

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

(наименование кафедры)

15.03.01 Машиностроение

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Машины и технология обработки металлов давлением

(направленность (профиль)/специализация)

## БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему Проект автоматизированного проектирования изделия, технологического процесса и штамповой оснастки для детали «Опора чашки пружины» в САД/САЕ

Студент

Е.А. Антонова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Е.Н. Почекуев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

А.Н. Москалюк

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

И.В. Краснопевцева

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

В.Г. Виткалов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой д.т.н., доцент, В.В. Ельцов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

«    »      20     г.

Тольятти 2018

## АННОТАЦИЯ

Данная работа посвящена разработке метода автоматизированного проектирования изделия, технологического процесса и штамповой оснастки для детали «Опора чашки пружины» в таких программных продуктах как «Siemens NX 9.0», «САТIAV5» и «AutoForm».

Главным вопросом в данной работе является процесс перехода с одиночной штамповки на спаренную штамповку и получение экономической выгоды путем увеличения размера заготовки и радиусов в угловых зонах детали.

В технологической части работы в первую очередь была создана электронная математическая модель изделия, были рассчитаны размеры заготовки для данной детали, энергосиловые параметры операций штамповки, а также в качестве оборудования был выбран пресс PUE 100.

Особое внимание уделяется анализу операций листовой штамповки в программе «AutoForm», где был сделан вывод для данной детали о ее напряженно-деформированном состоянии и других свойствах. Так же было выполнено сравнение между базовой технологией детали и предлагаемой.

В заключении была рассчитана конструкция штамповой оснастки для детали, а также в экономической части работы была рассчитана себестоимость детали, которая была сравнена с первоначальной.

Объем пояснительной записки и объем графического материала удовлетворяют требованиям.

## ABSTRACT

This bachelor's thesis is devoted to the development of the method of automated product design, manufacturing process and die tooling for the "Spring cup support" in the CAD/CAE systems.

The key issue of the senior thesis is the process of transition from single stamping to paired stamping and obtaining economic benefits by increasing the size of the billet and radii in the corner areas of the part. Primarily, in the technological part of the bachelor's thesis an electronic mathematical model of the product was created, the dimensions of the workpiece for this part, the energy-force parameters of punching operations, and as the equipment was chosen hydraulic press PYE 100, which is intended for small scale production or medium batch production.

Special emphasis is laid on the analysis of operations of sheet punching in the program "AutoForm", where a conclusion was drawn for this part about its stress-strain state and other properties. Also the basic technology of the part and the proposed one were compared.

Finally, the design of die tooling was developed for the "Spring cup support", also in the economic part of the bachelor's thesis was calculated production costs, which was compared with the initial cost price.

The volume of the explanatory note and the volume of the graphic material satisfy the requirements.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	6
1. Анализ технологических исходных данных .....	7
1.1. Разбор технологии детали .....	7
1.2. Применение методик HD3D.....	8
1.3. Проверка изделия с помощью одношагового анализа формуемости.....	11
1.4. Анализ исходной технологии изготовления детали.....	12
1.5. Определение минусов базовой технологии изготовления детали .....	13
1.6. Задачи ВКР.....	13
2. Разработка технологического процесса <b>Ошибка! Закладка не определена.</b>	
2.1. Порядок действий технологического процесса. <b>Ошибка! Закладка не определена.</b>	
2.2. Определение раскрытия материала и коэффициента использования материала (КИМ).....	17
2.3. Нахождение энергосиловых параметров штамповки.....	18
3.Инженерный анализ напряженно-деформированного состояния детали <b>Ошибка! За</b>	
3.1. Анализ технологического процесса изготовления детали в программе AutoForm .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3.2. Расчет и анализ полученных результатов <b>Ошибка! Закладка не определена.</b>	
4. Выбор оборудования .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
4.1. Основные технические характеристики оборудования <b>Ошибка! Закладка не оп</b>	
4.2. Конструкция и принцип действия.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
5. Разработка конструкции штамповой оснастки <b>Ошибка! Закладка не определена.</b>	
5.1. Конструкция штамповой оснастки.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
5.2. Прочностной расчет пуансона для пробивки отверстия.....	39
5.3. Определение центра давления штампа .....	40
5.4. Определение исполнительных размеров инструмента .....	40
6. Безопасность и экологичность объекта <b>Ошибка! Закладка не определена.</b>	
6.1. Технологическое описание рабочего места <b>Ошибка! Закладка не определена.</b>	
6.2. Вредные производственные факторы пресового производства <b>Ошибка! Заклад</b>	

6.3. Комплекс мероприятий по безопасным условиям труда на производстве.....	0
<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>	
6.4. Обеспечение пожаробезопасности внутри помещения	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
6.5. Снабжение объекта для экологической безопасности .....	47
7. Экономическая часть .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
7.1. Сравнительный анализ технологических вариантов.....	54
7.2. Исходные данные для экономики сравниваемых вариантов .....	54
7.3. Расчет числа оборудования для выполнения работ, коэффициента его загрузки, необходимое количество рабочих-операторов и штампов	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
7.4 Расчет капитальных вложений .....	54
7.5 Расчет себестоимости выпускаемой продукции по базовому и проектному вариантам .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
7.6 Расчет экономического эффекта проектного варианта.....	56
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	58
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	59

## ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день нет такой отрасли машиностроения и металлообработки, где можно было бы обойтись без обработки металлов давлением (ОМД).

Одной из самых распространенных видов ОМД является листовая штамповка, она обладает следующим рядом преимуществ:

- 1) способность получения различных деталей различной формы (от простых до сложных), которые другими методами получить нельзя;
- 2) широкие возможности автоматизации технологических процессов;
- 3) достаточно высокое качество размеров, а также высокое качество поверхностей, которое помогает уменьшить механическую обработку;
- 4) простота обеспечения автоматизации процесса штамповки, позволяющая получить высокую производительность;
- 5) экономически выгодна как в мелкосерийном, так и в массовом производстве.

В настоящее время во всем мире в ОМД все более широко применяются технологии моделирования в процессах мелких, крупных, а также средних предприятий.

Системы автоматизированного проектирования (САПР) в ОМД позволяют предсказывать заполняемость полостей штампа, потребную силу деформирования, энергию деформирования, возможность возникновения дефектов в заготовке и т.п.

Задачей выпускной квалифицированной работы является снижение себестоимости производства детали благодаря построению большего размера заготовки и увеличения угловых радиусов детали, а также внедрения метода спаренной штамповки.

# 1. Анализ технологических исходных данных

## 1.1. Разбор технологии детали

«Технологические процессы листовой штамповки могут быть наиболее рациональными лишь при условии создания технологичной конструкции или формы детали, допускающей наиболее простое и экономическое изготовление. Поэтому технологичность листоштампованных деталей является наиболее важной предпосылкой прогрессивности технологических методов и экономичности производства. Под технологичностью следует понимать такую совокупность свойств и конструктивных элементов, которые обеспечивают наиболее простое и экономическое изготовление деталей (в условиях данной серийности производства) при соблюдении технических и эксплуатационных требований к ним» [15].

Технологичность электронной модели изделия (ЭМ) (Рис. 1.1) можно проверить, используя методы анализа и соответствующей проверки в САПР.

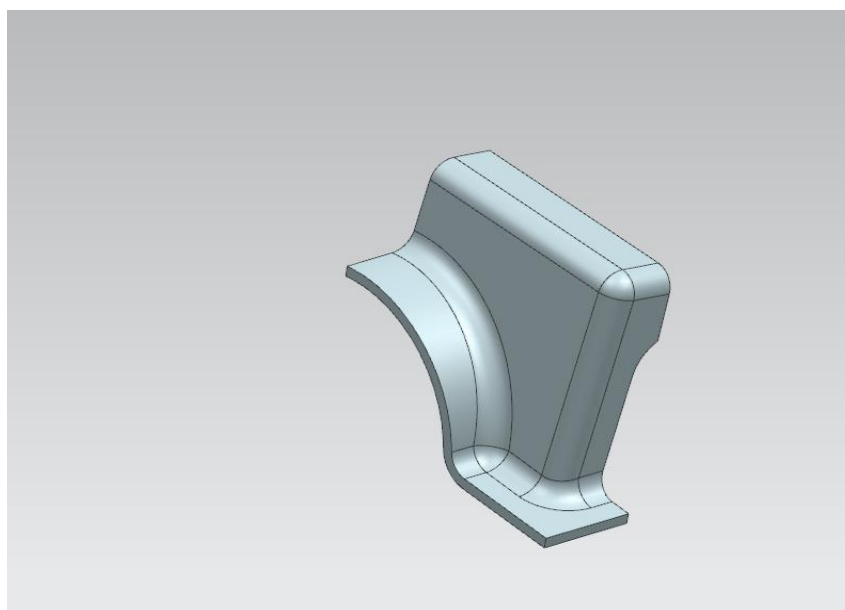


Рисунок 1.1– Электронная модель изделия

Традиционный анализ технологичности изделия содержит список требований, определяющих геометрию конкретного изделия как технологичного. При выполнении ВКР нужно помнить про базовый

технологический процесс и не включать в список проверяемые параметров лишние.

## 1.2. Применение методик HD3D

Использование САПР для проверки технологичности подразумевает применение специализированных модулей, например, таких как HD3D для САПР NXSiemens PLMSoftware. Для вызова интерфейса проверки изделия необходимо выбрать в левой части экрана в списке палетт вкладку «Инструменты HD3D».

Одна из функций данного модуля – это обеспечение визуальных методов проверки качества геометрии изделия (рис. 1.2) по ряду показателей (вывод значений и расположения граней с минимальным радиусом, полук и консолей листового металла указанной длины и т.д.).

Для вывода на экране всех граней, чей радиус скругления лежит в определенном диапазоне, можно воспользоваться опцией «Визуальный отчет», после чего определяется исследуемая характеристика из списка выбранных.

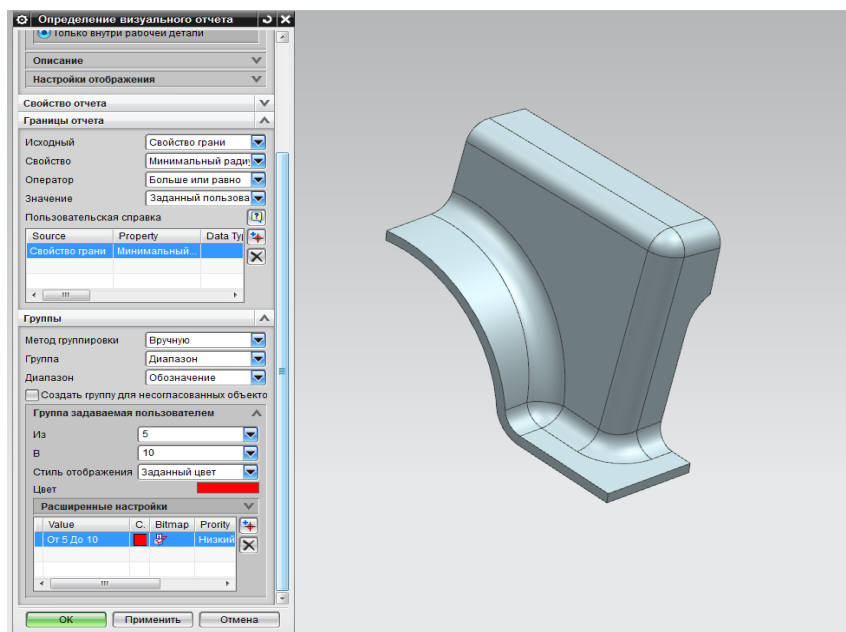


Рис. 1.2 – Визуальный отчет



После нажатия кнопки «ОК» в окне настроек визуального отчета, его необходимо активировать. В итоге получается таблица с результатами.

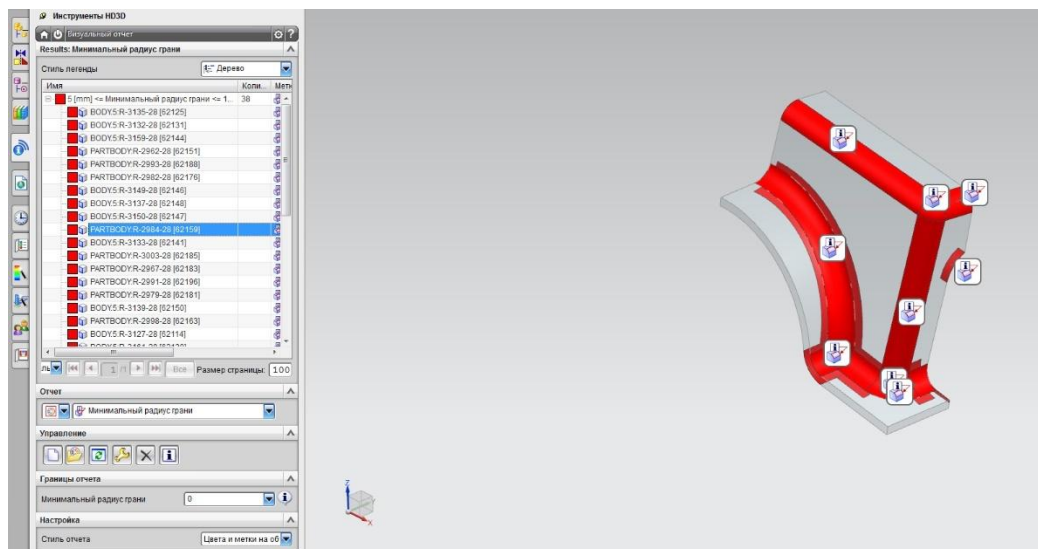


Рис. 1.3 – Список граней

В таблице вывода результатов (Рис. 1.3) будет представлен список всех граней, значение радиуса которых лежит в указанном диапазоне. Выбирая одну из граней, можно получить информацию о ней.

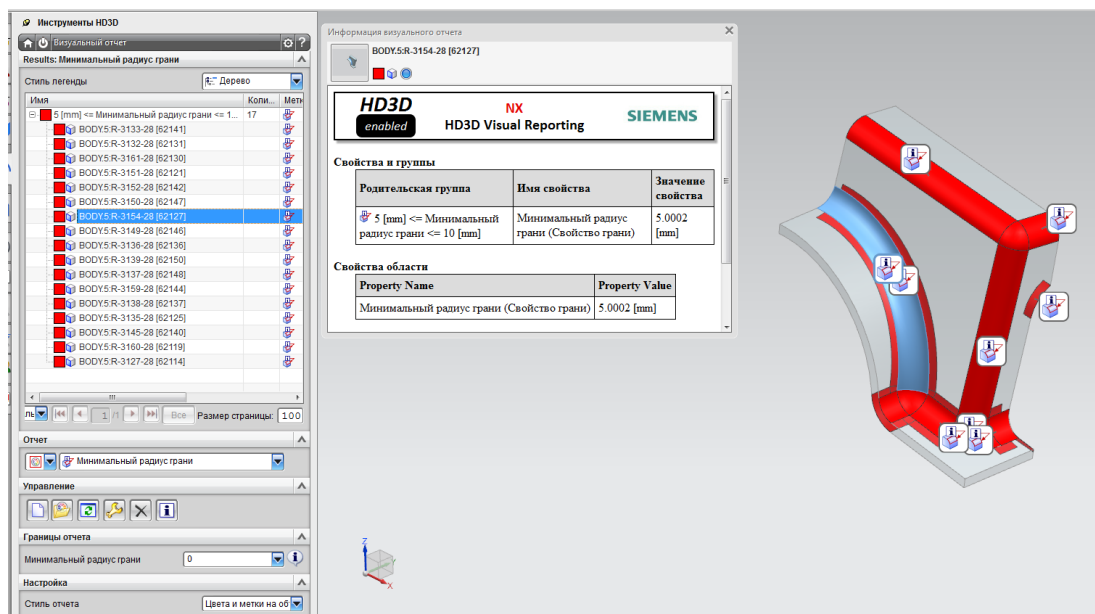


Рис. 1.4 – Окно отчета грани

В окне отчета можно просмотреть информацию о грани (рис. 1.4). После делаем проверку. Часто для проверки электронных моделей

выбираются следующие критерии: длина полки, гладкость, грани листового тела, пересечение граней, смещение, самопересечение, пики и т.д. Выбираем проверить длину полки и зазор инструмента. После проверки выводится окно с результатом (Рис. 1.5).

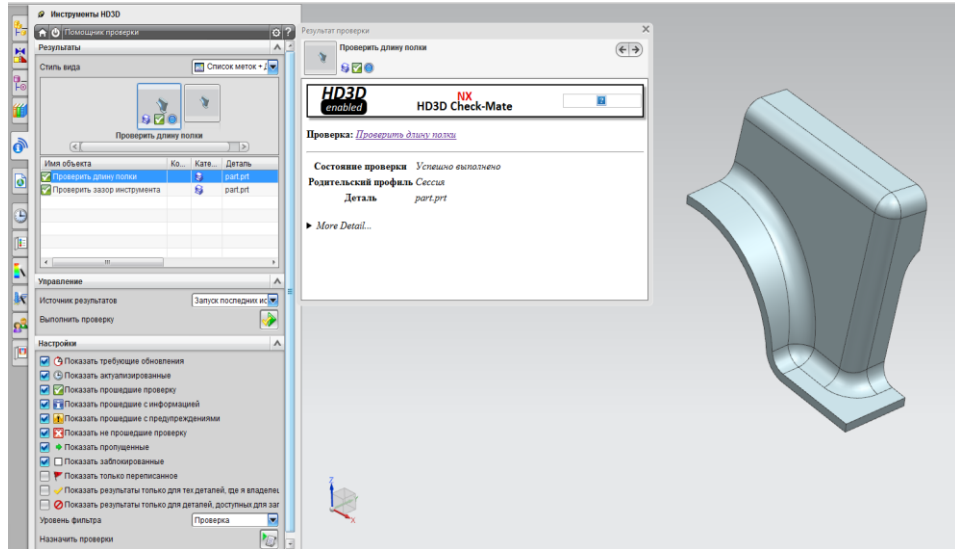


Рис. 1.5 – Окно отчета длины полки и зазора инструмента

Для того чтобы оценить качество электронной математической модели детали и для успешного ее применения и анализа в САЕ, а также построения рабочих деталей штампа используется инструмент «Проверить геометрию».

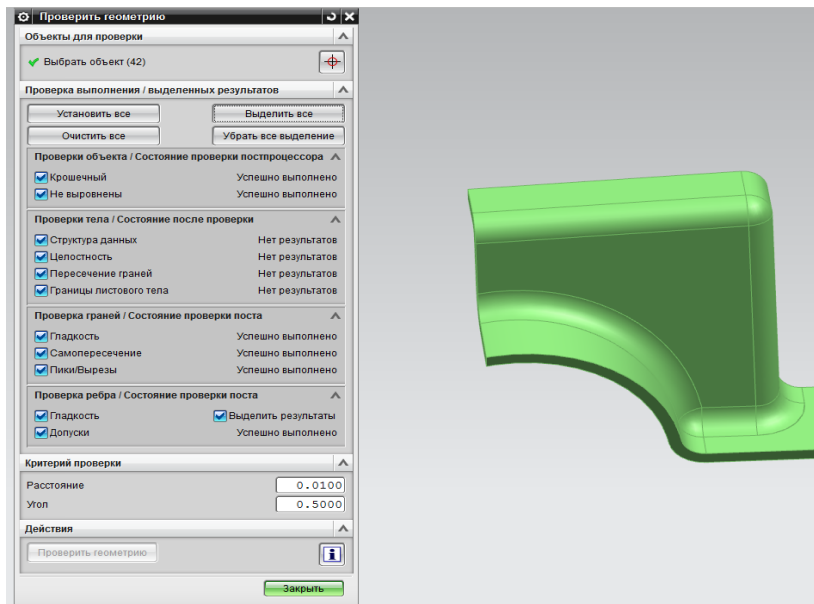


Рис. 1.6 – Анализ геометрии ЭМ

Данный анализ в конечном итоге показал (Рис.1.6), что выбранное изделие не содержит каких-либо отклонений по форме и размерам в соответствии с выбранными настройками.

В результате контроля на качество электронная математическая модель изделия не содержит дефектов, разрывов, а также пересечения поверхностей граней.

### 1.3. Проверка изделия с помощью одношагового анализа формуемости

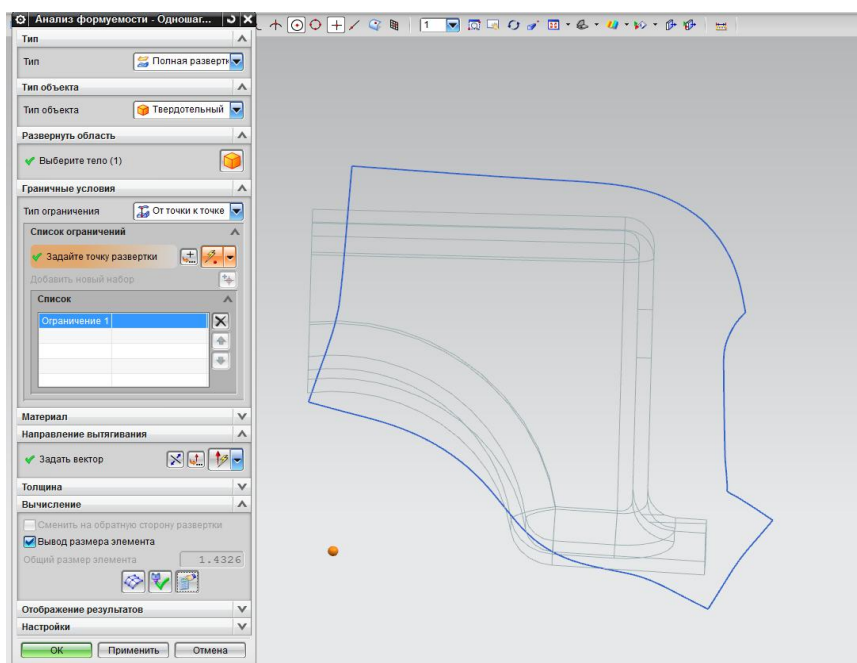


Рис. 1.7– Получение развертки

Следующий этап анализа на технологичность проводится с помощью функции «Анализ формуемости – Одношаговый» NX 9.0.

Он позволяет развернуть геометрию листового тела на плоскость, а затем рассчитать возможные деформации, напряжения, утонения, а также утолщения, которые могут появиться в детали во время штамповки (Рис.1.7, Рис. 1.8). «Анализ формуемости – Одношаговый» помогает за недолгое

время сделать расчет и с определенной точностью определить показатели технологичности, а также определить размер заготовки.

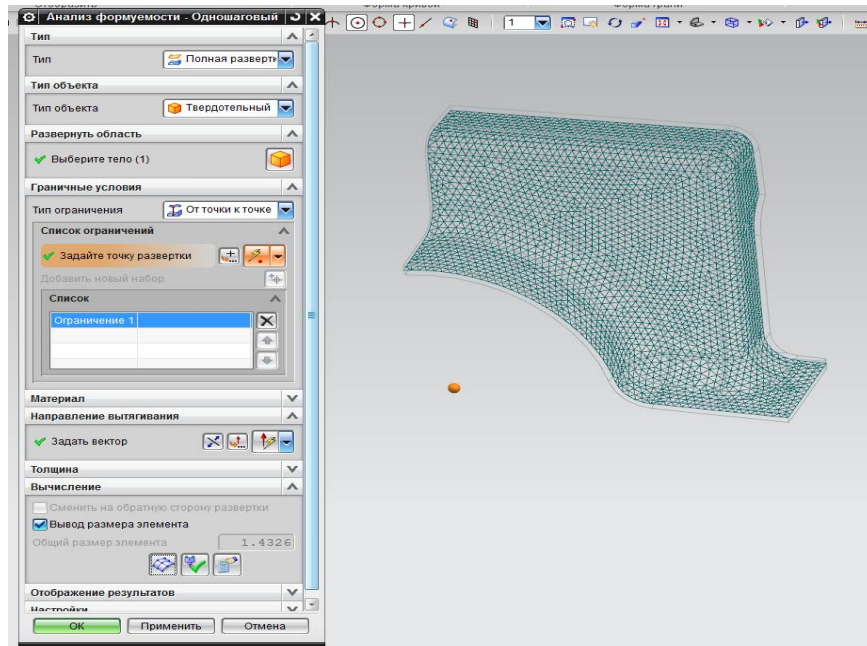


Рис. 1.8 – Сетка

Если изделие соответствует основным технологическим требованиям, предъявляемым к деталям, получаемым вытяжкой, то делается вывод о его технологичности.

#### 1.4. Анализ исходной технологии изготовления детали

Процесс получения детали «Опора чашки пружины» включает в себя операции (Таблица 1.1).

Таблица 1.1- Технологические операции базовой технологии

Номер	Операция
10	Отрезка
20	Вырубка
30	Отбортовка
40	Фланцовка
50	Слесарная

Таблица 1.2 - Описание технологического процесса

Операция	Описание
Отрезка	Отрезка заготовки из ленты толщиной 2,5 мм, используя материал 08пс размерами 2,5x250x560 мм
Вырубка	Используя технологию «BALTEC» вырубить на прессе с ЧПУ развертку.
Отбортовка	Выполнить наружную отбортовку детали на прессе PUE-100
Фланцовка	Выполняется фланцовка по криволинейному контуру
Слесарная	Зачистить заусенец, притупить острые кромки детали
Пробивка	Пробивается отверстие диаметром 10 мм

### 1.5. Определение минусов исходной технологии изготовления детали

В процессе рассмотрения исходной технологии изготовления детали «Опора чашки пружины» выявились некоторые минусы данной технологии:

- 1) малый радиус детали в угловой зоне;
- 2) малый размер заготовки.

### 1.6. Задачи ВКР

Отметив недостатки базовой технологии изделия «Опора чашки пружины», можно выделить следующие задачи по улучшению этой технологии:

- 1) спроектировать ЭМ изделия «Опора чашки пружины»;
- 2) провести анализ базовой технологии;
- 3) увеличить размер заготовки;
- 4) увеличить радиус в угловых зонах;
- 5) выполнить анализ созданного технологического процесса в САЕ;
- 6) выбрать оборудование;

7) разработать конструкцию штампа и сделать его чертеж;

8) провести исследование по безопасности проекта, а также выполнить экономический расчет.

В проектном технологическом процессе проводятся исследования по снижению средств на производство детали «Опора чашки пружины» на том же оборудовании и с тем же усилием, но меняется раскрой заготовки, а также вводится спаренная штамповка.

## 2. Разработка технологического процесса

### 2.1. Порядок действий технологического процесса

Проектный вариант изготовления детали подразумевает, что все штамповочные операции будут выполняться на том же оборудовании с тем же усилием на прессе PУЕ-100 S.1M/SSM, но будет внедрена спаренная штамповка.

В представленном технологическом процессе разработано изготовление детали «Опора чашки пружины» и была предложена более рациональная заготовка.

Габариты начальной заготовки детали -100x200 мм.

Для того чтобы наблюдалась экономия материала, и его можно было более рационально использовать, нужно изменить размер исходной заготовки.

Габаритные размеры заготовок определяются следующими методами:

- 1) численный метод;
- 2) аналитический метод;

В численном методе используется программный продукт «NX». Во вкладке «Анализ» выбирается функция «Анализ формуемости – Одношаговый» и получается развертка детали (Рис. 2.1).

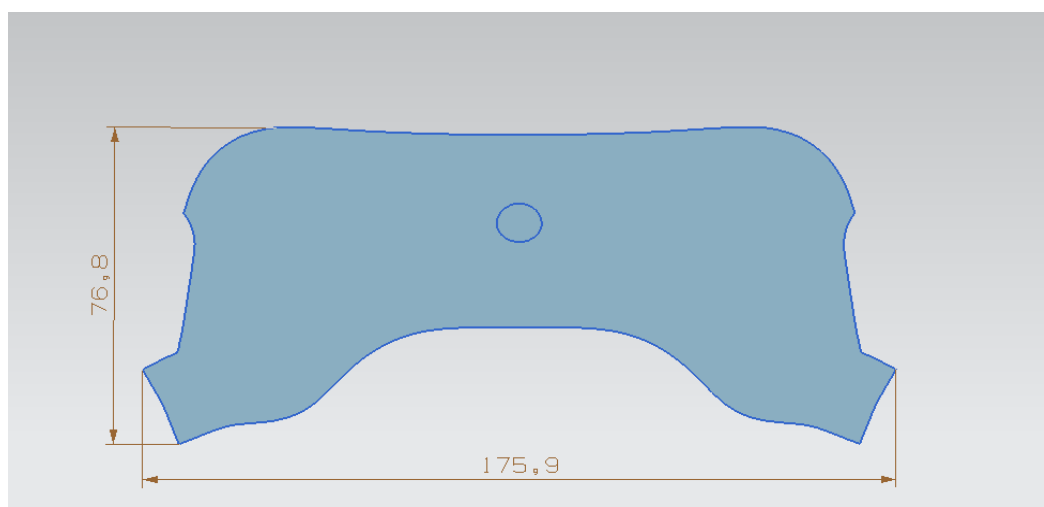


Рис. 2.1– Развертка детали

Используя приложение «ГУ» в программном продукте«NX»измеряем линейные размеры заготовки:

$$A = 175,9\text{мм}$$

$$B = 76,8\text{мм}$$

Где  $A$  – длина заготовки;

$B$  – ширина заготовки.

Для технологических припусков добавляется 12% в длину:

$$T = 175,9 + (175,9 \cdot 0,12) = 197\text{мм}$$

Для технологических припусков добавляется 23% в ширину:

$$T = 76,8 + (76,8 \cdot 0,23) = 94,5\text{мм}$$

Анализируя полученные значения принимаем заготовку размерами 100x200 мм (Рис. 2.2).

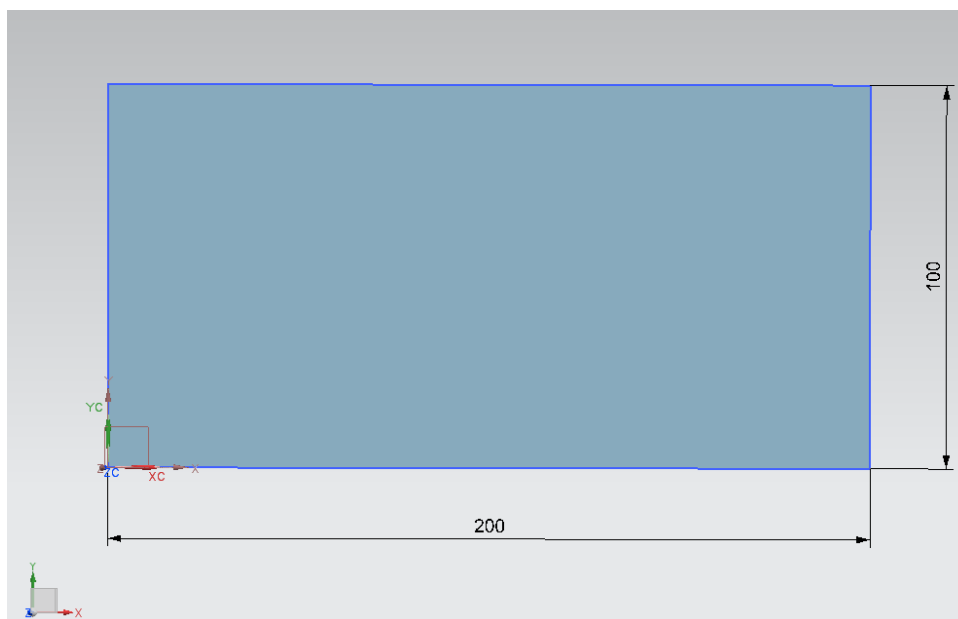


Рис. 2.2– Окончательная заготовка



## 2.2. Определение раскроя материала и определение коэффициента использования материала (КИМ)

Для того чтобы измерить площадь изделия используется функция «Измерение тел» в «NX».

$$F = 18104 \text{ мм}^2$$

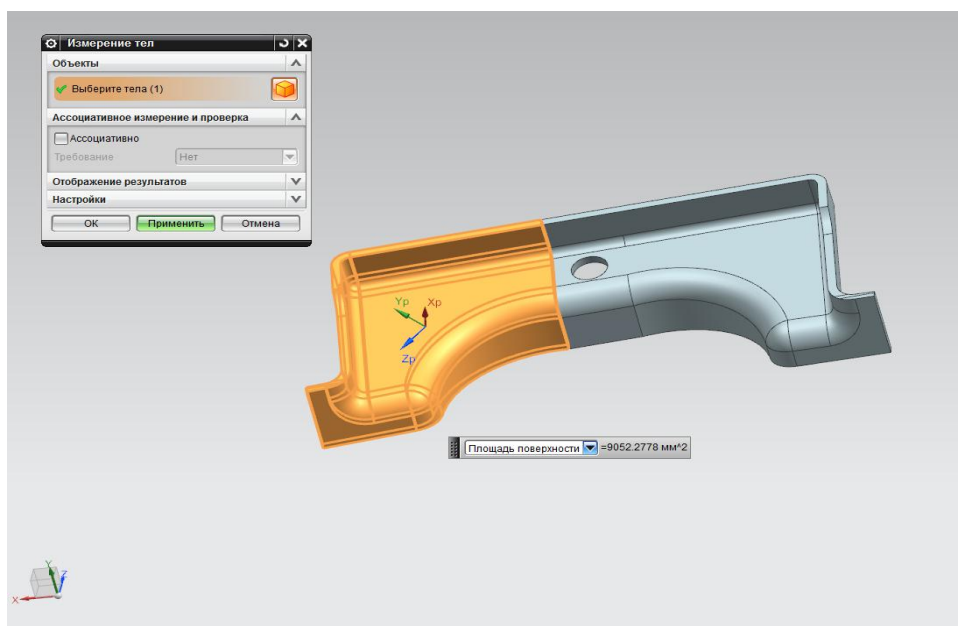


Рис. 2.3 – Определение площади детали

По формуле (2.1) определим КИМ через площадь:

$$\eta = \frac{F_{\partial}}{F_3} \cdot 100\% = \frac{18104}{100 \cdot 200} \cdot 100\% = 91\% \quad (2.1)$$

Где  $F_{\partial}$  – площадь детали;

$F_3$  – площадь заготовки.

По формуле (2.2) определим КИМ через массу:

$$\eta = \frac{m_{\partial}}{m_3} = \frac{0,16}{0,18} = 0,9 \quad (2.2)$$

где  $m_{\partial}$  - масса детали (кг), находится с помощью функции «Измерение тел» в «NX» (Рис. 2.4).

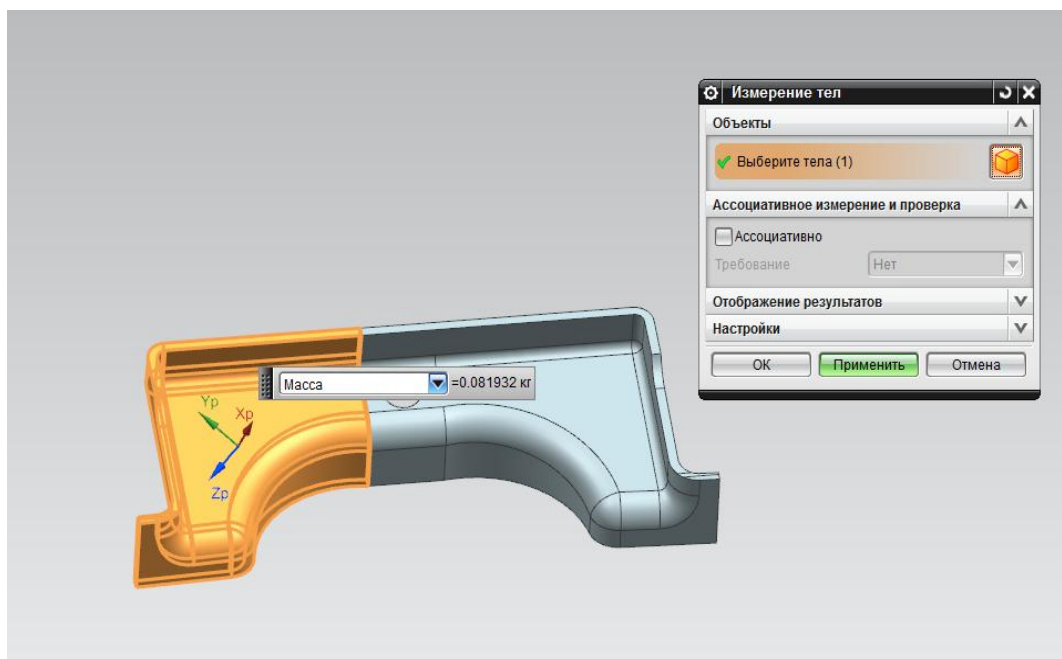


Рис. 2.4 – Определение массы детали

$m_3$  -масса заготовки (кг), находится по формуле:

$$m_3 = F \cdot S \cdot \rho = 0,01 \cdot 0,0025 \cdot 7850 = 0,18 \text{ кг} \quad (2.3)$$

В базовом варианте КИМ составлял 84%.

### 2.3. Нахождение энергосиловых параметров операций

Таблица 2.1 – Исходные данные

Наименование	Обозначение	Значение	Единица измерения
Сопротивление срезу (при вырубке) для стали 08пс	$\sigma_{cp}$	28	кгс/мм <sup>2</sup>
Коэффициент при вырубке	$k$	0,4	-

Продолжение Таблицы 2.1

Предел прочности		33	кгс/мм <sup>2</sup>
Коэффициент, определяемый из соотношения $P_{cp} / P$	$x$	0,5	-
Удельное усилие прижима	$q$	0,2	кгс/мм <sup>2</sup>
Толщина материала	$S$	2,5	мм
Коэффициент снятия материала, равный 0,2-0,3	$k_{сн}$	0,3	-
Длина контура	$L$		мм

Таблица 2.2 – Расчет энергосиловых параметров для операций

№ операции	Наименование операции	Расчетная формула усилия ( $P$ ) и работы ( $A$ )	Значение параметров	Окончательный результат
10	Отрезка заготовки	$P = L \cdot S \cdot \sigma_{cp} \cdot k$ $A = x \frac{P \cdot S}{1000}$	$L = 600 \text{ мм}$ $S = 2,5 \text{ мм}$ $k = 0,4$ $\sigma_{cp} = 28 \text{ кгс} / \text{мм}^2$ $x = 0,5$	$P = 168 \text{ кН}$ $A = 0,02 \text{ кДж}$
20	Фланцовка	$P = 1,25 \cdot L \cdot S \cdot \sigma_B \cdot k + P_{прижима}$ $P_{прижима} = F \cdot q$ $A = \frac{P \cdot H}{1000}$	$L = 636 \text{ мм}$ $\sigma_B = 33 \text{ кгс} / \text{мм}^2$ $k = 0,3$ $P_{прижима} = 35,3 \text{ кН}$ $H = 10 \text{ мм}$ $F = 18000$ $q = 0,2$	$P = 232 \text{ кН}$ $A = 2,3 \text{ кДж}$

Продолжение Таблицы 2.2

30	Отбортовка наружного контура	$P = 1,25 \cdot L \cdot S \cdot \sigma_B \cdot k + P_{\text{прижима}}$ $P_{\text{прижима}} = F \cdot q$ $A = \frac{P \cdot H}{1000}$	$L = 199 \text{ мм}$ $\sigma_B = 33 \text{ кгс / мм}^2$ $k = 0,3$ $P_{\text{прижима}} = 35,3 \text{ кН}$ $H = 11 \text{ мм}$ $q = 0,2$ $F = 18000$	$P = 97 \text{ кН}$ $A = 1,07 \text{ кДж}$
40	Пробивка отверстия	$P = L \cdot S \cdot \sigma_{cp}$ $A = \frac{P \cdot S}{1000}$	$L = 31,4 \text{ мм}$ $S = 2,5 \text{ мм}$ $\sigma_{cp} = 28 \text{ кгс / мм}^2$	$P = 57 \text{ кН}$ $A = 0,14 \text{ кДж}$
	Усилие снятия	$P_{\text{сн}} = k_{\text{сн}} \cdot P$	$P = 57 \text{ кН}$ $k_{\text{сн}} = 0,3$	$P_{\text{сн}} = 17 \text{ кН}$
	Усилие проталкивания	$P_{\text{пр}} = k_{\text{пр}} \cdot P$	$P = 57 \text{ кН}$ $k_{\text{пр}} = 0,1$	$P_{\text{пр}} = 5,7 \text{ кН}$
	Суммарное усилие	$P_{\text{сум}} = P + P_{\text{сн}} + P_{\text{пр}}$	$P_{\text{пр}} = 5,7 \text{ кН}$ $P_{\text{сн}} = 17 \text{ кН}$ $P = 57 \text{ кН}$	$P_{\text{сум}} = 80 \text{ кН}$

### 3. Инженерный анализ напряженно-деформированного состояния детали

#### 3.1. Анализ технологического процесса изготовления детали в программе AutoForm

Программа AutoForm является специализированным программным обеспечением для оптимизации и проектирования технологического процесса листовой штамповки. Данная программа предназначена для анализа операций вытяжки и формовки, различных видов обрезки, пробивки, гибки (пружинения), применяемых в автомобильной промышленности.

Для того чтобы спроектировать технологический процесс для детали «Опора чашки пружины» нужно создать новый проект. Для этого нужно выбрать опцию «New design» (Рис. 3.1), затем в разделе «Part» во вкладке «Import» выбирается кнопка «Import Tool» и загружаются необходимые для технологического процесса инструменты, а также геометрия (Рис. 3.2).

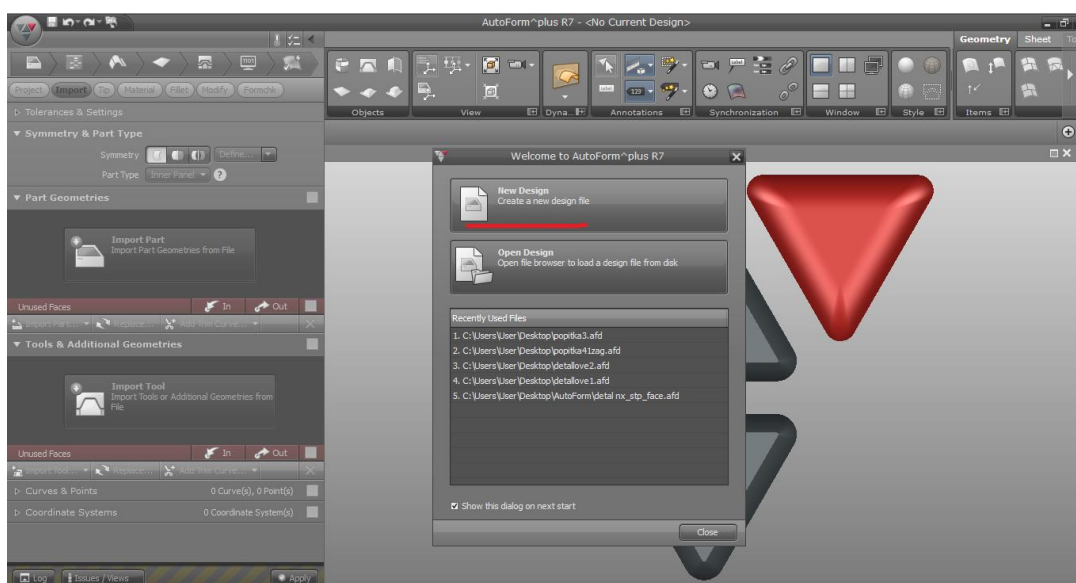


Рис. 3.1– Создание нового проекта

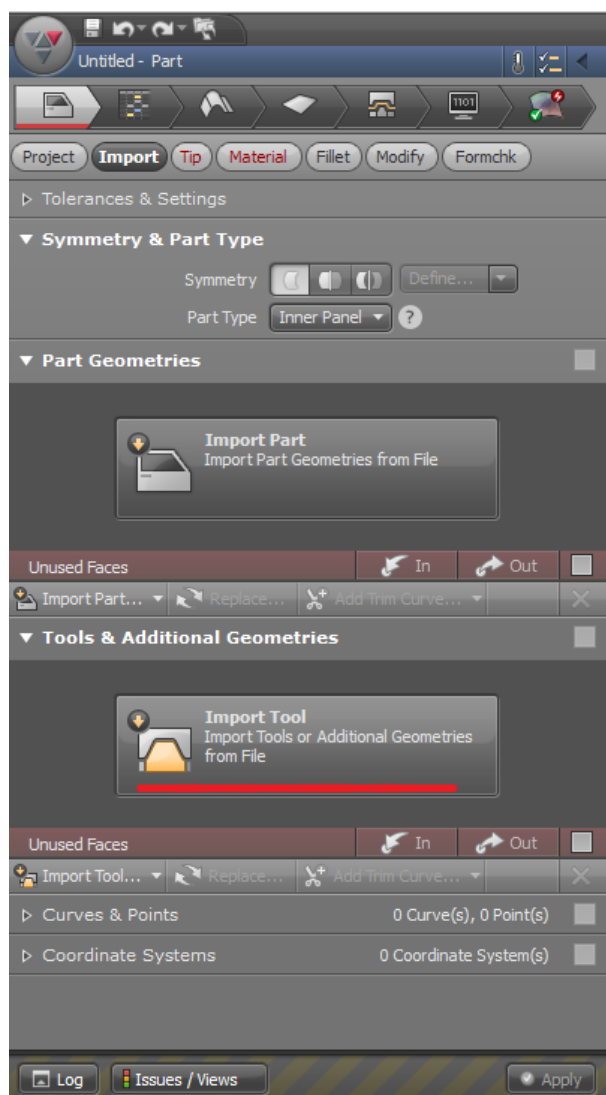


Рис. 3.2 – Импорт геометрии

Во вкладке «Tip» при необходимости можно расположить геометрию и инструмент под нужным углом, используя такие параметры как: «Rotation», «Tipping» (Рис. 3.3).

Затем необходимо загрузить материал, во вкладке «Material» выбирается пункт «Add material» и из представленных сталей необходимо выбрать аналог стали 08пс, в данном случае это сталь DC04 (Рис. 3.4).

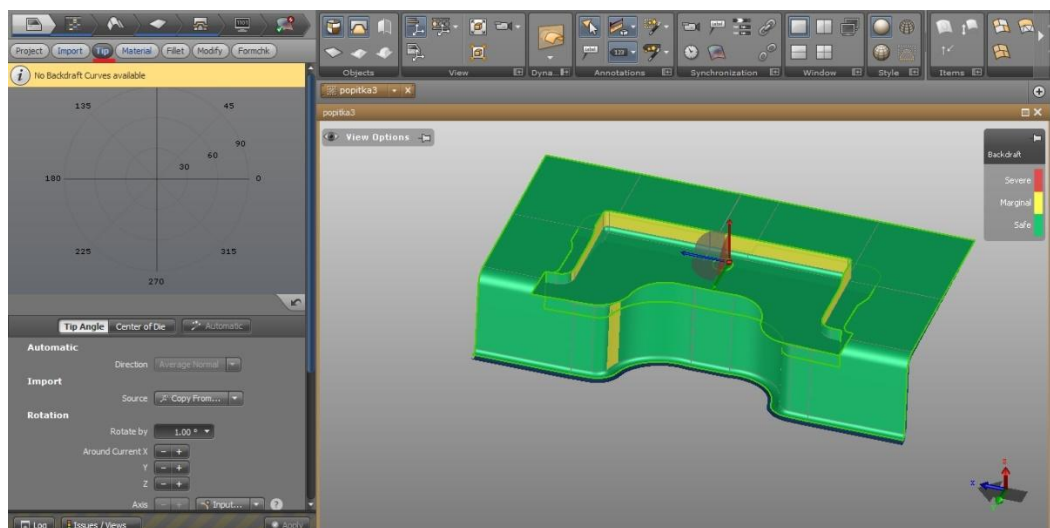


Рис. 3.3 – Расположение геометрии

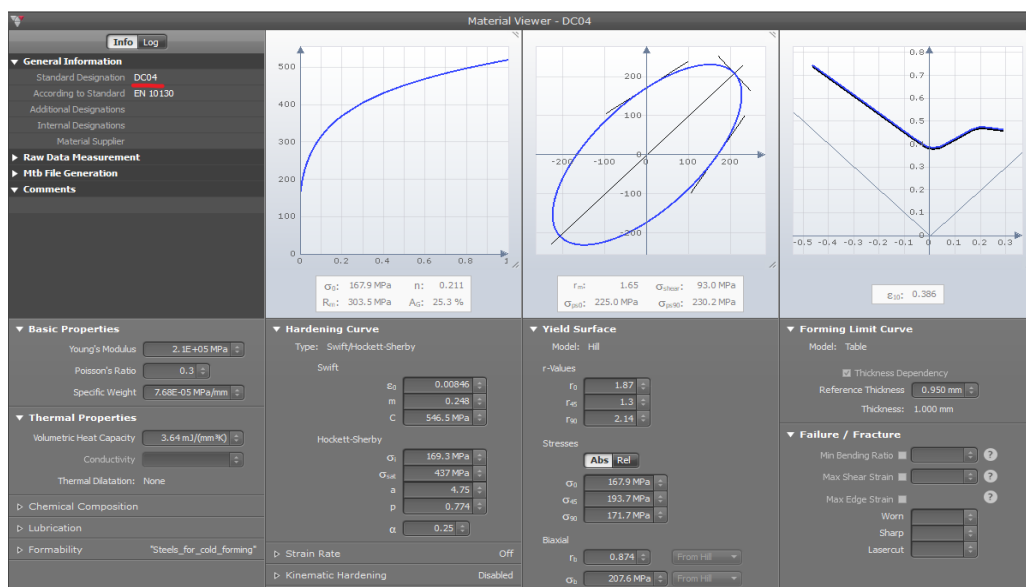


Рис. 3.4 – Выбор материала

Затем нужно перейти к выбору операции: в разделе «Plan» во вкладке «Production» необходимо выбрать операцию листовой штамповки, в случае для детали «Опора чашки пружины» выбирается операция «FormTrim» (Рис. 3.5).

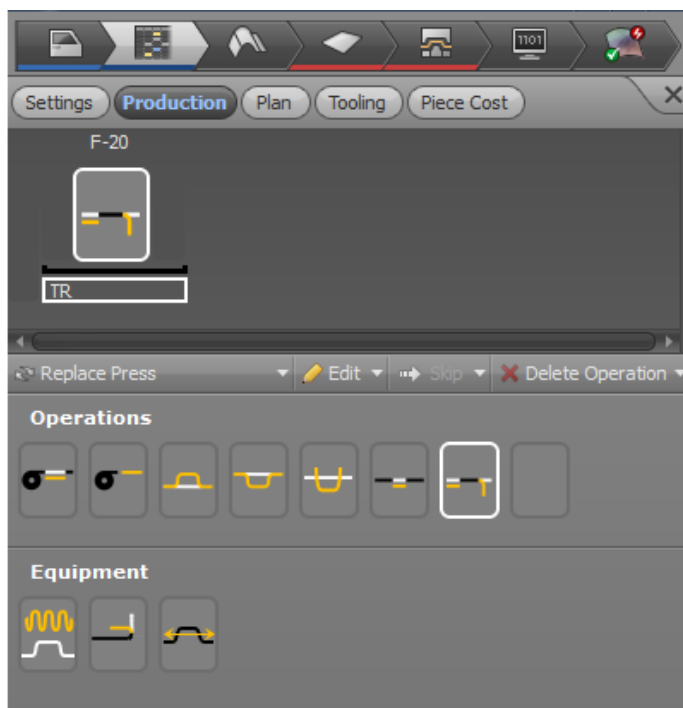


Рис. 3.5 – Выбор операции

Для того чтобы загрузить заготовку нужно выбрать раздел «Blank» и открыть вкладку «Outline», в представленном окне (Рис. 3.6) выбрать «Copy From» и из загруженных ранее инструментов и наборов геометрии выбрать заготовку.





Рис. 3.6 – Создание заготовки

В результате в окне выводится общий вид заготовки (Рис. 3.7), на основе которой программа будет производить операции.



Рис. 3.7 – Заготовка

Еще одним важным фактором в процессе получения детали в данной программе является правильное задание инструментов, их направление движения и усилие прижима.

Для того чтобы задать инструменты для технологического процесса нужно перейти во вкладку «Process» и в разделе «Tools» (Рис.3.8) начать выбирать поверхности, которые будут служить пуансоном, прижимом и матрицей для получения детали.

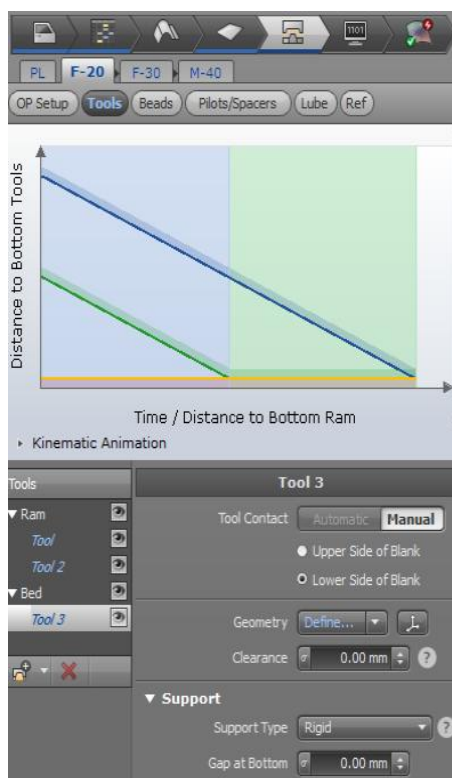


Рис.3.8 – Задание инструмента

После задания всех инструментов и выбора их параметров можно посмотреть их кинематику в процессе отбортовки. В случае для первого перехода получения детали «Опора чашки пружины» инструменты будут выглядеть как показано на рисунке 3.9.

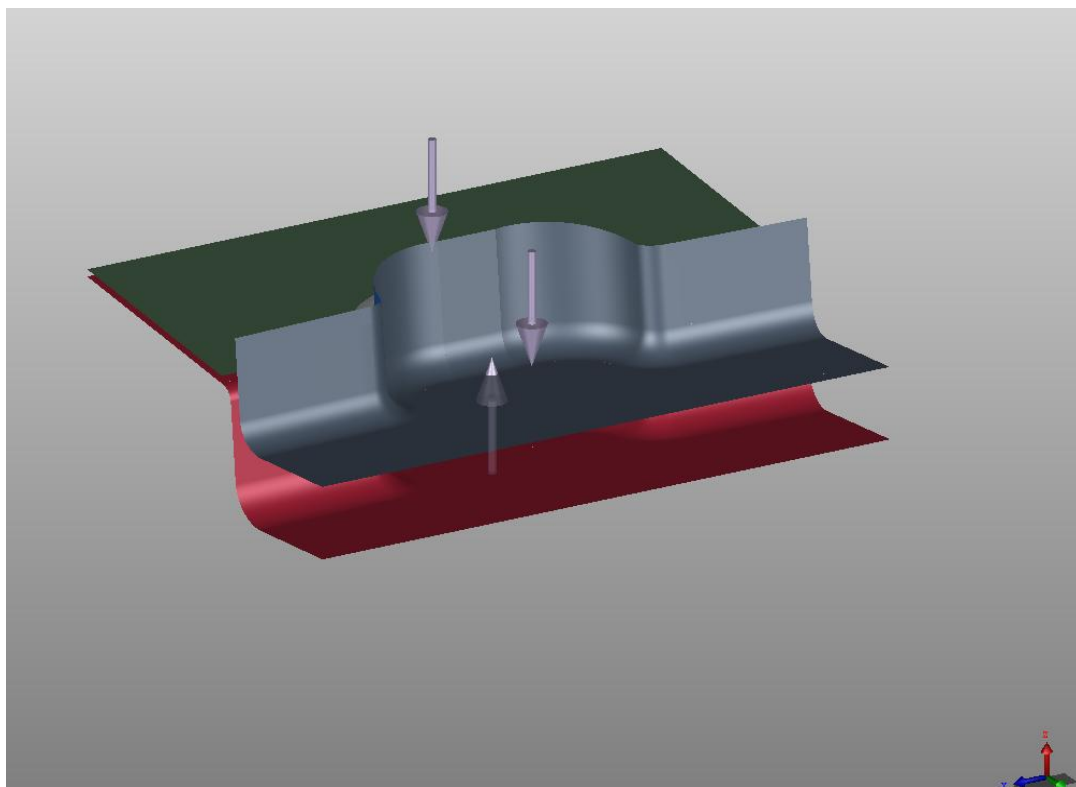


Рис.3.9 – Инструменты

### 3.2. Расчет и анализ полученных результатов

После создания 1 и 2 перехода для детали «Опора чашки пружины» в результате расчетов «AutoForm» создает так называемую FLD диаграмму (Рис. 3.10), которая показывает по оси «X» Minor True Strain (незначительные напряжения), а по оси «Y» Major True Strain (серьезные напряжения). Для того чтобы отобразить данную диаграмму на экране нужно в главном окне программы зайти на вкладку «Evaluation» и выбрать «FLD».

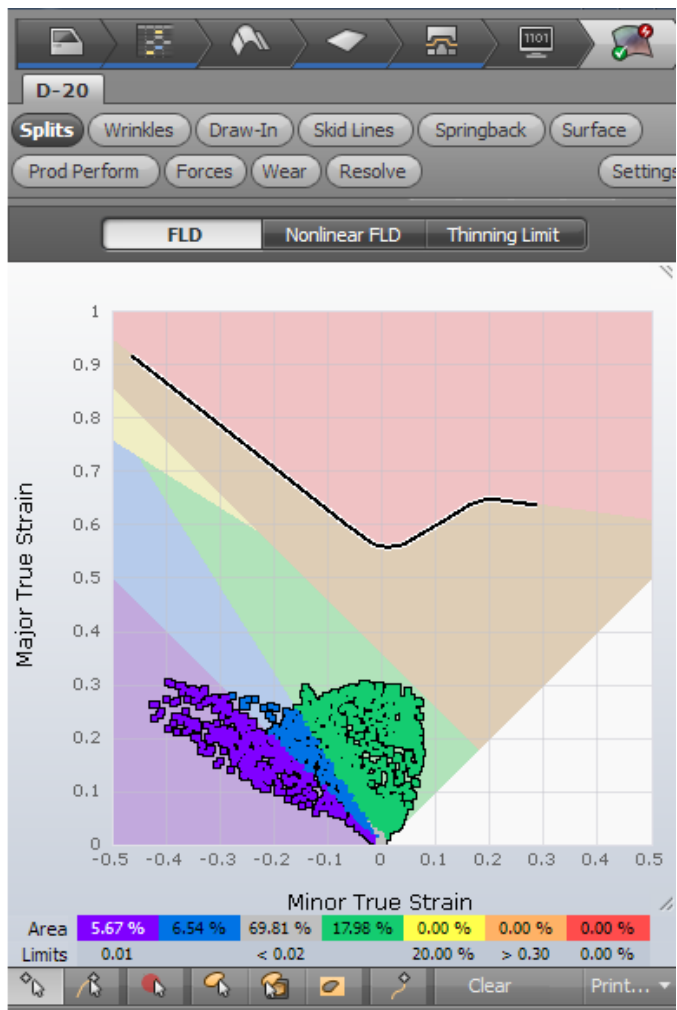


Рис. 3.10 – FLD диаграмма.

Диаграмма предельного формоизменения (FLD) – метод, позволяющий предсказать разрушения листового материала при штамповке. Черный график на «FLD» отображает кривую предельного формоизменения (FLC), определяющую деформации (Рис.3.11), превышение которых вызывает появление разрывов в листовом материале. На эту диаграмму наносятся значения деформаций, рассчитанных при моделировании во всех конечных элементах.

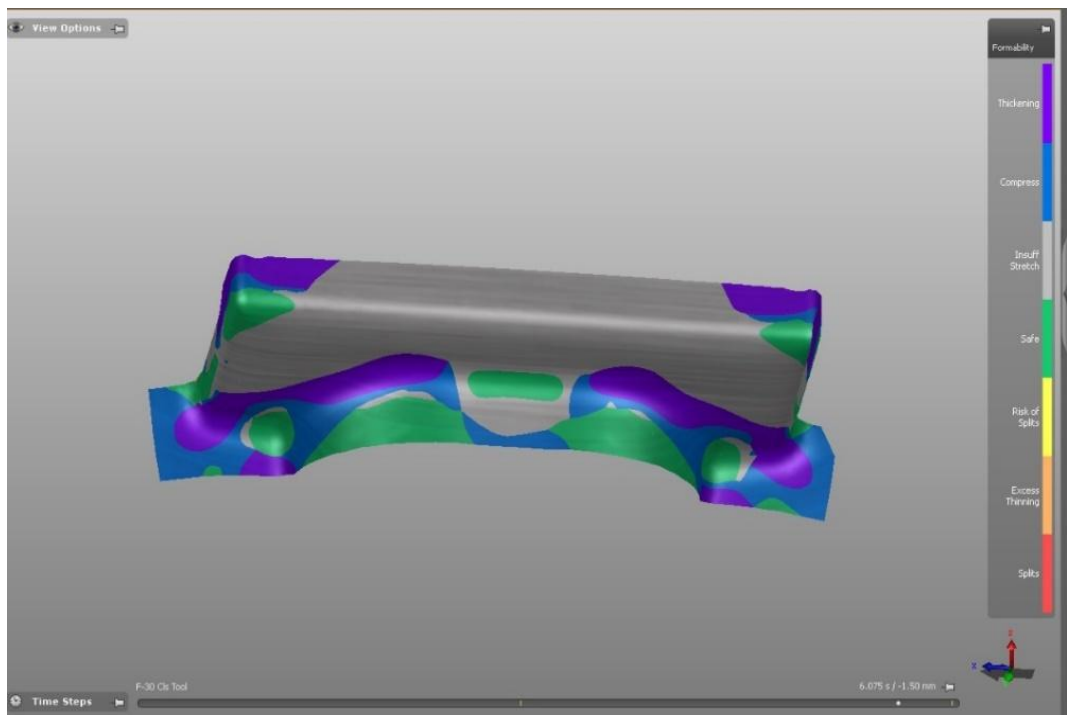


Рис. 3.11 – Пластические деформации

Желтым цветом обозначается риск возникновения разрыва в процентах, оно не должно быть выше 20%, фиолетовым-образование складок, синим-возможность возникновения складок в процентах, зеленым-наличие пластической деформации, оранжевым-опасность возникновения разрывов, а красным-зона разрывов.

Таким образом, если значения деформаций во всех элементах находятся ниже кривой предельного деформирования, то это означает, что процесс формоизменения проходит стабильно, без образования разрывов.

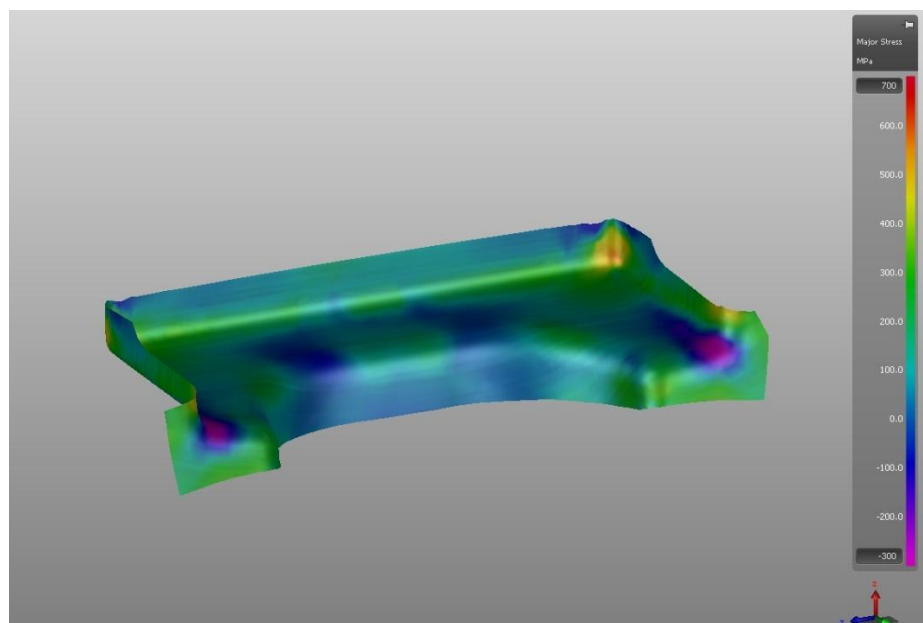


Рис. 3.12 – Наибольшее значение главного напряжения

Если к телу приложены внешние силы и создано препятствие свободному движению его, то тело находится в напряженном состоянии. Одной из задач обработки материалов давлением является определение величины этих сил [17]. С помощью программы «AutoForm» можно просмотреть график некоторых величин, например, наибольшие главные напряжения (Рис. 3.12). Это такие нормальные напряжения на площадках, на которых касательные напряжения равны нулю.

Также важным фактором при гибке является пружинение. Пружинением является такой физический процесс, который обусловлен остаточной упругостью материала. После выполнения операций уголгиба имеет тенденцию к увеличению, и таким образом полученный угол получается больше, чем ожидалось. В случае с деталью «Опора чашки пружины» угол пружинения составил 0,96 градуса (Рис. 3.13).

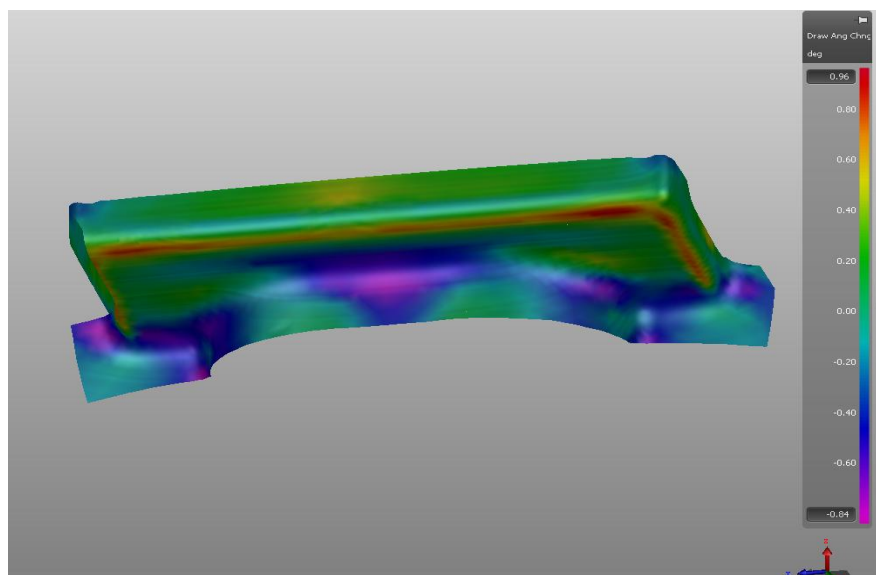


Рис. 3.13 – Угол пружинения

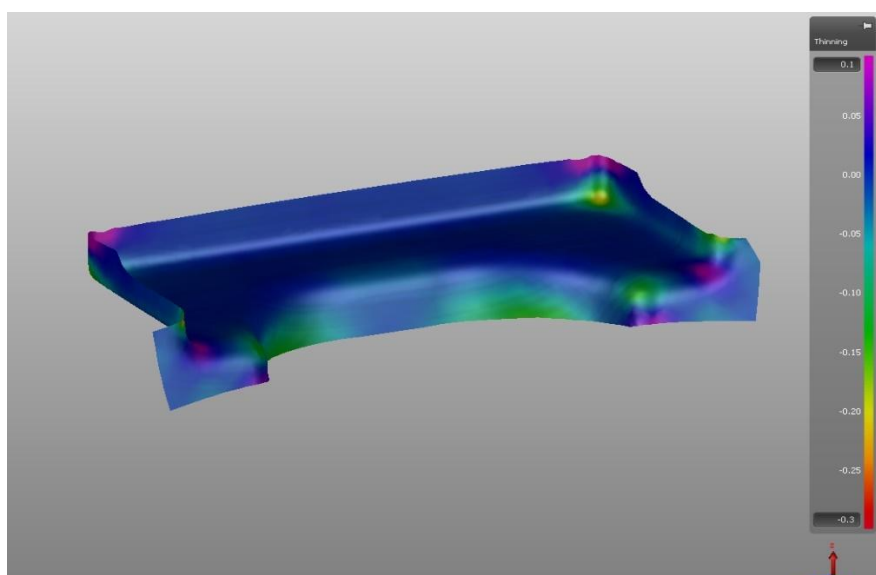


Рис. 3.14 – Утонение

Учитывая результат анализа на утонение (Рис.3.14) можно сказать, что оно составило около 20%.

## 4. Выбор оборудования

### 4.1. Основные технические характеристики оборудования

Операция будет выполняться за 2 перехода на гидравлическом одностоечном прессе PUE100 S/1M (усилием 1 МН).

На основании конструктивной концепции, гидравлический одностоечный пресс предназначен для всех процессов листовой штамповки, а также для операций калибровки, чеканки, объемной штамповки и для выполнения комбинированных операций, причем использование прессы в данных областях является очень экономическим.

Если пресс дополняется гидравлическим устройством для глубокой вытяжки или гидравлическим выталкивателем в столе прессы, то он станет прессом двойного действия для глубокой вытяжки среднегабаритных деталей.

Наряду с применением как отдельно стоящий пресс, пресс PUE предназначен для установки в линиях и для автоматизации посредством подающих устройств и трансферных приспособлений.

Номинальное усилие прессы:

$$P = 1,5 \cdot 577 = 865 \text{ кН} = 0,865 \text{ МН}$$

Таблица 4.1-Технические характеристики прессы

Модель	PUE100 S/1M
Наибольшее рабочее усилие, т	100
Расстояние между столом и ползуном, мм	800
Ход ползуна, мм	500
Вылет, мм	360
Крепежная площадь, мм	530x400
Рабочая площадь, мм	750x560
Вес, кг	5000
Габариты прессы, мм	2000x1010x2900
Макс. глубина вытяжки, мм	200



Таблица 4.2 - Основные характеристики прессы

Характеристика	Единицы измерения	Значение
Давление	МПа	100
Отводная сила	МПа	30
Усилие выталкивателя в столе или усилие глубокой вытяжки	тс	40
Скорость потока сверху вниз	мм /сек	43
Скорость потока снизу вверх	мм/ сек	112
(a) Высота стол-пласт. штока	мм	630x800x1000
(b) Высота основ.мад. стол	мм	710
(o) Пролёт (серед. штока-станка)	мм	355x500x710
(d) Ширина стола	мм	710
(f) Отверстие	мм	200
(q) Продольные Т-образные пазы стола	мм	22
(h) Ширина х глубина пласт. штока	мм	355x355
(e) Глубина стола	мм	500
(i) Отверстие пластинки штока	мм	50
(k) Т-образные пазы пласт. штока	мм	22
(l) Ход регулируемый до	мм	500
Приводная мощность	квт	7,5
Номинальное напряжение	В	380
Напряжение цепи упр.	В	60
Число оборотов двигателя	об /мин	1500
Вес	кг	3500
(m) отребление места (длина х ширина х высота)	мм	1580x900x2170

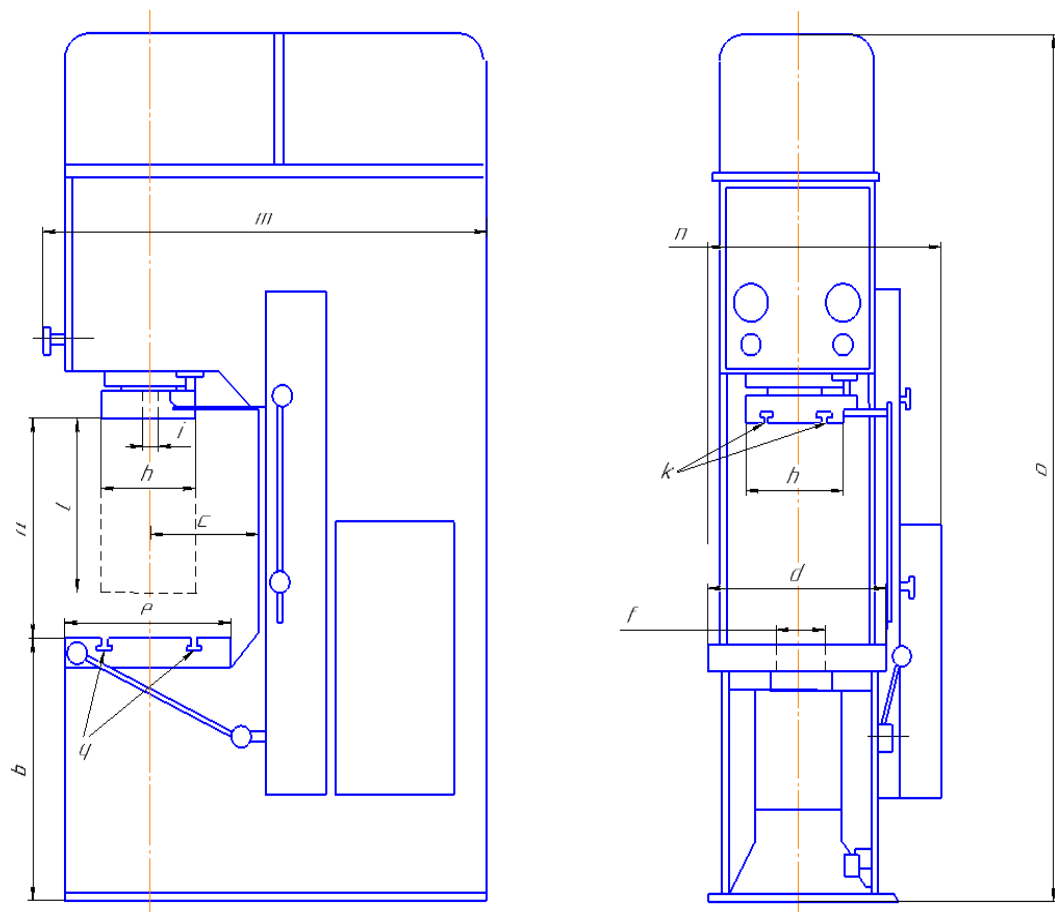


Рис. 4.1 – Схема гидравлического пресса

Так как данный пресс (Рис. 4.1) предназначен для мелкосерийного производства, то средств автоматизации не будет.

#### 4.2. Конструкция и принцип действия

На рисунке 4.2 представлений обзорный вид машины.

Стойка пресса представляет собой сварную С-образную станину и включает в себя следующие основные узлы: цилиндр (1), ползун (2), наполнительный клапан (3), наполнительный резервуар (4), приводную и гидравлические системы. На правой наружной стойке находится режим регулировки хода (5), указатель усилия прессования (6), и распределительный электрошкаф для электрического управления (7). Пресс имеет для наладки штампов управление рукояткой (8), позволяющее

чувствительное управление движением ползуна пресса. Ход ползуна пресса можно плавно регулировать, переключение с ускоренной на рабочую скорость производится в зависимости от пути, времени и давления.

Обслуживание производится через крепленный на столе пресса прибор ручного управления с безопасной системой двуручного управления (9), или, в случае непрерывного хода, с панели управления. При соответствующем предохранительном приспособлении можно пресс обслуживать через педальный выключатель (10).

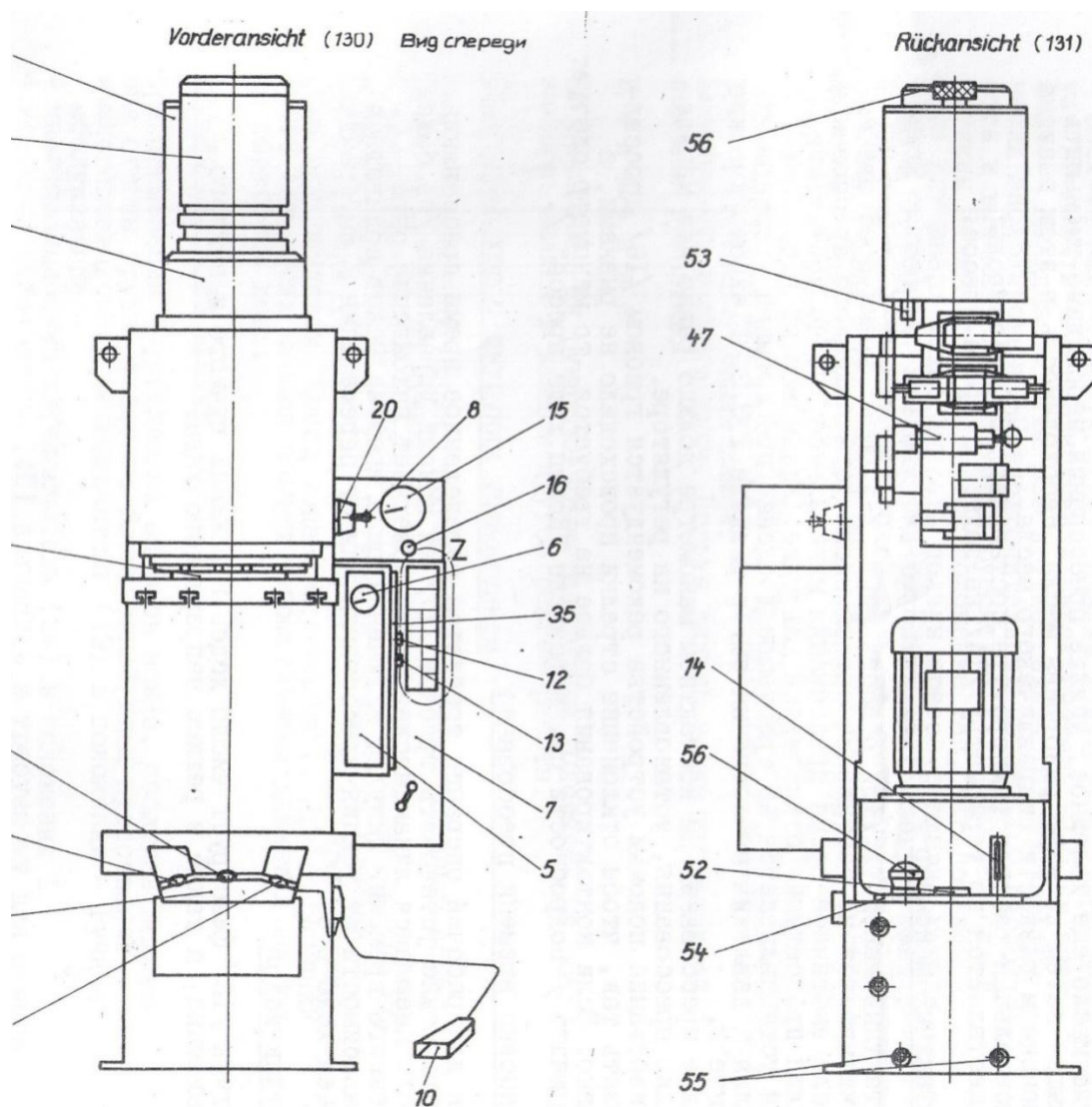


Рис. 4.2 – Обзорный вид машины

В плите стола находятся Т-образные пазы. Крепляемые нижние штампы крепятся посредством пазового сухаря, шпилек и зажимных планок в этих пазах.

Легкие верхние штампы с зажимной цапфой могут быть установлены в отверстия ползуна и зажимаются с помощью зажимного винта. Нужно закреплять более тяжелые верхние штампы аналогично нижним штампам, с помощью имеющихся в плитах ползуна Т-образных пазов.

## 5. Разработка конструкции штамповой оснастки

### 5.1. Конструкция штамповой оснастки

Готовый штамп, который принят в эксплуатацию должен прежде всего обеспечивать получение деталей согласно технической документации, безопасности работы, а также возможности ремонта. Изготовленный и спроектированный штамп должен удовлетворять ряду требований, которые оговариваются техническими условиями.

«Стойкость штампа определяется числом деталей, которые были отштампованы до полного износа рабочих частей, определяемого невозможностью их восстановления и получением размерного брака штампуемых деталей. Однако раньше данного вида брака возникает брак из-за низкого качества штампуемых деталей. Данный вид брака достаточно легко устранить перешлифовкой вырубных и пробивных штампов» [15].

Стойкость штампов зависит от:

- 1) механических свойств материала;
- 2) конфигурации детали;
- 3) толщины материала;
- 4) конструкции штампа, а также типа операции;
- 5) термообработки;
- 6) состояния прессы;
- 7) типа смазки.

Стойкость штампа - это условное понятие, так различные части штампа и оснастки изнашиваются по-разному.

Для детали «Опора чашки пружины» штамповая оснастка будет состоять из нескольких частей: верхней и нижней. Нижняя часть состоит из матрицы, которая имеет специальный вырез под деталь. Верхняя часть состоит из прижимной плиты и пуансона с отверстиями под колонки для крепления оснастки (Рис. 5.1).

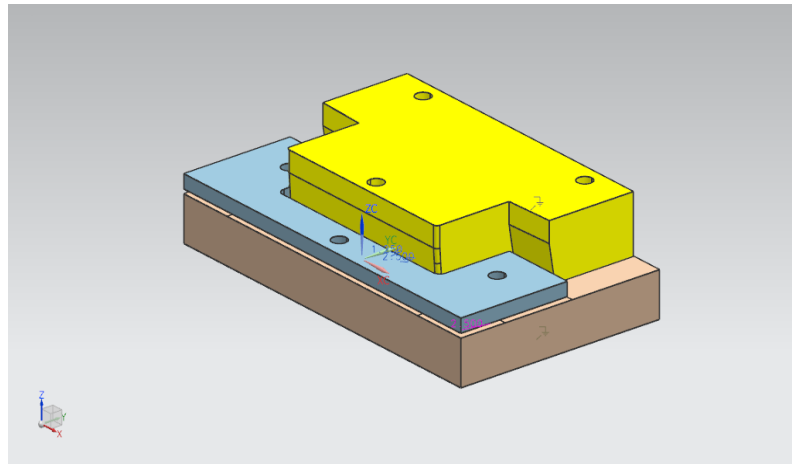


Рис. 5.1 – Штамповая оснастка для первого перехода

Для второго перехода прижимная плита будет меняться на вставку матрицы, в которой имеется 3 отверстия под болты для крепления (Рис. 5.2).

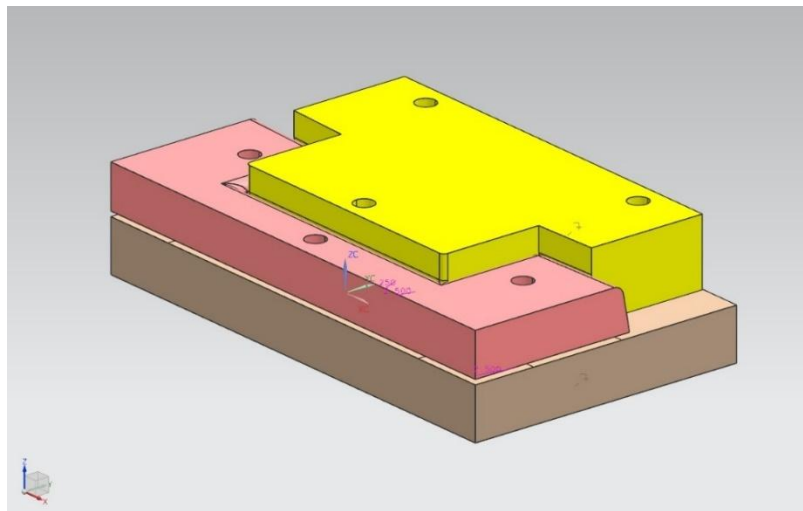


Рис. 5.2 – Штамповая оснастка для второго перехода

Для проектной штамповой оснастки используется в основном сталь 45 или заменитель-40Х. Содержание 0,45% углерода обеспечивает хорошую закаливаемость, а также высокую твёрдость поверхности и прочность получаемой детали (изделия). Твёрдость для рабочих частей штампа представлена в Таблице 5.1.

Таблица 5.1 - Материалы, применяемые для изготовления деталей  
штамповой оснастки

Название детали	Материал	Твердость по Роквеллу
Матрица	Сталь 45 (40X)	45-50 HRC
Прижимная плита	Сталь 45 (40X)	45-50 HRC
Пуансон	Сталь 45 (40X)	45-50 HRC
Вставка матрицы	Сталь 45 (40X)	45-50 HRC
Болты	Сталь 45	32-37 HRC
Колонки	Сталь 20	58-62 HRC

## 5.2. Прочностной расчет пуансона для пробивки отверстия

Таблица 5.2 - Расчет на прочность пуансона

Название расчета	Формула	Результат
Расчет поверхности на смятие	$\sigma_{см} = \frac{P}{F} = \frac{80 \cdot 10^3}{78,5 \cdot 10^{-4}}$	10,2 МПа
Площадь сечения пуансона	$F = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 10^2}{4}$	78,5 мм <sup>2</sup>
Расчет на сжатие	$\sigma_{сж} = \frac{P}{F} \leq [\sigma_{сж}]$	10,2 ≤ 165 кгс / мм <sup>2</sup>
Расчет свободной длины пуансона на продольный изгиб	$l = 4,43 \sqrt{\frac{EI}{nP}} = 4,43 \sqrt{\frac{2,2 \cdot 10^3 \cdot 7 \cdot 10^{-9}}{3 \cdot 0,08}}$	0,0002 м
Момент инерции	$I = \frac{\pi d^4}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,01^4}{4}$	7 · 10 <sup>-9</sup> м <sup>4</sup>

Исходя из проведенных расчетов можно сделать вывод о том, что в проектном варианте длина пуансона не превышает указанную величину, следовательно, пуансон прочный и может пробить отверстие диаметром 10 мм.

### 5.3. Определение центра давления штампа

В существующем и предложенном вариантах центр давления штампа совпадает с осью. Отсюда следует вывод о том, что проводить расчет не требуется.

### 5.4. Определение исполнительных размеров инструмента

Когда определяются исполнительные размеры для разделительных операций следует учитывать размеры изделия, его точность, а также характер износа инструмента. Для того чтобы получить изделие с заданной степенью точности нужно правильно выбрать зазоры и допуски на рабочие размеры штампа. При этом допуски на рабочие размеры пуансонов и матриц должны задаваться в таких пределах, чтобы они обеспечили получение оптимальных зазоров [16].

Все допуски и посадки для пробивки данного отверстия находятся по единой системе допусков и посадок.

Определим исполнительные размеры пуансона для пробивки отверстия диаметром 10 мм:

Для размера  $\varnothing 10^{+0,1}$ :

$$A_n = (A + \Delta)_{-\delta_n} = (10 + 0,1)_{-0,027} = 10,1_{-0,027} \text{ мм}$$

Тогда размер рабочего отверстия (матрицы) будет:

$$A_m = (A + \Delta)^{+\delta_m} = (10 + 0,14)^{+0,027} = 10,14^{+0,027} \text{ мм}$$

Также находятся исполнительные размеры пуансона и матрицы на геометрические размеры других контуров для вырубки и пробивки, в данном случае имеется только одно отверстие для пробивки.



## 6. Безопасность и экологичность объекта

### 6.1. Технологическое описание рабочего места

В прессовом производстве расположено различное оборудование: гидравлическое, механическое, электрическое и многое другое. Это производство характеризуется достаточно высокой скоростью операций, огромными усилиями, а также высокими температурами.

В течение рабочего дня рабочие производят множество однообразных движений, поэтому во время работы может произойти множество ошибок и возникнуть небезопасная ситуация. Работа с прессовым оборудованием и не только должна соблюдаться техникой безопасности. Для того чтобы не возникало опасных ситуаций существуют специальные меры и комплекс мероприятий по охране труда.

В цехе установлен гидравлический пресс «PUE 100» с общим усилием в 1МН. Загрузка заготовок осуществляется вручную.

Таблица 6.1- Технологический паспорт объекта

№ п/п	Технологический процесс	Технологическая процедура, вид проводимых работ	Обозначение работника, который выполняет операцию	Приспособление, техника, оснастка, машина	Материалы для использования
1	Штамповка	Отрезка	Оператор штамповки	Пресс «PUE 100» 1 МН	ст. х/к 08пс СВ-II-Б
2	Штамповка	Вырубка	Оператор штамповки	Пресс «PUE 100» 1 МН	ст. х/к 08пс СВ-II-Б
3	Штамповка	Отбортовка	Оператор штамповки	Пресс «PUE 100» 1 МН	ст. х/к 08пс СВ-II-Б
4	Штамповка	Фланцовка	Оператор штамповки	Пресс «PUE 100» 1 МН	ст. х/к 08пс СВ-II-Б

## 6.2. Вредные производственные факторы прессового производства

В число опасных факторов входят: машины, подвижные части оборудования, различные механизмы, а также режущие части и вращающиеся части приспособлений. Как известно самой главной причины травм на рабочем месте является несоблюдение техники безопасности рабочим, а производственные факторы приводят к уменьшению трудоспособности, а также заболеваниям. Для того чтобы обеспечить безопасность на производстве существует служба охраны труда, которая приводит к минимуму вероятности получения травм или болезней рабочих при высокой производительности труда.

Выделим такие небезопасные факторы, которые могут негативно сказаться на здоровье оператора, рабочего (Табл. 6.2.).

Таблица 6.2 – Небезопасные факторы

№ п/п	Производственно-технологическая операция, деятельность на рабочем месте	Рискованный и ненадежный производственный фактор	Источник опасного и /или вредного фактора, представляющую угрозу для здоровья
1	Укладка заготовок	Острые кромки, заусенцы, углы полуфабрикатов	Заусенцы, кромки листа или заготовки
2	Движущиеся механизмы	Углекислый газ, дым, пыль	Шум двигателя, перемещение транспорта, работа оборудования
3	Работа с прессом	Высокий уровень шума, вибраций	Прессовое производство
4	Работа с электрооборудованием	Вероятность короткого замыкания, в результате которого рабочий может пострадать	Приводы, провода, электродвигатель машин
5	Работа в цехе с огромным помещением	Недостаточное освещение, пыль	Недостаточное освещение
6	Длительная физическая нагрузка, однообразный труд	Физическая перегрузка организма, утомление организма	Положение тела не меняется за работой (статическое положение тела)

6.3. Комплекс мероприятий по безопасным условиям труда на производстве

Размещение оборудования в производстве должно обеспечивать безопасность обслуживания и ремонта. Пульты для управления оборудованием должны размещаться в хорошо освещаемых и видимых местах отдельных узлов механизма. Эти пульты должны защищаться от источника опасности и оборудоваться особой сигнализацией для оповещения о пуске используемых механизмов. Для предотвращения несчастных случаев используются средства автоматизации и механизации производства. Руководство цеха и руководители подразделений обязаны нести ответственность за соблюдение правил техники безопасности.

Таблица 6.3 - Средства для снижения негативного воздействия на организм человека на производстве

№	Опасный и / или вредный производственный фактор	Организационно–технические методы и технические средства защиты, снижения, устранения опасного и / или вредного производственного фактора	Средства индивидуальной защиты работника
1	Чрезмерный уровень шума и вибраций	Применение смазывающих материалов, изоляционных	Беруши, защитные вкладыши
2	Высокое загрязнение воздуха пылью и газам	Установка вытяжки, вентиляции, ежедневная уборка рабочего места	Предметы защиты дыхательных органов
3	Малая освещенность рабочего помещения	Применение дополнительного освещения	–
4	Физические и нервные перегрузки человеческого организма	Выделение рабочему технических перерывов	–
5	Подвижные части оборудования в производственном цехе	Двуручное управление оборудованием	Предмет защиты для глаз, нарукавники, костюм из хлопка, ботинки кожаные
6	Повышенный уровень напряжения	Заземление оборудования	Перчатки, сделанные из резины

#### 6.4. Обеспечение пожаробезопасности внутри помещения

Таблица 6.4 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

№ п/п	Подразделение, участок	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
1	Участок листовой штамповки	Гидравлический пресс «PUE100»	В, D, E	Искры, огонь, отсутствие видимости при повышенной концентрации дыма, высокая температура оснастки, предметов, а также производственного оборудования.	Электрический ток, который появляется из-за высокого напряжения на токопроводящие части оборудования, огнетушащие вещества, части разобранных оборудования.

Таблица 6.5 – Необходимые технические средства по обеспечению пожарной безопасности

Первичные средства пожаротушения	Мобильные средства пожаротушения	Стационарные установки системы пожаротушения	Средства пожарной автоматики	Пожарное оборудование	Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	Пожарный инструмент	Пожарные сигнализация, связь и оповещение
Огнетушители	Специальные пожарные автомобили	Водохимические системы	Извещатели пожарные	Покрывала для изоляции очага возгорания	Респираторы	Пожарный крюк	GSM приборы, извещатели пожарные
Песок, земля	Пожарные мотопомпы	Аэрозольные системы пожаротушения	Технические средства оповещения и управления эвакуацией пожарные	Пожарные краны	Носилки	Пожарные ломы	Голосовое оповещение
Войлок	Приспособленные технические средства (тягачи, прицепы и трактора).	Комбинированные системы пожаротушения	Системы передачи извещений о пожаре	Генераторные огнетушители аэрозольные	Каска	Гидравлические ножницы для резки арматуры	Приборы приемно-контрольные

Таблица 6.6 – Мероприятия по проведению пожарной безопасности

Наименование технологического процесса, оборудования технического объекта	Наименование видов реализуемых организационных (организационно–технических) мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
Холодная листовая штамповка	1) обучение сотрудников промышленной безопасности; 2) проведение техники безопасности для персонала; 3) соблюдение техники безопасности персоналом; 4) наличие необходимых средств для устранения пожара; 5) постоянная уборка рабочего помещения и чистка оборудования; 6) минимальное наличие легковоспламеняющихся материалов на рабочем месте; 7) хранение возгораемых веществ согласно требованиям промышленной безопасности.	1) подготовленный к пожарным ситуациям персонал; 2) наличие пожарной сигнализации; 3) наличие средств для устранения пожара.

## 6.5. Снабжение объекта для экологической безопасности

Таблица 6.7 – Идентификация экологических факторов технического объекта

Наименование технического объекта, производственно–технологического процесса	Структурные составляющие технического объекта, производственно–технологического процесса энергетической установки, транспортного средства и т.п.	Негативное воздействие технического объекта на атмосферу	Негативное воздействие технического объекта на гидросферу	Негативное воздействие технического объекта на литосферу
Движение погрузчика или другого промышленного транспорта	Топливо	Выхлопные газы, дым	–	–
Отходы в производстве	Использованное масло, смазка и т.п.	–	Загрязнение рек отходами	Пропитывание почвы тяжелыми отходами

Таблица 6.8 – Разработанные организационно–технические мероприятия по уменьшению вредного антропогенного воздействия технического объекта на окружающую среду

Наименование технического предмета	Движение транспорта	Отходы производства и потребления	
		Производственный инвентарь	Масленные отходы
Способ для снижения отрицательного антропогенного воздействия на атмосферу	Замена промышленного транспорта с двигателем внутреннего сгорания на электрокары	–	–

Продолжение таблицы 6.8

Наименование технического предмета	Движение транспорта	Производственный инвентарь	Масленные отходы
Способ для снижения вредного человеческого фактора на гидросферу	–	Ликвидирование (сжигание в специальных печах)	Переработка использованного масла для вторичного использования
Способ для снижения вредного человеческого фактора на литосферу	–	Ликвидирование (сжигание в специальных печах)	Переработка использованных масел для вторичного использования в различных целях

В представленном выше разделе представлена вся необходимая характеристика по технологическому процессу холодной штамповки, а также приведены технологические операции операторов, оборудование, материал, который потребуется для производства (таблица 6.1) [8].

Определен перечень профессиональных заболеваний и рисков по технологическому процессу для детали «Опора чашки пружины». Также определены вредные производственные факторы, а именно: различные шумы, вибрации, задымленность, острые углы, заусенцы, а также физические нагрузки и утомляемость и т.п. (таблица 6.2).

Представлены мероприятия по снижению профессиональных травм именно: введены средства автоматизации, проведен инструктаж по охране труда, применены особые материалы для виброизоляции и шумоизоляции. Обозначены средства для индивидуальной защиты работников (таблица 6.3).

Определены классы пожара, а также предложены способы по обеспечению защиты пожарной безопасности (таблица 6.4). Меры для обеспечения пожарной безопасности приведены в таблице 6.5. Разработан



комплекс мероприятий, который направлен на обеспечение пожарной безопасности (таблица 6.6).

Определены способы по уменьшению вредного антропогенного воздействия на экологию (таблица 6.7), а также представлены меры для обеспечения чистоты окружающей среды на производственном объекте (таблица 6.8).

## 7. Экономическая часть

### 7.1. Сравнительный анализ технологических вариантов

В представленной ниже части ВКР произведен экономический анализ двух вариантов изготовления детали «Опора чашки пружины». В базовом технологическом процессе изготавливается одна деталь, а в исходном технологическом процессе для изготовления данной детали используется то же оборудование, но увеличивается размер заготовки и в конечном итоге получается сразу две детали с помощью метода спаренной штамповки, который позволяет снизить затраты на производство исходной детали. Тип производства-мелкая серия.

### 7.2. Исходные данные для экономики сравниваемых вариантов

Таблица 7.1 - Исходные данные

№	Показатели	Обозначение	Значение
1	Годовая программа, шт.	$N_G$	500
2	Эффективный фонд времени оборудования, час	$\Phi_{\text{Э}}$	1839
3	Эффективный фонд времени работы рабочего, час	$\Phi_{\text{Э.Ф.Р}}$	828
4	Коэффициент выполнения норм	$K_{\text{ВН}}$	1,1
5	Коэффициент многостаночного обслуживания	$K_{\text{МН}}$	1,0
6	Коэффициент потерь времени на отпуск работников, %	$K_{\text{О}}$	11,8
7	Коэффициент монтажа в расчете себестоимости	$K_{\text{МОНТ}}$	1,1

Продолжение Таблицы 7.1

8	Коэффициент монтажа в расчете капитальных вложений	$K_{\text{МОНТ}}$	0,1	
9	Цена материала, руб./кг.	$C_M$	37	
10	Цена отходов (металл), руб./кг	$C_{\text{ОТХ}}$	1,02	
11	Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	$K_{\text{ТЗ}}$	1,035	
12	Масса заготовки, кг.	$M_3$	0,57	0,4
13	Масса отходов, кг.	$M_{\text{ОТХ}}$	0,28	0,12
14	<p><u>Коэффициенты доплат по заработной плате (от 3 до 5 разряда):</u></p> <p>1) До часового фонда зарплаты;</p> <p>2) За профессиональное мастерство;</p> <p>3) За условия труда;</p> <p>4) За вечерние и ночные часы;</p> <p>5) Премияльные;</p> <p>6) На социальные нужды;</p> <p><u>Итого общий коэффициент доплат</u></p>	<p><math>K_{\text{ДОП}}</math></p> <p><math>K_{\text{ПФ}}</math></p> <p><math>K_{\text{У}}</math></p> <p><math>K_{\text{Н}}</math></p> <p><math>K_{\text{ПР.}}</math></p> <p><math>K_{\text{С}}</math></p> <p><math>K_{\text{ЗПЛ}}</math></p>	1,11	1,15
15	Коэффициент загрузки оборудования по мощности	$K_M$	0,8	
16	Коэффициент загрузки оборудования по времени	$K_B$	0,7	
17	Коэффициент потерь в сети	$K_{\text{П}}$	1,03	
18	Коэффициент одновременной работы электродвигателей	$K_{\text{ОД}}$	0,81	
19	Выручка от реализации изношенного оборудования %: от Ц:	$B_P$	5	
20	Выручка от реализации изношенного штампа %: от Ц:	$B_{\text{Р.И}}$	15	

Продолжение таблицы 7.1

21	Норма амортизации, %	$H_A$	10
22	Коэффициент общепроизводственных (цеховых) расходов, руб./час: 1) 3 разряд рабочего; 2) 5 разряд наладчика.	$C_T$ $C_T$	1,71  65,78 89,64
23	Цена электроэнергии, руб./кВт	$C_Э$	3,84
24	Цена площади, руб./м <sup>2</sup>	$C_{пл}$	4000
25	Норматив экономической эффективности	$E_H$	0,3

Для того чтобы выполнить необходимые экономические подсчеты нужно учитывать, данные оборудования, а также саму штамповую оснастку, которые представлены в таблицах ниже.

Таблица 7.2 – Эксплуатационные данные оборудования

№	Производственное оборудование	Усилие, МН	Временной норматив, мин		Мощность $M_y$ , кВт	Площадь $S_y$ , м <sup>2</sup>	Цена оборудования, руб.
			$t_{шт}$	$t_{маш}$			
1	РУЕ100	1	0,101	0,028	17	1,5	200000
2	РУЕ100	1	0,101	0,028	17	1,5	200000

Таблица 7.3 – Исходные данные о штамповой оснастке

№	Наименование оснастки	Стойкость штампа $T_{II}^{шт}$ , ударов	Цена штамповой оснастки $C_{шт}$ , руб.
Оснастка базового варианта			
1	Штамп отбортовки	800000	600000
2	Штамп отбортовки	800000	650000
3	Штамп пробивной	500000	200000
4	Штамп обрезной	200000	300000
Оснастка проектного варианта			
1	Штамп отбортовки	800000	650000
2	Штамп отбортовки	800000	650000
3	Штамп пробивной	500000	200000
4	Штамп обрезной	200000	300000

Эффективный фонд времени работы оборудования:

$$\Phi_{\text{Э}} = \Phi_{\text{Н}}(1 - B) = (D_{\text{Р}} \cdot T_{\text{СМ}} - D_{\text{ПР}} \cdot T_{\text{СОК}}) \cdot C \cdot (1 - B) \quad (7.1)$$

где  $D_{\text{Р}} = 247$  – рабочие дни;  $T_{\text{СМ}} = 8$  – продолжительность смены (час);

$D_{\text{ПР}} = 5$  – предпраздничные дни;

$T_{\text{СОК}} = 8$  – сокращение в предпраздничный день (час);

$C = 1$  – количество смен;

$B = 0,05$  – коэффициент, который учитывает время на ремонт оборудования (его значение от 0,05 до 0,08).

$$\Phi_{\text{Э}} = (247 \cdot 8 - 5 \cdot 8) \cdot 1 \cdot (1 - 0,05) = 1839 \text{ ч}$$

Эффективный фонд времени работы рабочего рассчитывается по формуле:

$$\Phi_{\text{ЭР}} = \Phi_{\text{Э}} \cdot 0,45 = 1839 \cdot 0,45 = 828 \text{ ч} \quad (7.2)$$

Учитывая представленные выше коэффициенты и расчет эффективного фонда времени рабочего необходимо подсчитать количество оборудования и штампов, которое понадобится в процессе штамповки, а также число операторов (рабочих).

### 7.3. Расчет надлежащего числа оборудования для выполнения работы, коэффициента загрузки, количества рабочих и штампов

Таблица 7.4 – Расчет необходимого числа оборудования, коэффициентов, численности рабочих и штампов

№	Показатели	Формула	Значение базового варианта	Значение проектного варианта
1	Количество оборудования, необходимое для производства годовой программы выпуска, ст.	$n_{\text{ОБ}} = t_{\text{шт}} \cdot N_{\text{Г}} / (\Phi_{\text{Э}} \cdot K_{\text{ВН}} \cdot 60)$ $n_{\text{ОБ}}^{\text{СВЦ}} = 0,1 \cdot 500 / (1839 \cdot 1,1 \cdot 60) = 0,0004$ $n_{\text{ОБ}}^{\text{ПР}} = 0,1 \cdot 500 / (1839 \cdot 1,1 \cdot 60) = 0,0004$	1	1

Продолжение Таблицы 7.4

2	Коэффициент загрузки оборудования выполнением данной операции	$K_3 = n_{ОБ}^{РАСЧ} / n_{ОБ}^{ПРИН}$ $K_3^{СВЩ} = 0,0004 / 1$ $K_3^{ПП} = 0,0004 / 1$	0,0004	0,0004
3	Численность рабочих–операторов, необходимых для производства годовой программы деталей, чел.	$P_{ОП} = [t_{ШТ} \cdot N_{Г} \cdot (1 + K_{О} / 100)] /$ $/( \Phi_{ЭР} \cdot K_{МН} \cdot 60)$ $P_{ОП}^{СВЩ} = [0,1 \cdot 500 \cdot (1 + 11,8 / 100)] /$ $/(828 \cdot 1 \cdot 60) = 0,001 \approx 1 \cdot 1_{ОП} \cdot 1_{СМ}$ $P_{ОП}^{ПП} = [0,1 \cdot 500 \cdot (1 + 11,8 / 100)] /$ $/(828 \cdot 1 \cdot 60) = 0,001 \approx 1 \cdot 1_{ОП} \cdot 1_{СМ}$	1	1
4	Число штампов для выпуска годовой программы, шт.	$n_{ШТАМП} = N_{Г} / T_{И.ШТ.}$ $N_1 = 500 / 800000 = 0,0006 \approx 1$ $N_2 = 500 / 800000 = 0,0006 \approx 1$ $N_3 = 500 / 500000 = 0,001 \approx 1$ $N_4 = 500 / 200000 = 0,003 \approx 1$	1 1 1 1	1 1 1 1

7.4 Расчет капитальных вложений

Таблица 7.5– Расчет капитальных вложений

№	Показатель	Расчетная формула	Итого	
1	Прямые капитальные вложения в оборудование, руб.	$K_{ОБ} = n_{ОБ} \cdot C_{ОБ} \cdot K_3$ $K_{ОБ}^{СВЩ} = 1 \cdot 200000 \cdot 0,0004$ $K_{ОБ}^{ПП} = 1 \cdot 200000 \cdot 0,0004$	80	80
Сопутствующие капитальные вложения, руб.:				
1	Затраты на доставку и монтаж оборудования, руб.	$K_{М} = K_{ОБ} \cdot K_{МОНТ}$ $K_{М}^{БАЗ} = 80 \cdot 0,1$ $K_{М}^{ПП} = 80 \cdot 0,1$	8	8
2	Затраты на штамповую оснастку, руб.	$K_{И} = C_{ШТ} \cdot n_{ШТ}$ $K_{И}^{БАЗ} = 600000 \cdot 1$ $K_{И}^{ПП} = 650000 \cdot 1$	600000	650000

Продолжение Таблицы 7.5

3	Затраты на производственную площадь, руб.	$K_{ПЛ} = n_{ОБ} \cdot S_{У} \cdot Ц_{ПЛ} \cdot K_3$ $K_{ПЛ}^{БАЗ} = 1 \cdot 1,5 \cdot 4000 \cdot 0,0004$ $K_{ПЛ}^{ПР} = 1 \cdot 1,5 \cdot 4000 \cdot 0,0004$	3,2	3,2
Итого: $K_{СОП} = K_M + K_H + K_{ПЛ}$			600011	650011
1	Общие капитальные вложения, руб.	$K_{ОБЩ} = K_{ОБ} + K_{СОП}$	600091	650091
2	Удельные капвложения, руб.	$K_{УД} = K_{ОБЩ} / N_{Г}$	1200	1300

7.5. Расчет себестоимости продукции по базовому и проектному вариантам

Таблица 7.6 – Расчет себестоимости готового изделия по сравниваемым вариантам

№	Показатель	Формула	Значение	
			Базовый	Проектный
1	Материальные затраты, руб.	$M = (M_3 \cdot Ц_M \cdot K_{ТЗ}) - (M_{ОТХ} \cdot Ц_{ОТХ})$ $M^{БАЗ} = (0,57 \cdot 37 \cdot 1,035) - (0,28 \cdot 1,02)$ $M^{ПР} = (0,4 \cdot 37 \cdot 1,035) - (0,12 \cdot 1,02)$	22	15
2	Зарплата рабочих–операторов, руб.	$З_{ПЛ} = (P \cdot C_T \cdot \Phi_{ЭР} \cdot K_{ЗПЛ} \cdot K_3) / N_{Г}$ $З_{ПЛ}^{БАЗ} = (1 \cdot 65,78 \cdot 828 \cdot 2,4 \cdot 0,0004) / 500$	0,1	0,1
3	Затраты на амортизацию и эксплуатацию оборудования, руб.	$P_A = [(Ц_{ОБ} \cdot (1 - B_{P.})) \cdot N_A \cdot t_{ШТ} \cdot 1,3] / (\Phi_3 \cdot K_{ВН} \cdot 60 \cdot 100)$ $P_A^{БАЗ} = [(200000 \cdot (1 - 0,05)) \cdot 10 \cdot 0,1 \cdot 1,3] / (1839 \cdot 1,1 \cdot 60 \cdot 100)$	0,02	0,02
4	Расходы на электроэнергию, руб.	$P_Э = M_{У} \cdot t_{МАШ} \cdot K_{ОД} \cdot K_M \cdot K_B \cdot K_{П} \cdot Ц_Э / (КПД \cdot 60)$ $P_Э = 1 \cdot (17 \cdot 0,028 \cdot 0,81 \cdot 0,8 \cdot 0,7 \cdot 1,03 \cdot 3,84) / (0,75 \cdot 60)$	0,06	0,06
5	Затраты на амортизацию штампового инструмента, руб.	$P = Ц_{ШТ} \cdot [1 - B_{P.И.}] / T_{И.ШТ}$ $P_{И}^{СУЩ} = 600000 \cdot [1 - 0,15] / 800000$ $P_{И}^{ПР} = 650000 \cdot [1 - 0,15] / 800000$	0,75	0,81

Продолжение Таблицы 7.6

6	Расходы на содержание и эксплуатацию производственных площадей, руб.	$P = S_Y \cdot n_{об} \cdot K_3 \cdot \Pi_{ПЛ} / N_{Г}$ $P_{ПЛ}^{ПП} = 1,5 \cdot 1 \cdot 4000 \cdot 0,0004 / 500$ $P_{ПЛ}^{БАЗ} = 1,5 \cdot 1 \cdot 4000 \cdot 0,0004 / 500$	0,01	0,01
7	Зарплату наладчика, руб.	$З_{НАЛ} = (n_{об} \cdot C_T \cdot \Phi_{ЭР} \cdot K_{ЗПЛ} \cdot K_3) / n_{об} \cdot N_{Г}$ $З_{НАЛ} = (1 \cdot 89,64 \cdot 828 \cdot 2,4 \cdot 0,0004) / (1 \cdot 500)$	0,14	0,14
8	Технологическая себестоимость, руб.	$C_{ТЕХ} = M + З_{ПЛ} + P_A + P_{Э} + P_H + P_{ПЛ} +$ $+ З_{НАЛ}$ $C_{ТЕХ}^{БАЗ} = 22 + 0,1 + 0,02 + 0,06 + 0,75 + 0,01 +$ $+ 0,14$ $C_{ТЕХ}^{ПП} = 15 + 0,1 + 0,02 + 0,06 + 0,81 + 0,01 +$ $+ 0,14$	23,08	16,14
9	Общепроизводственные расходы, руб.	$P_{цех} = З_{нл} \cdot K_{цех}$ $P_{цех} = 0,1 \cdot 1,72$	0,2	0,2
10	Общепроизводственная (цеховая) себестоимость, руб.	$C_{цех} = P_{цех} + C_{цех}$ $C_{цех}^{БАЗ} = 0,2 + 23,08$ $C_{цех}^{нр} = 0,2 + 16,14$	23,28	16,34

7.6. Расчет экономического эффекта проектного варианта

Экономическим эффектом является полезный результат экономической деятельности, измеряемый обычно разностью между денежным доходом от деятельности и денежными расходами на ее осуществление.

Таблица 7.7. - Экономический эффект

№	Наименование	Формула	Значение	
1	Условно годовая экономия от снижения себестоимости, руб.	$\mathcal{E}_{уг} = (C_{баз} - C_{нр}) \cdot N_{Г} = (23,28 - 16,34) \cdot 500$	3470	
2	Приведенные затраты, руб.	$З_{нр} = C_{цех} + E_H \cdot K_{уд}$ $З_{нр}^{БАЗ} = 23,8 + 0,33 \cdot 1200$	445	420



		$z_{np}^{np} = 16,34 + 0,33 \cdot 1300$		
--	--	---	--	--

Продолжение Таблицы 7.7

3	Годовой экономический эффект, руб.	$\mathcal{E}_Г = (z_{np}^{баз} - z_{np}^{np}) \cdot N_Г$	12500
4	Время окупаемости капвложений, год	$T_{ок} = K_u^{np} / \mathcal{E}_Г$	Более 4 лет

Таким образом, при разработке предлагаемого технологического процесса изготовления изделия «Опора чашки пружины» себестоимость продукции снизилась с 23,28рублей до 16,34 рублей, т.е. на 6,94 рубля, что составляет 29,8 % от начальной стоимости изделия. Благодаря изменению раскроя заготовки, а также благодаря замене одиночной штамповки на спаренную годовой экономический эффект составил двенадцать с половиной тысяч рублей. Срок окупаемости достигает более 4 лет, так как производство мелкосерийное.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе была спроектирована деталь «Опора чашки пружины», а также были выполнены следующие задачи:

1) были найдены недостатки существующей технологии и предложен метод спаренной штамповки для более рациональной штамповки детали, а также экономии материала;

2) определены рациональные размеры заготовки проектной технологии и коэффициент использования материала;

3) предложен новый технологический процесс и выполнены расчеты энергосиловых параметров для каждой из операций;

4) выполнен инженерный анализ при помощи программного продукта «AutoForm» и сделаны выводы по нему;

5) разработана штамповая оснастка с помощью систем автоматизированного проектирования, а также выполнены необходимые чертежи;

6) был определен комплекс мероприятий по безопасным условиям труда в прессовом производстве;

7) выполнен экономический расчет, в результате которого себестоимость детали снизилась с 23,28 до 16,34 рублей (на 6,94 руб.);

Таким образом, исходя из вышеперечисленных пунктов можно сделать вывод о том, что цель выпускной квалификационной работы была достигнута.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Aldoy, N., Evans, M., "A Review of Digital Industrial and Product Design Methods in UK Higher Education", The Design Journal, Vol. 14, No. 3, 2011, pp. 343-368.
2. Arthur, P. (Ed.), CAD/CAM in Education and Training. Proceedings of the CAD ED82 Conference. London, KoganPageLtd, 1984.  
<https://doi.org/10.1007/978-1-4684-8506-6>
3. Asperl, A., How to teach CAD. Computer-Aided Design and Applications, Volume 2, Issue 1, 2005, pp. 459-468,  
<https://doi.org/10.1080/16864360.2005.10738395>
4. Chang, K. H., Product Design Modelling using CAD/CAE. Academic Press USA, 2014
5. Kaminaga, K., Fukuda, Y. and Sato, T., Successful examples in CAD/CAE teaching. Sun, Q., Tang, Z. and Zhang, Y. (Eds.), Computer Applications in Production Engineering. IFIP Advances in Information and Communication Technology, pp. 214-221. Boston, Springer, 1995,  
[https://doi.org/10.1007/978-0-387-34879-7\\_23](https://doi.org/10.1007/978-0-387-34879-7_23)
6. Аверкиев Ю.А. Технология холодной штамповки/ Ю.А. Аверкиев, Ю.А. Аверкиев. - М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.
7. Балакшин Б.С. Основы технологии машиностроения. - М.: Машиностроение, 1996. – 156с.
8. Горина, Л.Н. Раздел выпускной квалификационной работы «Безопасность и экологичность технического объекта»: уч. методическое пособие / Л.Н. Горина, М.И. Фесина. – Тольятти изд-во ТГУ, 2016
9. Егоров С.А. Холодная штамповка. - М.: Высшая школа, 1988.-271 с.

10. Зубцов М.Е. Листовая штамповка. Изд. 3-е, перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1980. – 432 с.
11. Кандаков А.И. САПР Технологических процессов: учебник для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 272 с.
12. Мещерин В.Т. Листовая штамповка, Атлас схем. М., 1975, 100 с.
13. Охрименко Я.М. Технология кузнечно-штамповочного производства.– М.: Машиностроение, 1976. – 560 с.
14. Попов Е.А. Основы теории листовой штамповки. Изд. 2-е, перераб. и доп.- М.: Машиностроение, 1977. – 278 с.
15. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке / В.П. Романовский. – Л.: Машиностроение, 1979. – 568 с.
16. Рудман Л.И. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка. – М.: Машиностроение, 1988. – 496 с.
17. Смирнов В.С. Теория обработки металлов давлением. - М.: Металлургия, 1973. – 496 с.
18. Смолин Е.Л. Основы конструирования штамповой оснастки: учебное пособие. Тольятти: ТГУ, 2007. – 72 с.
19. Суворов И.К. Обработка металлов давлением. - М.: Высшая школа, 1973. - 384 с.
20. Шофман Л.А. Основы расчета процессов штамповки и прессования. - М.: Машгиз, 1961. - 340 с.

