

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П.КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

Лабораторный практикум

Электронные методические указания

САМАРА
2011

Авторы-составители: **Попов Игорь Петрович,**
Николенко Константин Анатольевич,
Демьяненко Елена Геннадьевна

Лабораторный практикум [Электронный ресурс] : электрон. метод. указ. / Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т); авт.-сост. И. П. Попов, К. А. Николенко, Е. Г. Демьяненко. - Электрон. текстовые и граф. дан. (2,10 Мбайт). - Самара, 2011. - 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

В методических указаниях приведены шесть лабораторных работ. Работы посвящены исследованию процессов глубокой вытяжки, вытяжки цилиндрической заготовки, обжима цилиндрической заготовки, раздачи, отбортовки и совмещённых процессов обжима, раздачи и отбортовки.

Предназначены для бакалавров инженерно-технологического факультета, обучающихся по направлению 150700.62 «Машиностроение» по дисциплине «Технология листовой штамповки» на 7 и 8 семестрах.

Подготовлены на кафедре обработки металлов давлением

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1	6
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГЛУБОКОЙ ВЫТЯЖКИ ПЛОСКОЙ ЛИСТОВОЙ ЗАГОТОВКИ.....	6
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2	21
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫТЯЖКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЛИСТОВОЙ ЗАГОТОВКИ.....	21
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3	30
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБЖИМА ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЗАГОТОВКИ С ДНОМ	30
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4	36
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗДАЧИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ.....	36
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5	45
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОТБОРТОВКИ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ ЗАГОТОВКИ	45
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6	50
ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕЩЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ОБЖИМА РАЗДАЧИ ОТБОРТОВКИ.....	50

ВВЕДЕНИЕ

Большое количество деталей авиационной техники изготавливают по технологии, в которой заложены инструментальные процессы штамповки. К ним в первую очередь относятся процессы вытяжки, обжима, раздачи, отбортовки.

К деталям авиационной техники предъявляются высокие требования по точности, надежности в эксплуатации. Задача технолога состоит в том, чтобы спроектировать технологический процесс с минимальным числом переходов и высоким коэффициентом использования материала. Важное место в достижении этого результата должно уделяться вопросам технологии, которые учитывают разнотолщинность получаемых в результате листовой штамповки деталей.

Известно, например, что разнотолщинность многократной вытяжки составляет 50-100%. Это является одной из основных причин уменьшения степени формообразования на последующих операциях штамповки, снижения коэффициента использования материала, т.к. не всегда полученный характер изменения толщины, ее величина на штампованной детали составляют эксплуатационным характеристикам. Находят выход в том, что исходную толщину заготовки выбирают завышенной на определенную величину разнотолщинности. Для детали авиационной техники, подвергающихся механической обработке, положение ухудшается тем, что увеличивается трудоемкость механической обработки из-за дополнительного объема металла, снимаемого в стружку.

Поэтому с технической и экономической точек зрения очень важно проектировать технологический процесс так, чтобы он направленно изменял толщину заготовки. В первую очередь этого можно достичь последовательным совмещением разных схем напряженно-деформированного состояния для всей заготовки или отдельных ее участков, как в однопереходных, так и многопереходных процессах.

Такой подход, во-первых, дает возможность вести формоизменение на каждой операции с максимальными коэффициентами даже для деталей, имеющих жесткие ограничения по толщине стенки. Это объясняется тем, что, накладывая на элементы заготовки разные схемы напряженно-деформированного состояния, на последующих операциях можно компенсировать полученное ранее утонение или утолщение, во-вторых, получать техпроцессы с более высоким коэффициентом использования металла.

Настоящий лабораторный практикум включает работы, связанные с изучением процессов вытяжки, обжима, раздачи, отбортовки, в которых рассматриваются их основные технологические параметры. При выполнении лабораторных работ студенты изучают сущность основных процессов листовой штамповки, исследуют взаимосвязь основных параметров процессов на разнотолщинность детали, предельных коэффициентов формообразования, силовых, геометрических факторов. Результаты исследований обрабатываются с использованием методов математической статистики и ЭВМ.

Такое построение лабораторных работ позволяет на экспериментальном материале глубоко осмыслить суть рассматриваемых явлений и подготовить студентов для творческой работы над курсовыми и дипломными проектами. Лабораторные работы по усмотрению преподавателя могут выполняться индивидуально или группой студентов.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГЛУБОКОЙ ВЫТЯЖКИ ПЛОСКОЙ ЛИСТОВОЙ
ЗАГОТОВКИ

Цель работы - изучение сущности процесса глубокой вытяжки из плоской листовой заготовки.

Задания

Изучить схему и напряженно-деформированное состояние процесса вытяжки из плоской заготовки.

Установить основные параметры, влияющие на величину и характер разнотолщинности.

Определить минимальное усилие прижима из условия устойчивости фланца.

Провести обработку результатов замера толщин с использованием математических методов [1].

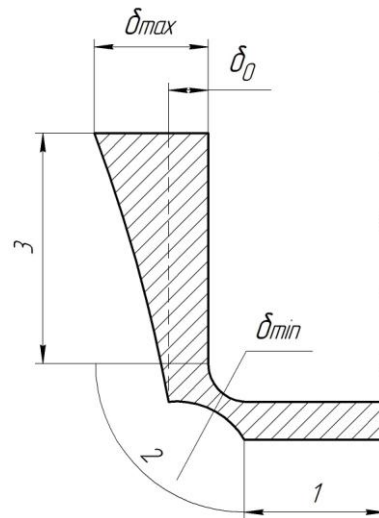
Сущность процесса глубокой вытяжки

Вытяжка - это операция получения полых деталей из листовой заготовки. При деформировании заготовки в процессе вытяжки происходит неравномерное изменение ее толщины. Поэтому вытянутая деталь имеет по длине образующей разную толщину. Разнотолщинность рассматриваемых деталей достигает 40-50% (рисунок 1):

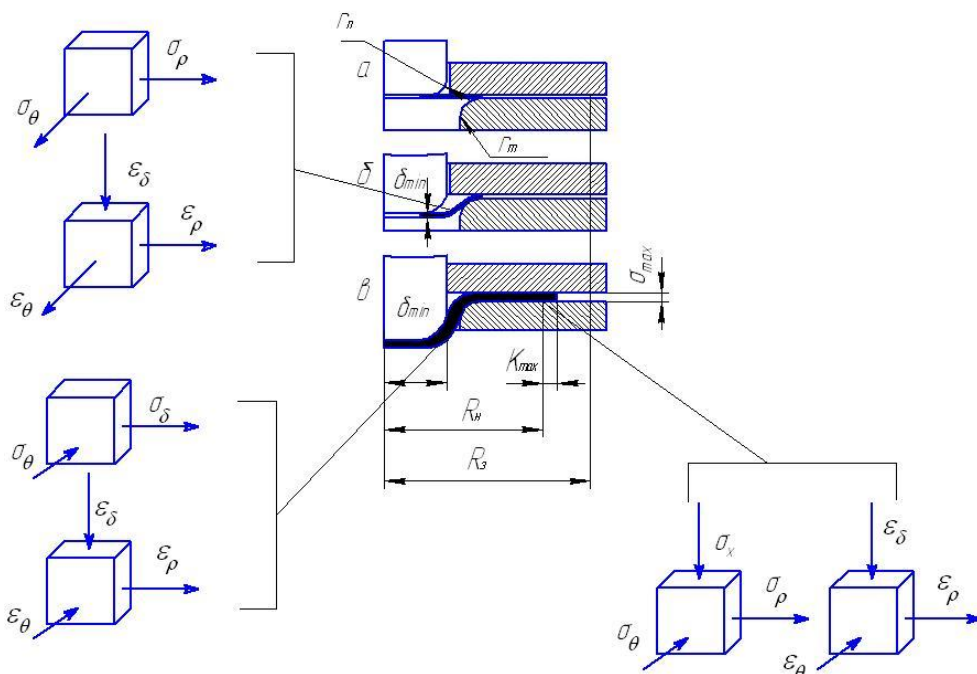
$$\frac{\delta_{max} - \delta_{min}}{\delta_{max}} = 0,4 - 0,5 .$$

Схемы рассматриваемого процесса вытяжки и напряженно-деформированного состояния представлены на рисунке 2. Пластическое деформирование заготовки начинается на свободном кольцевом участке (рисунок 2а), расположенном между вытяжным ребром матрицы r_m , и радиусом округления пуансона r_n . Начальная стадия вытяжки характеризуется интенсивным утонением свободного участка. За счет деформации утонения

происходит удлинение и поворот рассматриваемой части заготовки, что вызвано вертикальным перемещением пуансона.



δ_0 - толщина исходной заготовки; $\delta_{max}, \delta_{min}$ - максимальная и минимальная толщина; 1- участок дна; 2 - радиусный участок; 3 - цилиндрический участок
 Рисунок 1- Характер изменения толщины детали после вытяжки плоской заготовки [2]



$\sigma_\rho, \sigma_\theta, \sigma_k$ -соответственно радиальное, тангенциальное, контактное напряжения; $\xi_\rho, \xi_\theta, \xi_\delta$ -радиальная, тангенциальная деформация и деформация по толщине заготовки [3]

Рисунок 2- Схемы последовательности процесса глубокой вытяжки и напряженно-деформированного состояния

При этом фланец заготовки, находящийся под прижимом, остается неподвижным, так как усилие на свободном участке недостаточно для вытягивания его в отверстие матрицу (рисунок 2б). Рост тянущего усилия происходит за счет упрочнения деформируемой свободной кольцевой части. При достижении определенной величины усилия на свободном участке начинается сокращение фланца заготовки. Начавшаяся стадия вытяжки характеризуется равновесием тянущего усилия и усилия сопротивления фланца.

Однако рост усилия и утонение свободного участка не прекращаются. Тянущее усилие растет пропорционально усилию сопротивления, которое увеличивается в связи с упрочнением при деформации фланца заготовки. Развитие этого процесса приводит к возникновению на свободном участке опасного сечения, в котором наряду с действием наибольших растягивающих напряжений наблюдается наименьшая толщина, достигающая своего экстремального значения при перемещении фланца заготовки на величину X_{max} (рисунок 2в) [4].

$$X_{max} = \frac{1}{2} D_3 \psi_u \ln K ,$$

где $D_3 = 2R_3$ - диаметр плоской заготовки;

ψ_u - величина относительного равномерного сужения материала заготовки;

$K = \frac{D_3}{d_0}$ - коэффициент вытяжки;

$d_0 = 2r_0$ - диаметр детали по нейтральной поверхности.

При достижении предельного значения деформации утонения происходит обрыв дна заготовки.

Максимальное значение K , при котором заготовка вытягивается, не разрушаясь, называется предельным коэффициентом вытяжки. Величина предельного коэффициента вытяжки определяется на стадии, ограниченной перемещением края фланца заготовки на величину X_{max} . Дальнейшее

деформирование заготовки на заключительных стадиях характеризуется отсутствием утонения.

Однако разнотолщинность заготовки увеличивается в результате утолщения края фланца заготовки. На характер разнотолщинности вытяжки плоской заготовки влияют следующие параметры процесса: геометрические (коэффициент вытяжки K , радиусы закругления пуансона r_n , матрица r_m , величина зазора между матрицей и пуансоном:

$$z = \frac{d_m - d_n}{2},$$

где d_m, d_n - соответственно диаметры отверстия матрицы и пуансона.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЯ ПРИЖИМА

Сила прижима фланца заготовки определяется его устойчивостью (складкообразованием от тангенциальных напряжений). Необходимо усилие прижима выбирать так, чтобы оно обеспечивало устойчивое протекание процесса вытяжки при его минимальном значении.

При решении вопросов устойчивости наиболее широко используется энергетический критерий, согласно которому вариация энергии деформируемого тела при возможно малом его отклонении формы, т.е. его малых перемещениях (вариациях) от того положения, в котором тело находится в равновесии, равна нулю ($\delta \mathcal{E} = 0$). Энергия деформируемого тела равна сумме потенциальной энергии деформации U и энергии от внешних сил A . Таким образом $\delta \mathcal{E} = \delta(U + A)$. Интегрируя последнее равенство, получим $U + A = C$. Принимая за критическое состояние нулевой уровень энергии $\mathcal{E} = 0$, произвольная постоянная $C = 0$ [5].

Внутренняя потенциальная энергия изгиба:

$$U = \iint_F \frac{\delta^3 E_c}{18} \left[x_\theta^2 + x_r^2 + x_r x_\theta + x_{r\theta}^2 - \frac{3}{4} \frac{x^2}{\sigma_i^2} (-n) \right] A_1 A_2 d\theta dr, \quad (1)$$

где θ, r - направление осей в криволинейной системе координат;

F - площадь фланца;

$E_c = \frac{\sigma_i}{\xi_i}$ - секущий модуль или модуль пластичности;

σ_i, ξ_i - интенсивности напряжений и деформаций;

A_1, A_2 - коэффициенты квадратичной формы;

$x_\theta, x_r, x_r x_\theta$ - кривизны оболочки при ее выпучивании.

Например, кривизна оболочки в направлении координаты θ равна:

$$x_\theta = \frac{1}{R_\rho},$$

где R_ρ - радиус выпучивания оболочки (см. рисунок 3);

σ_i - интенсивность напряженного состояния элемента заготовки в момент потери устойчивости,

n - константа степенной кривой упрочнения.

$$x = x_r \sigma_r + \sigma_\theta x_\theta.$$

Потеря устойчивости элемента в пластической области приводит к изменению формы срединной поверхности элемента. Поскольку выпучивание бесконечно мало, то считаем, что нейтральная поверхность при изгибе совпадает со срединной, т.е. отсутствует зона разгрузки, и изменение квадратичной формы отсутствует.

Если мы рассматриваем плоскую заготовку в виде круга в цилиндрической системе координат, то величины коэффициентов равны соответственно [6]:

$$A_1 = 1, A_2 = r.$$

Величина радиуса свободного изгиба может быть выражена через величину прогиба произвольной точки складки, т.е. ее расстояния от срединной до исходной срединной поверхностей ω .

В нашем случае кривизна существует в одном направлении. Через прогиб она выразится так:

$$x_\theta = \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \omega}{\partial \theta^2}, \quad (2)$$

где ω - функция прогиба срединной поверхности.

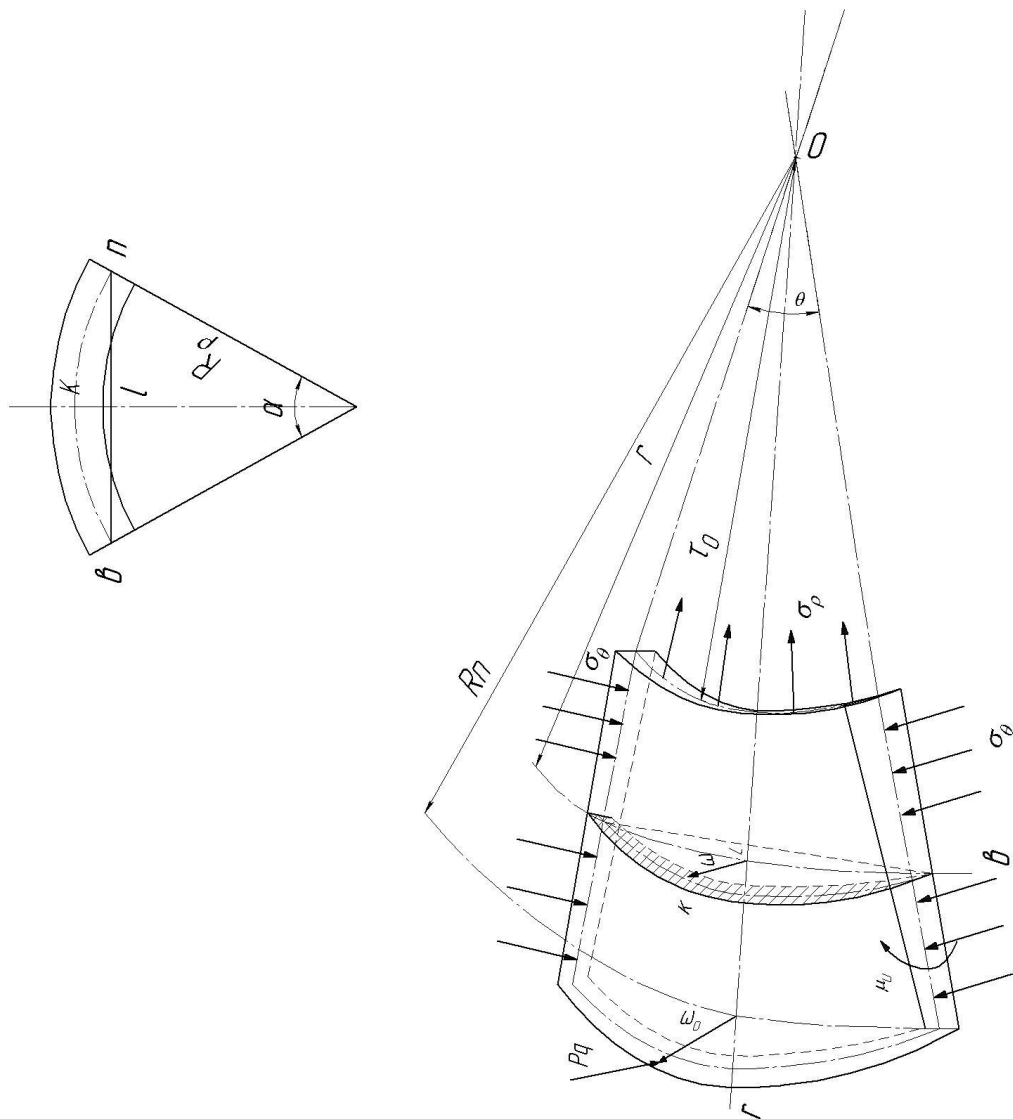


Рисунок 3 - Схема выпущенного элемента фланца

Последняя выбирается с учетом того, какова форма потери устойчивости. Важным при выборе функции является то, чтобы она совпадала с граничными условиями. Выбираем функцию прогиба в виде:

$$\omega = \omega_0 \sin \frac{i\theta}{2}, \quad (3)$$

где ω_0 - максимальная амплитуда полуволны;

i - число полуволн, образующихся при выпучивании.

Выбранная функция удовлетворяет граничным условиям. При $\theta = 0, \theta = \frac{2\pi}{i}$, $\omega = 0$, и $\theta = \frac{\pi}{i}, \frac{d\omega}{d\theta} = 0$, т.е. на вершине полуволны прогиб максимальный.

С учетом выбранной функции при отсутствии изгиба в направлении:

$$x_\theta = x_{r\theta} = 0,$$

потенциальная энергия изгиба (1) примет вид:

$$U = \int_{r_0}^{R_n} \int_0^{2\pi} \frac{\delta^3 E_c}{18} \left(x_\theta^2 - \frac{3}{4} \frac{x_\theta^2 \sigma_\theta}{\sigma_i^2} \left(-n \right) \right) r dr d\theta, \quad (4)$$

где x_θ определяется по формуле (2).

При вытяжке фланца $\sigma_\theta = \sigma_i$ равенство (4) принимает вид:

$$U = \int_{r_0}^{R_n} \int_0^{2\pi} \frac{\delta^3 E_c}{72} \left(+ 3\pi \overline{x_\theta^2} \right) r dr d\theta. \quad (5)$$

После определения кривизны по формуле (2) с учетом (3) подстановки ее в равенстве (5) и интегрирования получим:

$$U = - \frac{\Pi \delta^3 E_c \left(+ 3n \overline{\omega_a^2} i^4 \left(R_n^2 - r_0^2 \right) \right)}{18 \cdot 128 \left(R_n^2 - r_0^2 \right)}. \quad (6)$$

При выпучивании элемента поперечные размеры его уменьшаются и силы, образованные тангенциальными напряжениями, совершают работу по контуру элемента. Это работа контурных сил. Ее величина в соответствии с принятой функцией равна [6]:

$$A = \frac{\delta}{2} \int_{r_0}^{R_n} \int_0^{2\pi} \sigma_\theta \left(\frac{\partial \omega}{\partial \theta \cdot r} \right)^2 r dr d\theta. \quad (7)$$

Считаем, что величина тангенциального напряжения постоянна по радиусу и равна σ_i . После подстановки значения функции прогиба и интегрирования:

$$A = \frac{I}{2} \delta \ln \frac{R_n}{r_0} \omega_0^2 i^2 \sigma_i \Pi. \quad (8)$$

Если вытяжка проводится с прижимом заготовки, то при ее выпучивании прижим также совершает работу [5]. Сила прижима может быть представлена в виде двух слагаемых:

$$P_{\partial} = P_0 + hS, \quad (9)$$

где P_0 - начальное значение прижима;

h - перемещение прижима;

S - жесткость прижима. Это усилие надо затратить, чтобы переместить прижим на 1 мм.

Работа, совершаемая прижимом, выражается соотношением:

$$A_{np} = \int_0^{2\omega_0} P_{\partial} dh = 2P_0\omega_0 + 2\omega_0^2 S. \quad (10)$$

В соответствии с критерием устойчивости, равным нулевому уровню энергии, с учетом равенств (6), (8), (10) будем иметь:

$$-\frac{\Pi\delta^3 E_c \left(+ 3n \overline{\varphi_0^3} i^4 \right)}{18 \cdot 128 R_n^2 r_0^2} + \frac{1}{2} \delta \ln \frac{R_n}{r_0} \omega_0^2 i \sigma_i \Pi - 2s\omega_0^2 = 0.$$

Знак минус в работе прижима выбран из соображения ее противоположности работе контурных сил. Кроме того, считаем, что начальное значение усилия $P_0 = 0$. Из последнего уравнения баланса работ выразим критерий жесткости:

$$S = -\frac{\Pi\delta^3 E_c \left(+ 3n \overline{i^4} \left(\overline{\kappa_n^4} - \kappa_0^4 \right) \right)}{36 \cdot 128 R_n^2 r_0^2} + \frac{1}{4} \Pi \delta \sigma_i \cdot i^2 \ln \frac{R_n}{r_0}.$$

Минимальное значение критерий принимает при определенных значениях параметра i функции прогиба. Для определения величины i , при которой жесткость принимает экстремальное значение, необходимо взять производную по i и приравнять ее нулю $\frac{\partial S}{\partial i} = 0$. В результате получим:

$$\frac{\left(\overline{\kappa_n^2} - r_0^2 \right) \overline{\Pi i^2} \delta^3 E_c \left(+ 3n \right)}{R_n^2 r_0^2 \cdot 144} - \Pi \ln \frac{R_n}{r_0} \sigma_i \delta = 0.$$

После преобразований величина имеет вид:

$$i = \frac{12}{\delta} \sqrt{\frac{\ln \frac{R_n}{r_0} \sigma_i R_n^2 r_0^2}{E_c (R_n^2 - r_0^2)}} \quad (11)$$

В последнем выражении отношение $\frac{\sigma_i}{E_c}$ можно представить:

$$\frac{\sigma_i}{E_c} = \frac{\sigma_i \xi_i}{A \xi_i^n} = \frac{A \xi_i^n \xi_i}{A \xi_i^n} = \xi_i \approx \xi_\theta = \ln \frac{K}{\frac{R_n}{r_0}},$$

где $K = \frac{R_n}{r_0}$ коэффициент вытяжки.

С учетом последнего равенства выражение (11) можно записать:

$$i = \frac{12}{\delta} \lambda \sqrt{\frac{\ln \lambda (K - \ln \lambda)}{\lambda^2 - 1}}, \quad (12)$$

где $\lambda = \frac{R_n}{r_0}$, $\delta = \frac{\delta}{r_0}$.

Изложенная методика впервые была предложена С.П.Тимошенко [7]. Выражение (12) имеет максимум в зависимости от величины λ . В начальный момент при $R_n = R_n$, $i = 0$, при $R_n = r_0$, когда фланец полностью вытянется, $i = 0$. Чтобы определить значение λ , при котором число полуволокн максимально, найдем производную $\frac{\partial i}{\partial \lambda}$ и приравняем ее нулю. Будем считать, что $\ln \lambda = \lambda - 1$. После решения получим:

$$\lambda = \frac{L}{4} + \sqrt{\frac{L^2}{16} + \frac{3-2L}{2}},$$

где $L = 1 - \ln K$.

Последнее выражение имеет тем большее значение, чем больше K . При $K = 2,73$ $\lambda = 1,22$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗНОТОЛЩИННОСТИ ЗАГОТОВКИ

Значительное влияние на утонение оказывает коэффициент вытяжки, трение, упрочнение. Напряжения, которые обусловлены указанными

факторами, можно найти в работе [8].

$$\sigma_{\rho} = \sigma_r + \sigma_{mp} (1,6f) \sigma_{изг}, \quad (13)$$

где σ_r - радиальное растягивающее напряжение, непосредственно связанное с деформацией;

σ_{mp} - удельное сопротивление трения от силы прижима;

f - коэффициент трения;

$\sigma_{изг}$ - сопротивление от изгиба на кромке находится по формуле:

$$\sigma_{изг} = \frac{\sigma_6}{\left(\frac{2r_m}{\delta} + 1 \right)}.$$

Зависимость показывает, что с уменьшением радиуса матрицы до нуля, напряжение от изгиба достигает предела текучести. Поэтому при малых радиусах округления кромки резко увеличивается утонение заготовки. Как правило, отношение $\frac{r_m}{\delta}$ берут в пределах $8 \div 10$. Это с одной стороны, дает небольшие напряжения от изгиба, а с другой стороны - обеспечивает устойчивость фланца заготовки, находящегося над кромкой матрицы.

Радиальное напряжение:

$$\sigma_r = f_1 \sigma_6 - f_1' \sigma_6 \alpha',$$

где f_1, f_1', σ_6 - константы металла, находятся по таблице в работе [2];

α' - коэффициент, учитывающий влияние анизотропии:

$$\alpha' = \frac{1}{2(1-\mu)} \ln \frac{\sqrt{2} + \sqrt{1-\mu}}{\sqrt{2} - \sqrt{1-\mu}},$$

где $\mu = \frac{\mu_{12} + \mu_{21}}{2}$ - средний коэффициент поперечной деформации [9];

μ_{12}, μ_{21} - коэффициенты поперечной деформации (первый индекс оказывает ее направление, а второй - действие растягивающей силы при линейной схеме напряжений).

Сопротивление трения от силы прижима:

$$\sigma_{mp} = \frac{f\rho_g}{2\Pi R_m \delta},$$

где усилие прижима находится по формуле (9).

Максимальную величину утонения в опасном сечении можно определить, если считать, что на установившейся стадии вытяжки оно деформируется в условиях плоской деформации. В этом случае интенсивность деформации равна [9].

$$\xi_i = \frac{I}{\sqrt{1-\mu^2}} \xi \delta,$$

где $\xi \delta$ - деформация утонения в опасном сечении.

Учитывая степенной закон упрочнения $\sigma_{il} = A \xi_i^n$ и последнее равенство, найдем:

$$\sigma_{il} = A \frac{\xi^n \delta^n}{\sqrt{1-\mu^2}}. \quad (14)$$

Величина σ_{il} для плоско-деформированного состояния [9]:

$$\sigma_{il} = \sqrt{1-\mu^2} \sigma_2. \quad (15)$$

Из выражении (14), (15) находим:

$$\xi \delta = \left(\frac{\sigma_r}{A} \right)^{\frac{1}{n}} \sqrt{1-\mu^2}^{\frac{1+n}{n}}. \quad (16)$$

Наиболее утолщенная часть при вытяжке - эта кромка заготовки. Набор толщины идет за счет уменьшения диаметра фланца, если считать, что кромка фланца деформируется в условиях линейной схемы деформации [4], то деформация утолщения составит:

$$\xi \delta = \mu \ln \frac{R_n}{r_0}. \quad (17)$$

Из формул (16), (17) находим значение толщин в наиболее утоненном и утолщенном местах:

$$\delta_{min} = \delta_0 \exp \left[- \left(\frac{\sigma_p}{A} \right)^{\frac{1}{n}} \left(- \mu^2 \right)^{\frac{1+n}{2n}} \right], \quad (18)$$

$$\delta_{max} = \delta_0 \exp \left(\mu \ln \frac{R_n}{r_0} \right). \quad (19)$$

Здесь значение σ_p определяется формулой (13). Величину разнотолщинности найдем $\delta_{max} - \delta_{min}$.

ОБОРУДОВАНИЕ, ОСНАСТКА, МАТЕРИАЛЫ, ПРИБОРЫ

В качестве оборудования используется кривошипный пресс К-30, гидравлические прессы ЦДШУ-30, ЦДМУ-30. Последние имеют шкалы с усилиями 300 кН, 150 кН, 50 кН с ценой деления соответственно 3,0 кН; 1,5 кН; 0,5 кН.

Выбор силового оборудования определяется преподавателем в зависимости от степени полноты задания.

Исследование операции вытяжки проводят в специальных штампах. Штамп состоит из пуансона 1, прижима 2, матрицы 3, болтов 4, матрице держателя 5 (рисунок 4).

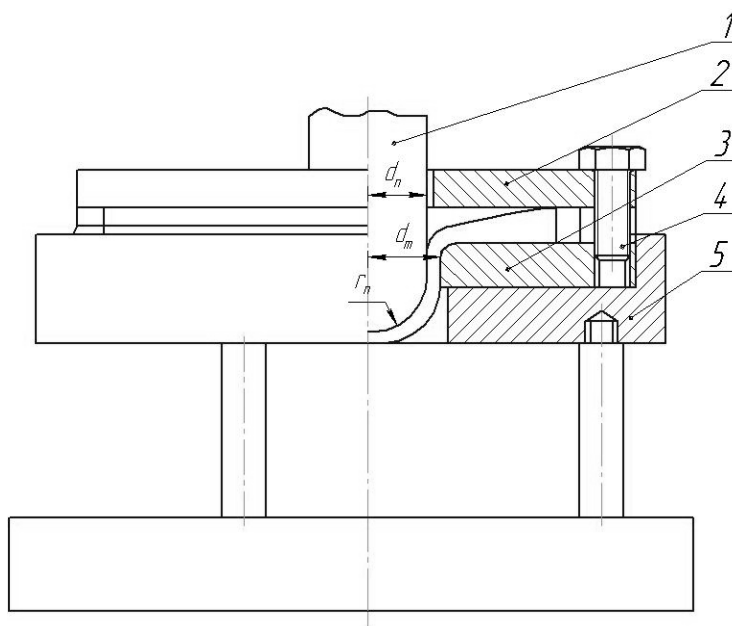


Рисунок 4 - Штамповая оснастка

Матрица и прижим скреплены между собой болтами 4, образуя сменный блок, который устанавливается на матрицедержатель 5. Рабочие поверхности матрицы и прижима образуют гарантированный зазор. Достигается это тем, что на обращенных друг к другу поверхностях матрицы и прижима выполнены уступы, размещенные полукольцом по наружному диаметру.

Штамп работает следующим образом. Плоская заготовка подается горизонтально в зазор между матрицей и прижимом, которые устанавливаются в матрицедержатель штампа. При сокращении край фланца утолщается наиболее сильно и прижимается к матрице. Поэтому величина гарантированного зазора равна наибольшей толщине, которая определяется по формуле (19).

Кроме того, ослабляя болты, можно увеличить величину зазора на необходимую величину и регулировать тем самым гофрообразование, т.е. число складок на фланце.

Для установления влияния геометрических параметров штампа (радиусов закругления матрицы r_m , пуансона r_n , коэффициента вытяжки) имеется набор блоков матрицы и прижима, приведенный в таблице 1.

Таблица 1

Размеры блоков штампа, мм

Номер штампа	d_n	r_m	r_n	d_m	D_3
1	90	16	25	95	160
2	-	-	-	-	180
3	90	8	25	95	180
4	90	25	25	95	180
5	90	16	45	95	180

Все штампы имеют зазор между матрицей и пуансоном равный 2,5 мм, что позволяет проводить вытяжку из материала менее 2,0 мм без принудительного утонения кромки заготовки. Разные радиусы закруглений матриц r_m , пуансонов r_n , диаметр заготовки позволяют исследовать влияние этих параметров на разнотолщинность детали.

Исследование влияния анизотропии на разнотолщинность осуществляется при помощи использования разных материалов на алюминиевой и медной основе толщиной 1,3 - 2 мм.

Толщина вытянутой детали замеряется часовыми индикаторами с ценой деления 0,01 мм, установленными на стойках, размеры штамповой оснастки - штангенциркулем, угломером, радиусом. Разметку заготовок проводят циркулем.

Порядок проведения эксперимента

1. Исследования влияния одного из параметров процесса вытяжки на разнотолщинность вытянутой заготовки проводятся бригадами в 2-3 человека. Перед вытяжкой на плоскую заготовку наносится диаметрально линия, она нумеруется числом, соответствующим номеру штамповой оснастки. Замеряются толщина и диаметр заготовки.

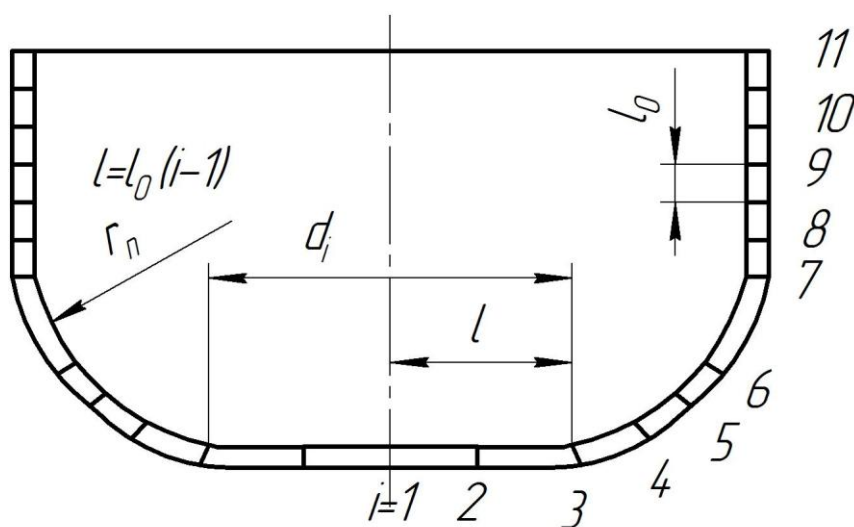


Рисунок 5 - Схема разметки вытянутой заготовки

2. Преподавателем даются значения коэффициентов механических свойств материала ($A, n, \sigma_e, \mu, f_1, f_1', f$), величина допустимой волнистости ω_0 .

3. Проводится процесс вытяжки. На вытянутой заготовке по диаметральной линии от оси через равные промежутки $l_0 = 8-10$ мм наносятся циркулем точки (рисунок 5). Замеряют толщины заготовок в различных сечениях, номера которых должны соответствовать номеру точки и заносятся в таблицы 1, 2 и т.д., предварительно распределив значения толщин по участкам.

4. По следам, имеющим место на торце детали, подсчитывается число полуволн, образующихся при вытяжке.

5. По формуле (12) определяем число полуволн и сравниваем с числом эксперимента, находим, усилие прижима по формуле (9) при $h = \omega_0$.

6. Расчетным путем, используя формулы (13), (17), (18) определяем минимальное утонение и максимальное утолщение заготовки и сравниваем с экспериментальными данными.

Содержание отчета

1. Схемы процесса вытяжки и напряженно-деформированного состояния.

2. Результаты эксперимента по замеру толщин, в виде табличных данных по прилагаемой форме (таблиц 1, 2).

3. Промежуточные, проверочные данные, в отчете необходимо сопоставить данные исследований каждой бригады, сделать вывод о том, как тот или иной параметр оказывает влияние на разнотолщинность.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫТЯЖКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЛИСТОВОЙ
ЗАГОТОВКИ

Цель работы - изучение сущности процесса последующего перехода вытяжки из цилиндрической заготовки.

Задания

Изучить особенности процесса последующего перехода вытяжки.

Установить влияние сил трения на разнотолщинность вытянутой детали.

Установить предельный коэффициент вытяжки с активными силами трения.

Произвести обработку результатов замеров толщин.

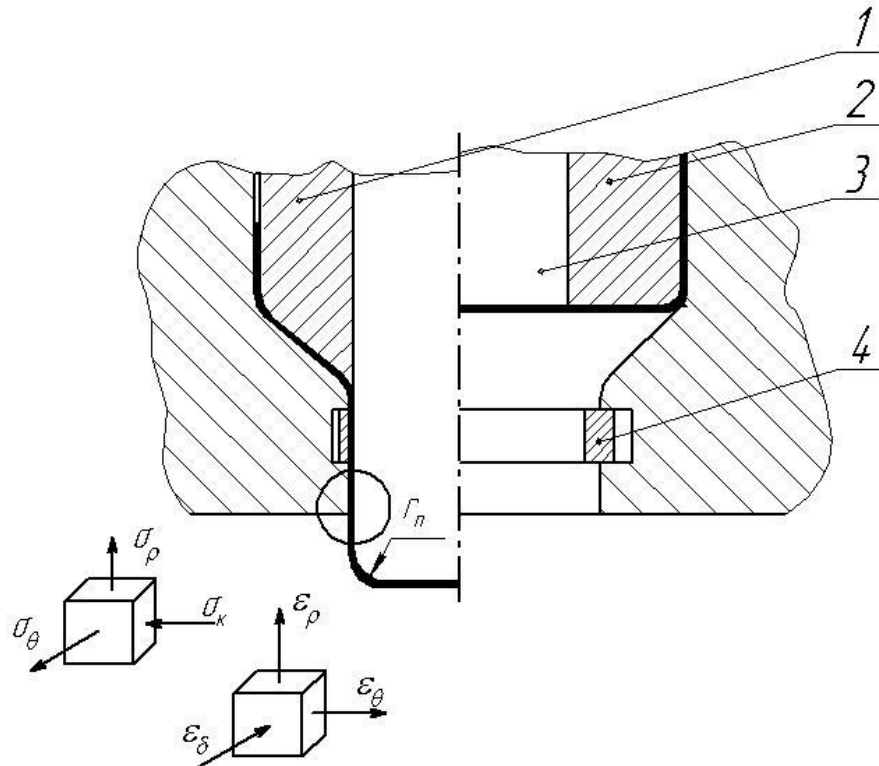
Сущность процесса вытяжки в штампе последующего перехода

При вытяжке цилиндрического стакана из плоской заготовки можно получить деталь с ограниченным отношением высоты к диаметру, которое обусловлено предельным коэффициентом вытяжки. Если требуется получить детали с отношением высоты к диаметру большим, чем получают без разрушения, то приходится расчленять процесс на несколько переходов.

При изготовлении деталей авиационного профиля предельный коэффициент часто ограничен не разрушением в опасном сечении, а допустимым утонением заготовки, т.е. допустимой толщиной детали.

Возможность получения деталей с меньшим диаметром на последующих переходах объясняется двумя факторами. Во-первых, заготовка в виде цилиндрического стакана имеет меньший диаметр, чем исходная плоская, во-вторых, опасное сечение I (см. рисунок 1) заготовки переместилось в другое место заготовки II, которое практически не утонялось на 1-м переходе, а значит способно нести большую нагрузку. Это особенно сильно проявляется после обжима вытянутой на 1-м переходе

цилиндрической заготовки.



1-пуансон; 2-матрица; 3-прижим; 4-упругое кольцо

Рисунок 1 - Схема напряженно-деформированного состояния последующего перехода вытяжки

Другими особенностями вытяжки последующего перехода является, то, что исходная заготовка имеет вдоль образующей разную толщину и упрочнение. Это приводит к тому, что в установившейся стадии, когда заготовка охватила радиусную часть, усилие вытяжки все время растет вплоть до момента уменьшения диаметра торца заготовки. В этот момент наблюдаются и самые большие напряжения в опасном сечении, которое интенсивно утоняется. Для уменьшения напряжений и утонения в опасном сечении можно использовать активные силы трения по поверхности контакта вытянутой цилиндрической части заготовки и пуансона. Для этой цели в цилиндрическую часть матрицы устанавливается упругое кольцо [10] (см. рисунок 1). Это вызывает активные силы трения τ на внутренней поверхности заготовки (см. рисунок 2). С увеличением высоты

цилиндрической части увеличиваются и активные силы трения, которые разгружают опасное сечение. Особенностью такой схемы вытяжки является то, что она происходит в условиях плоско деформированного состояния, т.е. ввиду постоянства диаметра d_n , тангенциальная деформация равна нулю. Если считать, что схема напряженного состояния близка к плоской, то получим известное соотношение $\sigma_\theta = 0,5\sigma_\rho$.

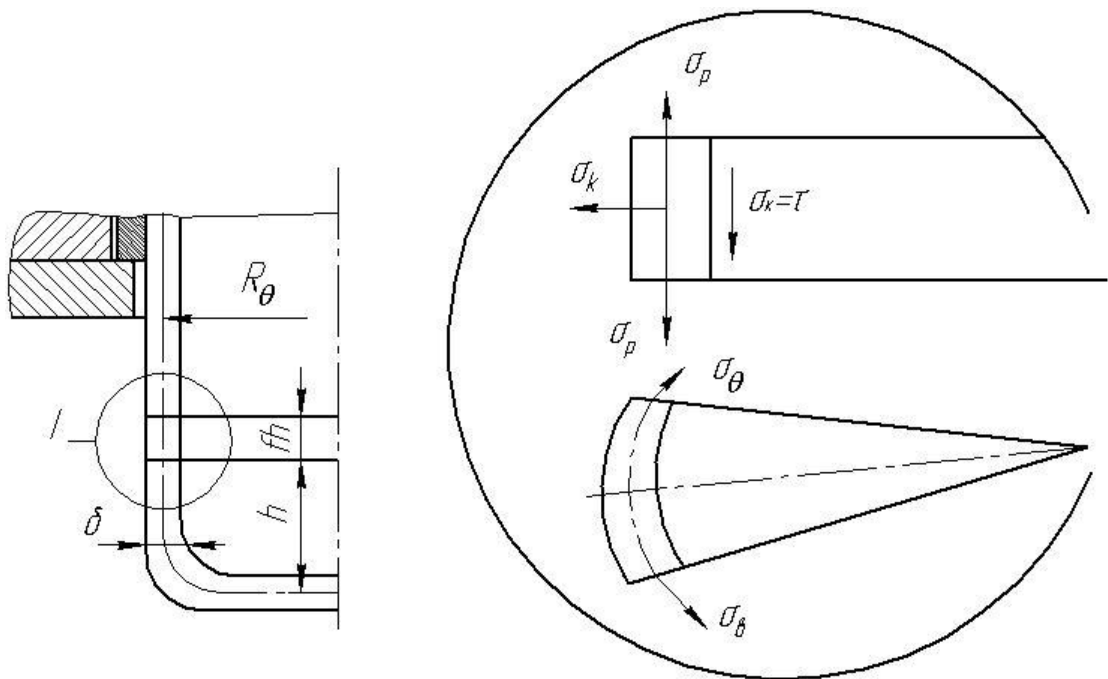


Рисунок 2 - Схема действия активных сил трения

Для цилиндрической части заготовки уравнение Лапласа примет вид [4]:

$$\sigma_k = \delta \frac{2\sigma_\theta}{d_n} = \delta \frac{\sigma_\rho}{d_n}.$$

Напряжение активного трения с использованием закона Кулона равно:

$$\tau = f\sigma_k = f\delta \frac{\sigma_\rho}{d_n}.$$

Если принять в первом приближении, что τ по всей длине одинаково, то активная сила трения определяется:

$$F_{mp} = \pi d_n \tau = f \pi \delta \sigma_\rho h,$$

где h - высота вытянутой цилиндрической части. Усилие, которое носит опасное сечение, равно:

$$P_{on} = \pi d_n \delta \sigma_\rho.$$

Если найти соотношение:

$$\frac{F_{mp}}{P_{on}} = \frac{fh}{d_n},$$

то оно не должно превышать 1. В этом случае вытяжка происходит только активными силами трения. При $f=0,15$ это произойдет, если высота вытянутой цилиндрической части будет не меньше 7 диаметров. В действительности h/d_n находится в пределах $0,5 \div 1$. Это снижает усилие вытяжки в опасном сечении на 10-15%.

Последнее обстоятельство уменьшает утонение заготовки в опасном сечении и увеличивает предельный коэффициент вытяжки, который может определяться или разрушением заготовки, или допустимым утонением.

В общем случае величина напряжений в опасном сечении в зависимости от коэффициента вытяжки может быть представлена в виде ряда Тейлора:

$$\sigma_\rho = \sigma_{\rho_0} + \frac{\partial \sigma_{\rho_0}}{\partial K} \left(K - K_0 \right) + \frac{\partial^2 \sigma_{\rho_0}}{2 \partial K^2} \left(K - K_0 \right)^2 + \dots, \quad (1)$$

где σ_{ρ_0} - напряжение в опасном сечении при коэффициенте вытяжки K_0 .

Для коэффициентов вытяжки близких к K_0 в выражении (1) оставим только первых два числа:

$$\sigma_\rho = \sigma_{\rho_0} + \frac{\partial \sigma_{\rho_0}}{\partial K} \left(K - K_0 \right).$$

Отсюда найдем предельный коэффициент, приравняв напряжение σ_ρ к тому напряжению $\sigma_{\rho_{crit}}$, которому соответствует допустимое утонение в опасном сечении или разрыв:

$$K_{np} = K_0 + \left(\sigma_{\rho_{01}} - \sigma_{\rho_0} \right) \frac{\partial \sigma_{\rho_0}}{\partial K}. \quad (2)$$

Чтобы определить составляющие в выражении (2) проводят вытяжку с коэффициентом вытяжки K_0 и замеряют толщину в опасном сечении. С учетом степенного закона упрочнения из равенств (14), (15) (см. работу 1) найдем напряжение в опасном сечении:

$$\sigma_{\rho_0} = \bar{A} \varepsilon^n \delta_0 \left(-\mu^2 \right)^{\frac{1+n}{2}}. \quad (3)$$

Напряжение $\sigma_{\rho_{01}}$ находится по формуле (3), только деформация утонения берется равной допустимой $\varepsilon_{\delta_{np}}$. Заменяем частную производную конечной разницей:

$$\frac{\partial \sigma_{\rho}}{\partial K} = \frac{\sigma_{\rho_0} - \sigma_{\rho_1}}{K_0 - K_1},$$

где σ_{ρ_1} - напряжение в опасном сечении при коэффициенте вытяжки K_1 .

Если принять $K_1 = 1$, то напряжение:

$$\sigma_{\rho_1} = 0 \text{ и } \frac{\partial \sigma_{\rho}}{\partial K} = \frac{\sigma_{\rho_0}}{K - 1}.$$

Выражение (2) представляется в виде:

$$K_{np} = K_0 + \left(\sigma_{\rho_{01}} - \sigma_{\rho_0} \right) \left(K_0 - 1 \right) \sigma_{\rho_1}. \quad (4)$$

Здесь напряжения $\sigma_{\rho_{01}}, \sigma_{\rho_0}$ находятся по формуле (3) при деформациях утонения $\varepsilon_{\delta_0}, \varepsilon_{\delta_{np}}$.

ОБОРУДОВАНИЕ, ОСНАСТКА, МАТЕРИАЛЫ, ПРИБОРЫ

Работа проводится с использованием силового гидравлического оборудования усилием 4000 кН или 1600 кН. Оно имеет манометры давления, по которым определяются усилия процессов путем перемножения давления на площадь плунжеров. Данные площадей дает преподаватель.

Закрытые высоты прессов, их ход и размеры столов позволяют использовать крупногабаритную штамповую оснастку с закрытой высотой до

Штамп работает следующим образом. Плоская заготовка устанавливается в матрице 15 и прижимается к ней деталью посредством затягивания болтов 16, которые передают усилие прижиму через кольцо 2 и эластичный материал 4. При движении пуансона-матрицы 9 вниз производится вытяжка цилиндрической заготовки 3. При дальнейшем движении вниз производится реверсивная вытяжка цилиндрической заготовки 3 в деталь 7. Во избежание складкообразования заготовка прижимается к пуансону-матрице 9 деталью II. В момент вытяжки цилиндрической части детали 7 упругое кольцо 8 охватывает заготовку и прижимает ее к пуансону 13, создавая активные силы трения.

Важным при проектировании штампа являются размеры упругого кольца, внутренний диаметр кольца должен быть таким, чтобы и в начальный момент не создавать дополнительные напряжения в опасном сечении, а оказывать положительное действие, т.е. создавать только активные силы трения. Для этого необходимо, чтобы внутренний диаметр кольца был бы равен сумме диаметра пуансона плюс удвоенная фактическая толщина заготовки в зоне сопряжения радиусной и цилиндрической частей детали:

$$d_{\kappa} = d_n^{-\Delta_1} + 2\delta^{-\Delta},$$

где d_n - диаметр пуансона;

δ - номинальная толщина заготовки;

Δ_1 - минусовой допуск на изготовление пуансона;

Δ - минусовой допуск на толщину листа.

Величина максимальной упругой деформации кольца зависит от свойств металла и определяется по закону Гука:

$$\varepsilon_{упр} = \frac{\varepsilon_{упр}}{E},$$

где $\varepsilon_{упр}$ - величина предела упругости материала;

E- модуль упругости металла. Величина упругой деформации можно определить:

$$\varepsilon_{\text{упр}} = \frac{\Delta d_k}{d_k}.$$

Отсюда:

$$\Delta d_k = \varepsilon_{\text{упр}} d_k.$$

Для отсутствия принудительного утонения упругая деформация кольца должна превышать разнотолщинность, полученную при "чистой" вытяжке. Однако наличие давления сказывается на толщине заготовки тем сильнее, чем больше давление кольца. Необходимо следить, чтобы деформация кольца не превышала максимальной упругой деформации. Чтобы этого не произошло, кольцо должно иметь ограничение по раздаче. Величина максимального давления кольца определяется по уравнению:

$$\sigma_k = \frac{2\delta_k}{d_k} \sigma_{\text{упр}} = \frac{4\delta_k}{d_k^2} (\delta - \delta^\Delta) E.$$

Для того чтобы толщина и ее поверхность были качественными, необходимо иметь высоту кольца $(8-10)\delta$, т.е. такой, как это делается на операции вытяжки с утонением.

Упругое кольцо должно располагаться сразу после радиуса закругления матрицы (перетяжного ребра). Заходная часть кольца должна иметь радиус закругления на половину толщины. В качестве материала следует использовать пружинные стали марок сталь 65, сталь 65Г, 30 ХГСА и сплавы типа БрБ2.

Замер толщин детали и заготовки проводится индикатором часового типа с ценой деления 0,01 мм. Материалом для вытяжки служат алюминиевые и медные листы толщиной 1,2 мм.

Порядок проведения эксперимента

Работа проводится бригадами студентов по 2-3 человека. Каждая бригада проводит исследования из 4-х разных материалов, заготовок. Константы материала \bar{A} , n , μ , усилие прижима, $\varepsilon_{\text{дпр}}$ задаются

преподавателем. Перед вытяжкой на заготовку наносят диаметральную линию.

1. Исследуется влияние сил трения на разнотолщинность заготовки при последующем переходе вытяжки.

2. Устанавливается заготовка в штамп, фиксируется прижимом и производится 1-я операция вытяжки из двух одинаковых заготовок.

3. Полученные цилиндрические заготовки удаются из штампа и размечаются по диаметральной линии на отрезки равные 8-10 мм.

4. Замеряется толщина цилиндрической заготовки. Данные заносятся в таблицу I.

5. Производится 2-я операция вытяжки. Прижим 6 снят. После снятия заготовки в тех сечениях производится замер толщины вдоль образующей. 2-я операция вытяжки проводится с упругим кольцом и без него.

6. Рассчитывается предельный коэффициент вытяжки по формуле (4).

Содержание отчета

1. Схемы процесса вытяжки и напряженно-демпфированного состояния.

2. Результаты эксперимента по замеру толщин после 1-го и 2-го переходов и расчетные данные.

3. Результаты расчета предельного коэффициента вытяжки.

В отчете необходимо сопоставить данные исследований каждой бригады и сделать вывод о влиянии активных сил трения на величину утонения и предельный коэффициент.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБЖИМА ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЗАГОТОВКИ С ДНОМ

Цель работы - получение деталей с минимальной разнотолщинностью.

Задания

Выявить особенности процесса обжима цилиндрической заготовки с дном.

Установить основные параметры, влияющие на разнотолщинность детали.

Отштамповать деталь заданной геометрической формы с минимальной разнотолщинностью.

Рассчитать коэффициенты уравнения регрессии изменения толщины детали.

Сущность процесса обжима цилиндрической заготовки с дном

Обжим - это операция, предназначенная для уменьшения поперечных размеров краевой части полой цилиндрической заготовки.

Схема процесса обжима и напряженно-деформированного состояния представлена на рисунке 1. Вытянутая цилиндрическая заготовка I формируется в матрицу 2 путем приложения деформирующего усилия в торец заготовки. Удаление штампованной детали производится выталкивателем 3. Рабочая поверхность матрицы имеет профиль, соответствующий профилю детали [11], [12].

По характеру деформирования заготовку можно условно разбить на 4 участка:

- упругого изгиба;

- свободного пластического изгиба;

III - обжима;

IV - цилиндрический участок для передачи осевого усилия. В процессе

деформации протяженность участков меняется. Участок обжима III увеличивается, а другие уменьшаются до нуля. Таким образом, очаг пластической деформации развивается в двух направлениях: в сторону цилиндрического участка IV и в сторону участков дна I, II.

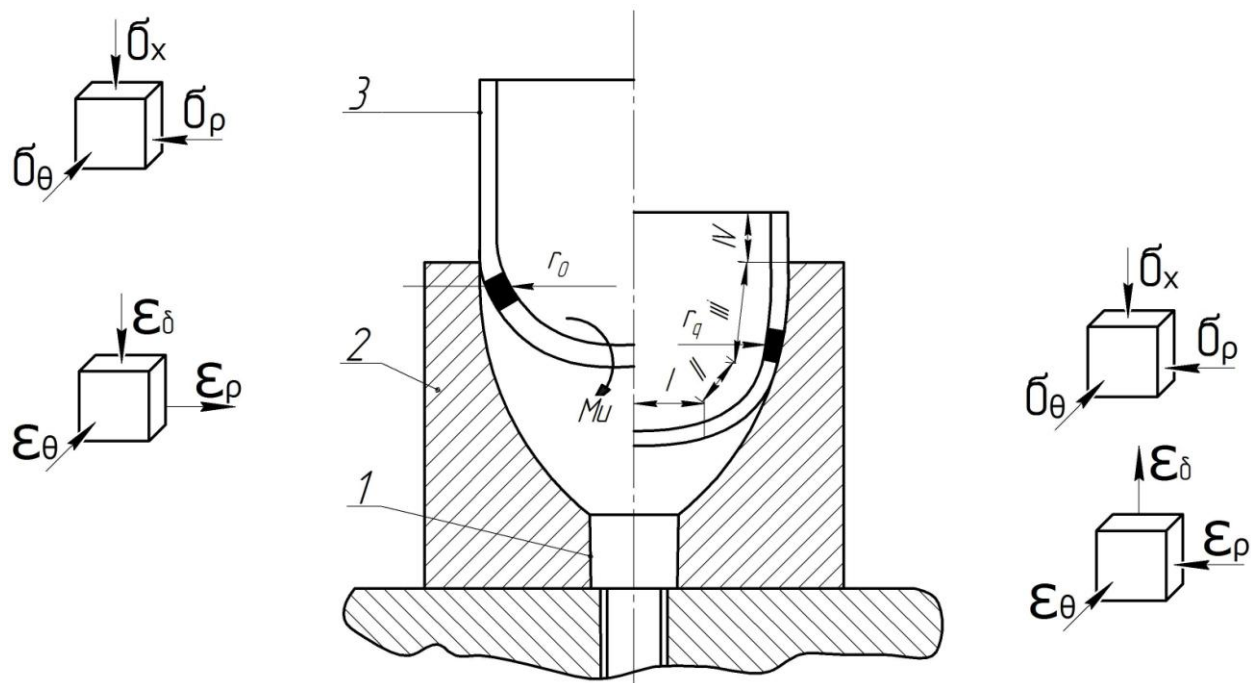


Рисунок 1 - Схема процесса обжима

Поэтому деформация в широтном направлении ϵ_θ неодинакова по длине образующей и имеет следующий характер: минимальное значение - на участках дна заготовки I, II, на цилиндрическом участке 4; максимальное значение - промежуточных элементах участка 3.

В меридиональном направлении элементы заготовки подвергаются немонотонной пластической деформации II. В начальный момент деформирования на элемент заготовки (заштрихованный элемент) действуют только напряжения подпора от изгиба свободного участка II. Величина этих напряжений близка к нулю. Поэтому элемент заготовки удлиняется в меридиональном направлении. В промежуточных стадиях деформирования за счет поступления новых элементов дна заготовки в участок обжима на

выделенный элемент действуют напряжения подпора от их суммы. При выполнении условия $\sigma_p > 0,5 \sigma_s$ происходит укорочение рассматриваемого элемента в меридиональном направлении. Изменение направления деформации ε_p приводит к тому, что длина образующей заготовки остается без изменения и разной длине образующей детали. Это равенство практически не зависит от параметров процесса обжима, поэтому можно считать, что разнотолщинность детали определена тангенциальной деформацией при обжиге вытянутой заготовки и зависит от условий вытяжки.

При обжиге происходит неравномерное утолщение стенок заготовки. Эффективное сочетание операций вытяжки и обжима дает возможность получать изделия высокого качества, т.е. минимальной разнотолщинности, практически без потерь металла.

Предельные параметры процесса обжима ограничены потерей устойчивости заготовки в ее цилиндрической части. Условием неустойчивости является равенство радиального напряжения пределу текучести материала заготовки $\sigma_p = \sigma_s$.

ОБОРУДОВАНИЕ, ОСНАСТКА, МАТЕРИАЛЫ, ПРИБОРЫ

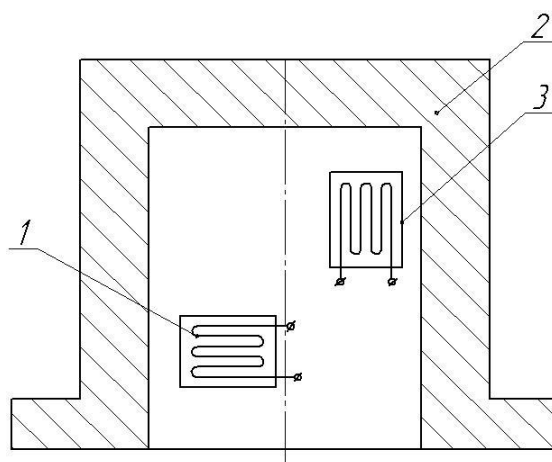
В качестве силового оборудования используется криволинейный пресс К-30 усилием 300 кН. Для замера усилия процесса используется тезометрическая аппаратура. Система тензометрирования состоит из месдозы - упругого элемента, который устанавливается под обжимной штамп (рисунок 2), месдоза выполнена в виде стакана. На внутреннюю поверхность месдозы крепятся клеем БФ 2 тензодатчики: один - рабочий, другой компенсационный, которые входят в электрическое устройство для преобразования и усиления сигнала (рисунок 3). Устройство соединено в виде моста, в который включены рабочие и компенсационные датчики.

Рабочие датчики наклеены так, что деформация месдозы (сжатия) вызывает деформацию рабочих датчиков. Компенсационные датчики остаются без изменения. Перемещения датчиков происходят только в упругой области. При деформации рабочих датчиков в упругой области происходит разбаланс моста, с которого снимается сигнал в виде напряжения. Этот сигнал увеличивается в усилителе ТА-5 и регистрируется в шлейфовом осциллографе типа МН-02 или приборах, типа ЭПП, ЭПД. Сравнивая полученный сигнал с тарировочным графиком, определяем величину усилия в процессе обжима.

Обжим заготовки I проводится в матрице 2 (см. рисунок 1), контур рабочей поверхности которой соответствует контуру головы детали. Усилие в торец цилиндрической заготовки передается непосредственно верхней траверсой процесса. Заготовкой для обжима служит цилиндрический стакан, полученный на операции вытяжки. Замер толщины детали производится установленным на стойке часовым индикатором с ценой деления 0,01 мм, обмер диаметров заготовки и детали - штангенциркулем.

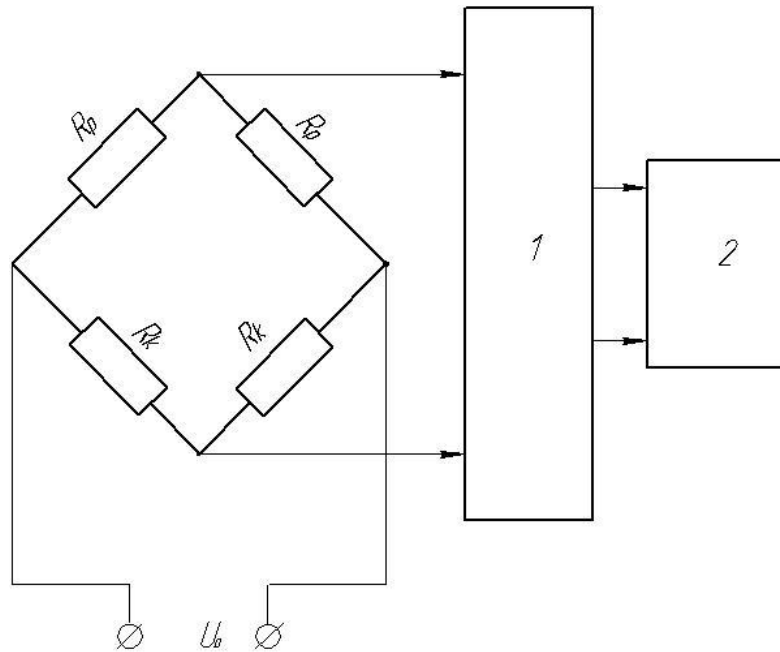
Порядок проведения эксперимента

Исследования процесса обжима проводятся бригадами в 2-3 человека.



1-компсационный датчик; 2-месдза; 3-рабочий датчик

Рисунок 2 - Месдоза с рабочими и компенсационными датчиками



R_p - рабочий; R_k - компенсационный датчик, 1- усилитель, 2- показывающий прибор

Рисунок 3 - Схема тензометрирования

1.Обжимают заготовки в одинаковых условиях, смазав матрицу минеральным маслом.

2.Замеряют толщины детали в сечениях по схеме, приведенной на рисунке 7. Результаты испытаний сводятся в таблицы 1, 2.

3.Рассчитывают коэффициенты уравнения регрессии с помощью ЭВМ.

4.Определяют максимальное усилие обжима.

Содержание отчета

1.Схемы обжима вытянутой заготовки и напряженно-деформированного состояния.

2.Результаты эксперимента по замеру толщин, представленные в виде таблицы 1, 2.

3. Промежуточные данные по расчету коэффициентов в уравнениях регрессии (таблица 2).

4. Сделать выводы об оптимальном технологическом процессе с минимальной разнотолщинностью, включающем операции вытяжки плоской заготовки и последующего обжима; о влиянии схемы напряженно-деформированного состояния на усилия прессов обжима и вытяжки.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗДАЧИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ

Цель работы - изучить механизм и установить схемы напряженно-деформированного состояния процесса раздачи осесимметричной заготовки.

Задания

Определить величины деформаций, полученных заготовкой, и установить схему деформированного состояния процесса.

Установить схему напряженного состояния процесса.

Определить предельный коэффициент раздачи.

Сущность процесса раздачи

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

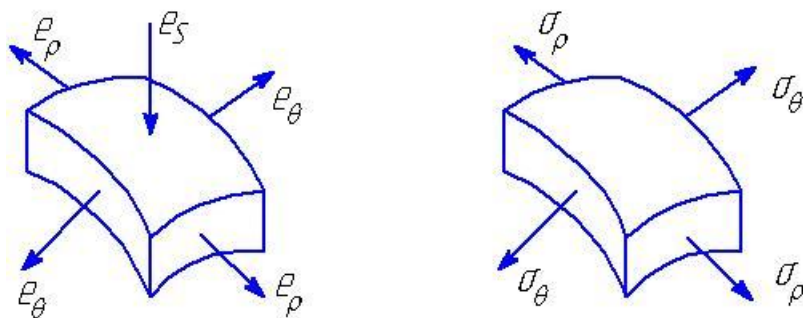
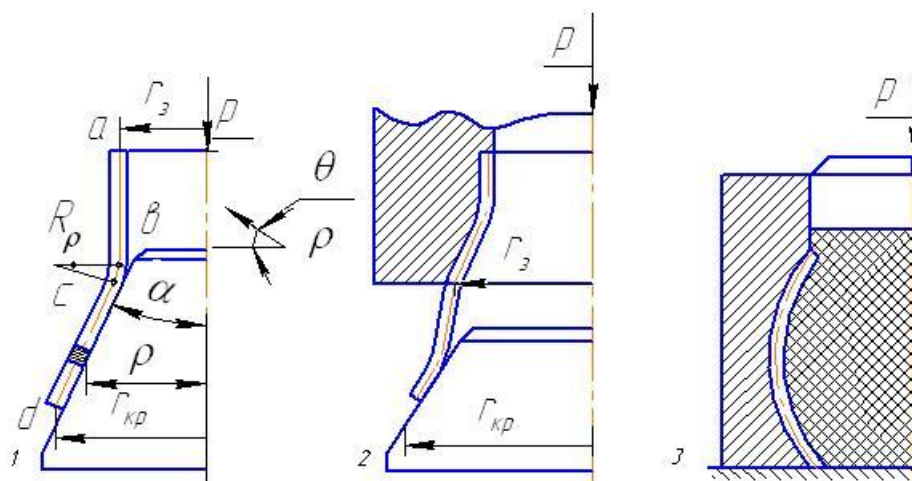


Рисунок 1 - Схемы напряжений и деформаций при раздаче в полярной системе координат

Процесс раздачи можно реализовать разными способами формообразования (рисунок 2). Наглядно процесс раздачи связан с увеличением диаметров элементов заготовки ($2r_3$) до максимального значения диаметра кромки ($2r_{кр}$).



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

Рисунок 2 - Способы, реализующие процесс раздачи

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 (рисунок 3) в результате гофрообразования, либо разрыв кромки заготовки в результате исчерпания пластичности (рисунок 4). Количественным показателем, определяющим величину максимально возможной раздачи, является предельный коэффициент раздачи. Им называется максимальный коэффициент раздачи, при котором заготовка деформируется без дефектов.

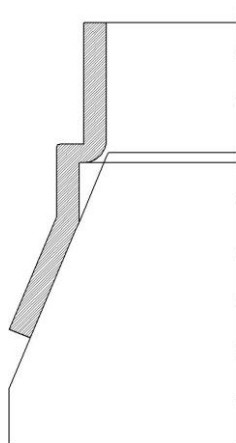


Рисунок 3 - Потеря устойчивости в результате гофрообразования

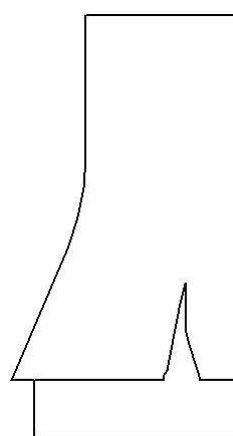


Рисунок 4 - Разрыв кромки заготовки

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 $b'c'$ и $a'd'a$ на расстоянии dl перпендикулярными двум предыдущим плоскостям, и, наконец, двух коническими поверхностями на расстоянии δ , 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 " l ", в тангенциальном направлении, т.е. по направлению касательной к окружности " θ " наконец, по направлению толщины заготовки " $\bar{\delta}$ " (рисунок 5).

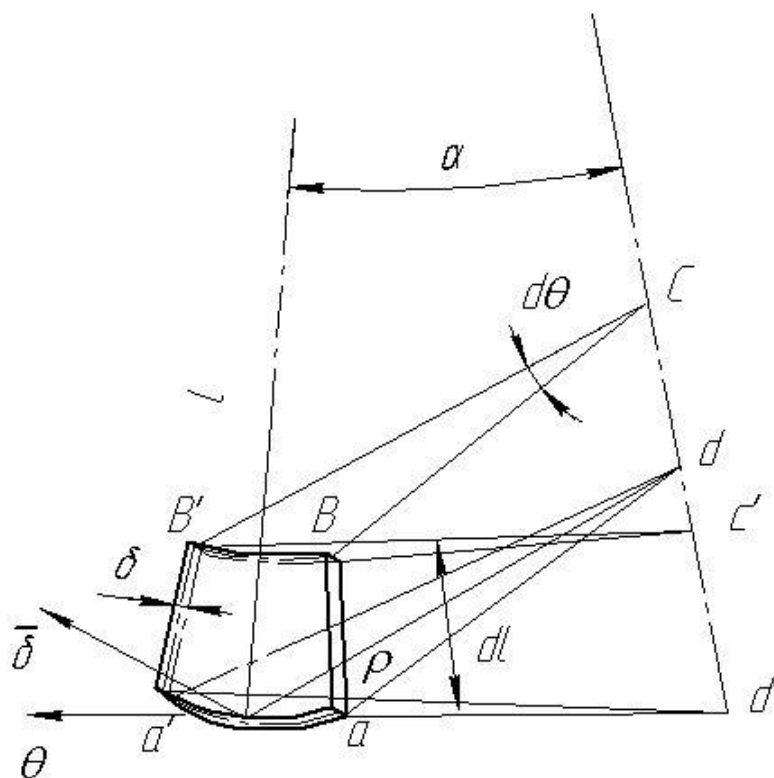


Рисунок 5 - Схема к установлению координат бесконечно малого элемента и направлений действия на него напряжений и деформаций

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 θ схема напряженно-деформированного состояния также не меняется ввиду осевой симметрии. Местоположение рассматриваемого б.м. элемента наиболее просто установить в полярной системе с координатами ρ и θ (рисунок 5). Из геометрии видно, что координаты ρ и l связаны между собой углом " α ". 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 θ :

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

деформация по толщине:

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

где r_3, ρ - координаты рассматриваемого элемента до и после деформации;
 δ_3, δ - толщина рассматриваемого элемента до и после деформации.

Третью деформацию находим из условия постоянства объема:

$$e_l = -e_{\delta} - e_{\theta}, \quad (3)$$

где e_l - деформация вдоль образующей заготовки.

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

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

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

Соотношение (4) приведено из условия, что напряжение σ_{δ} , действующее в направлении толщины, равно нулю из-за его малости. Это условие можно подтвердить, проводя следующие расчеты:

$$\sigma_{\delta cp} = \frac{P_{max} \cdot \sin \alpha}{F_K}, \quad (5)$$

$$\sigma_{l cp} = \frac{P_{max}}{F_c}, \quad (6)$$

где P_{max} - максимальное усилие раздачи;

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

заготовкой и оправкой (рисунок 17);

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

$\sigma_{\theta_{cp}}$, $\sigma_{l_{cp}}$ - средние величины напряжений по очагу деформации в направлении толщины и по длине образующей заготовки.

Разделив (5) на (6), получим:

$$\frac{\overline{\sigma_{\delta_{cp}}}}{\overline{\sigma_{l_{cp}}}} = \frac{d_3 \cdot \delta}{d_{кр}^2 - d_3^2} \ll 1 \quad (7)$$

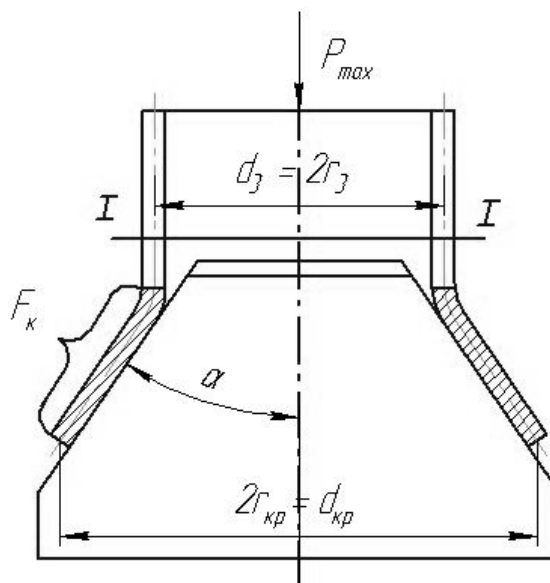


Рисунок 6 - Схема действия сил

Порядок проведения эксперимента

Изучение процесса раздачи производится с использованием способа раздачи на конической оправке (рисунок 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 измеряют 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 таблицы 1, 2.

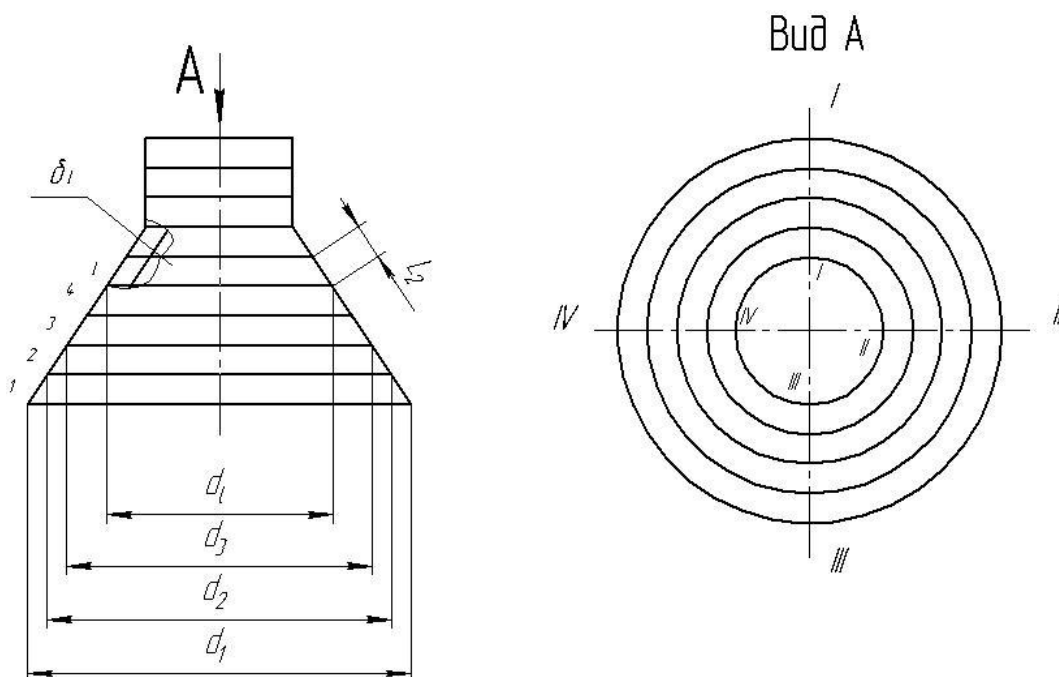


Рисунок 18 – Толщина и диаметр кольцевых элементов в 4 сечениях

Таблица 1

Результаты замеров толщин

N_C	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.

По результатам замеров установить погрешность измерений.

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

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

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

Таблица 2

Результаты замеров диаметров

N_c	N_k				
	1		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_α - 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 рассчитывают деформации, используя формулы (1), (2), (3), результаты заносят в таблицу 3.

Таблица 3

Величины деформаций

Деформация	N_K				
	1		i		n
e_δ					
e_θ					
e_l					

Используя формулы (5), (6), убеждаются в соотношении (7). Рассчитывают соотношения напряжений (4) и результаты заносят в таблицу 4.

Таблица 4

Значение соотношений напряжений

	N_K				
	1		i		n
$\frac{\sigma_l}{\sigma_\theta}$					

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.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОТБОРТОВКИ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ ЗАГОТОВКИ

Цель работы - изучить механизм и установить схемы напряженно-деформированного состояния процесса отбортовки осесимметричной заготовки.

Задания

Определить величины деформаций, полученных заготовкой, и установить схему деформированного состояния процесса.

Установить схему напряженного состояния процесса.

Определить предельный коэффициент отбортовки.

Механизм процесса отбортовки

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

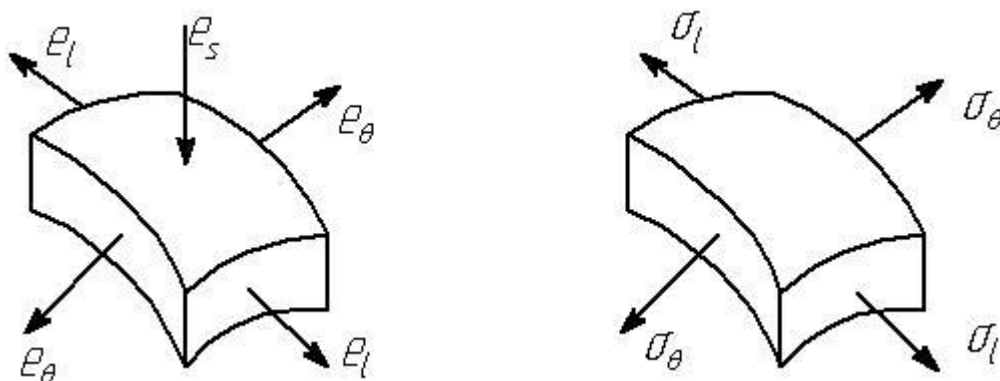
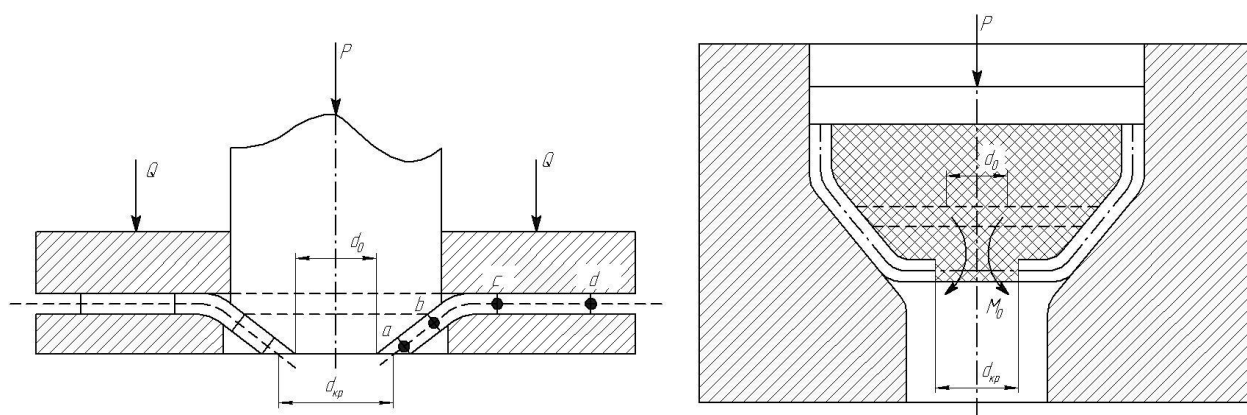


Рисунок 1 - Схемы напряжений и деформаций при отбортовке в полярной системе координат

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

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



1- отбортовка коническим пуансоном; 2-отбортовка эластичной средой

Рисунок 2- Способы отбортовки

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

$$K_{отб} = \frac{d_{кр}}{d_o} .$$

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.

Порядок проведения эксперимента

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

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

2. 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.

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

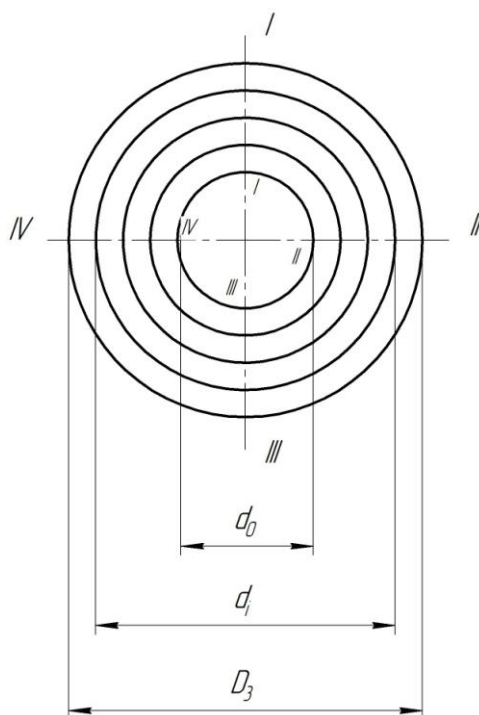


Рисунок 3 - Схема разметки

Полученные величины заносят в таблицы 1,2.

Таблица 1

Результаты замеров толщины

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

Таблица 2

Результаты замеров диаметров

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

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

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

Таблица 3

Величины деформаций

Деформация	N_K				
	1		i		n
e_δ					
e_θ					
e_l					

Таблица 4

Значение соотношений напряжений

	N_K				
	1		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?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕЩЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ОБЖИМА РАЗДАЧИ ОТБОРТОВКИ

Цель работы - получение глубоких усеченных конусных деталей с заданной разнотолщинностью.

Задания

Установить механизм, схемы напряженно-деформированного состояния совмещенных процессов обжима, отбортовки, раздачи.

Выявить основные параметры, влияющие на разнотолщинность детали.

Установить основные параметры штамповки деталей с заданной разнотолщинностью.

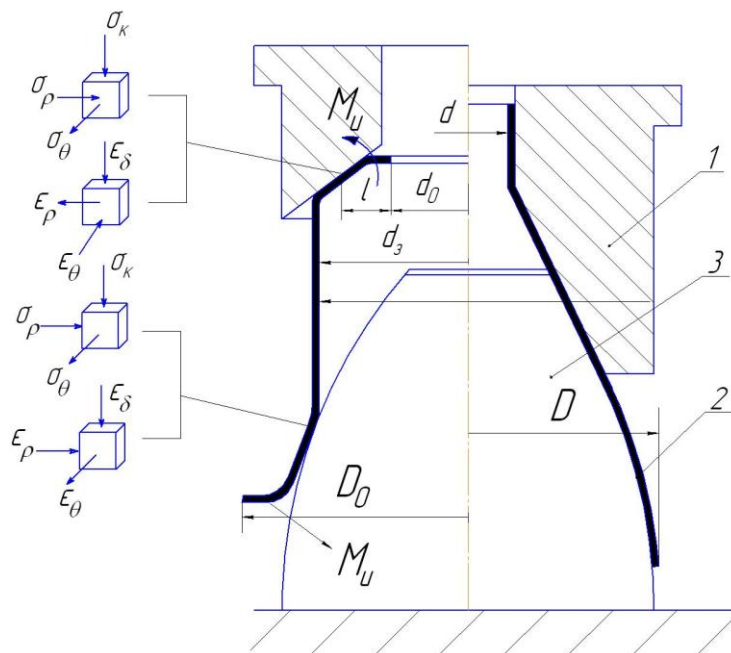
Рассчитать коэффициенты уравнения регрессии, описывающей изменение толщины детали.

Сущность совмещенных процессов обжима, раздачи отбортовки

Для совмещенных процессов обжима, раздачи, отбортовки используется заготовка, полученная на операции вытяжки (см. работу №2). Представляет она собой оболочку, имеющую цилиндрический участок, сопряженный по радиусу с дном, в центральной части которого имеется отверстие с диаметром d_0 . Со стороны торца большего основания цилиндрическая часть оболочки сопряжена также по радиусу с фланцем [13, 14]. Заготовка устанавливается на оправку 3 (рисунок 1). Процесс штамповки начинается при соприкосновении пуансон-матрицы I с заготовкой. При этом одновременно происходит следующее. Цилиндрическая часть и плоское дно обжимаются, создавая в зоне контакта заготовки с пуансоном-матрицей схемы "чистого" обжима. Одновременно за счет разницы напряжений по толщине заготовки в зоне, близкой к кромке, создаются изгибающие моменты - M_u , которые выворачивают дно наружу. Длину образующей, по которой действуют изгибающие моменты, можно в 1^{om} приближении

определить по формуле А.А. Ильюшина $l = \sqrt{2\delta d_0}$.

При выворачивании дна происходит отбортовка кромки отверстия, т.е. увеличения исходного диаметра d_0 до размеров d .

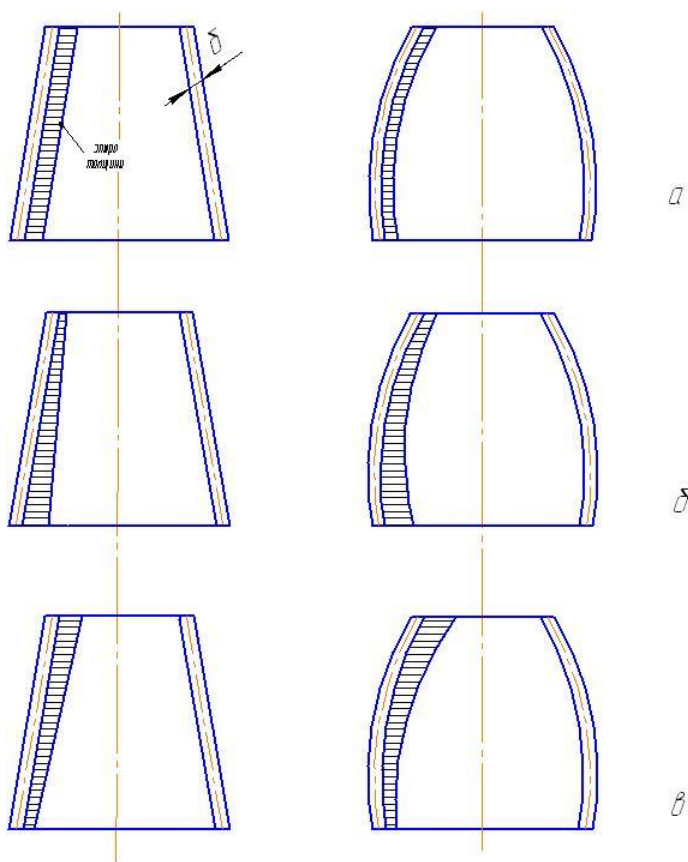


1-пуансон-матрица; 2-деталь; 3-оправка

Рисунок 1 - Схема совмещенных процессов обжима, раздачи, отбортовки

В результате обжима и отбортовки в цилиндрической части заготовки создаются напряжения, усилие от которых уравнивается усилием, создаваемым при деформировании другой ее части, прилегающей к открытому торцу большего диаметра. При этом происходит раздача этой части заготовки преимущественно по радиусу сопряжения цилиндрической части и фланца. Одновременно происходит обжим торцевой части за счет действия изгибающих моментов. Следует отметить, что при отбортовке схема напряженно-деформированного состояния такая же, как и при раздаче, только напряжение $\sigma_k = 0$. При обжиге торца большего диаметра схема напряженно-деформированного состояния аналогична схеме обжима цилиндрической части, но только $\sigma_k = 0$.

Детали рассмотренного типа находят применение в двигателях летательных аппаратов в качестве камер сгорания. Совмещение операций позволяет штамповать детали за 2-3 перехода, в отличие от базовых технологий, основанных только на вытяжке, которые включают 7-10 переходов. Особенностями деталей камер сгорания является то, что штампованная деталь представляет собой полуфабрикат для дальнейшей механической обработки. В целях экономии металла небезразлично как меняется толщина заготовки вдоль образующей заготовки. Если изменение толщины стенки готовой детали аппроксимировать в 1^{ом} приближении многочленом 1^{-ой} степени, то эпюры изменения толщины стенки можно свести к 3 видам (рисунок 2): постоянный, переменный с уменьшением толщины к меньшему основанию, переменный с увеличением толщины к меньшему основанию.



а - постоянный; б - переменный с уменьшением толщины к меньшему основанию; в - переменный с увеличением толщины к меньшему основанию
Рисунок 2 - Эпюры изменения толщины стенки деталей камер сгорания

в 3-х видах

Для получения деталей с эпюрами изменения толщины заготовки 1-й и 2-й групп необходимо подбирать соответствующим образом коэффициент обжима ($K_o = \frac{d_3}{d}$). Чем больше K_o , тем больше набор толщины. Однако кромка при отбортовке диаметра меньшего основания утонится. Чтобы ликвидировать это, можно применить дополнительный обжим. В этом случае имеется возможность получить толщину заготовки, которая увеличивается к меньшему основанию.

ОБОРУДОВАНИЕ, ОСНАСТКА, МАТЕРИАЛЫ, ПРИБОРЫ

В качестве оборудования используется гидравлический пресс усилием 4000 кН (см. работу 2). Заготовку получают вытяжкой в штампе, который совмещает 1-й и 2-й переходы. Причем вытяжку 2-го перехода проводят не до конца, а оставляют фланец.

Штамповку производят на оснастке, включающей пуансон-матрицу I, оправку 2 (рисунок 1). Обе эти детали имеют рабочую поверхность, соответствующую поверхности детали. Замер толщины производится индикатором часового типа, размеры диаметров-штангенциркулей. В качестве материала заготовок используют алюминиевые сплавы. Заготовки имеют разные диаметры отверстия и фланца.

Порядок проведения эксперимента

1. Бригада студентов по 2-3 человека замеряет размеры детали: диаметры фланца, диаметр отверстия в плоском дне, толщину заготовки в различных сечениях по диаметральной линии с шагом 8-10 мм. Замеры толщин сводят в таблицы 1,2.

2. Проводят совмещенный процесс обжима, раздачи, отбортовки до полного прилегания обеих кромок заготовки к рабочим поверхностям детали.

3. Замеряют толщины заготовки в различных сечениях. Замер толщин кромок проводить на расстоянии 1-1,5 толщины от кромки.

4. Обрабатывают результаты замера толщин, рассчитав на ЭВМ коэффициенты регрессии.

Содержание отчета

1. Привести схемы напряженно-деформированного состояния совмещенного процесса.

2. Результаты замеров и расчета толщин свести в таблицы I, 2.

3. Сделать выводы о влиянии геометрических параметров процесса на величину и характер изменения толщины заготовки. Выявить возможности направленного изменения толщины деталей.

Вопросы для закрепления материала

1. В чем сущность процесса вытяжки?
2. Какие параметры процесса вытяжки определяют разнотолщинность штампуемой детали?
3. Каков механизм образования разнотолщинности вытягиваемой заготовки?
4. Какое влияние на утонение заготовки оказывает упрочнение материала?
5. Каким образом определяются предельные возможности процесса вытяжки?
6. Объясните схему и принцип работы используемых вытяжных штампов.
7. В чем преимущества математической обработки результатов эксперимента?
8. Какое влияние на величину утонения оказывают активные силы трения при вытяжке?
9. Чем ограничены предельные процессы вытяжки?
10. В чем заключается механизм напряженного изменения толщины детали?
11. В чем сущность процесса обжима?
12. Почему при обжиме усилие деформирования больше, чем при вытяжке?
13. Чем объясняется немонотонность процесса обжима полой цилиндрической заготовки с дном?
14. Чем ограничены предельные процессы обжима?
15. Какой критерий применяется для выбора оптимального тех- процесса штамповки детали вытяжкой и обжимом с целью получения детали

с

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Румшинский П.З. Математическая обработка результатов эксперимента. - М.: Наука, 1971.
2. Шофман Л.А. Теория и расчеты процессов холодной штамповки. - М.: Машиностроение, 1964.
3. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. М.: Машиностроение, 1977.
4. Попов Е.А. Основы теории листовой штамповки. М. Машиностроение, 1977.
5. Головлев В.Д. Расчеты процессов листовой штамповки. М.: Машиностроение, 1974.
6. Мошнин Е.Н. Технология штамповки крупногабаритных деталей. М. Машиностроение, 1973.
7. Тимощенко С.П. Устойчивость стержней, пластин и оболочек. М.: Наука, 1971.
8. Предельное формоизменение при штамповке деталей летательных аппаратов: Учеб. пособие/ В.В. Уваров, Ю.М. Арышенский, В.И. Мордасов, Ф.В. Гречников. Куйб. авиац. ин-т, Куйбышев, 1978.
9. Арышенский Ю.М. Теория листовой штамповки анизотропных материалов. Саратов, 1973.
10. А.с. 1266607 СССР. Устройство для глубокой вытяжки / И.П. Попов, В.Д. Маслов, В.П. Чистяков, Ф.В. Гречников, Л.Д. Гончаров, А.Н. Карпухин, В.В. Мыка. Оpubл. в Б.И. № 40, 1986.
11. Чистяков В.П., Овчинников А.Г., Попов И.П. Штамповка полу сфер без утонения стенок //Машина и технология обработки металлов давлением: Тр. МВТУ. Вып. 229, 1976.
12. А.с. 550200 СССР. Способ изготовления штампованных днищ с отбортованными наружу люками / В.П. Чистяков, И.П. Попов, Л.С.Т окмак. Оpubл. в Б.И. № 10, 1977.

13.А.с. 633643 СССР. Способ штамповки полых осесимметричных изделий /В.П. Чистяков, А.Г. Овчинников, И.П. Попов, М.И. Хасьянов, В.Д. Маслов. Оpubл. в Б.И. № 43, 1978.

14.А.с. 1050778 СССР. Способ штамповки цилиндрических деталей с коническим участком со стороны открытого торца / И.И.Попов, А.Г. Овчинников, В.П.Чистяков, Б.И. Карякин, В.Д. Маслов, Л.С. Смольников, М.И. Хасьянов, В.Е. Пиляев., В.Л. Гринберг, С.Ю. Комар. Оpubл. в Б.И. № 40, 1983.

