

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР  
Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени авиационный  
институт имени академика С.П.Королева

ЛИСТОВАЯ ХОЛОДНАЯ  
И ГОРЯЧАЯ ОБЪЕМНАЯ ШТАМПОВКА

Методические указания  
для курсового и дипломного проектирования

Утверждены  
редакционным советом института  
13 ноября 1974 г.

Куйбышев 1975

Составители: А.А.Дудин, В.Ю.Ненашев

Рецензенты: доцент Юшков А.В., доцент Смеляков Е.П.  
к.т.н. Козий С.И.

Данные методические указания по курсовому и дипломному проектированию предназначены для студентов факультета "Обработка металлов давлением". Целью их является ознакомление студентов с общим объемом проекта и характером требований, предъявляемых к проекту по выполнению основных его разделов.

Самостоятельная работа студента над темой позволит углубить знания, полученные при изучении специальных профилирующих технологических дисциплин, привить навыки, необходимые для грамотной разработки техпроцессов штамповки и выполнения проектно-конструкторских работ по штамповой оснастке.

В процессе проектирования студент приобретает навыки правильного применения на практике теоретических дисциплин, передовых достижений науки и техники и обоснования экономической целесообразности их внедрения; проявляет способность в использовании современных методов технико-экономического анализа и грамотного выполнения технических и экономических расчетов, четко и логично формулировать свои мысли и предложения.

Настоящие методические указания содержат два самостоятельных раздела, которые удовлетворяют требованиям технологической и конструкторской части дипломного проекта и рекомендуются к использованию студентами-дипломниками. Ссылки на литературу в данной работе расположены в последовательности, удобной для работы студентов над проектами.

## I. СОДЕРЖАНИЕ И ОБЪЕМ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

## Задание

Задание на курсовой проект и чертеж детали выдаются каждому студенту на первой консультации. Руководитель проекта знакомит с содержанием и объемом проекта и с основными требованиями к нему. Отдельные вопросы задания, как например, тип и количество проектируемой штамповой оснастки, уточняются руководителем проекта в процессе работы.

## Содержание разделов проекта

Курсовой проект включает в себя расчетно-пояснительную записку с картами разработанного технологического процесса на заданную деталь и чертежи штамповой оснастки.

Обязательными разделами пояснительной записки являются:

1. Введение.
2. Свойства штампуемого материала и его термообработка.
3. Разработка технологического процесса.
4. Конструирование и расчет штамповой оснастки.
5. Мероприятия по технике безопасности.
6. Перечень используемой литературы.

Введение. Этот раздел пояснительной записки должен освещать роль и значение листовой холодной штамповки в промышленности СССР; роль советских ученых и инженеров в развитии и совершенствовании теории и технологии холодной штамповки.

Свойства штампуемого материала и его термообработка. В этом разделе записки должны найти отражение следующие вопросы: химический состав сплава; роль компонентов и примесей; диаграмма состояния и механизм фазовых превращений; режимы термической обработки; физико-механические и технологические свойства штампуемого материала.

Разработка технологического процесса. Технологическая часть является основным разделом расчетно-пояснительной записки. Она включает в себя:

- конструктивно-технологический анализ детали;
- анализ напряженно-деформированного состояния и выявление "опасных" мест и сечений;
- определение размеров и форм заготовок;
- выбор вида и типа раскроя;
- установление характера, количества и последовательности операций;
- установление степени совмещенности операций;
- определение усилия и работы деформаций;
- выбор оптимального варианта технологического процесса;
- средства механизации и автоматизации.

Конструирование и расчет штамповой оснастки. Конструкторская часть состоит из следующих этапов:

- выбор типа штампа в соответствии с намеченной технологией изготовления;
- выполнение конструкторских расчетов;
- конструирование общего вида (план и разрез) штампа и составление спецификации;
- детализовка - разработка рабочих чертежей отдельных ненормализованных деталей штампа.

Мероприятия по технике безопасности. В этом разделе должны найти отражение мероприятия, предусмотренные технологическим процессом, конструкцией штамповой оснастки и прессов, направленные на ликвидацию несчастных случаев во время работы.

Перечень использованной литературы включает все источники, использованные в процессе работы над проектом. Запись их должна быть выполнена в такой последовательности: порядковый номер, автор, название работы, издательство, год издания. Например:

Г. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. М., "Машиностроение", 1971.

Ориентировочный объем расчетно-пояснительной записки должен быть таким:

первый раздел - 2 страницы, второй - 4, третий - 16, четвертый - 6, пятый - 1 и шестой - 1 страница. Общий объем - 30 страниц.

Из обязательных шести разделов записки 1, 2, 5 и 6-й не требуют дополнительных пояснений, так как носят в основном описательный характер. Поэтому более подробно будут в дальнейшем (II и III главы настоящего руководства) рассмотрены вопросы методики выполнения 3-го и 4-го разделов записки, являющихся основным содержанием курсового проекта.

Карты технологического процесса оформляются на разработанный технологический процесс и являются приложением к расчетно-пояснительной записке.

Чертеж на штамповую оснастку должен содержать разработку двух штампов средней или одного повышенной сложности, выполненную на двух листах, и детализовку на 0,5 листа.

## П. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

При разработке технологического процесса холодной штамповки должны быть решены следующие вопросы:

- 1) определение наиболее выгоднейшего раскроя материала и наименьших размеров заготовки;
- 2) установление характера, количества и последовательности операций;
- 3) выбор степени сложности (совместности) операций.

Имеется несколько вариантов решения указанных вопросов, но выбирается наиболее рациональный для заданного конкретного случая, характеризуемого рядом технических и экономических признаков.

Основными техническими признаками являются: механические свойства и толщина материала, степень сложности конфигурации и ее габариты, требуемая точность детали и т.д.



Экономическим признаком, от которого зависит решение вопроса экономической целесообразности того или иного варианта, является серийность производства (массовое, крупно- или мелкосерийное).

## I. Конструктивно-технологический анализ детали

Разработку технологического процесса обычно начинают с конструктивно-технологического анализа детали, в результате которого устанавливают, является ли конструкция детали технологичной.

Под технологичностью понимается сочетание конструктивных элементов, обеспечивающее наиболее простое и экономичное изготовление деталей (в условиях данного масштаба производства) при соблюдении технических и эксплуатационных требований к ним. Технологические требования к конструкции плоских, изогнутых и полых деталей приведены в работе [1].

В процессе анализа конструкции штампуемой детали могут быть выявлены необоснованно завышенные требования к выполнению отдельных элементов в целом. В таких случаях для изготовления детали требуются дополнительные операции зачистки, калибровки, а иногда и механической обработки. Конструкция такой детали будет нетехнологичной, и, если позволяют условия эксплуатации, ее нужно изменить в соответствии с основными технологическими требованиями.

В качестве примера произведем конструктивно-технологический анализ детали, изображенной на рис. 1.1. Деталь имеет  $\gamma$ -образную форму. Материал Д16АМ. Толщина материала ( $S$ ) 2 мм.

Предлагаем наиболее целесообразную последовательность изготовления: вырубка заготовки; пробивка отверстий (одновременно с вырубкой заготовки или отдельно); гибка.

Рассмотрим в этой последовательности конструктивные элементы детали.

Выполнение сопряжений сторон наружного контура радиусом закругления  $R$  3,5 допустимо, так как, согласно работе [1],  $R \geq 0,5S$

Пробивка отверстий  $\phi$  2,6 возможна свободным пуансоном, так как, согласно табл. 162 работы [1], наименьший диаметр пробиваемых отверстий составляет  $0,8S$ .

Наименьшее расстояние от края отверстия до контура детали, параллельного отверстию, должно быть не менее  $1,5S$  [1].

Как видно из чертежа детали, это условие не обеспечивается, следовательно, деталь нетехнологична.

Применение радиусов гибки  $R5$  допустимо, так как согласно работе [1] минимально допустимые радиусы гибки должны быть  $R \geq (1+2)S$ .

Минимальный размер полки гнутой детали должен быть не менее  $3S$  [1], в нашем случае он равен 5, следовательно, это условие не обеспечивается и деталь нетехнологична.

Из проведенного анализа детали следует, что она по указанным конструктивным элементам нетехнологична, так как для получения отверстия, близко расположенного к наружному контуру, вместо штамповочной операции пробивки требуется менее производительная операция сверления, а для получения низкой полки необходима дополнительная калибровка.

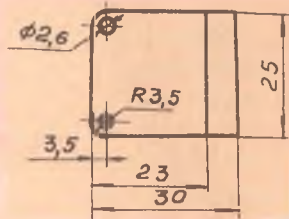
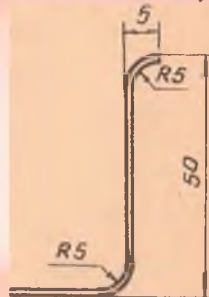


Рис.1.1. Чертеж детали для конструктивно-технологического анализа

## 2. Анализ напряженно-деформированного состояния и выявление "опасных" мест и сечений

В этой части раздела необходимо проанализировать напряженно-деформированное состояние характерных участков деформируемой заготовки, определяющих процесс; выявить места (зоны), ограничивающие процесс деформации, в которых возможно разрушение материала в первую очередь.

В работе над этими вопросами следует руководствоваться работами [12 - 19].



### 3. Определение размеров и форм заготовок

Размеры и форма заготовок зависят от размеров и форм деталей, а также от способа изготовления.

Определение размеров плоских заготовок, подлежащих гибке, основано на равенстве длины заготовки длине нейтрального слоя.

Длина заготовки равна сумме длин прямых участков и длины нейтрального слоя в изогнутом участке. Длина нейтрального слоя в изогнутом участке определяется по формуле

$$l = \frac{\pi \varphi}{180} (z + x S) = 0,017 \varphi (z + x S),$$

- где  $l$  - длина нейтрального слоя изогнутого участка;  
 $\varphi$  - угол изогнутого участка;  
 $x$  - коэффициент, определяющий положение нейтрального слоя (табл. 21 в работе [1]);  
 $z$  - внутренний радиус гибки.

Следует учитывать, что угол изогнутого участка в общем случае не равен углу гибки (рис. 1.2.) и составляет  $\varphi = 180 - \alpha$ , где  $\alpha$  - внутренний угол гибки.

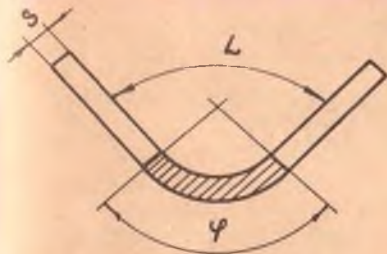


Рис. 1.2. Соотношение между углом изогнутого участка  $\varphi$  и углом гибки  $\alpha$   
 $(\varphi = 180 - \alpha)$

Значение коэффициентов  $x$  берут из табл. 21 или пользуются подсчитанной длиной нейтрального слоя в табл. 28 работы [1].

Определение размеров заготовок полых деталей, получаемых вытяжкой без утонения, производится из условия равенства площадей заготовки и детали с учетом припусков на обрезку.

Существуют следующие случаи вытяжки деталей различной конфигура-

ции, требующие разных способов подсчета размеров заготовки:

- вытяжка осесимметричных деталей простой формы;
- " - " - " - сложной формы;
- " - прямоугольных коробчатых деталей;
- " - деталей сложной несимметричной формы.

Кратко рассмотрим каждый способ.

вытяжка осесимметричных деталей простой формы. Для этого случая заготовка имеет форму круга, диаметр которого можно найти по формуле

$$D_3 = 1,13 \sqrt{F} = 1,13 \sqrt{\sum f},$$

где  $F$  - площадь поверхности готовой детали;

$\sum f$  - сумма площадей отдельных элементов поверхности детали.

Для сокращения объема вычислений диаметры заготовок для наиболее распространенных форм вытягиваемых деталей могут быть определены по формулам табл. 38 [1].

В большинстве случаев вытяжка производится с последующей обрезкой неровного края или фланца, для чего при подсчетах размеров заготовки необходимо предусматривать соответствующий припуск на обрезку. Этот припуск в зависимости от формы и высоты вытягиваемой детали (диаметра фланца) можно определить по табл. 40 и 41 работы [1] или табл. 46 [3].

Вытяжка осесимметричных деталей сложной формы. Здесь так же, как и в первом случае вытяжки, заготовка имеет форму круга.

Определение диаметра заготовки производится на основании правила Гюльдена-Паппуша, по которому площадь поверхности тела вращения равна  $F = 2\pi RL$ ,

где  $L$  - длина образующей;

$R$  - расстояние от оси симметрии до центра тяжести образующей.

Диаметр заготовки находится по формуле

$$D_3 = \sqrt{8LR} = \sqrt{8\sum l_2},$$

где  $LR = \sum l_2$  ( $l_2$  - расстояние до центра тяжести элементов образующей).

Для определения длины образующей  $L$  и положения ее центра тяжести  $R$  применяются два способа: графический и графоаналитический. Второй способ дает более точные результаты.

При расчете диаметра заготовки здесь следует так же, как и в случае вытяжки деталей простой формы, учитывать припуск на обрезку, который определяется из тех же таблиц.

Вытяжка прямоугольных коробчатых деталей - сложный про-

цесс, так как деформация вдоль периметра детали переменна. С увеличением относительной высоты  $\frac{H}{B}$  процесс еще более усложняется вследствие изменения деформации в углах и стенках. Поэтому различают низкие и высокие коробки. Первые изготавливаются в одну операцию; вторые - в несколько.

Соответственно различаются и методики расчета заготовок для коробок, вытягиваемых в одну операцию и в несколько. К какой группе относится заданная коробка, можно определить, пользуясь табл. 46 [1]. При этом следует учитывать, что в высоту коробки входит припуск на обрезку, численные значения которого приведены в табл. 47 [1].

Коробчатые детали в зависимости от относительного радиуса угловых закруглений  $\frac{r}{B-H}$  и относительной высоты  $\frac{H}{B}$ , в свою очередь, условно разделяются на три группы, определяемые рис. 100 [1]. Первая группа - низкие коробки с относительно малыми радиусами угловых закруглений, выраженными зависимостью  $\frac{r}{B-H} \leq 0,17$ , характеризующиеся незначительным вытеснением металла из угловых закруглений в боковые стенки коробок без изменения их высоты;

вторая - невысокие коробки с относительно большими радиусами угловых закруглений, выраженными зависимостью  $0,17 < \frac{r}{B-H} < 0,4$ , характеризующиеся значительным вытеснением металла из угловых закруглений в боковые стенки и увеличением высоты последних;

третья - относительно высокие коробки с большими радиусами угловых закруглений, выраженными зависимостью  $\frac{r}{B-H} \geq 0,4$ , характеризующиеся весьма большим перемещением металла из угловых закруглений в боковые стенки и значительным увеличением высоты последних. Соответственно для первой группы построение заготовки производится путем геометрической развертки элементов коробки на плоскость; для второй - путем геометрической развертки коробки с корректировкой контура; для третьей, при вытяжке квадратных коробок, практически можно применять заготовку круглой формы, а при вытяжке прямоугольных коробок - заготовку овальной формы с двумя закруглениями и двумя прямолинейными сторонами.

Расчет заготовок для высоких квадратных и прямоугольных коробчатых деталей, требующих многооперационной вытяжки, может быть выполнен в зависимости от отношения  $\frac{H}{B}$  двумя способами.

В случае сравнительно невысоких коробок ( $H \leq 0,5 + 0,6 B$ ), но с малыми радиусами закруглений, которые обычно вытягиваются за две операции, определение размеров и построение заготовки можно производить путем геометрической развертки элементов коробки на плоскость основания. Учитывая двукратную вытяжку в углах коробки и некоторое вытеснение металла в боковые стенки, рекомендуется увеличить радиус развертки  $R$  на 10-20%.

При многооперационной вытяжке высоких квадратных и прямоугольных коробок с относительной высотой  $\frac{H}{B} \geq 0,65 + 0,7$  заготовка имеет форму круга или овала. Размеры ее определяют из равенства суммарной поверхности элементов коробки и плоской заготовки. Узкие стороны прямоугольной коробки в этом случае следует рассматривать как половинки квадратной коробки, соединенные одна с другой переходной частью.

**Пример.** Рассчитать заготовку для вытяжки прямоугольной коробки размером 50x90x60 мм (рис. 1.3.). Материал - сталь 10, толщина 0,8 мм.

Припуск на обрезку берем равным  $0,1 H_0 = 6$  мм (стр. 139 [1]). Полная высота коробки  $H = 66$  мм. Отношение  $\frac{H}{B} = \frac{66}{50} = 1,32$ . Следовательно, она относится к области многооперационной вытяжки (с. по рис. 100 [1]). Форма заготовки - закругленный овал.

Расчет заготовки проводим, рассматривая узкие стороны коробки как половинки квадратной коробки размером 50x50 мм. Подсчитываем диаметр заготовки по формуле

$$D_3 = 1,13 \sqrt{B^2 + 4B(H - 0,43z) - 1,72z(H + 0,33z)} =$$

$$= 1,13 \sqrt{2500 + 20(66 - 1,72) - 6,88(66 + 1,32)} =$$

$$= 1,13 \cdot 122 \approx 138 \text{ мм.}$$

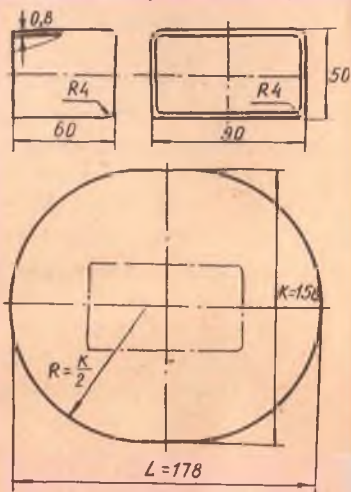


Рис. 1.3. К расчету размеров заготовки для коробчатых деталей



Радиус закругления узкой стороны овала  $R_B = 0,5 D_3 = 69$  мм.  
Длина овальной заготовки

$$L = D_3 + (A - B) = 138 + (90 - 50) = 178 \text{ мм.}$$

Ширина овальной заготовки находится из условия равномерного увеличения высоты коробки со всех сторон (стр. 136 [I]).

$$K = \frac{D_3 (B - 2z) + [B + 2(H - 0,43z)](A - B)}{A - 2z} =$$
$$= \frac{138(50 - 8) + [50 + 2(66 - 1,72)](90 - 50)}{90 - 8} \approx 158 \text{ мм.}$$

Радиус закругления заготовки  $R = 0,5 K = 79$  мм. Берем овальную заготовку размером 178x158 мм. Закругления радиусом  $R = \frac{K}{2} = 79$  сопрягаются с параллельными кромками длиной 20 мм.

Полученная овальная заготовка более проста для изготовления вырубного штампа по сравнению с заготовкой эллиптической формы.

Расчет заготовок для прямоугольных коробчатых деталей с фланцем производится на основе известного равенства площадей поверхности заготовки и коробки (с припуском на обрезку). При этом определяют длину выпрямленной стенки и радиус заготовки в углах коробки. Методика расчетов изложена в работе [I]:

Вытяжка деталей несимметричной формы. К этой группе относятся детали сложной пространственной формы, изготавливаемые в авиационной и автомобильной промышленности. Точных методов расчета таких заготовок не существует. Поэтому определяют ориентировочные габаритные размеры заготовки, учитывающие кривизну формы и величину технологических припусков. В процессе испытания вытяжного штампа размеры заготовок корректируются и по ним изготавливают вырубные штампы.

Определение размеров заготовок для вытяжки с утонением стенок. Размеры заготовок для вытяжки с утонением стенок определяют исходя из равенства объемов материала заготовки и готовой детали с прибавкой на обрезку.

Толщина заготовки обычно устанавливается по чертежу готовой детали и условиям ее обработки. Диаметр заготовки рассчитывается

по формуле

$$D_3 = 1,13 \sqrt{\frac{V}{S}}$$

где  $V$  - объем заготовки с учетом отходов при обрезке, равный  $(1 + \alpha) V_{\text{изд}}$ ;  
 $\alpha$  - коэффициент, учитывающий отходы при обрезке;  
 $S$  - толщина заготовки.

Ориентировочно можно считать, что при отношении  $\frac{h}{a}$  в пределах от 2 до 10 величина  $\alpha$  составляет от 0,08 до 0,12, при больших отношениях - от 0,12 до 0,15.

#### 4. Выбор вида и типа раскрой

Раскрой должен обеспечить минимальный расход материала, высокую производительность штампа, качество штампуемых деталей и стойкость штампа.

Экономия металла в штамповочном производстве во многом определяется рациональным раскромом - целесообразным расположением деталей на заготовке. Насколько важен рациональный раскрой, видно из того, что стоимость материала составляет 60-80% от стоимости изделия, а отходы при листовой штамповке составляют 30-40%.

В качестве заготовок для листовой штамповки могут применяться листы и ленты стандартных размеров [24, 25].

При штамповке из листа раскрой начинают с определения наиболее выгодного расположения деталей (заготовок) на полосе. Затем определяют наиболее выгодный раскрой листа на полосы.

Показателем экономичности сравниваемых вариантов раскроя является коэффициент раскроя, который подсчитывается отдельно для полосы и листа.

При составлении раскроя нежелательно резать узкие полосы, так как увеличиваются концевые потери и количество полос на партию, ухудшается подача;

резку узких полос производить вдоль листа, так как при этом получается больше деталей и меньше концевых отходов;

нарезку полос для деталей, подвергаемых гибке, выполнять с учетом направления проката;

в массовом производстве небольших деталей заменять листовой материал холоднокатаной лентой.



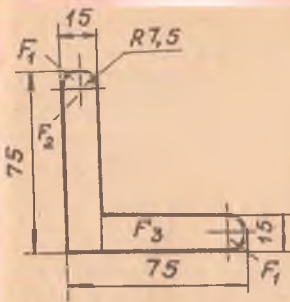


Рис. I.4. Эскиз детали

Пример. Произвести раскрой материала для детали, изображенной на рис. I.4.

Выбираем лист размером 1000x2000 мм. Возможные варианты раскроя изображены на рис. I.5. Ширину полосы определяем по формуле

$$B = D + 2\delta + \Delta_{\omega}$$

где  $D$  - размер детали поперек полосы;  
 $\delta$  - наименьшая величина боковой перемычки;  
 $\Delta_{\omega}$  - односторонний (минусовый) допуск на ширину полосы.

Согласно табл. 166 работы [1],  $\delta_I = 1,2$  мм;  
 $\delta_{II} = 2,0$  мм. Согласно табл. 173 [1],

$$\Delta_{\omega_I} = \Delta_{\omega_{II}} = 0,6 \text{ мм}; \quad \Delta_{\omega_{III}} = 0,8 \text{ мм}.$$

Ширина полосы для первого варианта раскроя будет  $B = 75 + 2 \cdot 1,2 + 0,6 = 78$  мм;

для второго -  $B = (75 + 1,2 + 15) + 2 \cdot 2 + 0,6 = 95,8$  мм;

для третьего -  $B = 105 + 2 \cdot 2 + 0,8 = 109,8$  мм.

Количество полос, получаемых из листа при нарезке их вдоль и поперек длинной стороны, приводится в табл. I.1.

Количество деталей из полосы и листа, рассчитанное по каждому из трёх вариантов раскроя, дано в табл. I.2.

Коэффициент раскроя для полосы

$$\eta_p = \frac{F \cdot n}{B_n L_n} 100\%;$$

для листа

$$\eta_p = \frac{F N}{B_n L_n} 100\%.$$

Для определения коэффициентов раскроя вычислим площадь детали, пред-

варительно разбив ее на элементы правильной геометрической формы (см. рис. I.4):

$$F_1, F_2, F_3, F_4.$$

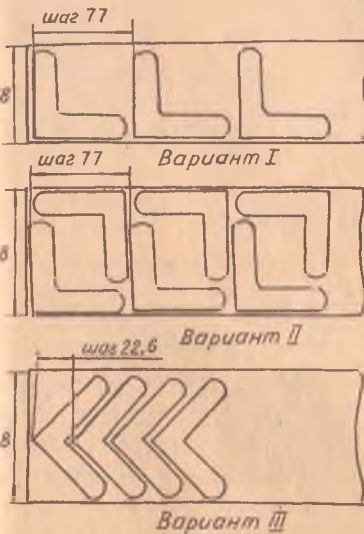


Рис. I.5. Варианты раскроя детали

Таблица I.1

Вариант раскроя	Количество полос из листа	
	нарезка вдоль листа ( $L = 2000$ )	нарезка поперек листа ( $L = 1000$ )
I	12	25
II	10	20
III	9	18

Таблица I.2

Вариант раскроя	$L = 2000$		$L = 1000$	
	$n$ деталей из полосы	$N$ деталей из листа	$n$ деталей из полосы	$N$ деталей из листа
I	25	300	12	300
II	50	500	24	480
III	86	774	42	756

Тогда

$$F_{\text{дет.}} = \sum F_i \approx 1976 \text{ мм}^2.$$

Вычисленные значения коэффициентов раскроя в процентах сведем в табл. I.3.

Таблица I.3

Вариант раскроя	$L = 2000$		$L = 1000$	
	$\eta_p$ для полосы	$\eta_p$ для листа	$\eta_p$ для полосы	$\eta_p$ для листа
I	31,6	29,6	30,4	29,6
II	51,5	49,3	49,5	47,4
III	77,5	76,5	75,6	74,7

Из проведенного расчета следует, что наиболее рациональным является раскрой по III варианту ( $\eta_p = 76,5\%$ ), поэтому выбираем этот вид раскроя.

## 5. Установление характера, количества и последовательности операций

Характер операций в основном определяется конфигурацией штампуемых деталей, состоянием их поверхности (гладкая или рельефная), наличием вырезов или отверстий и т.п.

Количество и последовательность операций определяется конфигурацией и соотношением размеров конструктивных элементов детали, требуемой точностью и необходимостью соблюдения она обработки.

Многообразие встречающихся на практике конфигураций и различных сочетаний конструктивных элементов вместе с разнообразными техническими и экономическими предпосылками не позволяют установить типовое решение, применимое для любого случая. Поэтому могут быть даны лишь общие принципы и технологические рекомендации [1].

1. Необходимо стремиться к наименьшему количеству операций и увеличению их производительности. Исключение составляет мелкосерийное производство, где уменьшение количества операций приводит к необходимости изготовления дорогостоящих штампов.

2. Последовательность операций может зависеть от требуемой точности деталей. Так, при изготовлении изогнутой детали с отверстиями с невысокой точностью их взаимного положения пробивку следует производить в плоской заготовке; в случае же высокой точности, превышающей погрешности при гибке, пробивку отверстий, как правило, следует производить после гибки.

3. Количество последовательных операций вытяжки зависит от относительной глубины детали и определяется общеизвестными методами по оптимальной величине коэффициентов вытяжки [1 - 4, 14 - 19].

4. При повышенных требованиях к геометрической форме плоских деталей следует предусматривать их правку в штампах.

5. Для деталей, требующих повышенной чистоты поверхности среза, следует применять зачистку после вырубки или чистовую вырубку.

6. При изготовлении неглубоких полых деталей с фланцем, но без дна, предпочтение отдается операции отбортовки перед вытяжкой. В случае высокой стенки борта желательно применять неглубокую вытяжку с последующей пробивкой и отбортовкой дна или отбортовку с утонением стенок.

7. При изготовлении полых или гнутых деталей с острым углом вместо закругления или с радиусом закругления меньше минимального необходимо после вытяжки или гибки применять операцию калибровки.

Обязательные инженерные расчеты, связанные с определением количества и последовательности операций и операционных размеров

При разработке технологических процессов на разделительные формоизменяющие и комбинированные операции штамповки необходимо выполнение следующих расчетов.

О п е р а ц и я в ы р у б к и и п р о б и в к и:

выбор припуска и числа переходов для операций чистовой вырубki и зачистки [2, 4, 27];

выбор припуска на обрезку промежутков между шаблонами при вырезке резиной [1].

О п е р а ц и я г и б к и:

определение величины минимально допустимого радиуса гибки [15, 16, 17];

определение угла пружинения или радиуса закругления гибочного штампа [9, 15, 18];

О п е р а ц и я в ы т я ж к и (с утонением и без утонения):

определение предельных коэффициентов вытяжки [1-4, 16, 19, 27];

определение числа операций и их последовательности [1, 2, 3, 4];

определение межоперационных размеров [1, 2, 27].

О п е р а ц и я о т б о р т о в к и, р а с т я ж к и,

о б ж и м к и:

определение предельных коэффициентов деформации [1-4, 17, 19, 27]

определение величины изменения толщины стенки и сравнение ее с допустимой величиной [1, 2, 3, 4].

6. Определение силовых параметров процесса штамповки и выбор деформирующего оборудования

Штамповка деталей из листовых заготовок может осуществляться на механических и гидравлических прессах, на специализированном оборудовании (обтяжных прессах, профилировочных, профилегбочных и др.



станках), а также на установках высокоскоростной штамповки с использованием концентрированной энергии варьина, высоковольтного электрогидравлического разряда, импульсного магнитного поля.

Для выбора прессового оборудования необходимо знать величины усилия и работы деформации на всех штамповочных операциях (гидравлические прессы выбираются только по усилию деформации). В ряде случаев усилие деформации необходимо для расчета элементов конструкции штампов. Усилие и работа деформации определяются по известным выражениям [1,2,3].

Следует помнить, что в суммарном усилии и работе деформации должны найти место усилие и работа, затраченные на прижим, протавкивание и снятие детали или заготовки.

Выбор оборудования для высокоскоростной штамповки осуществляется по величине потребной работы деформации для каждой выполняемой операции.

### Выбор прессового оборудования

Основными техническими параметрами для выбора прессы являются усилие, работа, величина хода, закрытая высота и размеры стола прессы.

Номинальное усилие прессы обычно не соответствует точно расчетному. Поэтому берут пресс несколько большего усилия, чем требуется по расчету. Это обеспечивает повышенную жесткость станины и, следовательно, большую стойкость штампов.

Обычно каталожные и паспортные данные приводят величину номинального усилия  $P_{ном}$  кривошипных прессов, создаваемого в момент, когда ползуны не доходит до нижней мертвой точки на  $0,05 + 0,07$  хода. Это необходимо учитывать при операциях, требующих большой величины рабочего хода, так как усилие, развиваемое прессом в начале операции, будет меньше номинального.

Приближенно можно считать, что наибольшее усилие вытяжки должно составлять: при глубокой вытяжке ( $0,5 - 0,6$ )  $P_{ном}$ , при неглубокой - ( $0,7 + 0,8$ )  $P_{ном}$ .

Работа, осуществляемая прессом, складывается из полезной энергии маховика и небольших потерь на трение и упругое пружинение станины прессы. Маховик прессы при резком увеличении рабочего усилия отдает ранее накопленную энергию на выполнение требуемой деформации. При

проверке прессы по работе (мощности) должно быть выполнено соотношение

$$A_{пр} \geq A_{потр.},$$

где  $A_{пр}$  - работа прессы;

$A_{потр}$  - потребная работа на операцию, складываемая из работы деформации и работы на сжатие буфера, прижима, выталкивателя и т.п.

Работа прессы может быть рассчитана аналитически: при работе одиночными ходами

$$A_0 = \frac{GD^2 n_0^2}{19700} \text{ кгм};$$

при непрерывной работе

$$A_H = \frac{GD^2 n_0^2}{37400} \text{ кгм},$$

где  $G$  - вес маховика, кг;

$D$  - диаметр инерции маховика, м (приблизительно наружный диаметр, может быть взят из каталога);

$n_0$  - номинальное число оборотов маховика в мин.

В зависимости от номинального усилия прессы его работу можно определить из табл. 20I [I].

Выбор прессы по величине хода имеет особое значение для вытяжных и гибочных работ. Обычно для вытяжки величина хода берется в 2,5 раза больше величины вытягиваемой детали, чтобы обеспечить удобство установки заготовки и удаления готовой детали.

Выбор прессы по закрытой высоте заключается в согласовании закрытой высоты штампа с закрытой высотой прессы. Размер закрытой высоты штампа  $H_{ум}$  (в нижнем рабочем положении) должен находиться в пределах между наибольшей  $H_{max}$  и наименьшей  $H_{min}$  закрытой высотой прессы.

Обычно берут

$$H_{max} - 5 \text{ мм} \geq H_{ум} \geq H_{min} + 10 \text{ мм}.$$

Размеры стола прессы должны соответствовать размерам штампа.

#### Выбор оборудования для высокоскоростной штамповки

Рассмотрим методику выбора оборудования для электрогидравлической и электромагнитной штамповки (ЭГШ и ЭМШ).



Как известно, установки для этих процессов представляют собой  $RLC$  генераторы импульсных токов, заряд которых от источника до необходимой энергии  $W$  происходит аналогично для обоих процессов. Энергию, запасенную установкой, можно выразить через параметры установки соотношением

$$W = \frac{Cu^2}{2}, \quad (1)$$

где  $C$  - ёмкость батареи конденсаторов установки;  
 $u$  - напряжение заряда конденсаторов.

В промышленных установках емкость батареи конденсаторов  $C$  обычно величина постоянная, а напряжение заряда  $u$  - переменная и может изменяться от некоторой минимальной до максимальной величины  $u_{max}$ , характеризующей предельную энергию разряда

$$W_{max} = \frac{Cu_{max}^2}{2}.$$

Обычно численная величина этой энергии (в кДж) отражена в маркировке отечественных импульсных установок.

Например: ПЭГ-100 - пресс электрогидравлический с энергоемкостью зарядного блока 100 кДж; МИУ-20 - магнитно-импульсная установка с энергоемкостью зарядного блока 20 кДж.

Величина потребной энергии заряда установки может быть выражена через работу деформации  $A_{деф}$ .

$$W = \frac{A_{деф}}{\eta}, \quad (2)$$

где  $\eta$  - КПД процесса высокоскоростного деформирования.

Из равенства (1) и (2) можно определить величину напряжения заряда батареи конденсаторов  $u$

$$u = \sqrt{\frac{2A_{деф}}{C\eta}}. \quad (3)$$

В полученном выражении неизвестной величиной будет только работа деформации  $A_{деф}$ , так как величина  $C$  является характеристикой установки, а  $\eta$  зависит от конфигурации штампуемой детали и определяется из опыта (табл. I.4).

Таблица I.4

КПД процессов раздачи цилиндрических деталей и формообразования деталей днищ (в процентах)

Детали	Пороховые ВВ	Детонирующие ВВ	ЭГШ	ЭМШ	Гидравли- ческие прес- сы
Днища	2,5	11	15	5	20
Цилиндры	5,0	16	19	5	-

Известно, что площадь диаграммы испытаний стандартных образцов на разрыв пропорциональна работе, затраченной на деформирование образца.

Обозначим через  $P$  усилие деформирования, а через  $d\ell$  приращение длины образца в результате растяжения и запишем выражение для работы в виде

$$dA_{\text{деф}} = Pd(\Delta\ell). \quad (4)$$

Если правую и левую части уравнения (4) разделить на объем деформируемого металла  $V = F\ell$ , то получим удельную работу  $da$  деформирования

$$da = \frac{dA_{\text{деф}}}{F\ell} = \frac{P}{F} \frac{d(\Delta\ell)}{\ell} = \sigma d\varepsilon. \quad (5)$$

С учетом упрочнения по степенному закону  $\sigma = K\varepsilon^n$  можно получить полную удельную работу деформирования

$$a = K \int_0^{\delta_K} \varepsilon^n d\varepsilon = \frac{K}{n+1} \delta_K^{n+1}. \quad (6)$$

Общую работу деформирования образца можно выразить формулой

$$A_{\text{деф}} = VK \int_0^{\delta_K} \varepsilon^n d\varepsilon = \frac{VK}{n+1} \delta_K^{n+1}, \quad (7)$$

где  $n$  - показатель упрочнения материала (табл. I.5);  
 $K$  - константа материала (табл. I.5);  
 $\delta_K$  - конечное относительное удлинение образца (в момент разрыва).

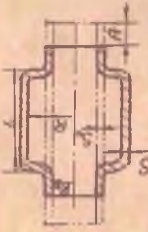
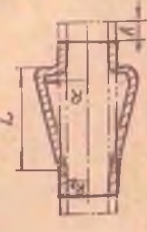
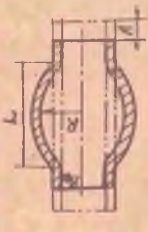
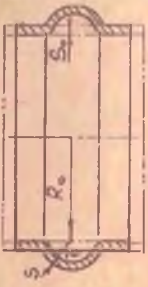
Таблица I.5

Значение констант  $K$  и  $n$  для некоторых материалов [9]

Марка материала	Состояние материала	$K$		Марка материала	Состояние материала	$K$	
		$\sigma$	$n$			$\sigma$	$n$
АМЦМ	Отожжен	24,7	0,255	25ХГСА	Отожжен	102	0,161
Д16АМ	"	36,5	0,236	30ХГСА	"	111	0,166
Д16АТ	Закален	71,2	0,17	30ХГСА	"	120	0,169
В95АМ	Отожжен	38,7	0,239	1Х18Н9Т	Закален (мягкий)	115	0,239
В95АТ	Закален	80	0,125	ЭИ654Н	Нагартов.	128	0,107
АМГ6М	Отожжен	57,4	0,23	М1, М2, М3	Отожжен	48,8	0,327
МА1-М	"	49	0,265	Л96	"	51,5	0,36
МА8-М	"	40,2	0,15	Л90	"	44,3	0,213
ВТ1-2	"	90	0,1	Л80	"	57,7	0,273
ОТ4	"	110	0,095	Л68	"	64,8	0,321
ВТ5-1	"	124	0,094	Л62	"	73,3	0,329
ВТ14	"	141	0,0985	ЛС59-1	"	84	0,307
3, 3А, 3АА	Нормализ.	48	0,177	ЛМц58-2	"	91	0,309
08кп	"	59	0,156	Л062-1	"	69	0,24
10	"	61,9	0,158	Бр.0Ф6,5-0,15	"	67,8	0,206
15	"	68	0,155	Бр.0Ц4-3	"	75,2	0,332
20	"	74,8	0,161	Бр.0Ц4-4-2,5	"	57,3	0,265
35	"	91	0,161	Бр.КМЦ3-1	"	68,2	0,219
45	"	109	0,17	Бр.АМц9-2	"	59,2	0,128
10Г2А	Отожжен	78	0,163	Бр.А5	"	67,8	0,257
12Г2А	"	88	0,165	Бр.Б2	Закален (мягкий)	69,3	0,155

Таблица I.6

## Уравнения энергии деформации [7]

Виды детали	Эскиз детали	Уравнение деформации	Уравнение энергии деформации
Разделенный цилиндр		$\Sigma_A = \frac{R}{R_0} - 1$	$A_{\text{деф}} = 2\pi R L S_0 \left(\frac{K}{n+1}\right) e^{-0.9 \Sigma_A^{n+1}} \Sigma_A$
Разделенный конус		$\Sigma_A = \frac{1}{2} \left( \frac{R}{R_0} - 1 \right)$	$A_{\text{деф}} = \pi (R_0 + R) L S_0 \left(\frac{K}{n+1}\right) e^{-0.9 \Sigma_A^{n+1}} \Sigma_A$
Сфера		$\Sigma_A = \frac{1}{\sqrt{2}} \left( \frac{R}{R_0} - 1 \right)$	$A_{\text{деф}} = 2\pi (4R^2 - R_0^2) S_0 \left(\frac{K}{n+1}\right) e^{-0.9 \Sigma_A^{n+1}} \Sigma_A$
Выпуклый рифл		$\Sigma_A = \frac{\pi}{4} \frac{R}{R_0}$	$A_{\text{деф}} = 4\pi z \left(\frac{\pi}{2} R + z\right) S_0 \left(\frac{K}{n+1}\right) e^{-0.9 \Sigma_A^{n+1}} \Sigma_A$



Как видно из приведенного, определение работы деформирования для линейного растяжения не представляет трудностей.

В операциях листовой штамповки, когда имеет место сложное напряженно-деформированное состояние, определение  $A_{деф.}$  затруднительно. В этих случаях для уравнения следует принимать обобщенную деформацию, т.е. интенсивность деформации  $\epsilon_i$ , выражаемую уравнением

$$\epsilon_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\epsilon_p - \epsilon_z)^2 + (\epsilon_z - \epsilon_\theta)^2 + (\epsilon_\theta - \epsilon_p)^2},$$

где  $\epsilon_p, \epsilon_\theta, \epsilon_z$  - деформации в направлении длины, ширины и толщины соответственно.

При решении практических задач для упрощения интенсивность деформации  $\epsilon_i$  можно заменить средней интенсивностью  $\epsilon_{i ср}$ .

В табл. I.6 приведены уравнения для определения энергии деформации при раздаче цилиндрических заготовок.

Рассмотренная методика определения параметров оборудования для МШ и ЭМШ в принципе применима и к расчету процессов штамповки с помощью энергии взрыва.

Зная энергию  $W_{вз}$ , выделяющуюся при взрыве ед. массы взрывчатого вещества, и КПД установки, можно определить массу  $M$  шпирда на основании уравнения (2)

$$W_{взр} = MW_{вз} = \frac{A_{деф}}{\eta}, \quad M = \frac{A_{деф}}{\eta W_{вз}}$$

Энергия, выделяющаяся при взрыве некоторых взрывчатых веществ, приведена в табл. I.7.

Таблица I.7

Энергия, выделяющаяся при взрыве 1 кг некоторых взрывчатых веществ

Взрывчатые вещества	Состояние ВВ	Энергия взрыва кГм/кг
Тротил	Прессованный	431000
	Литой	431000
Аммонит №7	Порошкообразный, патронированный	427000
Аммонит №6ЖВ	То же	438000
Аммонит скальный № I	Прессованный	542000
Аммонал водоустойчивый	Порошкообразный, патронированный	494000

## 7. Выбор оптимального варианта технологического процесса

Возможность изготовления детали несколькими способами в значительной степени расширяет область применения процессов холодной штамповки. Однако длительность подготовки производства и стоимость штамповой оснастки требуют тщательного обоснования выбранного варианта технологического процесса.

Рассматриваемые варианты следует анализировать по экономическим, техническим и организационным показателям.

В основе экономического анализа лежит сопоставление так называемой технологической себестоимости детали. Выбирают технологический процесс, обеспечивающий наименьшую себестоимость.

При сравнении технологических процессов по техническим показателям предпочтение следует отдавать варианту, обеспечивающему высшее качество изготавливаемой детали как в соблюдении геометрической формы и чистоты поверхности, так и в точности размеров.

При оценке вариантов с организационной точки зрения следует учитывать, насколько каждый из них соответствует организационной форме производства. Необходимо стремиться, чтобы выбранный технологический процесс обеспечивал наиболее высокую производительность труда и отсутствие ручных доводочных работ.

Одновременное обеспечение наилучшего качества продукции и ее минимальной себестоимости создает большие трудности при разработке технологических процессов. Особенно они проявляются при мелкосерийном характере производства.

Для выполнения указанных требований необходимо выбрать из нескольких возможных вариантов, обеспечивающих получение качественной детали, тот, который позволит получить продукцию с минимальной технологической себестоимостью.

В процессе работы над курсовым проектом составляется 2-3 варианта технологического процесса, которые могут отличаться качеством и последовательностью операций, степенью их совмещенности, количеством одновременно штампуемых деталей, видом применяемой заготовки (полоса, лента, лист), способом штамповки (например, в инструментальных штампах на прессах, импульсными методами, эластич-



ными средами и др.), конструкцией применяемой штамповкой оснастки, видом оборудования, степенью механизации и автоматизации процессов штамповки.

При составлении каждого варианта определяются: вид заготовки; характер, количество и последовательность операций; степень совмещенности операций; количество одновременно штампуемых деталей; тип и степень сложности конструкции штампа; технические нормы времени на выполнение каждой операции.

Технологическая себестоимость включает сумму **только** тех затрат, которые изменяются в зависимости от рассматриваемого варианта процесса, и определяется выражением

$$C_T = C_M + C_3 + C_{\omega} + C_0 ,$$

- где  $C_M$  - стоимость материала на одну деталь;  
 $C_3$  - заработная плата основных рабочих;  
 $C_{\omega}$  - расходы на штамповую оснастку;  
 $C_0$  - расходы на оборудование.

При сопоставлении различных вариантов технологического процесса указанная номенклатура затрат может быть сокращена. Например, для многих случаев расход материала остается неизменным и его исключают из вышеприведенной формулы; при изменении раскроя с сохранением прочих факторов технологического процесса сопоставляют только расход материала и т.д.

#### Стоимость материала

$$C_M = G u - g k ,$$

- где  $G$  - вес материала на одну деталь, кг;  
 $u$  - цена 1 кг материала (табл. I.8, I.9);  
 $g$  - вес отхода на одну деталь, кг;  
 $k$  - цена 1 кг отхода (табл. I.10).

$$G = \frac{Q}{m} ,$$

- где  $Q$  - вес листа, кг;  
 $m$  - количество деталей, получаемых из листа, шт;  
 $q = Q(1 - \varrho_n)$   
 (  $\varrho_n$  - коэффициент использования материала листа).

### Заработная плата основных рабочих

$$C_3 = \frac{\sum T_{шт} q}{60} K_{доп} K_{п.н} ,$$

- где  $T_{шт}$  - норма штучного времени в минутах на каждую операцию технологического процесса (табл. I.II - I.I3);  
 $q$  - часовая тарифная ставка рабочего соответствующего разряда (табл. I.I4);  
 $K_{доп} \approx 1,15$  - коэффициент, учитывающий дополнительную заработную плату и начисления;  
 $K_{п.н} = 1,0 \div 1,25$  - коэффициент переработки норм.

### Расходы на штамповую оснастку

$$C_{ш} = \sum \frac{n P_{шт} K_{шт}}{N} ,$$

- где  $P_{шт}$  - стоимость штампа на каждую операцию;  
 $K_{шт}$  - коэффициент, учитывающий затраты на ремонт штампов, равный 1,0 - 1,5 для вырубных и гибочных штампов и 1,5 - 2,0 для вытяжных;  
 $N$  - количество деталей, полученных до полного износа штампа (равное годовой программе) или до срока погашения стоимости штампа (больше годовой программы в 2-3 раза);  
 $n$  - количество штампов на операцию для выполнения годовой программы.

### Расходы на оборудование

$$C_0 = \frac{P_0 K_0}{T_{эк} \varphi_0 K_3} T_{шт} ,$$

- где  $P_0$  - стоимость оборудования;  
 $K_0$  - коэффициент, учитывающий затраты на ремонт и эксплуатацию оборудования;  
 $T_{ЭК}$  - время работы оборудования до полного износа в годах (8 лет);  
 $\varphi_0$  - действительный годовой фонд времени работы оборудования;  
 $K_3$  - коэффициент годовой загрузки оборудования.

Расходы по содержанию и эксплуатации оборудования учитываются в виде цеховой стоимости одного часа работы пресса.

Для штамповки на прессах расходы на оборудование определяются по формуле

$$C_0 = \frac{\sum T_{шт} \varphi_0}{60},$$

где  $\varphi_0$  - себестоимость одного часа работы пресса, определенная из табл. I.15.

Для определения экономически целесообразных границ применения рассматриваемых вариантов технологического процесса рекомендуется по результатам расчета технологической себестоимости изготовления детали построить график  $C_T = f(n)$  (рис. I.6).

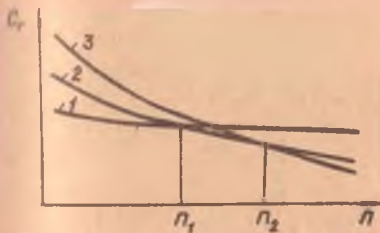


Рис. I.6. Зависимость себестоимости детали  $C_T$  от программы выпуска  $n$  (кривые 1, 2, 3 соответствуют разным вариантам технологического процесса)

наименьшую себестоимость обеспечивает вариант 3, несмотря на высокие начальные затраты на технологическую оснастку. Расчеты по при-

Как видно из графика вариант 1 не связан с большими начальными затратами на технологическую оснастку, поэтому в диапазоне программ до значения  $n_1$  он наиболее целесообразен как обеспечивающий наименьшую себестоимость детали. Для внедрения варианта 2 произведены большие затраты на технологическую оснастку, поэтому при небольших программах выпуска он невыгоден; начальные затраты оправдываются лишь в диа-

Схема планировки и организации рабочих мест

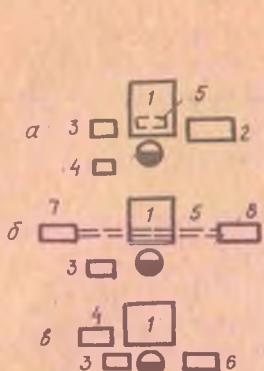


Рис.1.7 - для вертикального одно-  
стоечного пресса: а - ручная пода-  
ча полосы; б - автоматическая пода-  
ча ленты (штамповка на провал); в -  
ручная подача стучных заготовок

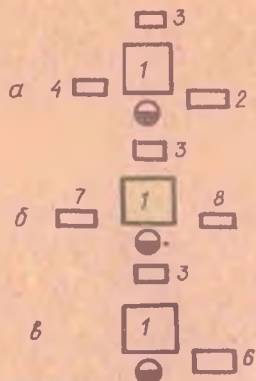


Рис.1.8 - для наклоняемого пресса  
(штамповка с обратным выталкива-  
нием): а - ручная подача полосы;  
б - автоматическая подача ленты;  
в - ручная подача стучных заготовок

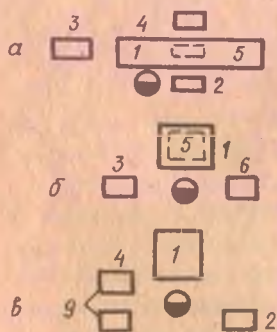


Рис.1.9 - для двухстоечного, одно-  
шатунного пресса: а - ручная подача  
полосы (поперечная); б - ручная по-  
дача мелких стучных заготовок (штам-  
повка на провал); в - ручная подача  
крупных заготовок (штамповка с обрат-  
ным выталкиванием)

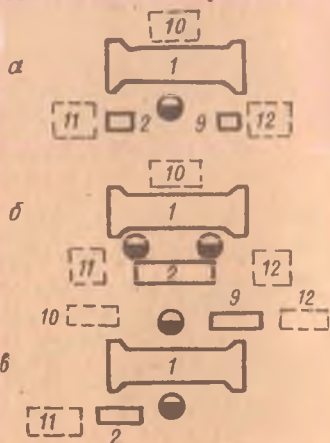


Рис.1.10 - для двухстоечного,  
двухшатунного и четырехшатун-  
ного прессов. Ручная подача  
листов и крупных стучных заго-  
товок: а, б - штамповка с обрат-  
ным выталкиванием; в - штампов-  
ка с обратным выталкиванием и  
снятие механической рукой

1 - пресс; 2 - стол для заготовок; 3 - ящик для готовых деталей;  
4 - ящик для отходов; 5 - приемный ящик (в столе пресса); 6 -  
ящик для стучных заготовок; 7 - катушка с лентой; 8 - катушка с  
отходом; 9 - стол для готовых деталей; 10 - место для складывания  
отходов; 11 - место для складывания заготовок; 12 - место для  
складывания готовых деталей



иденной методике являются приближенными. Более точные расчеты, на первой стадии разработки технологического процесса производить нецелесообразно, так как определение технологической себестоимости позволяет быстро и достаточно точно выявить наилучший вариант технологического процесса.

## 8. Организация рабочего места

Нормативами предусматривается наличие и соблюдение следующих организационно-технических условий труда:

1. Правильное разделение труда при обслуживании пресса и рабочего места.
2. Своевременное и бесперебойное обеспечение штамповщика необходимыми материалами, полуфабрикатами и инструментом.
3. Проведение необходимого инструктажа перед работой и в процессе работы.
4. Своевременный контроль продукции и проведение мероприятий по предупреждению брака.
5. Рациональная расстановка оборудования и вспомогательных устройств, обеспечивающих выполнение всех приемов (комплексов) работы с минимальной затратой времени.
6. Обеспечение своевременной и бесперебойной подачи заготовок, уборки готовых изделий и отходов.
7. Обеспечение рабочего места необходимым вспомогательным инструментом и приспособлениями (устройствами).
8. Содержание в исправном состоянии прессы, штампов, транспортных средств, подъемных механизмов и т.д.

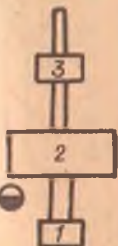


Рис. I. II. Схема организации рабочего места резчика на гильотинных ножницах: 1 - стол для листового материала; 2 - ножницы; 3 - ящик (тележка, приспособление); 4 - место для отходов; 5 - место рабочего; 6 - инструментальный шкаф

Таблица I.8

Оптовые цены на листы из алюминиевых сплавов

Марка материала	Толщина, мм	Оптовая цена за 1 т (руб)			
		Ширина, мм			
		1000, 1200	1400, 1500	1600, 1800	2000
		Длина, мм			
		от 2000 до 4000	свыше 4000 до 7000	от 2000 до 4000	свыше 14000 до 7000
Д1АМ	1,0 - 1,5	920	980	980	1030
Д1АТ	1,0 - 1,5	1130	1200	1200	1260
Д16АМ	0,5	1130	1200	1200	1250
"	1,0 - 1,5	930	990	990	1040
Д16АТ	0,5	1410	1500	1500	1530
"	1,0 - 1,5	1130	1240	1240	1300
АВТ	1,0 - 1,5	990	1050	1050	1100
АВМ	"	820	-	880	-
АМцМ, Д12М	0,5	1000	1060	1060	1130
АМцН, ММН	0,8; 0,9	920	980	980	1020
АМцП, Д12П	1,0 - 1,5	870	930	930	990
АМцГК	1,6 - 2,5	840	900	900	940
АМг2М, АМг2Н	0,5	1020	1070	1070	1150
АМг2П, АМг2ГК	1,0 - 1,5	880	940	940	1000
АМг3М, АМг3	0,5	1150	1210	1210	1280
АМг3П, АМг3ГК	1,0 - 1,5	1000	1070	1070	1140
АМг5М, АМг5	0,5	1300	1380	1380	1450
АМг5ГК, АМг6	0,8; 0,9	1130	1210	1210	1280
АМг6М, АМг6Б					
АМг6БМ, АМг6БН	1,0 - 1,5	1060	1160	1160	1210
АМг6ГК	1,6 - 2,5	1030	1100	1100	1170
АДМ, АД1М	0,5	850	980	980	1100
АДОМ, АД					
АД1, АДО	0,8; 0,9	820	900	900	1040
АДН, АД1Н	1,0 - 1,5	810	870	870	930
АДОН, АД1ГК					
АД1ГК, АДОГК	1,6 - 2,5	800	850	850	900



Таблица I.9

Средние цены на стали и цветные металлы

Название материала	Средняя оптовая цена за 1т, руб
<b>Сталь обыкновенного качества</b>	
толстолистовая	109,03
тонколистовая	102,79
декапированная	137,58
<b>Качественная конструкционная сталь</b>	
сортовая	121,24
толстолистовая	123,76
тонколистовая	139,60
электротехническая трансформаторная	299,95
калиброванная	172,69
колднотянутая, в т.ч. серебрянка и шлифованная	201,37 1121,33
<b>Цветные металлы</b>	
медь катодная	
свинец	670
цинк	534
олово	10278
бронза	752
латунь	593
листы из титановых сплавов BT-I-I	6834
листы медные (0,40 - 0,55)	1280
листы Л62 (I - I,35 x 1000 x 2000)	1130
В95АТI (I - I,5 x 1000 x 4000)	1140
В95АМ (I - I,5 x 1000 x 4000 )	940

Таблица I.10

Цены на отходы цветных металлов и сплавов

Наименование материала	Цена за 1 тонну, руб.
Алюминий и алюминиевые сплавы	373
Магний и магниевые сплавы	315
Медь	633
Медно-цинковые сплавы	548
Бронзы оловянистые	1083
Бронзы бериллиевые	1618
Бронзы свинцовистые	355
Бронзы алюминиевые	470
Никель и медно-никелевые сплавы	2517
Титановые сплавы	900

Таблица I.11

Штучное время на штамповку деталей из полосы в открытых штампах с упором на провал (серийное производство)

№ позиции	Число двойных ходов пресса, мин.	Шаг продвижения, мм	длина полосы в мм до 2000			
			Ширина полосы в мм до			
			70	250	450	700
Время на 100 деталей в мин						
1		50	15,1	15,2	15,3	15,5
2		100	15,3	15,5	15,6	15,8
3		150	15,5	15,7	16,0	16,1
4	10	300	-	16,6	17,2	17,6
5		400	-	17,2	17,7	18,2
6		50	6,3	6,4	6,5	6,6
7		100	6,5	6,6	6,8	7,0
8		150	6,7	7,0	7,5	8,0
9	30	300	-	8,6	9,4	10,2
10		400	-	9,3	10,2	10,6
11		50	4,5	4,6	4,9	5,1
12		100	4,7	5,4	5,8	6,0
13		150	5,2	6,0	6,6	7,1
14	50	300	-	7,7	8,4	9,1
15		400	-	8,0	9,1	10,1
16		50	3,5	4,0	4,3	4,4
17		100	4,0	4,8	5,2	5,5
18	100	150	4,5	5,4	5,9	6,4
19		300	-	6,8	7,6	8,4
20		400	-	7,5	8,4	9,4

Штучное время на штамповку детали из индивидуальной заготовки при установке по упору или наружному конуру (серийное производство)

№ позиции	Число двойных ходов ползуна в минуту	Площадь заготовки в мм <sup>2</sup> до											
		0,001	0,003	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,25	0,5	1,0	2,0	4,0
Время на 100 деталей в мин													
1	10	18,1	19,0	19,6	20,5	21,9	23,8	26,3	30,6	34,1	39,9	46,1	49,7
2	10	19,3	20,5	21,4	22,3	24,0	26,6	29,2	34,2	38,5	45,5	51,8	56,1
3	20	12,1	13,0	13,6	14,5	15,9	17,9	20,3	24,6	28,1	33,9	40,1	43,7
4	20	13,3	14,5	15,4	16,3	18,0	20,6	23,2	28,3	32,5	39,6	45,8	50,1
5	30	10,2	11,1	11,6	12,5	14,0	15,9	18,4	22,7	26,2	32,0	38,2	41,8
6	30	11,3	12,5	13,5	14,4	16,0	18,6	21,2	26,3	30,6	37,6	43,8	48,1
7	40	9,2	10,1	10,6	11,5	13,0	14,9	17,4	21,7	25,2	31,0	37,2	40,8
8	40	10,4	11,5	12,4	13,3	15,0	17,6	20,2	25,3	29,6	36,0	42,8	47,1
9	50	8,6	9,5	10,1	11,0	12,4	14,3	16,8	21,1	24,6	30,4	36,6	40,2
10	50	9,8	11,0	11,9	12,8	14,5	17,1	19,7	24,7	29,0	36,0	42,3	46,6
11	75	7,8	8,7	9,3	10,2	11,6	13,6	16,0	20,3	23,8	29,3	35,8	39,4
12	75	9,0	10,2	11,1	12,0	13,7	16,3	18,9	24,0	28,3	35,3	41,5	45,8
13	100	7,5	8,4	8,9	9,8	11,3	13,2	15,7	20,0	23,5	29,3	35,5	39,1
14	100	8,7	9,8	10,7	11,6	13,3	15,9	18,5	23,6	27,9	34,9	41,1	45,4
15	150	7,0	7,9	8,5	9,4	10,8	12,8	15,3	19,5	23,1	28,8	35,0	38,6
16	150	8,2	9,4	10,3	11,2	12,9	15,5	18,1	23,2	27,5	34,5	40,7	45,0

Таблица I.13

Вспомогательное время Установка рулона ленты в приспособление пресса	Холодная штамповка
	Массовое и крупносерийное производство
	Лист I

Содержание работы

1. Взять и поднести рулон на расстояние до 1 м.
2. Установить рулон в приспособление пресса (катушку или бунтодержатель).
3. Перерезать вязку проволоки диаметром до 3 мм ножницами.
4. Вытянуть, протереть и заправить конец ленты в штамп до постоянного или временного упора.
5. Включить пресс.

№ позиции	Вес рулона в кг до			
	8	20	25	50
Время на рулон в мин				
I	2,25	2,65	2,85	3,65

Вспомогательное время Снятие отштампованной ленты с наматывателя	Холодная штамповка
	Массовое и крупносерийное производство
	Лист 2

Содержание работы

1. Открепить остаток ленты в приспособлении.
2. Снять остаток с катушки или бунтодержателя.
3. Связать отход ленты проволокой.
4. Отложить отход ленты.

№ позиции	Вес отхода ленты в кг до			
	5	10	15	20
Время на рулон в мин				
I	0,35	0,40	0,45	0,5

- Примечания.
1. Для подсчета нормы штучного времени на деталь табличное время делить на количество деталей, получаемых из рулона ленты.
  2. К табличному времени добавлять 0,02 мин за каждый дополнительный метр перемещения груза и 0,015 мин за каждый метр дополнительного перемещения без груза.
  3. При весе рулона от 20 до 50 кг его установка в приспособление производится двумя рабочими.



Таблица I.14.

Часовые тарифные ставки (в копейках)

Группа рабочих	Р а з р я д					
	I	II	III	IV	V	VI
Повременщики на "холодных работах"	34,4	36,6	37,8	40,7	47,3	55
Сдельщики на "холодных" работах	35,8	37,8	41,3	47,4	55	64

Таблица I.15

Нормативные данные по цеховой себестоимости одного часа работы некоторых типов прессов (без стоимости штампов)

Тип и модель пресса	Цеховая себестоимость I часа работы пресса, коп.
Однокривошипный, одностоечный KI13 усилием 25 тс	I26 - I41
Однокривошипный, одностоечный KI24A усилием 40 тс	I53 - I81
Двухстоечный наклоняемый K234A усилием 40 тс	I53 - I78
Двухстоечный наклоняемый KA237 усилием 100 тс	I87 - 217
Однокривошипный закрытого типа KA254 усилием 250 тс	330 - 394
Двухкривошипный закрытого типа K365 усилием 500 тс	462
Четырехкривошипный закрытого типа K665 усилием 800 тс	798 - 953
Однокривошипный двойного действия K47I усилием 100 тс	203 - 234
Многопозиционный A82I усилием 20 тс	I47 - I57
Многопозиционный A823 усилием 80 тс	236 - 261

9. Как правило, в массовом и крупносерийном производстве установка, наладка и снятие штампов, пуансонов и другой оснастки производится специальными установщиками-наладчиками (самостоятельно или при участии рабочего).

Ю. Использование разнообразных приспособлений к штампам, прессам и ножницам, которые облегчают выполнение ручных приемов (валковязная подача, роликовая, встроенная в штамп и др.) при штамповке из первичных заготовок и рулонного материала; при штамповке вторичных заготовок (револьверная подача с приводом от машины, шибера, грейферная, револьверная подача с индивидуальным приводом, механические "руки", листоукладчики маятниковые, съемники лоткового типа средних прессов, пневмоукладчики и т.д.).

II. Работы выполняются рабочими, имеющими необходимую квалификацию, уровень производительности труда которых превышает среднюю производительность труда рабочих, занятых на аналогичных работах, и соответствует устойчивым показателям передовых рабочих, а не отдельным рекордным достижениям.

Схема планировки и организации рабочих мест для основных типов прессов приведены на рис. I.7 - I.II.

## 9. Средства механизации и автоматизации

Для повышения производительности процесса и качества деталей, снижения объема ручных работ, а также для повышения безопасности в процессах холодной штамповки широко применяются механизация и автоматизация.

В курсовом проекте, по указанию руководителя, может найти отражение разработка систем по механизации и автоматизации процесса.

### Ш. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ШТАМПОВОЙ ОСНАСТКИ

#### Г. Выбор типа штампа

По технологическому признаку штампы разделяются на типовые группы по роду выполняемых операций и по совмещенности их.

По совмещенности операций штампы разделяются на простые (однооперационные) и комбинированные (многооперационные).

Комбинированные штампы по характеру совмещения операций (переходов) во времени разделяются на штампы: последовательного, совмещенного и последовательно-совмещенного действия.

По конструктивному признаку штампы разделяются на две группы: штампы без направления, штампы с направляющими устройствами.

Штампы без направления более просты, но неудобны при установке, небезопасны в эксплуатации и обладают невысокой стойкостью. Вырубные штампы без направляющих применяются только в мелкосерийном и опытно-производственных. В серийном производстве они применяются для простой гибки, вытяжки и выдавливания.

Штампы с направляющими более сложны в изготовлении, но просты и надежны в эксплуатации, удобны при установке, обладают повышенной стойкостью. Применяются они в серийном, крупносерийном и массовом производстве.

По эксплуатационному признаку, определяемому приемами работ, штампы различаются:

- по способу подачи и установки заготовок;
- по способу удаления деталей;
- по способам удаления отходов.

По способу подачи и установки заготовок различают штампы с ручной и с автоматической подачей, являющейся принадлежностью штампа или пресса. Штампы с ручной подачей отличаются один от другого лишь конструкцией применяемого упора или фиксатора, а с автоматической — по типу подачи ленты или штучных заготовок.

По способу удаления деталей различают штампы:

- с провалом деталей через отверстие в матрице;
- с обратной вставкой деталей в ленту и удалением вместе с ней;
- с обратным выталкиванием деталей на поверхность штампа и ручным удалением;

с обратным выталкиванием деталей и автоматическим удалением — сбрасыванием (обратное выталкивание осуществляется от пружин выбрасывателя и выталкивателя, от буфера или от пресса).

Эти различия одновременно являются и конструктивными, так как в значительной мере определяют конструкцию штампов.

Способы удаления отходов могут быть различными:

- в виде остатков полосы или ленты;
- вручную (главным образом у крупных деталей);
- разрушается на две или три части и сваливается (при обрезке);
- автоматически посредством механических, пружинных или пневматических сбрасывателей (главным образом в массовом производстве).

## 2. Производство конструктивных расчетов

В процессе конструирования является обязательным выполнение следующих расчетов.

### Расчеты геометрических размеров штампа и его деталей

Сюда входят:

определение центра давления штампа. Для вырубных и пробивных штампов, имеющих несимметричный контур, для штампов последовательного действия [1, 2, 3, 27];

определение закрытой высоты штампа. Для всех штампов;

определение исполнительных размеров рабочего инструмента (пуансона и матрицы). Для всех проектируемых штампов [1, 27];

Расчет упругих элементов. Для штампов, имеющих упругие элементы [1, 27].

### Расчет исполнительных размеров матриц и пуансонов вырезных и пробивных штампов

В зависимости от принятой технологии изготовления штампов применяются следующие методы расчетов:

определение исполнительных размеров матрицы для вырезки контура и пуансона для пробивки отверстия. Соответственно вторая рабочая деталь дорабатывается по первой с заданным зазором  $\delta$  ;



определение исполнительных размеров пуансонов для вырезки контура и для пробивки отверстия. Матрица дорабатывается по пуансонам с зазором  $z$  (способ изготовления матрицы по оттиску пуансона);

определение исполнительных размеров матрицы и пуансона при раздельном способе их изготовления. Этот способ изготовления рекомендуется при крупном рабочем контуре и при допусках на штампуемую деталь не выше 4-го класса точности.

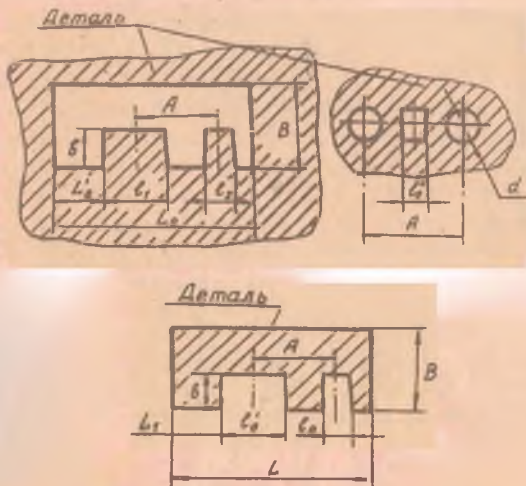


Рис. I. I2. К расчету исполнительных размеров матриц и пуансонов пробивных и вырезных штампов по таблице I. I6

Наружный контур или отверстие штампуемой детали, имеющей сложную конфигурацию, при расчете исполнительных размеров следует разделить на элементы, размеры которых при износе штампа уменьшаются, увеличиваются или не изменяются.

Исполнительные размеры рассчитываются с учетом сохранения максимально допустимых припусков на износ матрицы и пуансона (рис. I. I2). Расчетные формулы приведены в табл. I. I6.

Таблица I.16

Номинальные размеры детали (обозначения по рис. 1.12)	Допуски	Расчетные формулы	
		Для врезки контура При доработке пуансона по матрице	Для пробивки отверстий При доработке матрицы по пуансону
Уменьшающиеся при износе штампа $L_0; c_0; L_0; B_0; L_0; L_0; u d$	Односторонние (+или-)	$L_N = (L_N + \Pi) - \delta_N$ (I)	$L_N = (L_N + \Pi) - \delta_N$ (3)
		$L_N = (L_N - Z)$ (Ia)	$L_N = L_N + Z$ (3a)
Увеличивающиеся при износе штампа $L; L_1; B; c; u c_2$		$L_N = (L_N - \Pi) + \delta_N$ (4)	$L_N = (L_N - \Pi) + \delta_N$ (6)
		$L_N = L_N - Z$ (4a)	$L_N = L_N + Z$ (6a)
Не изменяющиеся при износе штампа $A$ и $B$		$L_N$ или $L_N = L_N \pm 0,5 \Delta$	(7) - при плюсовом допуске на деталь
		$L_N$ или $L_N = L_N - 0,5 \Delta$	(8) - при минусовом допуске на деталь
Уменьшающиеся при износе штампа $L_0; c_0; L_0; B_0; L_0; L_0; u d$	Двусторонние, симметричные	$L_N = L_N \pm 0,2 \Delta$ (9)	$L_N = (L_N + Z) \pm 0,2 \Delta$ (10)
		$L_N = L_N - Z$ (9a)	$L_N = (L_N - Z) \pm 0,2 \Delta$ (11)
Увеличивающиеся при износе штампа $L; L_1; B; L_1; u c_1$	(±)	$L_N$ или $L_N = L_N \pm 0,5 \Delta$	$L_N = L_N + Z$ (12a)
		$L_N$ или $L_N = L_N - 0,5 \Delta$	(13)

В таблице приняты следующие условные обозначения:

- $L_M, L_n$  - номинальные размеры матрицы и пуансона;
- $L_n$  - номинальные размеры штампуемой детали;
- $\Pi$  - припуск на износ матриц и пуансонов (табл. I.I7);
- $z$  - зазор между матрицей и пуансоном (двусторонний);
- $\delta_M$  и  $\delta_n$  - допуски на изготовление матриц и пуансонов (при совместном изготовлении матриц и пуансонов по табл. I.I7 при раздельном изготовлении - по табл. I.I8);
- $\Delta$  - допуск на штампуемые детали.

Примечания. I. При раздельном изготовлении матриц и пуансонов исполнительные размеры, подсчитанные по формулам с индексом "а", следует указывать соответственно с допуском  $\delta_M$  или  $\delta_n$ .

2. При допусках на деталь  $D_{-\Delta_2}$  или  $d_{+\Delta_2}$  номинальные размеры пересчитываются:

$$D_n = (D - \Delta_1) - (\Delta_2 - \Delta_1); \quad d_n = (d + \Delta_1) + (\Delta_2 - \Delta_1),$$

где  $D$  - диаметр контура;  $d$  - диаметр отверстия.

В табл. I.I7 даны допуски на детали, штампуемые по 3, 4, 5 и 7-му классам точности, припуски на износ пуансонов и матриц и допуски на их изготовление (при совместном изготовлении матриц и пуансонов). Припуски на износ установлены в зависимости от допусков на штампуемые детали, а именно:

$$\begin{aligned} \text{при } \Delta \leq 0,1 \quad & \dots \quad \Pi = \Delta; \\ \text{при } \Delta > 0,1 \quad & \dots \quad \Pi \approx 0,8 \Delta. \end{aligned}$$

При расчете исполнительных размеров величина припуска может быть принята такой  $\Pi_{min} \approx 0,5 \Delta$ ,  $\Pi_{max} = \Delta$ .

При раздельном изготовлении круглых матриц и пуансонов допуски на их изготовление принимаются по табл. I.I8.

### Расчет исполнительных размеров рабочих деталей вытяжных штампов

Допуски на изделия при многооперационной вытяжке следует учитывать лишь на конечных операциях. Исполнительные размеры матриц на остальных операциях вытяжки назначаются с учетом коэффициентов вытяжки с округлением до первого десятичного знака. Размеры пуансонов устанавливаются с учетом величины принятого зазора.

Таблица I.17

Допуски на штампуемые детали по 3, 4, 5 и 7-му классу точн.	Припуски на износ $\Pi$	Допуски на изготовление		Допуски на штампуемые детали по 3, 4, 5 и 7-му классу точн.	Припуски на износ $\Pi$	Допуски на изготовление	
		матриц $\delta_m$	пуансонов $\delta_n$			матриц $\delta_m$	пуансонов $\delta_n$
$\Delta$				$\Delta$			
0,020		0,006	0,004	0,260			
0,025		0,008	0,005	0,280	0,20		0,045
0,030		0,009	0,006	0,300			
0,035		0,011	0,008	0,340	0,25		0,060
0,040				0,360			
0,045	$n = 4$	0,013	0,009	0,380	0,30		0,080
0,050		0,015	0,011	0,400			
0,060		0,018	0,013	0,430	0,35		0,100
0,070		0,021	0,015	0,460			
0,080		0,024	0,018	0,520	0,40		0,120
0,090		0,027	0,020	0,530			
0,100		0,030	0,022	0,600	0,50		0,140
0,120	0,10			0,620			
0,140	0,12			0,680	0,55		
0,160	0,14		0,030	0,740			0,170
0,170				0,760	0,60		
0,200	0,16	0,035		0,870	0,70		0,200
0,230	0,18		0,035	1,000	0,80		
0,240				1,150	0,90		0,260
0,250				1,350			
				1,550	1,25		0,300

Примечания. 1. В случае применения для штампов матриц с конусными рабочими отверстиями (тип Ш рис. I.14) припуск на износ принимается равным допуску на штампуемую деталь.

2. Предельные отклонения размеров штампуемых деталей, изготовляемых по 7-му классу точности и неограниченных допусками:

охватывающих - по  $A_7$ ,

охватываемых - по  $B_7$ , прочих  $\pm \frac{I}{2}$  ( $A_7 = B_7$ ).



Таблица 13

Номи- нальные диамет- ры	Наименова- ние рабо- чих дета- лей штамп	Толщина материала				
		свыше 0,5 до 1,0	свыше 1 до 2	свыше 2 до 3	свыше 3 до 6	свыше 6
свы- ше	до	Допуски на изготовление матриц и пуансона				
1	3	Матрица	A / + 0, 0 1 0 /		—	
		Пуансон	C / - 0, 0 0 6 /		—	
3	6	Матрица	A / + 0, 0 1 3 /		A <sub>3</sub> / + 0, 025 /	—
		Пуансон	C / - 0, 0 0 8 /		C <sub>3</sub> / - 0, 025 /	—
6	10	Матрица	A / + 0, 0 1 6 /		A <sub>3</sub> / + 0, 0 3 0 /	
		Пуансон	C / - 0, 0 1 0 /		C <sub>3</sub> / - 0, 0 3 0 /	
10	18	Матрица	A / + 0, 0 1 9 /		A <sub>3</sub> / + 0, 0 3 5 /	
		Пуансон	C / - 0, 0 1 2 /		C <sub>3</sub> / - 0, 0 3 5 /	
13	30	Матрица	A / + 0, 0 2 3 /		A <sub>3</sub> / + 0, 0 4 5 /	
		Пуансон	C / - 0, 0 1 4 /		C <sub>3</sub> / - 0, 0 4 5 /	
30	50	Матрица	—	A / + 0, 027 /	A <sub>3</sub> / + 0, 0 5 0 /	
		Пуансон	—	C / - 0, 017 /	C <sub>3</sub> / - 0, 0 5 0 /	
50	80	Матрица	—	A / + 0, 030 /	A <sub>3</sub> / + 0, 0 6 0 /	
		Пуансон	—	C / - 0, 020 /	C <sub>3</sub> / - 0, 0 6 0 /	
30	120	Матрица	—	A / + 0, 035 /	A <sub>3</sub> / + 0, 0 7 0 /	
		Пуансон	—	C / - 0, 023 /	C <sub>3</sub> / - 0, 0 7 0 /	
120	180	Матрица	—	A / + 0, 040 /	A <sub>3</sub> / + 0, 0 8 0 /	
		Пуансон	—	C / - 0, 027 /	C <sub>3</sub> / - 0, 0 8 0 /	
130	260	Матрица	—	A / + 0, 045 /	A <sub>3</sub> / + 0, 0 9 0 /	
		Пуансон	—	C / - 0, 030 /	C <sub>3</sub> / - 0, 0 9 0 /	
260	300	Матрица	—	A / + 0, 050 /	A <sub>3</sub> / + 0, 1 0 0 /	
		Пуансон	—	C / - 0, 035 /	C <sub>3</sub> / - 0, 0 9 0 /	
360	500	Матрица	—	A / + 0, 060 /	A <sub>2B</sub> / + 0, 095 /	A <sub>3</sub> / + 0, 120 /
		Пуансон	—	C / - 0, 040 /	C <sub>2B</sub> / - 0, 062 /	C <sub>3</sub> / - 0, 120 /

В табл. I.19 приведены величины односторонних зазоров при вытяжке круглых деталей, в табл. I.20 - величины односторонних зазоров для прямоугольных деталей.

Таблица I.19.

Коэффициент вытяжки $m$ ,	Односторонний зазор при вытяжке тел вращения $\frac{z}{2}$ , мм
От 0,45 до 0,65	(I,1 + I,2)S
Свыше 0,65 до 0,75	(I,0 + I,1)S
Свыше 0,75 до 0,85	(I,0 + I,05)S
Свыше 0,85 до 0,90	S

Таблица I.20

Коэффициент вытяжки $m$ ,	Односторонний зазор при вытяжке прямоугольных деталей, мм	
	на прямых участках $\frac{z}{2}$	на угловых участках $\frac{z}{2}$ угла
Свыше 0,35 до 0,40	(0,95 + I,0) S	(I,0 + I,1)S
" 0,40 до 0,45		(I,0 + I,08)S
" 0,45 до 0,50		(I,0 + I,06)S
" 0,50 до 0,90		(I,0 - I,05)S

Исполнительные размеры матриц  $L$  м (в миллиметрах) и пуансонов  $L_n$  вытяжных штампов на последней операции следует подсчитывать по следующим формулам:

а) при наличии допуска на наружный размер детали (рис. I.13)

$$L_n = (L - \Delta)^{+\delta_n}; \quad B_n = (B - \Delta)^{+\delta_n};$$

$$L_n = (L - \Delta - z)_{-\delta_n}; \quad B_n = (B - \Delta - z)_{-\delta_n}.$$

Радиусы угловых участков (в плане) матрицы  $z_{ym}$  и пуансона  $z_{yn}$  штампов для вытяжки деталей прямоугольной формы подсчитываются по формулам:

$$z_{ym} = z_n - \Delta,$$

$$z_{yn} = z_{yn} - \frac{z_{ygn}}{2};$$

б) при наличии допуска на внутренний размер детали

$$L_n = (L + 0,5\Delta) - \delta_n; \quad B_n = (B + 0,5\Delta) - \delta_n;$$

$$L_m = (L + 0,5\Delta + z) + \delta_m; \quad B_m = (B + 0,5\Delta + z) + \delta_m$$

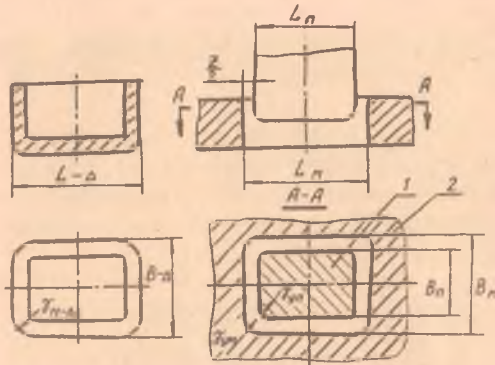


Рис. I.13. К расчету исполнительных размеров матриц и пуансонов вытяжных штампов:

1 - пуансон; 2 - матрица

Радиусы угловых участков (в плане) пуансона  $z_{yn}$  и матрицы штампов для вытяжки деталей прямоугольной формы подсчитываются по формулам

$$z_{yn} = z_g + 0,5\Delta;$$

$$z_{ym} = z_{yn} + \frac{z_{ygn}}{2}.$$

Здесь  $L$  - номинальный размер детали;

$\Delta$  - допуски на соответствующий номинальный размер детали;

$\frac{z}{2}$  - односторонний зазор между матрицей и пуансоном;

$\delta_m, \delta_n$  - допуски на изготовление матрицы и пуансона (2-й класс точности - при допусках на готовые детали по 4-му и 5-му и 3-й класс точности - при допусках на готовые детали по 7-му и 9-му классам);

- $r_{н, зг}$  - наружный и внутренний радиусы сопряжений боковых стенок детали;
- $\frac{z_{угл}}{2}$  - односторонний зазор между матрицей и пуансоном на угловых участках.

При вытяжке деталей со сложным контуром допуск на изготовление назначается только на одну рабочую деталь штампа (пуансон или матрицу), а вторая деталь пригоняется с требуемым зазором.

Профиль рабочего отверстия матриц для вырезного и пробивного штампов

Профиль рабочего отверстия матриц для вырезного и пробивного штампа следует выбирать согласно рекомендациям табл. I.27 и рис. I.14.

При пробивке нескольких близко расположенных отверстий диаметром  $D < 5$  мм допускается применение матриц типа II с коническим провальным окном диаметром до 10 мм (рис. I.14).

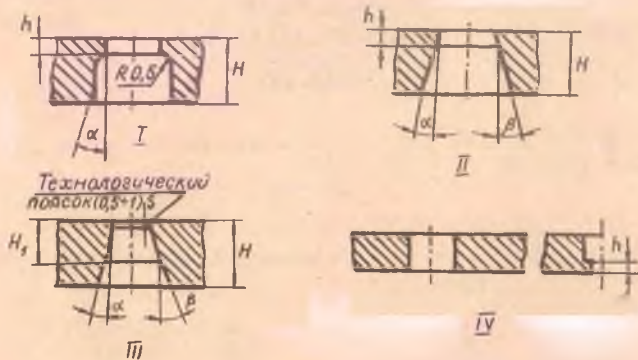


Рис. I.14. Профиль рабочего отверстия матриц для вырезного и пробивного штампа: I - с цилиндрическим провальным окном; II - с коническим провальным окном при  $\beta > \alpha$ ; III - с увеличенной высотой  $H$ , рабочего конического отверстия или с конусом по всей высоте; IV - со сквозным окном без уклона

В матрицах типа IV для штампов совмещенного действия допускается производить разделку рабочего окна по размерам выталкивателя, оставляя поясok высотой  $h$  по табл. I.21.



Таблица I.2I

Элементы профиля рабочего отверстия матриц  
в зависимости от толщины штампующего материала

Толщина материала, мм	$\beta$	$\alpha$	Конусность рабочего отверстия	Высота пояска $h$ в за- висимости от толщины матрицы $H$	
				До 20 мм	$H$ свыше 20 мм
До 0,5	2°	10°10'	I : 200	6	6
Свыше 0,5 до 1,0		10°15'	I : 100	6	8
" 1,0 до 2,5		10°20'			
" 2,5 до 4,0	3°	10°30'	I : 50	8	10
" 4,0 до 5,0		10°45'	I : 38		
" 5,0 до 10		1°	I : 30	15	15

Примечания. I. Для некаленных матриц  $\alpha \leq 15'$ .

2. Допускается при  $S \leq 1$  мм  $\alpha = 0$ ; при  $S > 1$  мм  $\alpha = 0^\circ 30'$ .

В матрицах типов I и II, а также со сложной формой рабочего отверстия, вписываемой в окружность диаметром 10 мм, провальную часть рабочего отверстия необходимо выполнить круглой формы с размером большим режущей части на 0,5 + 1,5 мм на сторону. В остальных случаях провальную часть следует делать по форме рабочего отверстия с развалом на 0,5 + 1,0 мм на сторону. При наличии в рабочем отверстии матрицы острых или прямых углов провальная часть делается скругленной.

#### Расчеты на прочность деталей штампов

К ним относятся:

определение усилий, действующих на отдельные детали штампов. Для специальных штампов, по указанию руководителя проекта;

расчет на прочность отдельных деталей штампов. По указанию руководителя проекта [I, 20, 27].

### 3. Конструирование общего вида штампа и его детализовка

Штамп проектируется обычно в нижнем рабочем положении — так наилучшим образом увязывается взаимодействие рабочих, прижимающих и удаляющих деталей штампа. При этом исключается возможность конструктивных ошибок по несогласованности верхней и нижней частей штампа, как, например, длинные направляющие колонки и короткие пуансоны.

Штамп должен проектироваться на конкретные прессы в соответствии с их технической характеристикой или на группу прессов, близких по мощности и аналогичных по технической характеристике.

При проектировании штампа должны быть предусмотрены:

1) максимальное использование нормализованных и стандартизованных деталей и узлов (до 70–90%).

2) удобство и безопасность в работе;

3) технологичность изготовления и возможность восстановления рабочих деталей;

4) получение штампуемых деталей с заданными качествами.

Обычно, кроме главного вида, вычерчиваются два плана конструкции: план низа и план верха. На плане низа, расположенном под главным видом, показывается все, что смонтировано на нижней плите, а на плане верха — только то, что относится к верхней плите.

На горизонтальной проекции возможно совмещение видов сверху на верхнюю и нижнюю плиты.

На чертеже общего вида штампа необходимо указать:

габаритные размеры;

высоту штампа в его нижнем положении (закрытую высоту);

требуемое усилие штамповки;

величину хода ползуна прессы (для вытяжных штампов во всех случаях, а для вырезных, зачистных, гибочных — по мере необходимости);

расположение рым-болтов при весе штампа свыше 20 кг;

специальные требования техники безопасности типа: "Работать с пинцетом, с двухручным включением прессы" и т.п.

На общем виде, в правом верхнем углу, вычерчивается эскиз детали, получаемой на данном штампе. На эскизе штампуемой детали необходимо указать:

марку материала, толщину и состояние (твердый, мягкий, отожженный, закаленный и т.д.).

допуски на размеры, получаемые в данном штампе, и базовые размеры. Остальные размеры проставляются как справочные; размеры развертки и форму раскроя.

Все графы спецификации должны быть заполнены. На общем виде дополнительно указываются необходимые технические требования на изготовление, монтаж и эксплуатацию штампа.

Деталировка выполняется на 2-4 детали (главным образом рабочие) и должна содержать исчерпывающую информацию, необходимую для изготовления данных деталей (допуски, чистота обработки, термообработка и другие технические условия).

## IV. ОФОРМЛЕНИЕ И ЗАЩИТА КУРСОВОГО ПРОЕКТА

### I. Работа над проектом

Работа над проектом в большей степени зависит от индивидуальных качеств студента и приобретенных им навыков. Практика показывает, что самым целесообразным порядком работы нужно признать такой, при котором сначала разрабатывается весь проект, производятся все необходимые расчеты, по этапам накапливаются данные и лишь в конце работы весь материал оформляется начисто. Графическая часть проекта выполняется в последнюю очередь. Такой порядок исключает затраты времени на всякие изменения и переделки законченного материала.

Руководитель проекта должен: систематически контролировать ход работы над проектом и информировать заведующего кафедрой о состоянии курсового проектирования; оказывать студентам помощь консультациями, регулярно встречаясь с ними в соответствии с расписанием; представлять к защите законченный курсовой проект.

Консультации по курсовому проектированию не должны носить характера натаскивания студента. Руководители должны помочь студенту найти правильное решение того или иного вопроса и всемерно стимулировать активность и самостоятельность при работе над темой проекта. Посещение студентами консультаций в соответствии с расписанием обязательно.

## 2. Оформление и представление к защите проекта

Пояснительная записка должна быть предельно сжатой и в то же время содержать все необходимые материалы, сопровождаться схемами процессов и напряженно-деформированных состоянии. Иллюстрации должны иметь порядковый номер и подрисовочные подписи. На каждую иллюстрацию давать соответствующую ссылку в тексте.

В пояснительной записке не допускается длинных рассуждений, повторения известных доказательств, обширных выписок из учебников, специальной литературы и других источников.

Пояснительная записка должна обязательно сопровождаться списком использованной литературы и других источников.

На материалы, взятые из различных источников, цитаты должны быть даны с указанием автора, названия работы, года издания, страницы.

В тексте объяснительной записки следует помещать итоговые таблицы, таблицы справочного и нормативного порядка. Таблицы, содержащие исходные первичные данные помещают в качестве приложения в конце пояснительной записки. Типовые расчеты должны быть приведены полностью а для однородных подсчетов можно ограничиться таблицей окончательных данных.

Пояснительная записка, кроме основного текста, должна содержать титульный лист, оглавление, приложения и список использованной литературы.

Все приложения (таблицы, инструкции и т.п.) должны иметь порядковые номера и соответствующие ссылки в тексте.

Список литературы должен состоять из литературы, непосредственно использованной при курсовом проектировании.

Пояснительная записка должна быть написана от руки четким почерком и представлена в переплете.

Результаты разработки технологического процесса на изготовление детали заносятся в карты технологического процесса. Карты заполняются чернилами (эскизы можно вычерчивать карандашом). Обязательным является заполнение всех граф.

Наименование переходов должно быть кратким, в повелительном наклонении.

После оформления карта технологического процессе подклеивается в конце расчетно-пояснительной записки в качестве приложения.



Чертежи на оснастку должны изготавливаться в соответствии с требованиями единой системы конструкторской документации.

Вся графика должна быть выполнена грамотно и аккуратно.

Разрешение на защиту курсового проекта дается руководителем проекта после представления студентом пояснительной записки с картами технологического процесса и графической части.

Защита проекта осуществляется перед комиссией, состоящей из 2-3 преподавателей профилирующей кафедры.

В начале защиты студент делает краткий доклад (5-10 мин), который строится примерно в следующем плане:

1. Обоснование принятого варианта технологического процесса.
  2. Характер, количество и последовательность операций.
  3. Обоснование выбранной схемы штампов, устройств подачи заготовок, уборки отштампованных деталей и отходов.
  4. Принцип работы штампа.
  5. Выводы по работе.
- По окончании доклада студенту задаются вопросы.

### Литература

1. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. Л., "Машиностроение", 1971.
2. Зубцов М.Е. Листовая штамповка. Л., "Машиностроение", 1967.
3. Малов А.Н. Технология холодной штамповки. М., Оборонгиз, 1963.
4. Смирнов-Аляев Г.А., Велитрауб Д.А. Холодная штамповка в приборостроении. М.-Л., Машгиз, 1961.
5. Исаченков Е.И. Штамповка резинкой и жидкостью. М., "Машиностроение", 1967.
6. Громова А.Н., Завьялова В.И., Коробов В.К. Изготовление деталей из листов и профилей при серийном производстве. М., Оборонгиз, 1960.
7. Высокоскоростное дормирование металлов. М., "Машиностроение", 1966.
8. Давыдов Ю.П., Покровский Г.В. Технология листовой штамповки титановых сплавов. М., Машгиз, 1963.
9. Сапаровский С.В., Смеляков Е.П., Комаров А.Д. и др. Новые способы холодной штамповки. Куйбышев, 1969.



10. Юшков А.В. Механические свойства и показатели деформируемости некоторых промышленных металлов и сплавов. Справочное пособие. КуАИ, 1974.

11. Материалы в машиностроении. Справочник в пяти томах под общей ред. И.В.Кудрявцева. М., "Машиностроение", 1967.

12. Сторожев М.В., Попов Е.А. Теория обработки металлов давлением. М., "Машиностроение", 1971.

13. Томленов А.Д. Теория пластического деформирования металлов. М., "Металлургия", 1972.

14. Аршенинский Ю.М. Теория листовой штамповки анизотропных материалов. Изд-во Саратов. ун-та, 1973.

15. Аршенинский Ю.М., Уваров В.В., Ненашев В.Ю. Теоретические основы расчетов технологических процессов кузнечно-штампового производства. Учебное пособие. КуАИ, 1973.

16. Уваров В.В., Аршенинский Ю.М. Основы расчетов предельного формоизменения в процессах листовой штамповки. Учебное пособие. КуАИ, 1973.

17. Попов Е.А. Основы теории листовой штамповки. М., "Машиностроение", 1968.

18. Горбунов М.Н. Технология заготовительно-штамповочных работ в производстве летательных аппаратов. М., "Машиностроение", 1970.

19. Шофман Л.А. Теория и расчеты процессов холодной штамповки. М., "Машиностроение", 1964.

20. Скворцов Г.Д. Основы конструирования штампов для холодной листовой штамповки. М., "Машиностроение", 1972.

21. Мецериш В.Т. Листовая штамповка. Атлас схем штампов. 1975.

22. Фойгельман Г.А. Альбом конструкций универсальных штампов, блоков и узлов для холодной штамповки. М., "Машиностроение", 1965.

23. Каталог прессового оборудования. Под ред. А.Т.Диордиева. М., НИИМап, 1970.

24. Листы, полосы и ленты из углеродистой и легированной стали. Государственные стандарты СССР. М., "Стандартгиз", 1960.

25. Листы, полосы и ленты из цветных металлов и сплавов. Государственные стандарты СССР. М., Стандартгиз, 1963.

26. Общемашиностроительные нормативы времени на холодную штамповку, высадку, обрезку и резку. Массовое, крупносерийное, серийное и мелкосерийное производство. М., 1973.

27. Штампы для холодной листовой штамповки. Расчеты и конструирование. РТМ 34-65. Стандартгиз.
28. Штампы для холодной штамповки. Применение самоотвердеющих пластмасс в конструкциях штампов. РТМ 45-62.
29. МН 4763-63 - МН 4775-63. Нормали. Штампы для холодной штамповки. Блоки разделительных штампов с шариковыми направляющими.
30. МН 4357-63 - МН 4373-63. Нормали. Штампы для холодной штамповки. Пакеты гибочных штампов и детали.
31. МН 4399-63 - МН 4432-63. Нормали. Штампы для холодной штамповки. Пакеты вытяжных штампов и детали.
32. Штампы для холодной штамповки, оснащенные твердыми сплавами. Расчет и конструирование. РТМ II2-63.
33. Основные конструкторские, технологические и организационные рекомендации по применению сплава ЭКБ при изготовлении штампов для холодной листовой штамповки. М., ВНИИ межотраслевой информации, 1973.

### 1. ТЕМА И ОБЪЕМ ПРОЕКТА

Курсовой технологический проект является работой инженерного содержания. Он разрабатывается с привлечением материалов специального курса "Технология кузнечно-штамповочного производства", заводских данных, полученных в период технологической практики, и литературных источников. Проект, имея технологическую направленность, вместе с тем предполагает использование отдельных положений специальных теоретических, общеобразовательных и общинженерных дисциплин.

Курсовой проект может быть заменен, с разрешения заведующего кафедрой, курсовой научно-исследовательской работой при условии постоянного активного участия студента в научной работе кафедры.

Темой курсового проекта является разработка технологического процесса производства полуфабрикатов ковкой или горячей объемной штамповкой.

Выдача заданий на проект производится кафедрой в сроки, установленные графиком выполнения проекта.

В одних случаях задание содержит чертеж детали, предлагаемой для изготовления, с указанием марки материала и величины производственной программы. В других - в качестве задания предлагается спроектировать более совершенный технологический процесс, чем существующий на производстве. При таком типе задания студент за время прохождения производственной практики должен собрать все материалы, относящиеся к изготовлению одной из поковок номенклатуры цеха.

Во всех случаях предполагается возможность применения любого отечественного оборудования и метода изготовления. Оба типа заданий не влияют на содержание и объем проекта и могут выполняться по данной методической записке.

Подробности задания уточняются с руководителем проекта на первой консультации.

Первым разделом пояснительной записки должно быть введение, в котором освещаются роль русских и советских ученых в развитии и совершенствовании теории и технологии горячей штамповки;

основные направления развития кузнечно-штамповочного производства и решения партии и правительства по этому вопросу.

Последний вопрос следует освещать с позиций необходимости дальнейшего снижения себестоимости продукции, увеличения производительности труда и улучшения условий производства. В среднем полная стоимость поковки складывается из следующих статей расходов.

Наименование расходов	Величина расходов в % от полной стоимости
Стоимость материала	52
Прямые накладные расходы	15
Стоимость рабочей силы	10
Инструмент	8
Амортизация оборудования	4
Нагрев металла	3
Прочие	8

С учетом приведенных данных и других источников [2], рассматриваются перспективные технологические процессы, эффективное оборудование, современная оснастка, механизация и автоматизация процессов и другие мероприятия, широкое применение которых позволит снизить ту или иную статью расходов.

Эта часть записки выполняется на 3-4 листах.

## П. СВОЙСТВА ШТАМПУЕМОГО МАТЕРИАЛА

В этом разделе описываются:

влияние компонентов и примесей сплава на его свойства;

диаграмма состояния;

диаграмма пластичности;

влияние на пластичность сплава схемы напряженного состояния и скорости деформации;

допустимая степень деформации;

коэффициент линейного расширения;

режимы первичной термической обработки.

При описании свойств алюминиевых, магниевых, титановых сплавов следует обратить внимание на особенности их деформации, характер течения на контакте с инструментом, возможности применения различных заготовительных операций и т.п. Некоторые легкие сплавы очень чувствительны к скорости деформации, что ограничивает применение молотов и высокоскоростного оборудования для их штамповки.

Объем этой части записки содержит 6-8 листов текста и является основой для правильного выбора технологического процесса.

### III. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ПРОЕКТА

#### I. Выбор варианта технологического процесса

Каждая рассматриваемая поковка может быть изготовлена несколькими способами с применением различного оборудования, оснастки, методов деформирования и т.д. Наиболее рациональный вариант выбирается с учетом его технологической и экономической целесообразности.

Возможные варианты технологического процесса изготовления детали можно определить путем анализа классификаторов поковок наиболее распространенных типов оборудования: молотов, кривошипных прессов, горизонтально-ковочных машин, высокоскоростных пресс-молотов [3, 4].

Учитывая основную особенность (удлиненная форма, осесимметричная, с отростком и т.д.), определяют группу, подгруппу и тип этой поковки по каждому рассматриваемому классификатору, что дает возможность составить несколько общих возможных схем технологических процессов. На основании анализа каждой из выбранных схем выбирается наиболее целесообразный технологический процесс.



В качестве примера рассмотрим деталь "крышка" (рис. 2.1) из сплава ВТ9. Поковка для нее может быть изготовлена на молоте, кривошипном прессе и горизонтально-ковочной машине. Высокоскоростное деформирование нецелесообразно, так как ВТ9 понижает свою пластичность с увеличением скорости деформации, особенно в интервале температур  $800+900^{\circ}\text{C}$ , т.е. вблизи нижнего предела температурного интервала штамповки.

На основании классификации молотовых поковок данная поковка относится ко II группе, 3-й подгруппе, тип Б [2]. В качестве заготовительных операций требуется высадка фланца и протяжка в специальном протяжном ручье. Общая схема технологического процесса такова:

высадка фланца - протяжка стержня - штамповка в торец в открытом ручье.

Эта схема получается трудоемкой. Кроме того, учитывая длинный стержень поковки и склонность титановых сплавов к схватыванию с инструментом, потребуется применить большие штамповочные уклоны (порядка  $10^{\circ}$ ). В противном случае, ввиду отсутствия выталкивателей на молотах, поковка не будет выдаваться из полости штампа.

Из классификации поковок, изготавливаемых на КГШП [4], следует, что данная деталь относится к III группе класса Б. Поковка может быть изготовлена прямым выдавливанием за один или два перехода. Наличие на КГШП выталкивателей позволяет снизить до минимума штамповочные уклоны и получить высокое качество поверхности стержневой части.

В случае изготовления на КГМ данная поковка будет относиться к I группе, 1-й подгруппе соответствующей классификации [4]. Относительно короткая длина стержня (80 мм) не позволяет применить гладкий

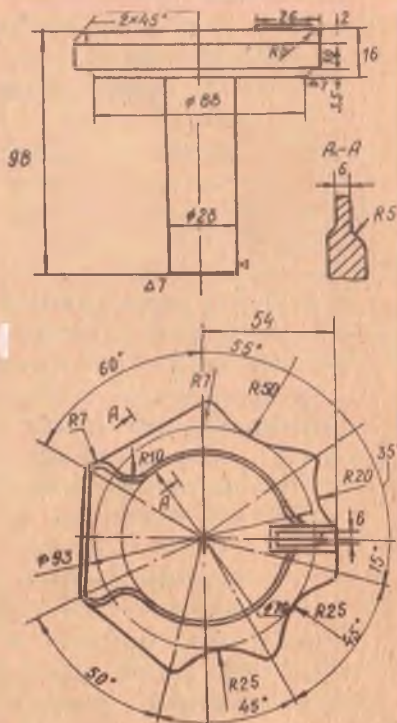


Рис. 2.1. Чертеж штамповки детали "крышка"

зажимной ручей (наименьшая длина зажимного ручья для рассматриваемого случая 120 мм). Применение заднего упора также осложняется короткой длиной стержня. Детальная разработка технологического процесса показывает, что для изготовления поковки требуется не меньше трех переходов.

На основании проведенного анализа наиболее целесообразным технологическим процессом изготовления рассматриваемой детали является **штамповка** выдавливанием на КГШП.

Для некоторых поволоков анализ не позволяет выявить рациональный вариант процесса. В этом случае необходимо рассчитать технико-экономические показатели близких вариантов и сравнить их между собой. К числу сравниваемых показателей можно отнести: вес заготовки и поковки, процент отхода металла на всех операциях технологического процесса, производительность, трудоемкость и себестоимость изготовления поволоков.

В заключении данного раздела приводится принятая схема технологического процесса, на основании которой ведется дальнейшая детальная разработка переходов штамповки.

## 2. Конструктивно-технологический анализ детали [5, 6]

Значительные затруднения при горячей штамповке вызывает получение отверстий малого диаметра, оформление тонких полостей, ребер, малых радиусов закругления и т.д. Это связано с большими удельными давлениями и низкой стойкостью инструмента. В зависимости от типа применяемого оборудования экспериментально установлены минимально-допустимые размеры отдельных элементов поволоков, которые можно получить различными методами горячей и холодной объемной штамповки.

В табл. 2.1. приведены некоторые из этих размеров.

Таблица 2.1

Показатель формуемости, мм	Высоко-ско- ростная установка	Высоко-ско- скоростной молот	Паровоздуш- ный молот	Кривошипный пресс
1	2	3	4	5
<i>min</i> толщина стенок	1 + 1,5	1,5 + 2	2,5	3 + 4
<i>min</i> толщина ребра	0,5 + 1	1,5 + 2	2,5	3 + 4
<i>min</i> радиус закруг- ления	0 + 1	0 + 1	2 + 3	3 + 5
<i>min</i> толщина полот- на	0,1 + 0,3	0,3 + 0,5	1,5 + 2	2 + 3

Учитывая приведенные данные и имеющиеся рекомендации [5], рассматривается возможность изготовления детали. В случае необходимости назначаются дополнительные напуски. Конструктивно-технологический анализ может оказать решающее влияние на выбор типа штамповочного оборудования и схемы технологического процесса.

### 3. Разработка чертежа поковки

На основании чертежа детали и принятой технологии изготовления поковки устанавливаются припуски на механическую обработку и допуски при штамповке [3,4,5,7,8,9,10]. Припуски и допуски на поковки выбираются с учетом возможности применения отделочных операций (калибровки, правки, чеканки), уменьшения штамповочных уклонов. При разработке чертежа поковки необходимо выбрать и обосновать линию разъема штампов, величину штамповочных уклонов, радиусы закруглений, размеры перемычек.

Одновременно прорабатываются возможные мероприятия по экономии металла, к числу которых следует отнести штамповку без клещевины, безоблойную или малооблойную, сдвоенную или многоштучную штамповку и пр.

Чертеж поковки с техническими условиями выполняется в масштабе 1:1 с указанием контура обработанной (чистой) детали и с простановкой чистовых и поковочных размеров.

### 4. Выбор технологических переходов штамповки

В соответствии с принятой схемой технологического процесса и типом основного деформирующего оборудования рассчитываются количество и вид заготовительных и штамповочных ручьев, способ профилирования исходной заготовки, тип вспомогательного оборудования.

Рассмотрим наиболее распространенные технологические процессы штамповки деталей различной конфигурации и особенности их расчета.

Поковки, штампуемые перпендикулярно оси заготовки (штамповка плашмя). К этой группе относятся поковки удлиненной формы со значительным отношением длины к средней ширине в плане. При таком соотношении размеров деформация заготовки в штамповочных ручьях в основном протекает в направлении ширины и высоты поковки. В направлении длины деформация незначительна и может не учитываться.

Окончательная штамповка поковок этой группы может быть осуществлена на различном оборудовании: молотах, кривошипных и фрикционных прессах, гидравлических пресс-молотах в открытых штампах. Безоблойная штамповка применяется редко и только для деталей простой формы. Размеры облойной канавки выбираются в зависимости от типа применяемого оборудования, сложности поковки и марки штампуемого материала [3;4;5]. Объем облоя рассчитывается с помощью коэффициента заполнения облойной канавки, зависящего от сложности гравюры штампа.

Наибольшие трудности при проектировании вызывает выбор способа профилирования заготовки. Основанием для выбора заготовительных переходов служат эпюры диаметров и сечений (построение эпюр подробно рассмотрено в большинстве учебников и справочников [1; 2; 3; 5 и др.] и здесь не рассматривается). Сложность заготовительных операций для данной группы поковок может быть охарактеризована общим необходимым коэффициентом подкатки [3]:

$$K_{no} = \frac{d_{max}^2}{d_{cp}^2},$$

где  $d_{max}$  - наибольший диаметр расчетной заготовки (эпюры диаметров);

$d_{cp}$  - диаметр средней расчетной заготовки.

Если при расчете окажется, что  $K_{no} < 1,15$ , то данная поковка будет простой и для ее изготовления не требуется заготовительных ручьев. Штамповка может быть выполнена на любом, приведенном выше, оборудовании в предварительном и окончательном ручьях.

Если  $1,15 < K_{no} < 1,40$ , то для профилирования заготовки необходим формовочный ручей. Предварительная формовка заготовки может быть выполнена на различном оборудовании, однако общее увеличение числа ручьев для такой поковки делает экономически не выгодным применение для ее изготовления гидравлических пресс-молотов и высокоскоростных молотов. Изготовление целесообразно вести на молотах и кривошипных прессах, причем применение последних будет более эффективно ввиду их конструктивных особенностей.

Если  $K_{no} > 1,40$ , то требуется подкатный ручей, а при  $K_{no} > 1,8$  - протяжной. Применение этих ручьев практически возможно только на молотах. Такие поковки считаются сложными, так как изготовление на другом оборудовании без предварительного профилирования заготовок очень трудоемко или приводит к большим отходам металла в облой.



Уменьшения трудоемкости заготовительных операций можно достичь, например, путем применения сдвоенной и многоступенчатой штамповки с общим заусенцем. За счет выбора благоприятного взаимного расположения двух или нескольких поковок можно добиться значительного уменьшения общего коэффициента подкатки. В этом случае сложная поковка упрощается, и для ее изготовления используются менее трудоемкие заготовительные и штамповочные ручьи (рис. 2.2).

В серийном и массовом производстве при штамповке поковок удлиненной формы большое распространение получили технологические процессы, в которых заготовительные операции выполняются на ковочных вальцах, горизонтально-ковочных машинах и др. Наибольшее распространение получили ковочные вальцы. Подробные технологические расчеты вальцовки приведены в работе [18] и здесь не рассматриваются.

При штамповке цветных металлов и сплавов необходимо ограничивать применение заготовительных ручьев [5]. В этом случае при профилировании заготовок, особенно в мелкосерийном производстве, часто применяются молоты свободнойковки.

Расчет технологических переходов штамповки поковок удлиненной формы начинается с построения эпюр диаметров и сечений. На основании анализа этих эпюр [3] с учетом приведенных выше изображений выбирается способ профилирования исходной заготовки, вид и количество штамповочных ручьев. В случае применения заготовительных ручьев рассчитываются их размеры. Расчеты следует сопровождать поясняющими эскизами. При применении для заготовительных операций другого оборудования (ковочные вальцы, ГKM) необходимо рассчитать количество переходов, размеры ручьев и форму заготовки после каждого перехода.

Открытая штамповка вдоль оси заготовки (штамповка осадкой в торец). Эта группа объединяет поковки круглые и квадратные в плане или близкие к ним по форме с двумя примерно равными размерами во взаимно перпендикулярных направлениях [3], при штамповке которых чаще все-

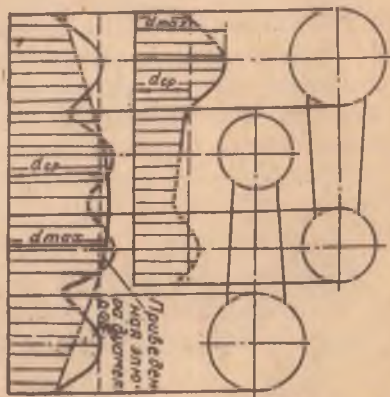


Рис.2.2.Эпюры диаметров одиночной и сдвоенной поковок



го совместно происходят различные виды формоизменения: осаживание (высадка), выдавливание и прошивка. Штамповка может выполняться на молотах, кривошипных прессах, высокоскоростных молотах и т.д. В зависимости от конструктивных особенностей применяемого оборудования количество заготовительных и штамповочных ручьев будет различным.

Так, при штамповке на молоте деформация заготовки осуществляется за несколько ударов, что способствует лучшему заполнению ручья и меньшему отходу металла в облой. В связи с этим при молотовой штамповке применяются в основном окончательные ручьи. Для сложных поковок в целях повышения стойкости окончательного ручья применяют предварительный ручей. В качестве заготовительного ручья чаще всего используется осадка под плоскими плитами. Иногда вместе с осадкой в заготовке делается неглубокая наметка или выступ.

При штамповке на кривошипных прессах наблюдается интенсивное течение металла в облой, что объясняется разогревом облоя за счет значительной деформации и, следовательно, уменьшением сопротивления течению металла. Для исключения заклинивания пресса относительная ширина облойной щели принимается несколько меньше, чем для молотов, поэтому появляется необходимость в увеличении числа предварительных ручьев [4].

Высокоскоростные молоты наиболее эффективны при одноручьевой штамповке, что приводит к ряду особенностей при выборе технологических переходов.

При проектировании технологического процесса этой группы поковок необходимо учитывать все основные типы применяемых канавок: сужающуюся, параллельную и расширяющуюся.

Сужающаяся облойная щель обеспечивает наибольшее сопротивление течению металла. Это способствует более интенсивному заполнению гравюры и меньшему расходу металла в облой. Однако большая начальная высота облоя ухудшает условия его обрезки, а значительный подпор сильно увеличивает усилие доштамповки. Кроме того, при большом избытке металла в заготовке наблюдается сильный износ облойной щели за счет высоких контактных напряжений. Данный тип щели целесообразно применять для сложных поковок.

Расширяющаяся щель имеет малую высоту по контуру детали, что способствует качественной обрезке облоя. Однако пониженное сопротивление течению металла не позволяет спроектировать экономичный технологический процесс для сложных поковок. Такая канавка будет эффективна при штамповке простых деталей.

Таким образом, основой для выбора типа и размеров облойной канавки должна являться сложность штампуемой поковки.

Ниже приводится МЕТОДИКА расчета размеров облойной канавки открытого осесимметричного штампа.

### 1. Общие сведения

1.1. Сложность штампуемой поковки, без учета марки материала, может быть охарактеризована безразмерным средним удельным давлением, которое необходимо создать в полости штампа для обеспечения четкого заполнения всех элементов гравюры. Эта величина получила название сопротивления гравюры штампа:

$$K_{2p} = \frac{P_{ср}}{\sigma_s},$$

где  $P_{ср}$  - среднее удельное давление в плоскости разреза штампов, необходимое для окончательного оформления поковки;

$\sigma_s$  - предел текучести деформируемого материала при температуре конца штамповки.

1.2. Давление в полости штампа зависит от текущих размеров образующегося облоя, которые в свою очередь определяются характером формоизменения заготовки и принятыми размерами облойной канавки. В зависимости от профиля облойной щели различают три типа канавок: расширяющуюся (рис. 2.3, а), параллельную (рис. 2.3, б), сужающуюся (рис. 2.3, в).

1.3. Величина среднего относительного удельного давления, создаваемого облоем в полости штампа, называется сопротивлением облойной канавки:

$$K_{обл} = \frac{P_{обл}}{\sigma_s}.$$

Сопротивление облойной канавки зависит в общем случае от диаметра поковки в плоскости разреза штампов ( $A_n$ ) и от текущих размеров образующегося облоя.

1.4. Величина  $K_{обл}$  может быть представлена как сумма двух составляющих (рис. 2.4)

$$K_{обл} = K_{ц} + K_n,$$

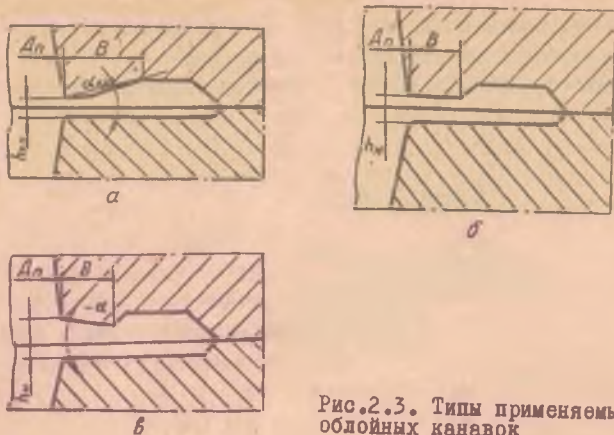


Рис.2.3. Типы применяемых облойных канавок

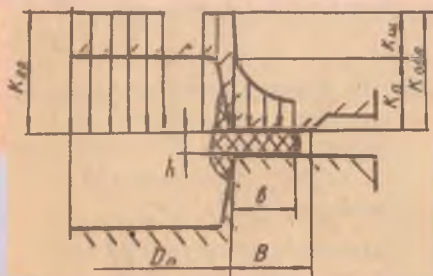


Рис.2.4. Схема распределения напряжений в плоскости разреза открытого штампа

где  $K_{ц}$  - относительное удельное давление, возникающее в полости разреза штампов за счет сопротивления течению металла в облойную щель;

$K_n$  - относительное удельное давление, создаваемое на входной кромке облойной канавки порогом облоя с изменяющимися размерами  $h, B$ .

1.5. Для четкого заполнения полости штампа с минимальными затратами энергии деформирующего оборудования необходимо, чтобы рассчитанное сопротивление гравры было равно сопротивлению облоя на конечной стадии процесса штамповки, т.е.

$$K_{гр} = K_{обл}$$

1.6. Необходимые конечные размеры щели и минимальный технологический объем облоя определяются на основании анализа и решения приведенного выше условия. Ниже приводятся формулы и номограммы для подсчета составляющих принятого условия и общая методика технологических расчетов.

## 2. Сопротивление гравюры штампа

2.1. Общее сопротивление гравюры является суммой средних относительных давлений, необходимых для выполнения отдельных элементов штампа. В табл. 2 приведены формулы, рекомендуемые для расчета средних давлений течения металла при оформлении наиболее распространенных элементов полости осесимметричных штампов.

2.2. Сопротивление гравюры  $K_{gp}$  подсчитывается как сумма сопротивлений элементарных участков, составляющих поковку (табл.2), комбинация которых определяется на основании анализа диаметрального сечения поковки и особенностей формоизменения заготовки, предполагаемых размеров.

2.3. При одновременном заполнении полости штампа выдавливанием и осаживанием следует определить необходимые удельные давления для завершения каждого из этих процессов и для дальнейших расчетов выбрать наибольшее значение. На рис. 2.5 приведены расчетная формула и номограмма, по которой определяется среднее относительное давление  $K_{gp}$ , необходимое для заполнения осаживанием углов фланца поковки  $\mathcal{C}$ .

Сопротивление выдавливанию в полость диаметром  $d$  подсчитывается на основании формул из табл. 2.2.

## 3. Сопротивление облойной канавки

3.1. Как указывалось ранее (1.4), эта величина складывается из двух составляющих: сопротивления щели  $K_{щ}$  и сопротивления порога  $K_n$ .

3.2. Сопротивление щели  $K_{щ}$  зависит от формы очага деформации внутри полости штампа.



В табл. 2.3 приведены расчетные формулы для определения  $K_{\text{ш}}$  в зависимости от расположения линии разреза в поковках различной конфигурации.

3.3. Сопротивление порога с любым углом наклона плоскостей щели определяется из следующего выражения:

$$K_n = \left[ \frac{2\mu}{\text{tg}(\pm\alpha)} - 1 \right] \text{tg} \left[ 1 + \frac{\delta}{h} \text{tg}(\pm\alpha) \right],$$

где  $\delta$  и  $h$  - соответственно текущие ширина и высота облойной щели. При пользовании данным уравнением необходимо учитывать знак угла наклона плоскостей порога облойной канавки (рис.2.3).

На рис. 2.6 указанная зависимость представлена графически.

#### 4. Методика технологических расчетов открытой штамповки

4.1. Для снижения общего усилия штамповки и уменьшения износа оснастки необходимые удельные давления в плоскости штампа предпочтительнее создавать только за счет сопротивления течению металла в облойную щель, т.е. из условия

$$K_{2p} = K_{\text{ш}} \quad \text{при} \quad K_n = 0,$$

которому будет удовлетворять расширяющаяся облойная щель. Переменная высота ее определяется из следующего уравнения:

$$h' = h_{\text{кр}} \left( 1 + \frac{2\delta}{D_n} \right)^2, \quad (1)$$

где  $h_{\text{кр}}$  - критическая начальная высота щели, при достижении которой на стадии доштамповки металл перестает деформироваться порогом канавки. Для упрощения изготовления штампа криволинейный профиль щели можно заменить клиновым, рассчитав угол профиля из следующего выражения (обозначения по рис. 2.3):

$$\alpha \text{гс} \text{tg} \alpha = \frac{4h_{\text{кр}}}{B} \left( \frac{B}{D_n} + \frac{B^2}{D_n^2} \right) \quad (2)$$

(пунктирные кривые в правой части номограммы на рис. 2.6).



1. При  $d_{гор} \leq d$   
 $c$  меньше  $us \frac{h_n}{2}$  или  $\frac{\Delta_0 - d}{4}$ ;
  2. При  $d_{гор} > d$   
 $c$  меньше  $us \frac{h_n}{2}$  или  $\frac{\Delta_0 - d_{гор}}{4}$ ;
  3.  $\mu = 0,45$ ;  $4,0,05 < \frac{c}{h_n} < 0,5$ ;
- $$K_{гр} = 2ln \frac{c}{2} + \frac{\mu \Delta_0}{3 h_n} + 2 \mu \frac{1 - \frac{c}{h_n}}{h_n}$$

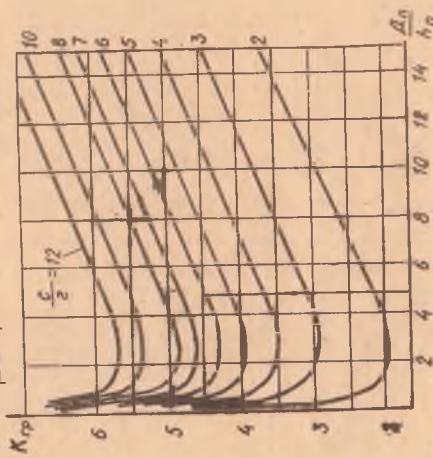
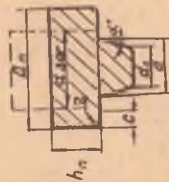


Рис.2.5. Номограмма для определения сопротивления гребню штипа при заданных углах фланца

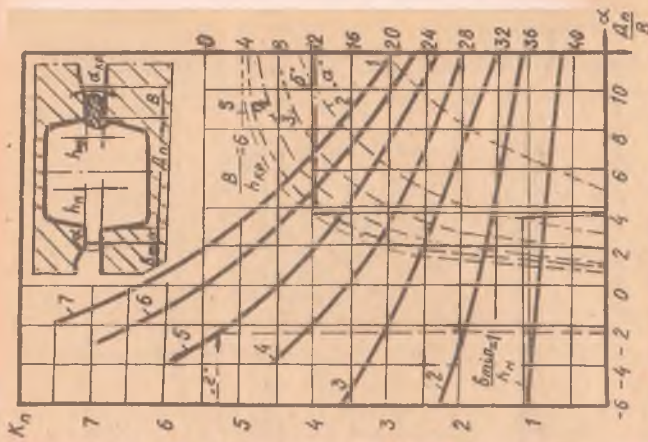
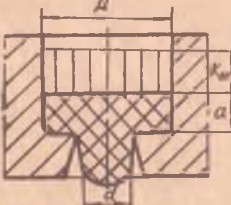
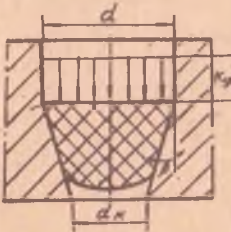
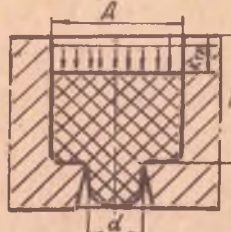
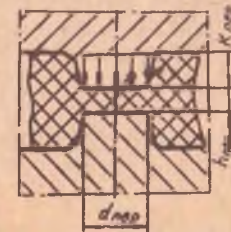

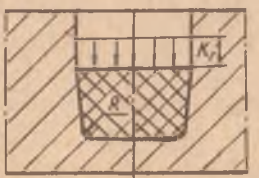


Рис.2.6. Номограмма для определения размеров облойной щели (при  $\mu = 0,45$ )

Таблица 2.2

№ пп	Характеристика формоизменения	Эскиз процесса	Сопротивление отдельных элементов полости штампа
I	2	3	4
1	Выдавливание в открытом очко		$K_{02} = 2,8 \ln \frac{A}{d}$ $\mu \approx \frac{A-d}{2}$
2	Выдавливание в коническое углубление		$K_{вр} = 2 \left( 1 + \frac{\mu}{\operatorname{tg} \beta} \right) \ln \frac{d}{d_n}$ $\mu = 0,35 + 0,45$
3	Течение по боковым стенкам соковы штампа		$K_{тс} = 2 \left( \frac{2\beta}{A} + \frac{d}{A} - 1 \right)$ $\mu = 0,35 + 0,45$
4	Деформация металла в перемычке		$K_{пер} = \frac{\mu}{3} \frac{d_{пер}}{h_{пер}}$ $\mu = 0,35 + 0,45$

Продолжение таблицы 2.2.

1	2	3	4
5	Выдавливание в кольцевую полость		$K_{\text{нп}} = \left(1 + \frac{\mu}{\text{ср} \alpha}\right) \frac{F_{\text{н}}}{F}$ $\text{ср} =$ $F_{\text{н}} = \frac{\pi}{4} (D_2^2 - d_2^2)$ $F = \frac{\pi}{4} (d_1^2 - d_2^2)$ $\mu = 0,35 - 0,45$
6	Заполнение углов полости		$K_2 \leq 2$

4.2. Расчет размеров облойной щели. Определяется сопротивление гравюры штампа (2-й раздел методики). Для этого, в соответствии с эскизами табл. 2.2. или рис. 2.5, рассматривается наиболее сложное диаметрально сечение штамповки и выделяются характерные элементы полости штампа и порядок их заполнения.

По формулам табл. 2.2. рассчитывается сопротивление течению металла при заполнении каждого из выделенных элементов полости штампа. Сумма полученных величин составит общее сопротивление гравюры штампа. При расчете  $K_{\text{зр}}$  необходимо учитывать возможность независимого заполнения отдельных элементов полости штампа выдавливанием или осаживанием ( см.2.3 ).

Из выражения  $h_{\text{н}} = 0,015 D_{\text{н}}$  подсчитывается начальная высота облойной щели в конце процесса штамповки ( см. 2.3 ). Полученное значение  $h_{\text{н}}$  округляется с точностью до 0,1 мм.

Таблица 2.3.

№ тип	Типовые схемы штамповки	Сопротивление щели ( $K_{щ}$ )
1		$K_{щ} = 1 + 0,1 \frac{A_n}{h}$
2		$K_{щ} = 1 + (0,167 - 0,044 \epsilon_n \frac{h_{расп}}{h}) \frac{A_n}{h}$
3		$K_{щ} = 1 + 0,12 \frac{A_n}{h}$

Ширина порога облойной канавки  $B$  выбирается из условия прочности штампа в пределах  $10 + 15$  мм. При этом следует учитывать, что малая ширина приводит к уменьшению стойкости штамповки и большему расходу металла в облой.

В соответствии с конфигурацией рассчитываемой поковки и принятой линией разреза штампов по табл. 2.2 подбирается типовая схема ведения процесса, а для нее по формулам табл. 2.3 подсчитывается сопротивление облойной щели  $K_{щ}$  для начальной высоты  $h_n$ .



Определяется необходимое сопротивление порога облоя

$$K_n = K_{зр} - K_{щ}.$$

В зависимости от знака полученного сопротивления дальнейший расчет может вестись в двух направлениях:

$$I. K_n \leq 0.$$

В этом случае полость заполняется при удельных давлениях в плоскости разреза штампов, создаваемых только за счет сопротивления течению металла в облойную щель  $K_{щ}$ . Дополнительный подпор за счет сопротивления порога не нужен.

В соответствии с принятой ранее типовой схемой штамповки из табл.2.3 берется формула, определяющая сопротивление облойной щели любой высоты (например, схема 3 из табл.2.3:  $K_{щ} = I + 0,12 \frac{D_n}{h}$ ).

Из равенства  $K_{зр} = K_{щ}$  (например,  $K_{зр} = I + 0,12 \frac{D_n}{h_{зр}}$ ) подсчитывается критическая высота облойной щели  $h_{кр}$ , обеспечивающая в полости штампа удельные давления, достаточные для заполнения гравюры.

По уравнению (I) рассчитывается криволинейный профиль расширяющейся облойной щели, который и принимается к выполнению в штампе.

При замене криволинейного профиля щели клиновым, необходимый угол (см. рис. 2.3) определяется из выражения (2) или по номограмме (рис.2.6) в зависимости от безразмерных параметров  $\frac{B}{h_{кр}}$  и  $\frac{D_n}{B}$  (пример "а" на рис. 2.6). В последнем случае при изготовлении штампа необходимо обеспечить плавный переход на входе в облойную канавку.

Окончательно щель облойной канавки выполняется по начальной высоте  $h_n$ ; ширине  $B$ ; углу расширяющейся клиновой щели  $\alpha$  или переменной высоте, рассчитанной по уравнению (I).

$$2. K_n > 0.$$

В этом случае для четкого заполнения гравюры штампа наряду с направлениями, возникающими в полости разреза штампов за счет сопротивления течению металла в облойную щель, необходимо создать дополнительный подпор за счет сопротивления течению металла по поверхности порога облойной канавки.

По номограмме на рис. 2.6 при  $h_{кр} = h_n$  (или из выражения 2) в зависимости от безразмерных параметров определяются критический угол расширяющейся облойной щели. Исходя из полученной величины критического угла ( $+\alpha_{кр}$ ) и необходимого сопротивления порога щели находится



относительная ширина минимально необходимого облоя

$$\frac{b_{min}}{h_n} = n,$$

откуда  $b_{min} = n h_n$  (пример "б" на рис. 2.6).

Если  $b_{min} < B$ , то расчет считается законченным и к выполнению принимается полученное значение критического угла клиновой щели ( $+\alpha_{кр}$ ).

В случае  $b_{min} > B$  требуется изменение угла наклона клиновой щели. Пересчет ведется по номограмме рис. 2.6:

$$K_m \xrightarrow{\frac{B}{h_n}} \pm \alpha \quad (\text{пример "г"}).$$

Полученное при этом значение угла принимается к выполнению в штампе.

4.3. Размеры магазина облойной канавки и объем облоя определяют в соответствии с имеющимися рекомендациями [3].

4.4. Усилие штамповки рассчитывается по следующей формуле:

$$D = Q_s \left[ (K_{щ} + K_n) F_{пок} + \frac{K_n + 1}{2} F_{щ} \right].$$

- Здесь  $F_{пок}$  и  $F_{щ}$  - площади проекции соответственно штамповки и поверхности щели на плоскость разреза штампов;
- $K_{щ}$  - сопротивление облойной щели. Эта величина подсчитывается по формулам табл.2.3 в соответствии с выбранной ранее типовой схемой штамповки рассматриваемой детали. Начальная высота облойной щели должна быть равна высоте, принятой для изготовления штампов.
- $K_n$  - сопротивление порога облойной канавки с размерами, принятыми для изготовления штампа ( $h_n; B; \alpha$ ). Определяется по номограмме (рис. 2.6) в такой последовательности:

$$\alpha \xrightarrow{\frac{B}{h_n}} K_n.$$

Если расчет размеров облойной щели выполнен для случая  $K_m < 0$  (пример "а" на рис. 2.6), то при определении усилия штамповки следует брать  $K_m = 0$ .

### 5. Пример расчета

5.1. Определить размеры облойной канавки и необходимое усилие штамповки для детали, представленной на рис. 2.7.

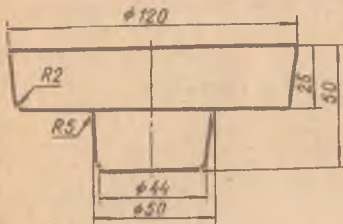


Рис. 2.7. Чертеж штамповки (материал ст. X18H9T)

5.2. Штамповку данной поковки предполагается вести из заготовки  $\varnothing 80$  мм. В этом случае заполнение полости  $\varnothing 50$  мм осуществляется выдавливанием, а заполнение углов фланца - осаживанием.

Сопротивление течению металла при заполнении полости  $\varnothing 50$  складывается из сопротивления отдельных элементов (1, 2, 3 по табл. 2.2).

$$K_{2p} = 2,8 \ln \frac{D}{d} + 2 \left(1 + \frac{\mu}{\operatorname{tg} \alpha}\right) \ln \frac{d}{d_n} + 2 =$$

$$= 2,8 \ln \frac{120}{50} + 2 \left(1 + \frac{0,4}{\operatorname{tg} 5^\circ}\right) \ln \frac{50}{44} + 2 = 5,9.$$

Сопротивление течению металла в углы фланца определим по номограмме на рис. 2.5.

Исходные данные:

$$C = \frac{h_n}{2} = \frac{25}{2} = 12,5;$$

$$z = 2;$$

$$\frac{C}{z} = \frac{12,5}{2} = 6,25;$$

$$\frac{D_n}{h_n} = \frac{120}{25} = 4,8.$$

По номограмме имеем:  $K_{2p}^* = 4,5$ .

Для дальнейших расчетов за сопротивление гравюры штампа принято наибольшее полученное значение, т.е.  $K_{2p} = 5,9$ .

Определим начальную высоту облойной щели:

$$h_n = 0,015 D_n = 0,015 \cdot 120 = 1,8 \text{ мм.}$$

Ширину порога облойной канавки примем равной 10 мм ( $B = 10$ ).

В соответствии с типовыми схемами штамповки (табл. 2.3) рассматриваемая поковка относится к 3-му типу. Сопротивление течению металла в облойную щель находится из следующего выражения:

$$K_{щ} = 1 + 0,12 \frac{D_n}{h_n} = 1 + 0,12 \frac{120}{1,8} = 9.$$

Определим необходимое сопротивление порога облойной канавки:

$$K_n = K_{зр} - K_{щ} = 5,9 - 9 = -3,1.$$

Критическую высоту щели подсчитываем из выражения

$$1 + 0,12 \frac{D_n}{h_{кр}} = 5,9,$$

откуда

$$h_{кр} = \frac{0,12 \cdot 120}{4,9} = 2,9 \text{ мм.}$$

Криволинейный профиль расширяющейся облойной щели, рассчитанной по уравнению (I), изменяется согласно следующей таблице:

$b$	0	2	4	6	8	10
$h = h^i (h_{кр} - h_n)$	1,8	2,0	2,2	2,4	2,61	2,84

Для изготовления штампа примем

$$h_n = 1,8 \text{ мм}; \quad B = 10 \text{ мм.}$$

В случае применения клиновой расширяющейся щели имеем

$$\frac{B}{h_{кр}} = \frac{10}{2,9} = 3,45; \quad \frac{D_n}{B} = \frac{120}{10} = 12.$$

По номограмме (пример "а" на рис. 2.6) найдем

$$\alpha_{кр} = 5^{\circ}55'.$$

Для изготовления штампа примем

$$h_n = 1,8 \text{ мм}; \quad B = 10 \text{ мм}; \quad \alpha = +6^{\circ}.$$

Усилие штамповки

$$P = Q_s \left[ (K_{щ} + K_n) F_n + \frac{K_n + 1}{2} F_s \right],$$

где  $K_{\text{ц}} = 9$  - максимальное сопротивление течению металла в облойную щель в конце процесса штамповки;

$$K_{\text{п}} = 0.$$

Окончательно получаем

$$P = 9,1 \cdot 9 \frac{\pi \cdot 120^2}{4} = 925 \text{ (т.с.)}$$

5.3. Рассмотрим случай, когда  $K_{2p} > K_{\text{ц}}$ . Пусть, например, для штамповки с  $D_{\text{п}} = 120 \text{ мм}$   $K_{2p} = 10,1$ , тогда

$$K_{\text{п}} = K_{2p} - K_{\text{ц}} = 10,1 - 9 = 1,1$$

(величина  $K_{\text{ц}}$  взята из предыдущего примера).

Минимальная ширина облой, обеспечивающая необходимое сопротивление порога ( $K_{\text{п}} = 1,1$ ) находится по номограмме (пример "б" на рис. 2.6).

Для данного примера

$$\frac{D_{\text{п}}}{B} = \frac{120}{10} = 12; \quad \frac{B}{h_{\text{п}}} = \frac{10}{1,8} = 5,55.$$

Из номограммы имеем

$$\alpha = +3^{\circ}45'; \quad \frac{b_{\text{мин}}}{h_{\text{п}}} = 1,3,$$

откуда  $b_{\text{мин}} = 1,8 \cdot 1,3 = 2,34$  и  $b_{\text{мин}} < B$ .

Окончательно для изготовления штампа примем следующие размеры облойной щели:

$$h_{\text{п}} = 1,8 \text{ мм}; \quad B = 10 \text{ мм}; \quad \alpha = +3^{\circ}45'.$$

Для принятых размеров щели по номограмме найдем  $K_{\text{п}}$  в следующей последовательности:

$$\alpha \rightarrow \frac{B}{h_{\text{п}}} \rightarrow K_{\text{п}} = 3^{\circ}45' \rightarrow \frac{10}{1,8} \rightarrow 4.$$

Усилие штамповки будет равно:

$$P = 9,1 \left[ (9+4) \frac{\pi \cdot 120^2}{4} + \frac{4+1}{2} \pi (120+10) \cdot 10 \right] = 1430 \text{ (т.с.)}$$

5.4. Изложенная методика технологических расчетов позволяет непосредственно связать размеры облойной щели со сложностью гравюры штампа, определив при этом область применения канавок с положительными и отрицательными углами наклона.

Применение расширяющихся клиновых щелей с критическим углом наклона для несложных штамповок заметно снижает необходимое усилие деформации и уменьшает контактное напряжение, благоприятно сказывается на стойкости облойной канавки и всего штампа. При штамповке на кривошипных прессах имеется возможность уменьшить начальную высоту щели, повысив тем самым эффективность заполнения гравюры штампа. При этом опасность заклинивания пресса от перегрузок сильно уменьшается в связи с уменьшением усилия доштамповки.

После определения размеров облойной канавки и объема облоя рассчитываются размеры исходной заготовки, сечение которой округляется до ближайшего размера поставляемого согласно ГОСТу.

В зависимости от принятых переходов штамповки определяются конфигурация и размеры заготовительных и штамповочных ручьев.

Безоблойная штамповка [19, 20]. Одним из перспективных способов сокращения отхода металла в облой является штамповка в закрытых штампах. В отличие от открытой штамповки, в этом случае расчетами не предусматривается определенный технологический отход металла (облой), который обеспечивал бы заполнение гравюры. Возможное вытеснение избытка металла в зазоры, наблюдаемое в некоторых технологических процессах закрытой штамповки, заранее не планируется и объясняется колебаниями объема заготовок.

Процесс штамповки в закрытых ручьях состоит из трех стадий: свободные осадки заготовки под плоскими или рельефными плитами до касания металлом стенок штампа; заполнение труднодоступных участков полости штампа; вытеснение излишнего металла в различные зазоры, щели полости и т.д.

Широкое внедрение закрытой штамповки ограничивается трудностями достижения соответствия объемов полости ручья и деформируемой заготовки. Последнее приводит к резкому повышению удельных давлений в штампе, интенсивному износу ручья, значительному колебанию высоты поковки.

В зависимости от способа размещения избытка металла штампы закрытой штамповки можно разделить на три типа:



Закрытые штампы. В этом случае после заполнения всех трудно-доступных участков гравюры избыток металла не вытесняется из ручья, а располагается в виде припуска по высоте поковки. Деформация в таком штампе протекает в две стадии.

Полузакрытые штампы. Заполнение ручья заканчивается на второй стадии. На третьей стадии происходит вытеснение избытка металла в специально предусмотренные отверстия, щели, зазоры и т.д. (компенсаторы).

Штампы с противодавлением. Если в естественные или искусственные приемники излишний металл начинает вытекать на первой или второй стадиях, т.е. до полного оформления поковки, то приходится создавать противодавление, которое до некоторой степени препятствует преждевременному вытеснению металла, сокращая его расход. При этом возникает необходимость планирования отхода металла, хотя и значительно меньшего, чем при открытой штамповке.

Закрытая штамповка может выполняться на различном оборудовании. Однако в зависимости от его конструктивных особенностей будут применяться различные типы штампов. Оборудование, не имеющее жесткой связи с приводом (паровоздушные молоты, фрикционные прессы, гидравлические пресс-молоты, высокоскоростное оборудование), позволяет применять закрытые штампы. Весь избыток оборудования воспринимается выступающей частью штампа, что вызывает понижение его стойкости. Поэтому закрытые штампы будут надежно работать в случае возможности точного регулирования энергии удара.

При использовании для закрытой штамповки кривошипных машин надежнее работают полузакрытые штампы с различными компенсаторами. Применение закрытых штампов возможно только при небольшой жесткости прессы и устранении значительного колебания объема заготовки.

Штамповка в закрытом штампе. Одним из важнейших вопросов технологического процесса штамповки в закрытых штампах является определение и получение точного объема исходной заготовки. Размеры заготовки и ее объем должны быть такими, чтобы при всех наилучших условиях гарантировать получение годной поковки.

Определяется расчетный объем поковки по максимально изношенному штампу, т.е. с наибольшими горизонтальными и наименьшими вертикальными размерами ( $V_{н.р}$ ). Расчет ведется по чертежу горячей штамповки.

С учетом угара определяется минимальный объем заготовки

$$V_{\text{заг. мин}} = \frac{100 V_{\text{н.р.}}}{100 K}, \quad (3)$$

где  $K$  - процент угара для выбранного способа нагрева заготовки [3]. Исходя из выбранного профиля (круг, квадрат и т.д.) находят расчетное поперечное сечение заготовки и ее размеры:

$$\left. \begin{aligned} d_3 &= \sqrt[3]{\frac{4V_{\text{заг. мин}}}{\pi m}}, \\ a_3 &= \sqrt[3]{\frac{V_{\text{заг. мин}}}{m}}, \end{aligned} \right\}$$

где  $d_3$  и  $a_3$  - диаметр круга или сторона квадрата соответственно;

$m = \frac{l_3}{d_3}$  - относительная длина заготовки.

Для уменьшения колебания объема заготовки численное значение  $m$  следует брать возможно большее в пределах  $m = 1,5 + 2,5$ .

Для низкопластичных материалов длина заготовки может быть определена по средней критической степени деформации:

$$2,5 \geq \frac{l_3}{d_3} \leq \frac{H_{\text{ср}}}{(1 - \varepsilon_{\text{кр}}) d_3},$$

где  $\varepsilon_{\text{кр}}$  - критическая степень деформации при заданной температуре;

$H_{\text{ср}}$  - средняя высота поковки;

$l_3$  - длина заготовки.

Учитывая форму ручки нижнего штампа (в целях более точной фиксации) уточняется поперечное сечение заготовки по ГОСТу на сортамент, после чего определяется минимальная длина заготовки.

Подсчитывается точность объема заготовки, зависящая от отклонений на диаметр, предусмотренных ГОСТом на сортамент, и точности выбранного способа резки. Определяется она по формуле

$$\lambda_1 = \frac{\Delta V_1}{V} = \frac{(2\Delta d_3 + \frac{\Delta l_3}{m})}{d_3} 100\%, \quad (4)$$

где  $\lambda_1 = \frac{\Delta V_1}{V}$  - относительная точность объема заготовки;  
 $\Delta d_3$  - плюсовой допуск на диаметр заготовки (принимается сумма абсолютных значений отрицательного и положительного допуска);  
 $\Delta l_3$  - плюсовой допуск на длину заготовки.

Кроме отклонений размеров заготовки, к несоответствию объемов заготовки и ручья приводит также изменение объема самого ручья, вызываемое колебаниями температуры системы поковка  $\tau$  штамп, износом штампа, неравномерностью нагрева заготовки и рядом других случайных факторов.

Предельное колебание величины объема ручья в результате износа можно принять [19]:

$$\lambda_2 = \frac{\Delta V_2}{V} \cdot 100 = 2\% , \quad (5)$$

а прочие колебания

$$\lambda_3 = \frac{\Delta V_3}{V} \cdot 100 = 0,5\% . \quad (6)$$

Несоответствия объемов заготовки и ручья штампа приводят к колебаниям высоты поковки, которые для нового и изношенного штампа будут различными и подсчитываются из следующего выражения:

$$\Delta H = \frac{4(\Delta V_1 + \Delta V_2 + \dots)}{\pi D_n^2} = \frac{4V(\lambda_1 + \lambda_2 + \dots)}{100 \pi D_n^2} , \quad (7)$$

где  $\Delta H$  - плюсовое отклонение на высоту поковки;  
 $\Delta V$  - абсолютное изменение объема;  
 $D_n$  - диаметр поковки.

Определяется изменение высоты поковки в новом штампе

$$\Delta H_1 = \frac{4V_{заг.м.н}(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)}{100 \pi D_n^2} , \quad (8)$$

а затем в изношенном

$$\Delta H_2 = \frac{4V_{заг.м.н}(\lambda_1 + \lambda_2)}{100 \pi D_n^2} . \quad (9)$$

Наибольшее отклонение, получаемое в новом ручье, является положительным допуском на высоту поковки.

При штамповке на кривошипных машинах (прессы, ГМ) эти отклонения должны компенсироваться упругой деформацией системы пресс - штамп. На рис. 2.8 изображены графики суммарной деформации ковочно-штамповочных прессов [21]. Дополнительная упругая деформация штампа может быть учтена путем увеличения соответствующих значений из графиков на 20 - 25%.

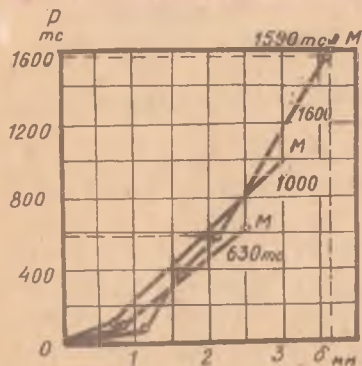


Рис.2.8.Графики суммарной деформации ковочно-штамповочных прессов 2I

Определяется фактическое усилие, необходимое для штамповки в закрытом штампе на кривошипном прессе:

$$P_{\text{ф}} = \sigma_s K_{\text{эф}} \frac{\pi D_n^2}{4}, \quad (10)$$

где  $\sigma_s$  - предел текучести материала для данных температурно-скоростных условий;

$K_{\text{эф}}$  - сопротивление гравыры штампа (подсчитывается по формулам табл. 2.2 и рис. 2.5 по методике, из-

ложенной в разделе "Открытая штамповка вдоль оси заготовки" настоящего пособия).

После выбора номинального усилия прессы по графикам (рис.2.8) определяется упругая деформация прессы, которая для учета деформации штампа увеличивается на 20 - 25%. Запас пружинения системы пресс - штамп будет равен:

$$\Delta \delta = \delta_{\text{ном}} - \delta_{\text{ф}},$$

где  $\delta_{\text{ном}}$  и  $\delta_{\text{ф}}$  - упругие деформации системы пресс - штамп соответственно при номинальном и фактическом усилиях.

Вопрос о возможности применения закрытого штампа на кривошипном прессе решается путем сравнения полученного запаса пружинения  $\Delta \delta$  и возможного изменения высоты поковки в новом штампе, т.е. необходимо, чтобы

$$\Delta \delta \geq \Delta H_1.$$



Для выполнения этого условия нужно увеличить точность размеров заготовки за счет применения калиброванного прутка или выбора более точного способа резки. Однако увеличение затрат не должно повысить себестоимость поковки в случае ее изготовления в полузакрытом штампе; использовать пресс большего номинального усилия; при невозможности применения указанных выше мероприятий разработать процесс штамповки в полуоткрытых штампах.

**Пример расчета:**

Необходимо определить возможность применения закрытого штампа для изготовления поковки, представленной на рис. 2,7.

Расчетный объем поковки  $V_{н.р} = 295 \text{ см}^3$ . Принимая нагрев в газовой печи, определяем минимальный объем заготовки:

$$V_{заяв. min} = \frac{100 \cdot 295}{100 - 3} = 340 \text{ см}^3.$$

Приняв  $m = 2$ , найдем диаметр заготовки:

$$d_3 = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 340}{\pi \cdot 2}} = 62 \text{ мм.}$$

Заготовка диаметром  $\sim 60$  мм является нетехнологичной, так как незначительно перекрывает углубление штампа. Увеличение диаметра приводит к уменьшению  $\frac{L_3}{d_3} = m$ , что усложняет резку и ухудшает точность объема. Для штамповки выбираем горячекатаную круглую заготовку (по ГОСТу 2590-57) обычной точности диаметром  $d_3 = 60^{+0,5}_{-1,1}$  мм, предполагая в дальнейшем применение предварительной осадки.

Минимальная длина заготовки

$$l_{3 min} = \frac{4V_3 min}{\pi D_3^2} = \frac{4 \cdot 340}{\pi \cdot 6^2} = 120 \text{ мм,}$$

что соответствует

$$m = \frac{120}{60} = 2.$$

Допускаемое отклонение длины заготовки при резке дисковой пилой

[3,20]

$$\Delta l_3 = 1 \text{ мм,}$$

тогда

$$\lambda_1 = \frac{(2 \cdot 1,6 + \frac{1}{2}) 100}{60} = 6,15 \%$$

Приняв  $\lambda_2 = 2\%$ , а  $\lambda_3 = 0,5\%$ , найдем колебание высоты поковки в новом штампе:

$$\Delta H_1 = \frac{4 \cdot 340 (6,15 + 2 + 0,5)}{100 \pi 12^2} = 0,26 \text{ см} = 2,6 \text{ мм.}$$

Для изношенного штампа

$$\Delta H_2 = \frac{4 \cdot 340 (6,15 + 0,5)}{100 \pi \cdot 12^2} = 0,2 \text{ см} = 2 \text{ мм}.$$

Сопrotивление гравюры штампа  $K_{\text{гp}} = 5,9$ , а  $\sigma_s = 9,1 \text{ кг/мм}^2$  (см. пример расчета в разделе "Открытая штамповка вдоль оси заготовки"). Тогда фактическое усилие штамповки

$$P_{\text{ф}} = 9,1 \cdot 5,9 \frac{\pi \cdot 120^2}{4} = 607 \text{ т.с.}$$

Примем пресс с номинальным усилием 630 тс. По графику (рис.2,8)  $\delta = 2,5 \text{ мм}$ . Учитывая упругую деформацию штампа,  $\delta_{\text{ном}} = 1,2 \cdot 2,5 = 3 \text{ мм}$ , а  $\delta_{\text{ф}} = 1,2 \cdot 2,4 = 2,9 \text{ мм}$ , откуда  $\Delta \delta = 3 - 2,9 = 0,1 \text{ мм}$ , т.е. явно недостаточно для компенсации колебаний высоты поковки.

Для пресса с номинальным усилием 1000 тс

$$\Delta \delta = 1,2 \cdot 3 - 1,2 \cdot 2 = 1,2 \text{ мм}$$

(что также недостаточно).

Дальнейшее увеличение усилия пресса нецелесообразно.

Для круглой калиброванной стали (ГОСТ 7417-57) по пятому классу точности

$$d_3 = 60 - 0,4 \text{ мм},$$

тогда

$$\lambda_1 = \frac{(20,4 + \frac{1}{2}) 100}{60} = 2,17\%.$$

а

$$\Delta H_1 = \frac{4 \cdot 340 (2,17 + 2 + 0,5)}{100 \pi \cdot 12^2} = 1,4 \text{ мм},$$

что также не удовлетворяет условию размещения колебаний высоты поковки. Применение калиброванного прутка более высокого класса точности не экономично из-за высокой стоимости. Таким образом, рассмотренную поковку лучше штамповать в полузакрытом или открытом штампе, разместив линию разреза в наиболее труднодоступной части гравюры штампа.

Применение закрытых штампов на оборудовании, не имеющем жесткой связи с приводом (паровоздушные молоты, фрикционные прессы, гидровинтовые пресс-молоты и др.), не может привести к заклиниванию оборудования. Однако в связи с колебаниями высоты поковки между верхним и нижним штампами необходимо предусматривать зазор, величина которого будет уменьшаться по мере износа ручья. Этот зазор равен изменению высоты поковки в но-

вом и изношенном штампах и подсчитывается по приведенным выше формулам. Если штампы при лишнях ударах и увеличенной энергии удара не смыкаются, то в полости ручья нередко возникают большие напряжения, которые могут привести к образованию торцевого заусенца, появлению трещин в углах штампа или к увеличению диаметра полости и преждевременному выходу инструмента из строя. Стойкость штампов оказывается особенно низкой, когда изготовляют относительно высокие поковки.

При штамповке на молотах, когда ручей заполнен, вся энергия удара молота воспринимается выступом, который может осесть и расклинить полость. Для хорошей работы выступа на смятие необходимо, чтобы площадь поверхности соударения (площадь поперечного сечения выступа штампа) составляла  $250 + 300 \text{ см}^2$  на 1 т массы падающих частей молота [19]. Для обеспечения надежной работы закрытого штампа после выбора падающих частей молота необходима его проверка по удельной площади смятия:

$$S = \frac{\pi D^2 n}{G 4} \geq 250 - 300 \text{ см}^2/\text{т}, \quad (\text{II})$$

где  $G$  — принятый вес падающих частей молота. При неудовлетворении указанного неравенства достаточная стойкость штампов может быть получена только при условии небольших колебаний поковки по высоте.

Штамповка в закрытых штампах за один удар (высокоскоростные молоты, гидровинтовые прессы и др.) требует точного выбора оборудования по энергии удара. Большой избыток энергии приводит к высоким давлениям в полости штампа и быстрому износу ручья.

Штамповка в полузакрытых штампах. Особенностью конструкции таких штампов является наличие приемников для избытка металла заготовки (компенсаторов). Компенсатор должен удовлетворять следующим требованиям:

располагаться по возможности там, куда металл поступает в ручье в последнюю очередь, т.е. на наиболее труднодоступном участке;

при вытеснении в приемник металла сопротивление деформированию не должно существенно повышаться по сравнению с сопротивлением, необходимым для заполнения труднодоступных участков ручья (особенно углов). Для правильного выбора типа компенсатора (торцевой, бо-

ковой, осевой и др.) и места его расположения проводится тщательный анализ формоизменения заготовки в процессе деформации [14]. При анализе путем расчетов определяется последовательность заполнения элементов полости штампа, на основании чего делается вывод о наиболее труднодоступном участке ручья.

После выбора типа компенсатора необходимо провести расчет его размеров [19]. В случае применения его только для размещения избытка металла размеры определяются исходя из избытка объема заготовки, который подсчитывается как для закрытых штампов. Если же расположить компенсатор в труднодоступном месте ручья не удастся и металл начинает поступать в него на второй стадии, необходимо предусмотреть некоторый технологически необходимый объем, обеспечивающий заполнение полости штампа [19].

После выбора вида штамповки конструируется штамп. Конструирование сопровождается прочностными расчетами наиболее нагруженных деталей.

## 5. Расчет усилия штамповки и выбор оборудования

В зависимости от конструктивных особенностей оборудование, применяемое в кузнечных цехах, характеризуется двумя основными параметрами: усилием и энергией удара. Для кривошипных машин (КГШП, ГКМ и др.) основным показателем является номинальное усилие в конце хода ползуна. Развиваемым усилием характеризуются также гидравлические прессы.

Для паровоздушных и высокоскоростных молотов наиболее важным параметром будет энергия удара (вес падающих частей для паровоздушного молота). Фрикционные и гидровинтовые прессы характеризуются энергией удара, но в связи с тем, что усилие штамповки при работе передается на замкнутую станину, для них вводится ограничение по максимально допустимому усилию. Поэтому подход к выбору мощности различного оборудования не должен быть неодинаковым.

Основой для выбора мощности любого вида оборудования является график изменения усилия деформирования на протяжении всего процесса штамповки. Наличие такого графика позволяет рассчитать как потребное усилие штамповки, так и необходимую энергию деформации



за весь процесс (или за последний удар). В некоторых случаях (для выбора кривошипных прессов, горизонтально-ковочных машин) достаточно знать максимальное усилие в конце процесса штамповки.

Анализ формоизменения заготовки [14]. Для правильного выбора переходов штамповки и разработки оптимального технологического процесса необходимо провести анализ формоизменения заготовки в штамповочном ручье. Анализ сводится к установлению порядка заполнения отдельных элементов гравюры штампа и формы размеров заготовки на различных стадиях деформации. В зависимости от конфигурации поковки, соотношения размеров заготовки и вида процесса (открытая или закрытая штамповка) характерные этапы формоизменения будут несколько отличаться. При закрытой штамповке можно выделить следующие основные стадии [14]:

I - стадия открытой деформации, которая в зависимости от перечисленных выше факторов может представлять собой свободное осаживание, открытое выдавливание, открытую прошивку или сочетание этих операций.

II - стадия закрытой деформации, которая может выражаться в виде закрытого выдавливания, прошивки или их сочетания.

III - стадия окончательного заполнения углов самой труднодоступной части гравюры.

Применение полузакрытой штамповки может привести к появлению IV стадии - вытеснению избытка металла в компенсатор.

Процесс открытой штамповки также характеризуется несколькими стадиями:

$I^I$  - стадия открытой деформации, аналогичная I стадии закрытой штамповки.

$II^I$  - стадия одновременного течения металла в облой и гравюру штампа.

$III^I$  - стадия доштамповки, характеризуемая вытеснением избытка металла в облой. Небольшие трудности при открытой штамповке представляет аналитический расчет момента возникновения  $III^I$  стадии, поэтому при проектировании этот момент может не рассматриваться.

Анализ формоизменения заготовок в закрытом штампе можно провести на основании работы [14], в которой приводится методика расчета трех стадий процесса для круглых поковок различной конфигурации, штампуемых в торец. Расчеты необходимо вести для заготовки

минимального объема, рассчитанной по формуле (3). В случае применения ползунок штампов перемещение ползуна на IV стадии принимается численно равным колебанию высоты поковки в новом штампе (уравнение 8). При штамповке в торец деталей не круглой формы приближенный анализ формоизменения можно провести, заменив фактические сечения поковки на эквивалентные круглые, из выражения

$$d_{экв} = 1,13 \sqrt{F_{поков}}$$

В случае открытой штамповки продолжительность первой стадии можно приближенно рассчитать как стадию открытой деформации. В зависимости от положения линии разреза штампов величину этой стадии следует скорректировать. Вторую и третью стадии, как указано выше, при анализе можно объединить. Расчет формоизменения необходимо выполнять для любого технологического процесса независимо от вида применяемого оборудования.

При изготовлении поковок поперек оси заготовки (штамповка плашмя) расчет стадий формоизменения представляет большие трудности и может выполняться индивидуально по рекомендациям консультанта. На основании расчета приводятся рисунки всех стадий формоизменения с указанием основных полученных размеров.

Расчет силовых характеристик процесса. Расчет изменения усилия деформации по ходу процесса производится для каждой стадии формоизменения, полученной в результате выполненного анализа.

I стадия. Расчетные формулы для определения усилия в конце этой стадии выбираются в зависимости от вида открытой деформации, присущей рассматриваемому процессу [3; 14; 15] (открытое выдавливание, осадка, открытая прошивка и т.д.). Потребное усилие может быть определено путем построения эпюр контактных напряжений [14]. Например, для случая открытого выдавливания в цилиндрическое очко (рис. 2.9) безразмерные напряжения равны:

$$n_0 = \left(2 + \mu \frac{D}{d}\right)^{\frac{d_0}{d}} - 1;$$

$$n_1 = n_0 + 1;$$

$$n_2 = 1.$$

Средняя ордината эпюры контактных напряжений может быть определена с использованием графоаналитического метода:

$$n = \frac{V_3}{F_n},$$

где  $V_3$  - объем пространственной эпюры контактных напряжений для конца I стадии;  $F_n$  - площадь поковки в плане;

или из выражения

$$n_{ср} = \left(1 + \frac{\mu}{3} \frac{D}{n}\right) - \frac{1}{3} \left(\frac{D_n}{d_n} + \mu \frac{D_n}{n}\right) \left(\frac{D_n}{D}\right)^2,$$

где

$$D_n = \frac{D}{1 + \frac{1}{\mu} \frac{n}{d_n}}.$$

Тогда необходимое усилие деформирования можно рассчитать по формуле

$$P \approx n_{ср} \sigma_s \frac{\pi D^2}{4}.$$

Аналогичная методика расчета приводится [14] для других видов открытой деформации.

II стадия. Расчет усилия выполняется для принятой схемы закрытой деформации. Величины контактных напряжений рассчитываются по следующим формулам:

$$n_0 = (n'_0, n''_0 \text{ и т.д.}) = 1,5 \varepsilon_n \frac{F_n}{f_n} + \left(1 + \frac{\mu}{\varepsilon_n \alpha}\right) \varepsilon_n \frac{f_n}{f} + 2\mu \frac{h}{D_n};$$

$$n_1 (n'_1) = n_0 + 1;$$

$$n_{послед} = n_{пред} + \mu \frac{2x}{h_1},$$

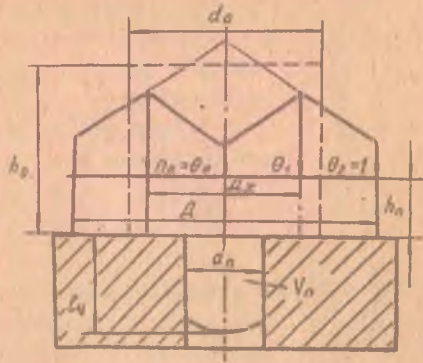


Рис.2.9.Схема открытого выдавливания в цилиндрическое очко

- где  $f_n$  - площадь в плане рассматриваемой полости - большее значение;  
 $f$  - площадь в плане рассматриваемой полости - меньшее значение;  
 $\alpha$  - уклон стенок рассматриваемой полости;  
 $h$  - высота поковки в крайней точке;  
 $x = x_1, (x_2, x_3 \dots \text{и т.д.})$ ;  
 $h_1$  - высота рассматриваемого элемента.

Эпюры этих напряжений показаны на рис. 2, I0а, б, в. Полное усилие определяется, как в первой стадии. Выбор для расчета соответствующего осевого напряжения ( $\sigma_0, \sigma_0', \sigma_0''$  и т.д.) зависит от последовательности заполнения полостей, выявленной при анализе формоизменения. Для других конфигураций поковок подбираются аналогичные выражения [14; 15].

III стадия характеризуется значительным повышением усилия, вызванным заполнением углов штампа. Эпюры контактных напряжений для этой стадии строятся исходя из условия, что  $m_k = n_k$ . Каждое последующее напряжение по направлению к оси поковки определяется по формуле

$$m_{\text{посл}} = m_{\text{пред}} + \mu \frac{2x}{h}.$$

Дальнейший расчет аналогичен рассмотренным стадиям.

Полное усилие для этой стадии можно определить также через сопротивление гравюры штампа  $K_{2p}$  из выражения:

$$P = \sigma_s K_{2p} \frac{\pi D^2}{4}$$

(расчет  $K_{2p}$  см. в разделе "Открытая штамповка вдоль оси заготовки").

IV стадия. Усилие в конце этой стадии зависит от принятого типа компенсатора и его размеров. На рис. 2.II и 2.I2 показаны схемы течения металла в компенсаторы двух типов. Полное усилие при заполнении этих компенсаторов можно определить из следующих выражений [19]:



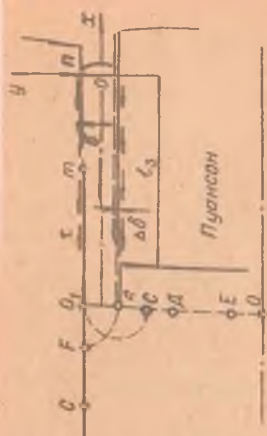


Рис.2.11. Схема течения металла в торцевую щель

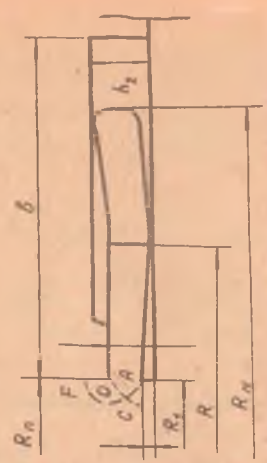


Рис.2.12. Боковая диаметральной щель с заусенцем

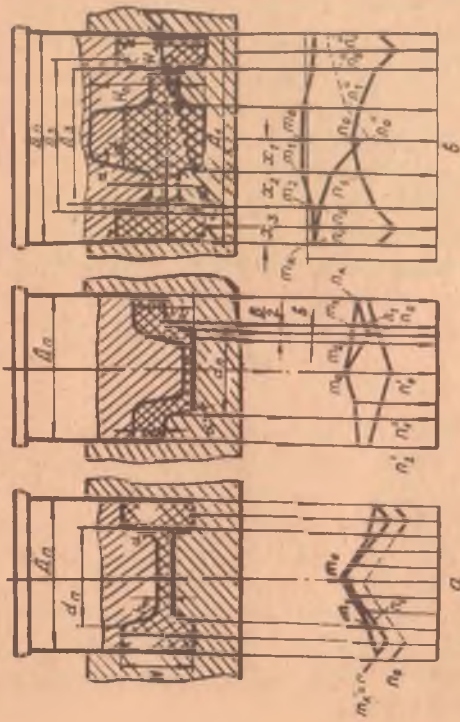


Рис.2.10. Схема закрытой штамповки типовых поволок [14]

для торцевого компенсатора

$$P = \sigma_s F_n \left\{ 3,82 + \frac{2\ell_3 \mu}{\delta} + \eta^2 \left[ 1,426 \ell_n \frac{2}{2(\eta-1)} + 6 \frac{(\eta-1)}{\eta} - 3 \frac{(\eta-1)^2}{\eta^2} - 2,22 \right] \right\};$$

для диаметральной щели (низкие поковки  $H < D$ )

$$P = \sigma_s F_n \left( 1,285 + 1,5 \ell_n \frac{2,12 H}{h} + 4,24 \frac{h}{D} - 1,5 \frac{h^2}{D^2} - 4,5 \frac{H}{D} + 1,92 \frac{H^2}{D^2} + \frac{D}{2H} - 1,5 \right).$$

Здесь  $F_n$  - площадь выступающей части закрытого штампа в плане;

$\delta$  - толщина торцевой щели;

$\ell_3$  - глубина затекания металла в торцевую щель (определяется исходя из размеров щели и абсолютного изменения объема заготовки).

$$\eta = \frac{D_n}{D\delta};$$

$H = \frac{V_{max}}{F_n}$  - средняя высота поковки;

$h$  - конечная высота боковой щели;

$D$  - диаметр поковки в полости щели.

В качестве диаметральной компенсационной полости могут применяться расширяющаяся криволинейная щель (уравнение 1) или клиновая (уравнение 2) облойные щели при условии их расположения на торце поковки. В этом случае критическая начальная высота щели определяется из выражения

$$h_{кр} = 0,015 D_n + \Delta H_1,$$

где  $\Delta H_1$  - рассчитывается по уравнению (8), а ширина щели определяется из максимального несоответствия объемов поковки и заготовки (уравнения 4, 5, 6).

При проектировании процесса открытой штамповки необходимые усилия рассчитываются для окончания I<sup>I</sup> и II<sup>I</sup> стадий. Усилия на I<sup>I</sup> стадии определяются аналогично I стадии закрытой штамповки на основании проведенного ранее анализа формоизменения заготовки при свободной деформации (открытая прошивка, выдавливание и т.д.).

II<sup>I</sup> стадия. Максимальные усилия в конце этой стадии будут зависеть от типа применяемой облойной канавки и конфигурации поковки.

Для осесимметричных поковок эта величина находится в соответствии с методикой, изложенной в разделе "Открытая штамповка вдоль оси заготовки" или (в случае применения параллельной облойной щели) из выражения [15]:

$$P = \sigma_s \left\{ \left( 1,5 + \frac{1}{2} \frac{B}{h_3} \right) F_3 + \left[ \frac{B}{h_3} - 0,375 + 1,25 \left( \ln \frac{D_n}{h_3} + 2 \frac{h_2}{D_n} \right) \right] F_n \right\}.$$

Для поковок удлиненного типа, имеющих в плане форму прямоугольника или приближающихся к ней, максимальное усилие равно:

$$P = \sigma_s^* \left\{ \left( 1 + \frac{1}{2} \frac{B}{h_3} \right) F_3 + \left[ \frac{B}{h_3} - 0,25 + 1,25 \left( \ln \frac{a}{h_3} + \frac{h_2}{a} \right) \right] F_n \right\},$$

- где  $B$  - ширина мостика облойной канавки;  
 $h_3$  - толщина заусенца в конце процесса штамповки;  
 $\sigma_s^* = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_s$ ;  
 $F_n$  - площадь проекции поковки (или рассматриваемой части ее при расчленении сложной поковки на элементарные участки) в плоскости разреза;  
 $F_3$  - площадь проекции мостика заусенца;  
 $a$  - средняя ширина поковки в плоскости разреза штампов.

Выбор оборудования. После анализа формоизменения заготовки, установления числа и продолжительности стадий деформирования и расчета усилий на каждой стадии строится график усилие - путь деформирования (рис. 2.13). Необходимая работа деформации  $A_{деф.}$  равна площади, ограниченной кривой усилия и осью  $h$ , и может быть подсчитана графо-аналитическим методом.

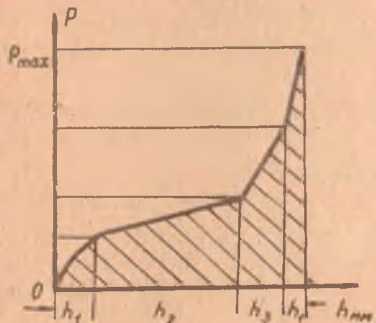


Рис. 2.13. Типовой график усилие - путь деформации

Дальнейший расчет выполняется на основании полученного графика в зависимости от вида применяемого оборудования.

а) Кривошипные прессы, горизонтально-ковочные машины и гидравлические прессы выбираются по их номинальному усилию в зависимости от максимального усилия, необходимого в конце штамповки, т.е.  $P_{ном} = K \cdot P_{max}$ , где  $K = 1,2 + 1,3$  - коэффициент запаса.

Выбор фрикционных прессов производится на основании необходимой работы деформации  $A_{деф}$ . Поскольку штамповка на фрикционных прессах обычно выполняется за один ход, необходимо, чтобы

$$A_{уд} \geq A_{деф}$$

В связи с тем, что фрикционные прессы чувствительны к перегрузкам по усилию, необходимо также соблюдать следующее условие:

$$P_{ном} \geq 2P_{max}$$

Штамповка на молотах выполняется за несколько ударов, поэтому выбор молота производится по энергии последнего удара. Полезная работа, затрачиваемая при последнем ударе, определяется по формуле

$$A_n = P \Delta h,$$

где  $\Delta h = \frac{2,5(75 + 0,001 D_n^2)}{D_n}$  — осадка за последний удар;  
 $P$  — необходимое усилие деформирования в течение последнего удара, которое с некоторым завышением результата может быть принято равным  $P_{max}$ .

При штамповке металлов, склонных к росту зерна при критических степенях деформации, полезная работа рассчитывается по формуле

$$A_n = \varepsilon V_n P_{уд},$$

где  $\varepsilon$  — деформация за последний удар (принимается по условиям рекристаллизации до мелкого зерна);

$V_n$  — объем поковки;

$P_{уд} = \frac{P_{max}}{F_n}$  — удельное усилие течения в конце штамповки.

Запас энергии одного удара молота составляет

$$A_{уд} = \eta \frac{GV^2}{2q},$$

где  $\eta$  — КПД удара,  $\eta = 0,8$ ;

$V$  — скорость штампа в момент соприкосновения с поковкой ( $V = 6,5$  м/сек);

$G$  — вес падающих частей молота;

$q$  — ускорение силы тяжести.

Вес падающих частей молота выбирается из условия  $A_n = A_{уд}$  или после преобразований

$$G = \frac{22q A_n}{V^2} \text{ кг}$$



Число ударов молота  $n$  при штамповке можно определить из выражения

$$A_{деф} = n A_{уд}.$$

Выбор высокоскоростных молотов должен производиться по их номинальной энергии удара (при штамповке за один удар) из условия

$$A_{уд} = A_{деф}.$$

При штамповке на гидровинтовых пресс-молотах последние выбираются по развиваемой номинальной энергии. При этом дополнительно необходимо, чтобы усилие штамповки в конце процесса  $P_{max}$  не превышало номинального усилия оборудования.

## 6. Резка заготовок

Способ резки заготовок определяется в зависимости от принятого технологического процесса, марки и сечения исходного материала, требуемого качества торца и допуска на размер отрезаемой заготовки. При штамповке заготовок вдоль оси качество торца должно обеспечить устойчивое ведение процесса и исключить перекосы в начале процесса. Наиболее жесткие условия к заготовке предъявляются при безоблойной штамповке. В этом случае получаемая весовая точность заготовки должна быть согласована с допустимыми колебаниями объема поковки.

После выбора способа резки рассчитываются возникающие при этом отходы и определяется раскройный коэффициент использования металла. Согласно ГОСТу в каждой партии поставляемого проката допускается различная длина штанг, поэтому расчет отходов ведется исходя из средневероятной расчетной длины поставляемого проката [3].

На основании проведенных расчетов определяется расход металла по всем технологическим операциям и подсчитывается норма расхода металла на одну поковку. Баланс металла сводится в таблицу (табл.2.4)

На основании полученной нормы расхода металла на поковку рассчитывается программа запуска. Определяется необходимое усилие и режимы резки. Приводится техническая характеристика принятого оборудования. В заключение описывается и поясняется эскизами схема механизации данного процесса.

Таблица 2.4

№ пп	Технологическая операция	Вид отхода	Величина отходов, кг	Всего отходов, кг	Вес металла, поступающего на данную операцию, кг	КИМ к данной операции
1	Чистая деталь		-		3	
2	Механическая обработка	Стружка	2	2	5	$\frac{3}{6,6} = 0,45$
3	Термообработка	Угар	0,1	0,1	5,1	$\frac{5}{6,6} = 0,76$
4	Штамповка	Облой Клещевина Угар Перемычка и т.д.	0,5 0,2 0,1 0,1	0,9	6	$\frac{5,1}{6,6} = 0,77$
5	Резка	Торцевые обрезки, Прорезка Некратность	0,2 0,3 0,1	0,6	6,6	$\frac{6}{6,6} = 0,91$
6	Норма расхода металла на поковку				6,6	

### 7. Нагрев заготовок

При выборе способа нагрева заготовок принимаются во внимание свойства штампуемого материала, возможности уменьшения окалины, качество нагрева, механизация процесса. Для выбранного способа рассчитывается время нагрева заготовок.

Необходимая производительность и мощность печи должна быть согласована с производительностью основного оборудования и обеспечивать его бесперебойную работу.

В зависимости от свойств штампуемого материала и требований, предъявляемых к качеству поковок выбирается режим охлаждения.

## 8. Обрезка облоя и правка поковок

Способ обрезки облоя зависит от марки материала поковки, толщины облоя и веса поковки, величины программы. Приводится обоснование и дается описание принятого в проекте технологического процесса обрезки облоя в горячем или холодном состоянии, на обрезных прессах, ленточных пилах и т.д. Подсчитывается зазор между матрицей и пуансоном, определяется необходимое усилие обрезки облоя и проколки перемычки [16]. При применении комбинированных штампов с буферными устройствами рассчитывается усилие, необходимое для сжатия буфера.

Одновременно определяется возможность совмещения операции обрезки с другими отделочными операциями (правка, калибровка, прошивка отверстий и др.). В случае применения совмещенных штампов потребные усилия по всем операциям суммируются.

При горячей обрезке облоя обрезной пресс располагается рядом с основным деформирующим оборудованием и работает в общем технологическом цикле.

В этом случае обрезной пресс выбирается с завышенным усилием по рекомендациям [3] в зависимости от веса падающих частей обслуживаемого молота.

После выбора обрезного пресса приводится его техническая характеристика.

## 9. Отделочные операции

Описывается принятый в проекте способ очистки поковок от окислины (травление, очистка песком, дробью, в галтовочных барабанах и т.д.) даются его преимущества в сравнении с прочими способами и обоснование выбора и применения в разрабатываемом проекте.

Если по технологическому процессу изготовления поковок предусматривается заточка заусенцев после обрезки облоя, в данном разделе дается обоснование и описание процесса заточки.

В зависимости от требований, предъявляемых к поковке, вида ее дальнейшей обработки и свойств материала назначается режим термообработки. Разработка технологического процесса заканчивается составлением операционно-технологической карты.

#### IV. РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ШТАМПОВ И ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

При штамповке детали на молоте рассчитываются исходные размеры штампового кубика. При этом учитываются минимально-допустимые расстояния между ручьями и допустимая площадь соударения штампов из условия их прочности. При компоновке ручьев на зеркале штампа учитываются центры тяжести кубика, ручья и штампа, взаимное смещение которых должно находиться в допустимых пределах [3].

При штамповке поковки на кривошипном прессе, ГММ или другом оборудовании конструирование штампа ведется с учетом особенностей работы этого оборудования. В случае конструирования штампов для выдавливания производится расчет матриц на внутреннее давление.

При конструировании обрезающих и прошивных штампов выбирается тип обрезающих матриц и пуансонов, подсчитываются их размеры и конфигурация, делаются прочностные расчеты тяжело нагруженных деталей. Расчеты инструмента поясняются эскизами рассчитываемых или выбираемых элементов конструкции (план расположения ручьев на зеркале молотового штампа, форма режущих кромок обрезающей матрицы и т.д.).

Для сконструированных штампов и их деталей выбираются марки сталей (основных и заменителей) и дается обоснование их выбора.

На качество и стойкость оснастки большое внимание оказывает правильный выбор технологической смазки. В зависимости от типа поковки и марки штампуемого материала выбирается вид смазки и описывается способ ее подачи в штамп.

В заключение приводится краткое описание работы штампов.

#### V. РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА ОБОРУДОВАНИЯ И ПЛАНИРОВКА УЧАСТКА

Расчет необходимого количества оборудования ведется исходя из его производительности. Для этого определяются нормы выработ-



ки по всем операциям штамповки и подсчитывается потребное количество основных штамповочных агрегатов.

В случае связанного технологического цикла количество вспомогательного оборудования определяется в зависимости от количества основного. Иногда работа вспомогательного оборудования не зависит от темпа работы штамповочных агрегатов (резка заготовок, обрезка облоя в холодном состоянии и пр.). В этом случае количество оборудования определяется исходя из его норм выработки и заданной программы.

После определения количества основного и вспомогательного оборудования выполняется планировка рабочего участка со схемой расположения оборудования и вспомогательных устройств. При разработке вопросов компоновки и норм размещения оборудования отправными материалами служат опубликованные в печати планировки кузнечных цехов различного назначения [3, 4, 17], цеха производственной практики студентов, а также справочные материалы, имеющиеся в кабинете курсового и дипломного проектирования.

Раздел заканчивается описанием принятого на участке движения заготовок и поковок в технологической цепочке, дается обоснование выбранного расположения оборудования, описываются применяемые средства механизации и автоматизации трудоемких и непроизводительных процессов и операций.

## VI. ОФОРМЛЕНИЕ ГРАФИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ПРОЕКТА

Графический материал в объеме 2,5 + 3 листов выполняется в соответствии с требованиями Единой системы конструкторской документации.

Все рабочие чертежи (деталь, заготовка и пр.) выполняются в масштабе 1:1. Для выносимых на листы операционных эскизов допускается любой масштаб, в том числе и не стандартный, но с обязательным соблюдением этого масштаба для всех частей изображения (соблюдение пропорции).

На сборочных чертежах технологической оснастки может быть условно изображена штампуемая поковка и все примыкающие к конструкции части оборудования (ползун пресса, подштамповая плита и т.д.).

На листы могут быть вынесены:

- сборочные чертежи применяемой технологической оснастки (штампы, приспособления);
- детализовка штампов и приспособлений;
- эскизы операционных переходов технологического процесса;
- планировка участка цеха;
- средства механизации и автоматизации;
- чертеж чистой детали и поковки.

Окончательно графический материал, который будет представлен на листах, уточняется с консультантом проекта. Остальной материал, относящийся к расчетам технологического процесса и не вошедший в графическую часть, помещается в пояснительной записке.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ребельский А.В., Брюханов Н.Н. Конструирование и расчет штампов для горячей штамповки. М., Машгиз, 1947.
2. Охрименко Я.М. Технология кузнечно-штамповочного производства. М., "Машиностроение", 1966.
3. "Ковка и объемная штамповка" Справочник под ред. М.В.Сторожева, т. 1, М., "Машиностроение", 1967.
4. "Ковка и объемная штамповка" Справочник под ред. М.В.Сторожева, т. 2, М., "Машиностроение", 1967.
5. Сторожев М.В., Середин П.И., Кирсанова С.Б. Технологияковки и горячей штамповки цветных металлов и сплавов. М., "Высшая школа", 1967.
6. Рекомендации по технологичности самолетных конструкций. М., НИИТ, 1959.
7. ГОСТ 7829-55. Припуски на обработку и допуски на ковку, для поковок, изготавливаемых под прессами.
8. ГОСТ 7062-67. Припуски на обработку и допуски на ковку, для поковок, изготавливаемых под прессами.
9. ГОСТ 7505-55. Допуски и припуски на поковки, штампуемые на молотах, прессах и горизонтально-ковочных машинах.
10. Штамповка холодная, объемная выдавливанием. РМО, 1186-62.
11. Соколов Н.Л. Горячая штамповка выдавливанием стальных деталей. М., "Машиностроение", 1967.

12. Корнеев Н.И., Певзнер С.Б. и др. Обработка давлением тугоплавких материалов и сплавов. М., "Металлургия", 1967.
13. Шофман Я.А. Основы расчета процессов штамповки и пресования. М., Машгиз, 1961.
14. Ребельский А.В. Основы проектирования процессов горячей объемной штамповки. М., "Машиностроение", 1965.
15. Сторожев М.В., Попов Е.А. Теория обработки металлов давлением. М., "Высшая школа", 1963.
16. Атрошенко А.П. и др. Современные штампы для обрезки облоя. М.-Л., "Машиностроение", 1966.
17. Хржановский Б.И. Проектирование кузнечных цехов. Машгиз, 1949.
18. Атрошенко А.П. Технология горячей вальцовки. "Машиностроение", Л., 1969.
19. Журавлев А.з. Основы теории штамповки в закрытых штампах. М., "Машиностроение", 1973.
20. Ангервакс А.И. и др. Безоблойная штамповка. М.-Л., Машгиз, 1958.
21. Вяткин В.П., Баскаков С.Т. Исследование деформации и напряжений кривошипных ковочно-штамповочных прессов. Сб. УН.КМаша "Исследование и расчеты машин кузнечно-штамповочного производства". М., Машгиз, 1959.

# О Г Л А В Л Е Н И Е

Предисловие .....	3
Раздел I. ЛИСТОВАЯ ШТАМПОВКА	
I. Содержание и объем курсового проекта.....	4
II. Разработка технологического процесса.....	6
1. Конструктивно-технологический анализ детали.....	7
2. Анализ и прижненно-деформированного состоя- ния и выявление "опасных" мест и сечений...	8
3. Определение размеров и форм заготовок.....	9
Вытяжка осесимметричных деталей простой формы.....	10
вытяжка осесимметричных деталей сложной формы.....	10
вытяжка прямоугольных коробчатых деталей..	11
вытяжка деталей несимметричной формы.....	13
Определение размеров заготовок для вытяжки с утонением стенок.....	13
4. Выбор вида и типа раскроя.....	14
Установление характера, количества и после- довательности операций.....	17
5. Определение силовых параметров процесса штамповки и выбор деформирующего оборудова- ния.....	18
Выбор прессового оборудования.....	19
выбор оборудования для высокоскоростной штамповки.....	20
7. Выбор оптимального варианта технологического процесса.....	26
8. Организация рабочего места.....	31
9. Средства механизации и автоматизации.....	38
Проектирование штамповой оснастки.....	39
1. Выбор типа штампа.....	39
2. Производство конструктивных расчетов.....	40



Расчеты геометрических размеров штампа и его деталей.....	40
Расчет исполнительных размеров матриц и пуансонов вырезных и пробивных штампов..	40
Расчет исполнительных размеров рабочих деталей вытяжных штампов.....	43
Профиль рабочего отверстия матриц для вырезного и пробивного штампа.....	48
Расчеты на прочность деталей штампов.....	49
3. Конструирование общего вида штампа и его детализовка.....	50
IV. Оформление и защита курсового проекта.....	51
1. Работа над проектом.....	51
2. Оформление и представление к защите проекта.....	52
Литература.....	56
Раздел 2. ГОРЯЧАЯ ОБЪЕМНАЯ ШТАМПОВКА	
I. Тема и объем проекта.....	56
II. Свойства штампуемого материала.....	57
III. Технологическая часть проекта.....	58
1. Выбор варианта технологического процесса.....	58
2. Конструктивно-технологический анализ детали.....	60
3. Разработка чертежа поковки.....	61
4. Выбор технологических переходов штамповки.....	61
Поковки, штампуемые перпендикулярно оси заготовки (штамповки плашмя).....	61
Открытая штамповка вдоль оси заготовки (штамповка осадкой в торец).....	63
Безоблойная штамповка.....	78
штамповка в закрытом штампе.....	79
Штамповка в полузакрытых штампах.....	85

5. Расчет усилия штамповки и выбор оборудования...	86
Анализ формоизменения заготовки.....	87
Расчет силовых характеристик процесса.....	88
Выбор оборудования.....	93
6. Резка заготовок.....	95
7. Нагрев заготовок.....	96
8. Обрезка облоя и правка заготовок.....	97
9. Отделочные операции.....	97
IV. Расчет и конструирование штампов и приспособлений	98
У. Расчет количества оборудования и планировка участка.....	98
UI. Оформление графической части проекта.....	99
Литература . . . . .	100

ЛИСТОВАЯ ХОЛОДНАЯ И ГОРЯЧАЯ  
ОБЪЕМНАЯ ШТАМПОВКА

Методические указания  
для курсового и дипломного  
проектирования

Редактор А.И.Кондратьева  
Технический редактор Н.М.Каленюк  
Корректор Л.В.Сидорова

Подписано в печать 25/VI.1975 г.  
Формат 60x84<sup>1</sup>/16. Объем 6,5 п.л.  
Тираж 500 экз. Цена 35 коп.

Куйбышевский авиационный институт им. С.П.Королева  
г.Куйбышев, Молодогвардейская, 151.

Ротапринт областной типографии им. В.П.Мяги,  
г. Куйбышев, ул. Венцека, 60. Заказ № 4582