

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»

ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ГОРЯЧЕЙ ШТАМПОВКИ

Методические указания
к лабораторным работам

САМАРА 2004

Составители: *В. Ю. Ненашев, А. Ю. Иголкин*

УДК 621.13.043

Теория и технология горячей штамповки: Метод. указания к лабораторным работам / Самар. гос. аэрокосм. ун-т; Сост. *В. Ю. Ненашев, А. Ю. Иголкин*; Самара, 2004. 63 с.

Методические указания к лабораторным работам по курсу "Теория и технология горячей штамповки" подготовлены с учетом накопленного опыта постановки и выполнения подобных работ на кафедре обработки металлов давлением в течение последних пяти лет. Цикл лабораторных работ охватывает основные разделы читаемого курса, позволяет экспериментально изучить и проанализировать ряд важных технологических процессов формоизменения заготовки. Особое внимание уделено универсальности экспериментальной оснастки, позволяющей получить наиболее полную информацию о формоизменении заготовки; использованию методов математического планирования эксперимента и статистической обработки экспериментальных данных; связи теоретических решений с экспериментальными данными.

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по специальностям 110600 и 120400 при изучении курса "Теория и технология горячей штамповки".

Печатается по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета

Рецензент Р. Заббаров

СОДЕРЖАНИЕ

1. Лабораторная работа № 1. Изучение технологического процессаковки тонкостенного кольца.....	4
2. Лабораторная работа № 2. Исследование течения металла при протяжке под плоскими бойками.....	14
3. Лабораторная работа № 3. Исследование формоизменения заготовок в подкатных ручьях молотового штампа.....	24
4. Лабораторная работа № 4. Исследование процесса штамповки в закрытом штампе.....	37
5. Лабораторная работа № 5. Изучение характера формоизменения заготовки при заполнении открытого штампа.....	52

Лабораторная работа № 1

ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА КОВКИ ТОНКОСТЕННОГО КОЛЬЦА

Цель работы: экспериментально изучить особенности выполнения всех основных операций технологического процессаковки тонкостенного кольца и влияние параметров процесса на особенности формоизменения заготовки на каждой операции.

1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗУЧАЕМОМ ПРОЦЕССЕ

Технологический процесс получения свободной ковкой тонкостенного кольца состоит из ряда операций, выполняемых в определенной последовательности (рис. 1). Исходная заготовка высотой $H_{заг}$ и диаметром $D_{заг}$ осаживается под плоскими плитами до необходимой высоты h , с образованием бочки по наружному диаметру. Средний диаметр осаженной заготовки без учета бочкообразования может быть определен из равенства объемов:

$$\frac{\pi \cdot D_{заг}^2}{4} \cdot H_{заг} = \frac{\pi D_{icc}^2}{4} \cdot h, = const.$$

Однако если осадка является окончательной операцией технологического процесса, необходимо учитывать объем металла, затраченный на образование бочки. Этот объем зависит от размеров исходной заготовки, степени деформации, условий трения и может быть оценен коэффициентом бочкообразования

$$K = \frac{V_б}{V_{заг}} \cdot 100\%$$

где $V_б$ - объем металла, затраченный на образование бочки,
 $V_{заг}$ - объем исходной заготовки.

Объем заготовки с учетом бочкообразования определяется из выражения

$$V_{заг} = V_{рок} + V_б.$$

На следующей операции в осаженной заготовке прошивается сквозное отверстие. Эта операция выполняется в два перехода. На первом переходе в заготовке делается "глухое" отверстие до толщины пере-

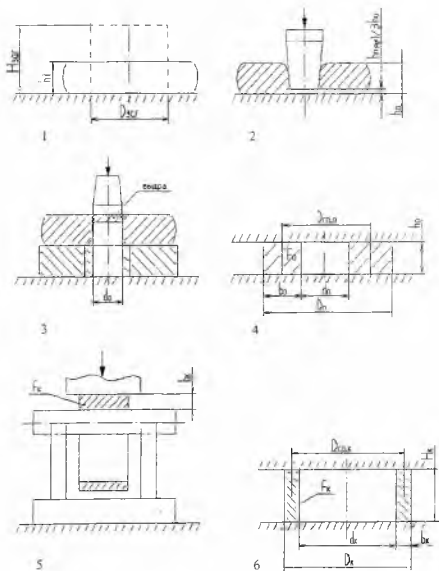


Рис. 1. Схема операцийковки тонкостенного кольца:

- 1 осадка; 2 первый переход прошивки; 3 - второй переход прошивки;
- 4 правка; 5 - раскатка на оправке; 6 - готовое кольцо

мычки $h_n \approx 1/3h$. На втором переходе делается сквозное отверстие путем просечки перемычки на подкладном кольце. При этом перемычка удаляется в отход, который называется "выдрой". Объем отхода рассчитывается исходя из фактических размеров перемычки:

$$V_{отх} = (\pi \cdot d_n^2) / 4 \cdot h_n$$

Качество поковки после прошивки зависит от соотношения диаметров получаемого кольца. Если $D_0/d_0 > 2...2,5$, то кольцо не имеет существенных геометрических искажений и может быть использовано как готовая поковка для последующей механической обработки (толстостенное кольцо).

При $D_0/d_0 < 2$ прошивка не применяется ввиду значительных геометрических искажений стенки кольца. Поэтому для получения тонкостенных колец применяется следующая операция: раскатка на оправке. Эта операция аналогична протяжке заготовки бесконечной длины под комбинированными бойками: верхний - плоский, нижний выпуклый (рис. 2).

Операция выполняется многократными обжатиями с промежуточным поворотом кольца. За несколько оборотов заготовки с постепенным увеличением степени деформации можно получить кольцо практически с любой толщиной стенки (b_i).

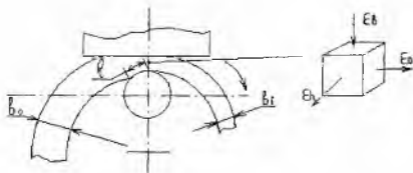


Рис. 2. Схема раскатки кольцевой заготовки:

а - наладка инструмента; б - схема деформированного состояния

Операция протекает в условиях объемной схемы деформированного состояния: деформация укорочения в направлении толщины кольца (ϵ_b), удлинения в направлении высоты кольца (ϵ_h) и удлинения в тангенциальном направлении (ϵ_D). Такая схема деформаций не позволяет рассчитать размеры кольца после раскатки, опираясь только на условие постоянства объема.

В качестве дополнительного условия можно использовать уравнение изменения поперечного сечения заготовки, характерное для операции протяжки:

$$F_K = F_0(1 - \epsilon_b(1 - f)), \quad (1)$$

где F_0 — площадь поперечного сечения кольца в начале процесса раскатки, мм²;

$F_K = H_K b_K$ — площадь поперечного сечения кольца в конце любого этапа процесса раскатки, мм²;

$\epsilon_b = \frac{b_0 - b_K}{b_0}$ — относительная степень деформации на любом этапе раскатки;

$f = \frac{\epsilon_b}{\epsilon_h}$ — коэффициент интенсивности уширения кольца.

Коэффициент f является переменной величиной и в общем случае зависит от величины подачи, условий трения и степени деформации. При раскатке заготовки (рис. 2) величина f , в свою очередь, изменяется в зависимости от степени деформации, диаметра оправки и ряда других параметров.

Большое число параметров, влияющих на интенсивность уширения, затрудняет получение теоретических зависимостей для расчета ее величины. Поэтому на практике используются экспериментальные значения коэффициента f , полученные для одного или нескольких наиболее значимых факторов.

Из уравнения (1) имеем:

$$f = 1 - \frac{F_0 - F_K}{F_0 \cdot \epsilon_b}, \quad (2)$$

что позволяет, изменяя ϵ_b получить экспериментальную зависимость коэффициента интенсивности уширения от степени деформации по толщине кольца.

Знание величины коэффициента f необходимо для расчета размеров исходной кольцевой заготовки перед раскаткой (D_0 ; d_0 ; h_0 рис. 1) по известным размерам готового кольца (D_k ; d_k ; h_k). Действительно, задавшись степенью деформации при раскатке (ϵ_b) по уравнению (1) можно рассчитать площадь поперечного сечения исходного кольца.

$$F_0 = \frac{F_k}{1 - \epsilon_b(1 - f)}$$

Из равенства объемов:

$$\pi \cdot D_{cp.0} \cdot F_0 = \pi \cdot D_{cp.k} \cdot F_k$$

имеем:

$$D_{cp.0} = \frac{F_k}{F_0} \cdot D_{cp.k}$$

где $D_{cp.0} = (D_0 + d_0)/2$; $D_{cp.k} = (D_k + d_k)/2$.

Учитывая, что $b_0 = \frac{b_k}{1 - \epsilon_b}$ определяются диаметры исходной

кольцевой заготовки:

$$D_0 = D_{cp.0} + b_0;$$

$$d_0 = D_{cp.0} - b_0.$$

2. ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СТЕПЕНИ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ОСАДКЕ НА ВЕЛИЧИНУ КОЭФФИЦИЕНТА БОЧКООБРАЗОВАНИЯ

2.1. Оборудование, оснастка, приборы

В качестве исходной заготовки используется слиток из свинца диаметром $D_{слг} = 50$ мм; длиной $H_{слг} = 110 \dots 120$ мм.

Осадка производится на гидравлическом прессе, поэтапно с постепенным увеличением степени деформации. Измерение геометрических размеров осажженной заготовки выполняется штангенциркулем с точностью до 0,1 мм.

2.2. Порядок проведения эксперимента и обработка экспериментальных данных

1. Измерить размеры исходной заготовки $D_{заг}$, $H_{заг}$ и рассчитать ее объем:

$$V_{заг} = \frac{\pi \cdot D_{заг}^2}{4} \cdot H_{заг}$$

2. Принять, что окончательная высота заготовки после осадки $h_0 = 18 \dots 22$ мм.

3. Наметить 5-6 этапов дробной деформации при осадке и рассчитать высоту заготовки после каждого этапа:

$$h_1 = H_{заг} - \frac{(H_{заг} - h_0)}{5};$$

$$h_2 = H_{заг} - \frac{2(H_{заг} - h_0)}{5};$$

$$h_3 = H_{заг} - \frac{3(H_{заг} - h_0)}{5}; \dots$$

и т.д.

4. После каждого этапа осадки произвести измерения (рис. 3) следующих размеров: h_i ; D_T . За диаметр горца (D_T) принять среднеарифметическое значение нескольких замеров по верхнему и нижнему торцам заготовки.

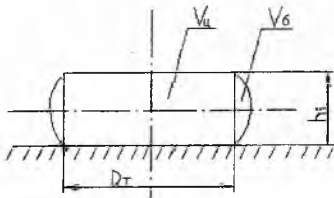


Рис. 3. Схема замеров осаживаемой заготовки

5. Рассчитать для каждого этапа осадки объем цилиндрической части заготовки:

$$V_{\text{ц}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{г}}^2}{4} \cdot h_{\text{г}} ;$$

объем металла, затраченного на бочкообразование:

$$V_{\text{б}} = V_{\text{заг}} - V_{\text{ц}} ;$$

коэффициент бочкообразования: $K = V_{\text{б}} / V_{\text{заг}} \cdot 100\%$

6. Результаты экспериментов и расчетов представить в виде сводной таблицы (табл. 1).

7. Построить график изменения коэффициента бочкообразования в зависимости от степени деформации при осадке: $K=f(\epsilon_H)$.

Таблица 1

Результаты экспериментальных исследований по осадке заготовки

Исходная заготовка			Поэтапная осадка						
$H_{\text{заг}}$ мм	$D_{\text{заг}}$ мм	$V_{\text{заг}}$ мм ³	№ эта- па	$h_{\text{г}}$ мм	$\epsilon_H = \frac{H_{\text{заг}} - h_{\text{г}}}{H_{\text{заг}}}$	$D_{\text{г}}$ мм	$V_{\text{ц}}$ мм ³	$V_{\text{б}}$ мм ³	$K = \frac{V_{\text{б}}}{V_{\text{заг}}} \cdot 100\%$
			1						
			2						
			3						
			4						
			5						

8. Сформулировать выводы о проделанной работе, в которых осветить следующие вопросы:

- каков характер изменения коэффициента бочкообразования с увеличением степени деформации;
- как влияет бочкообразование на расчет размеров и объема исходной заготовки;
- каковы причины бочкообразования;
- какими способами можно уменьшить бочкообразование или полностью устранить на готовой поковке.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СТЕПЕНИ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ РАСКАТКЕ КОЛЬЦА НА ОПРАВКЕ НА ВЕЛИЧИНУ КОЭФФИЦИЕНТА УШИРЕНИЯ ЗАГОТОВКИ

3.1. Оборудование, оснастка, мерительный инструмент

Исходной заготовкой является свинцовый слиток диаметром $D_{зг}=50$ мм, $H_{зг}=110...120$ мм.

Процессковки тонкостенного кольца выполняется на гидравлическом прессе по схеме, показанной на рис. 1. Для прошивки заготовки используется прошивень и подкладное кольцо. Раскатка кольца производится на специальной оснастке. В качестве измерительного инструмента используется штангенциркуль. Поворот кольца при раскатке выполняется с помощью кузнечных клещей.

3.2. Порядок проведения работ и обработка экспериментальных данных

1. Замерить диаметр и высоту исходной заготовки.
2. В соответствии со схемой и рекомендациями (рис. 1) выполнить первые три операции технологического процесса: осадку, прошивку, правку. При этом конечная высота кольца должна быть $18 \div 22$ мм.
3. Рассчитать объем кольца ($V_{\text{кольца}}$) без выдры.
4. Замерить толщину (h_0) и внутренний диаметр (d_0) кольца. Наружный диаметр (D_0) рассчитать из выражения

$$\frac{\pi}{4}(D_0^2 - d_0^2)h_0 = V_{\text{кольца}}$$

Тогда толщина кольца $b_0 = \frac{D_0 - d_0}{2}$, а площадь его поперечного

сечения $F_0 = b_0 \cdot h_0$.

5. Приняв общую степень деформации при раскатке $\epsilon_b = 50-60$ %, рассчитать конечную толщину кольца $b_k = b_0(1 - \epsilon_b)$, что соответствует общему обжатию $\Delta b = b_0 - b_k$.

Раскатка может производиться за несколько этапов (полных оборотов кольца вокруг оправки) так, чтобы $\Delta b = \Delta b_1 + \Delta b_2 + \dots + \Delta b_n$.

Каждый этап раскатки исследуется отдельной бригадой студентов.

6. После каждого этапа раскатки путем прямых измерений определяются все размеры кольца и рассчитываются:

F_k - конечная площадь поперечного сечения;

ε_b - накопленная степень деформации.

7. По формуле (2) рассчитать коэффициент уширения заготовки.

8. Результаты проделанной работы представить в виде сводной таблицы (табл. 2).

Таблица 2

Результаты экспериментальных исследований по раскатке кольца

Исходная заготовка			Кольцевая заготовка						Готовое кольцо					ε_b	f
$D_{\text{изг}}$	$H_{\text{изг}}$	$V_{\text{изг}}$	$V_{\text{кольца}}$	D_0	d_0	h_0	b_0	F_0	D_k	d_k	h_k	b_k	F_k		

9. Построить график изменения коэффициента уширения заготовки в зависимости от степени деформации, если исследовалась поэтапная раскатка кольца несколькими бригадами студентов.

10. Сформулировать выводы о проделанной работе, в которых отразить ответы на следующие вопросы:

Как сильно влияет степень деформации на коэффициент уширения и возможно ли в технологических расчетах использовать среднее значение этой величины?

Для каких расчетов необходим коэффициент уширения?

- Что влияет на выбор величины общей степени деформации при раскатке колец?

Какие факторы влияют на величину бочкообразования при осадке?

Чем объясняется ограничение минимальной толщины перемычки при прошивке заготовки?

3.3. Отчет о проделанной работе

Отчет должен содержать:

1. Схемы всех операцийковки тонкостенного кольца;
2. Все необходимые расчеты;
3. Таблицу сводных результатов исследования;
4. График изменения коэффициента уширения в зависимости от степени деформации (при наличии данных);
5. Выводы о работе.

Лабораторная работа № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ ПРОТЯЖКЕ ПОД ПЛОСКИМИ БОЙКАМИ

Цель работы: экспериментальное исследование закономерностей изменения размеров заготовки при протяжке под плоскими бойками в зависимости от основных технологических параметров процесса; ознакомление с методикой расчета технологического процесса.

Задания:

1. Определить численные значения и проанализировать закономерности изменения коэффициента интенсивности уширения заготовки при протяжке в зависимости от следующих параметров процесса:

- относительной подачи ($\psi = l_0/B_0 = 0,53$);

- относительной степени деформации ($\epsilon_{OH} = \frac{H_0 - H_K}{H_0} = 0,1 \dots 0,7$);

- относительных размеров полосы ($m = H_0/B_0 = 12,5$);

- коэффициента контактного трения ($\mu = 0,20,5$).

Вид параметра или комбинация параметров и диапазоны их изменения задаются преподавателем.

2. Рассчитать размеры заготовки после первого прохода для произвольных параметров технологического процесса, заданных преподавателем в пределах их варьирования. Расчеты проверить экспериментально.

1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОЦЕССЕ ПРОТЯЖКИ

Протяжка (вытяжка) – технологическая операция, которая применяется для увеличения длины заготовки за счет уменьшения ее поперечного сечения. Протяжка является одной из основных операций свободной ковки и широко используется как заготовительная операция перед объемной штамповкой на молотах. В последнем случае в специальных протяжных ручьях производится уменьшение сечения отдельных частей заготовки. Деформирующим инструментом для этой

операции являются бойки (плоские, вырезные, выпуклые и комбинированные).

Протяжку осуществляют последовательными единичными обжатиями с подачей заготовки вдоль ее оси на величину l_0 после каждого обжатия (рис. 1). После первого прохода заготовку кантуют на 90° и выполняют второй проход.

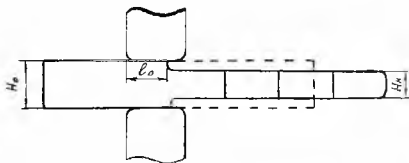


Рис. 1. Схема протяжки

После каждого прохода заготовка приобретает сложную конфигурацию за счет бочкообразования по высоте и длине заготовки (рис. 2).

Геометрический очаг деформации каждого обжатия представляет собой объем $V_{\sigma} = H_0 B_0 l_0$, который после обжатия остается неизменным по величине и равен $V_K = H_K B_K l_K$. Величины H_K и l_K могут быть измерены непосредственно на заготовке. Величина B_K вследствие неравномерного уширения заготовки вдоль очага деформации может быть рассчитана как средняя: $B_{cp} = V_K / l_K H_K$.

В основу технологических расчетов процесса протяжки положен принцип суммирования главных деформаций. Наибольшей главной деформацией каждого обжатия является высотная, которая по абсолютной величине больше, чем величины деформаций в направлении протяжки и уширения. Последовательные обжатия приводят к суммированию деформаций только вдоль оси заготовки, поэтому в конце процесса эта деформация во много раз превышает деформации по двум другим осям.

Количественное ограничение степени деформации по высоте заготовки (ϵ_{OH}) в каждом проходе связано с опасностью потери

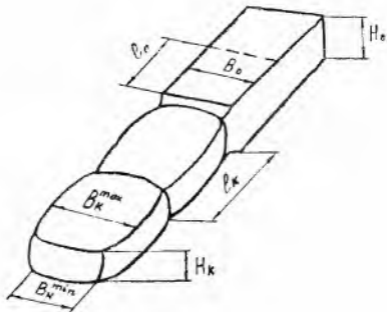


Рис. 2. Размеры заготовки после первого прохода

устойчивости заготовки после кантовки (рис.3). Для предотвращения этого явления необходимо соблюдать следующие условия: $\varphi = B_K / H_K \leq 2,5$. Величина φ называется коэффициентом перехода.

Рассмотрим поперечное сечение заготовки в момент окончания очередного обжатия (рис. 4). Можно условно принять, что площадь F_I смещается в результате деформации, площадь F_{II} остается неизменной, а площади F_{III} и F_{IV} появляются в результате уширения. Так как на уширение идет лишь часть смещенного объема металла, то равенство $F_{III} + F_{IV} = fF_I$ действительно при условии: $f < 1$. Перепишем это равенство с учетом линейных размеров заготовки:

$$(B_K - B_0)H_K = f(H_0 - H_K)B_0, \quad (1)$$

откуда

$$f = \frac{(B_K - B_0)H_K}{(H_0 - H_K)B_0} = \frac{\varepsilon_{OB}}{\varepsilon_{KH}} < 1, \quad (2)$$

где f - коэффициент интенсивности уширения.



Рис. 3. Схема потери устойчивости заготовки после кантовки

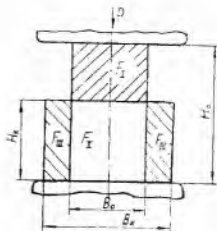


Рис. 4. Изменение поперечного сечения заготовки при протяжке

После преобразования уравнения (1) получим

$$F_K = F_0 [1 - \varepsilon_{OH} (1 - f)] , \quad (3)$$

где F_0 - площадь поперечного сечения заготовки до протяжки.

Коэффициент уковки по длине заготовки будет равен:

$$K_L = \frac{F_0}{F_K} = \frac{1}{1 - \varepsilon_{OH} (1 - f)} \quad (4)$$

Аналогично, рассмотрев изменение продольного сечения заготовки, за единичное обжатие получим

$$q = \frac{(I_K - I_0) H_K}{(H_0 - H_K) I_0} = \frac{\varepsilon_{OL}}{\varepsilon_{KH}} < 1 , \quad (5)$$

где q - коэффициент интенсивности удлинения.

Известно, что связь между относительными деформациями по трем осям характеризуется соотношением

$$\varepsilon_{KH} = \varepsilon_{OB} + \varepsilon_{OL} + \varepsilon_{OB} \varepsilon_{OL} ,$$

откуда

$$\frac{\varepsilon_{OL}}{\varepsilon_{KH}} + \frac{\varepsilon_{OB}}{\varepsilon_{KH}} + \frac{\varepsilon_{OL} \varepsilon_{OB}}{\varepsilon_{KH}} = 1$$

или $q + f(1 + \varepsilon_{OL}) = 1$

Так как $1 + \varepsilon_{OL} = K_L$, получим

$$q = 1 - fK_L.$$

Поскольку $K_L > 1$, то сумма $(q + f) < 1$, в отличие от суммы коэффициента уширения C_B и коэффициента удлинения C_H , получаемых через логарифмические деформации. Действительно, из гипотезы постоянства объема имеем

$$\delta_B + \delta_L = \delta_H,$$

откуда
$$\frac{\delta_B}{\delta_H} + \frac{\delta_L}{\delta_H} = 1$$

Обозначим $\delta_B/\delta_H = C_B$, а $\delta_L/\delta_H = C_L$, тогда

$$C_B + C_L = 1$$

1.1. Влияние параметров процесса протяжки на величину коэффициента интенсивности уширения

Экспериментально установлено, что коэффициент интенсивности уширения (2) зависит от следующих основных технологических параметров (факторов) процесса:

величины относительной подачи $\Psi = J_0/B_0$;

- степени деформации по высоте $\varepsilon_{OH} = \frac{H_O - H_K}{H_O}$;

относительных размеров полосы, протягиваемой в данном проходе $m = H_0/B_0$;

коэффициент трения μ .

В процессе протяжки наблюдается как отдельное, так и взаимосвязанное влияние этих факторов на формоизменение заготовки.

Наибольшее влияние на коэффициент интенсивности уширения оказывает относительная подача. В направлении, поперечном действию силы, металл стремится течь по направлению кратчайших нормалей к контуру очага деформации. Однако наличие недеформированных частей заготовки искажает такую схему (рис. 5).

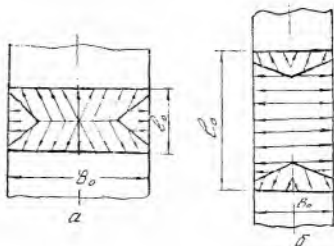


Рис. 5 Схема поперечного течения металла при протяжке:
 а - протяжка с малой подачей ($\Psi < 1$).
 б - протяжка с большой подачей ($\Psi > 1$).

Из рисунка видно, что с увеличением подачи увеличивается объем металла, смещенный в ширину, а следовательно, и коэффициент уширения. При подачах больше единицы ($\Psi > 1$) с увеличением коэффициента трения уширение увеличивается, а при ($\Psi < 1$) - уменьшается.

При изменении степени деформации в пределах 0.. 0,6 уширение изменяется мало. При больших степенях деформации ($\epsilon_{OH} > 0,8$) уширение снижается при $\Psi > 1$ и повышается при $\Psi < 1$. В пределе при $\epsilon_{OH} \rightarrow 1$ уширение при $\Psi > 1$ стремится к 0,5.

С увеличением относительной высоты заготовки уширение снижается при $\Psi > 1$ и увеличивается при $\Psi < 1$.

1.2. Методика расчета технологического процесса протяжки

По результатам технологических расчетов процесса протяжки необходимо определить размеры заготовки после каждого прохода для выбранных технологических параметров (факторов). Эти расчеты могут быть легко выполнены, если имеются экспериментальные данные для расчета коэффициента интенсивности уширения.

Расчет ведется в следующей последовательности:

1. Выбирается относительная величина подачи Ψ

2. Выбирается степень деформации по высоте заготовки ε_{OH} .

Для повышения производительности процесса желательно принять наибольшую степень деформации, но при этом обязательно должно быть обеспечено условие перехода, т.е. $\varphi = B_K / H_K \leq 2,5$.

3. По экспериментальным данным рассчитывается коэффициент интенсивности уширения (f).

4. По уравнению (4) рассчитывается коэффициент уковки K_L .

5. Рассчитываются общая длина L_K , площадь F_K и размеры поперечного сечения (H_K, B_{CP}) заготовки после первого прохода:

$$F_K = F_0 / K_L; \quad L_K = L_0 K_L; \quad H_K = H_0 (1 - \varepsilon_{OH}); \quad B_{CP} = F_K / H_K.$$

Для каждого прохода расчеты повторяются. При этом размеры заготовки, полученные в предыдущем проходе, принимаются за исходные.

2. МАТЕРИАЛЫ, ИНСТРУМЕНТ, ОБОРУДОВАНИЕ

Работа выполняется на кривошипном прессе под плоскими бойками. Изменение деформации по высоте образца достигается либо за счет перемещения нижнего бойка по клиновой направляющей, либо за счет применения ступенчатых бойков.

Для изменения контактного трения могут быть использованы различные смазки.

В качестве исходной заготовки применяются свинцовые образцы квадратного сечения 15×15 мм.

Измерение образцов производится с точностью $0,1$ мм штангенциркулем.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ВЛИЯНИЯ НА ПРОЦЕСС ОДНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПАРАМЕТРА

В качестве варьируемых параметров могут быть выбраны: величина подачи l_0 ; степень деформации $\varepsilon_{OH} = (H_0 - H_K) / H_0$; коэффициент

трения μ (протяжка на сухих бойках $\mu \approx 0,4$ или протяжка с полиэтиленовой пленкой $\mu \approx 0,1$). В зависимости от выбранного параметра предусматривается несколько вариантов выполнения работ.

3.1. Подготовка и проведение эксперимента

1. Получить у преподавателя задание на исследование конкретного технологического параметра и пределы его варьирования.

2. Установить значения остальных постоянных в каждом опыте параметров.

3. С помощью рисок отложить по длине образца выбранные подачи. Для осреднения результатов каждая подача откладывается несколько раз. Разметка ведется по двум граням образца. При выполнении работы каждая риска устанавливается по краю бойка.

4. Заданная конечная высота заготовки после протяжки (H_K) устанавливается на прессе в зависимости от конструкции бойков (шаговое изменение высоты для ступенчатых бойков и плавное - для нижнего подвижного бойка).

Все исходные данные занести в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные и результаты экспериментов

Но- мер опы- та	Исходные данные					Результаты экспериментов						
	H_0 мм	V_0 мм	l_0 мм	$\psi = \frac{l_0}{S_0}$	μ	H_K мм	H_{K1} мм	ϵ_{OH}	l_K мм	V_K мм	f	q

3.2. Получение и обработка экспериментальных данных

1. Замеряется конечная высота заготовки (H_K). Результаты замера осредняются в пределах каждого опыта. Рассчитывается степень деформации (ϵ_{OH}).

2. Замеряется средняя длина участка после протяжки в каждом опыте (l_K).

3. Рассчитывается средняя ширина заготовки в пределах каждого опыта:

$$B_K = H_0 B_0 l_0 / H_K l_K.$$

4. По формулам (2) и (5) рассчитываются соответственно коэффициенты интенсивности уширения (f) и удлинения (q)

Результаты замеров и расчетов заносятся в табл. 1.

5. По результатам экспериментов строятся графики изменения коэффициентов уширения и удлинения в зависимости от исследуемого параметра:

а) $f = \varphi(l_0/B_0)$ и $q = \varphi(l_0/B_0)$;

или

б) $f = \varphi(\varepsilon_{OH})$ и $q = \varphi(\varepsilon_{OH})$;

и др.

4. РАСЧЕТ РАЗМЕРОВ ЗАГОТОВКИ ПОСЛЕ ПРОТЯЖКИ

Результаты проведенных исследований по определению коэффициента интенсивности уширения в зависимости от технологических параметров процесса позволяют рассчитывать размеры заготовки после первого перехода протяжки. Результаты расчета могут быть проверены экспериментально.

1. Выбираются конкретные значения параметров процесса в пределах их варьирования, принятых при исследовании.

2. Исходный образец размечают рисками в соответствии с принятой величиной поддачи. Необходимо нанести 10...15 рисок.

3. Инструмент регулируется на конечную высоту заготовки в зависимости от принятой степени деформации.

4. Из экспериментальных графиков или уравнения регрессии определяется коэффициент интенсивности уширения f .

5. По уравнению (4) рассчитывается коэффициент уковки по длине K_L и общая длина заготовки

$$L_K = L_0 K_L,$$

где L_0 - исходная длина заготовки, подвергшаяся протяжке.

6. Проводится экспериментальная протяжка заготовки при принятых технологических параметрах и замеряется ее фактическая

длина $L_{K\Phi}$, которая сравнивается с расчетной:

$$\delta = \frac{L_K - L_{K\Phi}}{L_K} 100\%$$

5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА И АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

1. Схема изучаемого процесса.
2. Основные уравнения для расчета технологического процесса протяжки.
3. Таблицы исходных данных и результатов эксперимента.
4. Графические зависимости коэффициента интенсивности уширения и удлинения параметров процесса.
5. Теоретический расчет одного прохода протяжки для произвольных параметров процесса и результаты контрольного эксперимента.
6. Выводы по работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какой физический смысл коэффициентов удлинения и уширения?
2. Какие аналитические выражения применяются для расчета коэффициентов удлинения и уширения?
3. Какие технологические параметры влияют на коэффициент уширения?
5. Как влияет на коэффициент уширения относительная подача, степень деформации?
6. Как связаны между собой коэффициенты удлинения и уширения?
7. Каковы ограничения степени деформации при протяжке?

Список использованной литературы

1. Охраменко Я.М. Технология кузечно-штамповочного производства. М.: Машиностроение, 1976.

Лабораторная работа № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ЗАГОТОВОК В ПОДКАТНЫХ РУЧЬЯХ МОЛОТОВОГО ШТАМПА

Цель работы: экспериментальное исследование показателей формоизменения заготовки в открытом и закрытом подкатных ручьях молотового штампа.

Задание: изучить влияние числа обжатий на коэффициент подкатки при профилировании заготовок из различных сплавов в открытом или закрытом подкатном ручье молотового штампа (в зависимости от предложенного варианта выполнения работы).

1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОПЕРАЦИИ ПОДКАТКИ

При штамповке длинноосных поковок на молотах большое распространение получили заготовительные ручьи. Они применяются для получения фасонной заготовки за счет перераспределения металла вдоль оси. Интенсивность формоизменения заготовки в ручье зависит от его вида (пережимной, подкатной, протяжной и т.п.), режима деформации, марки штампуемого материала и др. Каждый ручей обладает определенными возможностями для перераспределения металла вдоль оси, которые количественно можно оценить с помощью коэффициента подкатки:

$$K_{\text{подк}} = F_{\text{max}} / F_{\text{ср}}$$

где F_{max} - максимальная площадь поперечного сечения заготовки в месте набора металла; $F_{\text{ср}}$ - средняя площадь поперечного сечения фасонной заготовки.

При разработке технологического процесса большое значение приобретает выбор вида и количества заготовительных ручьев для фасонирования заготовки. От этого в значительной мере зависит производительность и экономичность всего технологического процесса.

Необходимая конфигурация фасонной заготовки рассчитывается по чертежу поковки (рис. 1). Для этого определяются площади характерных поперечных сечений поковки $F_{\text{лок}}$ и площадь сечения

облоя $F_{об}$. На основании этих данных рассчитываются площади эпюры сечений:

$$F_{эл} = F_{пок} + 2F_{об}.$$

Площадь каждого сечения приравняется к площади круга:

$$F_{эл} = \frac{\pi \cdot D_{эл}^2}{4},$$

откуда рассчитывается диаметр равновеликой окружности:

$$D_{эл} = 1,13\sqrt{F_{эл}}$$

Если полученные значения диаметров отложить симметрично по оси ординат и точки соединить плавной кривой, то полученная фигура будет называться эпюрой диаметров (рис. 1,б). Фасонная заготовка, точно соответствующая эпюре диаметров, называется расчетной заготовкой. При штамповке такой заготовки в окончательном ручье перемещение металла вдоль оси будет незначительным, и заполнение ручья произойдет при преимущественном растекании металла перпендикулярно оси заготовки. Такой характер течения металла обеспечивает качественное заполнение ручья и минимальный отход металла в облой. При технологических расчетах весьма полезной является эпюра сечений, которая отличается от эпюры диаметров тем, что ординаты эпюры сечений в выбранном масштабе равны площадям сечения поковки с облоем $F_{об}$. Площади отдельных элементов эпюры сечений численно равны объемам этих элементов, а площадь всей эпюры равна объему заготовки. На эпюрах, показанных на рис. 2, можно выделить такие характерные элементы (заштрихованные участки): участки стержней ($I_{ст1}$ и $I_{ст2}$) и участок набора металла ($I_{наб}$).

Нужную фасонную заготовку получают из исходной катанной заготовки (круглой или квадратной) в заготовительных ручьях: подкатных, протяжных, пережимных и т.п.

При выборе исходной цилиндрической заготовки имеют место два крайних случая: заготовка с максимальным диаметром D_0 (max) и минимальной длиной L_0 (min) (рис. 2, а) и заготовка с наименьшим диаметром D_0 (min) и наибольшей длиной L_0 (max) (рис. 2, в).

При выборе заготовки наименьшей длины ее диаметр определяется из следующего выражения (рис. 1, в):

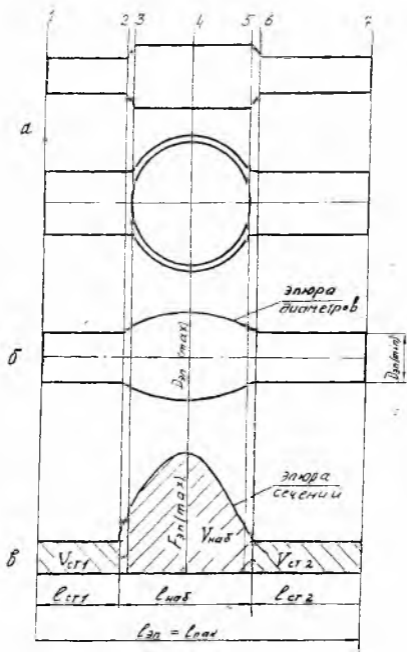


Рис. 1 Поковка (а), элюры диаметров (б) и сечений (в)

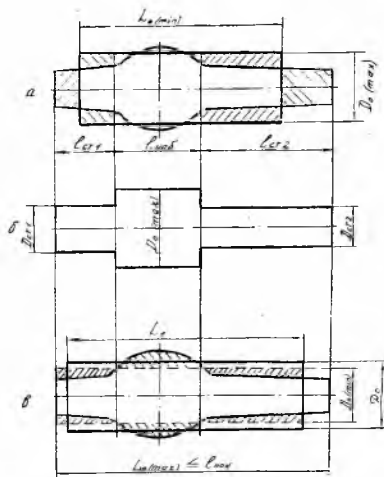


Рис. 2. К выбору исходной цилиндрической заготовки для профилирования

$$F_{\phi}(\max) = V_{\text{наб}} / l_{\text{наб}} = \pi D_0^2(\max) / 4,$$

откуда
$$D_0(\max) = 1,13 \sqrt{F_{\phi}(\max)}.$$

Длина такой заготовки

$$L_0(\min) = V_{\text{зар}} / F_{\phi}(\max).$$

Для того чтобы из цилиндрической заготовки наименьшей длины получить фасонную заготовку длиной, равной длине поковки,

необходимо протянуть (вытянуть) ее концы (рис. 2,а) Для этого применяются протяжные ручки. На рис. 2,б показана фасонная заготовка, полученная после протяжки. При этом размеры стержневых элементов заготовки следующие:

левая сторона –

$$l_{c1} \text{ и } D_{cm1} = 1,13\sqrt{V_{cm1}/l_{cm1}} = 1,13\sqrt{F_{cm1}}$$

правая сторона –

$$l_{c2} \text{ и } D_{cm2} = 1,13\sqrt{V_{cm2}/l_{cm2}} = 1,13\sqrt{F_{cm2}}$$

При таком способе профилирования участок цилиндрической заготовки в месте набора металла не деформируется. Максимальная степень вытяжки (протяжки), необходимая для получения фасонной заготовки, будет

$$K_{пр} = F_d(\max)/F_{cт2} = D_0^2(\max)/D_{cт2}^2.$$

В протяжных ручьях может быть достигнута сколь угодно большая степень вытяжки. Ограничением являются трудоемкость процесса, быстрое остывание заготовки и достаточная исходная длина участка, подвергаемого протяжке. Полученная в протяжном ручье заготовка (рис. 2,б) достаточно близка к расчетной, но не повторяет полностью конфигурацию элюры диаметров.

При выборе заготовки наименьшего диаметра ее длина не может быть больше длины поковки, т.е. $L_0(\max) \leq l_{пок}$ (рис. 2,в), тогда наименьший диаметр заготовки найдется из выражения

$$F_0(\min) = V_{зар}/l_{пок} = \pi D_0^2(\min)/4,$$

откуда

$$D_0(\min) = 1,13\sqrt{F_0(\min)}$$

Для получения фасонной заготовки в этом случае необходимо избыточный объем из стержневых участков переместить вдоль оси заготовки в наборную часть (рис. 2,в). Перемещаемые объемы заштрихованы. Такое перемещение металла может быть осуществлено в подкатном ручье, который придает заготовке более плавные очертания, чем протяжной ручей. Реальный диаметр исходной цилиндрической заготовки (D_0) в этом случае принимается несколько большим с учетом ее удлинения в процессе деформации в протяжном ручье.

$$F_0 = (1,02 \pm 1,2) F_d(\min),$$

откуда

$$D_0 = 1,13\sqrt{F_0}, \quad L_0 = V_{зар}/F_0.$$

Величина подкатки (набора утолщения) зависит от конструкции подкатного ручья, длины стержневых элементов, марки материала и постепенно увеличивается с увеличением количества обжатий. Интенсивность набора металла на каждом этапе может быть оценена с помощью текущего коэффициента подкатки:

$$K_{\text{под } i} = F_{\text{наб. } i} / F_{\text{ср. } i}$$

где i - количество обжатий;

$F_{\text{наб. } i}$ - текущая площадь поперечного сечения заготовки в месте набора металла;

$F_{\text{ср. } i} = V_{\text{заг.}} / l_{\text{заг. } i}$ - текущее среднее сечение заготовки,

$l_{\text{заг. } i}$ - текущая длина заготовки.

С увеличением числа обжатий текущий коэффициент подкатки вначале интенсивно увеличивается, стремясь к предельному значению. Это предельное значение и принимается за коэффициент подкатки ручья ($K_{\text{под ручья}}$). При этом необходимо выбирать минимальное число обжатий, обеспечивающих достигаемый коэффициент подкатки.

Знание коэффициента подкатки ручья (подкатного, пережимного, предварительного и т.п.), который определяется экспериментально, позволяет выбрать комбинацию ручьев для получения заданной фасонной заготовки. Суммарная подкатка, которую можно получить в нескольких ручьях, определяется следующей зависимостью:

$$K_{\Sigma} = K_{\text{под. } p1} \cdot K_{\text{под. } p2} \cdot$$

2. ОБОРУДОВАНИЕ, ОСНАСТКА, МАТЕРИАЛЫ, ПРИБОРЫ

Профилирование исходной цилиндрической заготовки выполняется на пневматическом молоте с массой падающих частей 250 кг в специальном штампе. Чертеж штампа показан на рис. 3.

Штамп имеет два подкатных ручья: открытый и закрытый. Продольный профиль обоих ручьев одинаков. Закрытый ручей отличается от открытого наличием радиусов скругления рабочей поверхности, что повышает интенсивность подкатки и позволяет получать заготовки более правильной формы. На входе ручья имеется порог (высота 6 мм), который пережимает заготовку и отделяет ее от клещевины. С противоположной стороны ручья выполнена узкая

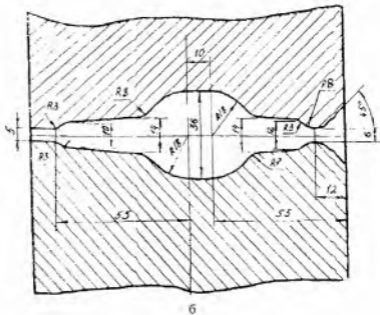
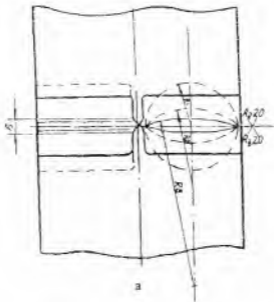


Рис. 3. Профили подкатных ручьев с основными размерами.
а - открытый; б - закрытый

щель (высота 5 мм), в которой размещается металл, вытекающий за пределы ручья. Заготовка в ручье деформируется за несколько обжатий с промежуточной кантовкой после каждого обжатия на 90°

В качестве заготовки используется пруток диаметром D_0 и длиной 130-150 мм из различных сплавов (сталь, свинец, алюминий). На расстоянии 85-100 мм рабочего конца сделана кольцевая проточка до диаметра 6 мм или риска, которая определяет длину исходной заготовки L_0 (рис. 4) и отделяет ее от клещевины. При каждом обжатии проточка устанавливается на порог ручья, что обеспечивает одинаковые условия проведения эксперимента.

Стальные и алюминиевые заготовки нагреваются в электрической печи до максимальной температуры ковочного интервала, установленного для данной марки сплава. Для загрузки и выгрузки заготовок из печи применяются специальные клещи.

Для проведения работы с нагревом заготовок студенты обеспечиваются рукавицами и защитными очками. Работу можно выполнять только после инструктажа по технике безопасности на рабочем месте и в присутствии лаборанта или преподавателя.

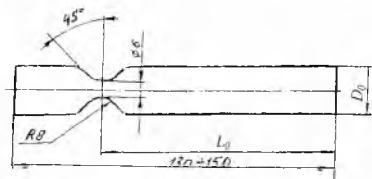


Рис. 4. Образец для проведения экспериментов

3. ВОПРОСЫ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ НА МОЛОТЕ

1. Необходимо проявлять особую осторожность при работе с нагретыми заготовками, которые часто являются причиной получения ожогов. До $500-600^\circ\text{C}$ цвет заготовки не меняется.

2. При работе на молоте необходимо иметь рукавицы и защитные очки.
3. Брать, переносить и удерживать заготовку при деформации можно только специальными клещами.
4. Запрещается держать руки или посторонние предметы в зоне рабочего пространства молотового штампа.
5. Категорически запрещается самостоятельная работа на молоте в отсутствие лаборанта или преподавателя.
6. При работе на молоте ручки клещей должны находиться сбоку от работающего.
7. При укладке заготовки в ручей она должна иметь две точки опоры.
8. На молоте должны работать два человека: один удерживает заготовку в ручье, другой, по команде первого, управляет ударами с помощью рычага управления молота.

4. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Предусматривается несколько вариантов выполнения работы. Различные варианты могут быть получены за счет профилирования заготовок из разных сплавов в открытом или закрытом ручьях при разных размерах исходной цилиндрической заготовки (D_0 ; L_0)

1. Для каждого варианта выполнения работы бригаде студентов выдается 3 различных образца.
2. Образцы для нагрева загружаются в электрическую печь. Температура нагрева устанавливается в зависимости от марки сплава. Время нагрева – 20 минут, время промежуточных подогревов – 5 мин.
3. После нагрева каждая заготовка деформируется в одном из ручьев штампа (открытом или закрытом) соответственно за 2, 4 и 6 обжатий. Одно обжатие – деформация заготовки за несколько ударов молота до соприкосновения бойков штампа. После каждого обжатия заготовка кантуется на 90° . С одного нагрева допускается не более двух обжатий. После первой серии экспериментов (по два обжатия каждой заготовки) одна заготовка оставляется для измерения, а остальные загружаются в печь для подогрева.

4. При работе со свинцовыми образцами, не требующими нагрева, для каждой бригады студентов достаточно одного образца. В этом случае все необходимые замеры деформированной заготовки выполняются сразу же после любого числа обжатий.

5. При проведении экспериментов строго соблюдать технику безопасности при работе на молоте.

5. ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

1. Выбираются исходные размеры заготовки:

D_0 - диаметр заготовки, замеряется непосредственно;

L_0 - длина рабочей части заготовки, замеряется непосредственно (рис. 4) или отмечается рискуй по заданию преподавателя ($L_0=90 \pm \pm 110$ мм).

2. Определяется ряд контролируемых обжатий. В случае нагрева заготовок (сталь, алюминий) заготовки замеряются после 2, 4 и 6 обжатий. В случае профилирования свинцовой заготовки необходимые замеры можно проводить после любого числа обжатий (1, 2, 3...10), по заданию преподавателя.

3. После каждого контролируемого обжатия снимаются два размера с деформируемой заготовки: $D_{\max,i}$ и $L_{\text{заг},i}$.

Для определения $D_{\max,i}$ делается по три измерения диаметра в месте набора металла в двух взаимно перпендикулярных плоскостях (рис. 5). Тогда

$$D_{\max,i} = (D_{1,i} + D_{2,i} + D_{3,i} + D_{4,i} + D_{5,i} + D_{6,i}) / 6.$$

Длина заготовки ($L_{\text{заг},i}$) измеряется непосредственно на образце (рис. 5).

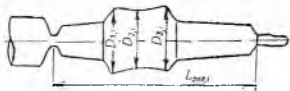


Рис. 5. Схема к замеру объема наборного участка

4. Исходные данные, результаты измерений и расчетов представляются в виде таблицы.

Расчетные величины в таблице определяются по следующим формулам:

$V_{заг} = (\pi D_0^2) / 4 * L_0 = \text{const}$ - объем заготовки, подвергаемый деформации;

$F_{наб,i} = (\pi D_{наб,i}^2) / 4$ - площадь сечения заготовки в месте набора металла после i -го обжатия;

$F_{ср,i} = V_{заг} / L_{заг,i}$ - среднее сечение профильной заготовки после i -го обжатия;

$K_{под,i} = F_{наб,i} / F_{ср,i}$ - достигнутый коэффициент подкатки заготовки после i -го обжатия.

5. По результатам экспериментов строится график влияния количества обжатий в ручье штампа на величину коэффициента подкатки

$$K_{под,i} = f(i).$$

6. Недостающие данные берутся у других бригад студентов.

Таблица 1

Исходные данные и результаты экспериментов

Исходные данные						Результаты экспериментов				
Марка ште- рнала	Вид ручья	D_0 , мм	L_0 , мм	$V_{заг}$, мм ³	Кол. обжа- тий	$D_{наб,i}$, мм	$F_{наб,i}$, мм ²	$L_{заг,i}$, мм	$F_{ср,i}$, мм ²	$K_{под,i}$
	Откр или закрыт									

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА И АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Эскиз подкатного ручья, в котором проводились эксперименты, с основными размерами.

2. Эскиз одной из трех заготовок после деформирования с указанием схемы замеров.

3. Сводную таблицу исходных данных и результатов эксперимента для открытого (закрытого) подкатных ручьев.
4. График влияния количества обжатий на величину коэффициента подкатки $K_{\text{под } i} = f(i)$ для открытого (закрытого) подкатных ручьев.
5. Основные расчетные формулы с пояснениями.

При анализе экспериментальных данных в выводах по работе необходимо осветить следующие вопросы:

1. Характер изменения коэффициента подкатки с увеличением числа обжатий. Какое число обжатий следует рекомендовать в технологических процессах? Какова величина коэффициента подкатки исследуемого ручья?
2. Какова разница в величинах коэффициента подкатки в открытом и закрытом ручьях?
3. Изменяется ли коэффициент подкатки при прочих равных условиях для различных марок материала?
4. Как использовать полученные экспериментальные значения коэффициентов подкатки при разработке технологических процессов штамповки на молотах?

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как строятся эпюры сечений, диаметров? Для чего применяется эпюра диаметров? Какими свойствами обладает эпюра сечений? Какая заготовка называется расчетной? Каковы особенности течения металла в окончательном ручье при использовании расчетной заготовки?
2. Как определить максимальный диаметр исходной цилиндрической заготовки для фасонирования? Какова длина такой заготовки? Какие заготовительные ручьи применяются в этом случае?
3. Как рассчитать минимальный диаметр исходной цилиндрической заготовки? Какие ручьи необходимы для ее фасонирования?
4. Что называется коэффициентом подкатки? Какие факторы влияют на величину коэффициента подкатки? В чем отличие между коэффициентом подкатки ручья и требуемым коэффициентом подкатки? Как влияет конструкция подкатного ручья на величину

коэффициента подкатки? Как производится выбор заготовительных ручьев с использованием коэффициента подкатки?

Список использованной литературы

1. Ковка и объемная штамповка сталей: Справочник /Под ред. М.В.Сторожева. М.: Машиностроение, 1967. Т. 1.
2. Семенов Б.И. Ковка и объемная штамповка. М.: Высш. шк., 1972.

Лабораторная работа № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ШТАМПОВКИ В ЗАКРЫТОМ ШТАМПЕ

Цель работы: изучение последовательности заполнения отдельных элементов полости закрытого штампа и изменения усилия процесса по мере заполнения штампа.

Задания:

1. Установить последовательность заполнения закрытого штампа и характерные стадии процесса.
2. Изучить закономерности изменения усилия штамповки.
3. Определить минимальное усилие процесса для заданного радиуса внутреннего угла штампа.
4. Сравнить расчетные и экспериментальные значения усилий на характерных стадиях процесса.

1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОЦЕССЕ

Штамповка в закрытых штампах обладает рядом преимуществ перед открытой штамповкой: повышенная точность поковок, меньше отходы металла, меньше усилие процесса и т.д. В последнее время этот вид штамповки все шире применяется в производстве и является перспективным при изготовлении целого ряда деталей.

Основная трудность при эксплуатации закрытого штампа — необходимость точного дозирования объема металла исходной заготовки. При точном соответствии объемов поковки и заготовки усилие процесса зависит только от сложности конфигурации штампа (если не учитывать марку деформируемого металла и условия трения). При этом усилие штамповки в закрытом штампе меньше усилия штамповки такой же детали в открытом штампе. Это объясняется отсутствием в закрытом штампе облойной канавки, на деформацию металла в которой расходуется до 20–40 % общего усилия. Если объем заготовки больше расчетного, то происходит переполнение закрытого штампа и резкое повышение усилия процесса. Избыток металла выдавливается в зазор между пуансоном и матрицей, значительно

повышается давление внутри полости штампа, что приводит к интенсивному износу инструмента, а в некоторых случаях и его поломке.

Заполнение штампа происходит последовательно от более простых элементов поковки к более сложным. Это требует постепенного увеличения усилия. Максимальное усилие процесса (в случае точного объема заготовки) будет соответствовать моменту заполнения самого сложного элемента поковки (например, угла в самом глубоком отростке). Дальнейшее повышение усилия нежелательно, а его необходимость может быть связана только с размещением избытка металла заготовки.

Ввиду разнообразия конфигураций поковок теоретический вывод единой расчетной формулы для определения усилия процесса вызывает значительные трудности. Удобным для практического применения является метод, основанный на расчете и последующем сложении усилий, необходимых для заполнения отдельных элементов поковки: цилиндрического или конического углубления, углов штампа и т.д. Такой подход позволяет получить простые расчетные формулы и в то же время учесть особенности оформления поковок различной конфигурации.

На рис. 1 показаны три стадии заполнения поковки типа диска с центральным сложным выступом (а,б,в) и типовой график изменения усилия процесса (г). Эпюры контактных напряжений представлены в виде относительных величин, т.е.

$$n = \sigma_z / \sigma_s,$$

где σ_z - нормальное напряжение в любой характерной точке;

σ_s - предел текучести деформируемого материала.

Анализ стадий формоизменения позволяет установить последовательность заполнения полости штампа и структуру формулы для расчета усилия процесса.

На первой стадии (рис. 1,а) происходит открытое выдавливание до соприкосновения фланца поковки со стенками матрицы. При этом часть металла выдавливается в центральную полость. Эпюра контактных напряжений имеет два максимума n_1 , соответствующих положению поверхности раздела потоков металла D_x . В теории горячей штамповки получены формулы для характерных точек (n_0 , n_1 , n_2), и среднее значение нормальных напряжений n_{cp} . Эта стадия в данной работе не исследуется.

На второй стадии (рис. 1,б) закрытого выдавливания происходит заполнение углов фланца и выдавливание металла в центральную полость. При небольшой глубине полости последняя может заполняться на первой стадии. В этом случае наиболее трудным элементом поковки будут углы фланца, заполнение которых произойдет в последнюю очередь. При построении эпюр контактных напряжений необходимо учитывать это условие и рассматривать окончательную стадию штамповки как закрытое осаживание. Если глубина полости значительна, то углы фланца заполняются раньше, чем металл коснется дна углубления. В этом случае углы полости будут заполняться в последнюю очередь, что и определит вид эпюры контактных напряжений. Усилие процесса на второй стадии изменяется от P_1 до P_2 (рис. 1,г) и складывается из следующих составляющих:

- усилия, необходимого для затекания металла из матрицы в отросток диаметром d_n в пределах угла естественного конуса;
- усилия, необходимого для преодоления сил трения T на стенках матрицы.

Вторая стадия заканчивается в момент касания металлом дна отростка.

На третьей стадии процесса происходит заполнение углов и размещение некоторого избытка металла (рис. 1,в). Вид эпюры контактных напряжений (контур I на рис. 1,в) аналогичен эпюре второй стадии. Однако численные значения напряжений повышаются по мере уменьшения радиуса конической полости поковки r , что приводит к заметному повышению усилия ($P_2 \rightarrow P_3$ на рис. 1,г). При абсолютно точном совпадении объемов заготовки и ручья максимальное усилие штамповки P_3 зависит от величины радиуса закругления конической полости штампа. Абсолютное совпадение объемов заготовки и ручья маловероятно, и практически процесс закрытой штамповки всегда осуществляется при некотором избытке металла, который, однако, не должен повысить давление более чем на 10...20 % (контур эпюры II на рис. 1,в).

Наличие большого избытка металла при закрытой штамповке на кривошипных машинах приводит к появлению четвертой стадии, заключающейся в размещении значительного избытка металла, соответственно резкому повышению напряженного состояния (контур III на рис. 1,в) и усилия штамповки до значительных величин (P_4 на рис. 1,г).

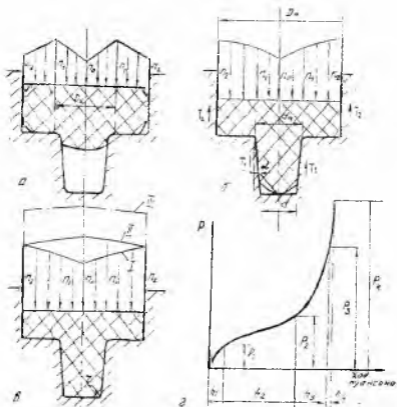


Рис. 1. Стадии формоизменения при закрытой штамповке поковок

Рассмотрим эпюры относительных нормальных напряжений в различных зонах деформации при заполнении круглого штампа с центральным отростком (рис. 2). На рисунке изображены эпюры напряжений на торце пуансона (уровень 4-4). Эти напряжения определяют усилие штамповки в каждый текущий момент деформации. По мере удаления от торца пуансона к торцу матрицы напряжения уменьшаются и достигают минимального значения на уровне 1-1.

Уровень 1-1. Средние напряжения, действующие на уровне 1-1 и обеспечивающие заполнение углов отростков, могут быть рассчитаны по следующей формуле:

$$n_{cp}'' = 2,1 \left(1 - \frac{2R}{d_1} \right)^2 + 1,5Ln \frac{d_1}{4R} + 12 \frac{R}{d_1} - 12 \frac{R^2}{d_1^2} - 2,25 \quad (1)$$

Контур металла, затекающего в угол штампа, с достаточной для практических расчетов точностью можно описать дугой окружности (рис. 2,б). Тогда, замеряя отрезок c (например с помощью индикатора, установленного в углу штампа), из геометрических соображений можно рассчитать текущий радиус при заполнении угла:

$$R = c/0,41. \quad (2)$$

По мере уменьшения радиуса напряжения увеличиваются и достигают значительных величин при малых радиусах скругления углов полости. Это основная причина увеличения усилия процесса на третьей стадии (рис. 1,г). На второй стадии процесса, до касания металлом дна отрезка, $n_{cp}'' = 0$

Уровень 2-2. На уровне 2 - 2 напряжения повышаются на величину

$$\Delta n'' = 2 \left(1 + \frac{\mu}{\operatorname{tg} \alpha} \right) \ln \frac{d_n}{d},$$

необходимую для деформации металла в коническом углублении. Тогда

$$n_0'' = n_{cp}'' + 2 \left(1 + \frac{\mu}{\operatorname{tg} \alpha} \right) \ln \frac{d_n}{d}, \quad (3)$$

$$n_1'' = n_0'' + 1, \quad (4)$$

где $\mu = 0,4$ - коэффициент трения металла по стенкам углубления.

Среднее относительное напряжение любой пространственной эпюры напряжений определяется из выражения

$$n_{cp}'' = V_3 / F_n, \quad (5)$$

где V_3 - объем пространственной эпюры;

F_n - площадь деформируемой части поковки, на которую действует рассматриваемая эпюра.

Средние напряжения на уровне 2 - 2 с учетом выражения (5) будут

$$n_{cp}' = n_1'' - 1/3. \quad (6)$$

Уровень 3 - 3. Относительное осевое напряжение n_0' на уровне 3-3 должно быть больше на величину, которая необходима для деформации металла в естественном конусе с углом 45° , т.е.

$$n_0' = n_0'' + 2 \left(1 + \frac{\mu_B}{\operatorname{tg} 45^\circ} \right) \ln \frac{D}{d_n} = n_0'' + 3 \ln \frac{D}{d_n}, \quad (7)$$

$$\left. \begin{aligned} n_1 &= n_0' + 1, \\ n_2 &= n_1 + \mu \frac{D - d_h}{h_{04}} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

где $\mu_B = 0,5$ - внутренний коэффициент трения деформируемого металла.

Среднее относительное напряжение с учетом выражения (5)

$$n_{cp}' \approx n_2' - \frac{1}{3} (n_2' - n_1') \left(1 + \frac{d_n}{D} \right) \quad (9)$$

Уровень 4 - 4. Относительное осевое напряжение n_0 должно быть больше n_0' на величину, необходимую для преодоления сил трения по стенкам матрицы:

$$\left. \begin{aligned} n_0 &= n_0' + 2\mu \left(\frac{2h}{D} + \frac{d_n}{D} - 1 \right), \\ n_1 &= n_0 + 1, \\ n_2 &= n_1 + \mu \frac{D - d_n}{h} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Повышение относительных напряжений от n_1 до n_2 связано с преодолением сил трения на торцевой поверхности пуансона. Среднее относительное напряжение определяется по формуле, аналогичной (9):

$$n_{cp} \approx n_2 - \frac{1}{3} (n_2 - n_1) \left(1 + \frac{d_n}{D} \right), \quad (11)$$

а усилие процесса из выражения

$$P = \sigma_S n_{cp} \frac{\pi D^2}{4}, \quad (12)$$

где σ_S - предел текучести деформируемого материала.

С учетом выражений (1), (3), (7) можно получить общую формулу для расчета осевого нормального напряжения на торце пуансона:

$$n_0 = 2 \left[\underbrace{\left(1 + \frac{\mu}{\operatorname{tg} \alpha}\right) \ln \frac{d}{d_l}}_b + 3 \underbrace{\ln \frac{D}{d_n}}_v + 2\mu \underbrace{\left(\frac{2h}{D} + \frac{d_n}{D} - 1\right)}_g \right] + \underbrace{\left[2,1 \left(1 - \frac{2R}{d_l}\right)^2 + 1,5 \ln \frac{d_l}{4R} + 12 \frac{R}{d_l} - 12 \frac{R^2}{d_l^2} - 2,25 \right]}_d.$$

Слагаемые b , v , g , d отражают сопротивление течению металла в отдельных элементах матрицы:

b - при течении металла по коническому углублению;

v - при затекании металла в коническое углубление;

g - на преодоление трения по стенкам матрицы;

d - при заполнения углов углубления.

Анализ выражения (13) показывает:

1. На второй стадии процесса слагаемое d равно нулю. Слагаемое v остается постоянным. Слагаемое g меняется незначительно только за счет изменения размера h . Основное влияние на изменение усилия процесса оказывает слагаемое b . По мере увеличения глубины затекания металла в отросток (l на рис. 2) изменяется диаметр d_l , который можно рассчитать из выражения

$$d_l = d - 2l \operatorname{tg} \alpha, \quad (14)$$

2. На третьей стадии процесса слагаемые b , v , g , остаются постоянными. Повышение усилия наблюдается за счет изменения слагаемого d , связанного с постоянным уменьшением радиуса R в углу отростка. Максимальное усилие процесса будет зависеть в этом случае от величины радиуса скругления угла отростка, заданного конструкцией штампа.

Рассмотренные эпюры нормальных напряжений позволяют рассчитать оптимальные размеры облойной канавки открытого штампа.

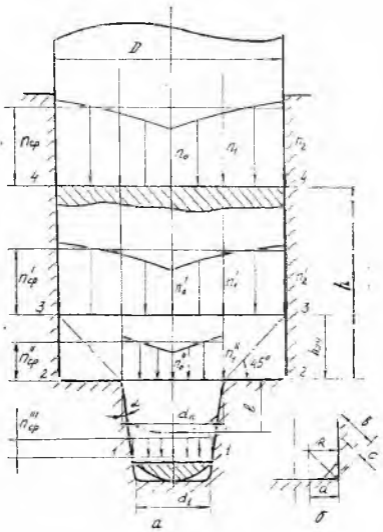


Рис. 2. Упрощенные эюры относительных контактных напряжений в различных зонах деформации закрытого штампа

Действительно, при штамповке в открытом штампе облойная канавка должна обеспечить подпор, достаточный для оформления поковки. Величина этого подпора равна напряжениям, действующим на контуре поковки (p_2, p_2'). Если открытый штамп для получения круглой

поковки (рис. 2) имеет линию разъема на уровне 4 - 4, то нормальные напряжения, создаваемые облойной канавкой, должны быть равны p_2 . В этом случае заполнение штампа будет протекать без большого отхода металла в облой. В случае разъема открытого штампа на уровне 3 - 3 исходной величиной для расчета размеров облойной канавки является напряжение p_2' .

Таким образом, знание эпюр контактных напряжений в различных зонах деформируемой поковки позволяет правильно спроектировать технологические процессы штамповки как в закрытых, так и в открытых штампах.

2. ОБОРУДОВАНИЕ, ОСНАСТКА, МАТЕРИАЛЫ, ПРИБОРЫ

Работа выполняется на испытательной машине ЦДМ-10ПУ в специальном штампе. Чертеж штампа приведен на рис. 3.

Штамп состоит из корпуса 3, в который помещается рабочий контейнер 2 с матрицей 4, образующей отросток полости. Деформация заготовки осуществляется пуансоном 1. В штамп встроены два индикатора. Игла индикатора A_2 установлена в углу отростка, что позволяет замерять степень заполнения угла, не прерывая процесса штамповки (замеряется размер c , смотри рис. 2, а). Вдоль оси штампа установлен подвижный штифт 5, который опирается на подпружиненную шпильку 9. На коническую образующую шпильки опирается игла индикатора A_1 . Такая конструкция позволяет измерить текущую глубину затекания металла (l на рис. 2) в конический отросток. Зная угол наклона образующей шпильки, можно рассчитать глубину затекания металла в отросток (рис. 3).

Деформации подвергаются свинцовые образцы размером $\varnothing 49$ мм \times 50 мм. Работа выполняется по нескольким вариантам в зависимости от угла наклона конического углубления (угол α на рис. 2).

Работу можно проводить после инструктажа по технике безопасности на рабочем месте, ознакомления с работой машины, в присутствии лаборанта или преподавателя.

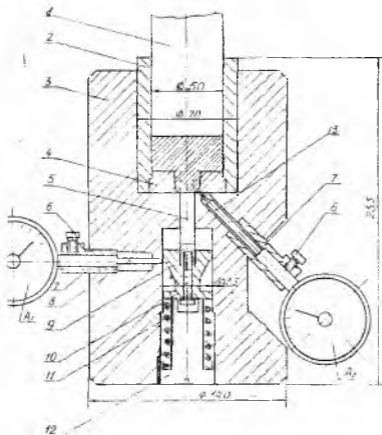


Рис. 3. Общий вид экспериментального штампа

3. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

3.1. Подготовка штампа к эксперименту

1. Из корпуса штампа вынимается рабочий контейнер 2, пуансон 1 и матрица 4.

2. Устанавливается осевой штифт 5 и индикатор A_1 . Индикатор устанавливается на ноль и контрится винтом. Путем нажатия на штифт необходимо проверить работу индикатора. Этот индикатор будет

показывать глубину затекания металла в отросток (l_i) на 2-й стадии. Масштаб показаний индикатора определяется перед началом работы.

3. В рабочую полость корпуса штампа опускается пуансон так, чтобы он перекрыл отверстие для выхода иглы из второго индикатора A_2 . В отверстие вставляется игла с индикатором. При установке путем поджатия индикатор необходимо отрегулировать на деление 3 мм и законтрить винтом. После удаления пуансона конец иглы индикатора должен выступать на 3 мм. В ходе эксперимента этот индикатор будет измерять размер c (рис. 2,а) на 3-й стадии, изменяющийся от 3 мм до нуля. Осторожным нажатием на иглу необходимо проверить работу индикатора.

4. В корпус штампа осторожно установить рабочий контейнер 2 с матрицей 4. Проверить, чтобы штифт осевого индикатора находился на уровне верхнего торца матрицы, а игла бокового индикатора A_2 - в углу нижнего торца матрицы.

5. Установить штамп на стол испытательной машины, заложить образец и установить пуансон.

6. Рядом со штампом устанавливается специальный ходограф с индикатором A_3 , который позволяет фиксировать ход пуансона (h) с точностью 0,01 мм.

3.2. Порядок выполнения работы

1. Процесс штамповки ведется при небольшой скорости деформирования.

2. В процессе эксперимента трудно определить момент окончания первой стадии и начало второй. Поэтому на этом этапе ведется одновременная запись трех параметров:

- l_i - глубина затекания металла в отросток по индикатору A_1 . Этот параметр является ведущим;
- X - перемещение пуансона, по индикатору A_3 ходографа;
- $P_{\text{экс}}$ - усилие процесса.

Устанавливается следующий шаг замеров по индикатору A_1 : 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6.

С учетом масштаба фактическая глубина затекания металла в отросток:

$$l_i = 0,5M; 1M; .6M.$$

3. Третья стадия процесса начинается с момента начала работы индикатора A_2 . С этого момента ведется одновременная запись следующих параметров:

c - глубина затекания металла в угол отростка по индикатору A_2 . Этот параметр является ведущим.

X - ход пуансона по индикатору холографа A_3 ;

$P_{\text{экс}}$ - усилие процесса.

Устанавливается следующий шаг замеров по индикатору A_2 : 3; 2; 1; 0. При этом показания индикатора A_1 не фиксируются.

4. После окончательного заполнения штампа освобождается индикатор A_2 и делаются дополнительно 1 или 2 замера, характеризующих четвертую стадию. При этом одновременно замеряются два параметра:

X - ход пуансона по индикатору холографа A_3 ;

$P_{\text{экс}}$ - усилие процесса.

5. После окончания процесса разбирается штамп, выпрессовывается поковка и замеряется высота ее цилиндрической части (размер h на рис. 2).

6. Результаты экспериментов заносятся в таблицу.

4. ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

1. Пользуясь табл. 1, построить сводный график результатов эксперимента (рис. 4).

2. Выделить на графике основные стадии процесса, проанализировать их продолжительность и величину усилий на каждой стадии. Определить максимальное усилие процесса, обеспечивающее качество оформления поковки.

3. Пользуясь формулой (13), рассчитать значения осевого нормального напряжения σ_0 на 2-й стадии процесса для замеренных значений l (табл. 1). Высоту металла в контейнере можно принять постоянной (h из табл. 1). По формулам (10), (11) и (12) рассчитать соответствующие усилия процесса в каждой точке. Полученные результаты нанести на сводный график (рис. 4)

Исходные данные и результаты экспериментов

Исходные данные (рис. 2)				1-я + 2-я стадии			3-я стадия				Ход пуан- сона
D_1 мм	$d_{ин}$ мм	$d_{1,2}$ мм	α°	$l_{ин}$ мм	$P_{ин}$ кН	$P_{пр}$ кН	C_1 мм	R_1 мм	$P_{инт}$ мм	$P_{пр}$ мм	
				l_1							X_1
				l_2							X_2
				l_3							X_3
							3				$X_{...}$
							2				
							1				
							0				X_n

4. Аналогично по формуле (13) рассчитать несколько значений для замеренных величин радиусов заполнения угла отростка (табл. 1). По формулам (10), (11) и (12) рассчитать соответствующие усилия процесса в каждой рассматриваемой точке. Результаты отметить на графике (рис. 4).

5. Проанализировать совпадение расчетных и экспериментальных значений усилия на 2-й и 3-й стадиях процесса.

5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Эпюры нормальных напряжений, действующих в полости закрытого штампа.

2. Результаты эксперимента по замеру усилий в виде таблицы.

3. Сводный график результатов эксперимента.

4. Результаты расчета усилий в фиксированных точках процесса (P_p).

5. Анализ факторов, вызывающих резкое повышение усилия на третьей и четвертой стадиях процесса.

6. Сравнение минимального заданного радиуса с максимальным усилием, связанным с размещением избытка металла.

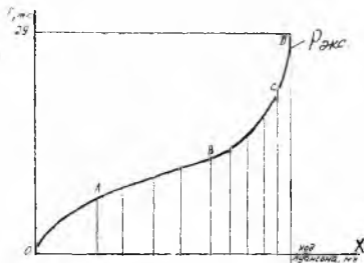


Рис. 4. Сводный график результатов эксперимента

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите характерные стадии заполнения закрытого штампа.
2. Каковы особенности каждой стадии процесса?
3. Какие факторы вызывают возникновение четвертой стадии?
4. Как изменяется форма эпюр нормальных напряжений на каждой стадии процесса?
5. Какова структура формулы расчета усилия закрытой штамповки?
6. Какие факторы учитывает каждое слагаемое расчетной формулы?
7. На каких стадиях процесса работает каждый индикатор?
8. Как подготовить индикаторы штампа к проведению эксперимента?

9. Как по индикаторам определить момент окончания второй и третьей стадий?
10. Как определить минимальное усилие процесса для заданных размеров полости штампа?
11. Размеры какого элемента штампа оказывают наибольшее влияние на минимальное усилие процесса?
12. Как размещается в закрытом штампе избыточный объем заготовки?

Список использованной литературы

1. Ребельский А. В. Основы проектирования процессов горячей объемной штамповки. М.: Машиностроение, 1965.
2. Журавлев А. З. Основы теории штамповки в закрытых штампах. М.: Машиностроение, 1973.

Лабораторная работа № 5

ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРА ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ЗАГОТОВКИ ПРИ ЗАПОЛНЕНИИ ОТКРЫТОГО ШТАМПА

Цель работы: закрепить знания по изучению закономерностей формоизменения заготовки открытого штампа; изучить влияние формы и размеров облойной канавки на величину технологически необходимого объема облоя; получить навыки проведения эксперимента и обработки экспериментальных данных.

Задание: экспериментально определить технологически необходимый объем облоя для заданных размеров облойной канавки.

1. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЗАПОЛНЕНИЯ ОТКРЫТОГО ШТАМПА

Для упрощения анализа формоизменения заготовки в открытом штампе весь процесс условно делят на четыре стадии. На I и II стадиях происходит осадка заготовки до момента начала образования облоя ($\Delta h_{(I-II)}$ на рис. 1). На III стадии происходит одновременное течение металла в отросток штампа и облойную канавку Δh_{III} .

При смыкании штампов от начальной толщины облоя h_2 и до конечной толщины h_{3K} (рис. 1) формоизменение заготовки характеризуется разнонаправленными потоками металла: в отросток штампа, заполняемый выдавливанием, и в облойную канавку. Поверхность раздела этих двух потоков можно условно представить в виде цилиндрической поверхности радиуса R . В зависимости от соотношения сопротивлений течению металла в отросток и в облойную канавку величина радиуса этой поверхности постоянно меняется: интенсивно увеличивается от R_1 до R_2 и достигает максимального значения R_2 в момент касания металлом дна отростка в конце III стадии процесса. Чем больше значение R_2 , тем интенсивнее идет заполнение штампа и меньше металла поступает в облой. Заполнение углов отростка требует значительного повышения давления, что приводит к уменьшению радиуса раздела потоков металла. После заполнения штампа наблюдается IV стадия процесса,

доштамповка Δh_{IV} , на которой происходит вытеснение избытка металла из полости штампа при $R_3=0$.

С достаточной для практических расчетов точностью изменение радиуса поверхности раздела можно аппроксимировать в виде отрезков прямых в интервалах R_0 - R_1 , R_1 - R_2 . Аппроксимацию можно выполнить методом наименьших квадратов в пределах каждого интервала в виде уравнения

$$h_3 = C_1 + C_2 R, \quad (1)$$

где

$$C_1 = \frac{\sum_{i=1}^n h_{3i} \sum_{i=1}^n R_i^2 - \sum_{i=1}^n h_{3i} \cdot R_i \cdot \sum_{i=1}^n R_i}{n \sum_{i=1}^n R_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n R_i \right)^2};$$

$$C_2 = \frac{n \sum_{i=1}^n h_{3i} \sum_{i=1}^n R_i - \sum_{i=1}^n h_{3i} \cdot R_i \cdot \sum_{i=1}^n R_i}{n \sum_{i=1}^n R_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n R_i \right)^2}.$$

n - число экспериментальных точек в пределах каждого интервала.

Кусочно-линейная аппроксимация изменения радиуса поверхности раздела позволяет легко рассчитать объемы металла, смещенные в полость штампа и в облойную канавку на любой стадии или этапе формоизменения. Объем металла, выдавленный в отросток на III стадии процесса, равен объему фигуры, полученной от вращения площади $V_{\text{выд III}}$ вокруг вертикальной оси. Учитывая, что эта фигура представляет из себя усеченный конус, получим

$$V_{\text{выд III}} = \frac{\pi \Delta h_{III}}{3} (R_1^2 + R_2^2 + R_1 R_2) \quad (2)$$

Технологически необходимый объем облоя ($V_{3 \text{ техн}}$) зависит от принятых размеров облойной канавки и объема заготовки. В целях экономии металла необходимо стремиться к его уменьшению. Этот объем равен объему фигуры, полученной от вращения площади $V_{3 \text{ техн}}$

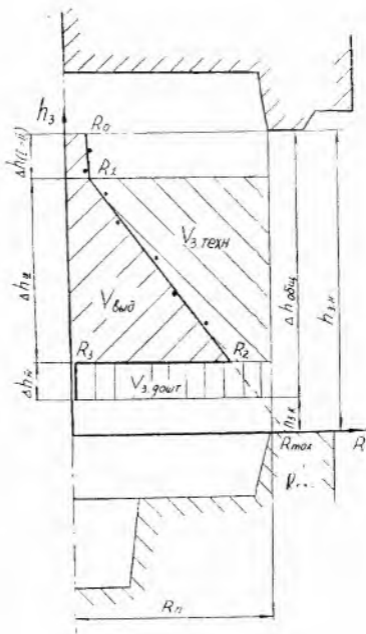


Рис. 1. Схема к расчету смещенных объемов при заполнении открытого штампа

(рис. 1) вокруг вертикальной оси. И может быть рассчитан из выражения

$$V_{затехн} = \pi R_n^2 \cdot \Delta h_{III} - V_{выдIII} \quad (3)$$

где R_n - радиус поковки по линии разреза штампов. Аналогично объем металла, вытесненный в облой при доштамповке,

$$V_{здошт} = \pi R^2 \cdot \Delta h_{IV} \quad (4)$$

общий объем облоя

$$V_{зобщ} = V_{зтехн} + V_{здошт} \quad (5)$$

Объем металла, вытесненный в отросток штампа на I и II стадиях,

$$V_{выд(I+II)} = \frac{\pi \Delta h_{(I+II)}}{3} (R_0^2 + R_1^2 + R_0 R_1) \quad (6)$$

1.1. Влияние объема заготовки и размеров мостика на интенсивность заполнения открытого штампа

На рис. 2 показаны кусочно-линейные зависимости изменения радиуса поверхности раздела потоков металла, полученные при штамповке двух образцов разного объема (I и II) для одинаковых конечных размеров облойной канавки. Оба образца обеспечивают качественное заполнение штампа. При штамповке первого образца наблюдается развитая IV стадия. В результате как технологически необходимый объем облоя, так и общий будут большими. При штамповке второго образца объем облоя значительно меньше, так как продолжительность IV стадии минимальна.

Повышение сопротивления облойной канавки с целью уменьшения технологически необходимого объема облоя вызывает значительное повышение усилия процесса и снижает стойкость штампа. На рис. 3 показан характерный график изменения усилия по стадиям процесса. Из графика видно, что наиболее резкое возрастание усилия наблюдается на IV стадии процесса. При этом конечная толщина мостика оказывает существенное влияние на величину максимального усилия.

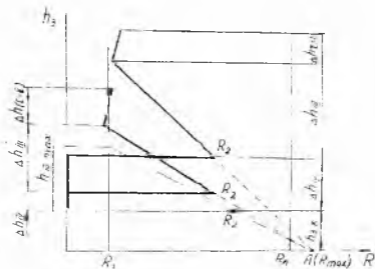


Рис. 2. Изменение радиуса поверхности раздела потоков металла при штамповке заготовок разного объема

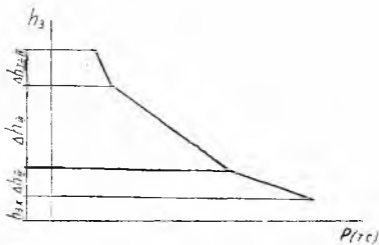


Рис. 3. Изменение усилия по стадиям процесса

2. КОНСТРУКЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ШТАМПА. ОБОРУДОВАНИЕ. ОБРАЗЦЫ

Эксперименты проводятся в штампе, представленном на рис. 4. Штамп состоит из верхней 1 и нижней 2 половин, которые центрируются в направляющей втулке 3.

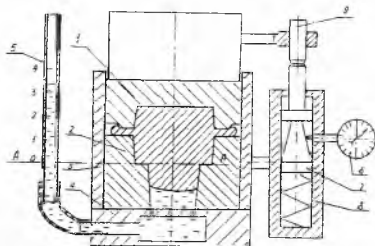


Рис. 4. Схема экспериментального штампа

Полость отрезка нижнего штампа соединена через полость подставки 4 с мерительной трубкой 5 и представляет совместно сообщающиеся сосуды. Перед экспериментом в эти полости заливается вода таким образом, чтобы установился общий уровень (AA) в мерительной трубке и по верху отрезка нижнего штампа. При штамповке уровень воды в мерительной трубке будет подниматься пропорционально объему металла, выдавленному в полость штампа на любом этапе смыкания штампов. Текущая толщина мостика замеряется ходографом, выполненным на базе индикатора часового типа 6. Подпружиненная коническая шпилька 7 перемещается в корпусе ходографа 8 под действием толкателя 9, соединенного с верхней половиной штампа. Конус шпильки 7 позволяет увеличить масштаб M измерения индикатора.

Конструкция экспериментального штампа позволяет получить данные для расчета условного радиуса раздела потоков металла для любого этапа смыкания штампов. Действительно, если штампы сомкнулись на величину Δh , а в полость штампа вытеснилось ΔV металла (объем воды в мерительной трубке изменился на ΔV), то условный радиус раздела потоков металла на этом этапе будет:

$$R = 0,56\sqrt{\Delta V / \Delta h} \quad (8)$$

3. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Работа выполняется на испытательной машине. Деформации подвергаются свинцовые образцы размером $\varnothing 38\text{мм}$, 65...88 мм. Работу можно проводить после инструктажа по технике безопасности на рабочем месте, ознакомления с работой машины, в присутствии лаборанта или преподавателя. Перед началом эксперимента каждая бригада студентов получает задание от преподавателя, которое содержит:

- форму и размеры мостика облойной канавки, определяемые конструкцией верхней половины штампа;
- свинцовый образец, мерительный инструмент (штангенциркуль, угломер).

3.1. Подготовка к эксперименту

По верхней половине штампа измерить размеры мостика: b_3 - ширину, α - угол наклона. Измерить размеры свинцовых образцов (H и D). Исходные данные занести в табл. 1.

Снять направляющую втулку 3 вместе с ходографом.

В полость отростка нижнего штампа налить воду и установить уровень (АА) (рис. 4).

Собрать штамп без образца, сомкнув верхнюю и нижнюю половины штампа.

Установить показание индикатора 6 на ноль и закрепить индикатор винтом.

Вынуть верхнюю половину штампа, установить свинцовый образец, собрать штамп.

Для выравнивания торцов образца нагрузить штамп усилием 2-3 т. Не снимая нагрузки, скорректировать уровень воды в мерительной трубке, установив ноль. Для этого сдвинуть резиновый шланг вдоль мерительной трубки.

3.2. Проведение эксперимента

Деформация заготовки в штампе выполняется с небольшой скоростью деформирования на гидравлическом прессе или испытательной машине. В процессе деформации ведется одновременная запись трех параметров:

- K - показания индикатора холографа;

V - объем воды в мерительной трубке, соответствующий суммарному объему металла, выдавленному в отросток гравюры;

P - усилие процесса.

Ведущим параметром является $h(K)$, который фиксируется с шагом в 1 мм. В конце процесса шаг замеров уменьшается до 0,5 мм - 0,1 мм (выбирается произвольно)

В процессе эксперимента необходимо выделить значение h , при котором металл начнет выдавливаться в облойную канавку. Этот момент определяется визуально и соответствует началу III стадии процесса. Деформацию заканчивать при усилии пресса $\approx 30-35$ т.

3.3. Обработка и анализ экспериментальных данных

1. Результаты прямых замеров записываются в табл. 1.

2. Результаты расчетов (табл. 1):

текущая толщина мостика (h) рассчитывается, начиная с ее конечного значения (h_1). Для этого после извлечения поковок из штампа замеряется конечная толщина облоя ($h_{об}$), значение которой присваивается последней толщине мостика, т.е.

$$h_i = h_{об}.$$

Предыдущие значения толщины мостика рассчитываются по схеме:

$$h_{i-1} = h_i + (K_{i-1} - K_i);$$

продолжительность этапа между двумя последовательными замерами:

$$\Delta h_i = h_{i+1} - h_i;$$

выдавленный объем металла на каждом этапе $V_i = V_{i+1} - V_i$.

- текущий радиус раздела потоков металла R_i рассчитывается по уравнению (7).

3. Построить экспериментальный график (нанести точки) изменения радиуса раздела потоков в зависимости от толщины мостика $R_i = f(h_{3,i})$ по аналогии с рис. 1. Выделить точку h_{III} , соответствующую началу III стадии процесса.

4. По уравнению (1) провести аппроксимацию полученных значений на двух участках (I+II стадии и III стадия) и построить по полученным уравнениям кусочно-линейную зависимость (рис. 1, рис. 2).

5. По результатам аппроксимации установить продолжительность стадий заполнения полости штампа ($\Delta h_{(I+II)}$; Δh_{III} ; Δh_{IV}) и характерные значения условного радиуса раздела потоков металла (R_0 ; R_1 ; R_2).

6. Рассчитать минимальный технологически-необходимый объем облоя (уравнение 3), объем облоя на стадии доштамповки (уравнение 4) и общий объем облоя (уравнение 5).

7. На полученном графике, добавив по горизонтальной оси шкалу усилий, построить второй график $P_i = f(h_{3,i})$ (изменение усилия процесса по мере смыкания штампов, рис. 3).

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Аппроксимированные графики изменения условного радиуса раздела потоков металла.
2. Исходные данные и результаты эксперимента (табл. 1)
3. График изменения усилия по стадиям процесса.
4. Выводы о проделанной работе.

Исходные данные и результаты экспериментов

Исходные данные				Результаты замеров			Результаты расчетов			
Размеры образца		Размеры мостика		Показания индикатора (K) с учетом масштаба штампа	Суммарный выдвигный объем V , см ³	Условная P , γ	Толщина мостика b , мм	Продолжение штампа Δh , мм	Выдвигный объем на этапе $\Delta V_{\text{выдв}}$, см ³	Температура $R_{\text{тем}}$, мм
L	H	b_2 , мм	α , град	$K = K_1 + M$	V_1	P_1	h_1	$\Delta h_1 = h - h_1$	$\Delta V_1 = V_2 - V_1$	R_1
				$K_{\text{те}}$	V_2	P_2	h_2	$\Delta h_2 = h - h_2$	$\Delta V_2 = V_2 - V_2$	R_2
				K_1	V_1	P_1	h_1	Δh_1	V_1	R_1

Примечание: М - масштаб показаний индикатора.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Стадии заполнения штампа при открытой штамповке. Признаки начала и окончания каждой стадии.
2. Назначение облойной канавки.
3. Технологически необходимый объем облоя. На какой стадии он образуется?
4. Общий объем облоя. Чем он отличается от технологически необходимого?
5. Что подразумевается под условной поверхностью раздела потоков металла при заполнении открытого штампа?
6. Какой характер изменения радиуса условной поверхности раздела потоков металла по стадиям процесса штамповки?

7. В какой момент заполнения штампа условный радиус достигает максимального значения?
8. Как по известному графику изменения условного радиуса раздела потоков металла рассчитать объем выдавленного в полость штампа металла, общий и технологически необходимый объемы облоя?
9. Какими способами можно уменьшить технологически необходимый объем облоя?
10. Какая стадия процесса определяет максимальное усилие оборудования?
11. На какой стадии процесса происходит наиболее интенсивное заполнение штампа?
12. Как можно увеличить максимальное значение радиуса условной поверхности раздела металла?

Список использованной литературы

1. Сторожев М.П., Попов Е.А. Теория обработки металлов давлением. М.: Машиностроение, 1977.