значение						



Здесь  $N_k$  – номер кольца,  $N_c$  – номер сечения

Таблица 2

Результаты замеров диаметров.

$N_c \backslash N_k$	1	2	3		i		n
I-I							
II-II							
III-III							
IV-IV							
Среднее значение							

По результатам замеров установить погрешность измерений. Для этого в таблицах 1, 2 выбираем столбцы, в которых имеет место наибольший разброс результатов. Рассчитывают среднеквадратичную погрешность

$$\Delta S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - d_{cp})^2}{n(n-1)}}, \quad (8)$$

где  $n$  – число замеров одного кольца ( $n = 4$ ).

Определяется доверительный интервал результатов

$$\Delta = t_{\alpha} \cdot \Delta S, \quad (9)$$

где  $t_{\alpha}$  – коэффициент Стьюдента (при  $n = 4$ , надежности  $\alpha = 0,9$   $t_{\alpha} = 2,4$ )  
Истинное значение с учетом принятой надежности

$$d = d_{cp} \pm \Delta. \quad (10)$$

где  $d_{cp}$  - среднее значение диаметра.

По найденным величинам рассчитываются деформации, используя формулы (1), (2), (3).

Таблица 3

Величины деформаций

деф \ N <sub>к</sub>	1	2	3		i		n
e <sub>δ</sub>							
e <sub>θ</sub>							
e <sub>ℓ</sub>							

Используя формулы (5), (6) убеждаются в соотношении (7).

Рассчитывают соотношения напряжений (4) и результаты заносят в таблицу 4.

Таблица 4

Значение соотношений напряжений.

\ N <sub>к</sub>	1	2	3		i		n
$\frac{\sigma_{\ell}}{\sigma_{\theta}}$							

Рассчитываются по средним значениям деформаций.

Предельный коэффициент находят из соотношения  $K_p = \frac{d_{kp}}{d_3}$

Полученные результаты представить в виде графиков деформаций и соотношения напряжений.

Найти среднюю толщину и длину образующей детали.

# Исследование процесса отбортовки осесимметричной заготовки

**Цель работы:** Изучить механизм и установить схемы напряженно - деформированного состояния процесса отбортовки осесимметричной заготовки.

**Задание:**

1. Определить величины деформаций, полученных заготовкой, и установить схему деформированного состояния процесса.
2. Установить схему напряженного состояния процесса.
3. Определить предельный коэффициент отбортовки.

## Механизм процесса отбортовки

Отбортовка – процесс формообразования, при котором совокупность действия факторов приводит к следующей характерной схеме напряженно-деформированного состояния (рис. 1).

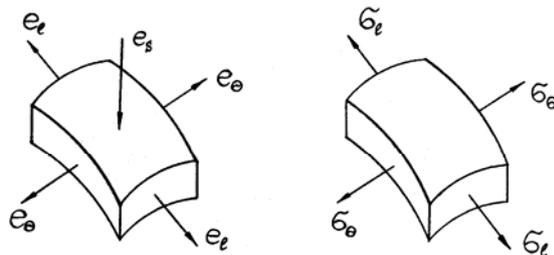
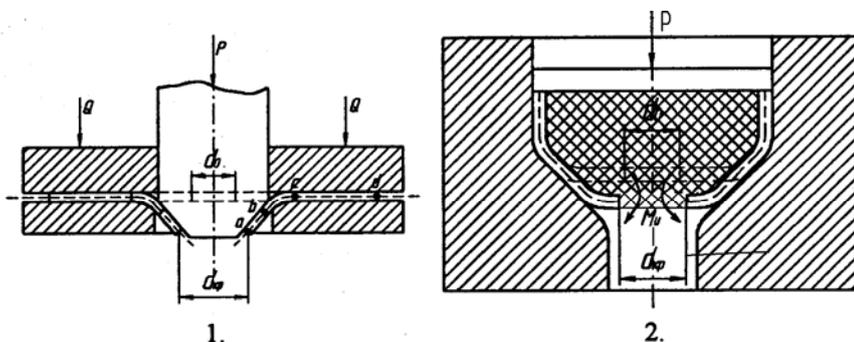


Рисунок 1. – Схемы напряжений и деформаций при отбортовке в полярной системе координат

Процесс отбортовки можно реализовать разными способами, например:



1. Отбортовка коническим пуансоном;
2. Отбортовка эластичной средой.

Рисунок 1. – Способы отбортовки.

Наглядно процесс отбортовки связан с увеличением диаметра кромки заготовки  $d_0$  до максимального значения диаметра кромки  $d_{кр}$ . Показателем, характеризующим величину отбортовки является коэффициент отбортовки (отношение диаметра кромки детали к диаметру отверстия в заготовке).

$$K_{отб} = \frac{d_{кр}}{d_0}$$

Всю заготовку можно разделить на 3 участка:

ab – основной участок пластической деформации,

bc – участок пластической деформации радиусной части матрицы,

cd – упругий участок.

При отбортовке вероятно образование одного дефекта – разрыва кромки заготовки в результате исчерпания ее пластичности. Количественным показателем, определяющим величину максимально возможной отбортовки является предельный коэффициент отбортовки.

Установление схем деформированного и напряженного состояния производится в соответствии с формулами (1÷5) работы по раздаче.

### **Методика проведения эксперимента**

Исследование процесса отбортовки производится использованием способа отбортовки пуансоном разной формы (рис. 2). Заготовкой является плоский круг с отверстием. Разметку производят по схеме (рис. 3) с разницей в диаметрах  $d_{i+1} - d_i \approx 2 \div 4$  мм. Отбортовку производят усилием, создаваемым гидропрессом ПСУ-250. Штамп устанавливают на подставку, что позволяет наблюдать за деформированием кромки заготовки до образования трещины. В этот момент снимаются показания силоизмерителя.

После окончания деформирования проводят замер линейных размеров: толщины, диаметров, кольцевых элементов с помощью индикатора и штангельциркуля.

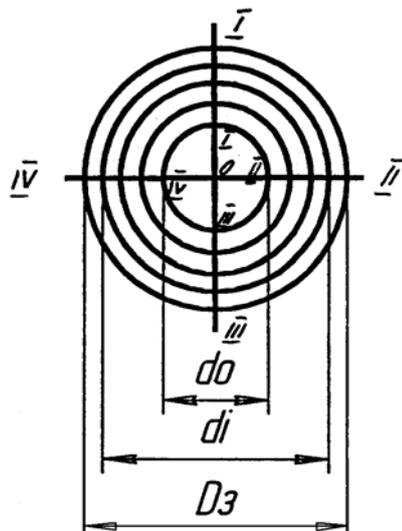


Рисунок 3. – Схема разметки

Полученные величины заносят в таблицу 1, таблицу 2.

Таблица 1

*Результаты замеров толщины*

$N_c \backslash N_k$	1	2	3		i		n
I-I							
II-II							
III-III							
IV-IV							
Ср. зн. $\bar{\delta}$							

Таблица 2

*Результаты замеров диаметров*

$N_c \backslash N_k$	1	2	3		i		n
I-I							
II-II							
III-III							
IV-IV							
Ср. зн. $\bar{d}$							

Устанавливается погрешность измерений по формулам (8, 9, 10) лабораторной работы по раздаче.

По найденным величинам рассчитывается деформация, используя формулы (1, 2, 3) лаб. работы по раздаче. Расчет ведется по средним значениям.

Таблица 3

*Величины деформаций*

деф \ N <sub>к</sub>	1	2	3		i		n
e <sub>δ</sub>							
e <sub>θ</sub>							
e <sub>ℓ</sub>							

Таблица 4

*Соотношение напряжений*

\ N <sub>к</sub>	1	2	3		i		n
$\frac{\sigma_{\ell}}{\sigma_{\theta}}$							

Определить среднюю толщину, длину образующей детали.

Полученные результаты представить в виде графиков деформаций и соотношения напряжений.

**Вопросы для закрепления материала.**

1. Как определить усилие прессы?
2. Как рассчитать размер заготовки?
3. Что происходит с длиной образующей заготовки при раздаче, отбортовке?
4. Как определяется предельный коэффициент раздачи, отбортовки?
5. Какая схема напряженного состояния на кромке заготовки?
6. Каково максимальное значение тангенциальной деформации на кромке заготовки?
7. Направление линии трения на поверхности заготовки и оправки?
8. Когда применяют промежуточный отжиг?
9. Как выглядят эпюры напряжений и деформаций в очаге деформации?