

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 “Накладка корзины
сцепления” в CAD/CAE

Студент(ка)	<u>В.О. Базаров</u> (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)
Руководитель	<u>Е.Н. Почекуев</u> (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)
Консультанты	<u>В.Г. Виткалов</u> (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)
	<u>И.В. Краснопевцева</u> (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)
	<u>А.Н. Москалюк</u> (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)
	<u>Н.В. Андрюхина</u> (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Ельцов _____
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия) (личная подпись)

« _____ » _____ 2018 г.

Тольятти 2018

ABSTRACT

The graduation project consists of an explanatory note on 73 pages, and the list of 20 references including 5 foreign sources, and the graphic part on 6 A1 sheets.

The topic of the given bachelor's thesis is lower clutch cover. The object of the technological process design of sheet metal with help of CAD and CAE systems SIEMENS Unigraphics NX and AutoForm/DeForm 2D Software.

Issues related to the economic part, material saving and productivity are defined in the main part of the project.

Firstly, we analyzed manufacturability of our object of bachelor's work. Next step was calculation of energy-force parameters of each operation of processing materials by pressure, where were identified the main parameters for the selection of equipment. The issues of choice of equipment and material utilization factor are highlighted in the main body of the bachelor's thesis. The next stage was the definition of a new, improved process technology for the production of a lower clutch cover. Computer aided engineering analyze helped us to identify the main parameters of the processing materials by pressure and shows them. Thickness, formability and springback are showed by computer aided engineering analyze.

At the end of the bachelor's thesis we obtain results of CAE-analysis and compare disadvantages and advantages of each technical process of this car part. Gained results showed advantages of improved technical process.

АННОТАЦИЯ

Объем пояснительной записки составляет 73 страницы, объем графического материала 6 листов, список литературы 20 источников, из них зарубежных источников 5.

В настоящей выпускной работе выпускной работе продемонстрирован технологический процесс моделирования в листовой штамповке детали “Накладка корзины сцепления” по средствам использования пакетов CAD/CAM/CAE авторизированной системы компании Siemens PLM Software NX 9.0, а также продукты компаний AutoForm / DeForm 2D.

В выпускной квалификационной работе (ВКР) был проведен анализ технологичности детали исходных данных, проанализирован базовый технологический процесс, определены его недостатки и предложен более экономичный и технологический вариант технологического процесса(техпроцесс). Был определен КИМ базового варианта, который в дальнейшем был заменен на улучшенный, что положительно повлияло на экономическую часть. Были поставлены цели и задачи ВКР. Дальнейшим шагом был выбор оптимального оборудования, согласно улучшенному техпроцессу, также были определены кинетические параметры используемого оборудования. Разработана штамповая оснастка формообразующей операции. В ВКР также был предложен комплекс мероприятий по охране труда и подсчитана себестоимость изготовления исходного изделия Нижняя крышка сцепления.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	6
Глава 1. Анализ технологических исходных данных.....	7
1.1 Анализ изделия, используя методику HD3D	8
1.2 Анализ ЭМ средствами контроля моделей	10
1.3. Проверка изделия с помощью одношагового анализа формуемости	12
1.4 Анализ базовой технологии изделия	13
1.5 Недостатки базовой технологии	14
1.6 Задачи выпускной квалификационной работы.	14
Глава 2 Разработка технологического процесса	15
2.1 Порядок действий технологического процесса	15
2.2 Определение размеров заготовки.	16
2.3 Определение раскроя металла и расчет коэффициента использования металла (КИМ)	17
2.4 Определение энергосиловых параметров разделительных и формообразующих операций.	21
2.4.1 Нарезка заготовительных листов.....	21
2.4.2 Пошаговая пробивка заготовки по контуру и пошаговая пробивка отверстий в теле заготовки	22
2.4.3 Расчет усилия формовки.....	23
Глава 3. Инженерный анализ	24
3.1 Проектирование штамповой оснастки в САД-продукте NX 9.0	25
3.2 Параметризация экспортированной геометрии в САЕ-продукте DeForm 2D	25
3.3 Полученные расчетные данные.....	25
3.4 Проектирование штамповой оснастки в САД-продукте NX 9.0 для формообразующей операции.....	27
3.5 Параметризация САЕ-анализа в AutoForm.....	28
Глава 4 Выбор оборудования.....	38
4.1 Основное техническое описание оборудования. Выбор его размеров и кинетических параметров.	38
Глава 5. Разработка конструкции штамповой оснастки	43

5.1 Состав штамповой оснастки и ее конструкция.....	43
5.2 Расчет опорной поверхности головки пуансона на смятие	43
5.2.1. Расчет пуансона на сжатие в поперечном наименьшем сечении	44
5.2.2. Расчет свободной длины пуансона на продольный изгиб.....	44
Глава 6. Безопасность и экологичность технического объекта.....	46
6.1 Технологическое описание на рабочего места.....	46
6.2 Вредные производственные факторы пресового производства	47
6.3 Комплекс мероприятий по безопасным условиям труда на производстве	48
6.4 Обеспечение пожаробезопасности внутри помещения	49
6.4.1. Обеспечение объекта для экологической безопасности	52
Глава 7 Экономическая часть	54
7.1 Расчет числа оборудования для выполнения работ, коэффициента его загрузки, необходимое количество рабочих-операторов и число единиц штамповой оснастки	55
7.2 Расчет надлежащего числа оборудования для выполнения работы, коэффициента загрузки, количества рабочих и штампов.....	59
7.3 Расчет капитальных вложений	61
7.4 Подсчет себестоимости выпускаемой продукции по сравниваемым вариантам	63
7.5 Расчет экономического эффекта проектного варианта.....	68
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	69
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	70

ВВЕДЕНИЕ

В современном настоящем и модернизированном будущем обработка материалов давлением является, и будет оставаться одной из самых преуспевающих и передовых отраслей промышленности. Что подразумевает высокую ответственность и не менее глубокие знания инженеров ОМД. Каждый продукт должен пройти проверку на технологичность.

«Основными показателями технологичности листовых холодноштамповочных деталей являются:»[6]

1. «Наименьший расход материала;»[6]
2. «Наименьшее количество и низкая трудоемкость операций;»[6]
3. «Наименьшее количество требуемого оборудования и производственных площадей;»[6]
4. «Наименьшее количество оснастки при сокращении затрат и сроков подготовки производства;»[6]
5. «Увеличение производительности отдельных операций и цеха в целом»[6]

Основные показатели технологичности листовых деталей можно разделить на их причастие к экономической и технологической выгоде. Экономия материала хотя бы на 10% эквивалентно увеличению коэффициента полезного действия производства 3 раз. Что положительно может сказаться на экономике производства. Также, технологичность и себестоимость, включая расходы на производство, любого изделия зависят от серийности. Главным и неотъемлемым критерием технологичности являются экономия материалов, в комплексе с меньшим количеством операций и сниженной трудоемкости.

1 Анализ технологических исходных данных

Проверка изделия на технологичность

Основными задачами инженера технолога являются:

1. Правильный выбор режимов штамповки
2. Анализ технологичности изделия

Правильный выбор режимов штамповки подразумевает под собой корректный выбор оборудования и средств автоматизации и их количество. Подходя к анализу технологичности изделия, инженер должен проконтролировать на сколько электронная модель (ЭМ) соответствует параметрам листового тела, определяющих геометрию конкретного изделия как технологичного. Проводя анализ технологичности изделия в программных продуктах, на примере NX 9.0, инженер может заранее проанализировать ЭМ, произведя тесты на штампуемость и проверку качества геометрии исходной модели изделия. Первым этапом проверки будет анализ геометрии ЭМ (рис.1.1).

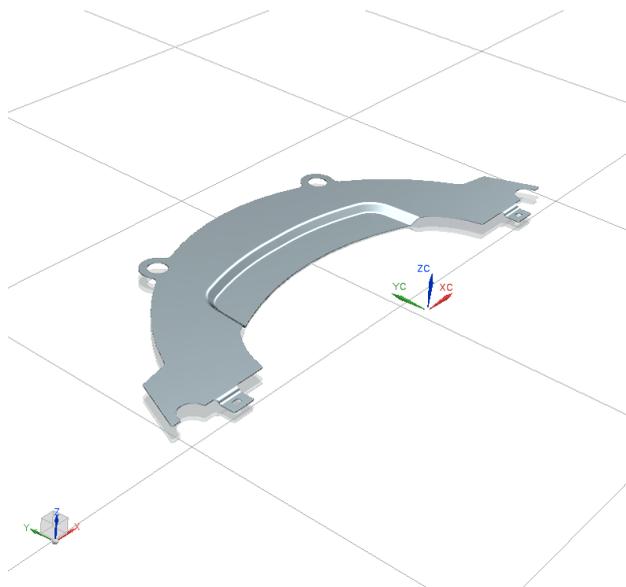


Рисунок 1.1—Электронная модель изделия

1.1 Анализ изделия, используя методику HD3D

Следующим этапом анализа изделия будет анализ на допустимый минимальный радиус грани, используя инструмент HD3D, «Минимальный радиус гибки». Инструменты HD3D, после Визуальный отчет (рисунок 1.2), далее в предложенном меню выбираем «Минимальный радиус гибки» (рисунок 1.3).

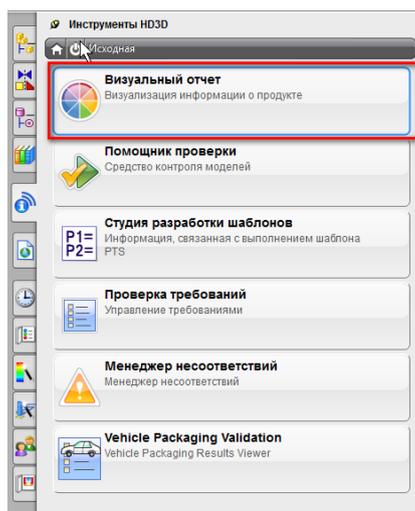


Рисунок 1.2 – Визуальный отчет

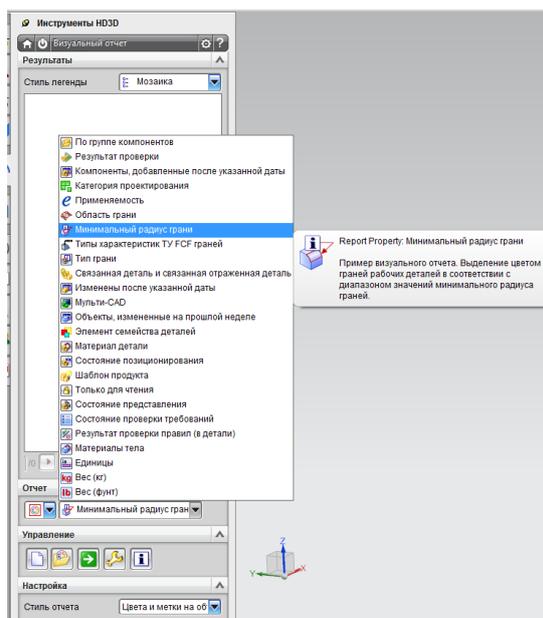


Рисунок 1.3 – Минимальный радиус гибки

Выбрав нужные параметры и их характеристики (рисунок 1.4.), был выбран визуальный отчет минимального радиуса грани в диапазоне от 1мм до 4мм.

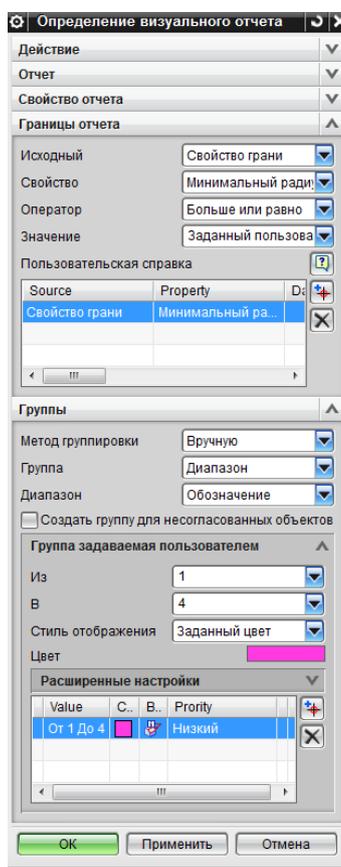


Рисунок 1.4 – Редактирование визуального отчета

После определения всех необходимых параметров анализа, запускаем отчет (рисунок 1.5).

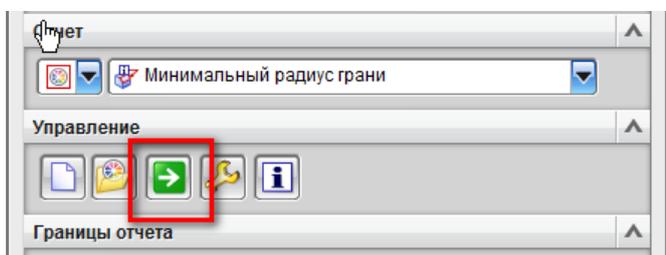


Рисунок 1.5 – Запуск расчёта

Полученный отчет, выводится в виде таблицы, в которой указаны все грани в заданном ранее диапазоне. Также, для каждой грани создается ссылка, в которой указан минимальный радиус грани (рисунок 1.6).

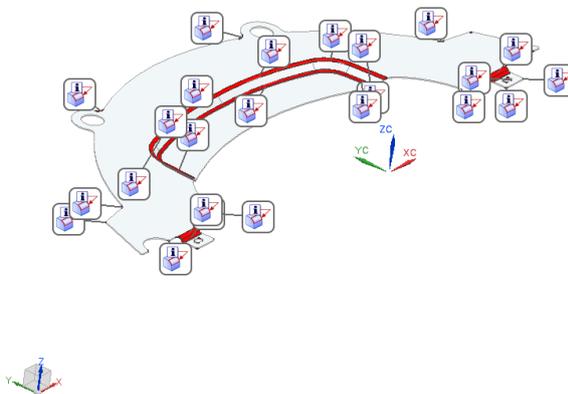


Рисунок 1.6 – Визуальный отчет

1.2 Анализ ЭМ средствами контроля моделей

В данном отделе, выбираются интересующие параметры из предложенного списка.

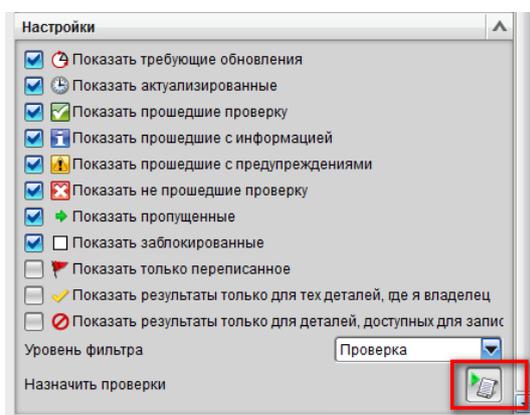


Рисунок 1.7 – Настройка

В данной утилите возможно проверить ЭМ на этапе моделирования, проверить эскиз, структура файла, а также самопересечения граней и тел, и гладкость ребер и граней. Далее необходимо выбрать категории которые будут подвергаться проверке (рисунке 1.8).

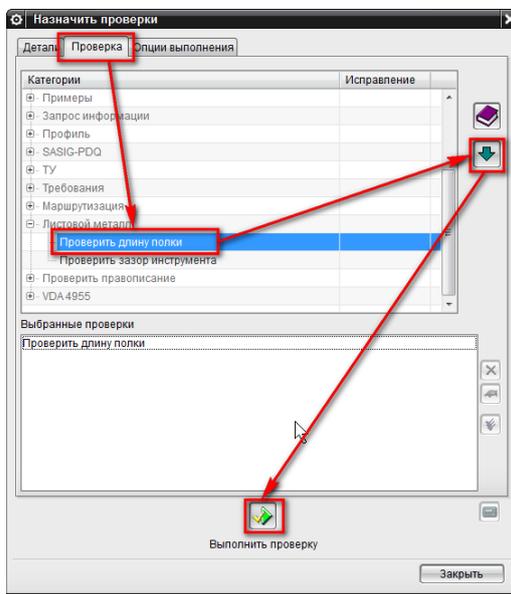


Рисунок 1.8– Проверка

Эта проверка анализирует, имеет ли какая-либо из граней листового металла длину, меньше минимальной длины заготовки, указанной в настройках листового металла (рис.1.9,1.10,1.11). Примечание: Проверка выполняется только на телах из листового металла.

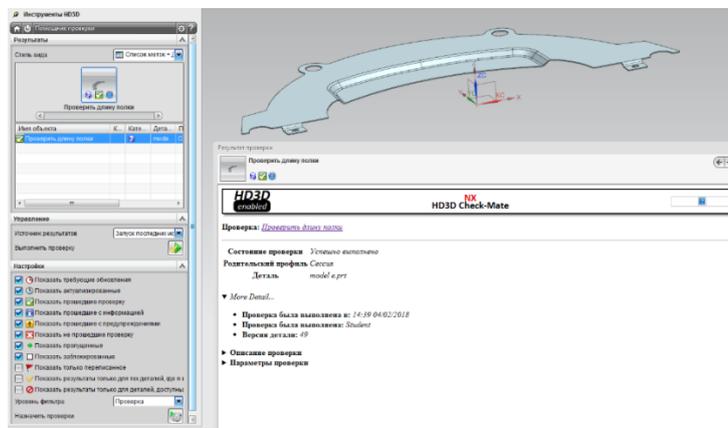


Рисунок 1.9 – Проверка длины полки

1.3. Проверка изделия с помощью одношагового анализа формуемости

Завершающим этапом проверки ЭМ есть Анализ формуемости – Одношаговый. Далее представлены результаты этой проверки:

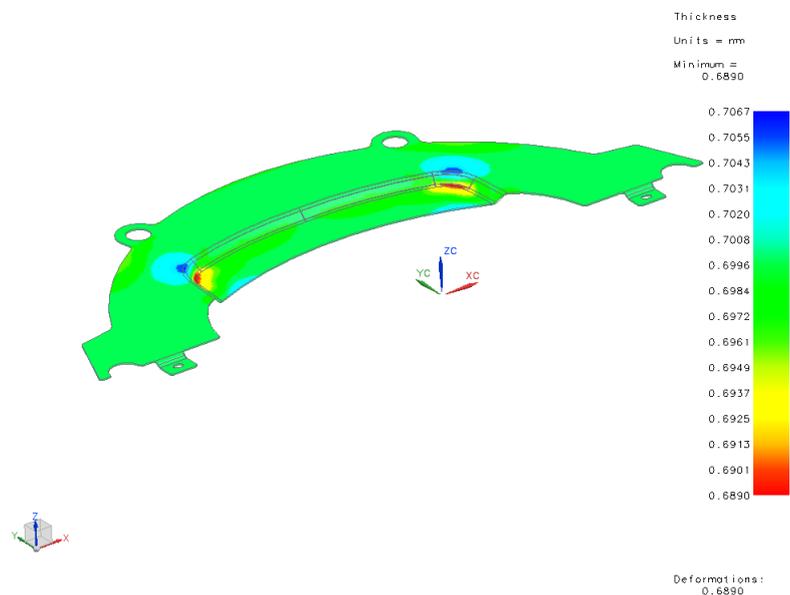


Рисунок 1.10 – Результат проверки изменения толщины при формовке с помощью решателя NX.

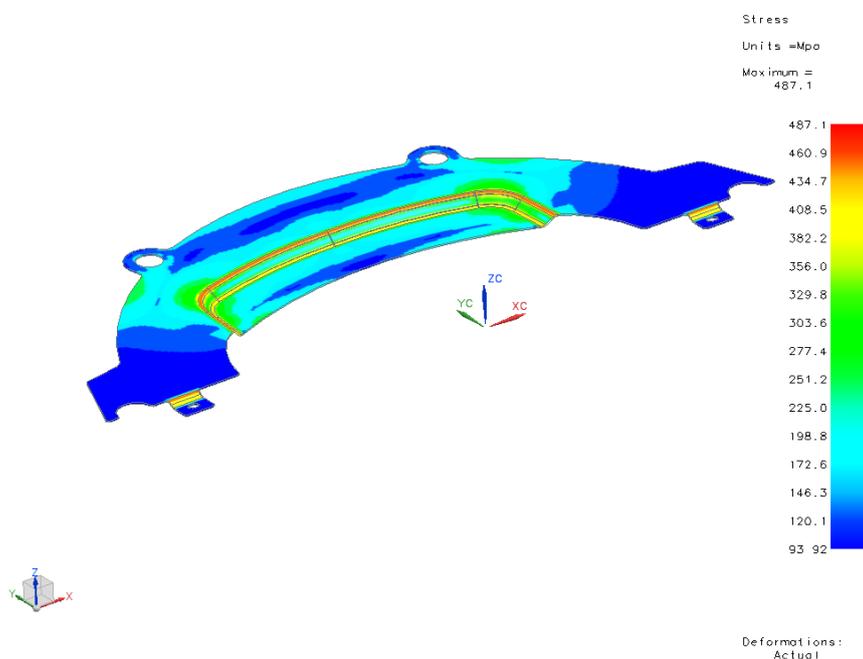


Рисунок 1.11 – Определение напряжений возникающих во время формовки с помощью решателя NX.

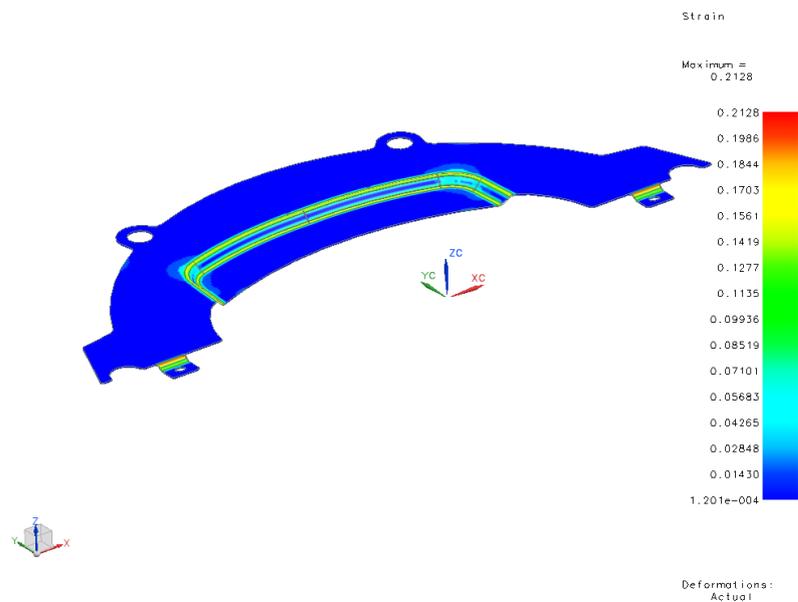


Рисунок 1.12 – Определения деформация после формовки решателем NX.

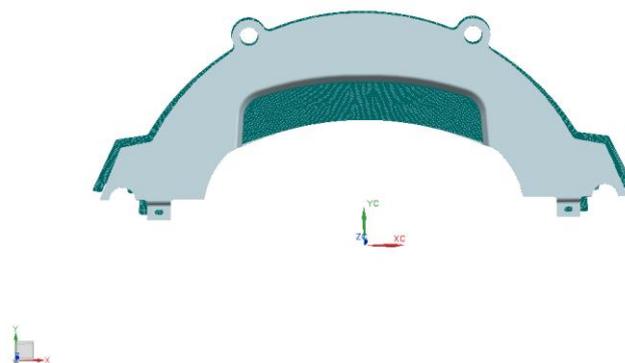


Рисунок 1.13 – Определение размеров заготовки с помощью решателя NX.

Полученный результаты говорят о том, что ЭМ спроектирована правильно и можно сделать вывод о технологичности ЭМ.

1.4 Анализ базовой технологии изделия

Базовый технологический процесс изготовления детали типа Накладка корзины сцепления автомобиля ВАЗ-2180 состоит из 7 операций:

Первая операция(1) – нарезка заготовительных листов

Вторая операция(5) – вырубка

Третья операция(10) – формовка

Четвертая операция(15) – промежуточный контроль геометрии

Пятая операция(20) – окраска (грунтовка)

Шестая операция(25) – окончательный контроль

1.5 Недостатки базовой технологии

Проведя анализ базового техпроцесса, были определены недостатки:

Применение вырубных штампов на базе мелко и среднесерийного производства приводит к большим затратам, что сказывается на себестоимости изготовления и конечной стоимости самого изделия. Также базовый раскрой имел низкий коэффициент использования материала (КИМ) в отношении заготовительный лист/заготовка.

1.6 Задачи выпускной квалификационной работы.

Проведя анализ базового техпроцесса, были поставлены задачи:

1. Проектирование ЭМ
2. Анализ базового техпроцесса
3. Определение оптимальных размеров заготовки
4. Расчет кинетических параметров
5. Провести анализ предложенного техпроцесса в САЕ-системах
6. Определить экономическую часть ВКР и предложить план мероприятий по охране труда.

2 Разработка технологического процесса

2.1 Порядок действий технологического процесса

В техпроцессе первым шагом является заготовительная операция - нарезка закупочного листа 0.7-08пс ГОСТ 9045-93 размером 1250x2500 на заготовительные листы размерами 145x355, из которых в дальнейшем будут вырубаться заготовки.

В базовом варианте техпроцесса был использован вырубной штамп. В связи с небольшой серийностью в 250 деталей в год, тип производства близок к мелко и среднесерийному. В связи с этим, в предложенном варианте в замен применения вырубного штампа, предложен Координатно-пробивной пресс BaltecPWS610 CNC с ЧПУ (Листообрабатывающий центр PWS610 CNC).

После нарезки заготовительных листов, они транспортируются в тарах на Листообрабатывающий центр PWS610 CNC, в процессор которого заранее будет загружен вырубаемый контур. Данный контур был получен по средствам Одношагового анализа формуемости. Контур пробивки должен состоять из кривых, которые будут образовывать замкнутый конечный внешний контур заготовки. Этот контур может быть получен в любом CAD-продукте и экспортирован в любой формат, типа IGES. Контур ВКР был простроен с помощью CAD-продукта Unigraphics NX. Этапы создания:

1. Создать пробивной единичный контур.
2. Создать замкнутый криволинейный контур, соответствующий конфигурации развертки, который будет смещен относительно контура заготовки на половину диаметра рабочего инструмента-пуансона.
3. С помощью Массива геометрии единичный контур необходимо продолжить вдоль контура полученного на этапе (2).

После получения развертки, последняя отправляется на слесарный верстак, где происходит подготовка развертки детали:

1. Зачистка контура детали

2. Зачистка установочных отверстий в развертке
3. Рихтовка по необходимости

Последующим этапом происходит формовка, перед которой происходит комплектование деталей штампа, установка и закреп штампа на Гидравлическом одностоечном прессе PУЕ 10S.1M/SSMc номинальным усилием в 10 тс. Данное оборудование имеет ряд преимуществ, одно из которых возможность работы в автоматическом/полуавтоматическом режимах, что хорошо сочетается с особенностями серийного производства.

2.2 Определение размеров заготовки.

Поскольку вырубка заготовки осуществляется на листообрабатывающем центре, к полученным размерам припусков на механическую обработку. Размер заготовки был определен с помощью программы SiemensNX 9.0. С помощью Одношагового анализа формуемости программа определила размер заготовки, представленный ниже:

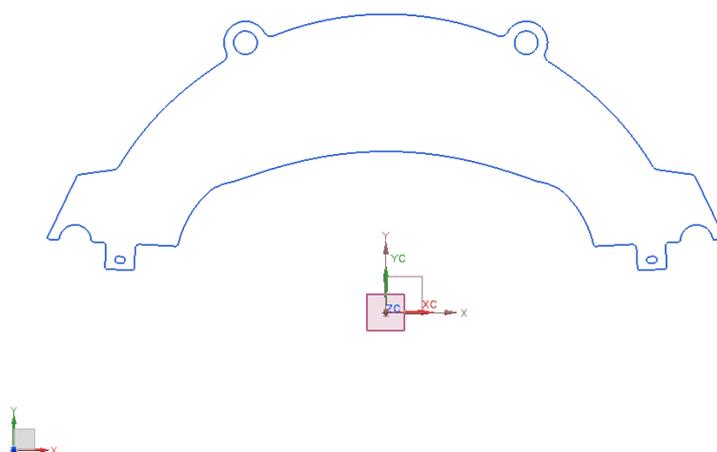


Рисунок 2.1 – Эскиз

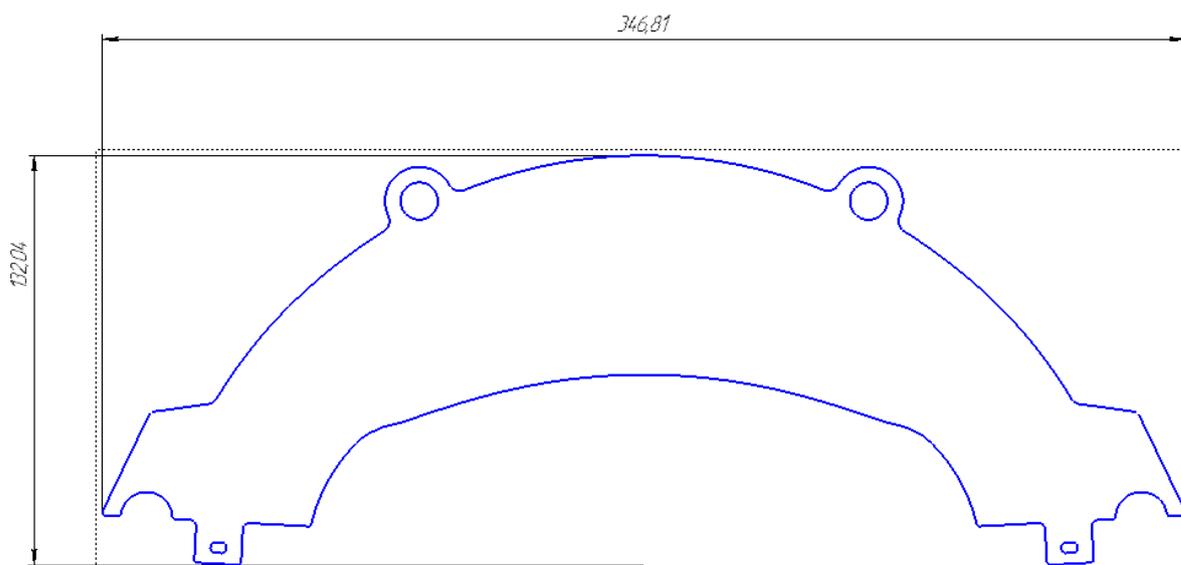


Рисунок 2.2 – Чертеж

Данный чертеж был получен благодаря возможности программы SiemensNX 9.0 экспортировать ЭМ в формате STEP 203, который возможно открыть в программе Компас-3D, после загрузки данного файла в формате STEP 203, на основе полученной геометрии был построенный данный чертеж.

2.3 Определение раскроя металла и расчет коэффициента использования металла (КИМ)

Для более экономичного производства, предлагается изменить раскрой листа, тем самым сэкономить материал. Используемый материал остался таким же, что и использовался в базовом варианте. Сталь 08пс - Сталь конструкционная углеродистая качественная. Сплав Ст08пс является достаточно прочным и твердым материалом, рассчитанным на сопротивление высоким нагрузкам при сохранении своей целостности и формы. Сталь 08пс вполне комфортно чувствует себя области упругих деформаций.

Механические свойства стали 08пс в зависимости от сечения						
ГОСТ	Состояние поставки	Сечение, мм	$\sigma_{0,2}$ (МПа)	σ_B (МПа)	δ_5 (δ_4) (%)	ψ %
			не менее			
1577-93 16523-70 (Образцы поперечные)	Полосы нормализованные	6-25	175	295	35	60
		До 2	---	275-390	(24)	---
	Листы горячекатаные	2-3,9	---	---	(26)	---
		До 2	---	275-390	(25)	---
Листы холоднокатаные		2-3,9	---	---	(28)	---

Механические свойства стали 08пс						
ГОСТ	Состояние поставки	σ_B (МПа)	δ_5 (δ_4) (%)	ψ %	НВ	
			не менее			
4041-71 (Образцы поперечные) 9045-80 (Образцы поперечные) 10234-77 503-81	Листы термообработанные: 3-й категории	Не более 365	36	---	---	98
		255-365	(28)	---	---	---
	Лента отоженная плющенная	Не более 450	20	---	---	---
		245-390	(23)	---	---	---
		315-440	(17)	---	---	---
10702-78	Лента холоднокатаная: особомягкая	370-510	(7)	---	---	---
		440-590	(4)	---	---	---
	мягкая	310-410	---	60	131	---
		290-390	---	60	131	---
полунатянутая	370	8	60	179	---	
	натянутая	---	---	---	---	---

Рисунок 2.3 – Механические свойства

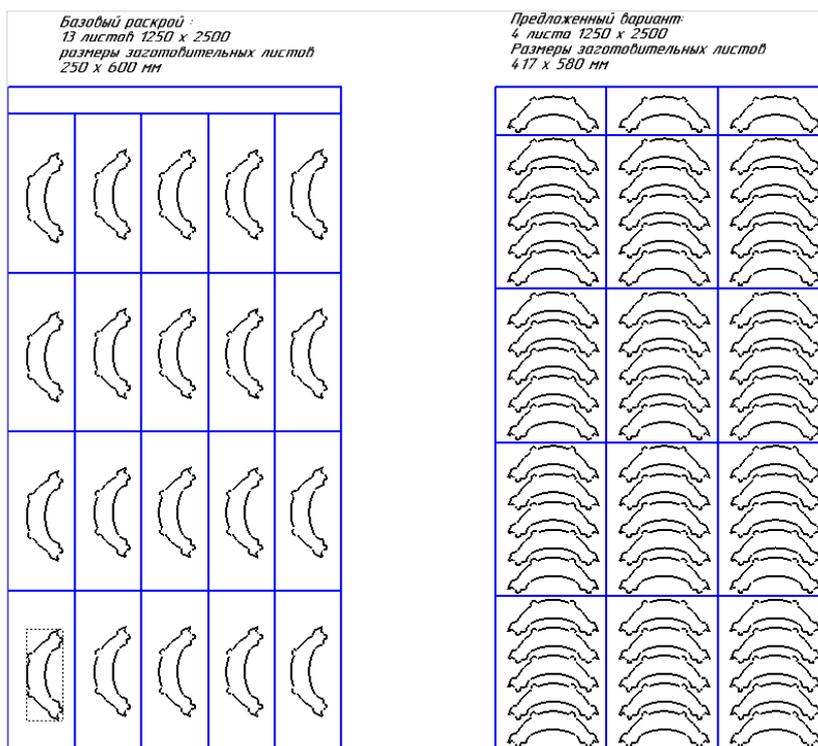


Рисунок 2.4 – Сравнение раскроя базового и предложенного варианта.

Также, для более детального анализа КИМ была подсчитана масса ОТХОДОВ.

С помощью CAD-программы NX была подсчитана масса конечного изделия – NX–Измерение тел - Объем, определена плотность ($\rho = 7850 \text{ кг/м}^3$) и найдена масса конечного продукта:

$$m_{\text{изд}} = \rho * V = 7850 * 1,4516 * 10^{-5} = 0,114 \text{ кг} \quad (2.1)$$

Общая масса изделий(M), полученных при выполнении программы в 250 штук Накладка корзины сцепления, будет равна:

$$M_{\text{изд}} = 250 * m = 28,5 \text{ кг} \quad (2.2)$$

Аналогично рассуждая, найдена масса одного листа и подсчитана суммарная масса всех закупленных листов для каждого из техпроцессов:

$$V_{\text{л}} = 1250 * 2500 * 0,7 = 0,0021875 \text{ м}^3 \quad (2.3)$$

$$m_{\text{л}} = V_{\text{л}} * \rho = 0,0022 * 7850 = 17,27 \text{ кг} \quad (2.4)$$

Подсчет суммарной массы, применяемого материала, для каждого их техпроцессов:

Базовый техпроцесс: Предложенный техпроцесс:

$$M = 13 * 17,27 = 224,51 \text{ кг} \quad M = 5 * 17,27 = 86,35 \text{ кг} \quad (2.5, 2.6)$$

Полученные расчетные значения массы отходов и КИМ были приведены в таблицу 2.1

Таблица 2.1 Сравнение раскроев

	Базовый техпроцесс	Предложенный техпроцесс
КИМ закупочный лист/заготовительный лист, %	$\text{КИМ} = \frac{250 \times 600 \times N}{1250 \times 2500} = \frac{150000 \times 20}{3125000} = 0.96$ или 96%	$\text{КИМ} = \frac{417 \times 580 \times N}{31250000} = \frac{241860 \times 12}{3125000} = 0.928$ или 93%
КИМ заготовительный лист/заготовка, %	$\text{КИМ} = \frac{S_z}{S_{z.l.}} = \frac{20972.1}{150000} = 0.14$ или 14%	$\text{КИМ} = \frac{S_z \times N_z}{S_{z.l.}} = \frac{20972.1 \times 5}{241860} = 0.43$ или 43%
Количество закупочных листов, штук	13	5
Масса отходов, кг	195,3	57,8

Определение массы отходов:

$$\text{КИМ}_{\text{б.т.}} = \frac{28,5 \text{ кг}}{224,51 \text{ кг}} * 100\% = 13\% \quad (2.7)$$

$$M_{\text{отхода}} = 195,3 \text{ кг} \quad (2.8)$$

$$\text{КИМ}_{\text{п.т.}} = \frac{28,5 \text{ кг}}{86,35 \text{ кг}} * 100\% = 33\% \quad (2.9)$$

$$M_{\text{отхода}} = 57,8 \quad (2.10)$$

В серийном производстве не целесообразно закупать листовую рулон, в связи с большой номенклатурой деталей и низкой серийности производства, поэтому закупаются листы. Для более экономичного производства практично использовать отходы. Что и было применено в ВКР как видно из рисунка 2.4,

отход полученный при нарезке заготовительных достаточен чтобы получить из него 3 заготовительных листа, в каждый из которых будет пробиваться по одной заготовке. В таком случае, КИМ в отношении закупочный лист/заготовительный лист из 93% меняется на 100%, таким образом, минимизируется отход.

2.4 Определение энергосиловых параметров разделительных и формообразующих операций.

Начальные и базовые данные:

Индекс и расшифровка	Значение
S– толщина	0,7 мм
Угол γ – угол створа	$(2\div 5)^\circ$
σ_B –предел прочности для стали 08пс	330 Н/мм ²
K – коэффициент зависящий от глубины и ширины рифта	0,7 \div 1

Расчет разделительных операций будет состоять из трех расчетных пунктов:

1. Нарезка заготовительных листов
2. Пошаговая пробивка заготовки по контуру и пошаговая пробивка отверстий в теле заготовки

2.4.1 Нарезка заготовительных листов

Усилия нарезки заготовительных листов:

$$P = 0,5 \frac{S^2}{tg\gamma} \sigma_{cp} = 0,5 \frac{0,7^2}{tg2^\circ} 25 = 175,4 \text{ кН}$$

Работа, совершаемая во время нарезки заготовительных листов:

$$A = \frac{P * H}{1000} = \frac{175,4 * 0.7}{1000} = 123 \text{ кДж}$$

2.4.2 Пошаговая пробивка заготовки по контуру и пошаговая пробивка отверстий в теле заготовки

Поскольку, обе эти операции осуществляются на одном оборудовании, но разными инструментами, расчет идет по одной формуле, с небольшими корректировками значений.

Максимальное усилие пробивки можно будет определить и рассчитать только на пробивки первого отверстия, каждой из пробивки. Поскольку, на всех последующих пробивках контур реза будет меньше, соответственное прикладываемое усилие тоже меньше.

Номер операции	1	2
Диаметр инструмента, мм	2.2	1.2
Сопротивление срезу, σ_{cp}	$1,2(S/d+0.6)*\sigma_B$	
Значение σ_{cp}	341	440
Формула усилия	$P_{cp} = LS\sigma_{cp}$	
Усилие пробивки, Н	1650	1161
Формула работы	$A = \frac{P * H}{1000}$	
Работа пробивки, Дж	2805	1973

Где, $L=\pi d$ – длина реза, S – толщина.

2.4.3 Расчет усилия формовки

Усилие формовки:

$$P = L * S * \sigma_B * k = 316,5 \text{ мм} * 0,7 \text{ мм} * 33 \frac{\text{кгс}}{\text{мм}^2} * 0,7 = 5117,8 \text{ кгс}$$
$$= 50,2 \text{ кН}$$

Работа формовки:

$$A = P * L = 50200 * 6 = 301 \text{ кДж}$$

3 Инженерный анализ

Поскольку, пошаговая пробивка по контуру заготовки представляет из себя повторяющиеся пробивки, результат каждой пробивки одинаковый. Так как каждая следующая пробивка не имеет различия с последующей, для оптимизации и расчетов был смоделирован одна пробивка, самая первая, на которой возможно было посмотреть максимальные напряжения и деформации. Первая пробивка будет пробивать отверстие целиком, когда все последующие будут пробивать лишь часть металла, остальной сектор был пробит на предыдущей пробивки, следовательно, максимальное усилие необходимое для данной операции можно будет определить именно на первой пробивке.

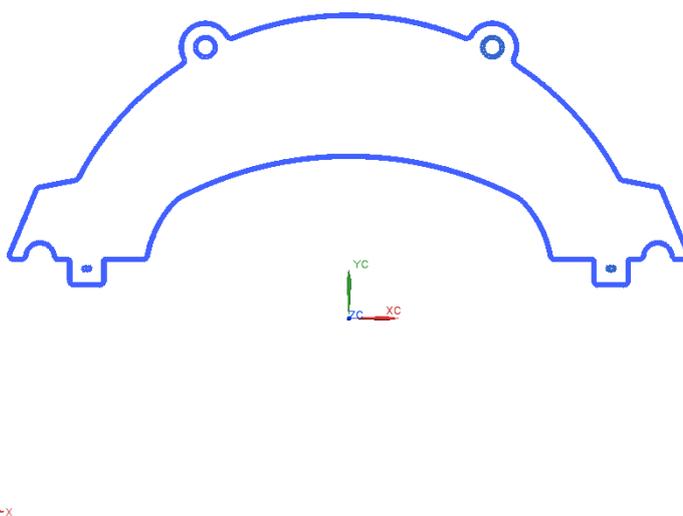


Рисунок 3.1 – Контур пробивки

Так как вырубаемый контур симметричный и представляет из себя круг, мы можем проводить анализ в 2D виде, что позволит сэкономить время, но при этом качество анализа останется на уровне.

Проведем анализ первой операции, пробитие отверстия. Геометрию создаем в NX Siemens, так же в 2D для последующего импорта в IGES файл.

3.1 Проектирование штамповой оснастки в САD-продукте NX 9.0

Исходя из особенностей пробивки будет достаточно создать только половину заготовки, матрицы, пуансона и прижима относительно оси симметрии. После того, геометрия каждого элемента была построена, она была экспортирована, следующими действиями: Меню-Экспорт-IGESFile.

3.2 Параметризация экспортированной геометрии в САЕ-продукте DeForm 2D

Была создана новая проблема, в ней созданы 4 объекта: 1 заготовка и 3 рабочих инструмента. Дальше были загружены для каждого объекта свою геометрию: Геометрия-Загрузить геометрию. После загрузки геометрии каждого объекта необходимость их взаимного расположения отсутствует, благодаря заранее выставленному их положению относительно друг друга в САD-продукте. Дальнейшие действия заключались в параметризации пробивки. Была определена сетка конечных элементов (СКЭ) для заготовки, был загружен материал заготовки Сталь 08пс, были определены взаимные связи между матрица-заготовки, заготовка-прижим, заготовка-пуансон, установлено трение 0.08, заданы количество шагов, равное 50 шагам, необходимые для пробивки. Также была рассчитана скорость в мм/шаг, равная 0.034 мм/шаг, с которой будет происходить имитация пробивка. Последним шагом была проверка сгенерированной проблемы и ее генерация.

3.3 Полученные расчетные данные

На рисунке 3.2 видны максимальные напряжения, возникающие на месте разрыва (разделения) металла. Для стали 08пс временное сопротивление разрыву (предел прочности при растяжении) равно порядка 300 МПа.

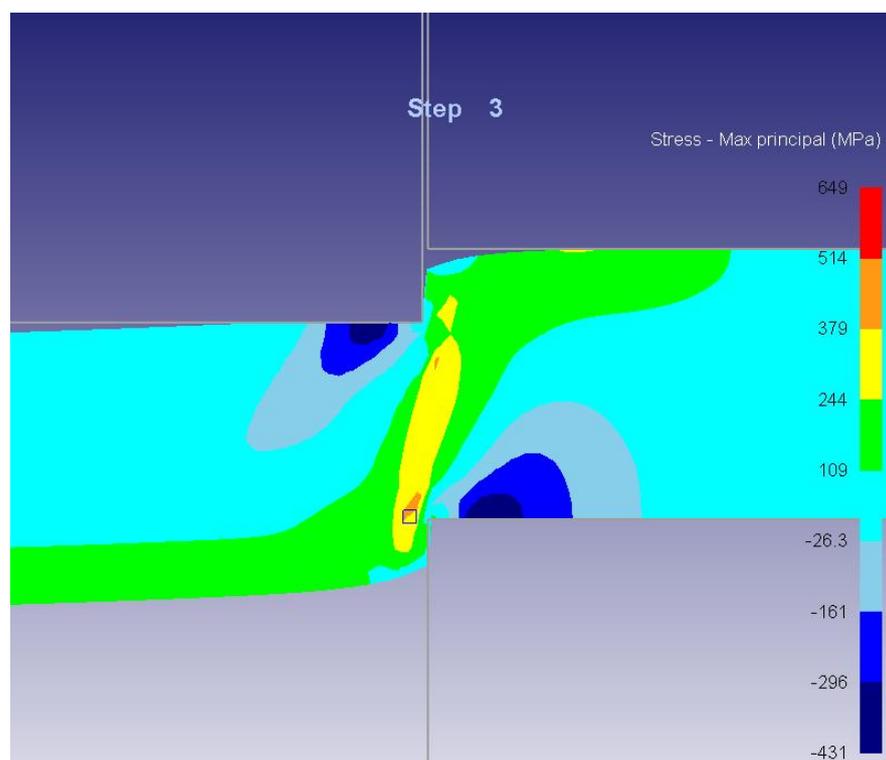


Рисунок 3.2 – Максимальные напряжения

За счет своих относительно небольших размеров пуансона, напряжения, возникающие на поверхности под пуансоном, меньше, чем при вырубке полного контура заготовки одним пуансоном криволинейной формы. Именно поэтому возникающие дефекты на срезе в виде утяжин и сколов минимизируются. Соответственно пластическая деформация проходит длительный промежуток времени и величина блестящего пояска больше. Также это достигается использованием в ВКР высококачественного пробивочного инструмента.

На следующих рисунках будут изображен контур получившегося реза. Основными параметрами, характеризующими контур среза, являются:

1. Длина блестящего пояска
2. Высота утяжины
3. Длина скола

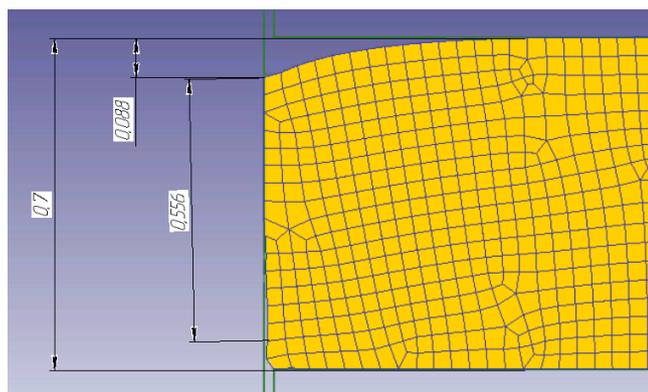


Рисунок 3.3 – Контур среза

Проведя структурный анализ среза, определено:

- 1) Длина блестящего пояска составляет - 0,556 мм
- 2) Высота утяжины - 0,088 мм

3.4 Проектирование штамповой оснастки в САD-продукте NX 9.0 для формообразующей операции

Нижняя крышка сцепления имеет углубление, в виде ребра жёсткости, под углом в 30 градусов относительно оси ординат и глубиной 6 мм, а также фланцы, которые служат для закрепления детали на рабочем месте. Создание рабочих инструментов было выполнено с помощью операции: Копирование грани. Данная операции в САD-продукте NX позволяет скопировать грань изделия и переместить ее на любое расстояние или на любой угол, при этом сохранив исходную геометрию. Все инструменты, матрица и пуансон, были получены таким способом. Прижим был создан с помощью N-сторонняя поверхность. Габариты были заданы с помощью построения в Эскизе

прямоугольника размеров матрицы. Окончательный вариант поверхностей всей штамповой оснастки изображен на рисунке 3.4.

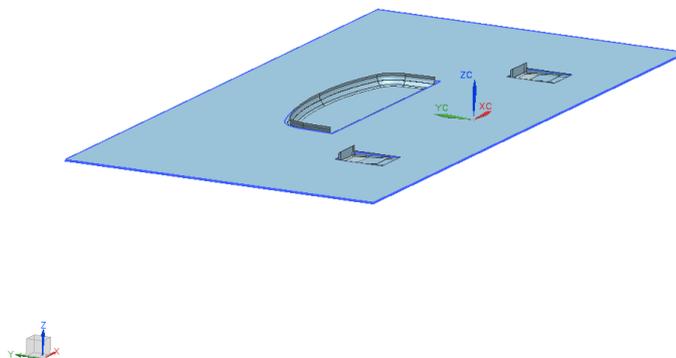


Рисунок 3.4 –Поверхности штамповой оснастки для формообразующей операции.

3.5 Параметризация CAE-анализа в AutoForm

Autoform является одной из совершенных и универсальных программ, которые позволяют моделировать все существующие операции ОМД. Для начала моделирования формообразующей операции, необходимо создать проект и загрузить в него поверхность, определяющую конечный продукт, рабочие инструменты и есть возможность загрузить кривые.

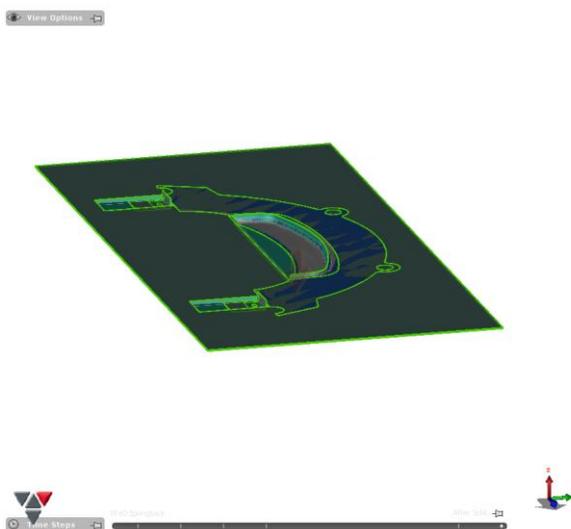


Рисунок 3.5 – Вид

Дальнейшими этапами будет параметризация проекта. Autoform имеет крайне удобную меню настройки проекта.



Рисунок 3.6 – Этапы программирования

В каждом отдельном окне имеются необходимые параметры, которые должны быть обязательно определены перед началом расчета. Такими параметрами является:

1. Позиционирование (Tip). Возможность настроить автоматически или вручную.

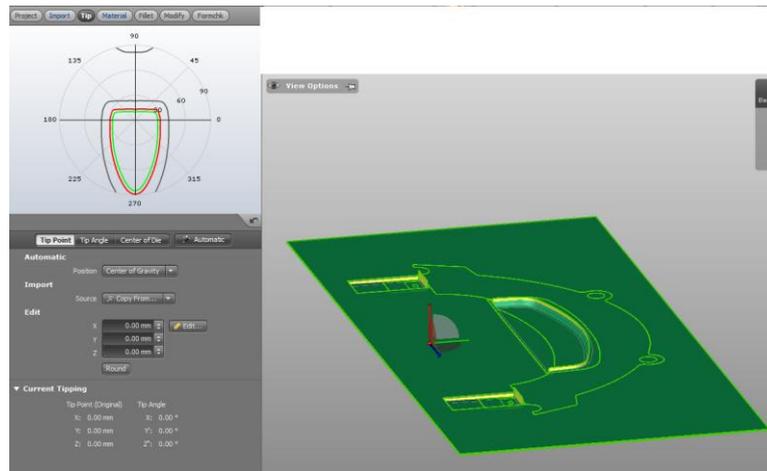


Рисунок 3.7 – Позиционирование

2. Задание материала (Material). Autoform имеет собственную библиотеку материалов Европейских, Немецких и др. стандартов.

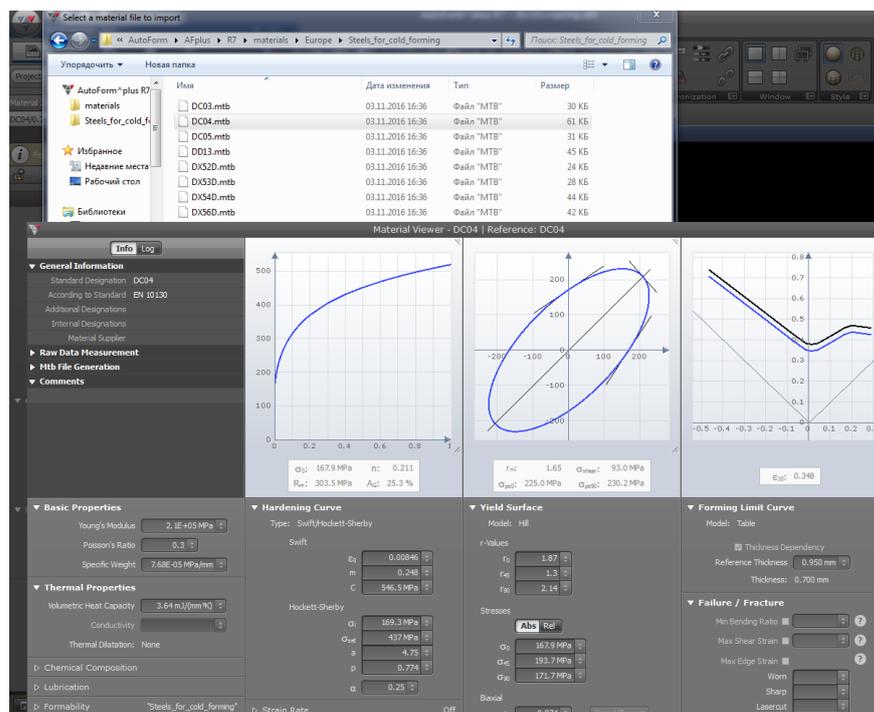


Рисунок 3.8 – Материал

3. Задание операций, необходимых для получения конечного продукта (Production). Autoform определяет заготовку как единую замкнутую поверхность, которая не имеет отверстий. А поскольку, мы получаем заготовку уже с пробитыми отверстиями, то перед тем как выполнить формовку, нужно пробить отверстия в теле заготовки.



Рисунок 3.9 – Операции

4. Задание типа операций и их параметры (Plan).

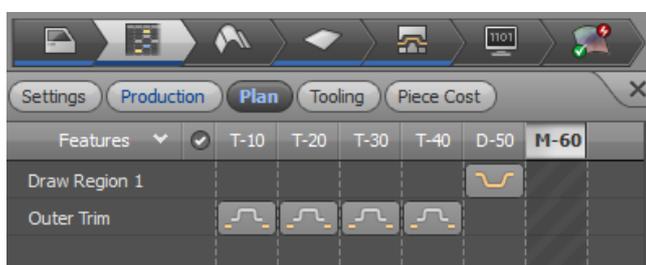


Рисунок 3.10 – План

5. Создание заготовки (Blank). Autoform автоматически замыкает все отверстия в теле заготовки.

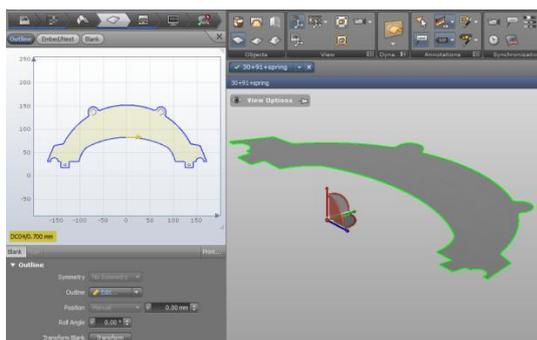


Рисунок 3.11 – Контур заготовки

6. Определение инструментов, отходов, а также настройка операций. Для каждой операции все инструменты и отходы определяются отдельно.

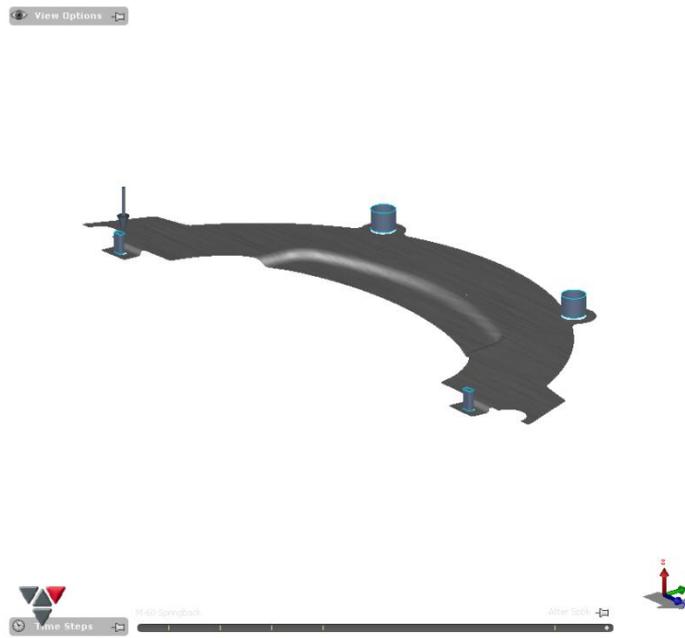


Рисунок 3.12 – Настройка пробивки



Рисунок 3.13 – Инструменты формообразующей операции

7. Особенностью Autoform'a является возможность в расчет включать пружинение. Мы используем свободное пружинение (Free Springback).

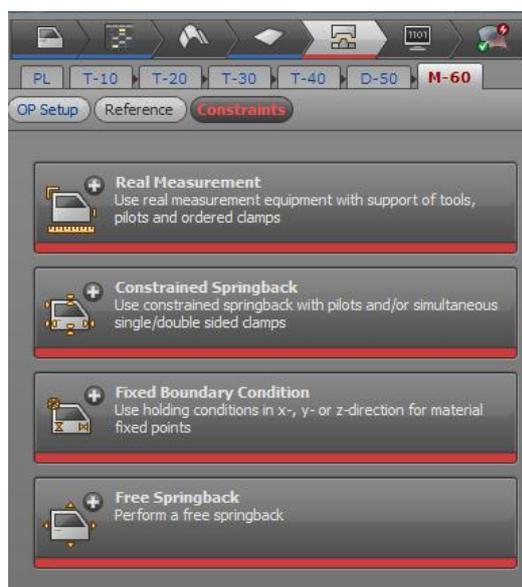


Рисунок 3.14 – Настройка пружинения

8. Предпоследним шагом является определение конечных результатов, которые будут демонстрироваться по окончании инженерного расчета.



Рисунок 3.15 – Выбор отображаемых результатов

9. Последним шагом является указание файла, куда будет сохраняться проект, и запуск расчета(Start).

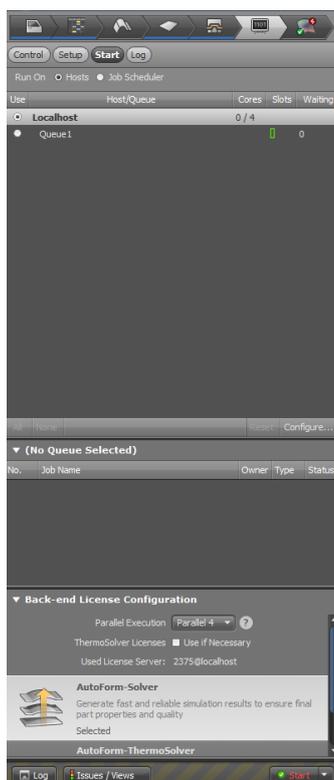


Рисунок 3.16 – Запуск

3.6 Анализ полученных результатов



Рисунок 3.17– Полученный конечный продукт

Autoform автоматически создает Диаграмму предельных формоизменений, на которой показываются разрушения листового материала при штамповке. Черный отрезок на FLD отображает кривую предельного формоизменения, определяющую деформации, превышение которых вызывает появление разрывов в листовом материале. На эту диаграмму наносятся значения деформаций, рассчитанных при моделировании во всех конечных элементах. По диаграмме можно визуально судить о наличии разрывов и устойчивости техпроцесса.

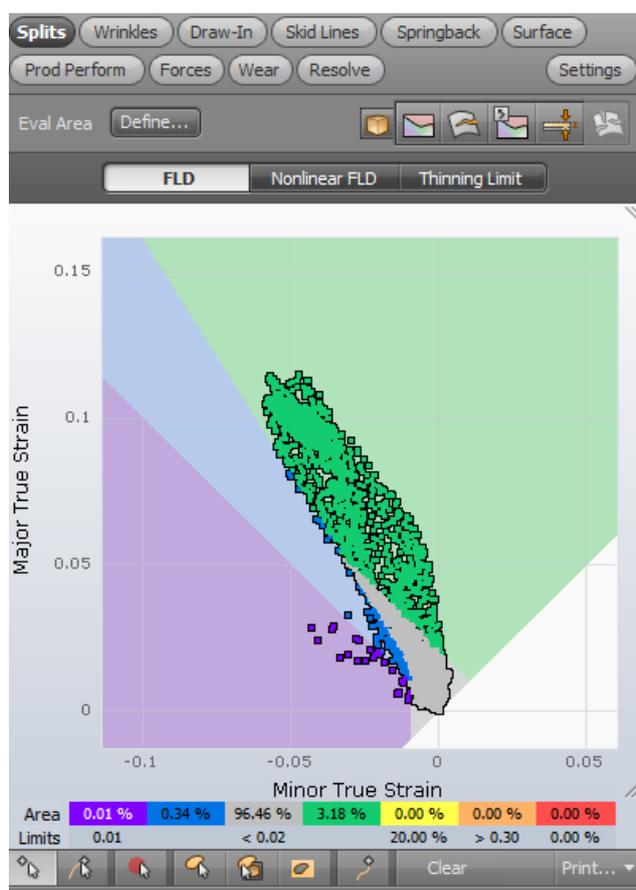


Рисунок 3.18 – FLD-диаграмма

Также помимо диаграммы, данные значения отображаются и на самой модели.

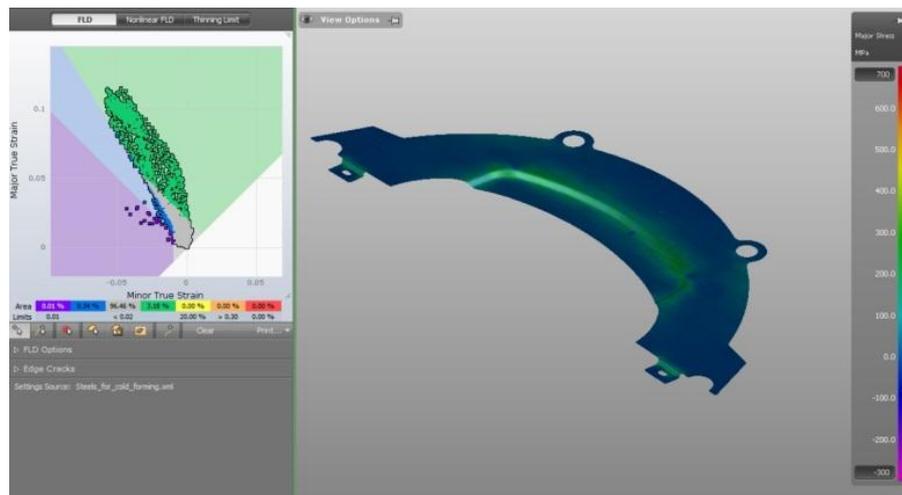


Рисунок 3.19 – Отображение результатов FLD-диаграммы

Также проверяется утонение изделия. Цифрами показаны абсолютные значения толщины конечного изделия в данной точке в мм.



Рисунок 3.20 – Толщина изделия, в местах формообразования

Также, исходя из формы нашей детали, необходимо проверить пружинение, происходящее после извлечения детали из штамповой оснастки. Данные значения задаются в градусах.

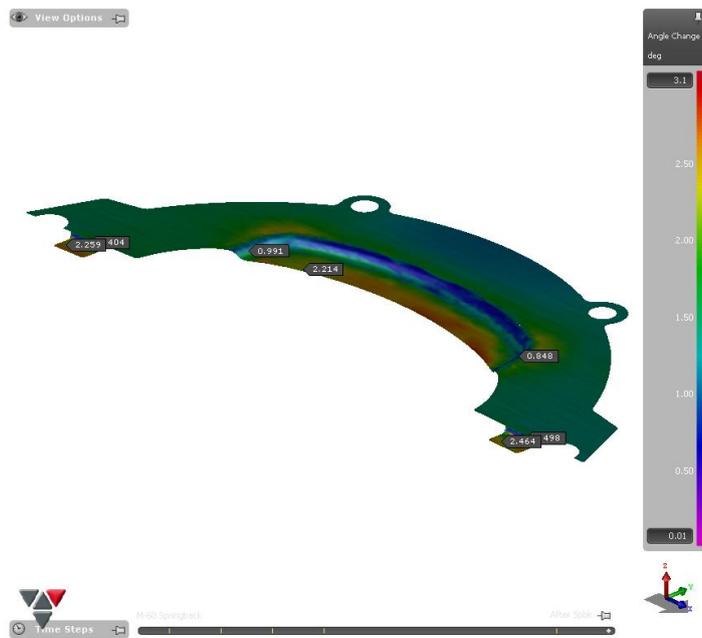


Рисунок 3.21 – Угловоепружинение

Благодаря тщательному просчету Autoform позволяет определить, как выглядит деталь в профиль*

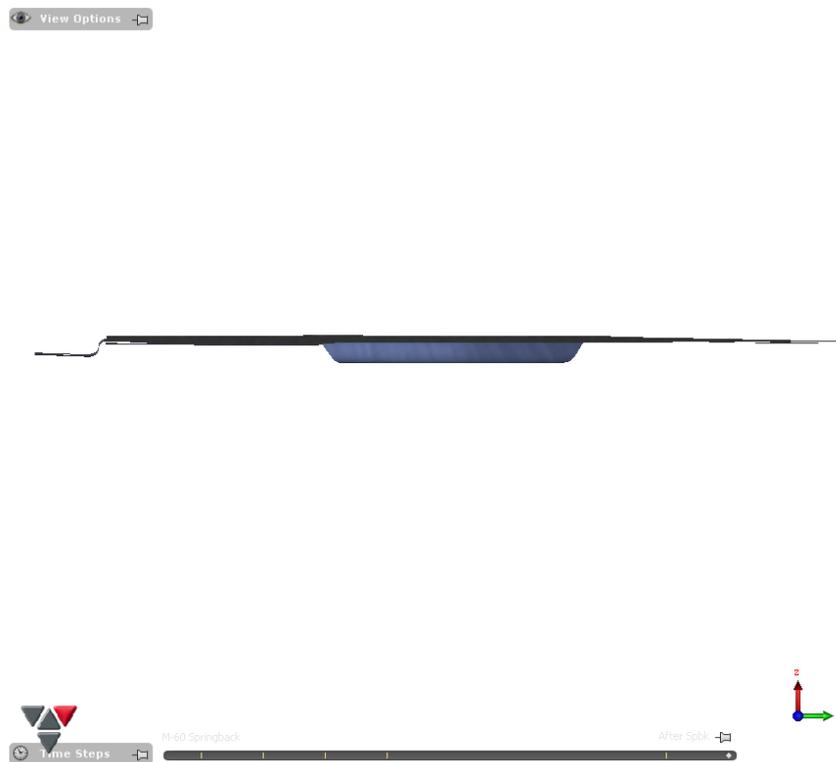


Рисунок 3.22 – Профиль полученного продукта

4 Выбор оборудования

4.1 Основное техническое описание оборудования. Выбор его размеров и кинетических параметров.

Операция получения заготовки происходит на Листообрабатывающем центре. Данный центр позволяет пробивать заготовки по контуру, используя различные стандартные круглые пуансоны. Благодаря использованию стандартизированных рабочих инструментов, наладка и замена рабочего инструмента проходит быстро, с этой работой может справиться 1 человек. Принцип работы данного комплекса: Перемещение заготовки происходит за счет грейферных линеек относительно рабочего инструмента, непосредственно на столе машины. Матрица имеет сквозное отверстие, соосное с отверстием в столе машины, отход проваливается в тару, расположенную под этим отверстием. Все работы проходят с применением смазки.

Преимущества данного центра следующие:

1. Предельно краткое время амортизации 0.6-1.4 года
2. Краткосрочное, своевременное изготовление деталей
3. Быстрая переналадка
4. Простое обслуживание и подготовка программ
5. Штамповка материалов различной толщины 0.02мм-4мм
6. Длительное время службы инструмента
7. Безопасное и эргономное рабочее место
8. Эта многофункциональная машина занимает только 5м²
9. Возможность применения группы открытых вырубных штампов

Исходя из вышеизложенных преимуществ, данный комплекс отлично впишется в цеха мелко и среднесерийного производства. Ниже показана габаритная схема данной установки рисунке 4.1:

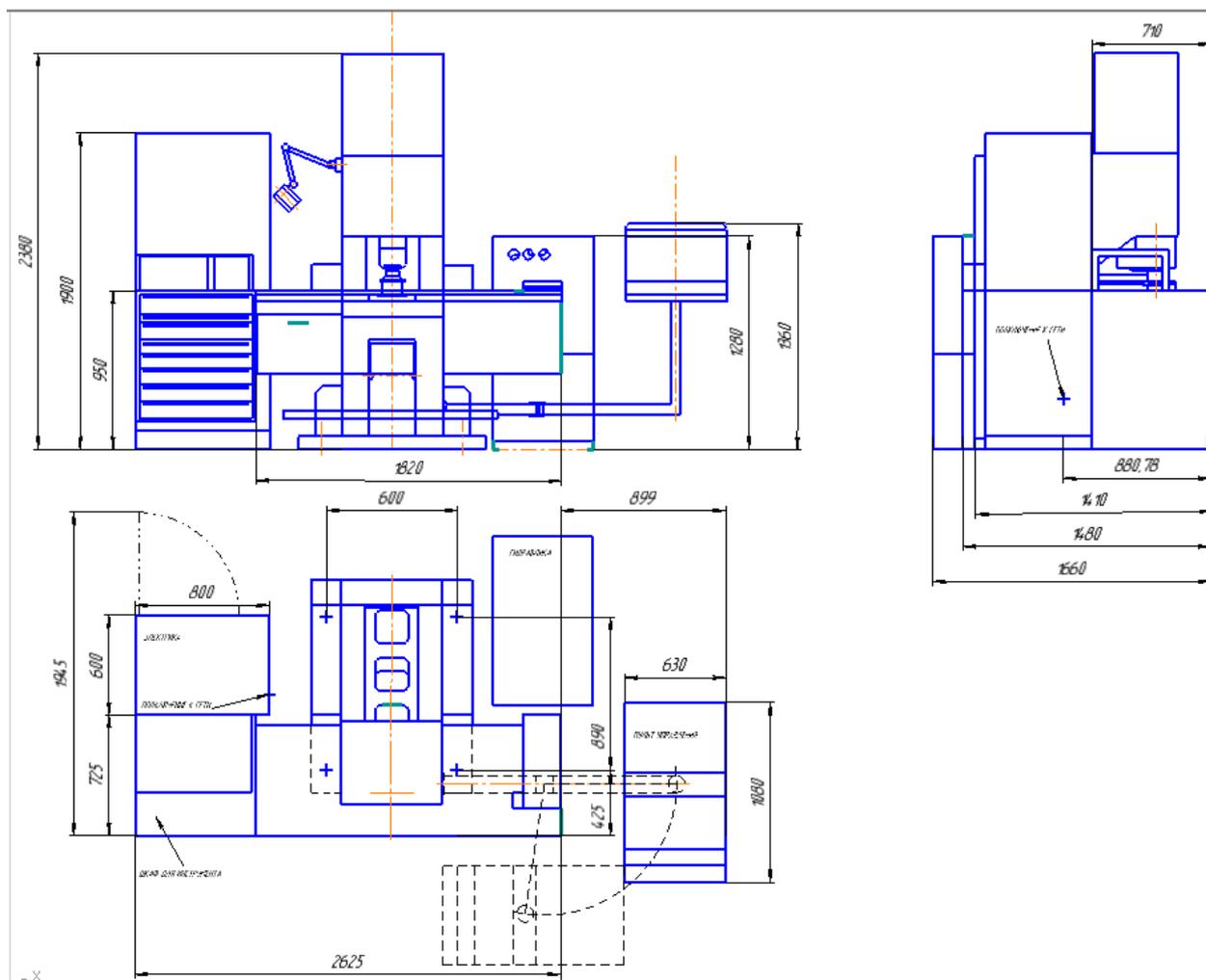


Рисунок 4.1 – Габаритная схема.

Высокий комфорт обслуживания вследствие применения математического обеспечения позволяет осуществлять простейшее программирование уже после короткого времени приработки. Программирование с графическим изображением на экране может быть заменено приемкой программы подходящими носителями информации с соответствующим устройством сопряжения. Программирование, как и обслуживание машины, можно осуществлять в сидячем положении. Большая емкость запоминающего устройства управления позволяет накапливать производственные программы для большего числа деталей и таким образом дает возможность быстрой выборки без повторного программирования.

Внутренние подпрограммы сигнализируют открытым текстом об ошибках в обслуживании. Специальное математическое обеспечение вырубки упрощает программирование посредством ввода инкремента.

Поскольку деталь имеет криволинейный контур заготовки, необходимо использовать 2 разноразмерных пуансона $\varnothing 2.2$ мм и $\varnothing 1.2$ мм. Пуансоны изготовлены из Сталь Р6М5, твердость HRC 58...62. Меньший пуансон будет пробивать отверстия в теле заготовки: 2 отверстия $\varnothing 12$ мм и 2 прямоугольника, габаритные размеры которого 5x3.5 мм с фасками на 1.2 мм. Исходя из выше изложенного, процесс получения заготовки будет разбит на 2 этапа:

1. Пробивка контура заготовки пуансоном $\varnothing 2.2$ мм
2. Пробивка отверстий в теле заготовки пуансоном $\varnothing 1.2$ мм

Формообразующая операция будет выполняться за 1 переход на гидравлическом одностоечном прессе PUE10 S/1M (усилием 10т).

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 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. Данное оборудование было выбрано за счет своей удобной конструкции, достаточным усилием для выполнения формообразующей операции, способность работать в ручном режиме. Необходимое усилие для операции формообразования равно 5 т, усилие прижима 2т. Суммарное усилие необходимое для проведения данной операции равно 7 т. Данное усилие меньше Номинального усилия выбранного оборудования, следовательно оборудование выбрано правильно.

Таблица 4.1–Технические характеристики прессы

Модель	PYE10 S/1M
Наибольшее рабочее усилие	10 т
Расстояние между столом и ползуном	800 мм
Ход ползуна	500 мм
Вылет	360 мм
Крепежная площадь	530 x400 мм
Рабочая площадь	750 x560 мм
Вес	5.04 т
Габаритные размеры прессы	2000 x1010 x2900 мм
Максимальная глубина вытяжки	200 мм

Таблица 4.2–Основные характеристики прессы

Характеристика	Единица измерения	Значение
Отводная сила	МПа	30
Усилие выталкивателя в столе	тс	40
Скорость движения сверху вниз	мм/сек	43
Скорость движения снизу вверх	мм/сек	112
Ширина стола	мм	710
Отверстие	мм	200
Продольные Т-образные пазы стола	мм	22
Глубина стола	мм	500
Ход регулируемый до	мм	500
Приводная мощность	кВт	7.5
Номинальное напряжение	В	380
Напряжение цепи управления	В	60
Число оборотов двигателя	Об/мин	1500
Необходимая площадь (длина x ширина x высота)	мм	1580x900x2170

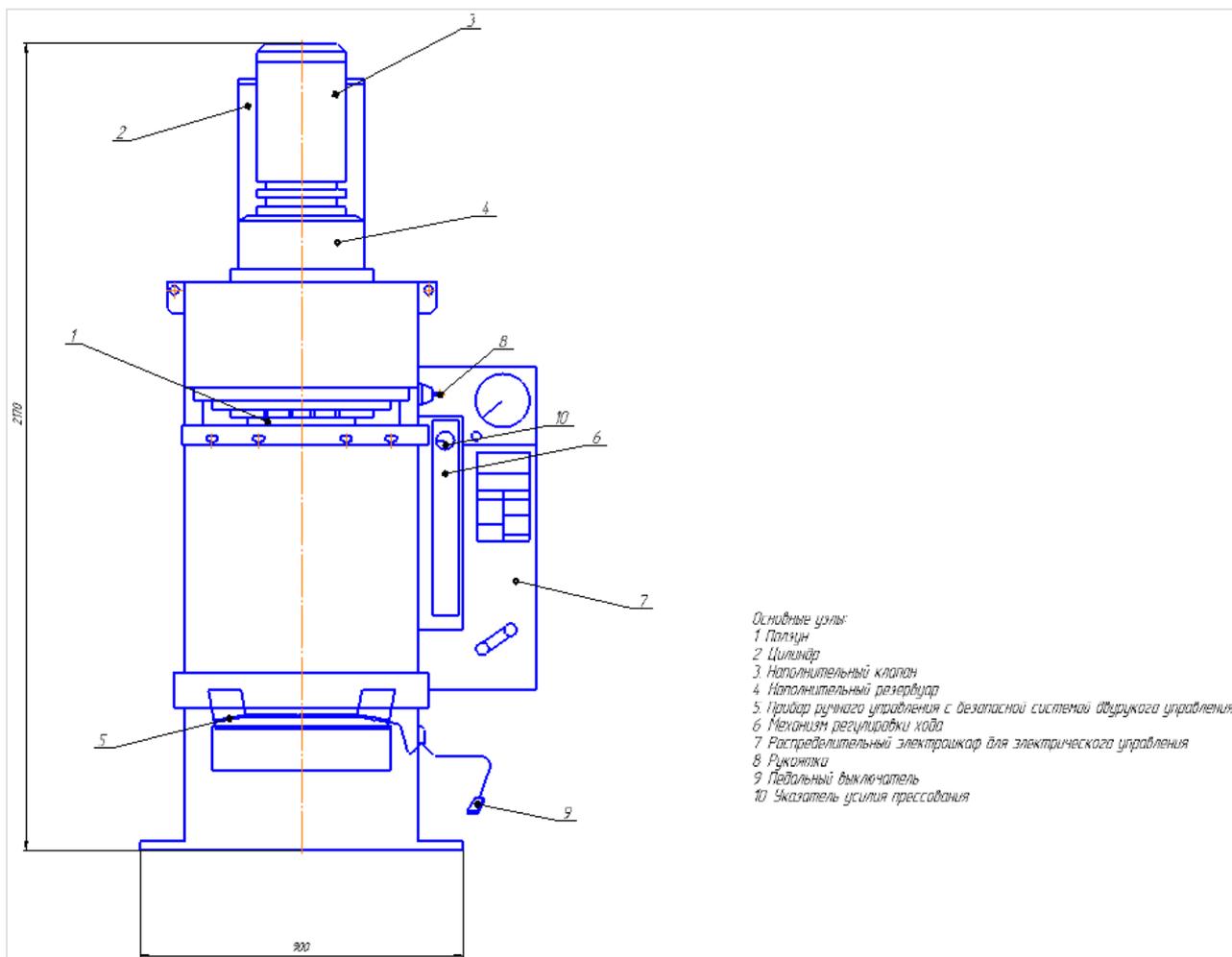


Рис. 4.1 – Обзорный вид машины

5 Разработка конструкции штамповой оснастки

5.1 Состав штамповой оснастки и ее конструкция

Спроектированный и подтвержденный к эксплуатации штамп должен обеспечить полное соответствие детали после извлечения ее из штампа с входными техническими конфигурациями, также обеспечить плановые и внеплановые ремонты и безопасность работы. В листообрабатывающем центре рабочим инструментом является пуансона матрица и направляющая пуансона, осуществляющая также функцию прижима.

Таблица 5.1 –Материалы, применяемые для изготовления рабочих инструментов

Название детали	Материал	Твердость по Роквеллу
Матрица	P6M5	58...62
Прижимная плита	Сталь У8А	52...56
Пуансон	P6M5	58...62

Применение быстрорежущих сталей, обуславливается тем, что оборудование может работать на достаточно высоких скоростях, до 0,3 м/с. Прочностной расчет на прочность необходим в основном для пробивных пуансоны небольших размеров. Следовательно, расчет на прочность будем производить для пробивного пуансона, применяемого для пробивки круглых отверстий по контуру заготовки Ø 2.2 мм.

5.2 Расчет опорной поверхности головки пуансона на смятие

Расчётная формула:

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{P}{F} = \frac{168}{3.8} = 44.2 \text{ МПа} \quad (21)$$

где P – усилие пробивки отверстия Ø 2.2 мм; P = 168 кгс/мм²;

F – рабочая поверхность пуансона, мм²;

$$F = \frac{\pi * D^2}{4} = \frac{3.14 * 2.2^4}{4} = 3.8 \text{ мм}^2 \quad (22)$$

5.2.1. Расчет пуансона на сжатие в поперечном наименьшем сечении

Расчетная формула (21):

$$\sigma_{\text{сж}} = \frac{P}{F} \leq [\sigma_{\text{сж}}]$$

где f – наименьшее поперечное сечение пуансона, по формуле (22);

[σсж] – допускаемое напряжение на сжатие, [σсж] = 160 кгс/мм²

$$\sigma_{\text{сж}} = \sigma_{\text{см}}$$

Поскольку сжимающее напряжение пуансона, меньше допустимого напряжения, 44.2 кгс/мм² < 160 кгс/мм². Длина пуансона удовлетворяет условиям прочности.

5.2.2. Расчет свободной длины пуансона на продольный изгиб

Рассчитываем по формуле:

$$l = 4,43 * \frac{\overline{E * I}}{n * P} \quad (23)$$

где E – модуль упругости (2,2·10³ МПа);

I – момент инерции, м⁴;

n – коэффициент безопасности (n=3);

$$I = \frac{\pi * d^4}{4} = 1.84 * 10^{-11} \text{ м}^4 \quad (24)$$

$$L = 4,43 * \frac{\overline{2.2 * 10^3 * 1.84 * 10^{-11}}}{3 * 0,0168} = 0.04 \text{ м}$$

В предложенном варианте техпроцесса длина пуансона равна 24 мм, данное значение меньше максимальной свободной длины. Соответственно, пуансона выбрал верно.

6. Безопасность и экологичность технического объекта

6. 1 Технологическое описание на рабочего места

Производство мелкой и средней серии занимает гораздо меньшие площади, нежели чем массовое производство, поскольку в этих производствах отсутствует необходимость использования крупногабаритного оборудования, а также систем автоматизации производства. Но не смотря на это отличие, в любом производстве необходимы площади для хранения заготовок, листов, штамповой оснастки, готовой продукции. Также нужны площади, на которых будут производиться штамповочные оснастки, цех для починки оборудования.

«Организация и осуществление технологических процессов в цехах и складах необходимо проводить в соответствии с нормативными требованиями. Санитарных правил и гигиенических требований организации технологических процессов и оборудования»[16]. По всему прессовому производству мелкой и средней серии в помещениях должна поддерживаться приемлемая температура для проведения работ. Предельные допустимые отклонения: в летний период до 25°C, в зимнее время до +8°C.

В цехе установлен Листообрабатывающий центр Baltek PWS 610 с общим усилием в 250 кН. Загрузка заготовительных листов происходит в ручную, перемещение заготовительных листов, относительно рабочего инструмента осуществляется за счёт грейферных линеек. Процесс полуавтоматический. Также в цехе будет установлен PYE 10S.1M/SSM с номинальным усилием в 100 тс. Загрузка заготовок происходит в ручную.

Таблица 6.1 – Технологический паспорт объекта

Технологическое действие	Технологическая процедура, вид проводимых работ	Обозначение работника, который выполняет операцию	Приспособление, техника, оснастка, машина	Материалы для использования
Штамповка	Пробивка	Оператор по штамповке	Baltek PWS 610	ст. х/к 08пс
Штамповка	Пробивка	Оператор по штамповке	Baltek PWS 610	ст. х/к 08пс
Штамповка	Формовка	Оператор по штамповке	PYE 10	ст. х/к 08пс

6.2 Вредные производственные факторы прессового производства

Наиболее опасными производственными факторами являются механизмы, открытые мобильные части производственного оборудования, ударные инструменты, типа молота. Вышеизложенные факторы могут привести к снижению производительности производства и нанести вред работникам. Нарушение правил охраны труда - главный фактор травматизма рабочего. В целях обеспечения безопасности на рабочем месте создается служба охраны труда. Ее цель уменьшение вероятности поражения работающего персонала при максимальной производительности труда.

Таблица 6.2 – Опасные и связанные с риском факторы

Производственно-технологическая операция, деятельность на рабочем месте	Рискованный и ненадежный производственный фактор	Источник опасного или вредного фактора, представляющую угрозу для здоровья
Переналадка оборудования	Возможность заземления руки	Падения шпинделя, кронштейна, поперечин и др.
В цехах с высокими перекрытиями	Недостаточность дневного света	Недостаточное количество освещающих объектов
При работе с электрооборудованием	Достаточно высокий ток в цепи, при замыкание тока в цепи, то может быть причинен вред здоровью рабочего	Электродвигатели прессов, провода и электрические привода, станки с ЧПУ.

6.3 Комплекс мероприятий по безопасным условиям труда на производстве.

Таблица 6.3–Организационно–технические системы и технические машины (механизмы) для уменьшения отрицательного воздействия на организм человека в цехах производства.

Опасный и неблагоприятный фактор, находящийся на рабочем месте	Организационно–технические способы и технические средства защиты, уменьшение вредного производственного фактора	Средства индивидуальной защиты работника
Переналадка оборудования	-Кнопка аварийного отключения -Противозаклинивающая схема	-Защитные перчатки -Каска -Ботинки с металлическим носом
цехах с высокими потолками	-Установка дополнительного освещения -Монтаж дополнительных окон для обеспечения допуска естественного света в рабочую зону	-Головной фонарь
При работе с электрооборудованием	-Установка предохранителей и заземления	-Изоляция проводов в электрических шкафах

6.4 Обеспечение пожаробезопасности внутри помещения

Таблица 6.4 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

Участок, подразделение	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
Участок листовой штамповки	Листообрабатывающий центр Baltek 610 PWS	B, D, E	Замыкание	Падающие части производственных цехов, машин, установок и т.п.
	PYE 10-100 S.1M/SSM			

Таблица 6.5 – Необходимые технические средства по обеспечению пожарной безопасности.

Первоначальные средства пожаротушения	Переносные средства пожаротушения	Стабильные установки системы пожаротушения	Средства пожарной автоматики	Пожарное оборудование	Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	Пожарный инструмент	Пожарные сигнализация, связь и оповещение
Противопожарный материал	Пожарные самолеты	Установки тушения распыленной и мелкодисперсной водой	Автоматические установки пожарной сигнализации	Стволы пожарные	Универсальный фильтрующий малогабаритный самоспасатель	Пожарные ломы	Пожарное оповещение (автоматическое, тепловое)
Ящики с песком	Пожарные поезда	Установки водопенного тушения	Автоматические установки пожаротушения	Огнетушитель	Каски	Пожарные крюки	Светодиодные таблички «ЭВАКУАЦИОННЫЙ ВЫХОД»
Асбестовое полотно	Автомобиль порошкового тушения	Пенные установки и системы для пожаротушения	Системы Голосового уведомления эвакуации людей при пожаре	Пожарные гидранты	Противогаз	Ножницы гидравлические	Ультразвуковая пожарная сигнализация

Таблица 6.6 – Мероприятия по проведению пожарной безопасности.

Маркировка технологического процесса, оборудование техпроцесса	Различные виды мероприятий, реализуемые на предприятии (организационно-технические)	Необходимые требования по сохранению пожарной безопасности
<p>Обработка металлов давлением (Листовая штамповка)</p>	<ul style="list-style-type: none"> –учение персонала по предмету ПБ; –следовать инструкции по технике безопасности; –следователь плану эвакуации; –присутствие первичного средств пожара тушения; –плановая уборка рабочего места и оборудования; 	<ul style="list-style-type: none"> –подготовленный и осведомленный персонал; –наличие звуковой сигнализации, оповещений при пожаре, а также плана по эвакуации; –наличие средств пожаротушения.

6.4 Снабжение объекта для экологической безопасности

Таблица 6.7 – Идентификация экологических факторов технического объекта

Маркировка технологического объекта	Неотъемлемые составляющие технического процесса на предмет энергетической установки, транспорта, средства механизации т.п.	Негативное воздействие технического объекта на атмосферу	Вредное воздействие технического объекта на гидросферу	Отрицательное воздействие технического объекта на литосферу
Отходы на производстве	Промасленный инвентарь, отработанное масло.	–	Отходы и токсины проникают в гидросферу	Загрязнение почвы и водных ресурсов

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

Маркировка технического предмета	Отходы производства и потребления	
	Производственный инвентарь	Масленные отходы
Комплекс мероприятий по уменьшению вредного человеческого фактора на гидросферу	Полное уничтожение или переработка (сжигание в специальных машинах или печах)	Переработка отработавших масел частичная или полная (регенерация) с возможностью их вторичного применения
Комплекс мероприятий по уменьшению вредного фактора на литосферу	Полное уничтожение или переработка (сжигание в специальных машинах или печах)	Переработка отработавших масел частичная или полная (регенерация) с возможностью их вторичного применения

В представленном разделе «Безопасность и экологичность технического объекта» обозначены характеристики по технологическому процессу листовой штамповки, представлены все, согласно техпроцессу, технологические операции рабочего, производственные оборудования, и расходные материалы, используемые в производстве (таблица 6.1). Определены основные производственные факторы и их первичные источники (таблица 6.2). Переведен перечень необходимого минимального комплекта индивидуальной защиты, а также Организационно–технические способы и технические средства защиты

Разработана система мероприятий по пожарной охране технического объекта. Обозначен класс пожара, его вредные воздействия и последствия. Предложены способы по обеспечению сохранения пожарной безопасности (таблица 6.4) С целью предоставления пожарной безопасности изображена концепция требуемых граней, какие необходимо понимать и соблюдать (таблица 6.5). Представлен комплекс мероприятий, обеспечивающих сохранение пожарной безопасности (таблица 6.6).

7 Экономическая часть

В этом разделе ВКР проводится сравнение экономических показателей двух техпроцессов изготовления детали «Нижняя крышка сцепления». Базовый вариант – применение вырубного штампа для получения заготовки на Кривошипном прессе КА3132А, усилием 1600 кН. В предложенном варианте рассматривается замена принципиальной вырубки заготовки на координатную пробивки заготовки по контуру с помощью стандартных круглых пуансонов на Листообрабатывающем центре с усилием в 250 кН. Все остальное оборудование, учтывавшееся в базовом варианте остались без изменения в предложенном. Тип производства – мелкая и средняя серия.

Расчетные данные:

1. Полезное время работы оборудования в год (7.1):

$$\Phi_{\text{Э}} = D_{\text{раб}} \times T_{\text{см}} - D_{\text{пред}} \times T_{\text{сокр}} \times C \times 1 - k_{\text{р.п}}, \quad (7.1)$$

$D_{\text{раб}}$ – количество рабочих дней

$T_{\text{см}}$ – продолжительность рабочей смены

$D_{\text{пред}}$ – дни перед праздниками

$T_{\text{сокр}}$ – сокращенный день перед праздниками

C – общее число смен

$k_{\text{р.п}}$ – коэффициент, который учитывает затраченное время на починку оборудования

$$\Phi_{\text{Э}} = 247 \cdot 8 - 5 \cdot 8 \cdot 1 \cdot 1 - 0,061 = 1818 \text{ ч.}$$

2. Полезное время который затратит рабочий (7.2):

$$\Phi_{\text{э.р.}} = 30\% \times \Phi_{\text{Э}}, \quad (7.2)$$

$$\Phi_{\text{э.р.}} = 0.3 \times 1818 = 545 \text{ ч.}$$

7.1 Расчет числа оборудования для выполнения работ, коэффициента его загрузки, необходимое количество рабочих-операторов и число единиц штамповой оснастки

Таблица 7.1 – Общие исходные данные

Начальные данные	Индекс	Значение	
Годовая программа выпуска(шт.)	$N_{г}$	250	
Полезное количество времени работы (час) - оборудования - работника	$\Phi_{э}$	1818	
	$\Phi_{э,р}$	545	
Производительность нормы	$K_{вн}$	1,1	
Производительность многостаночного обслуживания	$K_{мн}$	1,0	
Производительность времени на отпуск работников, %	$K_{о}$	11,8	
Производительность монтажных работ: - при расчете себестоимости - при расчете капитальных вложениях	$K_{монт}$	1,1	
		0,1	
Закупочная стоимость материала(руб./кг)	$C_{м}$	25,5	
Стоимость отходов (руб./кг)	$C_{отх}$	1,785	
Масса заготовительного листа(кг)	$M_{з}$	0,86	0,35
Масса отходов(кг)	$M_{отх}$	0,74	0,114
Производительность транспортировки и заготовительных операций	$K_{тз}$	1,030	

Продолжение таблицы 7.1

Начальные данные	Индекс	Значение
Коэффициенты дополнительных выплат по заработной плате от 3 разряда по 5		
Часового фонд заработной платы	$K_{\text{доп}}$	1,14
Стажа и квалифицированность рабочего	$K_{\text{пф}}$	1,21
Условий труда рабочего	$K_{\text{у}}$	1,22
Ночных и вечерних часов работы	$K_{\text{н}}$	1,4
Премииальные	$K_{\text{пр}}$	1,2
Социальных нужд и услуг	$K_{\text{с}}$	1,45
Суммарная производительность доплат $K_{\text{зпл}} = K_{\text{д}} \cdot K_{\text{пф}} \cdot K_{\text{у}} \cdot K_{\text{н}} \cdot K_{\text{пр}} \cdot K_{\text{с}}$	$K_{\text{зпл}}$	4,09
Производительность загрузки оборудования по мощности	$K_{\text{м}}$	0,8
Производительность загрузки оборудования по времени	$K_{\text{в}}$	0,7
Производительность потери в сети	$K_{\text{п}}$	1,03
Производительность синхронной работы электродвигателей	$K_{\text{од}}$	0,81
Прибыль от продаж % от Ц: - изношенных оборудования - изношенного штампа	$B_{\text{р}}$ $B_{\text{р.и}}$	5 15
Производительность амортизации, %	$H_{\text{а}}$	16
Показатель расходов на цеха	$K_{\text{цех}}$	1,72

Продолжение таблицы 7.1

Начальные данные	Индекс	Значение
Прибыль от продаж % от Ц:		
- изношенных оборудований	V_p	5
- изношенного штампа	$V_{p.и}$	15
Производительность амортизации, %	H_a	16
Показатель расходов на цеха	$K_{цех}$	1,72
Часовая тарифная ставка, руб./час:		
- 3 разряд рабочего	C_T	72,84
- 4 разряд наладчика	C_T	90,26
Стоимость тарифа по электроэнергии, (руб./кВт)	$Ц_э$	2,81
Аренда одного квадратного метра в помещении (руб./м ²)	$Ц_{пл}$	4500
Производительность экономической эффективности	E_n	0,33

Таблица 7.2 – Описание оборудования

Производственное оборудование	Усилие (кН)	Временной норматив(мин).		Мощность M_y (кВт)	Площадь S_y (м ²)	Стоимость (руб.)
		$t_{шт}$	$t_{маш}$			
Существующий вариант						
Гильотинные ножницы Н3218В	250	0,015	0,017	10	9	273623

Продолжение таблицы 7.2

Производственное оборудование	Усилие (кН)	Временной норматив(мин).		Мощность M_y (кВт)	Площадь S_y (м ²)	Стоимость (руб.)
		$t_{шт}$	$t_{маш}$			
Пресс КА3132А	1600	0,109	0,026	20	15	250197
РУЕ 10	1000	0,101	0,028	17	8	200000
Предложенный вариант						
Гильотинные ножницы Н3218В	250	0,015	0,017	10	9	273623
Baltec	250	0,05	0,02	17.5	5	4000000
РУЕ 10	1500	0,101	0,028	17	8	200000

Таблица 7.3 – Начальные данные по штамповой оснастке

Наименование штампов	Стойкость штампа $T_{шт}$ (ударов)	Цена штампа $C_{шт}$ (руб.)
Оснастка исходного варианта		
Штамповая оснастка вырубная	400000	614000
Штамповая оснастка формовочная	500000	757000

Оснастка проектного варианта		
Штамповая оснастка пробивная	900000	50000
Штамповая оснастка пробивная	900000	50000
Штамповая оснастка формовочная	500000	757000

7.2 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	Расчетные формулы и расчет	Значение показателя	
		Начальный	Расчетный
Необходимое число оборудования, для выполнения годовой программы выпуска(ст.)	$n_{об} = t_{шт} \times N_{Г} / (\Phi_{Э} \times K_{ВН} \times 60)$	1	
	$n_{об}^{сущ1} = 0,015 \cdot 250 / (1818 \cdot 1,1 \cdot 60) = 0,00003 \approx 1$		
	$n_{об}^{сущ2} = 0,109 \cdot 250 / (1818 \cdot 1,1 \cdot 60) = 0,00027 \approx 1$	1	
	$n_{об}^{сущ3} = 0,101 \cdot 250 / (1818 \cdot 1,1 \cdot 60) = 0,0002 \approx 1$	1	
	$n_{об}^{пр1} = 0,015 \cdot 250 / (1818 \cdot 1,1 \cdot 60) = 0,00003 \approx 1$		1
	$n_{об}^{пр2} = 0,05 \cdot 250 / (1818 \cdot 1,1 \cdot 60) = 0,0001 \approx 1$		1
	$n_{об}^{пр3} = 0,101 \cdot 250 / (1818 \cdot 1,1 \cdot 60) = 0,00021$		1

Продолжение таблицы 7.4

<p>При выполнении работ расчет коэффициента загрузки оборудования</p>	$K_3 = n_{об.}^{Расч.} / n_{об.}^{Прин.}$ $K_3^{сущ} = 0,0003/1 = 0,0003$ $K_3^{сущ} = 0,00027/1 = 0,00027$ $K_3^{сущ} = 0,0002/1 = 0,0002$ $K_3^{пр} = 0,0003/1 = 0,0003$ $K_3^{пр} = 0,001/1 = 0,0001$ $K_3^{пр} = 0,0002/1 = 0,0002$	<p>0,00003 0,00027 0,0002</p>	<p>0,00003 0,0001 0,0002</p>
<p>Необходимое количество работников, для выполнения годовой программы деталей (чел.)</p>	$P_{оп} = [t_{шт} \times N_{г} \cdot (1 + K_{о}/100)] / (\Phi_{эп} \times K_{мн} \times 60)$ $P_{оп}^{сущ} = \frac{0,109 \cdot 250 \cdot 1 + \frac{11,8}{100}}{545 \cdot 1 \cdot 60}$ $= 0,0042$ $\approx 1 \cdot 3оп \cdot 2см$ $P_{оп}^{пр} = \frac{0,05 \cdot 250 \cdot 1 + \frac{11,8}{100}}{545 \cdot 1 \cdot 60}$ $= 0,0042$ $\approx 1 \cdot 3оп \cdot 2см$	<p>6</p>	<p>6</p>
<p>Необходимое количество штамповой оснастки для выполнения годовой программы выпуска (шт.)</p>	$n_{штамп} = N_{г} / T_{и.шт.}$ $n_{шт.оп.1} = \frac{250}{900000} = 0,0003 \approx 1$ $n_{шт.оп.2} = \frac{250}{900000} = 0,0003 \approx 1$ $n_{шт.оп.3} = \frac{250}{500000} = 0,0005 \approx 1$ $n_{шт.оп.1} = \frac{250}{400000} = 0,0006 \approx 1$ $n_{шт.оп.2} = \frac{250}{500000} = 0,0006 \approx 1$	<p>1.00 1.00 1.00 1.00 1.00</p>	<p>1.00 1.00 1.00</p>

7.3 Расчет капитальных вложений

Таблица 7.5 – Расчет капиталовложений

Числовой показатель	Расчетные числа и формулы	Значение показателя	
		Существующий	Проектный
Сумма капитальных вложений на покупку в оборудование (руб.)	$K_{\text{ОБ}} = n_{\text{ОБ}} \times C_{\text{ОБ}} \times K_3$ $K_{\text{ОБ}}^{\text{сущ}} = 1 \cdot 273623 \cdot 0,0003 + 1 \cdot 250197 \cdot 0,00027 + 1 \cdot 200000 \cdot 0,0002 =$ $K_{\text{ОБ}}^{\text{пр}} = 1 \cdot 273623 \cdot 0,0003 + 1 \cdot 4000000 \cdot 0,0001 + 1 \cdot 200000 \cdot 0,0002 = 4482$	190	411
Дополнительные расходы для производства (руб.)			
Числовой показатель	Расчетные числа и формулы	Значение показателя	
		Существующий	Проектный
Производственные расходы на доставку и установку оборудования(руб.)	$K_{\text{М}} = K_{\text{ОБ}} \times K_{\text{МОНТ}}$ $K_{\text{М}}^{\text{сущ}} = 190 \cdot 0,1193$ $K_{\text{М}}^{\text{пр}} = 411 \cdot 0,1 = 41$	19	41

Продолжение таблицы 7.5

Числовой показатель	Расчетные числа и формулы	Значение показателя	
		Существующий	Проектный
Производственные расходы на аренду помещения (руб.)	$K_{ПЛ} = n_{ОБ} \cdot S_y \cdot Ц_{ПЛ} \cdot K_3$ $K_{ПЛ}^{сущ} = 1 \cdot 9 \cdot 4500 \cdot 0,0003 + 1 \cdot 15 \cdot 0,00027 + 1 \cdot 8 \cdot 0,0002 = 37$ $K_{ПЛ}^{пр} = 1 \cdot 9 \cdot 4500 \cdot 0,0003 + 1 \cdot 5 \cdot 0,001 + 1 \cdot 8 \cdot 0,0002 = 7$	37	7
Сумма всех расходов	$K_{СОП} = K_M + K_{И} + K_{ПЛ}$	1371056	857048
Совокупность капитальных вложений (руб.)	$K_{общ} = K_{об} + K_{соп}$ $K_{ОБЩ}^{сущ} + 7628 + 1371775,6 = 3134350$ $K_{ОБЩ}^{пр} = 4482 + 857450,15 = 861942,15$	1371056	857459
Удельные капитальные вложения (руб.)	$K_{уд} = K_{общ} / N_r$ $K_{уд}^{сущ} = 1378743,6 / 250 = 5515$ $K_{уд}^{пр} = 861942,15 / 250 = 3429$	5515	3429

7.4 Подсчет себестоимости выпускаемой продукции по сравниваемым вариантам

Таблица 7.6 – Расчет себестоимости готового изделия по сравниваемым вариантам

Описание производственных затрат	Расчетные показатели и формула	Значение показателя	
		Существующий	Проектный
Производственные материальные расходы (руб.)	$M = (M_3 \times \Pi_M \times K_{ТЗ}) - (M_{ОТХ} \times \Pi_{ОТХ})$ $M^{сущ} = 0,86 \cdot 25,5 \cdot 1,030 - 1,785 \cdot 3,50 = 16,3$ $M^{пр} = 0,35 \cdot 25 \cdot 1,03 - 0,114 \cdot 3,50 = 8,6$	16,3	8,6
Производственные выплаты рабочим (руб.)	$З_{ПЛ} = P \times C_T \times \Phi_{ЭР} \times K_{ЗПЛ} \times K_3 / N_{Г}$ $З_{ПЛ} = 14 \cdot 72,84 \cdot 545 \cdot 4,09 \cdot 0,0003 / 250 = 2,72$	2,72	2,72
	$З_{ПЛ} = 14 \cdot 72,84 \cdot 545 \cdot 4,09 \cdot 0,0002 / 250 = 1,8$	1,8	1,8
	$З_{ПЛ}^{сущ} = 14 \cdot 90,24 \cdot 545 \cdot 4,09 \cdot 0,00027 / 250 = 3$	3	0.9
	$З_{ПЛ}^{пр} = 14 \cdot 72,84 \cdot 545 \cdot 4,09 \cdot 0,0001 / 250 = 0.9$	7.6	5.42

Продолжение таблицы 7.6

Описание производственных затрат	Расчетные показатели и формула	Значение показателя	
		Сущест вующий	Проектн ый
Расходование капитала на электроэнергию (руб.)	$P_{\text{э}} = (M_{\text{у}} \times t_{\text{маш}} \times K_{\text{од}} \times K_{\text{М}} \times K_{\text{В}} \times K_{\text{П}} \times C_{\text{э}}) / (KПД \times 60)$		
	$P_{\text{э}} = (10 \times 0,017 \times 0,8 \times 0,7 \times 0,81 \times 1,03 \times 2,81) / (0,70 \times 60) = 0,005$	0,005	0,005
	$P_{\text{э}} = (17 \times 0,028 \times 0,8 \times 0,7 \times 0,81 \times 1,03 \times 2,81) / (0,70 \times 60) = 0,014$	0,014	0,014
	$P_{\text{э}}^{\text{сущ}} = (20 \times 0,026 \times 0,8 \times 0,7 \times 0,81 \times 1,03 \times 2,81) / (0,70 \times 60) = 0,016$	0,016	0,011
	$P_{\text{э}}^{\text{пр}} = (17,5 \cdot 0,02 \cdot 0,8 \cdot 0,7 \cdot 0,81 \cdot 1,03 \cdot 2,81) / (0,70 \cdot 60) = 0,011$		
		0,035	0,03

Продолжение таблицы 7.6

Описание производственных затрат	Расчетные показатели и формула	Сущест вующий	Проектн ый
Затраты на амортизацию штамповый инструмент (руб.)	$P_{И} = (Ц_{ШТ} \times 1 - В_{Р.И}) / T_{И.ШТ.}$		
	$P_{И}^{сущ} = (614000 \cdot 1 - 0,15) / 400000 = 1,3$	1,3	
	$P_{И}^{сущ,пр} = (757000 \cdot 1 - 0,15) / 400000 = 1,28$	1,28	1,28
	$P_{И}^{пр} = (50000 \cdot 1 - 0,15) / 400000 = 0,047$		0,047
	$P_{И}^{пр} = (50000 \cdot 1 - 0,15) / 400000 = 0,047$	2,58	1,37

Продолжение таблицы 7.6

Описание производственных затрат	Расчетные показатели и формула	Существующий	Проектный
Расходы на содержание и эксплуатацию производственных площадей (руб.)	$P_{\text{ПЛ}} = S_y \times n_{\text{ОБ}} \times C_{\text{ПЛ}} \times K_3 / N_{\Gamma}$ $P_{\text{ПЛ}} = 9 \cdot 1 \cdot 4500 \cdot 0,0003 / 250 = 0,0486$ $P_{\text{ПЛ}}^{\text{сущ}} = 15 \cdot 1 \cdot 4500 \cdot 0,00027 / 250 = 8,1$ $P_{\text{ПЛ}} = 8 \cdot 1 \cdot 4500 \cdot 0,0002 / 250 = 0,0288$ $P_{\text{ПЛ}}^{\text{пр}} = 5 \cdot 1 \cdot 4500 \cdot \frac{0,0001}{250} = 0,009$	<p>0,0486</p> <p>0,073</p> <p>0,0288</p> <p>0,15</p>	<p>0,0486</p> <p>0,0288</p> <p>0,009</p> <p>0,167</p>
Зарплата наладчика (руб.)	$Z_{\text{НАЛ}} = (n_{\text{ОБ}} \times C_{\Gamma} \times \Phi_{\text{ЭР}} \times K_{3\text{ПЛ}} \times K_3) / (n_{\text{ОБСЛ}} \times N_{\Gamma})$ $Z_{\text{НАЛ}}^{\text{сущ}} = (1 \cdot 90,26 \cdot 545 \cdot 4,09 \cdot 0,00027) / (1 \cdot 250) = 0,24$ $Z_{\text{НАЛ}}^{\text{пр}} = (1 \cdot 90,26 \cdot 545 \cdot 4,09 \cdot 0,0001) / (1 \cdot 250) = 0,08$	0,24	0,08

Продолжение таблицы 7.6

Описание производственных затрат	Расчетные показатели и формула	Существующий	Проектный
Технологическая себестоимость (руб.)	$C_{\text{ТЕХ}} = M + Z_{\text{ПЛ}} + P_{\text{А}} + P_{\text{Э}} + P_{\text{И}} + P_{\text{ПЛ}} + Z_{\text{НА}}$ $C_{\text{ТЕХ}}^{\text{сущ}} = 16,3 + 7,6 + 0,00878$ $+ 0,035 + 2,58$ $+ 8,177 + 24 = 27$ $C_{\text{ТЕХ}}^{\text{пр}} = 8,6 + 5,42 + 0,025$ $+ 0,003 + 1,37$ $+ 0,167 + 0,08$ $= 15,6$	27	15.6
Общепроизводственные расходы (руб.)	$P_{\text{ЦЕХ}} = Z_{\text{ПЛ}} \times K_{\text{ЦЕХ}}$ $P_{\text{ЦЕХ}}^{\text{сущ}} = 7,6 \cdot 1,75 = 13,3$ $P_{\text{ЦЕХ}}^{\text{пр}} = 5,42 \cdot 1,75 = 9,5$	13.3	9.5
Общепроизводственная (цеховая) себестоимость (руб.)	$C_{\text{ЦЕХ}} = P_{\text{ЦЕХ}} + C_{\text{ТЕХ}}$ $C_{\text{ЦЕХ}}^{\text{сущ}} = 13,3 + 27 = 40$ $C_{\text{ЦЕХ}}^{\text{пр}} = 15,6 + 9,5 = 25$	40	25

7.5 Расчет экономического эффекта проектного варианта

Таблица 7.7 – Экономическая выгода производства

Показатель	Расчет и формула	Значение показателя	
Приблизительная экономия за год от снижения себестоимости изделия (руб.)	$\mathcal{E}_{\text{уг}} = (C_{\text{пех}}^{\text{сущ}} - C_{\text{цех}}^{\text{пр}}) \cdot N_{\text{г}}$ $\mathcal{E}_{\text{уг}} = 40 - 25 \cdot 250$ $= 3750$	3750	
Сумма производственных затрат(руб.)	$Z_{\text{пр}} = C_{\text{цех}} + E_{\text{н}} \cdot K_{\text{уд}}$ $Z_{\text{пер}}^{\text{сущ}} = 40 + 0,33 \cdot 5515$ $= 1815$ $Z_{\text{пер}}^{\text{пр}} = 25 + 0,33 \cdot 3448$ $= 1162$	1815	1162
Годовой экономический эффект(руб.)	$\mathcal{E}_{\text{г}} = (Z_{\text{пер}}^{\text{сущ}} - Z_{\text{пер}}^{\text{пр}}) \cdot N_{\text{г}}$ $\mathcal{E}_{\text{г}} = 1815 - 1162$ $\cdot 250$ $= 163250$	163250	
Срок окупаемости капиталовложений в производство(год)	$T_{\text{ок}} = K_{\text{и}}^{\text{пр}} / \mathcal{E}_{\text{уг}}$ $T_{\text{ок}} = \frac{857000}{163250} = 5,3 \approx 5$	5	

Вывод:

В результате внедрения нового технологического процесса изготовления детали «Нижняя крышка сцепления» себестоимость продукции снизилась с 40.3 рублей до 25.1 рублей.

При сроке окупаемости необходимых материальных вложения на оборудование, площади, зарплаты и другие не малозначимые факторы, в 5 лет и 4 месяца. Экономический годовой эффект равен 163250 руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ВКР был разработан и проанализирован техпроцесс изготовления детали «Нижняя крышка сцепления». Для предлагаемого техпроцесса сделаны расчеты основных технологических параметров. Был рассчитан размер заготовительного листа с учетом корректировки на механическую обработку после пошаговой пробивки заготовки по контуру и особенности самой операции, определены энергосиловые параметры техпроцесса, было выбрано оборудование для выполнения операций нового технологического процесса. Был произведен анализ опасных и вредных факторов. Рассчитана себестоимость изготовления детали и годовая экономия от внедрения новой принципиальной схемы получения заготовки. На основании всех выполненных работ и анализов, можно сделать вывод о том, что цель ВКР достигнута.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Improving the Productivity of Sheet Metal Stamping Subassembly Area Using the Application of Lean Manufacturing Principles, Bali Indonesia, JuthamasChoomlucksana, MonsiriOngsaranakorn, Phrompong Suksabai.<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978915000918>
2. Expert System Applications in Sheet Metal Forming, 2010, R. Ganesh Narayanan, <http://www.intechopen.com/books/expert-systems/expert-system-applications-in-sheet-metal-forming>
3. CAD/CAM and Die Face Design in Sheet Metal Forming, 2006, D. J. Schaeffler, E. J. Vineberhttp://www.asminternational.org/web/fas/technical-resources1/-/journal_content/56/10192/ASMHBA0005150/PUBLICATION;jsessionid=7B4126585CFADB4BBA83DCC2D01AD585?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view
4. Design of experimental vehicle specified for competition Shell Eco-marathon 2017 according to principles of car body digitation based on views in 2D using the intuitive tool Imagine&Shape CATIA V5, Slovakia, Michal Fabian. <https://www.semanticscholar.org/paper/Design-of-experimental-vehicle-specified-for-Shell-Fabian-Pusk%C3%A1r/e7d6774eebac3c3f7f3c0f8d050b2409a7d56279>
5. Computer Aided Blanking Die Design using CATIA, Riyadh, Saudi Arabia, H. M. A. Hussein.<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827114006027>
6. Охрименко Я.М. Технология кузнечно-штамповочного производства. – М.: Машиностроение, 1976. – 560 с.

7. Дорфман В. С. Современные материалы в автомобилестроении: Справочник. / В. С. Дорфман, Н. И. Летчфорд, Э. Н. Либерман и др.- Москва, Машиностроение, 1977 – 271с.
8. Скороходов Е. А. Общетехнический справочник / Е. А. Скороходов, В. П. Законников, А. Б. Пакнис и др.; - Москва, Машиностроение, 1990 – 496с. – ISBN 5-217-00423-1
9. Великанов К. М. Экономика и организация производства в дипломных проектах: учеб.пособие / К. М. Великанов, В. Ф. Власов, К. С. Карандашова – Ленинград, Машиностроение, 1973 – 256с.
- 10.ПочекуевЕ.Н.
Проектирование штампов для последовательной листовой штамповки в системе NX / Е. Н. Почекуев, П. А. Путеев, П. Н. Шенбергер. - Москва : ДМК Пресс, 2012. - 331 с. : ил. - Библиогр.: с. 328 . - Предм. указ.: с. 329-331. - Прил.: с. 305-327. - ISBN 978-5-94074-858-8 : 665-00.
- 11.СкрипачевА.В. Технологичность листовых штампованных деталей. Методические указания по технологии листовой штамповки / А.В. Скрипачев, И.Н. Матвеевко. – Тольятти: ТолПИ, 1992.
- 12.Смолин Е.Л. Основы конструирования штамповой оснастки: учебное пособие. Тольятти: ТГУ, 2007. – 72 с.
- 13.Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке / В.П. Романовский. – Л.: Машиностроение, 1979. – 568 с.
- 14.Амиров Ю. Д. Технологичность конструкции изделия: Справочник / Ю. Д. Амиров, Т. К. Алферова, П. Н. Волков и др.; - Москва, Машиностроение, 1990 - 768с. ISBN 5-217-01121-1
- 15.Косилова А. Г. Справочник технолога-машиностроителя. В двух томах. Том 1. / А. Г. Косилова, Р. К. Мещеряков. – Москва: Машиностроение, 1972 – 694 с.
- 16.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
- 17.Панов А. А. Обработка металлов резанием: Справочник технолога / А. А. Панов, В. В. Аникин, Н. Г. Бойм и др. ; Под общ. Ред. А. А. Панова. – Москва: Машиностроение, 1988 – 736с. ISBN 5-217-00032-5
- 18.Малов А. Н. Общетехнический справочник / А. Н. Малов – Москва, Машиностроение, 1971 - 464с.
- 19.Барташев Л. В. Справочник конструктора и технолога по технико-экономическим расчетам / Л. В. Барташев – Москва, Машиностроение, 1979-221с.
- 20.Данилов Ю.В., Артамонов В.А. Практическое использование NX. М.: ДМК Пресс, 2011. – 332 с.