

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С. П. КОРОЛЕВА

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ  
РАЗДАЧИ И ОТБОРТОВКИ  
ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ

*Лабораторные работы*

САМАРА 2002

*Составитель И.П. Попов*

УДК 621.77.(075)

**Исследование процессов раздачи и отбортовки осесимметричных деталей:** Лаб. работы / Самар. гос. аэрокосм. ун-т; Сост. И.П. Попов. Самара, 2002. 16 с.

В работе рассматриваются механизмы деформирования трубных цилиндрических заготовок в процессах раздачи и отбортовки. В соответствии с приведенной методикой определяются прямыми замерами размеры элементов, предварительно нанесенных на заготовку как до, так и после деформации. Затем рассчитываются величины деформации и напряжений. Полученные схемы напряженно-деформированного состояния сравнивают со схемами, присущими процессам листовой штамповки, раздаче и отбортовке.

Подготовлены на кафедре обработки металлов давлением.

Печатаются по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королева

Рецензент *Г.А. Смирнов*

# 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).

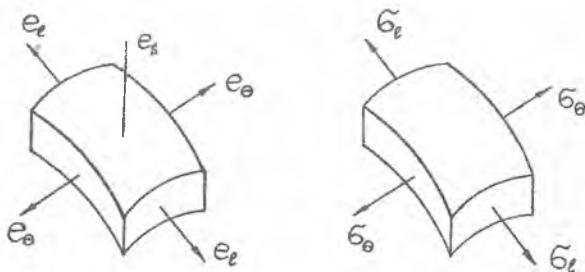


Рис. 1. Схемы напряжений и деформаций при раздаче в полярной системе координат

Процесс раздачи можно реализовать разными способами формообразования (рис. 2).

Наглядно процесс раздачи связан с увеличением диаметров элементов заготовки ( $2r_3$ ) до максимального значения диаметра кромки ( $2r_{кр}$ ).

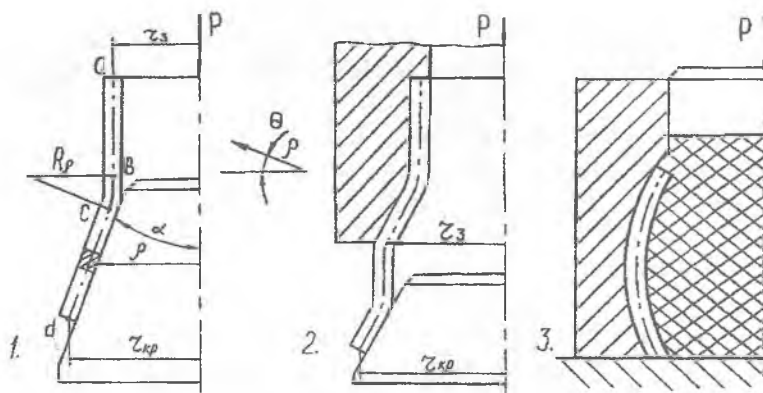


Рис. 2. Способы, реализующие процесс раздачи:

- 1 - раздача на конической оправке, 2 - последующая раздача на конической оправке, 3 - раздача эластичным наполнителем

Количественным показателем, характеризующим величину раздачи, является коэффициент раздачи. Это отношение диаметра кромки к диаметру заготовки:

$$K_p = \frac{d_{kp}}{d_3}$$

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

- dc – основной участок пластической деформации,
- cb – участок пластической деформации свободного изгиба,
- ba – участок упругого деформирования, передающий усилие в зону пластической деформации.

При раздаче наиболее вероятно 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).

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

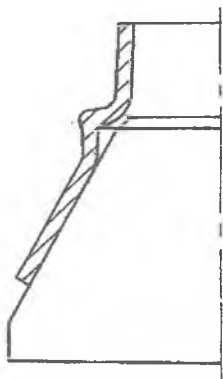


Рис. 3. Потеря устойчивости в результате гофрообразования

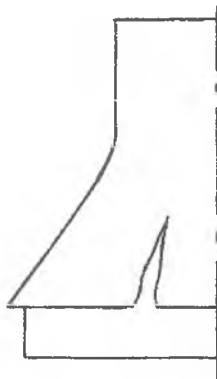


Рис. 4. Разрыв кромки заготовки

### 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 (б.м.) 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 через  $b'c'b$  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 ввиду ее малости. Таким образом, б.м. элемент очага пластической деформации можно характеризовать напряжениями и деформациями в трех взаимно перпендикулярных направлениях: вдоль образующей заготовки “ $\ell$ ”, в тангенциальном направлении, т.е. по направлению касательной к окружности “ $\theta$ ”, и, наконец, по направлению толщины заготовки “ $\bar{\delta}$ ” (рис. 5).

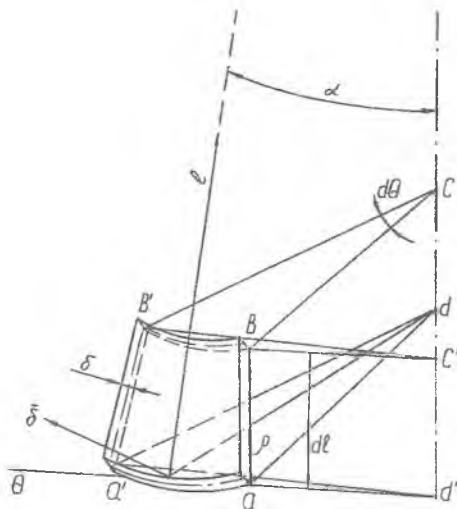


Рис. 5. Схема к установлению координат б.м. элемента и направлений действия на него напряжений и деформаций

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 “ $\ell$ ”, 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  $\ell$  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

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

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

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

где  $e_\ell$  - 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:

$$\sigma_{\delta \text{ ср}} = \frac{P_{\text{max}} \cdot \sin \alpha}{F_k}, \quad (5)$$

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

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

$$F_k = \pi \frac{d_{\text{кр}}^2 - d_3^2}{4 \sin \alpha} - \text{горизонтальная проекция площади контакта}$$

между заготовкой и оправкой (рис. 6),

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

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

Разделив (5) на (6), получим

$$\frac{\bar{\sigma}_{\text{бср}}}{\bar{\sigma}_{\text{лср}}} = \frac{d_3 \cdot \delta}{d_{\text{кр}}^2 - d_3^2} \ll 1. \quad (7)$$

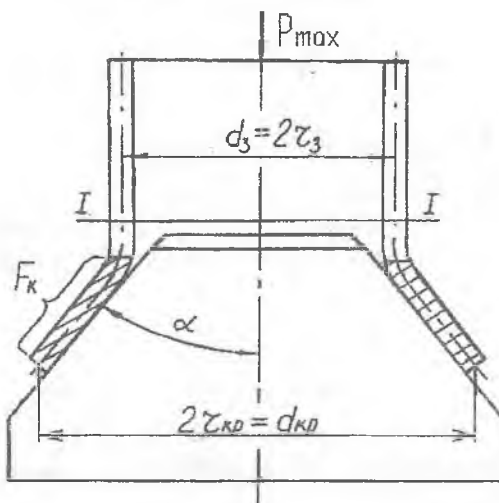


Рис. 6. Схема действия сил

### 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 определяют 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 сечениях, по приведенной схеме. Полученные величины заносят в табл. 1, 2.

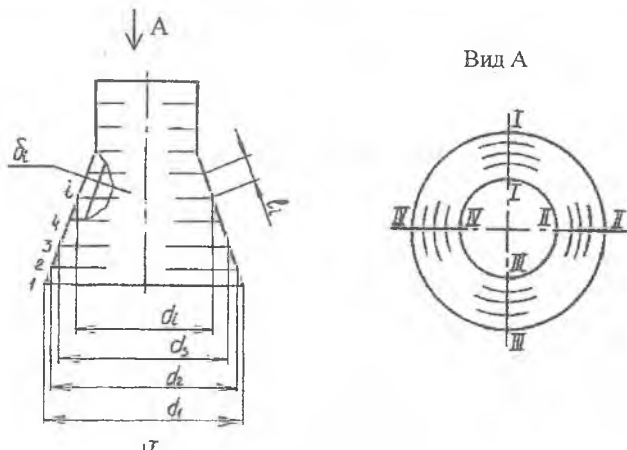


Таблица 1

Результаты замеров толщины

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

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

По результатам замеров установить погрешность измерений.

Для этого в табл. 1, 2 выбирают столбцы, в которых имеет место наибольший разброс результатов. Рассчитывают среднеквадратичную погрешность

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

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

Таблица 2

Результаты замеров диаметров

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

Определяют 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

$$d = d_{\text{ср}} \pm \Delta, \quad (10)$$

где  $d_{\text{ср}}$  – среднее значение диаметра.

По найденным величинам рассчитывают деформации, используя формулы (1), (2), (3), результаты заносят в табл. 3.

Таблица 3

Величины деформаций

Деформация	$N_k$						
	1	2	3		$i$		$n$
$e_{\delta}$							
$e_{\theta}$							
$e_{\ell}$							

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

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

Таблица 4

Значение соотношений напряжений

	$N_k$						
	1	2	3		$i$		$n$
$\frac{\sigma_\ell}{\sigma_\theta}$							

Рассчитываются по средним значениям деформаций.

Предельный коэффициент находят из соотношения

$$K_p = \frac{d_{кр}}{d_3}.$$

Полученные результаты представить в виде графиков деформаций и соотношения напряжений.

Найти среднюю толщину и длину образующей детали.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОТБОРТОВКИ ОСЕССИМЕТРИЧНОЙ 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):

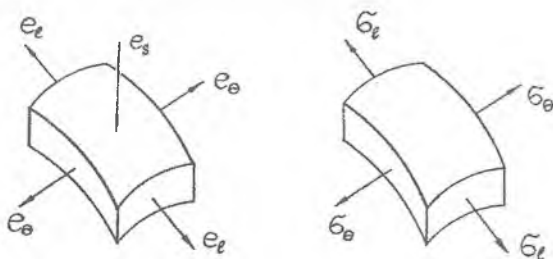


Рис. 1. Схемы напряжений и деформаций при отбортовке в полярной системе координат

Процесс отбортовки можно реализовать разными способами, например (рис. 2).

Наглядно процесс отбортовки связан с увеличением диаметра кромки заготовки  $d_0$  до максимального значения диаметра кромки  $d_{кр}$ .

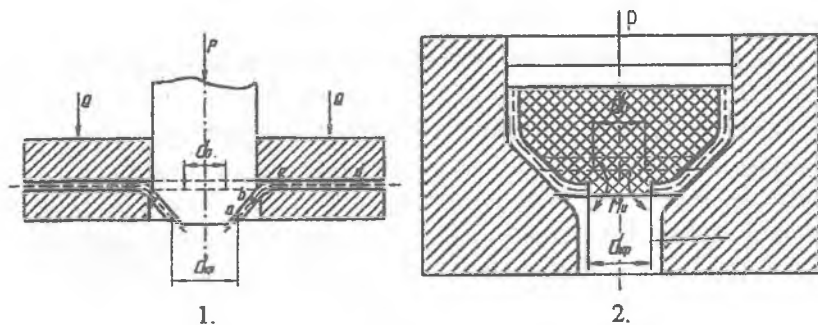


Рис. 2. Способы отбортовки:

1 - отбортовка коническим пуансоном; 2 - отбортовка эластичной средой

Показателем, характеризующим величину отбортовки, является коэффициент отбортовки (отношение диаметра кромки детали к диаметру отверстия в заготовке):

$$K_{\text{отб}} = \frac{d_{\text{кр}}}{d_0}.$$

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 состояний производится в соответствии с формулами (1)-(5) работы по раздаче.

### Методика проведения эксперимента

Исследование процесса отбортовки производится с использованием способа отбортовки пуансоном разной формы (рис. 2). Заготовкой является плоский круг с отверстием. Разметку производят по схеме (рис. 3) с разницей в диаметрах

$$d_{i+1} - d_i \approx 2 \div 4 \text{ мм.}$$

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 штангенциркуля.

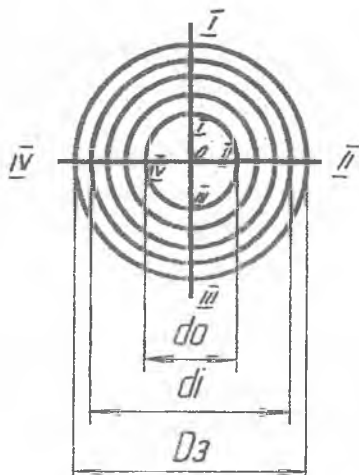


Рис. 3. Схема разметки

Полученные величины заносят в табл. 1, 2.

Таблица 1

Результаты замеров толщины

$N_c$	$N_k$						
	1	2	3		$i$		$n$
I-I							
II-II							
III-III							
IV-IV							
Среднее значение $\bar{\delta}$							

Результаты замеров диаметров

$N_c$	$N_k$						
	1	2	3		$i$		$n$
I-I							
II-II							
III-III							
IV-IV							
Среднее значение $\bar{d}$							

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

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

Таблица 3

Величины деформаций

Деформация	$N_k$						
	1	2	3		$i$		$n$
$e_\delta$							
$e_\theta$							
$e_\ell$							

Таблица 4

Соотношение напряжений

	$N_k$						
	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?



**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ  
РАЗДАЧИ И ОТБОРТОВКИ  
ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ**

*Лабораторные работы*

Составитель Попов Игорь Петрович

Редактор Т. К. К р е т и н и н а

Компьютерная верстка Т. Е. П о л о в н е в а

Подписано в печать 24.09.2002 г. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 0,93. Усл. кр.-отт. 0,98. Уч.-изд.л. 1,0.

Тираж 200 экз. Заказ 68 . Арт. С-22(Д1)/2002.

Самарский государственный аэрокосмический  
университет им. академика С. П. Королева.  
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

РИО Самарского государственного  
аэрокосмического университета.  
443001 Самара, ул. Молодогвардейская, 151.