

**Всероссийская олимпиада студентов «Я – профессионал»****Задания заключительного этапа по направлению****«Автомобилестроение»****Категория «Магистратура/специалитет»***Блок «Технология материалов»***Задание 1.****5 баллов.**

Разработайте рациональный чертеж поковки для технологического процесса изготовления типовой детали «Шестеренка» (рис. 1), методом горячей объемной штамповкой на молоте в открытом штампе из объемной заготовки (сплава 40ХФА) для дальнейшей механической обработки.

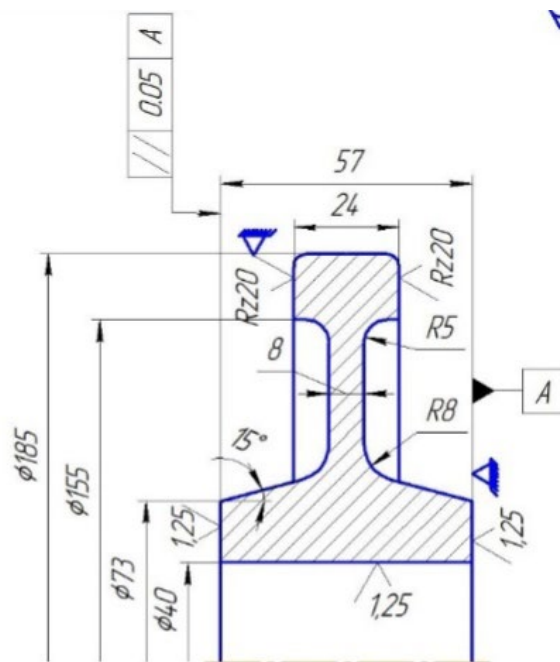


Рисунок 1 - Эскиз детали «Шестеренка»

**Критерии:**

4-5 баллов – правильный расчет с понятной аргументацией, возможно есть мелкие недочеты;

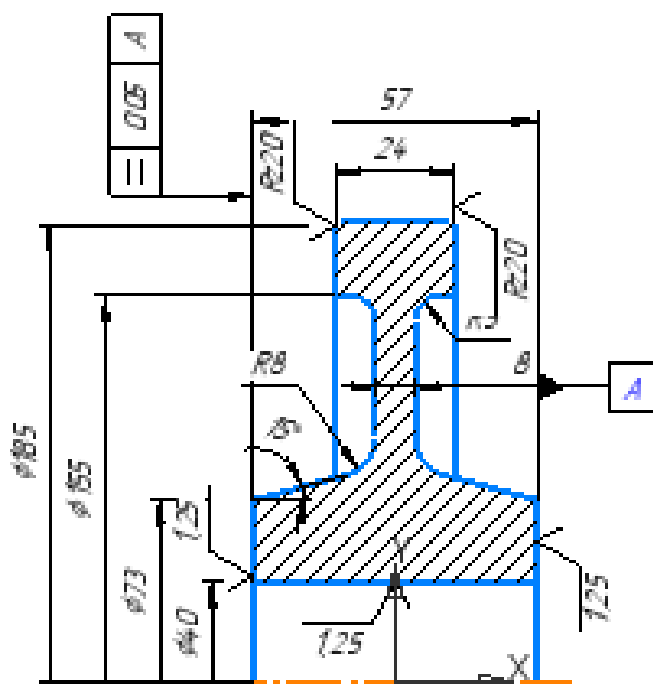
2-4 балла – есть ошибки в расчете, либо не учтены важные факторы;

Менее 2 баллов – задание неправильно понято либо решение отсутствует. Возможно, есть попытки действовать в правильном направлении

## Содержание работы

- выбор конструктивных характеристик поковки (группа стали, степень сложности, класс точности, исх. индекс);
- определение припусков на механическую обработку;
- определение радиусов скругления;
- определение допусков на размеры поковки;
- анализ формы поковки.

**Решение:**



## Разработка чертежа поковки

## Конструктивно-технологическая характеристика детали

В соответствии с классификацией молотовых поковок устанавливают группу, подгруппу и тип штампуемой детали.

II группа. Поковки, штампуемые вдоль оси заготовки (штамповка осадкой в торец). Круглые и квадратные поковки или поковки, близкие к ним по форме в плане (два взаимно перпендикулярных размера в плане приблизительно равны), деформация в штамповочных

ручьях протекает при различных видах формоизменения: осаживании (высадке), выдавливании и прошивке.

Подгруппа 1. Круглые и квадратные в плане; типа колец, втулок, шестерен, поршней, круглых фланцев диаметром в плане  $D_{\text{п}}$  (тип А); типа фланцев, кожухов, и крышек, квадратные в плане ( $B_{\text{п}} \times B_{\text{п}}$ ) или близкие к ним по форме ( $l_{\text{п}} \times B_{\text{п}}$ ; тип Б)

Поковки типа А. Круглые, штампуемые с преобладанием осаживания и выдавливания металла или осаживания и прошивки с раздачей металла.

Технологические особенности изготовления поковок. При штамповке поковок 1-й подгруппы применяют только заготовительный ручей 3-II-1,2 (т.е. площадку для осадки).

Для поковок типа А применяют один окончательный ручей. Предварительный ручей можно делать для повышения стойкости окончательного ручья.

Таким образом, наша поковка имеет индекс II-1-А.

При штамповке в открытом штампе на поковке по линии разъема образуется облой. Эту деталь изготавливают в открытых ручьях, так как упрощается расчёт размеров поковки.

Разработка чертежа поковки

Определение исходного индекса

Чертеж поковки разрабатывают в соответствии с ГОСТ 7505-89 и рекомендациями в зависимости от расчетной массы поковки.

Исходной информацией для разработки чертежа поковки является чертеж детали, выдаваемый вместе с заданием, которое представлено в приложении 1.

Измерение характеристик массы:

Объем = 524339 мм<sup>3</sup>;

Масса = 4,116 кг.

Характеристики массы, посчитанные с помощью программы, являются более достоверными менее трудоёмкими, так как в теоретических расчётах пренебрегают радиусами скругления и фасками детали ввиду очень сильного усложнения расчета.

Исходные данные по детали:

- Материал – сталь 40ХФА.
- Масса детали - 4,116 кг.

Исходные данные для расчета.

Масса поковки (расчетная) вычисляется по формуле:

$$G_{\text{пр}} = G_{\text{д}} \cdot K_{\text{р}},$$

где  $G_{\text{пр}}$  - расчетная масса поковки, кг;  $G_{\text{д}}$ -масса детали, кг;  $K_p$  - коэффициент для определения ориентировочной массы поковки. Значение выбирают в зависимости от характеристики детали. Для деталей, круглых, в плане деталей  $K_p = 1,5 - 1,8$ .

$$G_{\text{пр}} = G_{\text{д}} \cdot K_p = 4,116 \cdot 1,65 = 6,791 \text{ кг}$$

Разработку начинаем с определения конструктивных характеристик поковки: класса точности, группы стали, степени сложности и конфигурации по поверхности разъема штампов.

Класс точности выбираем из 5-ти возможных классов: Т1, Т2, Т3, Т4 и Т5. Для штамповочных молотов, руководствуясь рекомендациями ГОСТ 7505-89, принимаем класс точности Т4.

Группа стали принимается из следующих рекомендаций:

Средняя массовая доля углерода в стали 40ХФА: 0,31 % С. Группу стали, принимаем М1.

Степень сложности (С1, С2, С3 и С4) определяем по формуле:

$$C = G_{\text{п}}/G_{\text{ф}},$$

где:  $G_{\text{п}}$ —масса поковки,  $G_{\text{ф}}$ —масса простейшей геометрической фигуры, в которую вписывается поковка. В данном случае фигура, в которую вписывается поковка,— параллелепипед.

$$C_{\text{ор}} = G_{\text{пр}}/G_{\text{фр}},$$

Где:  $G_{\text{пр}}$  — масса поковки расчетная (ориентировочная);  $G_{\text{фр}}$ —масса фигуры (параллелепипеда) расчетная (ориентировочная).

$G_{\text{фр}}$  определяем, исходя из увеличения в 1,05 раза габаритных линейных размеров простейшей фигуры в которую вписывается деталь - цилиндр.

$$G_{\text{фр}} = \rho * \frac{\pi * 185^2}{4} * 57 = 12,02 \text{ кг.}$$

Таким образом,  $C_{\text{ор}} = \frac{G_{\text{пр}}}{G_{\text{фр}}} = \frac{6,791}{12,02} = 0,56$ .  $0,56 \geq 0,63$ , что соответствует степени сложности

С1. После расчета припусков ориентированную степень сложности уточняем.

Конфигурация по поверхности разъема, исходя из конфигурации детали – плоская.

На основе найденной массы, группы стали, степени сложности и класса точности поковки определяем исходный индекс.

Для поковки массой 6,791 кг с группой стали М1, степенью сложности С1 и классом точности Т4 исходный индекс 12.

Припуски и кузнечные напуски

Припуски на размеры, мм:

- диаметр 185 мм и чистота поверхности 40 – 1,7мм;
- диаметр 155 мм и чистота поверхности 40 – 1,5мм;
- диаметр 73 мм и чистота поверхности 40 – 1,4мм;
- толщина 57 мм и чистота поверхности 1,25 – 1,9мм;
- толщина 24 мм и чистота поверхности 20 – 1,3мм;
- толщина 8 мм и чистота поверхности 40 – 1,3мм.

Дополнительные припуски учитывающие:

- смещение по поверхности разъема штампа – 0,3 мм;
- на изогнутость от плоскости и прямолинейности – 0,5 мм.

Штамповочный уклон:

на наружной поверхности – не более 7°.

Принимаем 7°.

Размеры поковки и их допускаемые отклонения

Размеры поковки, мм [3]:

- $d=185 + (1.7 + 0,3) \cdot 2 = 189$ ; принимаем 189мм;
- $d=155-(1.5 + 0,3) \cdot 2 = 151,4$ ; принимаем 151,5мм;
- $d=73 + (1.4 + 0,3) \cdot 2 = 76,4$ ; принимаем 76,5мм;
- $h=57 + (1,9 + 0,5) \cdot 2 = 61,8$ ; принимаем 62мм;
- $h=24 + (1,3 + 0,5) \cdot 2 = 27,6$ ; принимаем 28мм;
- $h=8 + (1,3 + 0,5) \cdot 2 = 11,6$ ; принимаем 12мм.

Исходя из источника [3] по таблице 7 принимаем минимальный радиус закругления наружных углов для глубины ручья 25 - 50 мм – 3,0 мм.

Допускаемые отклонения размеров:

- $d = 189 \begin{smallmatrix} +1,8 \\ -1,0 \end{smallmatrix} \text{мм};$
- $d = 151,5 \begin{smallmatrix} +1,6 \\ -0,9 \end{smallmatrix} \text{мм};$
- $d = 76,5 \begin{smallmatrix} +1,4 \\ -0,8 \end{smallmatrix} \text{мм};$
- $h = 62 \begin{smallmatrix} +1,4 \\ -0,8 \end{smallmatrix} \text{мм};$
- $h = 28 \begin{smallmatrix} +1,3 \\ -0,7 \end{smallmatrix} \text{мм};$
- $h = 12 \begin{smallmatrix} +1,3 \\ -0,7 \end{smallmatrix} \text{мм}.$

Не указанные предельные отклонения размеров – допуск размеров, не указанный на чертеже поковки, принимается равным 1,5 допуска соответствующего размера поковки с равными допускаемыми отклонениями.

Не указанные допуски радиусов закругления, мм:

- радиус закругления 5 мм – 2,0;
- радиус закругления 8 мм – 3,0.

Допускаемая величина смещения по поверхности разъема штампа-0,8мм;

Допускаемое отклонение от плоскостности и прямолинейности- 1,0 мм;

Допускаемая величина остаточного облоя или срезанной кромки-1,0мм.

Проектирование углублений и отверстий

Так как штамповкой получить отверстие заданного диаметра невозможно, следует изготавливать его при помощи механической обработки (сверление), а на поковке сделаем напуск.

## **Задание 2.**

**10 баллов.**

Автомобильный восьмицилиндровый дизель на номинальном режиме ( $n = 2600$  об/мин) развивает мощность  $N_e = 200$  кВт и имеет эффективный КПД  $\eta_e = 0,37$ . Определите величины цикловой подачи топлива ( $g_u$ ), расход топлива ( $G_m$ , кг/час), удельный расход топлива ( $g_e$ ) и эффективный КПД на режиме максимального крутящего момента, если известно, что на этом режиме цикловая подача топлива составляет 115% цикловой подачи на номинальном режиме. Коэффициент приспособляемости двигателя  $K_m = 1,12$ , а скоростной коэффициент  $k_n = 0,615$ . Теплотворность топлива  $H_u = 42440$  кДж/кг.

### **Критерии:**

10 баллов – решение выполнено верно;

8 баллов – решение выполнено, возможны незначительные замечания;

6 баллов – присутствует алгоритм решения, вычислены два искомых параметра;

4 балла – присутствует алгоритм решения, вычислен один искомый параметр;

2 балла – рассчитаны один или два параметра, необходимые для решения задачи;

0 баллов – решение отсутствует.

**Решение:**

Удельный расход топлива на номинальном режиме

$$g_{en} = \frac{3600}{H_u \cdot \eta_e} = \frac{3600}{42440 \cdot 0,37} = 0,229 \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}},$$

Расход топлива на номинальном режиме

$$G_{mн} = g_e \cdot N_e = 0,229 \cdot 200 = 45,8 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}.$$

Величина цикловой подачи может быть рассчитана по расходу топлива

$$g_{\text{ц}} = \frac{G_m \left( \frac{\text{кг}}{\text{ч}} \right)}{3600 \cdot i} \cdot \frac{30 \cdot \tau}{n} \cdot 10^3 \frac{\text{с}}{\text{цикл}},$$

где  $i$  - число цилиндров, а  $n/(30\tau)$  - количество циклов в секунду. Таким образом, на номинальном режиме

$$g_{\text{цн}} = \frac{45,8}{3600 \cdot 8} \cdot \frac{30 \cdot 4}{2600} = 0,0734 \frac{\text{с}}{\text{цикл}}.$$

В соответствии с условием задачи

$$g_{\text{цм}} = 1,15 \cdot g_{\text{цн}} = 1,15 \cdot 0,0734 = 0,0844 \frac{\text{с}}{\text{цикл}}.$$

Расход топлива на режиме максимального крутящего момента по формуле

$$G_{mм} = g_{\text{цм}} \cdot \frac{3600 \cdot i \cdot n_m}{30 \cdot \tau \cdot 10^3}.$$

Здесь  $n_m = n_n k_n$ . Следовательно

$$G_{mм} = \frac{0,0844 \cdot 3600 \cdot 8 \cdot 2600 \cdot 0,615}{30 \cdot 4 \cdot 10^3} = 32,39 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}.$$

Эффективная мощность двигателя на режиме максимального крутящего момента может быть рассчитана по мощности на номинальном режиме

$$N_{eм} = N_{en} \cdot K_m \cdot k_n = 200 \cdot 1,12 \cdot 0,615 = 137,76 \text{ кВт}.$$

Следовательно, удельный расход топлива

$$g_{eм} = \frac{G_{mм}}{N_{eм}} = \frac{32,39}{137,76} = 0,235 \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}.$$

Эффективный КПД на режиме максимального крутящего момента

$$\eta_{eм} = \frac{3600}{H_u \cdot g_{eм}} = \frac{3600}{42440 \cdot 0,235} = 0,36.$$

**Ответ:**

цикловой подачи топлива  $g_u = 0,0844$  гр/цикл, расход топлива  $G_m = 32,39$  кг/час, удельный расход топлива  $g_e = 0,235$  кг/(кВт·час) и эффективный КПД на режиме максимального крутящего момента 36%.

**Задание 3.****10 баллов**

Для размерной цепи, представленной на рисунке 1, определить номинальный размер и предельные отклонения замыкающего звена методом максимума-минимума и теоретико-вероятностным методом, полагая, что погрешности составляющих и замыкающего размеров подчиняются закону нормального распределения.

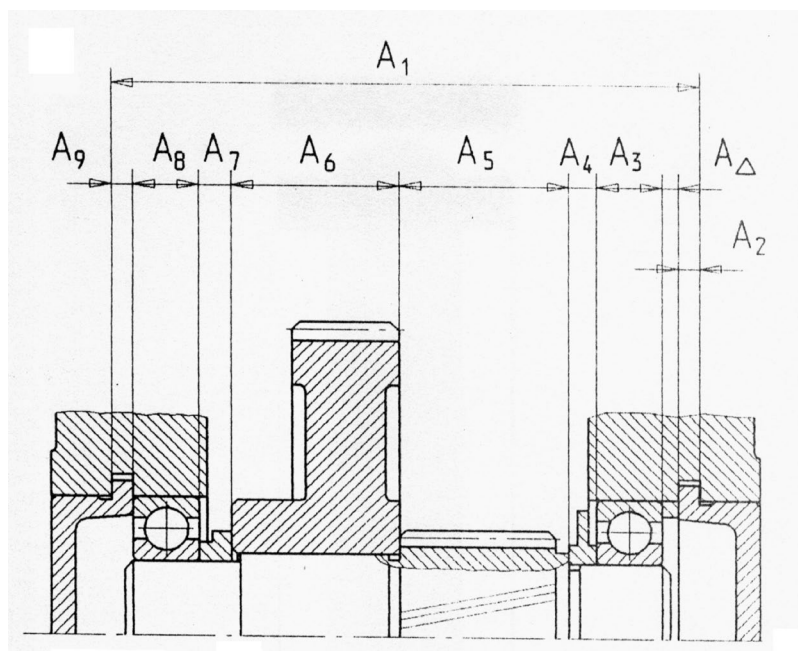


Рисунок 1 – Сборочный чертеж узла и его размерная цепь

$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$	$A_7$	$A_8$	$A_9$
$101^{+0,14}_0$	$4^{-0,03}_{-0,078}$	$11^{+0,009}_{-0,009}$	$4^{-0,03}_{-0,078}$	$30^0_{-0,052}$	$30^0_{-0,052}$	$5^{-0,01}_{-0,04}$	$11^{+0,009}_{-0,009}$	$4^{-0,03}_{-0,078}$

**Критерии:**

8-10 баллов – корректно изложены оба метода;

6-7 баллов – изложены оба метода с одной ошибкой в расчетах;



4-5 баллов – изложены оба метода с двумя ошибками в расчетах;

4 балла – изложен только один метод;

менее 4 баллов – изложен один метод с одной-двумя ошибками;

менее 2 баллов – задание неправильно понято либо решение отсутствует. Возможно, есть попытки действовать в правильном направлении

### Решение:

Как видно из рисунка 1, размерная цепь включает одно увеличивающее звено ( $A_1$ ) и восемь уменьшающих звеньев ( $A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8, A_9$ ).

Для удобства последующих расчетов параметры составляющих звеньев сведем в таблицу 1.

Таблица 1 – Параметры составляющих звеньев для расчета размерной цепи

Звено	Номинальный размер звена, $A_i$ , мм	Предельные отклонения звена, мм		Допуск звена, $TA_i$ , мм	Координаты середины поля допуска звена, $E_C A_i$ , мм
		верхнее, $E_S A_i$	нижнее, $E_I A_i$		
$A_1$	101	+0,14	0	0,14	+0,07
$A_2$	4	-0,03	-0,078	0,048	-0,054
$A_3$	11	0,009	-0,009	0,018	0
$A_4$	4	-0,03	-0,078	0,048	-0,054
$A_5$	30	0	-0,052	0,052	-0,026
$A_6$	30	0	-0,052	0,052	-0,026
$A_7$	5	-0,01	-0,04	0,03	-0,025
$A_8$	11	+0,009	-0,009	0,018	0
$A_9$	4	-0,03	-0,078	0,048	-0,054

### **Решение размерной цепи методом максимума-минимума**

Номинальное значение замыкающего размера определяем по формуле

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^n \vec{A}_i - \sum_{i=n+1}^{n+p} \vec{A}_i,$$

где  $\vec{A}_i$  – увеличивающие звенья;  $\vec{A}_i$  – уменьшающие звенья;  $n$  – число увеличивающих звеньев;  $p$  – число уменьшающих звеньев.

$$A_{\Delta} = 101 - (4+11+4+30+30+5+11+4) = 2 \text{ мм.}$$

Допуск замыкающего звена рассчитываем по формуле

$$TA_{\Delta} = \sum_{i=1}^{n+p} TA_i = 0,14 + 0,048 + 0,018 + 0,048 + 0,052 + 0,052 + 0,03 + 0,018 + 0,048 = 0,454 \text{ мм.}$$

Предельные отклонения замыкающего звена определяются по формулам:

- верхнее отклонение

$$E_S A_{\Delta} = \sum_{i=1}^n E_S \vec{A}_i - \sum_{i=n+1}^{n+p} E_i \vec{A}_i,$$

$$E_S A_{\Delta} = 0,14 - (-0,078 - 0,009 - 0,078 - 0,052 - 0,052 - 0,04 - 0,009 - 0,078) = +0,536 \text{ мм;}$$

- нижнее отклонение

$$E_i A_{\Delta} = \sum_{i=1}^n E_i \vec{A}_i - \sum_{i=n+1}^{n+p} E_S \vec{A}_i,$$

$$E_i A_{\Delta} = 0 - (-0,03 + 0,009 - 0,03 + 0 + 0 - 0,01 + 0,009 - 0,03) = 0,082 \text{ мм}$$

Проверка

$$TA_{\Delta} = E_S A_{\Delta} - E_i A_{\Delta},$$

$$0,454 = +0,536 - 0,082,$$

$$0,454 \text{ мм} = 0,454 \text{ мм.}$$

$$A_{\Delta} = 2^{+0,536}_{+0,082}.$$

### Решение размерной цепи теоретико-вероятностным методом

Номинальное значение замыкающего звена определяется также, как и при расчете максимума-минимума, т.е.  $A_{\Delta} = 2 \text{ мм.}$

Допуск замыкающего звена определяется по формуле

$$TA_{\Delta_{мс}} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n+p} TA_i^2},$$

т.е. применительно к рассматриваемой задаче

$$TA_{\Delta} = \sqrt{TA_1^2 + TA_2^2 + TA_3^2 + TA_4^2 + TA_5^2 + TA_6^2 + TA_7^2 + TA_8^2 + TA_9^2}.$$

$$TA_{\Delta_{мс}} = \sqrt{0,14^2 + 0,048^2 + 0,018^2 + 0,048^2 + 0,052^2 + 0,052^2 + 0,03^2 + 0,018^2 + 0,048^2} \approx 0,183 \text{ мм}$$

Предельные отклонения замыкающего звена определяются по формулам:

- верхнее отклонение

$$E_S A_{\Delta_{мс}} = E_C A_{\Delta} + \frac{TA_{\Delta_{мс}}}{2};$$

- нижнее отклонение

$$E_i A_{\Delta m\epsilon} = E_C A_{\Delta} - \frac{T A_{\Delta m\epsilon}}{2},$$

При этом середина поля допуска замыкающего звена определяется по формуле

$$E_C A_{\Delta} = \sum_{i=1}^n E_C \vec{A}_i - \sum_{i=n+1}^{n+p} E_C \vec{A}_i.$$

$$E_C A_{\Delta} = +0,07 - (-0,054 - 0 - 0,054 - 0,026 - 0,026 - 0,025 - 0 - 0,054) = 0,239 \text{ мм}$$

Тогда 
$$E_S A_{\Delta m\epsilon} = 0,239 + \frac{0,183}{2} = 0,3305 \text{ мм};$$

$$E_i A_{\Delta m\epsilon} = 0,239 - \frac{0,183}{2} = 0,1475 \text{ мм}.$$

$$A_{\Delta} = 2_{+0,1475}^{+0,3305} \approx 2_{+0,148}^{+0,331}$$

#### Задание 4.

##### 10 баллов

Схема регулятора мощности в цепи переменного тока (220В, 50Гц), показанная на рис.3, построена на базе ВТ-151-500R. Определить параметры сигнала (изобразить на графике с указанием всех числовых величин), подаваемого на управляющий электрод тиристора, чтобы активная мощность в нагрузке составляла 500Вт. Сопротивление нагрузки (LP1) составляет 500Ом.

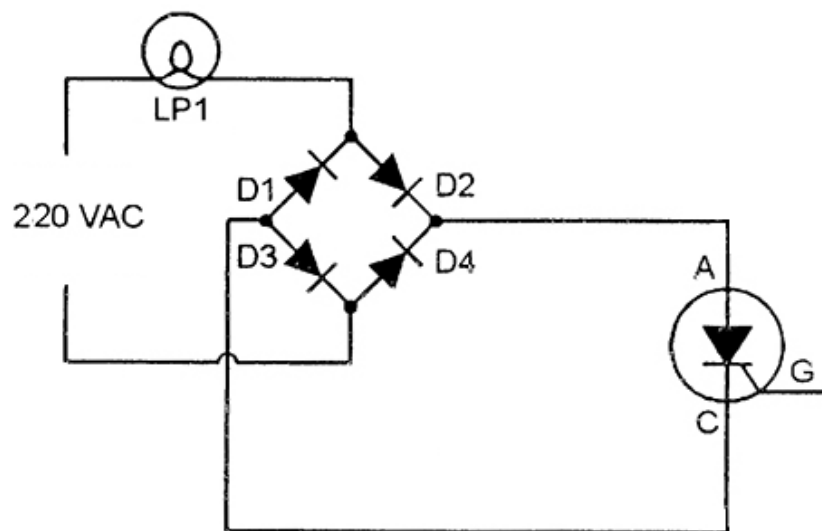


Рисунок 3 – Схема регулятора мощности в цепи переменного тока

**Критерии:**

8-10 баллов – корректный расчет с понятной аргументацией, возможно есть недочеты;

5-8 баллов – в основном правильный расчет с понятной аргументацией, однако, есть ошибки;

3-5 баллов – грубые ошибки в расчете;

Менее 3 баллов – задание не понято, решение некорректно, возможно, есть попытки действовать в правильном направлении.

**Решение:**

Управляющий сигнал представляет собой последовательность импульсов достаточной амплитуды (уточнить по datasheet) и сдвинутыми относительно синусоидального сигнала на определенный угол. Угол рассчитывается исходя из требуемой активной мощности ( $P = \frac{2}{T_R} \int_0^a (U \cos(\omega t))^2 dt$ )

**Задание 5.****30 баллов.**

Создать управляющую программу обработки контура, представленного на рис. 4 для фрезерного станка с ЧПУ в G-кодах.

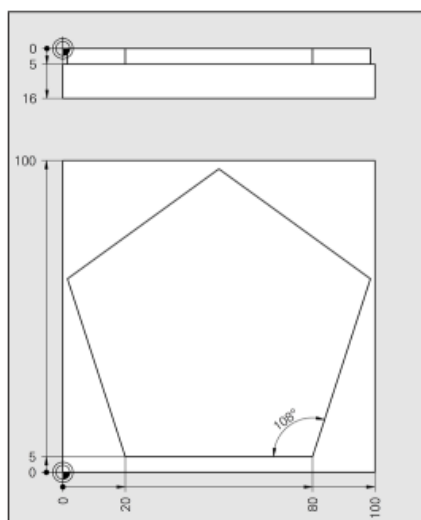


Рисунок 4 - Контур для обработки фрезерным станком

**Критерии:**

- 25-30 баллов – Присутствуют все кадры, правильно выбрана стратегия обработки;
- 20-25 баллов – одна незначительная ошибка;
- 15-20 баллов – две незначительные ошибки;
- 10-15 баллов – три незначительных ошибки, но принципиально обработка возможна;
- 5-10 баллов – две незначительные ошибки или одна грубая ошибка;
- Менее 5 баллов – задание не понято, некорректная схема, однако, возможно, есть попытки действовать в правильном направлении.

**Решение:**

Для системы ISO 7bit

- |                             |   |
|-----------------------------|---|
| N1 T1                       | – Задание позиции инструмента в магазине. Позиция 1.      |
| ; FREZAD10 L30 U0           | – Задание параметров инструмента: Фреза диаметром 10 мм   |
| N2 M03                      | – Задание параметров вращения фрезы по часовой стрелке    |
| N3 S500                     | – Задание параметров число оборотов 500 об/мин            |
| N4 G00 Z2                   | – Перемещение на холостом ходу по оси Z на высоту 2 мм    |
| N5 G00 X20 Y5               | – Перемещение на холостом ходу в начало фрезерования      |
| точка с координатами X20 Y5 |   |
| N6 G00 Z-5                  | – Врезание на глубину фрезерования по оси Z – 5 мм        |
| N7 G01 X1.459 Y62.063 F20   | – Перемещение по координатам X1.459 Y62.063 с подачей F20 |
| мм/мин                      |   |
| N8 G01 X50 Y97.331          | – Перемещение по координатам X50 Y97.331                  |
| N9 G01 X98.541 Y62.063      | – Перемещение по координатам X98.541 Y62.063              |
| N10 G01 X80 Y5              | – Перемещение по координатам X80 Y5                       |
| N11 G01 X20                 | – Перемещение по координатам X20                          |
| N12 G00 Z2                  | – Перемещение инструмента по оси Z на высоту 2 мм         |
| N13 G00 X0 Y0               | – Перемещение на холостом ходу в начальную точку с        |
| координатами X0 Y0          |   |
| N14 G00 Z100                | – Перемещение инструмента по оси Z на высоту 100 мм       |
| N15 M30                     | – Конец программы, переход в начало программы.            |

Для системы ЧПУ Хайденхайн TNC 530

- |                      |  |
|----------------------|--|
| 0 BEGINPGMPentagonMM | – Задание имени программ Pentagon и единиц |
| программирования     |  |

- 1 BLKFORM 0.1 ZX+0 Y+0 Z-16 – Задание параметров заготовки. Минимальная точка заготовки.
- 2 BLKFORM 0.2 X+100 Y+100 Z+0 – Задание параметров заготовки. Максимальная точка заготовки.
- 3 TOOL CALL 10 Z S500 F20 – Вызов инструмента: Фреза диаметром 10 мм. Задание параметров фрезерования: число оборотов 500 об/мин, подача F20 мм/мин.
- 4 LZ+100 R0 FMAXM3 – Перемещение на холостом ходу по оси Z на высоту 100 мм. Задание параметров вращения фрезы по часовой стрелке.
- 5 LX-20 Y-20 R0 FMAX – Перемещение на холостом ходу в начало фрезерования точка с координатами X-20 Y-20
- 6 LZ+2 R0 FMAX – Перемещение на холостом ходу по оси Z на высоту 2 мм
- 7 LZ-5 R0 – Врезание на глубину фрезерования по оси Z – 5 мм
- 8 APPRLTX+20 Y+5 LEN30 RL – Врезание линейное длиной 30 коррекция слева RL координаты точки врезания X+20 Y+5
- 9 CC – Задание центра полярного полюса в точке положения фрезы.
- 10 LP PR+60 PA+108 – Перемещение по полярным координатам: полярный радиус PR+60 полярный угол PA+108
- 11 CC – Задание центра полярного полюса в точке положения фрезы.
- 12 LPPR+60 PA+36 – Перемещение по полярным координатам: полярный радиус PR+60 полярный угол PA+36
- 13 CC – Задание центра полярного полюса в точке положения фрезы.
- 14 LPPR+60 PA-36 – Перемещение по полярным координатам: полярный радиус PR+60 полярный угол PA-36
- 15 CC – Задание центра полярного полюса в точке положения фрезы.
- 16 LPPR+60 PA-108 – Перемещение по полярным координатам: полярный радиус PR+60 полярный угол PA-108
- 17 CC – Задание центра полярного полюса в точке положения фрезы.

- |  |  |
|--|--|
| 18 LPPR+60 PA-180                                | – Перемещение по полярным координатам: полярный  |
| радиус PR+60 полярный угол PA-180                |  |
| 19 DEPLTLEN30                                    | – Выход из контура обработки прямолинейно на     |
| расстояние 30 мм.                                |  |
| 20 LY-20 R0                                      | – Перемещение в точку Y-20                       |
| 21 LZ+100 R0 FMAXM30                             | – Перемещение инструмента по оси Z на высоту 100 |
| мм. Конец программы, переход в начало программы. |  |
| 22 ENDPGMPentagonMM                              | – Конец программы.                               |

**Задание 6.****35 баллов.**

Разработайте технологический процесс изготовления детали «Опора» (рис. 5) из листа 2000\*1000\*2 мм (сталь 12X18H10T, толщиной  $S=1,2$  мм на базе листовой штамповки).

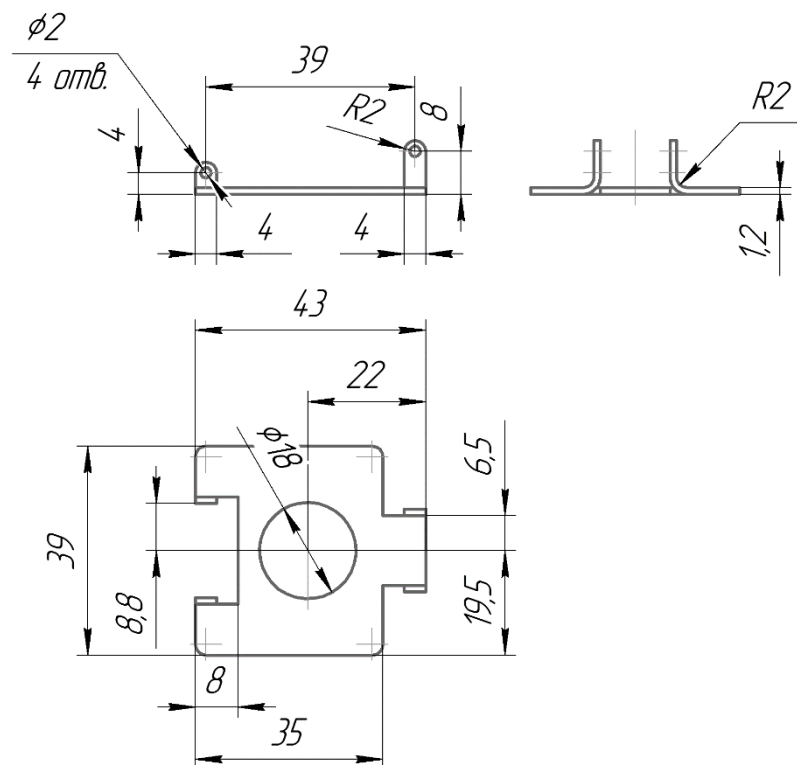


Рисунок 5 - Рабочий чертеж детали «Опора»

**Критерии:**

30-35 баллов – присутствуют все этапы расчета и правильно выбрана схема процесса с понятной аргументацией, возможны небольшие недочеты;

25-30 баллов – присутствуют все этапы расчета и правильно выбрана схема процесса с понятной аргументацией, одна ошибка;

15-25 баллов – присутствуют все этапы расчета и правильно выбрана схема процесса с понятной аргументацией, две ошибки;

10-15 баллов – правильно выбрана схема процесса, отсутствуют этапы расчета, наличие грубых ошибок в расчете;

5-10 баллов – неработоспособная схема процесса, отсутствует обоснование и алгоритм расчета, грубые ошибки;

Менее 5 баллов – задание не понято, некорректная решение, однако, возможно, есть попытки действовать в правильном направлении.

Содержание работы

- определение формы и размеров заготовки;
- выбор вида и типа раскроя листа;
- определение количества и последовательность операций;
- усилие применяемых технологических операций;
- определение исполнительных размеров деформирующих инструментов;
- описание конструкции и работы штампа;
- выбор применяемого деформирующего оборудования.

**Решение:**

Деталь «опора» изготавливается из коррозионно – стойкой стали 12X18H10T ГОСТ 5632-2014. Деталь изготавливается из листовой заготовки толщиной  $S=1,2$  мм. Эскиз детали представлен на рисунке 1.



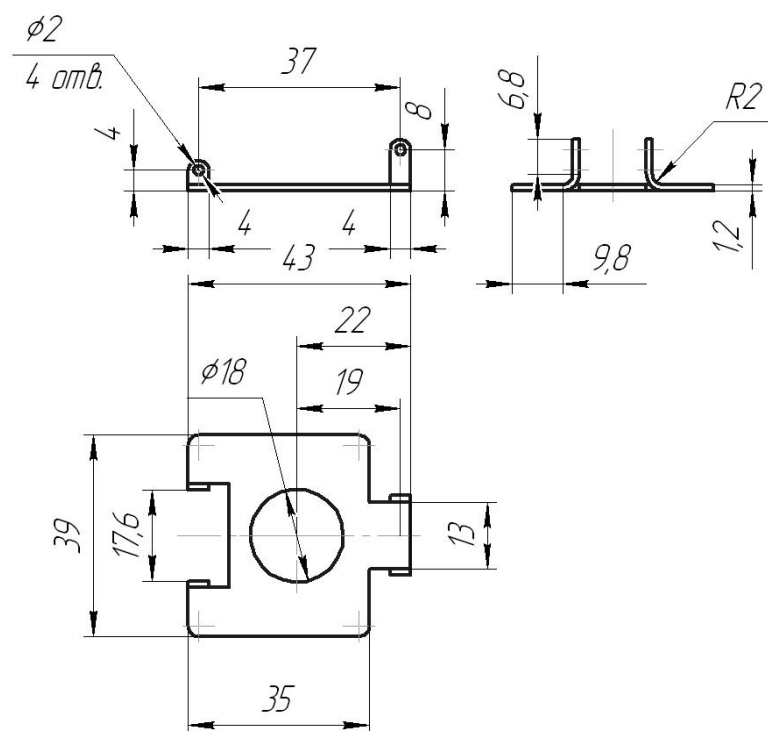


Рисунок 1 – Эскиз детали «опора»

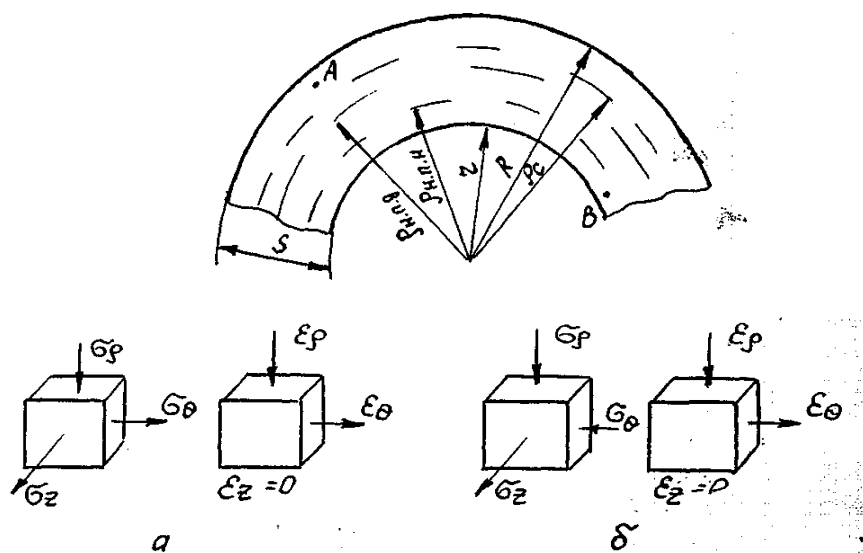
Радиусы гибки у данной детали больше, чем минимально допустимые радиусагиба листовых деталей. Расположение линии гибки при штамповке данного материала безразлично (вдоль или поперек линии прокатки), т.к.  $r > S$ . На детали отсутствуют ребра жесткости. Наименьшая высота отгибаемой полки более чем в 3 раза превосходит толщину детали, т.е.  $h \geq 3S$ , что удовлетворяет требованиям к конструкции изогнутых листовых деталей.

Из этого следует, что данная деталь «опора» является технологичной и изготавливается операцией гибки.

#### Анализ напряженно-деформированного состояния металла при гибке

Гибка технологическая операция листовой штамповки, в результате которой из плоской или изогнутой заготовки при помощи штампов получается изогнутая пространственная деталь.

Так как при гибке изделие должно сохранять ту форму, которую получило под действием внешних сил, то в металле возникают напряжения лежащие за пределом упругости. Деформация заготовки происходит вблизи углов гибких очагов деформации.



$\rho_c$  - радиус срединной поверхности;  $\rho_{н.п.д.}$  - радиус нейтральной поверхности деформации;  $\rho_{н.п.н.}$  - радиус нейтральной поверхности напряжений;  $r$  - внутренний радиусгиба;  $R$  - внешний радиусгиба

Рисунок 2 - Схема напряженно-деформированного состояния.

(а - зона растяжения, б- зона сжатия) [5]

Гибка - операция, приводящая к изменению кривизны срединной поверхности в одном направлении. Изменение кривизны возможно только в том случае, когда одна половина толщины листа удлиняется, а другая - укорачивается. То есть, слои металла, расположенные у внутренней поверхности испытывают сжатие в продольном направлении и растяжение в поперечном, а слои, расположенные у внешней поверхности испытывают растяжение в продольном направлении и сжатие в поперечном.

#### Расчет формы и размеров заготовки

Определение размеров заготовки (развертки) для деталей, изготавливаемых гибкой, производится по нейтральному слою, длина которого до и после деформации остается неизменной. Для тонких материалов ( $1,2 < 2$  мм) при расчетах условно принимается, что нейтральным слоем проходит посередине сечения заготовки.

Радиус нейтрального слоя в первом изогнутом участке при ( $\rho = 90^\circ$ ) определяется по формуле:

$$\rho = \frac{R + r}{2} \alpha,$$

где:  $\rho$  - длина нейтрального слоя изогнутого участка;

$R$  - наружный радиус изогнутой детали, мм;



Заготовка для штамповки детали «опора» показана на рисунке 3.

Размеры листа 1,2x1000x2500; 1,2x800x2500; 1,2x600x2500.

Для толщины материала  $S = 1,2$  мм величина перемычек при вырубке контура детали:  
 $a=1,0$  мм,  $b=1,0$  мм,  $L$  - размер вырубаемой детали.

Схема возможного варианта раскроя полосы приведена на рисунке 4.

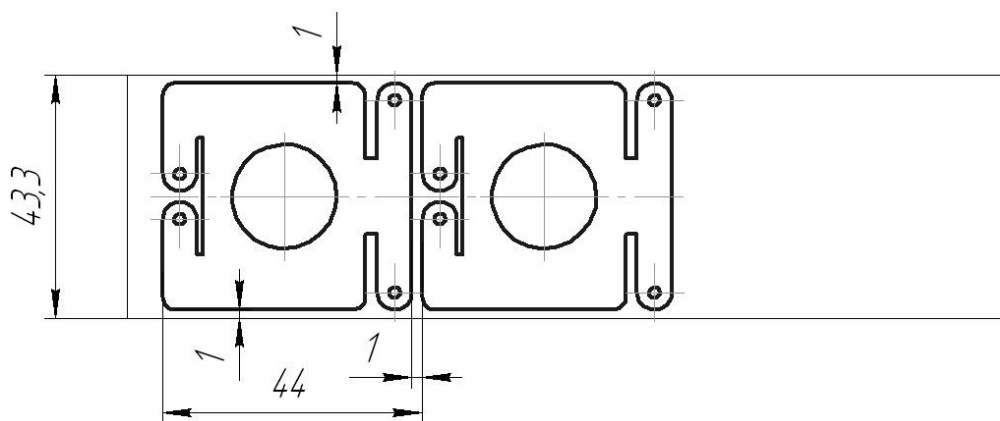


Рисунок 4 – Вариант раскроя полосы а)

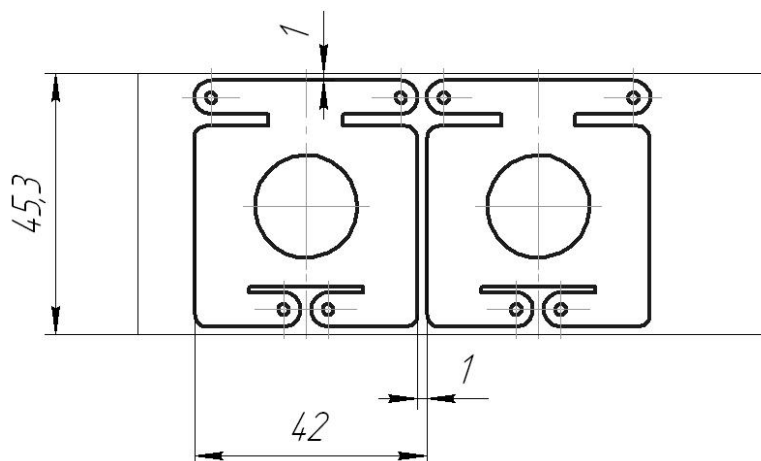


Рисунок 4 – Вариант раскроя полосы б)

Для раскроя листа по варианту, показанному на рисунке 3.12,а):

Ширина полосы:

$$B_{\text{п}} = 41 + 2(1,0 - 0,4) + 1,1 = 43,3 \text{ мм},$$

Рассчитываем количество полос в листе при раскрое листа на полосы по формуле:

$$N = \frac{B}{B_{\text{п}}} = \frac{1000}{43,3} = 23$$

Шаг подачи равен:

$$t = L_1 + a = 43 + 1 = 44 \text{ мм}$$

Определяем количество заготовок в полосе по формуле:

$$n_{\dot{i}} = \frac{L}{t} = \frac{2500}{44} = 56$$

Определяем количество заготовок в листе по формуле:

$$n = N_{\dot{i}} \cdot n_{\dot{i}} = 23 \cdot 56 = 1288$$

Рассчитываем КИМ:

$$\text{КИМ} = \frac{1288 \cdot 1309}{1000 \cdot 2500} 100\% = 67,4 \%$$

Для раскроя листа при поперечном нарезании полос вдоль наибольшей стороны листа:

Ширина полосы:

$$В_{\text{п}} = 43 + 2(1,0 - 0,4) + 1,1 = 45,3 \text{ мм},$$

Данные по раскрою листа на заготовки и результаты расчета КИМ сведем в таблицу 1.

Таблица 1 – Коэффициенты использования металла

Размеры листа SxBxL, мм	Вид раскроя	N	np	Nл	КИМ, %
1,2x600x2500	попереч.	13	56	728	63,5
	продол.	13	59	767	66,9
1,2x800x2500	попереч.	18	56	1008	66,0
	продол.	17	59	1003	65,6
1,2x1000x2500	попереч.	23	56	1288	67,4
	продол.	21	59	1239	64,9

Сравнивая коэффициенты использования материала, выбираем лист с наибольшим КИМ 1. Это лист с размерами 1,2x1000x2500 при продольном нарезании полос вдоль наибольшей стороны листа.

Установление количества и последовательности операций.

Установление степени совмещенности операций

При построении процессов листовой штамповки следует решить основные технологические вопросы: установить характер, количество, последовательность и совмещенность операций холодной штамповки.

Последовательность операций для изготовления детали «опора»:

- Резка листа на полосы;
- Вырубка заготовки из полосы и пробивка отверстий;
- Зачистка заусенцев;
- Гибка;

- Контроль.

#### Определение усилия и работы

Методика расчета усилия для операции вырубки-пробивки приведена в пункте.

Сопротивление срезу (Н/ мм<sup>2</sup>) равно:

$$\sigma_{\text{ср}} = 350 \text{ Н/ мм}^2,$$

Периметр вырубаемого контура:  $L = 269,6 \text{ мм}$ ;

Расчетное усилие для операции вырубки находится по формуле:

$$P_{\text{выр}} = 269,6 \cdot 350 \cdot 1,2 = 113200 \text{ Н}.$$

Периметр пробиваемых отверстий:  $L = 56,5 + 4 \cdot 6,3 = 81,7 \text{ мм}$ ;

Расчетное усилие для операции пробивки находится по формуле:

$$P_{\text{проб}} = 81,7 \cdot 350 \cdot 1,2 = 34300 \text{ Н}.$$

Суммарное усилие операций вырубки – пробивки равно:

$$P = P_{\text{выр}} + P_{\text{проб}} = 113200 + 34300 = 147500 \text{ Н}.$$

Работа резания при отрезке плоскими кромками определяется по формуле:

$$A = \frac{147500 \cdot 1,2}{1000} = 177 \text{ Дж}.$$

#### Определение усилия гибки

Усилие гибки зависит от большого числа факторов, к которым относятся: форма и размеры поперечного сечения заготовки, характеристики механических свойств материала, расстояния между опорами, радиусы скругления пуансона и рабочих кромок матрицы и другие.

Усилие, необходимое для гибки заготовок в одноугловом штампе зависит от полноты контакта изгибаемой заготовки, в связи с чем различают отдельные стадии гибки.

На начальной стадии происходит свободный изгиб, когда заготовка соприкасается с инструментом только в трех точках. Радиус изгиба заготовки больше радиуса скругления пуансона.

При дальнейшем опускании пуансона происходит уменьшение радиуса изгиба центрального участка. Конечная стадия характеризуется полным соприкосновением заготовки с пуансоном и матрицей на всех участках контактной поверхности.

Гибка в штампе заканчивается, как правило, приложением дополнительного усилия, в результате чего происходит правка и калибровка изогнутого участка заготовки.

Усилие гибки определяется из равенства внешнего изгибающего момента моменту внутренних сил.

Для одноуголовой гибке с прижимом усилие определяется по формуле:

$$P = \frac{B \cdot S^2}{l} \sigma_b n,$$

где: В - ширина полосы, мм; l – расстояние между опорами, мм; n – показатель упрочнения, для стали 12Х18Н10Т n=1,5.

Тогда:

$$D = \frac{4 \cdot 1,2^2}{13} 350 \cdot 1,5 = 230 \text{ Н.}$$

Общее усилие прессы для гибки:

$$P = 1,2 P_{\text{гиб}},$$

$$P = 1,2 P_{\text{гиб}} = 1,2 \cdot 230 = 280 \text{ Н.}$$

Упругое пружинение при гибке

Пластический изгиб, как и другие виды пластической деформации, сопровождается упругими деформациями, которые вызывают изменение формы и размеров заготовки: радиуса кривизны и угла между прямолинейными участками заготовки (рисунок 5).

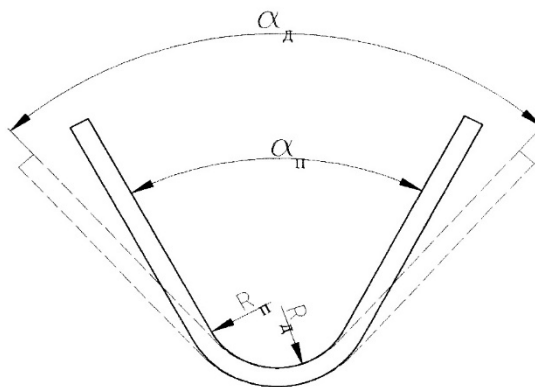


Рисунок 5 - Изменение углагиба в результате эффекта пружинения

Этот эффект объясняется тем, что при разгрузке слои заготовки, находящиеся в зоне растяжения, вследствие упругой деформации укорачиваются, а слои, находящиеся в зоне сжатия, удлиняются. Разноименные упругие деформации в зонах растяжения и сжатия вызывают поворот поперечных сечений заготовки на так называемый угол пружинения  $\Delta\alpha$ , в результате чего происходит изменение радиуса ее кривизны и, следовательно, угла изгиба.

Опыты показали, что величина пружинения зависит от рода и толщины материала, формы детали, относительного радиуса гибки, угла гибки. Чем выше предел текучести изгибаемого материала, чем больше относительный радиус  $r/S$  и меньше толщина материала  $S$  и чем больше угол гибки  $\alpha$ , тем больше пружинение при прочих равных условиях.

Расчет упругого пружинения при гибке полос га 90 градусов проводят по формуле:

$$\operatorname{tg} \beta = 0,375 \frac{l \cdot \sigma_{cp}}{k \cdot S \cdot E},$$

где:  $\beta$  - угол пружинения (односторонний);  $l$  - расстояние между опорами – губками матрицы;  $k$  - коэффициент, определяющий положение нейтрального слоя, равный  $k = 1 - x$ ;  $E$  - модуль упругости материала детали.

Проведем расчет величины упругого пружинения при гибке данной детали:

$$x = 0.46;$$

$$k = 1 - 0.46 = 0.54;$$

$$l = r_m + r_n + 1.25 \cdot S = 2 + 3 + 1.25 \cdot 1.2 = 6,5 \text{ мм};$$

$$\operatorname{tg} \beta = 0,375 \frac{l \cdot \sigma_{cp}}{k \cdot S \cdot E} = 0,375 \frac{6,5 \cdot 350}{0,54 \cdot 1,2 \cdot 210000} = 0,006;$$

$$\beta = \operatorname{arctg} 0,006 = 0,3^\circ.$$

Величина упругого пружинения на радиусегиба детали «опора» равна 0,3 градуса.

Определение исполнительных размеров пуансона и матрицы штампа гибки

На рисунке 6, а) и 6, б) приведены схемы расположения полей допусков на исполнительные размеры матрицы и пуансона гибочного штампа для двух возможных случаев сопряжения деталей – по наружному (6,а) и по внутреннему (6,б) контуру.



Рисунок 6 – Схемы расположения полей допусков на исполнительные размеры матрицы и пуансона при гибке детали «опора» для двух возможных случаев сопряжения деталей – по наружному (6,а) и по внутреннему (6,б) контуру

Для детали «опора» по техническим условиям требуется выдержать внутренний размер.



Размеры пуансона и матрицы при гибке определяются по следующим формулам для получения изделия с учетом припуска на износ пуансона:

$$B_n = (B_n + \Delta')_{-\delta_n} = (B_n + 0,2\Delta)_{-\delta_n}$$

$$B_m = (B_n + \Delta' + 2z_{\epsilon})^{+\delta_m} = (B_n + 0,2\Delta + 2z_{\epsilon})^{+\delta_m}$$

где:  $B_n$  - исполнительный размер пуансона, мм;

$B_m$  - исполнительный размер матрицы, мм;

$B_n$  - номинальный размер, мм;

$\Delta$  - поле допуска на изготовление изделия;  $\Delta = 0,2$ ;

$\Delta'$  - припуск на износ матрицы и пуансона, мм;

$z_{\epsilon}$  - односторонний зазор между матрицей и пуансоном, мм;

$\delta_n$  - допуск на изготовление пуансона и матрицы, мм;

$\delta_m$  - допуск на изготовление пуансона и матрицы, мм.

Допуски на изготовление матрицы и пуансона принимаем по 10 качеству точности. Допуск на изготовление матрицы составляет 0,2 мм и пуансона 0,12 мм.

Рассчитаем исполнительные размеры пуансона и матрицы (допуск на изготовление изделия по внутреннему контуру).

$$B_n = (2 + 0,2 \cdot 2)_{-0,012} = 2,4_{-0,012} \text{ мм};$$

$$B_m = (2 + 0,12 \cdot 2 + 2 \cdot 0,1)^{+0,02} = 2,44^{+0,02} \text{ мм}.$$

Описание конструкции и работы гибочного штампа

На листе 3 графической документации представлен штамп для выполнения операции гибки при изготовлении детали "опора". Блок штампа состоит из нижней и верхней плиты и направляющих колонок.

На нижней плите штампа 1 установлена матрица 2, закрепленная винтами 9 и центрованная штифтами 13. Для удаления отштампованной детали из матрицы служит выталкиватель 7 приводимый в движение от толкателя 16.

На верхней плите штампа 5 закреплен пуансонодержатель 3 через плитку подкладную 4, закрепленные с помощью винтов 9, который удерживает гибочный пуансон 6. Для четкой фиксации данных частей вместе предназначены штифты 12.

Направляющие колонки 10 в штампе расположены по бокам, в верхнюю плиту штампа впрессованы втулки 11. Для крепления к ползуну пресса используется хвостовик 15, для четкой фиксации которого предназначены штифт 14.

Данный штамп предназначен для использования на винтовом фрикционном прессе. Работа штампа осуществляется следующим образом: заготовка вручную подается в рабочую зону штампа на операцию гибка. При рабочем ходе ползуна прессы осуществляется операция гибки предварительно отрезанной заготовки. При обратном ходе ползуна прессы готовая деталь вручную извлекается из матрицы и удаляется из рабочей зоны штампа. Затем весь технологический процесс повторяется заново.

#### Выбор прессового оборудования

Основные критерии при выборе прессы для проведения технологической операции гибки приведены выше.

Для проведения операции гибки используем пресс кривошипный КД1241А, основные параметры которого приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Технические характеристики прессы КД1241А

Номинальное усилие, кН	100
Ход ползуна, мм	150
Число ходов ползуна в минуту	65
Наибольшее расстояние между столом и ползуном в его верхнем положении, мм	300
Размеры стола, мм	700x420
Расстояние между направляющими в свету, мм	380
Диаметр центрального отверстия в ползуне, мм	90
Габариты прессы в плане, мм	1260x1710
Высота над уровнем пола, мм	3120
Масса, т	2,75
Мощность привода, кВт	3,8