

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3**  
**«Разработка технологического процесса горячей**  
**объемной штамповки»**

Горячая объемная штамповка – это способ обработки металлов давлением, при котором объем металла, нагретый до температурыковки, принудительно распределяется по полости штампа с целью получения изделия определенной конфигурации.

Данный способ заготовительного производства позволяет получать заготовки (штампованные поковки) сложной конфигурации с незначительными припусками на механическую обработку и заранее заданными механическими свойствами.

Цель работы: изучение основ штамповочного производства в части особенностей нагрева металла, применяемого оборудования и технологических операций, позволяющих последовательно приближать исходную заготовку к форме и размерам поковки.

Перед выполнением работы следует получить чертеж детали у преподавателя и следующие данные: способ штамповки, тип оборудования, точность изготовления, группа стали.

Порядок выполнения работы:

1. выполнить эскиз детали;
2. рассчитать массу детали;
3. определить степень сложности поковки;
4. определить припуски на механическую обработку и напуски, если это необходимо, а также штамповочные уклоны и радиусы переходов, определить величины смещения и заусенца;
5. разработать и выполнить эскиз поковки;
6. рассчитать массу и размеры исходной заготовки;
7. определить температуру и время нагрева исходной заготовки;
8. определить последовательность технологических переходов при штамповке, разработать и выполнить эскиз финишного ручья штампа;
9. выполнить эскиз штампа с разрезом по чистовому ручью.

## 1. Разновидности штамповки

В зависимости от применяемого деформирующего оборудования горячая объемная штамповка может осуществляться на штамповочных молотах, кривошипных, гидравлических и фрикционных прессах, горизонтально-ковочных машинах. Существует ГОСТ 7505-89, регламентирующий порядок конструирования штампованных поковок.

В зависимости от типа штампа, его особенностей штамповка подразделяется на штамповку в открытых (с заусенцем) и закрытых штампах и штамповку выдавливанием.

Штамповка в открытых штампах сопровождается образованием необходимого заусенца (обля). При этом масса исходной заготовки больше массы получаемой в полости штампа поковки на величину заусенца, который образуется на самой последней стадии штамповки (рисунок 1).

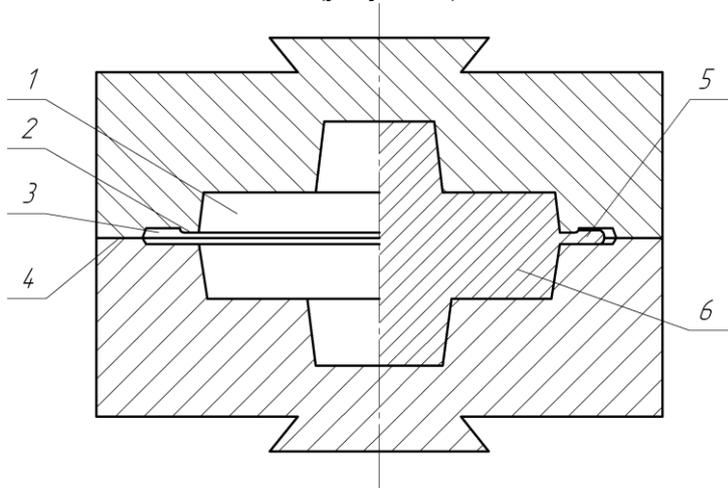


Рис. 1. Схема штамповки в открытом штампе

1 – полость (ручей); 2 – мостик; 3 – накопитель (магазин); 4 – плоскость разреза;  
5 – заусенец; 6 – поковка.

После штамповки заусенец обрезается в специальном обрезающем ручье штампа. Открытые штампы имеют следующие преимущества: не нужна точная дозировка металла исходной заготовки, можно применять обычный нагрев, можно получать

поковки сложной конфигурации, относительно большой ресурс штампа (по сравнению со штамповкой в закрытом штампе). К недостаткам способа можно отнести большой отход металла на заусенец, большие припуски на механическую обработку.

Штамповка в закрытых штампах не предусматривает образования специального заусенца. Образующийся небольшой заусенец, затекающий в компенсатор штампа, является следствием неточной дозировки исходного металла (рисунок 2).

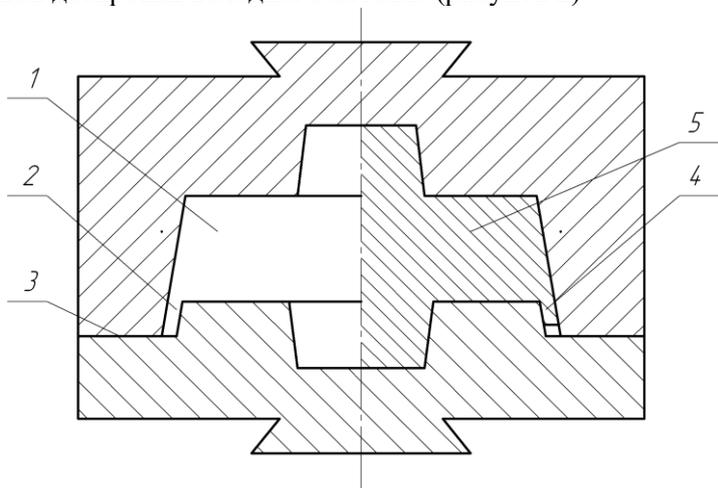


Рис. 2. Схема штамповки в закрытом штампе

1 – полость (ручей); 2 – зазор (компенсатор); 3 – плоскость разреза; 4 – заусенец;  
5 – поковка.

Необходимость точной дозировки металла сдерживает широкое промышленное использование данного метода штамповки. Однако несомненным его преимуществом является экономия металла. Именно поэтому данный способ штамповки нередко называют точной безотходной штамповкой.

Форма поковки может быть простой и сложной. Поковки простой формы даже из предварительной заготовки (проката круглого или квадратного сечений) можно получить в одной полости (ручье) штампа. Такая штамповка носит название одноручьевой. Если форма заготовки значительно отличается от конфигурации поковки, то требуется последовательно приближать конфигурацию в специальных, дополнительных полостях (ручьях)

штампа. В этом случае штамповка будет называться многоручьевой. Многоручьевая штамповка менее эффективна, поэтому для повышения производительности и снижения стоимости изготовления сложных поковок применяют предварительное фасонирование заготовки, например, на горизонтально-ковочных машинах, ковочных вальцах и т.д.

## 2. Разработка чертежа поковки

Поковки классифицируются по следующим признакам:

1) точность изготовления: I класс – повышенная; II класс – нормальная;

2) группа стали: M1 – углеродистая сталь, легированная сталь с содержанием углерода 0,45% и легирующих элементов 2%; M2 – легированная сталь, кроме стали указанной в группе M1;

3) степень сложности поковки: C1, C2, C3, C4;

4) Конфигурация поверхности разъема штампа: П – плоская; И – изогнутая.

Класс точности зависит от условий и характера производства (серийное или массовое), а также от требований к точности размеров поковок, указываемых на чертеже поковки.

Конфигурация поверхности разъема штампа определяется формой поковки, способом и условиями штамповки. Плоская поверхность разъема предпочтительнее изогнутой, так как в последнем случае возникают усилия, сдвигающие верхнюю половину штампа относительно нижней.

Степень сложности поковки представляет собой отношение массы поковки к массе фигуры, в которую вписывается данная поковка. Фигура может быть цилиндром или параллелепипедом. Например, степень сложности изображенной поковки (рисунок 3):

$$C = \frac{M_{\text{пок}}}{M_{\text{ф}}} = \frac{V_{\text{пок}}}{V_{\text{ф}}} = \frac{2 \frac{\pi d^2}{4} l + \frac{\pi D^2}{4} (L - 2l)}{\frac{\pi D^2}{4} l},$$

где  $M_{пок}$  и  $V_{пок}$  – масса и объем поковки соответственно;  $M_{пок}$  и  $V_{пок}$  – масса и объем фигуры (цилиндра), описанной вокруг поковки.

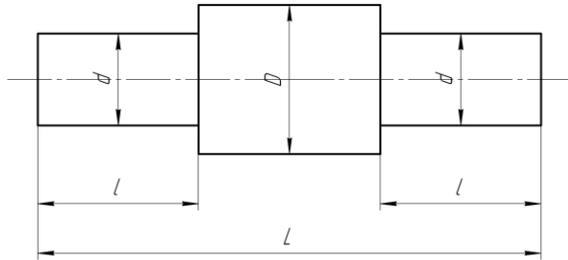


Рис. 3. Схема определения степени сложности поковки

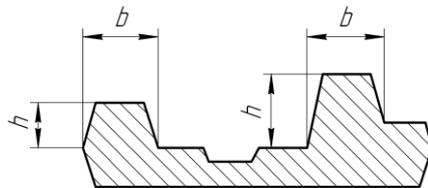


Рис. 4. Схема определения дополнительного критерия оценки сложности поковки

В зависимости от величины  $C$  поковке присваивается соответствующая степень сложности.

Для поковок, штампуемых на прессах и молотах, дополнительным критерием является размер выступов (рисунок 4).

Таблица 1:

Степени сложности поковок

Степень сложности	Первая	Вторая	Третья	Четвертая
Обозначение	$C1$	$C2$	$C3$	$C4$
$C$	0,63-1,0	0,32-0,63	0,16-0,32	<0,16
Высота выступа $h$	$\leq 0,3b$	$\leq b$	$\leq 1,5b$	$> b$

Припуски на механическую обработку поковок, назначаются в зависимости от группы стали и степени сложности поковки. В таблице 2 приведены припуски для поковки из стали М1, нормального класса точности, средней сложности ( $C1, C2$ ).

Если заготовки нагреваются в пламенных печах, то значения припусков для поковок массой до 2,5 кг увеличиваются на 0,5 мм, массой 2,5-6,0 кг на 0,8 мм, массой более 6 кг на 1,0 мм.

Таблица 2:

**Припуски на механическую обработку на сторону поковки из углеродистой и низколегированной стали (М1) нормального класса точности, средней сложности (С1, С2), мм**

Масса детали, кг	Толщина (высота), длина или ширина поковки, мм						
	До 50	50-120	120-180	180-260	260-360	360-500	500-630
0,4-0,63	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2
0,63-1,0	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3
1,0-1,6	1,9	2,0	2,1	2,3	2,4	2,5	2,6
1,6-2,5	2,1	2,2	2,3	2,5	2,6	2,7	2,8
2,5-4,0	2,3	2,4	2,5	2,7	2,8	2,9	3,0
4,0-6,3	2,5	2,6	2,7	2,9	3,0	3,1	3,2
6,3-10,0	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	3,3	3,4
10,0-16,0	2,9	3,0	3,1	3,3	3,4	3,5	3,6
16,0-25,0	3,2	3,3	3,4	3,6	3,7	3,8	3,9
25,0-40,0	3,5	3,7	3,8	3,9	4,0	4,1	4,3
40,0-63,0	3,9	4,2	4,3	4,4	4,5	4,6	4,7

Допуски на размеры штампованных поковок приведены в таблице 3. По этой же таблице можно определить величины смещения и заусенца. Принцип смещения показан на рисунке 5. Смещение определяется как

$$m = \frac{(a_2 - a_1)}{2},$$

где  $a_1$  и  $a_2$  – соответственно наименьшая и наибольшая длина (ширина), измеряемая параллельно поверхности разреза штампа.

Принцип измерения заусенцев показан на рисунке 6.

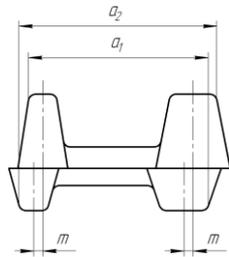


Рис. 5. Схема смещения при штамповке

Таблица 3:

**Допуски на штампованные поковки нормальной точности, мм**

Смещение, мм	Заусенец	Масса, кг	Размер, мм						
			До 50	50-120	120-180	180-260	260-360	360-500	500-630
0,4	0,6	0,4-0,63	+0,8 -0,4	+0,9 -0,5	+1,1 -0,5	+1,2 -0,6	+1,3 -0,7	+1,4 -0,8	-
0,5	0,7	0,63-1,0	+0,9 -0,5	+1,1 -0,5	+1,2 -0,6	+1,3 -0,7	+1,4 -0,8	+1,5 -0,9	+1,6 -1,0
0,5	0,8	1,0-1,6	+1,1 -0,5	+1,2 -0,6	+1,3 -0,7	+1,4 -0,8	+1,6 -0,8	+1,6 -1,0	+1,8 -1,1
0,6	0,9	1,6-2,5	+1,2 -0,6	+1,3 -0,7	+1,5 -0,7	+1,6 -0,8	+1,7 -0,9	+1,8 -1,1	+2,0 -1,2
0,7	1,0	2,5-4,0	+1,3 -0,7	+1,5 -0,7	+1,6 -0,8	+1,7 -0,9	+1,9 -1,0	+2,0 -1,2	+2,2 -1,4
0,8	1,1	4,0-6,3	+1,5 -0,7	+1,6 -0,8	+1,7 -0,9	+1,9 -1,0	+2,0 -1,2	+2,2 -1,4	+2,5 -1,5
0,9	1,2	6,3-10,0	+1,6 -0,8	+1,7 -0,9	+1,9 -1,0	+2,1 -1,1	+2,2 -1,4	+2,5 -1,5	+3,0 -1,5
1,0	1,4	10,0-16,0	+1,7 -0,9	+1,9 -1,0	+2,1 -1,1	+2,4 -1,2	+2,5 -1,2	+3,0 -1,5	+3,0 -2,0
1,1	1,6	16,0-25,0	+1,9 -1,0	+2,1 -1,1	+2,4 -1,2	+2,5 -1,5	+3,0 -1,5	+3,0 -2,0	+3,5 -2,0
1,2	1,8	25,0-40,0	+2,1 -1,1	+2,4 -1,2	+2,5 -1,5	+3,0 -1,5	+3,5 -2,0	+4,0 -2,0	+4,0 -2,0
1,4	2,0	40,0-63,0	+2,4 -1,2	+2,5 -1,5	+3,0 -1,5	+3,5 -2,0	+3,5 -2,0	+3,5 -2,0	+4,0 -2,5

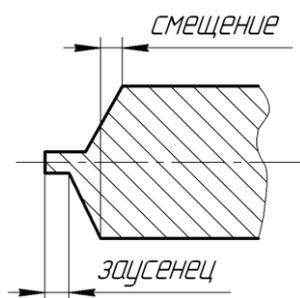


Рис. 6. Измерение величины смещения и заусенца

При конструировании штампованных поковок необходимо учитывать, что на все поверхности поковки перпендикулярные ходу инструмента назначаются штамповочные уклоны, величина которых выбирается в зависимости от типа штамповочного оборудования (таблица 4). На поковках не должно быть острых углов. Сопрягаемые поверхности должны иметь закругления, выполняемые радиусами. Величины радиусов закругления приведены в таблице 5.

Таблица 4:

**Штамповочные уклоны**

Оборудование	Величина уклона, град.	
	Внешние	Внутренние
Молоты, прессы без выталкивателей	7	10
Прессы с выталкивателями	5	7
Горизонтально-ковочные машины	5	7

Таблица 5:

**Наименьшие радиусы закруглений внешнего угла поковок**

Масса поковки, кг	Наименьшие радиусы закругления R, мм при глубине плоскости ручья штампа, мм			
	До 10	10-25	25-50	Св. 50
До 1,0	1,0	1,5	2,0	2,5
1,0-6,0	1,5	2,0	2,5	3,5
6,0-16,0	2,0	2,5	3,0	4,0
16,0-40,0	2,5	3,0	4,0	5,0
40,0-100,0	3,0	4,0	5,0	7,0

Отверстия или углубления выполняются в том случае, если их оси совпадают с направлением движения инструмента. Диаметры отверстий и углублений должны быть больше или равны высоте поковки, но не менее 30 мм. Общая величина углублений должна быть не более 0,8 их диаметра.

### 3. Выбор исходной заготовки

В качестве заготовок для штамповки применяют прокат черных и цветных металлов разных профилей: сортовой и профильный прокат, прокат периодического профиля, полосовую заготовку. Прутки длиной 2-4 метра разделяют на заготовки мерной (необходимой) длины на ножницах, в штампах, в хладноломах, плазменной резкой, резкой на пилах, электроискровой и анодно-механической резкой и т.д.

Для определения массы исходной заготовки необходимо рассчитать ее объем. При штамповке вдоль оси (в торец) объем исходной заготовки определяется как:

$$V_{заг} = k(V_{пок} + V_{отх}),$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий угар металла,  $k = 1,01$ ;  $V_{пок}$  – объем холодной поковки, определяемый по чертежу (по номинальным размерам);  $V_{отх}$  – объем отходов,  $V_{отх} = V_{пер} + V_3$ ;  $V_{пер}$  – объем перемычки (если поковка с отверстием), вычисляемый по чертежу поковки;  $V_3$  – объем заусенца,  $V_3 = \psi S_k l_{ц}$ ;  $\psi$  – коэффициент, учитывающий степень заполнения накопителя,  $\psi = 0,3$  для поковок простой формы,  $\psi = 0,5$  для форм средней сложности,  $\psi = 0,7$  для поковок сложной формы;  $S_k$  – площадь сечения накопителя;  $l_{ц}$  – длина центров тяжести поперечных сечений заусенца. Ориентировочно объем заусенца можно принять равным 1,5-3,0% от объема холодной поковки.

При штамповке поперек оси, т.е. для длинноосных в плане поковок объем отходов рассчитывается несколько иначе:

$$V_{отх} = V_3 + V_{кл} + V_{с.н.} + V_{пер},$$

где  $V_{кл}$  – объем клещевого конца,  $V_{кл} = \pi D_0^3 / 16$ ;  $D_0$  – диаметр заготовки (прутка);  $V_{с.л.}$  – объем соединительного напуска (если штампуются одновременно более одной поковки).

После определения массы заготовки находят ее размеры. При штамповке в торец необходимо, чтобы длина заготовки не превышала 2,5 ее диаметра. В противном случае может произойти искривление продольной оси.

#### **4. Особенности нагрева при штамповке**

Для нагрева заготовок под штамповку применяют следующие нагревательные устройства: камерные печи, характеризующиеся постоянной температурой в рабочей зоне (щелевые, очковые, с закрывающимися окнами), полуметодические и методические печи с толкателями, отличающиеся определенной неравномерностью распределения тепла в рабочей зоне, карусельные печи с вращающимся подом, печи скоростного нагрева (с увеличенным тепловым напором), электронагревательные устройства контактного и индукционного нагрева.

В связи с тем, что штампованные поковки отличаются незначительными припусками на механическую обработку и относятся к так называемым точным заготовкам, для нагрева в штамповочном производстве используются малоокислительные и безокислительные способы нагрева: в расплавах солей; в среде защитных газов (аргон, смесь технического азота и природного газа); в парах лития; в газовых печах (с избытком газа) и нагрев заготовок со стеклянными обмазками.

В отличие от двухстадийного нагрева, применяемого при свободной ковке крупных поковок в штамповочном производстве широко практикуется одностадийный нагрев с максимально допустимой скоростью, так как размеры сечений нагреваемых заготовок относительно невелики (до 200 мм).

Ориентировочно время нагрева кованных и катаных заготовок из углеродистой конструкционной стали при одиночном расположении в печи можно определить по таблице 6.

## 5. Технологические операции

Технологические операции штамповки предназначены для приближения исходной заготовки к форме и размерам поковки. Каждая технологическая операция выполняется в соответствующем ручье (полости) штампа. Наименование операции и соответствующего ей ручья одинаковы.

Все операции делятся на заготовительные и штамповочные. К заготовительным операциям относятся пережим, подкатка, протяжка, формовка, гибка, осадка, отрубка, к штамповочным операциям – предварительная (черновая) и окончательная (чистовая) штамповка.

Пережим служит для уширения заготовки и незначительного перераспределения металла вдоль оси. Операция выполняется в пережимном ручье штампа нанесением одного-двух ударов без кантовки заготовки вокруг продольной оси.

Подкатка применяется для увеличения поперечных сечений заготовки в одних частях за счет уменьшения в других и перераспределения объемов металла вдоль оси заготовки. Операция выполняется в подкатном ручье штампа нанесением двух-четырех ударов с кантовкой заготовки после каждого удара на  $90^0$ .

Протяжка предназначена для увеличения длины заготовки за счет уменьшения площади ее поперечного сечения. Операция выполняется в протяжном ручье штампа нанесением ряда последовательных ударов, сопровождающихся кантовкой заготовки вокруг оси и ее перемещением вдоль оси.

Формовка служит для перераспределения металла заготовки в соответствии с формой поковки в плане. Операция выполняется в формовочном ручье штампа нанесением одного удара.

Гибка применяется для изгиба заготовки в соответствии с формой поковки в плане. Операция выполняется в гибочном ручье штампа нанесением одного-двух ударов без кантовки заготовки вокруг оси.

Осадка предназначена для увеличения размеров заготовки в плане за счет уменьшения ее высоты. Операция выполняется на осадочных площадках, имеющих в штампах, нанесением нескольких ударов до достижения требуемой высоты.

Таблица 6:

**Время нагрева кованых и катанных заготовок (М1) при одиночном расположении в печи, мин**

Диаметр или сторона квадрата, мм	Температура рабочего пространства печи, °С					
	1200		1300		1400	
	Температура нагрева, °С					
	1100	1150	1200	1250	1200	1250
10	2,7/3,3	3,0/3,5	2,0/2,5	2,0/3,0	1,0/1,5	1,0/1,5
20	4,5/5,5	6,0/7,5	3,0/4,5	4,0/5,0	1,5/2,0	1,5/2,0
30	7,0/9,0	8,5/11,0	5,0/6,0	6,0/8,0	2,5/3,0	2,5/3,0
40	10,0/13,0	11,0/14,5	6,5/8,0	8,0/10,5	3,5/4,5	3,5/4,5
50	12,5/16,0	15,0/19,5	8,0/10,5	10,5/13,5	4,5/5,5	4,5/5,5
60	15,0/19,5	18,0/23,0	10,0/13,0	12,5/16,0	5,0/6,5	5,5/7,0
70	17,5/22,5	21,0/27,0	12,0/15,0	14,5/19,0	6,0/7,5	6,5/8,0
80	20,5/26,5	24,5/31,5	14,0/17,5	16,5/22,0	7,0/9,0	7,5/9,5
90	23,5/30,5	27,5/35,5	16,0/20,0	19,0/24,5	8,0/10,5	8,5/11,0
100	26,0/33,5	31,0/40,0	18,0/23,0	21,0/27,5	9,0/11,5	10,5/13,0
110	29,5/38,0	35,0/45,5	20,0/26,0	23,5/30,5	10,5/13,5	11,5/15,0
120	32,5/41,5	38,5/50,0	22,5/29,5	26,0/33,5	12,0/15,0	13,0/17,0
130	36,0/46,5	42,5/55,0	25,0/32,5	29,0/38,0	13,0/16,5	14,0/18,0
140	39,0/50,5	46,0/59,5	27,5/36,0	32,0/41,5	14,0/18,0	15,5/19,5
150	42,5/55,0	50,0/65,0	30,0/39,0	35,0/45,5	15,5/20,0	17,0/22,0
160	46,0/59,5	54,5/71,0	33,0/43,0	38,5/50,5	16,5/21,5	18,0/23,5
170	50,0/64,5	58,5/76,0	36,0/47,0	42,0/54,5	18,0/23,0	19,5/25,0
180	54,0/70,0	63,0/81,0	39,5/51,5	46,0/59,5	19,5/25,0	21,0/27,0
190	58,0/75,0	68,0/88,0	42,5/55,5	49,5/64,0	21,0/27,0	23,0/29,5
200	62,5/81,0	72,5/94,0	46,0/60,0	53,5/69,0	22,5/29,0	24,5/32,0

В числителе даны значения для заготовок круглого сечения, в знаменателе – квадратного.

Предварительная штамповка производится в предварительном ручье штампа; окончательная – в окончательном ручье. Предварительный ручей отличается от окончательного большими радиусами закругления, штамповочными уклонами и отсутствием заусенечной канавки. Штамповка в штамповочных ручьях осуществляется нанесением нескольких ударов максимально возможной силы.