

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»**

**Кафедра автоматизированного оборудования  
машиностроительного производства**

## **ТЕХНОЛОГИЯ КОВКИ И ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ**

### **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**к выполнению практических работ  
для студентов направления подготовки бакалавров  
15.03.05 «Конструкторско-технологическое  
обеспечение машиностроительных производств»  
(профиль «Конструкторско-технологическое обеспечение  
кузнечно-штамповочного производства»)  
очной формы обучения**

**Воронеж 2022**

УДК 532:533(075.8)  
ББК 22.253я7

**Составители:**

канд. техн. наук, доц. А. Ю. Бойко,  
канд. техн. наук, доц. А. М. Гольцев,  
канд. техн. наук, доц. М. И. Попова

**Технологияковки и объемной штамповки:** методические указания к выполнению практических работ для студентов направления подготовки бакалавров 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» (профиль «Конструкторско-технологическое обеспечение кузнечно-штамповочного производства») очной формы обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: А. Ю. Бойко, А. М. Гольцев, М. И. Попова. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2022. 31 с.

Методические указания содержат темы практических работ, их цели и задачи, библиографический список необходимой литературы. В теоретических материалах представлены методики выполнения необходимых расчетов, требования к заполнению таблиц с измерениями, расчетами, силовыми параметрами, построению графиков зависимостей, полученных при проведении экспериментов.

Предназначены для студентов направления 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» (профиль «Конструкторско-технологическое обеспечение кузнечно-штамповочного производства»).

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле МУ\_ПР\_ТКиОШ.pdf.

Ил. 22. Табл. 7. Библиогр.: 8 назв.

**УДК 532:533(075.8)  
ББК 22.253я7**

**Рецензент** - А. В. Демидов, канд. техн. наук, доцент кафедры автоматизированного оборудования машиностроительного производства ВГТУ

*Издается по решению редакционно-издательского совета  
Воронежского государственного технического университета*

## **Практическая работа № 1**

### **Определение искажения формы при отрезке заготовок сдвигом**

Целью настоящей работы является определение усилия резки круглого прутка во втулочном штампе, определение соотношения между пределом прочности и наибольшим удельным сопротивлением срезу разрезаемого материала, определение размеров геометрических искажений отрезанных заготовок.

Наиболее распространённым методом получения заготовок из сортового проката является резка сдвигом на ножницах или на универсальных прессах в штампах, обеспечивающая безотходное разделение проката, высокую производительность и большую стойкость сменного инструмента.

Существует несколько схем резки сдвигом: свободная, во втулках и ряд других /6/.

#### **СВОБОДНАЯ РЕЗКА**

В исходном положении подвижный нож 2 (рис. 1) находится выше прутка, так что для отрезки очередной заготовки прутки 5 свободно подаются над неподвижным ножом 4 до упора 3, фиксирующего заданную длину заготовки. Для удержания прутка от опрокидывания на некотором расстоянии от ножей устанавливается прижим I. Рабочие полости ножей соответствуют профилю и размерам сечения прутка. При внедрении в прутки режущих кромок ножей образуются утяжки и зона врезания. Рабочие поверхности ножей стремятся опрокинуть прутки. Со стороны неподвижного ножа этому противодействует прижим, а со стороны подвижного ножа противодействия опрокидыванию нет, поэтому отрезаемая часть отгибается, образуется скол торца и вмятина от ножа. Когда усилие резания достигает максимума, в местах контакта с режущими кромками ножей возникают скалывающиеся трещины, которые, развигаясь во встречном направлении, сливаются. Заготовка отделяется от прутка.

#### **РЕЗКА ВО ВТУЛКАХ**

В отличие от свободной резки (рис. 1) резка во втулках (рис. 2) характерна симметричными относительно плоскости сдвига условиями резки. Здесь прутки и отрезаемая заготовка не опрокидываются, благодаря замкнутым рабочим поверхностям ножей-втулок. Это значительно улучшает качество резки: уменьшается скол торца, практически исключаются торцевые трещины при резке в холодном состоянии и т.д. Следовательно, с точки зрения качества отрезаемых заготовок резка во втулках имеет большие преимущества перед свободной резкой.

Однако область применения резки во втулках ограничена главным образом калиброванным прокатом. Это объясняется тем, что горячекатаный прокат имеет большие отклонения размеров сечения от номинала, поэтому рабочие отверстия во втулках должны быть значительно больше диаметра прутка. Это приводит к опрокидыванию прутка и отрезаемой его части, поэтому качество заготовок остаётся практически таким же, как и при свободной резке.

Искажения торцов заготовок характерны для всех схем резки сдвигом, разница заключается лишь в величинах искажений и в степени подверженности им различных материалов. На рис. 3 схематично показаны искажения торцов заготовок, отрезаемых сдвигом.

Технологические параметры резки во втулках как силовые, так и геометрические практически не отличаются от параметров свободной резки сдвигом.

Усилие резки определяется по формуле:

$$P = \tau_{\max} \cdot F,$$

где:  $\tau_{\max}$  - наибольшее удельное сопротивление срезу;

$F = \pi \cdot d^2 / 4$  - площадь поперечного сечения прутка;

$d$  - диаметр разрезаемого прутка

$$\tau_{\max} = k \sigma_{\sigma},$$

где:  $\sigma_{\sigma}$  - предел прочности разрезаемого материала при температуре резки;

$k$  – коэффициент, зависящий от физических свойств разрезаемого материала ( $k = 0,5 - 0,75$ ).

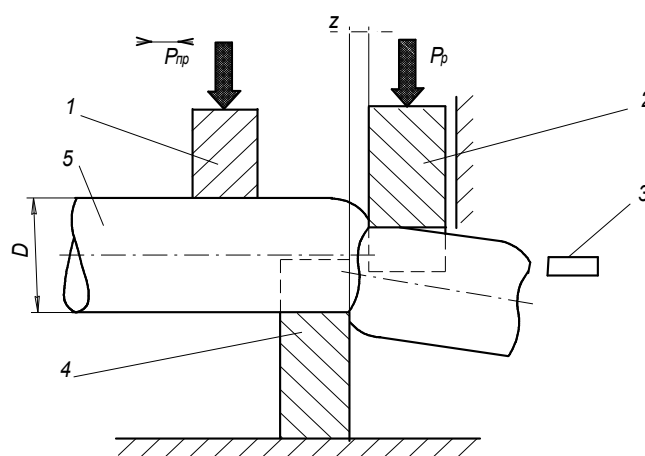


Рис. 1. Схема свободной резки сдвигом  
(момент скола)

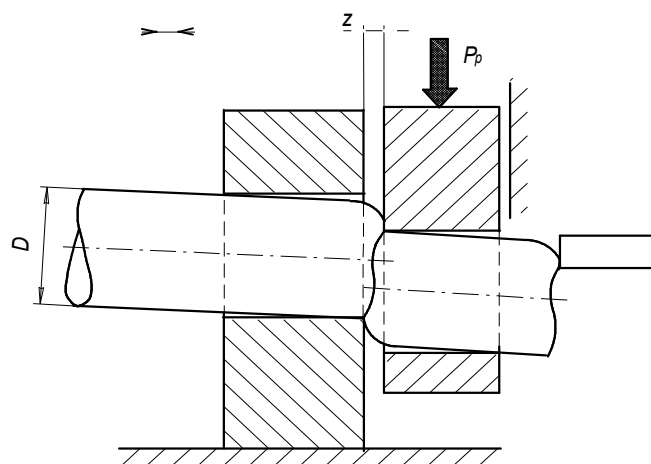


Рис. 2. Схема резки во втулках

Работа выполняется на универсальной испытательной машине с использованием лабораторного штампа. В качестве исходных заготовок применяются прутки  $d=10$  мм из различных материалов.

Необходимо рассчитать усилие резки круглого проката. Предел прочности  $\sigma_s$  определяется по справочной литературе. Соотношение между пределом прочности и наибольшим удельным сопротивлением сдвигу  $\tau_{\max}$  принимается в виде:  $\tau_{\max} = 0,75 \sigma_s$

Производятся резка с записью диаграмм "усилие - путь" на экспериментальном штампе сначала по схеме свободной резки, а затем по схеме резки во втулках. Диаграмма "усилие - путь" записывается на барабане испытательной машины или с помощью тензометрической аппаратуры (по указанию преподавателя) с использованием мессдозы, ходографа, осциллографа и тензостанции.

Резке подвергаются прутки  $d=10$  мм из различных материалов (3...4 марки на группу).

По результатам экспериментов строятся графики зависимостей усилия резки от величины внедрения ножа в прутки.

Определяются величины  $\tau_{\max}$  для каждого из разрезаемых материалов и рассчитывается коэффициент  $k$ .

Производятся замеры искажений геометрической формы отрезанных заготовок согласно рис. 3. Данные измерений записывают в табл. 1. Делается эскиз отрезанной заготовки.

По результатам работы делаются выводы, касающиеся силовых параметров процесса резки сдвигом и качества отрезанных заготовок.

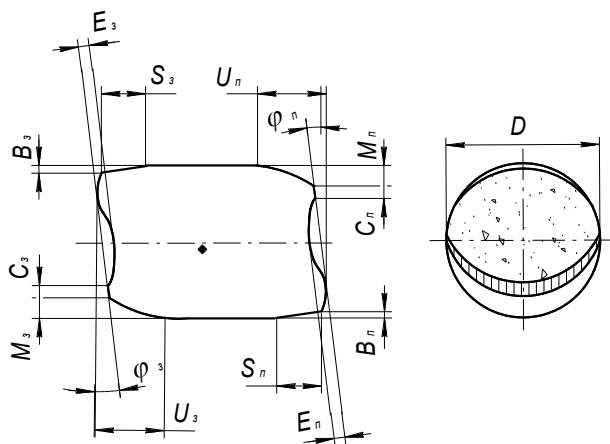


Рис. 3. Искажение заготовки при резке сдвигом

$\varphi_3, \varphi_n$  - углы скоса торцов;

$E_3, E_n$  - неплоскостность торцов;

$B_3, S_3, B_n, S_n$  - вмятина;

$U_3, M_3, U_n, M_n$  - утяжка.

Таблица 1

Сравнение величин искажений заготовок при свободной резке сдвигом и резке во втулках

| Способ резки            | Вид торца       | Величина искажений | Марка материала |   |   |   |
|-------------------------|-----------------|--------------------|-----------------|---|---|---|
|                         |                 |                    | 1               | 2 | 3 | 4 |
| Свободная резка сдвигом | Торец прутка    | $\varphi_n$        |                 |   |   |   |
|                         |                 | $F_n$              |                 |   |   |   |
|                         |                 | $B_n$              |                 |   |   |   |
|                         |                 | $S_n$              |                 |   |   |   |
|                         |                 | $U_n$              |                 |   |   |   |
|                         |                 | $M_n$              |                 |   |   |   |
|                         | Торец заготовки | $\varphi_3$        |                 |   |   |   |
|                         |                 | $F_3$              |                 |   |   |   |
|                         |                 | $B_3$              |                 |   |   |   |
|                         |                 | $S_3$              |                 |   |   |   |
|                         |                 | $U_3$              |                 |   |   |   |
|                         |                 | $M_3$              |                 |   |   |   |
| Резка во втулках        | Торец прутка    | $\varphi_n$        |                 |   |   |   |
|                         |                 | $F_n$              |                 |   |   |   |
|                         |                 | $B_n$              |                 |   |   |   |
|                         |                 | $S_n$              |                 |   |   |   |
|                         |                 | $U_n$              |                 |   |   |   |
|                         |                 | $M_n$              |                 |   |   |   |
|                         | Торец заготовки | $\varphi_3$        |                 |   |   |   |
|                         |                 | $F_3$              |                 |   |   |   |
|                         |                 | $B_3$              |                 |   |   |   |
|                         |                 | $S_3$              |                 |   |   |   |
|                         |                 | $U_3$              |                 |   |   |   |
|                         |                 | $M_3$              |                 |   |   |   |

## Практическая работа № 2

### Расчет технологических параметров протяжки

Целью работы является: исследование зависимости относительного удлинения, уковки, относительного уширения и коэффициента интенсивности уширения от величины относительного обжатия и величины относительной подачи  $l' = l_0 / B_0$  при первом обжиге.

Операция протяжки производится для увеличения длины заготовки, уменьшения площади её поперечного сечения. Процесс протяжки заключается в следующем: часть исходной заготовки помещается на нижнем бойке (длина этой части  $l_0$  называется подачей) и по ней наносится удар или производится нажатие верхним бойком. При обжиге (рис. 4а) происходит уменьшение высоты поперечного сечения на величину  $\Delta H_1 = H_0 - H_1$ , увеличивается длина заготовки на  $\Delta L_1 = L_1 - L_0$  и увеличивается ее ширина на  $B = B_1 - B_0$ , где  $H_0, B_0, L_0$  - высота, ширина и длина заготовки до обжима;  $H_1, B_1, L_1$  - те же параметры после первого обжима. Если заготовка длинная, то первый обжим повторяется на других участках длины заготовки.

После производства первого обжима на всей или части длины заготовки она кантуется, т.е. поворачивается относительно продольной оси на  $90^\circ$  и производится второй обжим, как правило, с той же подачей, что и первый обжим. В результате второго обжима, как и в результате первого, происходит уменьшение высоты сечения на  $\Delta H_2 = B_1 - H_2$  увеличение ширины сечения на  $\Delta B_2 = B_2 - H_1$  и увеличение длины на  $\Delta L_2 = L_2 - L_1$ . В соответствии с законом постоянства объёма при каждом обжиге поперечное сечение заготовки уменьшается:  $B_0 \cdot H_0 > B_1 \cdot H_1 > B_2 \cdot H_2$  и т.д.

Так как целью протяжки является увеличение длины и уменьшение площади поперечного сечения заготовки, то производительность ее тем выше, чем значительно удлиняется заготовка при каждом обжиге.

Величина поперечной (уширение) и продольной (удлинение) деформации зависит от многих факторов. К ним относятся форма и состояние рабочей поверхности бойков, смазка, количество окалины, величина обжатия и подачи, температура заготовки т.д.

При прочих равных условиях удлинение и уширение зависят от величины обжатия и подачи. Величина обжатия при протяжке ограничивается опасностью потери устойчивости сечения заготовки при обжиге после кантовки. Поэтому необходимо чтобы после каждого обжима ширина сечения обжатой части заготовки не превышала 2,5 толщин ( $B_1 \leq 2,5H_1$ ). Для увеличения производительности протяжки величину подачи следовало бы принимать максимально возможной, не допуская только вытекания металла за пределы бойка. Однако с увеличением подачи растёт уширение и уменьшается удлинение заготовки.

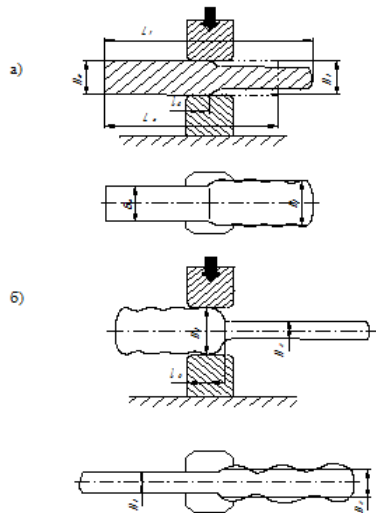


Рис. 4. Протяжка

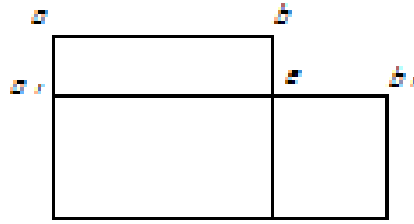


Рис. 5. Геометрическое представление коэффициента интенсивности уширения

Проведённые экспериментальные работы показывают, что наименьшее количество обжатий и наибольшая производительность соответствуют относительным подачам  $l' = l/B$  в пределах 1-2. Применение подачи больше максимальной увеличивает неравномерность деформации и расход энергии, а также требует оборудование повышенной мощности.

Наряду с показателями деформации заготовки:  $\varepsilon_H = (H_0 - H_1)/H_0$  - относительное обжатие,  $\varepsilon_B = (B_1 - B_0)/B_0$  - относительное уширение,  $\varepsilon_L = (L_1 - L_0)/L_0$  - относительное удлинение, при проектировании операций протяжки используются также такие показатели, как уковка при обжиме  $y = L_1/L_0 = B_0 H_0 / B_1 H_1$  и коэффициент интенсивности уширения  $f = H_1(B_1 - B_0) / B_0(H_0 - H_1)$ , который геометрически представляет собой отношение площадей  $eb'c's$  и  $abea'$  (рис. 5). Связь между уковкой, относительным обжатием и коэффициентом интенсивности уширения устанавливается уравнением:

$$y = 1 / (1 - \varepsilon_H (1 - f)) .$$

Работа проводится на кривошипном прессе усилием 400 кН. Измерения исходных и деформированных заготовок проводится с помощью штангенциркуля.

Ударный инструмент - плоские бойки, установленные в пакете штампа. Заготовки при деформации удерживаются соответствующим приспособлением. Заготовки свинцовые, размерами 15×15×120 мм.

Необходимо произвести маркировку заготовок, обозначить номера на одном из торцев, измерить с помощью штангенциркуля размеры поперечных сечений с точностью до 0,1 мм. На двух противоположных гранях заготовок нанести чертилкой риски, перпендикулярные оси заготовки в соответствии с величинами подач, указанными в табл. 2 согласно схеме на рис. 6.

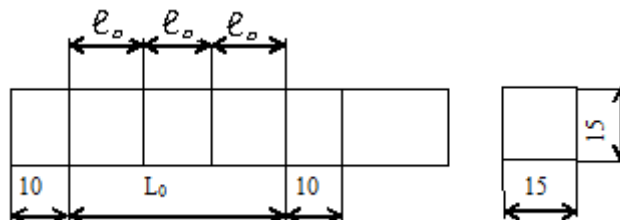


Рис. 6. Схема нанесения рисок

Таблица 2

## Разметка заготовок и условия протяжки

| № вар. | № заготовки | $l_0$ | $L_0$ | $H_1$ | $\Delta H$ |
|--------|-------------|-------|-------|-------|------------|
| № 1    | 1           | 8     | 24    | 13    | 2          |
|        | 2           | 8     | 24    | 11    | 4          |
|        | 3           | 8     | 24    | 9     | 6          |
|        | 4           | 8     | 24    | 7     | 8          |
|        | 5           | 12    | 36    | 11    | 4          |
|        | 6           | 16    | 48    | 11    | 4          |
|        | 7           | 22    | 66    | 11    | 4          |
| № 2    | 1           | 10    | 30    | 13    | 2          |
|        | 2           | 10    | 30    | 11    | 4          |
|        | 3           | 10    | 30    | 9     | 6          |
|        | 4           | 10    | 30    | 7     | 8          |
|        | 5           | 14    | 42    | 9     | 6          |
|        | 6           | 18    | 54    | 9     | 6          |
|        | 7           | 24    | 72    | 9     | 6          |
| №3     | 1           | 6     | 18    | 13    | 2          |
|        | 2           | 6     | 18    | 11    | 4          |
|        | 3           | 6     | 18    | 9     | 6          |
|        | 4           | 6     | 18    | 7     | 8          |
|        | 5           | 12    | 36    | 7     | 6          |
|        | 6           | 16    | 42    | 7     | 8          |
|        | 7           | 24    | 72    | 7     | 8          |
| № 4    | 1           | 12    | 36    | 13    | 2          |
|        | 2           | 12    | 36    | 11    | 4          |
|        | 3           | 12    | 36    | 9     | 6          |
|        | 4           | 12    | 36    | 7     | 8          |
|        | 5           | 8     | 24    | 11    | 4          |
|        | 6           | 24    | 72    | 11    | 4          |
|        | 7           | 30    | 90    | 11    | 4          |

Механизмом регулировки высоты рабочего пространства пресса установить расстояние между бойками, равное толщине образца  $H_1$  после обжима.

Образец укрепить в приспособлении для его удержания при обжиме так, чтобы риска на образце, обозначающая границу зоны деформации, совпадала с плоскостью упора приспособления в боёк, и произвести обжимы. Операции, указанные в п.п. 3 и 4 произвести при работе со всеми образцами, произведя обжимы с подачами и обжатиями, указанными в одном из вариантов табл.2.

После обжимов измерить длину рабочих частей заготовок, имевших до обжима длину  $l_0$  (см. схему на рис. 6) и результаты измерений внести в табл.3.

Используя указанные в разделе I уравнения, подсчитать  $V_{заг.}, B_1, \varepsilon_B, \varepsilon_L, \varepsilon_H, y, f, l' = l_0 / B_0$  для всех заготовок и результаты внести в табл.3.

Построить графики зависимостей  $\varepsilon_B, \varepsilon_L, y, f$  от величин  $l' = l_0 / B_0$  и  $\varepsilon_H$ , используя системы координат, приведенные на рис. 7.

Произвести анализ полученных зависимостей и объяснить причины различного характера течения металла в исследованных условиях деформации.

Таблица 3

Результаты измерений и расчетов

| № образца | $L_1$ | $V=B_0 \cdot H_0 \cdot L_0$ | $B_1 = \frac{g}{H_1 \cdot L_1}$ | $\varepsilon_H$ | $\varepsilon_b$ | $\varepsilon_L$ | $y$ | $f$ |
|-----------|-------|-----------------------------|---------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----|-----|
| 1         |       |                             |                                 |                 |                 |                 |     |     |
| 2         |       |                             |                                 |                 |                 |                 |     |     |
| 3         |       |                             |                                 |                 |                 |                 |     |     |
| 4         |       |                             |                                 |                 |                 |                 |     |     |
| 5         |       |                             |                                 |                 |                 |                 |     |     |
| 6         |       |                             |                                 |                 |                 |                 |     |     |

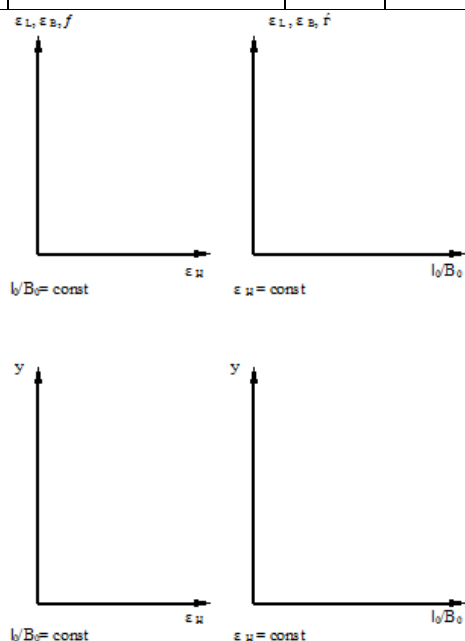


Рис. 7. Системы координат для построения графиков зависимостей

### Практическая работа № 3

#### Исследование процесса открытой штамповки круглой в плане поковки

Целью настоящей работы является изучение течения металла на различных этапах заполнения ручья, определение роли заусенечной канавки при штамповке.

Открытая штамповка производится в штампах с горизонтальным разъемом. Заполнение верхней и нижней полостей штампа происходят с вытеканием некоторой части металла в пространство между обеими частями штампа. Следовательно, объем заготовки превышает объем поковки, а конструкция рабочей полости штампа (ручья) предусматривает возможность вытеснения части металла за её пределы.

Вытесненный из ручья металл при штамповке образует заусенец (облой), подлежащий затем обрезке. Назначение заусенца заключается в том, что он создаёт сопротивление вытеканию металла из ручья и этим способствует заполнению металлом труднозаполнимых участков ручья. Полость штампа, в которую вытесняется излишек металла, называется заусенечной (облойной) канавкой (рис. 8).

Процесс открытой объемной штамповки протекает в три этапа. Первый этап - свободная осадка заготовки. Он заканчивается в момент, когда боковая поверхность заготовки соприкасается с боковыми стенками ручья (рис. 10 а). Второй этап характеризуется тем, что металл заполняет ручей с одновременным вытеканием металла в заусенечную канавку (рис. 10 б). Образующийся при этом заусенец создаёт сопротивление вытеканию металла в разъем большее, чем сопротивление металла заполнению труднозаполнимых участков ручья. В конце этого этапа ручей заполнен металлом полностью, но получившаяся поковка имеет высоту несколько большую, чем заданная чертежом.

В течение третьего этапа (рис. 10 в) уменьшается высота поковки, избыток металла вытесняется в заусенечную канавку.

Деформирующее усилие  $P$  представляется суммой усилия деформации металла в ручье и усилия, необходимого для деформации заусенца

$$P = P_n + P_3,$$

где  $P_n$  - усилие деформации металла в ручье;

$P_3$  - усилие деформации заусенца.

Для штамповки круглых в плане поковок

$$P = \sigma_s \left[ (1,5 + b/h_3 + 0,08D/h_3) F_n + (1,5 + 0,5b/h_3) F_3 \right],$$

где  $D$  - диаметр ручья (мм);  $b, h_3$  - ширина и высота заусенечной канавки (мм);

$F_n, F_3$  - площади горизонтальных проекций поковки и заусенца (мм<sup>2</sup>);  $\sigma_s$  - предел текучести металла (кгс/мм<sup>2</sup>).

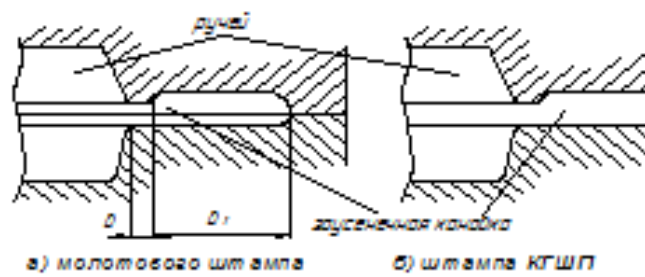


Рис. 8. Заусенечная (облойная) канавка

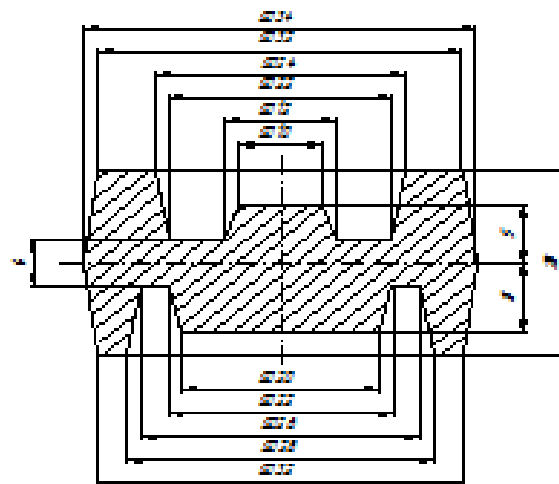


Рис. 9. Расчетная схема

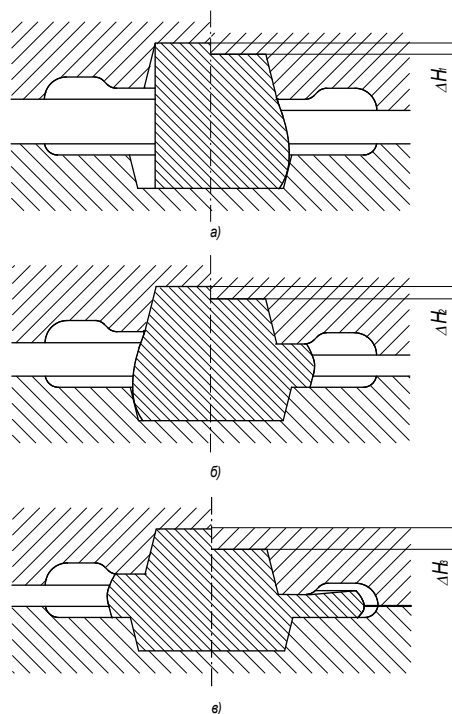


Рис. 10. Процесс открытой объемной штамповки

На основании опыта штамповки установлены зависимости для определения размеров заусенечной канавки.

Для поковок любой формы в плане:  $h_3 = 0,015\sqrt{F}$ .

Для поковок круглых в плане:  $h_3 = 0,013D_{II}$ .

Остальные размеры заусенечной канавки выбираются из табл. 4 в зависимости от величины  $h_3$ :

Таблица 4

Размеры заусенечной канавки

| $h_3$ ,<br>мм | $h_1$ ,<br>мм | № 1<br>при штамповке<br>осаживанием |                      |                                    | № 2<br>при штамповке вы-<br>давливанием поков-<br>ок несложной фор-<br>мы |                      |                                    | № 3<br>при штамповке вы-<br>давливанием поков-<br>ок с глубокими по-<br>лостями |                      |                                    |
|---------------|---------------|-------------------------------------|----------------------|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|----------------------|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------------------------------------|
|               |               | b<br>мм                             | b <sub>1</sub><br>мм | S <sub>зк</sub><br>см <sup>2</sup> | B<br>мм                                                                   | b <sub>1</sub><br>мм | S <sub>зк</sub><br>см <sup>2</sup> | b<br>мм                                                                         | b <sub>1</sub><br>мм | S <sub>зк</sub><br>см <sup>2</sup> |
| 0,6           | 3             | 6                                   | 18                   | 0,52                               | 6                                                                         | 20                   | 0,61                               | 8                                                                               | 22                   | 0,74                               |
| 0,8           | 3             | 6                                   | 20                   | 0,69                               | 7                                                                         | 22                   | 0,77                               | 9                                                                               | 25                   | 0,88                               |
| 1             | 3             | 7                                   | 22                   | 0,80                               | 8                                                                         | 25                   | 0,91                               | 10                                                                              | 28                   | 1,04                               |
| 1,6           | 3,5           | 8                                   | 22                   | 1,02                               | 9                                                                         | 25                   | 1,13                               | 11                                                                              | 30                   | 1,55                               |
| 2             | 4             | 9                                   | 25                   | 1,36                               | 10                                                                        | 28                   | 1,53                               | 12                                                                              | 32                   | 1,77                               |
| 3             | 5             | 10                                  | 28                   | 2,01                               | 12                                                                        | 32                   | 2,33                               | 14                                                                              | 38                   | 2,78                               |
| 4             | 6             | 11                                  | 30                   | 2,68                               | 14                                                                        | 38                   | 3,44                               | 16                                                                              | 42                   | 3,85                               |
| 5             | 7             | 12                                  | 32                   | 3,43                               | 15                                                                        | 40                   | 4,34                               | 18                                                                              | 46                   | 5,06                               |

Объём заусенца определяется по площади заусенечной канавки и периметру поковки в плоскости разъёма штампов  $P_n$ :

$$V_3 = \xi S_{зк} \cdot P_n,$$

где  $\xi$  - коэффициент, учитывающий степень заполнения заусенечной канавки.

Для круглых в плане поковок малой массы (меньше 1кг) значения коэффициента  $\xi$  следующие:

| Номер канавки: | №1  | №2  | №3  |
|----------------|-----|-----|-----|
| $\xi$          | 0,3 | 0,4 | 0,5 |

При выборе заготовки для штамповки расчёт ее размеров производится в следующем порядке. Объём заготовки  $V_{32}$  определяется как сумма объёмов поковки  $V_{II}$  и заусенца  $V_3$  с учетом угара  $\delta, \%$ :

$$V_{32} = (V_{II} + V_3) \cdot (100 + \delta) / 100.$$

Расчётный диаметр  $D'_{32}$  определяется по объёму  $V_{32}$  с учётом допускаемого отношения  $m$  длины заготовки  $L_{32}$  к диаметру  $D_{32}$

$$D_{32} = 1,08 \cdot \sqrt[3]{V_{32} / m},$$

где  $m = L_{32} / D_{32} = 1,5 \div 2,8$ .

При  $m < 1,5$  значительно возрастают искажения заготовки при резке на ножницах; при  $m > 2,8$  возможна потеря устойчивости при штамповке в торец.

По расчётному диаметру  $D'_{32}$  подбирается близкий к нему стандартный диаметр проката и принимается в качестве исходного диаметра заготовки  $D_{32}$ . По величине  $D_{32}$  и  $V_{32}$  определяется  $L_{32}$ .

В зависимости от соотношений вертикальных размеров отдельных элементов поковки штамповка её производится либо в два перехода (осаживание и чистовая штамповка), либо в один переход - непосредственно чистовая штамповка.

Предварительным осаживанием с поверхности заготовки оббивается окалина, облегчается заполнение ручья при чистовой штамповке.

В качестве исходных заготовок применяются свинцовые образцы  $d = 20$  мм.

Для представленной на рис. 9 поковки необходимо рассчитать:

- объём поковки  $V_{II}$ ;
- размеры заусенечной канавки;
- объём нормального заусенца  $V_3$ ;
- объём заготовки в случае штамповки без заусенца;
- то же в случае штамповки с нормальным заусенцем;
- длина заготовки для штамповки без заусенца;

з) то же для штамповки с заусенцем.

Необходимо проверить соответствие фактических отношений  $m = L_{32} / D_{32}$  рекомендуемым ( $m=1,5 \div 2,8$ ), рассчитать необходимое усилие прессы.

Производится штамповка заготовок, объём которых равен объёму поковки, т.е. проверяется возможность штамповки без заусенца. Для этого в штампе (рис. 11) устанавливается наружное кольцо, равное по высоте половине поковки (клеймо 0,0). Верхняя ручьевая вставка выполнена с постоянными размерами ручья, в точности соответствующими размерам половины поковки. Сначала производится штамповка недеформированной заготовки (образец 1), затем заготовки, предварительно осажённой плоскими плитами до диаметра 30 мм (образец 2). Штамповка производится прерывисто, с ходом верхней половины штампа  $\Delta H$  при каждой деформации 2-3 мм. После каждой частной деформации наблюдается характер течения металла и в таблицу 5 заносится величина усилия штамповки.

По результатам эксперимента сделать вывод о возможности штамповки в открытом штампе, без образования заусенца. Обратить внимание на характер течения металла при штамповке без предварительной осадки и при штамповке с предварительной осадкой.

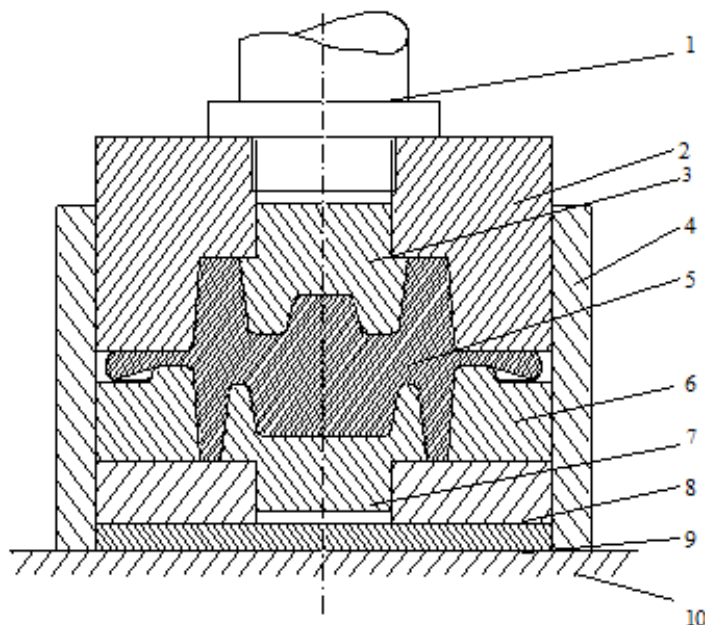


Рис. 11. Штамп для штамповки шестерни:

1-хвостовик; 2-верхняя ручьевая вставка; 3- верхнее внутреннее кольцо; 4-корпус; 5-поковка; 6-нижнее внутреннее кольцо; 7- нижняя ручьевая вставка; 8- наружное кольцо; 9-подкладная шайба; 10-траверса машины.

Производится штамповка поволоков из заготовок, рассчитанных для штамповки с заусенцем с предварительной осадкой до наружного диаметра 30 мм. (образец №3) и без предварительной осадки (образец №4), порядок штамповки и наблюдение течения металла те же, что и в п. 4.

По результатам построить диаграммы  $p = f(\sum \Delta H)$ , на которых указать наблюдавшиеся этапы течения металла и сделать выводы о роли заусенечной канавки в заполнении металлом штампа.

Таблица результатов

| № заг. | Размеры заготовки | Условия штамповки | Величина хода верхней половины<br>штампа $\sum \Delta H$ |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Характеристика<br>отштампованной<br>поковки<br>и заусенца |
|--------|-------------------|-------------------|----------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----------------------------------------------------------|
|        |                   |                   | Усилия в конце каждого хода Р                            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                                           |
| 1      |                   |                   |                                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                                           |
|        |                   |                   |                                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                                           |
| 2      |                   |                   |                                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                                           |
|        |                   |                   |                                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                                           |
| 3      |                   |                   |                                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                                           |
|        |                   |                   |                                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                                           |
| 4      |                   |                   |                                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                                           |
|        |                   |                   |                                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                                           |

## Практическая работа № 4

### Изучение процесса штамповки крестовины в штампе с разъемной матрицей

Целью настоящей работы является изучение характера течения металла, факторов, влияющих на ход и параметры процесса, знакомство с методикой расчёта технологических параметров процесса штамповки поковок с горизонтальными отростками (типа крестовин) в штампах с горизонтальным разъемом матриц.

#### Формоизменение металла

Поковки, имевшие боковые отростки, расположенные в одной плоскости, изготавливаются в штампах с горизонтальным плоским разъемом матриц. В таких же штампах изготавливаются поковки с плоскими фланцами. Поковки, имеющие искривлённые отростки или расположенные под острым углом к главной оси, изготавливаются в штампах с горизонтальным неплоским разъемом матриц (рис.12).

Заполнение отростков происходит путём канального истечения, а фланцев путем кругового истечения металла. При канальном истечении через боковое отверстие без ограничивающих стенок канала (свободное боковое истечение) вытекающий отросток отклоняется от направления, перпендикулярного полости контейнера, и составляет с ним острый угол  $\varphi$  (рис. 13). При этом площадь сечения отростка  $f$  будет меньше площади отверстия  $f_0$  и составит:

$$f' = f_0 \cdot \sin \varphi. \quad (1)$$

Следовательно, если канал расположен под углом  $\alpha$  к оси контейнера, меньшим или равным углу  $\varphi$  то он заполнится полностью, даже если отросток не встречает на пути дополнительного сопротивления. При угле  $\alpha$ , большем угла  $\varphi$ , для заполнения полости отростка необходимо дополнительное сопротивление или округление кромки соединения полосей отростка и контейнера радиусом, большим радиуса  $r_{\min}$  который для  $\alpha = 90^\circ$  определяется по формуле:

$$r_{\min} = 0,4 \cdot d_\delta \left( (1 + \cos \varphi) / \sin \varphi - 1 \right), \quad (2)$$

где  $d_\delta$  - диаметр бокового отростка.

Если канал под боковой отросток перпендикулярен оси контейнера, а переходная кромка имеет скругления радиусом  $r \leq r_{\min}$ , то коэффициент заполнения его поперечного сечения  $\psi_{\text{кн}} = f' / f_0$  определяется по формуле:

$$\psi_{\text{кн}} = \sin \varphi + \frac{[r] \leq r_{\min}}{r_{\min}} (1 - \sin \varphi). \quad (3)$$

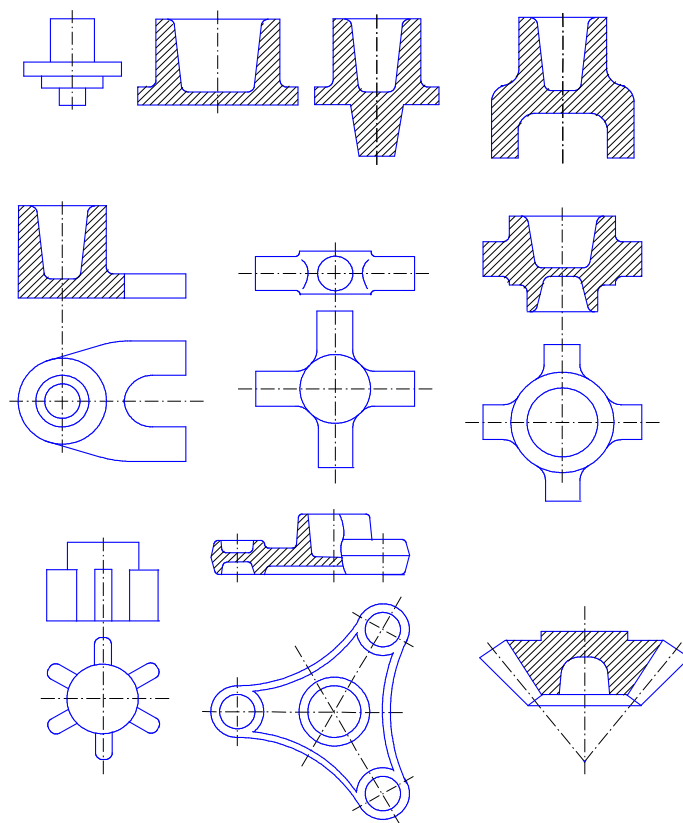


Рис. 12. Типовые поковки, полученные выдавливанием в штампах с горизонтальным разъемом матриц

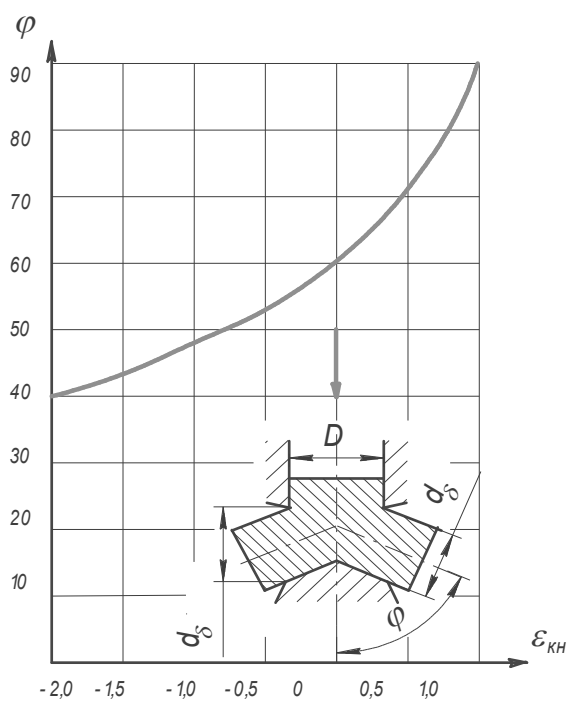


Рис. 13. Зависимость угла  $\varphi$  от геометрической степени деформации  $\varepsilon_{KH}$  при боковом канальном истечении:

$$\varepsilon_{KH} = 1 - \left( \sum d_{\delta}^2 \right) / D^2$$

Процесс штамповки крестовины в разъёмной матрице состоит из ряда последовательно протекающих стадий (рис. 14).

Осадка, сначала открытая - от момента соприкосновения пуансона с заготовкой до момента касания боковой поверхности заготовки с боковой поверхностью контейнера, потом закрытая - до момента полного заполнения полости контейнера;

Истечение в боковые полости - до момента касания вытекающего в боковые полости металла с торцевой поверхностью боковой полости;

Заполнение полостей боковых отростков - до начала вытекания металла в компенсационные отверстия;

Вытекание металла в компенсационные полости - до момента достижения пуансоном крайнего нижнего положения, обеспечивающего получение заданной высоты центральной части поковки.

Полный рабочий ход  $S$  пуансона составит:

$$S = H_3 - H_n, \quad (4)$$

где  $H_3$  - высота (длина) заготовки,

$H_n$  - высота центральной части поковки.

Рабочий ход на участке осадки  $S_{oc}$ :

$$S_{oc} = S - S_B, \quad (5)$$

где  $S_B$  - рабочий ход на участке выдавливания:

$$S_B = (V_3 - V_{ц}) / F, \quad (6)$$

$V_{ц}$  - Объем центральной цилиндрической части поковки,

$F$  - площадь сечения контейнера.

$$F = 0,785D^2, \quad (7)$$

$V_3$  - объем заготовки.

Рабочий ход на участке истечения:

$$S_{и} = V_{и} / F = (V_{п} - V_{ц}) \psi_{кн} / F, \quad (8)$$

где  $V_{и}$  - объем металла, вытекающего в боковые полости от начала истечения до соприкосновения с торцевыми плоскостями боковых плоскостей;

$V_{п}$  - объем поковки;

$\psi_{кн}$  - коэффициент заполнения полостей по сечению, определяется по формулам (3) и (2) с учетом графика для  $\varphi$  (рис. 13).

Рабочий ход  $S_{злп}$  на участке заполнения отростков по сечению:

$$S_{злп} = (V_{п} - V_{ц}) \cdot (1 - \psi_{кн}) / F. \quad (9)$$

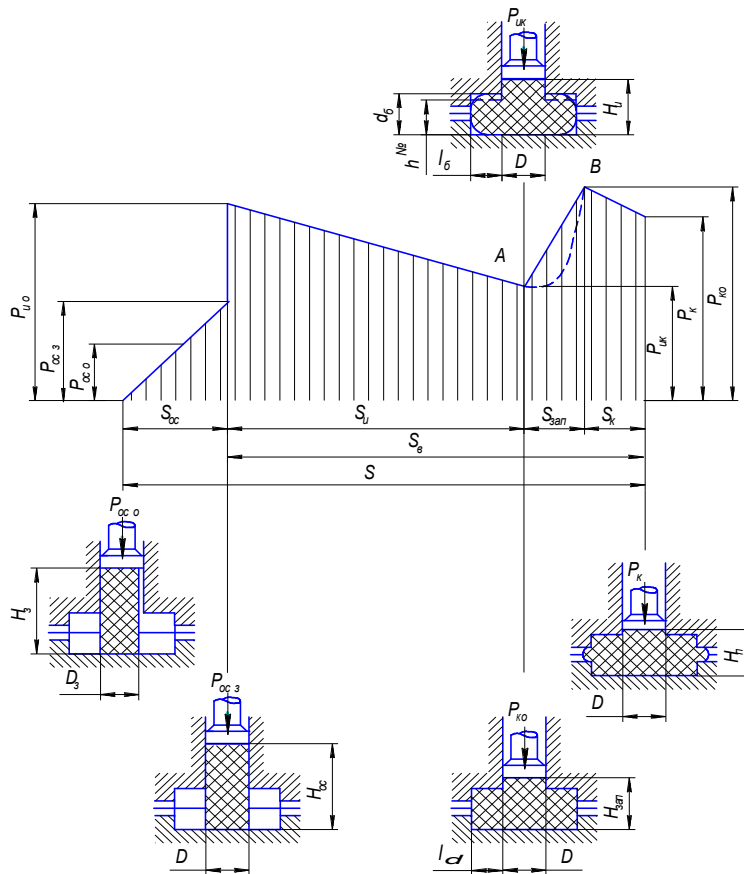


Рис. 14. Вид расчетного графика  $P = f(S)$  при выдавливании  
поковок типа крестовин

Рабочий ход на участке вытекания избытка металла  $S_K$  в компенсационные полости:

$$S_K = V_K / F = (V_3 - V_{II}) / F, \quad (10)$$

где  $V_K$  - объём компенсаторов.

#### Силовые параметры

Усилие открытой осадки:

$$P_{OCO} = \sigma_s \cdot n_{OCO} \cdot F, \quad (11)$$

где  $\sigma_s = \omega \sigma_{bl}$ ,  $\omega$  - скоростной коэффициент

(12)

$$n_{OCO} = (1 + 1/6 \cdot D_3 / H_3) \cdot D_3^2 / D^2, \quad (13)$$

$D_3, H_3$  - диаметр и высота заготовки;

$D$  - диаметр пуансона;

$P$  - площадь сечения пуансона.

Усилие закрытой осадки:

$$P_{OCЗ} = \sigma_s \cdot n_{OCЗ} \cdot F, \quad (14)$$

$$\text{где } n_{OC3} = 2 + 1,27V_3 / D_3 + 0,12D^3 / V^3 , \quad (15)$$

$V_3$ - объём заготовки.

Усилие истечения в боковые полости:

$$P_H = \sigma_s \cdot n \cdot F , \quad (16)$$

$$\text{где } n = n_0 + [0,12n_0 \cdot (1 + 0,12(4H_D) / D)] \cdot 4H_D / D , \quad (17)$$

$$n_0 - \text{ по графику 2, рис.15, } \varepsilon = 1 - zd_\delta^2 / D^2 ,$$

$z$  - количество отростков;  $d_\delta$  - диаметр боковой полости;

$H_D$  - высота от торца пуансона до начала боковой полости.

В начальный момент  $P_H = P_{ИС}$ . При этом

$$H_D = H_{D0} = H_3 - S_{OC} - (H_n + d_\delta) / 2 . \quad (18)$$

В конечный момент истечения  $P_H = P_{ИС}$  При этом

$$H_D = H_{DK} = H_{D0} - S_H , \quad (19)$$

Усилие в начальный момент истечения в компенсаторы

$$P = \sigma_s \cdot n' \cdot F , \quad (20)$$

где  $n'$  - по формуле 17, в которой вместо  $n_0$  следует подставить  $n_0'$  ;

$$n_0' = n_0 + \Delta n_0 , \quad (21)$$

$$\Delta n_0 = n_{OK} + [0,12n_{OK} \cdot (1 + 0,12(4l_\delta) d_\delta)] \cdot 4l_\delta / d_\delta , \quad (22)$$

$n_{OK}$  - по графику 2 рис. 15, при  $\varepsilon = 1 - d_k^2 / d_\delta^2$  ,

$l_\delta$  - длина бокового отростка.

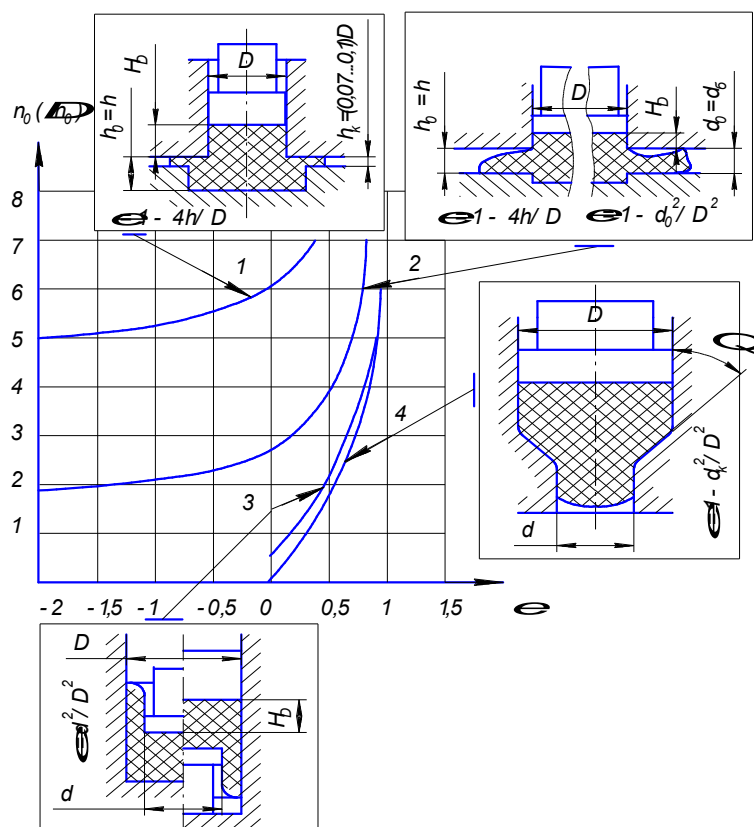


Рис. 15. Зависимость относительного давления  $n_0(\Delta n_0)$  от геометрической степени деформации  $\varepsilon$  для основных видов истечения:

1-кругового (с ограничением истечения); 2-кругового и канального (без ограничения истечения); 3-обратного и прямого (в кольцевой полости); 4-прямого (в цилиндрическую полость).

Усилие в конечный момент истечения в компенсаторы (т.е. в конечный момент штамповки) определяется также по формулам (20 ÷ 22) при значении

$$H_D = (H_n - d_\delta) / 2.$$

На заполнение ручья и величину удельного, а следовательно, и общего усилия в стадии заполнения большое влияние оказывает величина компенсатора. Как известно, компенсатор поглощает избыток металла, вызванный положительными отклонениями по диаметру и длине заготовки. Меняя величину компенсатора, можно создать такое напряжённое состояние, которое будет способствовать наиболее чёткому заполнению полости ручья при оптимальных силовых параметрах штамповки.

Работа выполняется на гидравлической испытательной машине усилием 300 кН с использованием специального штампа с разъёмной матрицей, со сменными пробками для боковых отростков, имеющими различные по диаметру отверстия под компенсаторы (рис. 16). Ручей штампа выполнен применительно к поковке крестовины, представленной на (рис. 17).

В качестве исходных образцов используются свинцовые цилиндрические заготовки:  $d=28,0$ , длиной 46 мм.

По приведённой в разделе 1 методике рассчитать все стадии процесса с определением хода пуансона и усилия штамповки. В расчёте принять:

- 1)  $H_3 = 46$  мм,  $D_3 = 28$  мм,  $V_3 = 28300$  мм<sup>3</sup>.
- 2) Объём поковки  $V_{II} = 25500$  мм<sup>3</sup>.
- 3)  $\sigma_{bt} = 2$  кг/мм<sup>2</sup>;  $\omega = 1,2$ ;  $\sigma_s = 1,2 * 2 = 2,4$  кг/мм<sup>2</sup>.

По полученным значениям Р и S построить расчётный график  $P = f(S)$  (рис. 14).

В штампе отштамповать на постоянной скорости движения траверсы машины одну крестовину с записью графика «усилие-путь» [ $P = f(S)$ ].

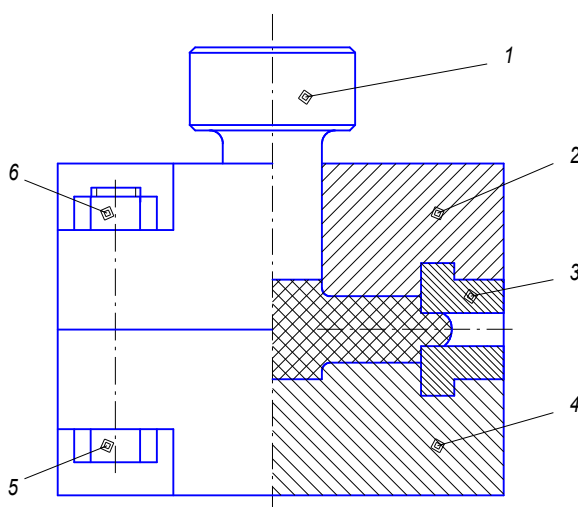


Рис. 16. Лабораторный штамп с горизонтальным разъемом матрицы для штамповки поковок крестовины:

1-пуансон; 2-верхняя полуматрица; 3-сменная неразъемная пробка;

4-нижняя полуматрица; 5-болт; 6-гайка

Перечертить машинный график на ранее построенный расчетный в таком же масштабе, сравнить оба графика и сделать выводы.

Произвести частичную штамповку другой заготовки в том же штампе, доведя процесс до одного из характерных моментов. Полученный полуфабрикат зарисовать (или заэскизировать) и описать его особенности.

Сделать вывод о влиянии торцевой поверхности боковой плоскости, и величины компенсационного отверстия на заполнение полости штампа и усилие штамповки.

Необходимо выполнить все перечисленные работы для следующих размеров компенсаторов и характерных моментов процесса:

- 1)  $d_K = 6$  мм, закрытая осадка.
- 2)  $d_K = 8$  мм, начало истечения в боковые полости.
- 3)  $d_K = 10$  мм, окончание истечения в боковые полости.

4)  $d_k = 12$  мм, начало истечения в компенсаторы.

Произвести штамповку крестовины без наличия компенсаторов (с глухими пробками) и сделать вывод о возможности штамповки без компенсаторов.

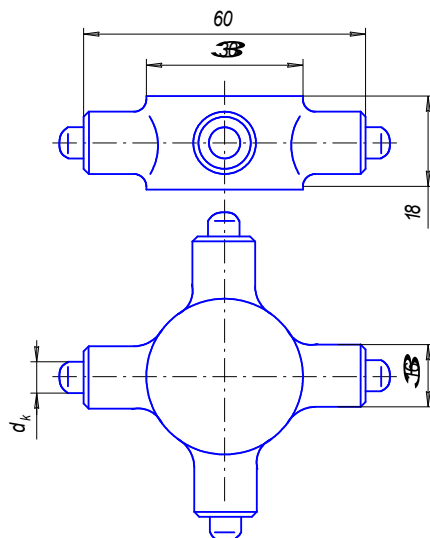


Рис. 17. Поковка крестовины (материал свинец)

## Практическая работа № 5

### Изучение наборного перехода при высадке на ГКМ

Работа выполняется с целью изучения формоизменения заготовки при высадке на ГКМ.

Высадка - это осадка отдельного участка прутковой заготовки. Осаживаемая часть заготовки может быть в середине, но чаще всего это концевой участок.

Объём  $V$  деформируемой части заготовки определяется по размерам высаживаемой части поковки с учётом усадки, угара, половины положительного допуска, а также объёма кольцевого или торцового заусенца.

Длина высаживаемой части заготовки

$$l_b = 4V / \pi d^2, \quad (1)$$

где  $d$  - диаметр исходной заготовки при температуре высадки.

Если длина высаживаемой части оказывается слишком большой по отношению к диаметру заготовки, то непосредственная высадка невозможна: высаживаемый участок изогнётся прежде, чем произойдёт его утолщение, а это приведёт к образованию складки в высаженной части поковки, т.е. к неисправимому браку. В этом случае перед окончательной высадкой необходимо применить наборные переходы.

Необходимость применения наборных переходов устанавливается путём сравнения фактического отношения длины высаживаемой части к диаметру  $\psi$  с допустимым  $\psi_\delta$ :

$$\psi = l_b / \alpha. \quad (2)$$

Если торец заготовки перпендикулярен оси, и поверхность давления высадочного пуансона плоская, то

$$\psi_\delta = 2 + 0,01d, \text{ но не более } 3. \quad (3)$$

Если торец заготовки неперпендикулярен оси (при резке на обычных сортовых ножницах) или поверхность давления высадочного пуансона имеет выступы, то

$$\psi_\delta = 1,5 + 0,01d, \text{ но не более } 2,5. \quad (4)$$

При  $\psi \leq \psi_\delta$  практически возможна высадка поковки любой формы за один ход, т.е. без предварительных наборных переходов.

При  $\psi > \psi_\delta$  применяются наборные переходы. Наиболее целесообразным при концевой высадке является набор конической формы, т.е. в пуансоне с конической полостью. Количество предварительных конических наборных переходов определяется зависимостью (5):

$$n' = (D_{CP} \cdot \psi - l_b) / (0,042\psi + m) D_{CP} - 1, \quad (5)$$

где  $D_{CP}$  - средний диаметр высаживаемой части поковки;

$$D_{CP} = 1,13 \sqrt{V / L_{ПОК}}, \quad (6)$$

где  $L_{\text{ПОК}}$  - длина высаженной части поковки;

$m$  - число, характеризующее устойчивость процесса высадки;

$$m = 0,69 \div 0,79.$$

При  $m > 0,79$  возможна потеря устойчивости в наборном переходе; при  $m < 0,69$  имеет место излишний запас устойчивости и завышенное количество наборных переходов.

При расчёте  $n'$  формуле (5) дробная часть результата во внимание не принимается (отбрасывается).

Диаметр меньшего основания конуса (рис. 18) определяется по формуле

$$d_{\Pi} = d_{\Pi-1}(1,03 \div 1,05) + (0,03 \div 0,05) \cdot (n-1),$$

где  $n$  - порядковый номер перехода.

Диаметр большего основания конуса

$$D_{\Pi} = \frac{2l_b}{\psi - (0,042\psi + m) \cdot n} - d_{\Pi}, \quad (7)$$

но не менее  $1,25 d_{n-1}$  (здесь при расчёте второго и последующих переходов за диаметр  $d_{n-1}$  принимается средний диаметр конуса предыдущего перехода).

Длина конической полости

$$l_n = 3,82UV / (D_n^2 + d_n^2 + D_n \cdot d_n), \quad (8)$$

где  $U$  - коэффициент запаса объема полости ручья, исключаящий образование заусенца при наборе. Значение  $U$  принимается равным 1,05.

Задачами экспериментов является определение влияния:

- а) длины высаживаемой части заготовки на качество заполнения полости штампа при непосредственной высадке;
- б) скоса торца заготовки на допустимую длину высаживаемой части заготовки при непосредственной высадке;
- в) наборного конического перехода на процесс и качество заполнения полости штампа;
- г) заусенца или уступа на наборном переходе на процесс и качество заполнения полости штампа.

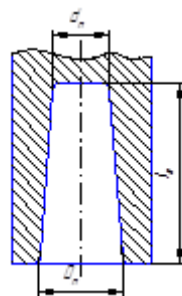


Рис. 18. Коническая полость наборного перехода

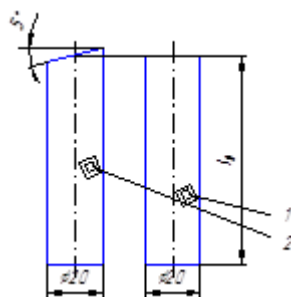


Рис. 19. Образцы для изучения наборного перехода при высадке на ГКМ:

1 – с прямым торцем, 2 – со скошенным торцем (материал - свинец)

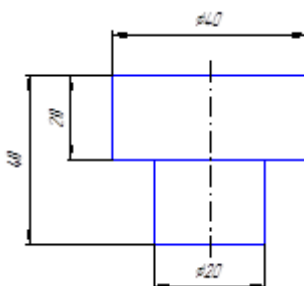


Рис. 20. Высаживаемая поковка

Работа выполняется на универсальной испытательной машине с использованием специального штампа со сменными пуансонами, матрицами, подкладными кольцами (рис. 21 и 22). в качестве заготовок используются свинцовые образцы диаметром 20 мм различной длины, с прямыми торцами и с одним скошенным торцем, имитирующим искажение торца при резке на ножницах (рис. 19).

По формулам 3 и 4 определить допускаемую длину высаживаемой части при непосредственной высадке из заготовки с прямым и скошенным торцами соответственно.

Для поковки, изображённой на рис. 20, определить фактическую длину высаживаемой части, необходимое количество наборных переходов и размеры конической полости пуансона первого конического наборного перехода (значение коэффициента  $m$  принять равным 0,69, или 0,74, или 0,79 по указанию преподавателя).

Производится непосредственная высадка в цилиндрической матрице образцов с прямыми торцами с различной длиной высаживаемой части (табл. 6, образцы 1,2,3 и 4). Проанализировать результаты и сделать вывод о влиянии увеличения длины высаживаемой части сверх допустимой на качество заполнения полости штампа.

Производится непосредственная высадка в цилиндрической матрице образцов со скошенными торцами с различной длиной высаживаемой части (табл. 6, образцы 5, 6, 7, 8). Анализируются результаты и делается вывод о влиянии скоса торца на допустимую длину высаживаемой части заготовки.

Производится высадка с предварительным коническим наборным переходом с длиной высаживаемой части 100 мм из заготовок с прямым (табл. 7, образец 9) и скошенным (табл. 7, образец 10) торцами. Анализируются результаты и делается вывод о влиянии конического наборного перехода на процесс и качество заполнения полости штампа.

Производится, высадка заготовок с прямыми торцами с предварительным коническим наборным переходом с образованием заусенца по большому основанию конуса (табл. 7, образец 2).

Анализируются результаты и делается вывод о влиянии заусенца в наборном переходе на качество заполнения полости штампа.

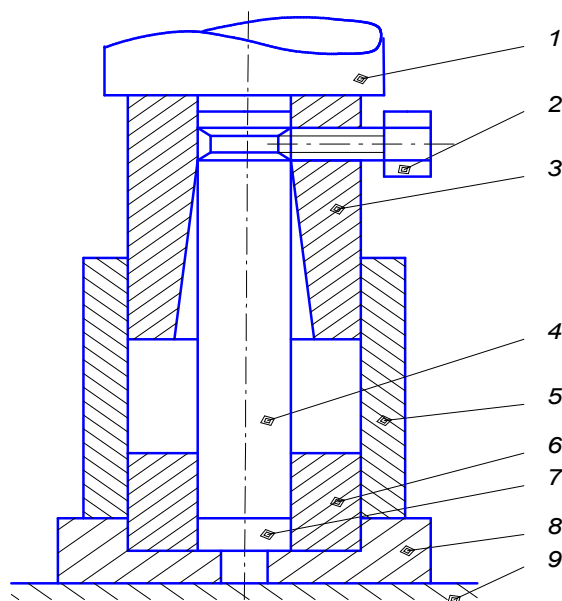


Рис. 21. Приспособление для высадки коническим наборным пуансоном (исходное положение):

- 1-переходник; 2-винт; 3-конический наборный пуансон;  
4-образец; 5-направляющая втулка; 6-зажимная матрица;  
7-пробка; 8-опорная плита; 9-траверса машины

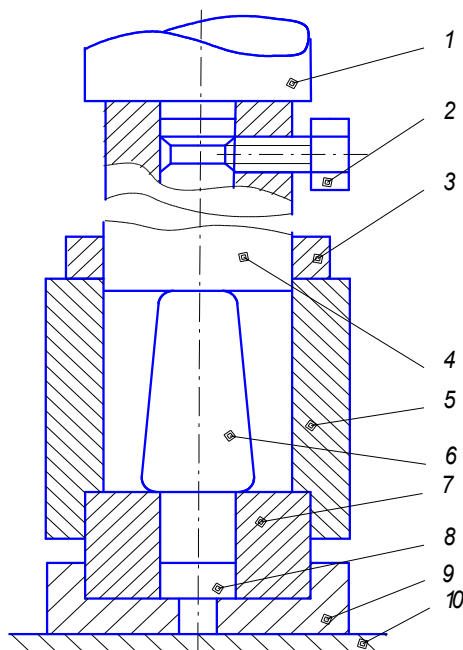


Рис. 22. Приспособление для окончательной высадки-формовки (исходное положение):

- 1-переходник; 2-винт; 3-подкладное кольцо;  
4-высадочный пуансон; 5-высадочная матрица;  
6-образец; 7-зажимная матрица; 8-пробка;  
9-опорная плита; 10-траверса машины

Таблица 6

Результаты высадки в цилиндрической матрице образцов со скошенными торцами  
с различной длиной высаживаемой части

| № образца                               | Размеры образца<br>$d \times l$ , мм | Длина высаживаемой части<br>$l_b$ , мм | Допустимая относительная длина высадки<br>$\psi_\delta$ | Проверяемая относительная длина высадки<br>$\psi = l_b / d$ | Длина высаженной части, мм | Характеристика высаженной части |
|-----------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| Образцы с прямыми торцами ( $0^0$ )     |                                      |                                        |                                                         |                                                             |                            |                                 |
| 1                                       | 20×64                                | 44                                     |                                                         |                                                             |                            |                                 |
| 2                                       | 20×80                                | 60                                     |                                                         |                                                             |                            |                                 |
| 3                                       | 20×90                                | 70                                     |                                                         |                                                             |                            |                                 |
| 4                                       | 20×100                               | 80                                     |                                                         |                                                             |                            |                                 |
| Образцы со скошенными торцами ( $5^0$ ) |                                      |                                        |                                                         |                                                             |                            |                                 |
| 5                                       | 20×54                                | 34                                     |                                                         |                                                             |                            |                                 |
| 6                                       | 20×70                                | 50                                     |                                                         |                                                             |                            |                                 |
| 7                                       | 20×80                                | 60                                     |                                                         |                                                             |                            |                                 |
| 8                                       | 20×90                                | 70                                     |                                                         |                                                             |                            |                                 |

Таблица 7

Результаты высадки с предварительным коническим наборным переходом с длиной высаживаемой части 100 мм

| № образца | Размеры образца<br>$d \times l$ , мм | Длина высаживаемой части образца $l_b$ , мм |       | Принятое в расчет число<br>m | Расчетные размеры конической полости пуансона |       |       | Характеристика высаживаемой части при наборе и окончательной высадке |
|-----------|--------------------------------------|---------------------------------------------|-------|------------------------------|-----------------------------------------------|-------|-------|----------------------------------------------------------------------|
|           |                                      | Расч.                                       | Факт. |                              | $d_n$                                         | $D_n$ | $l_n$ |                                                                      |
| 9         | 20×120; $0^0$                        | 100                                         | 100   |                              |                                               |       |       |                                                                      |
| 10        | 20×120; $5^0$                        | 100                                         | 100   |                              |                                               |       |       |                                                                      |
| 11        | 20×120; $0^0$                        | 100                                         | 115   |                              |                                               |       |       |                                                                      |

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Охрименко Я.М. Технология кузнечно-штамповочного производства. М.: Машиностроение, 1976.
2. Семенов Е.И. Ковка и объёмная штамповка. М.: Машиностроение, 1975.
3. Брюханов А.Н. Ковка и объёмная штамповка. М.: Машиностроение, 1975.
4. Ковка и штамповка: справочник / под ред. Е.И. Семёнова. Т 1. М.: Машиностроение, 1985, Т 2. М.: Машиностроение, 1986.
5. Ковка и объёмная штамповка стали: справочник: в 2-х т. / под ред. М. В. Сторожева. Т 1. М.: Машиностроение, 1967.; Т 2. М.: Машиностроение, 1968.
6. Соловцов С.С. Безотходная разрезка сортового проката в штампах. М.: Машиностроение, 1985.
7. Горячее прессование поковок в штампах с разъемными матрицами. РТМ. Воронеж, ЭНИКМАШ, 1987.
8. Брюханов А.Н., Краузе А.Р. Новый метод расчёта конических наборных переходов при высадке // Кузнечно-штамповочное производство, 1965. № 10.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Практическая работа № 1. Определение искажения формы при отрезке заготовок сдвигом.....            | 3  |
| Практическая работа № 2. Расчет технологических параметров протяжки.....                           | 7  |
| Практическая работа № 3. Исследование процесса открытой штамповки круглой в плане поковки.....     | 11 |
| Практическая работа № 4. Изучение процесса штамповки крестовины в штампе с разъемной матрицей..... | 17 |
| Практическая работа № 5. Изучение наборного перехода при высадке на ГКМ .....                      | 25 |
| Библиографический список.....                                                                      | 30 |

# **ТЕХНОЛОГИЯ КОВКИ И ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ**

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к выполнению практических работ  
для студентов направления подготовки бакалавров  
15.03.05 «Конструкторско-технологическое  
обеспечение машиностроительных производств»  
(профиль «Конструкторско-технологическое обеспечение  
кузнечно-штамповочного производства»)  
очной формы обучения

### **Составители:**

**Бойко** Александр Юрьевич  
**Гольцев** Александр Михайлович  
**Попова** Маргарита Ивановна

В авторской редакции

Подписано к изданию 31.05.2022.

Уч.-изд. л. 1,6.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический  
университет»

394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84