



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

ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ  
Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

УТВЕРЖДАЮ  
Завкафедрой «СОМДиРП»  
В.В. Ельцов  
(Подпись) (И.О. Фамилия)  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение бакалаврской работы**

Студент: Игнатьев Михаил Вячеславович

1. Тема: «исследование процесса моделирования листовой штамповки детали на основе методов численного моделирования»

2. Срок сдачи студентом законченной выпускной квалификационной работы \_\_\_\_\_

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе технологический процесс изготовления коробчатой детали ступенчатой формы, параметры материала

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов, разделов) 1) Основы САЕ анализа листовой штамповки 2) анализ технологического процесса 3) формирование 3D геометрии заготовки и инструмента 4) создание материала заготовки и инструмента 5) моделирование процесса листовой штамповки 6) Безопасность и экологичность проекта 7) экономическое обоснование проекта

5. Ориентировочный перечень графического и иллюстративного материала: презентационный материал.

6. Консультанты по разделам:

И.В.Краснопевцева

Л.Н. Горина

В.Г. Виткалов

7. Дата выдачи задания « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Руководитель выпускной  
квалификационной работы

\_\_\_\_\_  
(Подпись) (И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_  
(Подпись) (И.О. Фамилия)

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

ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ  
Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой «СОМДиРП»

\_\_\_\_\_ В.В. Ельцов

(Подпись)

(И.О. Фамилия)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_ г.

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Выполнения выпускной квалификационной работы

Студента: Игнатъев Михаила Вячеславовича

По теме: «Исследование процессов моделирования листовой штамповки детали на основе методов численного моделирования»

Наименование раздела работы	Плановый срок выполнения раздела	Фактический срок выполнения раздела	Отметка о выполнении	Подпись руководителя
Основы CAE-анализа листовой штамповки в LS-DYNA и LS-PREPOST				
Анализ технологического процесса изготовления коробчатой детали ступенчатой формы				
Формирование 3-D геометрии заготовки и инструмента				

Создание материала заготовки и инструмента				
Моделирование процесса листовой штамповки в LS-DYA и LS-PREPOST (сравнение процессов)				
Безопасность и экологичность проекта				
Экономическая часть проекта				

Руководитель выпускной  
квалификационной работы

\_\_\_\_\_  
(Подпись)

\_\_\_\_\_  
(И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_  
(Подпись)

\_\_\_\_\_  
(И.О. Фамилия)

## **Аннотация**

В данной бакалаврской работе представлено исследование процесса моделирования листовой штамповки коробчатой детали ступенчатой формы, основанного на вытяжном пуансоне опоры передней подвески. Моделирование геометрии осуществлялось при помощи CAD-системы SIEMENS NX 9.0 PLM Software. CAE-анализ был осуществлен на основании программных продуктов LS-PREPOST и LS-DYNA.

В первой части бакалаврской работы рассматриваются основы CAE-анализа, применяемого в листовой штамповке в LS-PREPOTS и LS-DYNA.

Во второй главе проводится анализ технологического процесса – определение формы и размеры исходной заготовки, коэффициент угловой вытяжки и т.д.

Далее в работе описан процесс создания 3D-моделей детали и инструмента при помощи CAD-приложения системы SIEMENS NX 9.0 PLM Software.

В четвёртом разделе представлено описание процедуры создания материала детали и инструмента, так же выполнены пояснения к параметрам материала.

В следующем разделе подробно описано моделирование процесса вытяжки детали в LS-PREPOTS и LS-DYNA.

В бакалаврской работе рассмотрена безопасность и экологичность проекта, а также осуществлено его экономическое обоснование.

Объём пояснительной записки 64 страницы, объём графического материала 6 листов.

## Содержание

Введение.....	8
1. Основы CAE-анализа листовой штамповки в LS-DYNAи LS-PREPO.....	10
2. Анализ технологического процесса изготовления коробчатой детали ступенчатой формы .....	15
2.1. Анализ вытяжки.....	17
2.2. Определение размеров исходной заготовки.....	20
3. Формирование 3D геометрии заготовки и инструмента.....	23
4. Создание материала заготовки и инструмента.....	26
5. Моделирование процесса листовой штамповки в LS-PREPOST и LS-DYNA. ....	31
5.1. Моделирование базового процесса листовой штамповки коробчатой детали ступенчатой формы.....	31
5.1.1 Первая вытяжка.....	31
5.1.2. Вторая вытяжка.....	35
5.1.3. Изменение в процессе.....	37
5.2. Моделирование проектного процесса листовой штамповки коробчатой детали ступенчатой формы.....	38
5.2.1. Первая вытяжка с увеличенными радиусами матрицы.....	38
5.2.2.Вторая вытяжка с дополнительными радиусами в матрице.....	39
5.2.3. Калибровка радиусов.....	39
5.2.4.Дополнительная калибровка радиусов.....	41
5.2.5. Обрезка фланца.....	42
6. Безопасность и экологичность проекта.....	43

6.1	Технологическая характеристика объекта.....	43
6.2	Идентификация профессиональных рисков.....	44
6.3	Методы и средства снижения профессиональных рисков.....	45
6.4	Обеспечение пожарной безопасности технического объекта.....	39
6.5	Обеспечение экологической безопасности технического объекта.....	52
	Вывод.....	55
7.	Экономическая часть проекта.....	53
7.1	Определение трудоемкости и длительности выполнения каждого этапа работ.....	53
7.2	Построение линейного план-графика.....	55
7.3	Расчет затрат на проведение бакалаврской работы.....	59
7.4	Расчет экономической эффективности.....	60
	Заключение.....	61
	Список используемых источников.....	62

## Введение

В данной дипломной работе рассмотрено исследование процесса моделирования листовой штамповки с помощью программных продуктов используемых для CAE-анализа, а именно LS-DYNA и LS-PREPOST. Их преимуществом является способность решить множество задач тесно связанных с листовой штамповкой, а именно:

- 1) Решение задач на проверку деформации, напряжений и т.д.
- 2) Возможность проверки на технологичность процесса при заданных условиях.
- 3) Возможность анализа геометрии созданной в CAD-системах.
- 4) Возможность с достаточно большой точностью определить погрешности в изделии и инструменте.

Холодная листовая штамповка является видом обработки металлов давлением, объединяющим несколько технологических процессов, осуществляемых холодной пластической деформацией при помощи различных вариаций штампов, при помощи которых и проходит деформация материала и выполняющих требуемую операцию [1].

Холодная листовая штамповка является одним из наиболее прогрессивных технологических методов производства; она имеет ряд преимуществ перед другими видами обработки металлов, как в технологическом, так и в экономическом отношении [1].

В экономическом отношении она обладает следующими преимуществами:

- Экономическим использованием материала и сравнительно небольшими отходами.
- Высокой производительностью оборудования, с применением механизации и автоматизации производственных процессов.
- Массовым выпуском и низкой стоимостью изготавливаемых изделий [1].



Во время вытяжки деталей возникает вопрос о повышении качества изделия в сочетании с требуемыми свойствами. Что бы избежать лишних затрат на испытания, часто применяется способ математического моделирования штамповки при помощи CAD/CAE программных продуктов, например, NX 9.0 Siemens PLM Software, LS-DYNA и LS-PREPOST. Применение данных программ позволяет не только избежать перерасхода фонда, а так же существенно снизить затраты на время, необходимое на проведение испытаний образцов и проектирование штамповой оснастки.

**Цель дипломной работы:** повышение качества изготовления детали за счёт выбора оптимальной формы и размеров заготовки, а так же инструмента, на основе численного анализа технологического процесса изготовления коробчатой детали ступенчатой формы.

Для достижения поставленной цели, необходимо решить следующие задачи:

- Выполнить исследование особенностей CAE-анализа процессов листовой штамповки, с помощью программных продуктов LS-PREPOST и LS-DYNA.
- Провести анализ технологического процесса, получения коробчатой детали ступенчатой формы.
- Сформировать 3D-заготовку детали и инструмента.
- Создать материал заготовки и инструмента в виде базы данных.
- Выполнить моделирование процесса листовой штамповки в LS-PREPOST и LS-DYNA.
- Проверить проект на экологичность и безопасность.
- Провести расчёт экономической части дипломной работы.

# 1. Основы CAE-анализа процессов листовой штамповки в LS-DYNA и LS-PREPOST

CAE (Computer-Aided Engineering) – общее название для программ и программных пакетов, предназначенных для решения инженерных задач: расчётов, анализа и симуляции физических процессов. По-другому их можно назвать программными продуктами, которые позволяют понять, как поведёт себя в реальных условиях смоделированная на компьютере 3D-модель детали.

CAE-системы выполняют ряд разнообразных задач по расчёту напряжений, деформаций, теплообмена, распределения магнитного поля, потока жидкостей и т.д. Для решения этих задач было разработано большое количество программ, каждая из которых обладает собственным функционалом для решения определённых задач. CAE-системы применяются во многих отраслях промышленности, таких как машиностроение и станкостроение, оборонная и аэрокосмическая промышленность, энергетика, судостроение, химическая промышленность, строительство и т.д.

При помощи CAE-систем моделируются множество операций, таких как:

- Определение траектории движения и скорости объекта.
- Анализ работы сложных электронных цепей.
- Термический и гидродинамический анализ.
- Кинематические исследования.
- Моделирование процессов литья под давлением.
- Оптимизация продуктов или процессов.
- и т.д.

В настоящее время разработчики CAE-систем стремятся расширить их возможности и область применения. В частности решаются следующие задачи:

- Улучшение методов решения задач моделирования.
- Создание новых платформ для интеграции различных CAE-систем.
- Усовершенствование методов построения расчётных сеток, вычислений и других возможностей CAE-систем.
- Оптимизация CAE-систем для компьютерных платформ, как малой мощности, так и многоядерными процессорами.
- Улучшение характеристик моделей, которые применяются для описания свойств материалов.

Основа CAE - технология, заключающаяся в применении компьютерного программного обеспечения для анализа геометрии созданной в CAD-системах, моделирование продукта и испытания его при заданных условиях для улучшения и оптимизации конструкции как самого продукта, так и его инструмента.

Работа с CAE-программами начинается с предварительного определения характеристик анализируемой модели и учёта факторов внешней среды, воздействующей на неё. Полученные данные подвергаются анализу и последующему принятию более подходящего решения, необходимого для правильного расчёта.

В основу CAE-анализа заложены математические расчёты, такие как метод конечных элементов, метод конечных разностей, метод конечных объёмов. В данной выпускной квалификационной работе, для анализа процесса листовой штамповки использовался метод конечных элементов.

В методе конечных элементов структура модели представлена набором элементов, которые могут обрабатываться компьютером после того, как будут разбиты на отдельные части. Основная задача метода конечных элементов заключается в анализе прочности и расчёте задач связанных с деформаций. Так же МКЭ используется для решения множества инженерных задач, таких как задача механики жидкости, сплошных сред, статики и динамики.

Метод конечных элементов является наиболее распространённым среди инструментов используемых для анализа характеристик конструкций, подвергаемых различным нагрузками. МКЭ даёт возможность решать задачи для деталей сложной конструкции, посредством разбивания этих деталей на более мелкие части – конечные элементы.

После того как деталь была разбита на более мелкие элементы расчёты проводятся для отдельных конечных элементов. Точки, соединяющие элементы, называются узлами, и в совокупности образуют конечную элементную сетку.

Этап выделения конечных элементов является наиболее важным этапом т.к. от разбиения зависит точность полученных результатов.

Изменение размеров элементов позволяет учитывать концентрацию напряжений, температуру, свойства используемого материала и т.д.

Вначале область делится на довольно большие части, границы которых проходят в местах изменения свойств материала, геометрии, приложенная нагрузка и др. После этого каждая большая часть делится на более маленькие элементы, при этом стараются избегать резкого изменения размеров элементов на границах.

Для решения задач связанных с методом конечных элементов используют разнообразные программы. В данной дипломной работе рассматриваются программные продукты LS-PREPOST и LS-DYNA.

LS-PREPOST – программный продукт, предназначенный для создания конечно-элементной модели детали и инструмента. В функционал программы входят, такие важные функции, как выбор материала испытываемого объекта, расположения модели в пространстве, редактирование сетки конечных элементов и геометрии заданных тел, указание параметров моделируемого процесса или явления, а так же формирование выходного файла расчёта.

В данной дипломной работе программа LS-PREPOST будет использована в качестве препроцессора, а так же в качестве постпроцессора для просмотра модели полученной после анализа операции, возможных дефектов, построения FLD-диаграмм, просмотра утонения материала и т.д.

Разработанная база данных со всеми заданными значениями сохраняется в виде файла с расширением «k». Этот файл может быть запущен в решателе LS-DYNA. После расчёта файл («\*.d3plot») можно запускать в постпроцессоре LS-PREPOST.

LS-DYNA – многоцелевая программа использующая постановку метода конечных элементов, для расчёта статических и динамических процессов (в том числе и процессов, приводящих в разрушению). Полностью автоматизированный процесс решения задач, в совокупности с множеством функций по проверке получаемого решения, представляемых программой, позволяет инженерам успешно и без особых затруднений решать задачи связанные со следующими процессами:

- Формование металла (прокат, выдавливание, штамповка, литьё, вытяжка, волочение и т.д.).
- Анализ безопасности пассажира (используется для проверки взаимодействия подушки безопасности и виртуальной модели человека).
- Резка металла.
- Расчёт всевозможных ситуаций связанных с ударами.
- Электронные компоненты.
- Взрывная нагрузка.
- Моделирование землетрясений.
- Расчёт грузоподъёмности.
- Взаимодействие потоков жидкости и газа с конструкцией.
- Биомедицинское приложение.
- Анализ ячеистых, сотовых и тонкостенных кессонных конструкций.

- Птицестойкость.
- Краш-тесты.

Система LS-DYNA применяется для решения задач холодной объёмной и листовой штамповки, моделирования процессов гибки, обрезки профиля различными видами ножей, вырубки заготовки в лентах, осадки заготовок и т.д.

Пакет LS-DYNA позволяет описывать возможные контактные взаимодействия, в том числе при больших деформациях конструкций с образованием складок, а так же моделировать разрушение материала в процесс деформирования при выполнении заданных пользователем критериев разрушения [2].

## 2. Анализ технологического процесса изготовления коробчатой детали ступенчатой формы

Для проведения численного моделирования был выбран технологический процесс изготовления коробчатой детали ступенчатой формы. Материалом детали служит сталь 08пс. Заготовка вырубается из ленты шириной 400 мм и толщиной 0.9 мм. Проведение САЕ-анализа допускает в процессе численного моделирования отсутствие жесткой привязки к конкретному оборудованию, используемому в технологическом процессе. Данное допущение было сделано в рамках выполнения дипломной работы.

Процесс состоит из следующих операций:

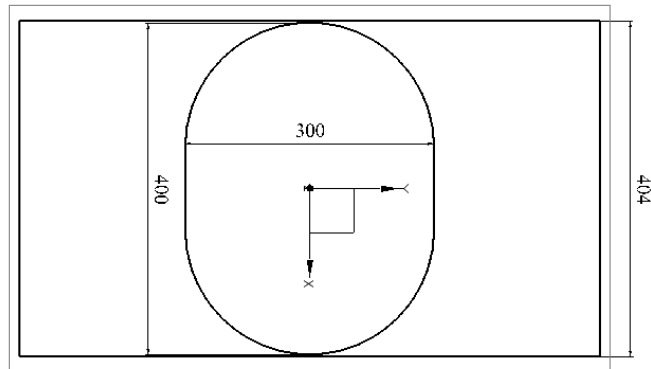


Рисунок 2.1 - Операция 10: вырубка заготовки

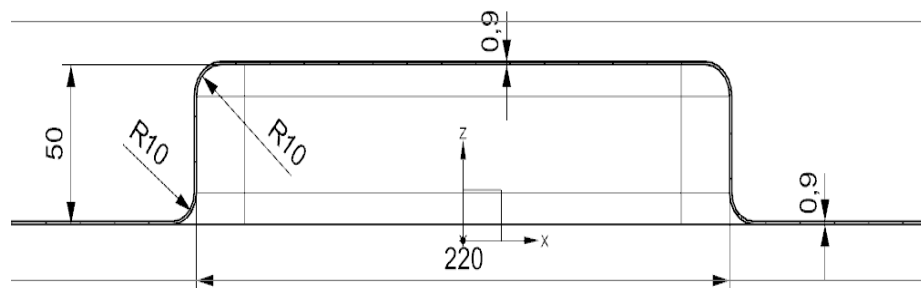


Рисунок 2.2. – Операция 20 первая вытяжка коробчатой детали

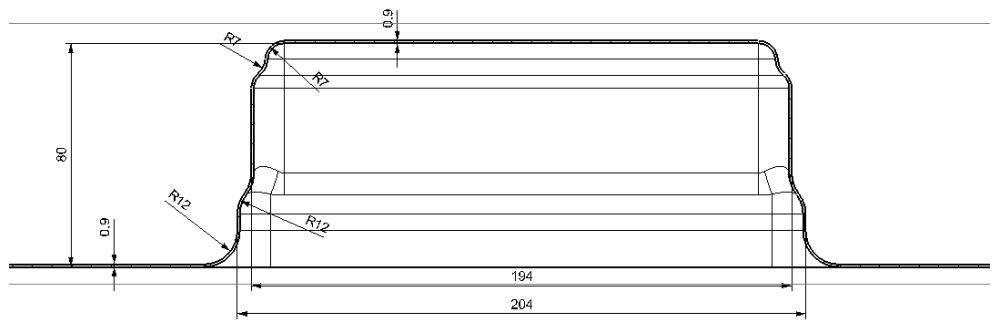


Рисунок 2.3 – Операция 30 вторая вытяжка коробчатой детали с получением ступеней на детали

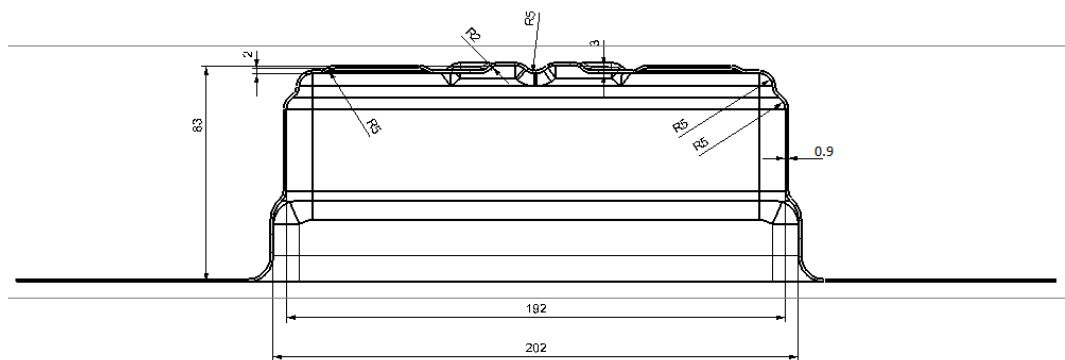


Рисунок 2.4 – Операция 40 калибровка радиусов детали

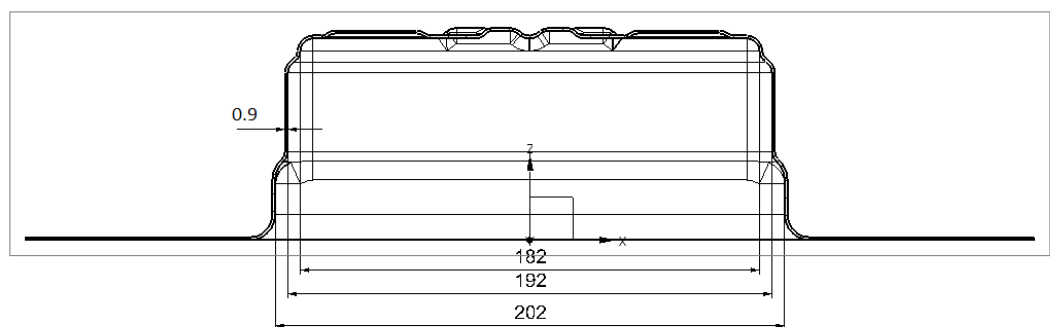


Рисунок 2.5 – операция 50 дополнительная калибровка радиусов



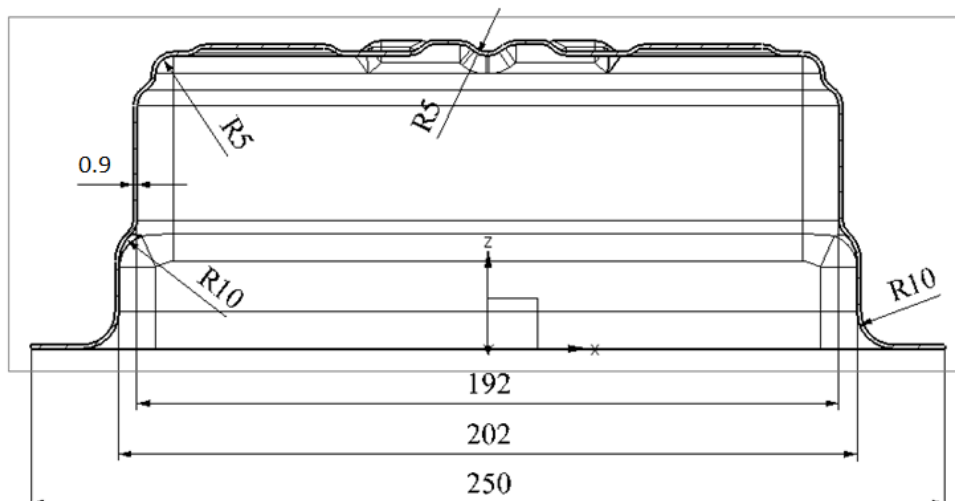


Рисунок 2.7 – Операция 60 Обрезка фланца

## 2.1 Анализ вытяжки

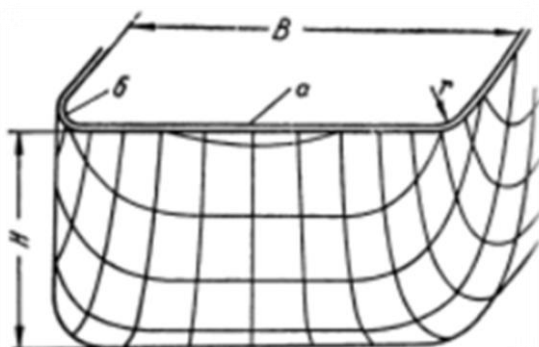
Вытяжка представляет собой процесс превращение плоской заготовки в полую деталь любой формы (или дальнейшее изменение её размеров) и проводится на вытяжных штампах. Вытяжка происходит за счёт пластической деформации, сопровождаемой смещением значительного объёма металла в высоту.

Вытяжка прямоугольных деталей (коробок) является сложным процессом холодной штамповки, так как в данном случае деформация вдоль периметра прямоугольной детали переменна.

На рисунке 2.8 показана деформация прямоугольной координатной сетки, нанесенной на заготовку. Из рисунка видно, что боковые стенки не просто отгибаются, а претерпевают более сложную деформацию, состоящую из сжатия (укорочения) вдоль периметра, удлинения в вертикальном направлении и некоторого увеличения толщины стенок в верхней части детали.

Таким образом, распространенное представление о том, что вытяжка происходит лишь в углах прямоугольной детали, а прямые стенки просто отгибаются, является упрощенным и недостаточно точным.

Рисунок 2.8 – Деформация прямоугольной координатной сетки



Существующие методы расчета заготовок для вытяжки прямоугольных коробок охватывают лишь отдельные частные случаи без четкого указания пределов их применения.

Зачастую оказывается, что методы расчета, применяемые в одном случае, не пригодны при вытяжке аналогичных коробок, но с другими соотношением размеров. Это происходит потому, что способ расчета и построения формы заготовки коробки  $\frac{H}{B}$  и относительного радиуса углового закругления  $\frac{r}{B}$  так как от их соотношения зависит степень вытеснения металла из угловых закруглений в боковые стенки коробки и увеличение их высоты.

В зависимости от сочетания указанных параметров коробки в различной степени вытеснения металла в боковые стенки установлены отдельные области (рисунок 2.9), которым соответствуют разные способы построения формы заготовки. В результате этого были уточнены пределы применения существующих методов расчета и установлены способы построения заготовок для случаев, ранее не рассматривавшийся в технической литературе

Кривые I и II указывают наибольшую высоту коробок, вытягиваемых в одну операцию при относительной толщине заготовок.

Выше этих граничных кривых находится область многооперационной вытяжки ( $I_a$ — $I_c$ ), а ниже — область одно операционной вытяжки. Последняя подразделена в справочнике по холодной штамповке Романовским [1] на три отдельных области  $II_a$ ;  $II_b$ ;  $II_c$  по степени вытеснения металла из угловых закруглений в боковые стенки коробки.

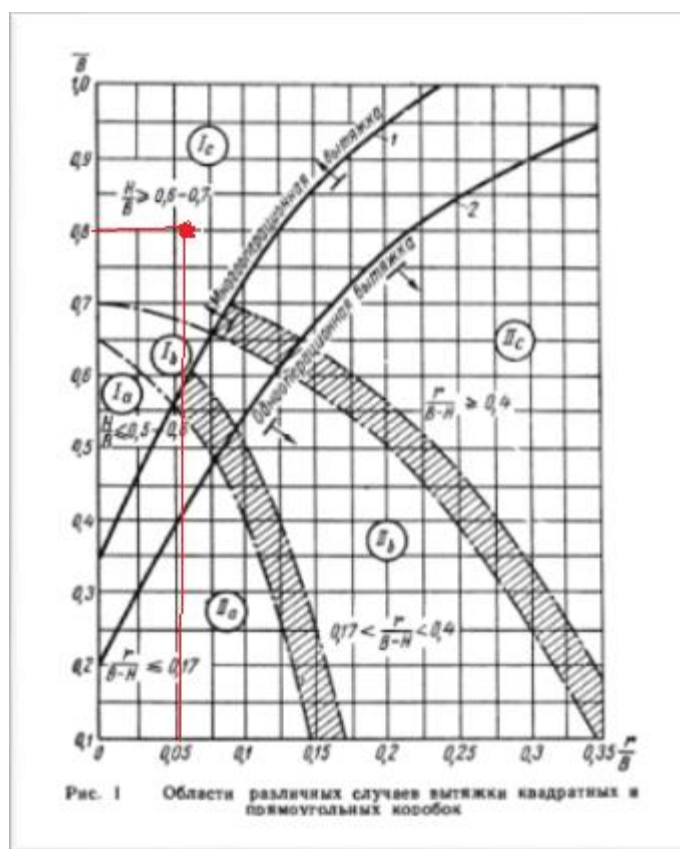


Рисунок 2.9 - Области различных случаев вытяжки квадратных и прямоугольных коробок

В данном случае отношение  $\frac{H}{B}$  и  $\frac{r}{B}$  равны 0.8 и 0.05 соответственно. Таким образом вытяжка проходит в области  $I_c$ , что является областью многооперационной вытяжки для относительно высоких коробок.

Область многооперационной вытяжки может быть подразделена на два участка  $I_a$  и  $I_c$  разным соотношением относительных высот и радиусов угловых

закруглений, влияющих на форму и способ построения заготовки. Участок 1б является переходной зоной между 1а и 1с.

К области 1а относится вытяжка сравнительно невысоких квадратных и прямоугольных коробок ( $H < 0.8B$ ), но с малыми радиусами закруглений, которые трудно или невозможно вытянуть за одну операцию. Вторая операция применяется для уменьшения (калибровки) угловых и донных закруглений.

## 2.2. Определение формы и размеров исходной заготовки

При многооперационной вытяжке высоких квадратных и прямоугольных коробок с относительной высотой  $H/B > 0.7 - 0.8$  (область 1с) заготовка имеет форму круга или овала.

Размеры заготовки определяют из равенства суммарной поверхности элементов коробки и плоской заготовки.

Используя средства автоматизированного проектирования NX (функционал анализ формуемости – одношаговый), произведено моделирование развёртки (рисунок 2.10)

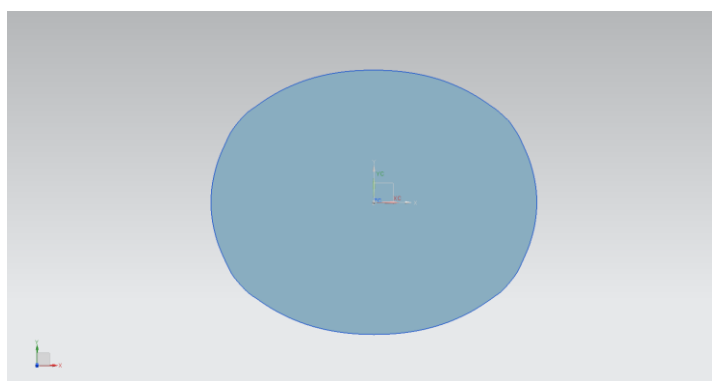


Рисунок 2.10. – Развёртка

Величина развертки в продольном и поперечном сечениях равна соответственно:

$$L_{\text{поперечное}} = 260 \text{ мм},$$

$$L_{\text{продольное}} = 340 \text{ мм}$$

Добавляем 15% на технологические припуски в продольном сечении:

$$L_{\text{поперечное}} = 260 + (260 \cdot 0.15) = 299 \text{ мм}$$

Применяется значение 300 мм.

$$L_{\text{продольное}} = 340 + (340 \cdot 0.15) = 391 \text{ мм}$$

Добавляем 15% длины заготовки на технологические припуски:

Применяется значение 400 мм.

Предварительный подсчет требуемого количества операций вытяжки производится по общей величине деформации, необходимой для превращения плоской заготовки в прямоугольную коробку. Здесь пригоден метод подсчета, аналогичный методу, применяемому при расчетах многооперационной вытяжки цилиндрических деталей по коэффициентам вытяжки. Эти коэффициенты представляют собой отношение периметров вытянутой детали и заготовки.

Таким образом, предельная величина коэффициентов вытяжки представляет собой отношение длины периметра наименьшей детали, которую можно вытянуть за одну операцию, к длине контура заготовки, или к длине периметра детали предыдущей операции. При вытяжке прямоугольных коробок вопрос усложняется тем, что геометрическая форма контура заготовки и коробчатой детали разные, следствием чего является неравномерное распределение деформаций по контуру, однако результирующая усредненная деформация та же: длина контура заготовки уменьшается и становится равной длине периметра коробки.

Для предварительного определения количества операций вытяжки вполне допустимы некоторые упрощения подсчетов длины контура. Так, при подсчете длины контура коробчатых деталей в большинстве случаев можно не

учитывать радиусы угловых закруглений (за исключением коробок с очень большими радиусами закруглений), а длину овального контура можно приравнять длине окружности диаметр которой равен полусумме осей овала.

При вытяжке прямоугольной коробок {200 X 100} из овальной заготовки (340X260) коэффициент вытяжки равен:

$$M_{об} = \frac{2(A+B)}{0.5\pi(L+K)} = 1.27 \frac{A+B}{L+K} = \frac{2(200+100)}{0.5\pi(300+400)} = 1.27 \frac{200+100}{300+400} = 0.6$$

Количество операций, необходимых при многооперационной вытяжке коробчатых деталей, может быть определено [1, табл. 66, стр. 145] в зависимости от общего коэффициента вытяжки  $m_{об}$  относительной толщины заготовки  $(S/D) \times 100$  или  $S/(340+260) \times 200$ .

Так как коэффициент вытяжки = 0.6, а относительная толщина = 2.9, количество операций вытяжки, необходимых для выполнения процесса равно 4.

Расчёт радиуса  $R_{n-1}$  перехода выполняется по формуле:

$$R_{y_{n-1}} = 0.5B_y + b_n \quad (2.2)$$

$$200 + 2 \cdot 9 = 30 \text{ мм}$$

Расчёт размеров  $R_{n-1}$  перехода выполняется по формулам:

$$B_{n-1} = B + 2a_n \quad (2.3)$$

$$200 + 2 \cdot 9 = 218$$

$$A_{n-1} = A + 2b_n \quad (2.4)$$

$$100 + 2 \cdot 9 = 118$$

### 3. Формирование 3D-геометрии заготовки и инструмента

Формирование геометрии заготовки и инструмента производилось в программном продукте NX 9.0. SIEMENS PLM Software. Для проведения численного анализа была сформирована следующая 3D геометрия:

1. Электронная модель детали – файл detal.prt (рисунок 3.1).
2. Первой операцией является булева операция вырубki заготовки из ленты, для этого были построены плоскость, имитирующая ленту, и контур, по которому осуществляется обрезка необходимой заготовки (файл lenta) - рисунок 3.2.
3. Следующая операция – вытяжка на глубину 50 мм, с размерами 218 (ширина) и 118 (длина). Понадобилось построить необходимый инструмент, а именно электронные модели:
  - Пуансон с прижимом (файл puanson1) - рисунок 3.3.
  - Матрица (файл matrica1) - рисунок 3.4.
4. Вторая вытяжка выполняется на глубину 80 мм и с размерами 200 мм(ширина) и 100 мм (длина). Для придания заготовки нужной ступенчатой формы, инструмент для второй вытяжки выполнен с соответствующими ступенями. Сформированы электронные модели:
  - Пуансона и прижима (файл puanson2) рисунки 3.5 и 3.6.
  - Матрицы (файл matrica2) рисунок 3.7.
5. Следующая операция предназначена для увеличения точности изготавливаемой детали и носит название калибровка.  
Электронные модели:
  - Пуансон с прижимом (файл puanson 3) - рисунок 3.8.
  - Матрица (файл matrica 3) - рисунок 3.9.
6. Последней операцией является обрезка фланца. Для выполнения обрезки строится контур, по которому будет обрезаться отход.  
Электронная модель – (файл kontur) рисунок 3.10.

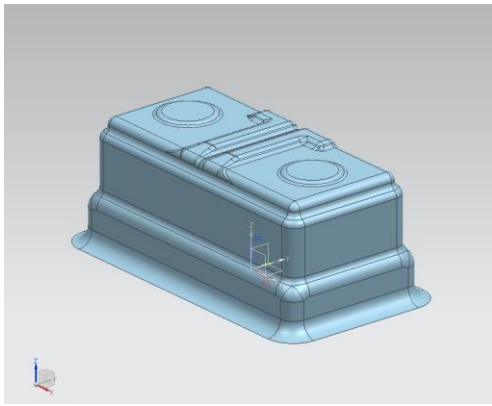


Рисунок 3.1 - 3D-модель  
коробчатой детали  
ступенчатой формы

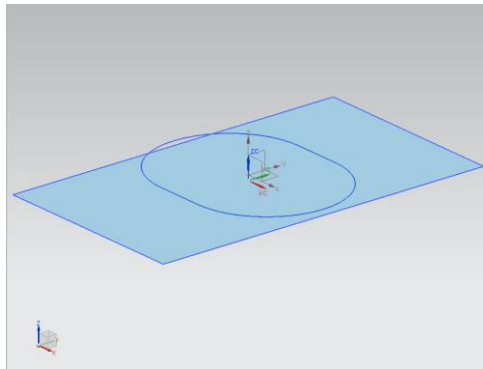


Рисунок 3.2 – 3D модель ленты и  
линии реза

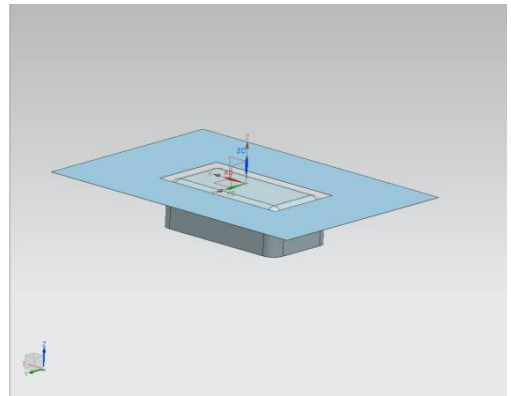


Рисунок 3.2 – пуансон с  
прижимом для первой  
вытяжки

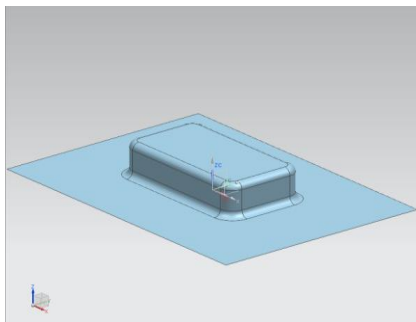


Рисунок 3.4. Матрица для первой  
вытяжки

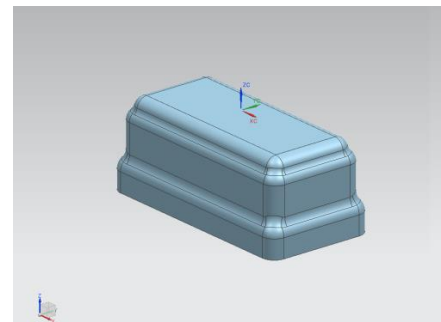


Рисунок 3.5 Пуансон без  
прижима



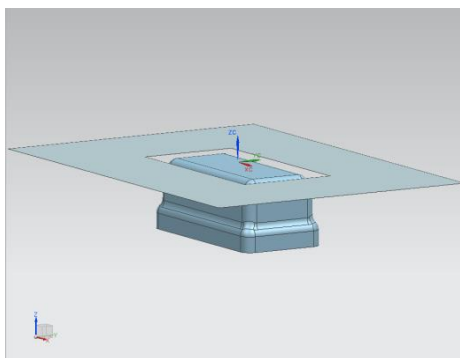


Рисунок 3.6. Пуансон с прижимом

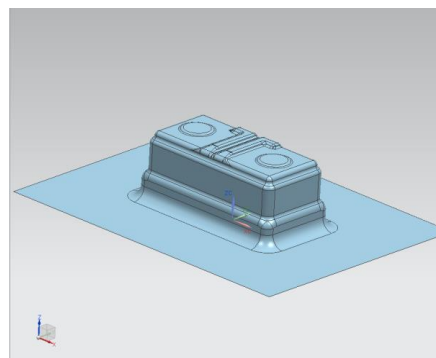


Рисунок 3.7. Матрица

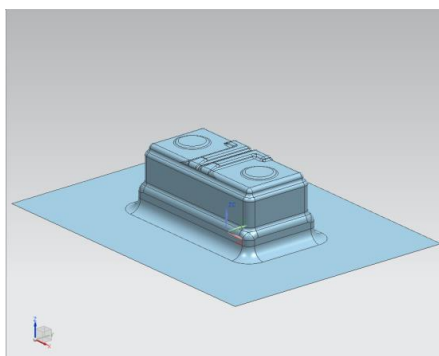


Рисунок 3.9. Матрица

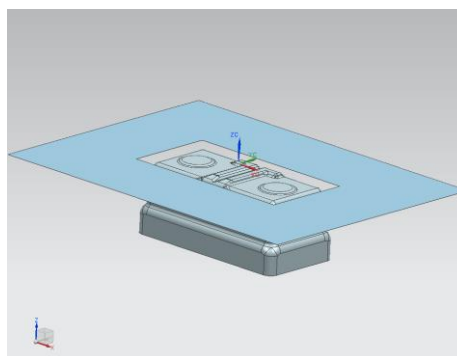


Рисунок 3.8. Пуансон с прижимом

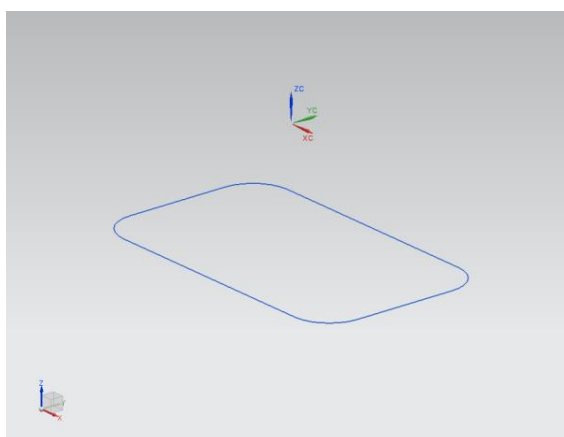


Рис.3.10 - Контур обрезки  
фланца

Все смоделированные элементы экспортируются в формате \*.IGES в программу препроцессор LS-PREPOST, для последующей обработки, создания k - элементной сетки, параметров и генерирование выходного файла расчёта.

#### 4. Создание материала заготовки и инструмента

Данные материала, используемого в процессе расчёта, представлен в текстовом файле с расширением \*.k. Редактирование параметров материала происходит так же в текстовом файле. Содержание файла материала заготовки, приведено на рисунке 4.1

```
*KEYWORD
*MAT_TRANSVERSELY_ANISOTROPIC_ELASTIC_PLASTIC
$      MID      RO      E      PR      SIGY      ETAN      R      HLCID
      1 7.850E-09 20.60E+04      0.3      ETAN      2.73 R      10
*DEFINE_CURVE
10
0.00114,235.0
0.0296,237.00
0.0392,255.00
0.0488,270.00
0.0583,283.00
0.0677,295.00
0.077,306.00
0.0862,315.00
0.0953,323.50
0.1044,331.50
0.1133,338.50
0.1222,343.50
0.131,348.00
0.1484,356.50
0.157,360.50
0.1655,364.20
0.174,367.50
0.1823,370.5
0.2,376.70
0.3,406.00
0.4,430.00
0.5,450.00
0.6,468.00
0.7,483.00
0.8,496.00
0.9,508.00
1.0,520.00
*END
```

Рисунок 4.1 – Файл материала заготовки

На рисунке 4.1 представлен тип материала TRANSVERSELY\_ANISOTROPIC\_ELASTIC\_PLASTIC (тип 37), предназначенный для проведения моделирования поведения изотропных материалов в процессе листовой штамповки; дополнительно используется задающая кривая, определяющая зависимость между напряжением и деформацией, такой тип материала используется только для оболочечных элементов.

Рассмотрим параметры данного типа материала для стали 08пс:

MID – уникальный числовой номер материала (1).

RO – плотность задаваемого материала. (7.850E-09 кг/м<sup>3</sup>).

E – Модуль Юнга (20.60E+04).

PR – Коэффициент Пуансона, значение равно 0.3.

SIGY – предел текучести.

ETAN–модуль пластического упрочнения.

R – Коэффициент анизотропии (2.73).

HLCID – Номер кривой нагрузки, определяющей зависимость нагрузки от деформации (10).

Данный тип материала не позволяет смоделировать процесс вытяжки, так как является изотропным (используется только один коэффициент анизотропии.)

Для получения более точных результатов был использован материал типа 36MAT-3-Parametr\_Barlat. Главным отличием типа 33 от типа материала 36 является наличие трёх коэффициентов анизотропии. Рассмотрим параметры типа материала MAT-3-Parametr\_Barlat для стали 08пс. Содержание составленного текстового файла приведено на рисунке 4.2.

```
*KEYWORD
*MAT_Barlat_Anisotropic_Plasticity
P MID RO E PR HR P1 P2 ITER ROO R45
R90
1 7.85E-09 20.60E+04 03 1 2.5 0 | 1.730
1.360 2.320

*DEFINE_CURVE
10
0.0014,235.0
0.0296,237.00
0.0392,255.00
0.0488,270.00
0.0583,283.00
0.0677,295.00
0.077,306.00
0.0862,315.00
0.0953,323.50
0.1044,331.50
0.1133,338.50
0.1222,343.50
0.131,348.00
0.1404,356.50
0.157,360.50
0.1655,364.20
0.174,367.50
0.1823,370.5
0.2,376.70
0.3,406.00
0.4,430.00
0.5,450.00
0.6,468.00
0.7,483.00
0.8,496.00
0.9,508.00
1.0,520.00
*END
```

Рисунок 4.2 – Файл материал MAT-3-Parametr\_Barlat

MID – уникальный числовой номер материала (1).

RO – плотность задаваемого материала. (7.850E-09).

E – Модуль Юнга (20.60E+04).

PR – Коэффициент Пуансона (0.3).

NR – закон упрочнения (1, линейный).

P1 – параметр материала (касательный модуль).

P2 – параметр материала (предел прочности) (290).

ITER– ограничение по количеству итераций для ускорения расчётов (0).

R00 – Коэффициент анизотропии (1.730).

R45 - Коэффициент анизотропии (1.360).

R90 - Коэффициент анизотропии (2.320).

Для инструмента используется тип материала 20 MAT-RIGID, определяющий жесткое (недеформируемое) тело. Рассмотрим фрагмент кода выходного k-файла с параметрами материала инструмента (рисунок 4.3)

```
*MAT_RIGID_TITLE
Die
$#      mid      ro      e      pr      n      couple
m      alias
          4 7.8500E-9 2.1000E+5 0.300000      0.000      0.000
0.000
$#      cmo      con1      con2
1.000000      4      7
$# lco or a1      a2      a3      v1      v2      v3
0.000      0.000      0.000      0.000      0.000      0.000
```

Рисунок 4.3 – Фрагмент k-файла, параметры материала для инструмента типа  
MAT-RIGID

MID – уникальный числовой номер материала (4).

RO – плотность задаваемого материала (7.850E-09).

E – Модуль Юнга (2.1000E+5).

PR – Коэффициент Пуансона (0.3).

N – Признак, обозначающий, что будут использованы нормальные жёсткие тела программы LS-DYNA (0).

M – Признак, использования обычных программы LS-DYNA, для работы с жёстким телом (0).

CMO – опция ограничение на центр масс. Значение равно 1, т.е. ограничения накладываются в глобальных направлениях.

CON1 – первый параметр ограничения, равный 4, (ограничения накладываются на перемещения по осям  $x$ ).

CON2 – второй параметр ограничения, равный 7 (ограничения устанавливаются на вращение вокруг осей  $x$ ,  $y$ , и  $z$ ).

LCO – номер локальной системы координат для выходного потока данных

A1-V3 – векторы, фиксированные на жестком теле, используемые для подпрограмм вывода.

Так же редактирование модели материала можно проводить с использованием инструментов программ в программе LS-PREPOST (рисунок 4.4)

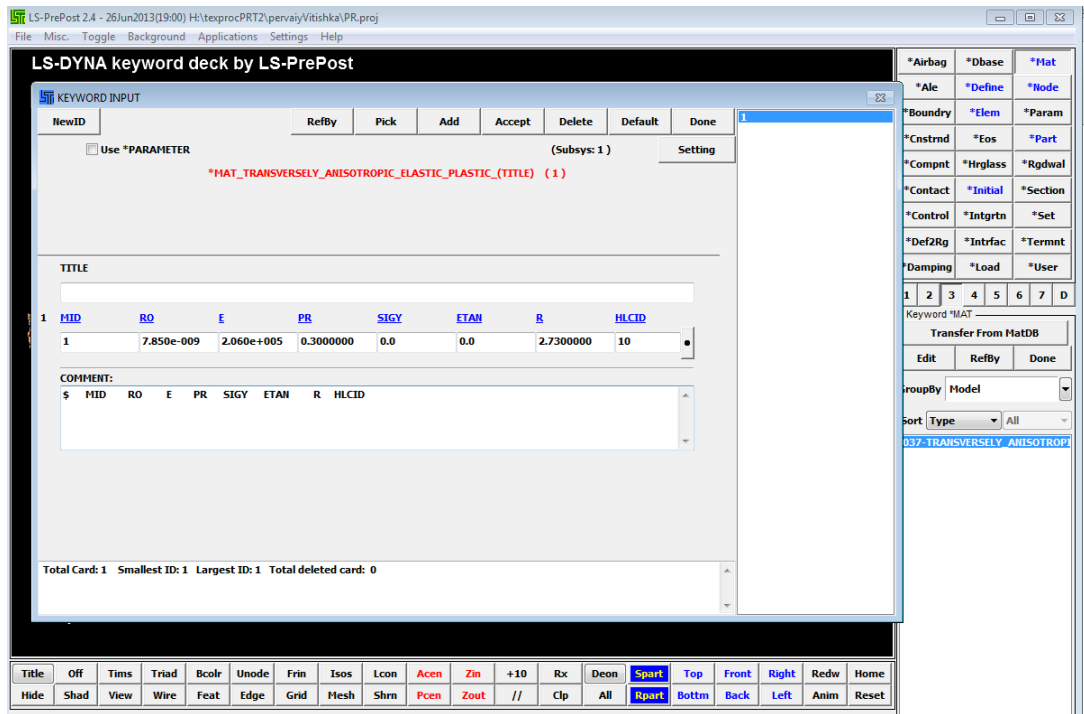


Рисунок 4.4 – Интерфейс окна диалога для редактирование параметров материала в LS-PREPOST

## 5. Моделирование процесса листовой штамповки в LS-PREPOST и LS-DYNA

### 5.1 Моделирование базового процесса листовой штамповки коробчатой детали ступенчатой формы

#### 5.1.1 Первая вытяжка коробчатой детали

1. Импортирование геометрии инструмента и заготовки в формате «.Iges» в программу LS-PREPOST.
2. Наносится конечно-элементная сетка на поверхность ленты. Размер конечных элементов = 4.
3. Вносятся параметры заготовки (в разделе Blank):
  - Выбирается заготовка (рисунок 5.1, поз. 1).
    - Задаётся тип материала (TRANSVERSELY\_ANISOTROPIC\_ELASTIC\_PLASTIC тип 37.) (Позиция 2. Рис 5.1)
    - Устанавливается толщина заготовки = 0.9 мм (позиция 3, рис 5.1)

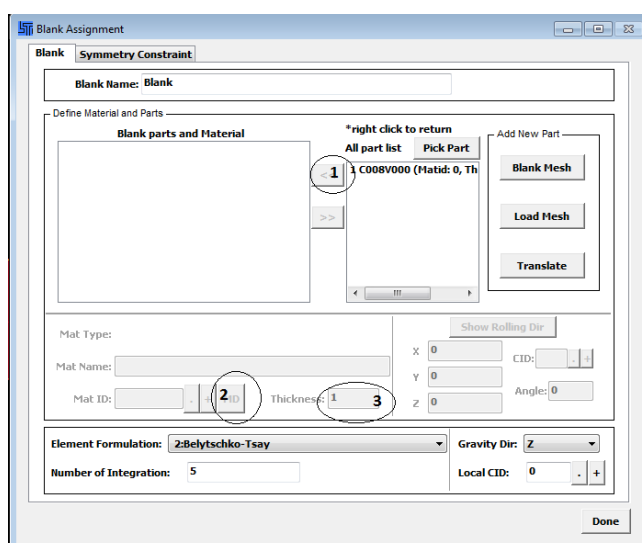


Рисунок 5.1 – Интерфейс окна диалога для установки параметров материала

4. Задаётся рабочий инструмент (раздел tool):

- Определяются конечные элементы модели относящиеся к инструменту (рисунок 5.2, поз 1). Die–матрица, Punch -пуансон, binder- прижим (рисунок 5.2 поз. 2)

Важно, что бы позиции инструмента были расставлены верно по отношению к заготовке. Т.к. используется обратная вытяжка и матрица находится сверху, а пуансон с прижимом снизу. (Рисунок 5.2 поз. 3)

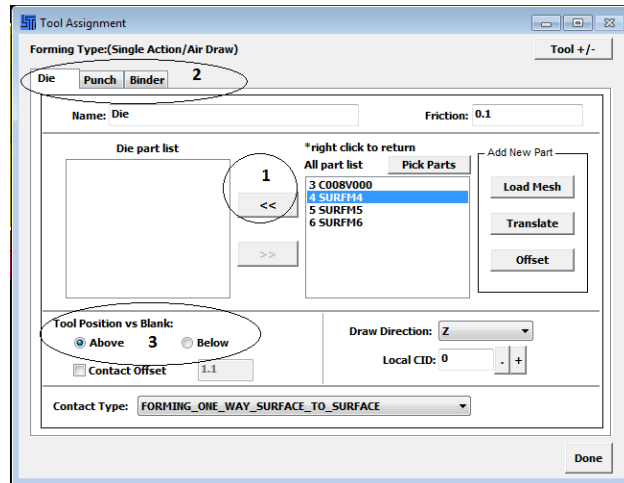


Рисунок. 5.2 – Интерфейс окна диалога для определения конечных элементов модели

5. В разделе Position, определяется расположение инструмента по оси Z. (Рисунок 5.3 позиция 1)

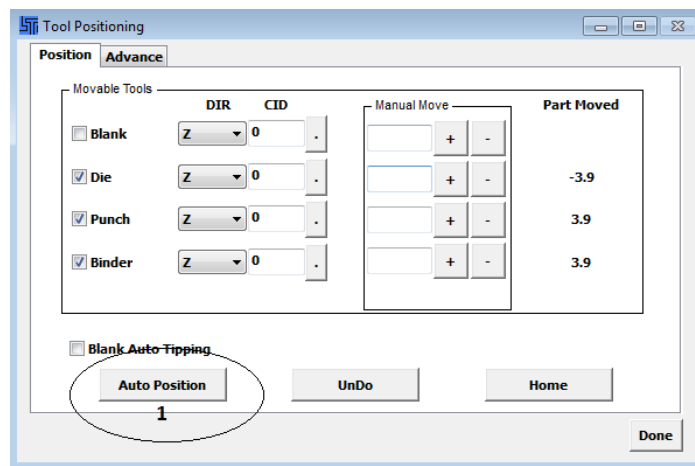


Рисунок 5.3 – Интерфейс окна диалога для определения расположения инструмента



6. Вносятся параметры симуляции операции вытяжки (раздел Process) (рисунок 5.4 поз. 1)

Первая вкладка closing (рисунок 5.4 поз 2) отвечает за начальную стадию операции: подход прижима к заготовке (рисунок 5.4 поз 3). Параметры самой вытяжки находятся во второй вкладке (drawing, рисунок 5.4 поз 4). Здесь указывается скорость движения матрицы (die, рисунок 5.4 поз 5) и усилие прижима (binder, рисунок 5.4 поз 6).

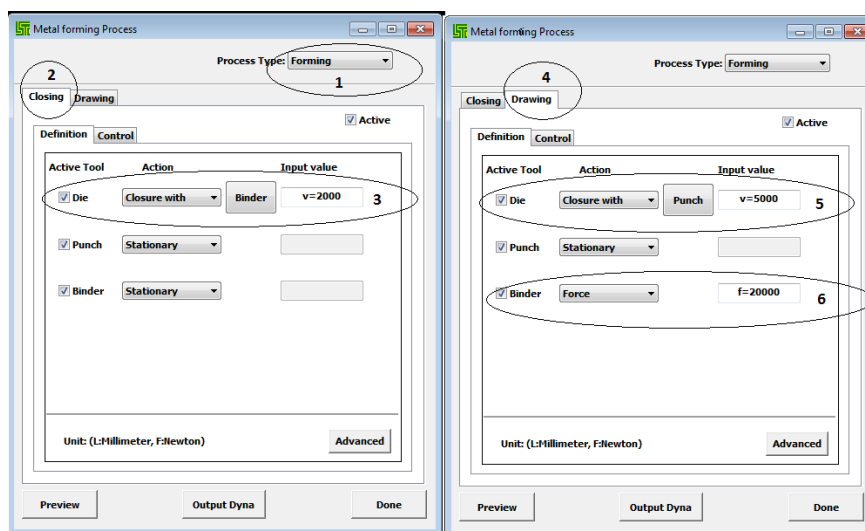


Рисунок 5.4 – интерфейс окна диалога для внесения параметров симуляции операции

7. Загружается результат расчёта (файл d3plot) в программу LS-PREPOST.

Анализ полученных данных позволил установить:

- А) Утонение материала составило 25 %.
- Б) Разрывов и складок в модели не наблюдается.

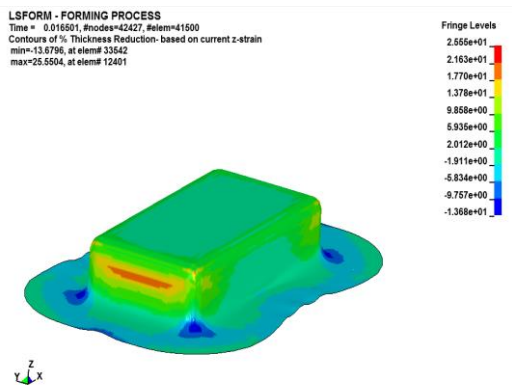


Рисунок 5.5 – утонение

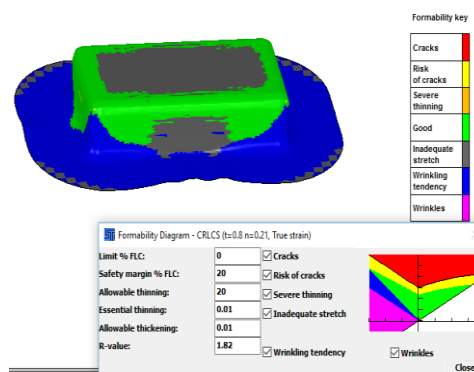


Рисунок 5.6 – FLD диаграмма

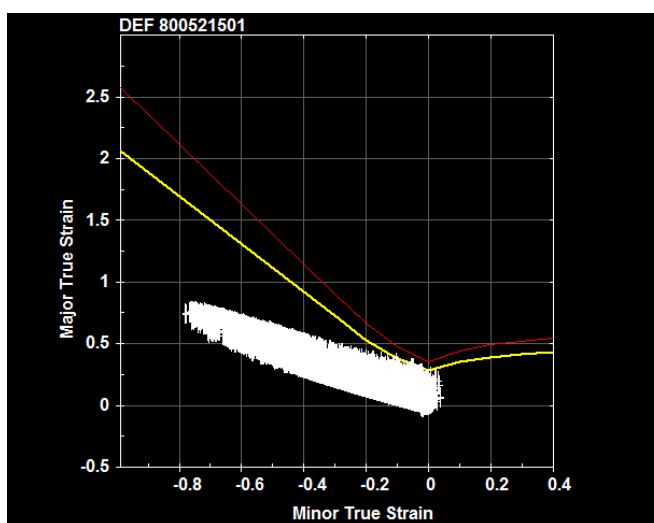


Рисунок 5.7 – FLD-диаграмма

Обозначения на FLD-диаграмме:

Cracks – трещины.

Risk of Cracks – риски трещин.

Severe thinning - утонение материала.

Good – оптимальные участки.

Inadequate stretch – натяжение материала.

Wrinkling tendency – незначительное утолщение материала.

Wrinkles – утолщение материала.

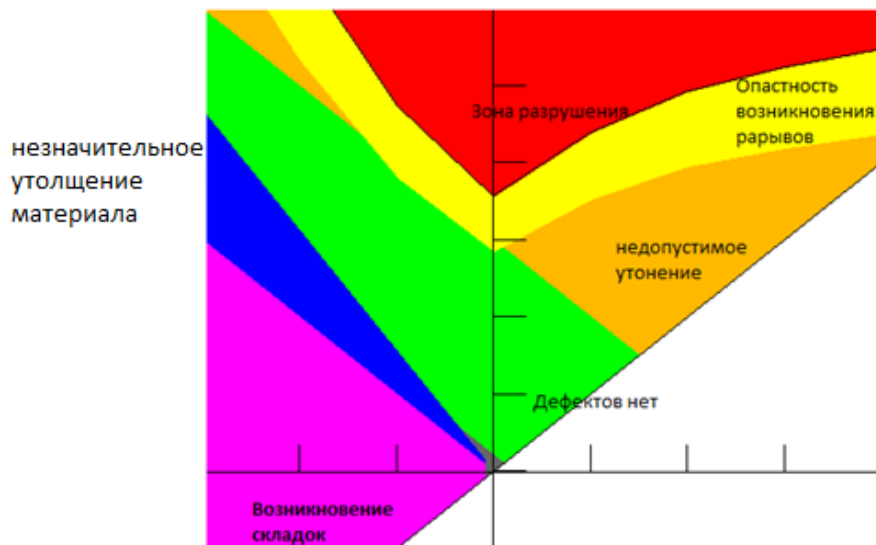


Рисунок 5.8 – диаграмма предельных состояний

Для анализа предельного формоизменения материала при листовой штамповке применяются диаграммы предельных состояний (FLD-диаграммы), которые устанавливают связь между компонентами главных деформаций в момент разрушения.

Диаграммы предельных деформаций часто используются на стадии проектирования инструмента путём математического моделирования. Таким образом можно проанализировать технологию изготовления детали и оптимизировать технологический процесс прежде чем будет изготовлен инструмент, что значительно сокращает время и затраты на изготовление продукции.

По оси ординат откладываются наибольшие главные деформации. По оси абсцисс – наименьшие главные деформации. Диаграмма разделяет на зоны, сочетание главных деформаций в которых прогнозирует тот или иной дефект. В данном случае на диаграмме предельных деформаций видно, что дефектов при вытяжке коробчатой детали не произошло из этого следует что, заданный техпроцесс является оптимальным.

## 5.1.2 Вторая вытяжка

Вторая вытяжка последовательностью действий не отличается от предшествующей ей операции. Отличие заключается в изменённом инструменте, а именно в использовании ступенчатых форм матрицы и пуансона. В результате получаем модель детали (рисунок 5.9), строим FLD-диаграмму (рисунок 5.10) и смотрим утонение в процентах, для данной модели (рисунок 5.11).

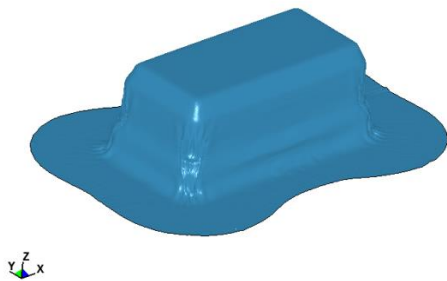


рисунок 5.9 – модель детали

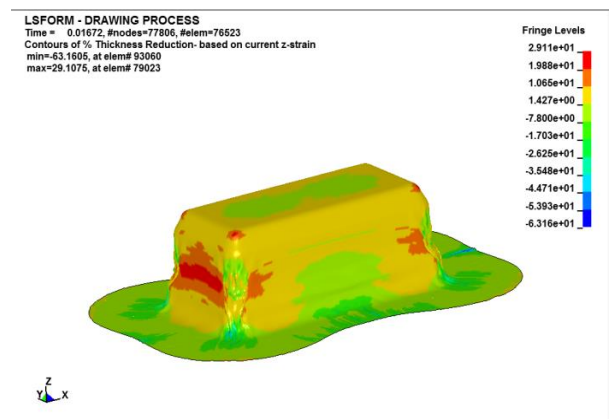


рисунок 5.10 – утонение в процентах

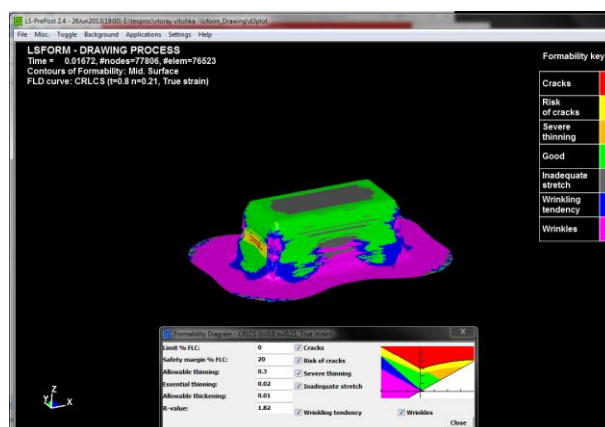


Рисунок 5.11 – FLD-диаграмма

Анализ результата выявил следующие недостатки:

- А) Утонение превышает допустимое
- Б) Образование складок в угловых зонах.

На рисунке и диаграмме отчётливо видны складки и неровности в районе угловых радиусов (рисунок 5.12), а так же разрыв материала. Дальнейшее моделирование не является целесообразным.

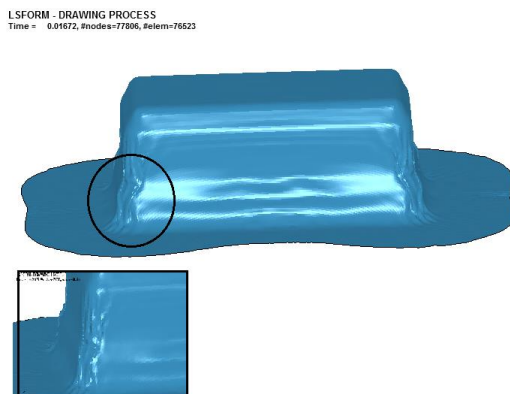


Рисунок 5.12 – Складки в угловых зонах

### Изменения в процессе

Для исправления дефектов были изменены радиуса матрицы на первой вытяжки и добавлены дополнительные радиуса на последующих операциях. Увеличение радиуса углового закругления матрицы позволяет повысить степень вытеснения металла из этих областей в боковые стенки коробки. Подбор радиусов проводились экспериментальным образом, так как весь процесс является исследовательским. На рисунках 5.13 и 5.14 показано, какие изменения произошли в базовом инструменте, для моделирования проектного варианта.

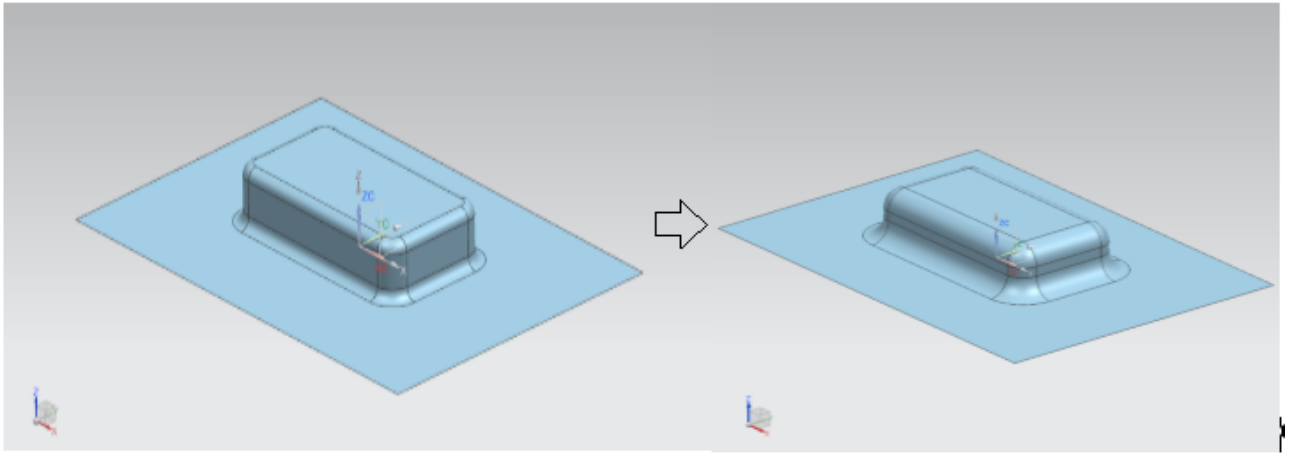


Рисунок 5.13 – Изменения в инструменте для первой вытяжки

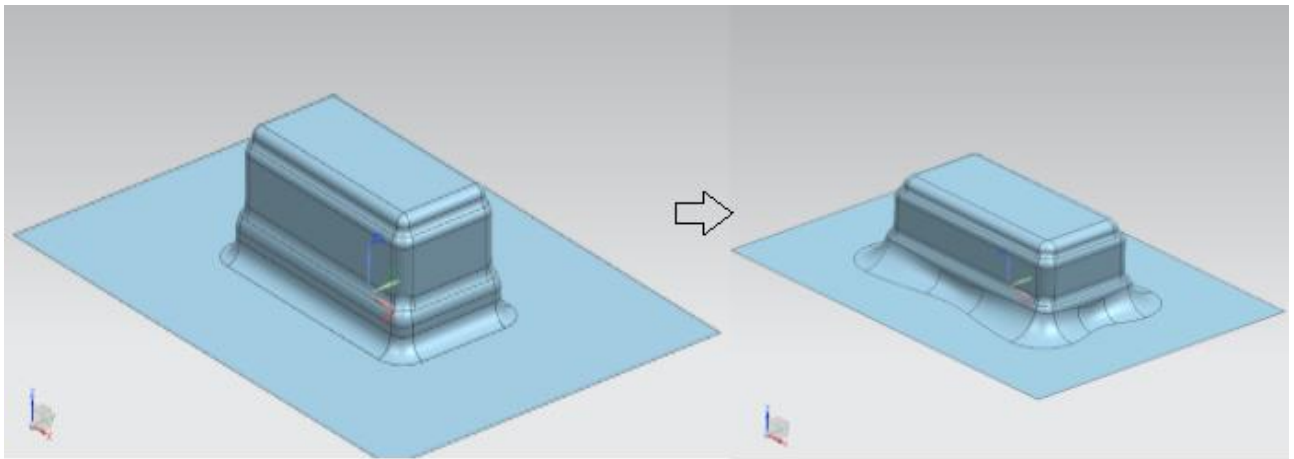


Рисунок 5.14 - Изменения в инструменте для второй вытяжки

## 5.2. Моделирование проектного варианта процесса листовой штамповки коробчатой детали ступенчатой формы

### 5.2.1 Первая вытяжка с увеличенными радиусами матрицы

Вытяжка с изменённым инструментом последовательностью действий не отличается от первой вытяжки (см. пункт 5.15).

Из полученных данных получаем:

- Модель заготовки (рисунок 5.16).
- Утонение материала составляет 6% (рисунок 5.17).
- Разрывов и складок в модели не наблюдается (рисунок 5.18).

LSFORM - FORMING PROCESS  
Time = 0.01645, #nodes=32573, #elem=31665

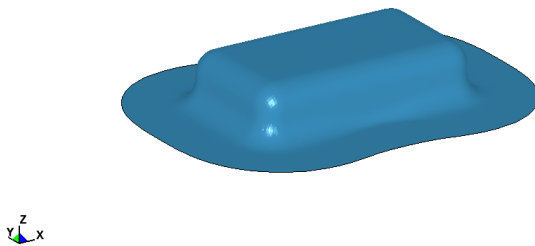


Рисунок 5.15 – Модель заготовки

LSFORM - FORMING PROCESS  
Time = 0.01645, #nodes=32573, #elem=31665  
Contours of % Thickness Reduction based on current strain  
min=-6.52263, at element 27188  
max=6.41489, at element 24917

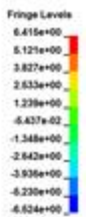
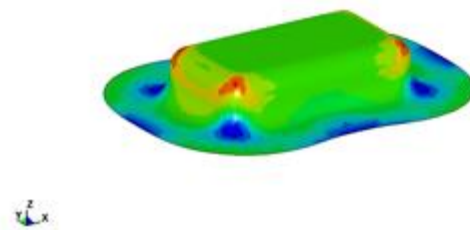


Рисунок 5.16 – Утонение в процентах

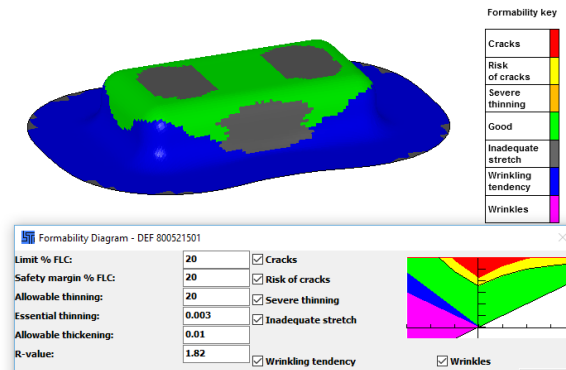


Рисунок 5.17 - FLD-диаграмма

## 5.2.2 Вторая вытяжка с дополнительными радиусами в матрице

Анализ полученных данных:

- Модель заготовки (рисунок 5.18).
- Утонение материала составляет 12% (рисунок 5.19).
- Разрывов и складок в модели не наблюдается (рисунок 5.20).

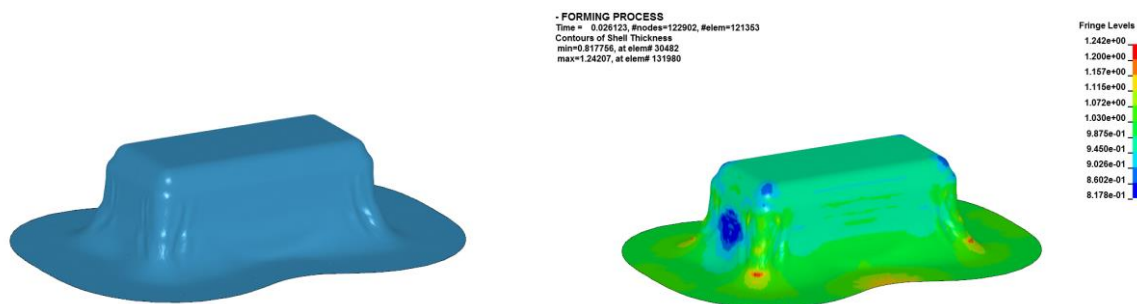


Рисунок 5.18 – модель детали Рисунок 5.19 – утонение в процентах

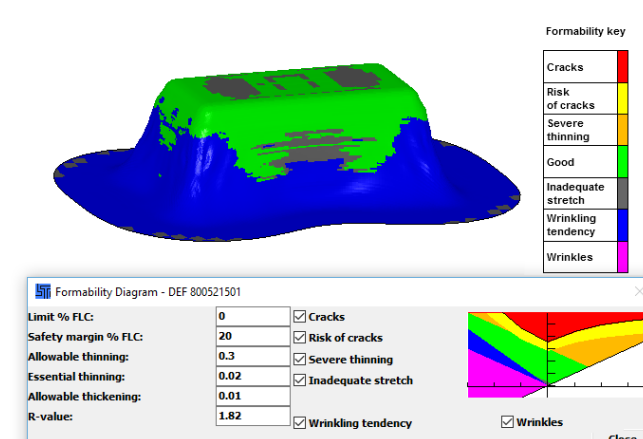


Рисунок 5.20 – FLD-диаграмма

## 5.2.3 Калибровка радиусов

Калибровка в данном процессе необходима для того, что бы довести радиуса до нужного значения и привести геометрию модели к необходимой форме.

Полученный результат:

- Модель детали (рисунок 5.21).



- Утонение составляет 22 % (рисунок 5.22).
- Разрывов и складок не наблюдается (рисунок 5.23).

LSFORM - FORMING PROCESS  
Time = 0.016951, #nodes=363143, #elem=361061

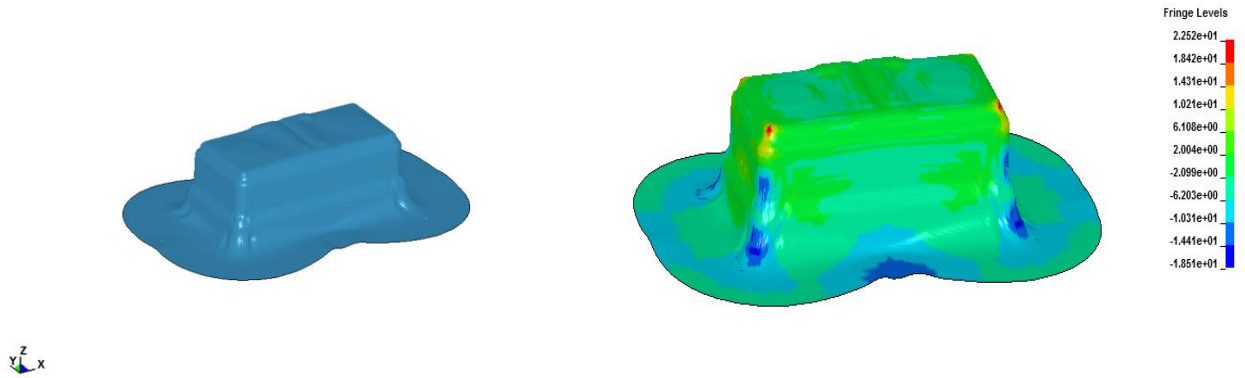


Рисунок 5.21 – модель детали    Рисунок 5.22 – утонение в процентах

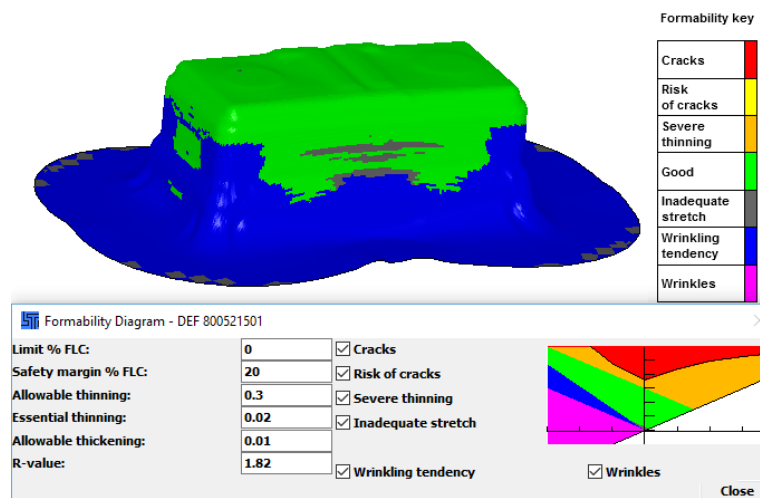


Рисунок 5.23 – FLD-диаграмма

## 5.2.4 Дополнительная калибровка радиусов

Полученный результат:

- Модель детали (рисунок 5.24).
- Утонение составляет 22 % (рисунок 5.25).
- Разрывов и складок не наблюдается (рисунок 5.26).

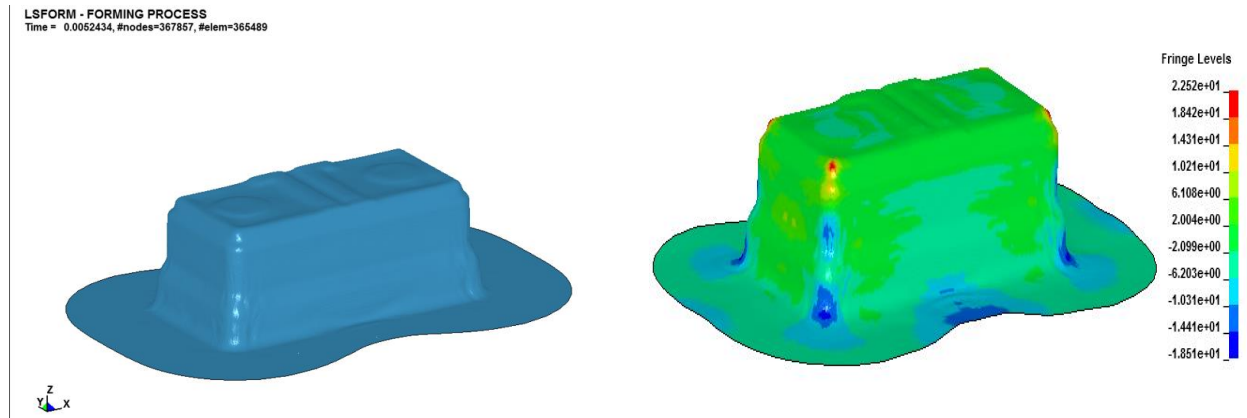


Рисунок 5.24 – модель детали

Рисунок 5.25– Утонение в процентах

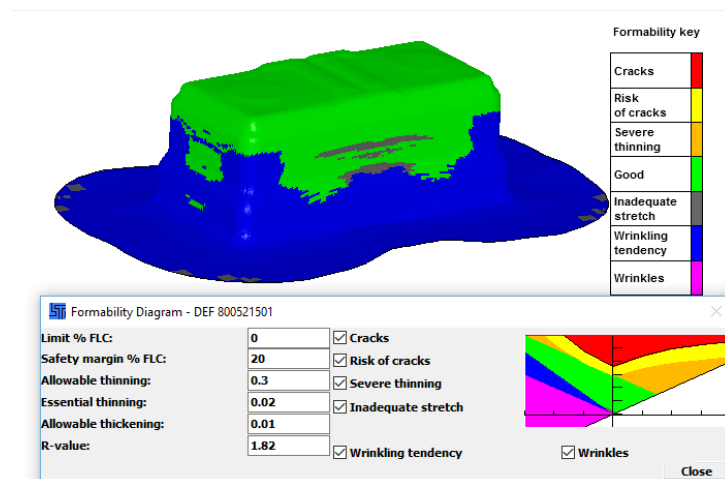


Рисунок 5.26 – FLD-диаграмма

## 5.2.5 Обрезка фланца

Моделирование процесса обрезка фланца является булевой операция.

В результате анализа полученных данных получаем:

- Конечную модель детали (рисунок 5.27)
- Складок и разрывов не наблюдается (рисунок 5.28 и 5.29)

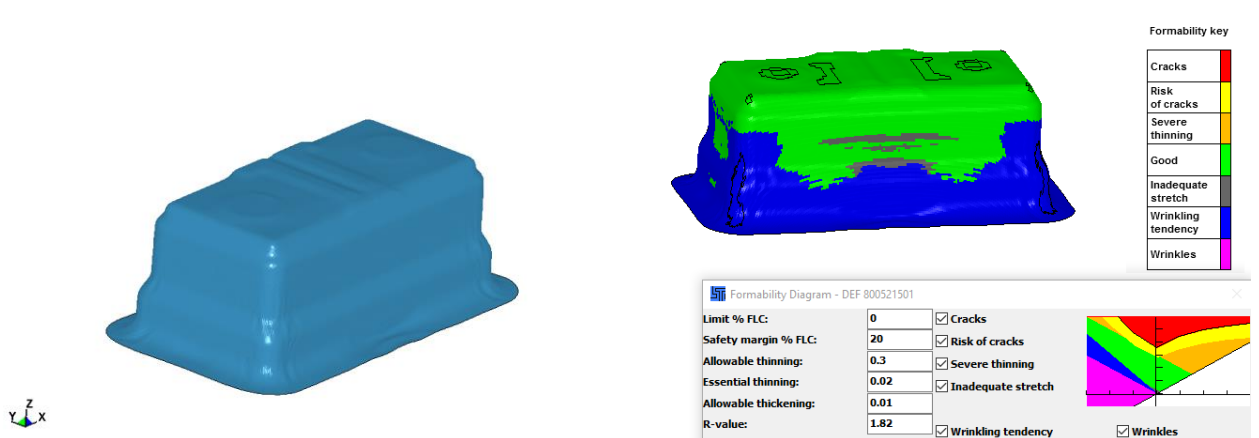


Рисунок 5.27 – Модель детали с Рисунок 5.28 – FLD диаграмма

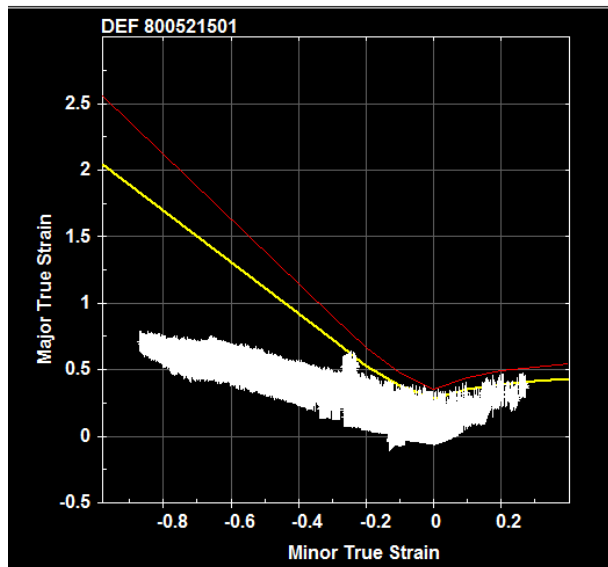


Рисунок 5.29 - График пластических напряжений

## 6. Безопасность и экологичность проекта

### 6.1 Технологическая характеристика объекта

В данном дипломном проекте, оборудованием, на котором выполняется техпроцесс является персональный компьютер со следующими минимальными характеристиками:

- Операционная система: Windows XP, Vista, 7, 8, 10 (x86/64)
- Процессор: Intel / AMD с тактовой частотой 2.5 ГГц
- Оперативная память: 4 Гб.
- Видеокарта: Radeon / GeForce или совместимая, с памятью 1 гб
- Свободное место на жестком диске: 200 Гб

Данной конфигурации вполне достаточно для запуска LS-Prepost, Ls-dyna и Siemens PLM NX 8.

Так же для создания отчета и обработки статистических данных использовался Microsoft Excel 2010. При помощи которого были созданы и обработаны табличные данные конечных результатов исследования и его оптимизации, извлечённые при помощи Microsoft Word 2010 из файлов расширения opl.

Таблица 6.1 - Технологический паспорт объекта

№ п/п	Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию	Оборудование, техническое устройство, приспособление
1	Моделирование процесса изготовления коробчатой детали ступенчатой формы	Моделирование многооперационной вытяжки	Оператор ЭВМ	Персональный компьютер CAD система -NX 9.0 PLMSoftware CAE системы - LS-PREPOST и LS-DYNA

## 6.2 Идентификация профессиональных рисков

Таблица 6.2 – Идентификация профессиональных рисков

№п/п	Производственно-технологическая и/или эксплуатационно-технологическая операция, вид выполняемых работ	Опасный и /или вредный производственный фактор	Источник опасного и / или вредного производственного фактора
1	Моделирование процесса вытяжки коробчатой детали ступенчатой формы	<p>Физические:</p> <p>Повышенные уровни электромагнитного излучения.</p> <p>Повышенный уровень статического электричества.</p> <p>Повышенные уровни запыленности воздуха</p>	Персональный компьютер (экран и системный блок ПК), источники бесперебойного питания
		<p>рабочей зоны.</p> <p>Пониженная влажность воздуха рабочей зоны.</p> <p>Повышенный уровень шума.</p> <p>Пониженный уровень освещенности.</p> <p>Химические:</p> <p>Повышение озона.</p> <p>Повышение двуокси углерода, аммиака, формальдегида</p> <p>Психофизические:</p> <p>Поза и статические нагрузки</p> <p>Нагрузка на зрение</p> <p>Утомление рук</p> <p>Нервное напряжение, утомляемость</p> <p>Интеллектуальные нагрузки</p> <p>Эмоциональные нагрузки.</p> <p>Монотонность труда.</p>	

### 6.3. Методы и средства снижения профессиональных рисков

Таблица 6.3 – Организационно-технические методы и технические средства снижения негативного воздействия опасных и вредных производственных факторов (уже реализованных в базовом исходном состоянии и дополнительно или альтернативно предлагаемых для реализации в рамках дипломного проекта)

№ п/п	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	Повышенные уровни электромагнитного излучения.	Сохранении оптимальной дистанции между оператором и ПК, размещении источников электромагнитного поля таким образом, чтобы их наиболее излучающие части, такие как задняя стенка монитора, будут направлены не в сторону рабочих мест	-
2	Повышенный уровень статического электричества	Экранирование	-
3	Повышенные уровни запыленности воздуха рабочей зоны.	Профилактика работы кулеров, вентиляция помещения, влажная уборка в помещении	-
4	Пониженная влажность воздуха рабочей зоны	Влажная уборка в помещении	-
5	Повышенный уровень шума	Профилактика работы кулеров, приобретение аппаратов и техники, уровень шума которых оптимален для восприятия.	-

Продолжение таблицы 6.3

6	Пониженный уровень освещенности	Следует применять преимущественно люминесцентные лампы и компактные люминесцентные лампы Следует проводить чистку стекол оконных рам и светильников не реже двух раз в год и проводить своевременную замену перегоревших ламп	-
7	Поза и статические нагрузки	Оптимизация рабочего времени и распределение времени отдыха в соответствии с нормативной документацией Выполнение специальных комплексов упражнений	-
8	Нагрузка на зрение	времени отдыха в соответствии с нормативной документацией	-
9	Утомление рук	Оптимизация рабочего времени и распределение времени отдыха в соответствии с нормативной документацией Выполнение специальных комплексов упражнений	-
10	Нервное напряжение, утомляемость	Оптимизация рабочего времени и распределение времени отдыха в соответствии с нормативной документацией	-
11	Интеллектуальные нагрузки	Оптимизация рабочего времени и распределение времени отдыха в соответствии с нормативной документацией	-
12	Эмоциональные нагрузки.	Оптимизация рабочего времени и распределение времени отдыха в соответствии с документацией	-

### Продолжение таблицы 6.3

13	Монотонность труда.	Оптимизация рабочего времени и распределение времени отдыха в соответствии с нормативной документацией	-
----	---------------------	--	---

## 6.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта

Пожарная безопасность — состояние объекта, при котором исключается возможность пожара, а в случае его возникновения предотвращается воздействие на людей опасных его факторов и обеспечивается защита материальных ценностей.

Пожарная безопасность обеспечивается системой предотвращения пожара и системой пожарной защиты. Во всех служебных помещениях обязательно должен быть «План эвакуации людей при пожаре», регламентирующий действия персонала в случае возникновения очага возгорания и указывающий места расположения пожарной техники.

В современных ЭВМ очень высокая плотность размещения элементов электронных схем. В непосредственной близости друг от друга располагаются соединительные провода, кабели. При протекании по ним электрического тока выделяется значительное количество теплоты. При этом возможно оплавление изоляции. Для отвода избыточной теплоты от ЭВМ служат системы вентиляции и кондиционирования воздуха. При постоянном действии эти системы представляют собой дополнительную пожарную опасность.

Одна из наиболее важных задач пожарной защиты — защита строительных помещений от разрушений и обеспечение их достаточной прочности в условиях воздействия высоких температур при пожаре. Учитывая высокую стоимость электронного оборудования части здания, в которых предусмотрено размещение ЭВМ, должны быть первой и второй степени



огнестойкости. Для изготовления строительных конструкций используются, как правило, кирпич, железобетон, стекло, металл и другие негорючие материалы. Применение дерева должно быть ограничено, а в случае использования необходимо пропитывать его огнезащитными составами.

Таблица 6.4 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

№ п/п	Участок, подразделение	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
1		Персональный компьютер	В, Е	Пламя и искры; повышенная температура окружающей среды, повышенная концентрация токсичных продуктов горения, пониженная концентрация кислорода, снижение видимости в дыму (в задымленных пространственных зонах)	Вынос (замыкание) высокого электрического напряжения на токопроводящие части технологических установок, оборудования, агрегатов, изделий и иного имущества

Таблица 6.5 - Технические средства обеспечения пожарной безопасности.

Первичные средства пожаротушения	Мобильные средства пожаротушения	Стационарные установки и системы пожаротушения	Средства пожарной автоматики	Пожарное оборудование	Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)	Пожарные сигнализация, связь и оповещение.
Огнетушители	Пожарные автомобили	Водяные установки и систем пожаротушения	Дымовые датчики	Рукава пожарные	Противогазы	Пожарные багры	Оповещатели о пожаре (звуковые, речевые)

Продолжение таблицы 6.5

Песок	Пожарные мотопомпы	Газовые установки и систем пожаротушения	Тепловы датчики	Пожарный инвентарь	Носилки	Пожарные топоры	Световые указатели «ВЫХОД»
Кошма	Приспособленные технич.средства (тягачи, прицепы)	Порошок. Установки систем пожаротушения	Приемно контрольные приборы	Колонка пожарная	Защитные костюмы	Лопаты штыковые	Ручные пожарные извещатели

Таблица 6.6 – Организационные (организационно-технические) мероприятия по обеспечению пожарной безопасности

Наименование технологического процесса, оборудования технического объекта	Наименование видов реализуемых организационных (организационно-технических) мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
<p>Моделирование процесса вытяжки коробчатой детали ступенчатой формы</p> <p>На ПК и программных продуктах SIEMENS NX 9.0 PLMSoftware</p> <p>LS-PREPOST и LS-DYNA</p>	<p>Обучение персонала требованиям ПБ; соблюдение техники безопасности; соблюдение последовательности алгоритма технологического процесса; наличие средств пожаротушения</p>	<p>Квалифицированный персонал; обеспечение защиты помещений системами обнаружения пожара; оповещения и эвакуации; наличие систем пожаротушения</p>

### 6.5 Обеспечение экологической безопасности технического объекта

Персональный компьютер потребляет энергию от сети, что является основной прямой формой воздействия на окружающую среду. С применением современных технологий уменьшается количество энергопотребления и

вредных выбросов (повышенное содержание в воздухе рабочей зоны микроорганизмов; повышенное содержание в воздухе рабочей зоны двуокиси углерода, аммиака, фенола, формальдегида и полихлорированных бифенилов) что выгодно с экономической и экологической стороны. Для снижения энергопотребления необходимо следить за отключением оборудования на рабочем месте по завершению работы, если на них не производятся инженерные расчеты.

Прямым и в тоже время косвенным воздействием на окружающую среду можно считать процесс производства компьютеров и компьютерной техники. Воздействие компьютеров на окружающую среду определяется именно тем, как воздействует на окружающую среду продукция компаний и фирм, производящих компьютеры и комплектующие устройства именно в процессе производства, а не в процессе эксплуатации.

Многие производители стремятся снизить энергопотребление производимых устройств, в данном случае компьютеров при их непосредственной эксплуатации, а также снизить суммарный объем вредных выбросов, складываемых из выбросов, возникающих на этапах производства, транспортировки, использования и утилизации продукции.

Таблица 6.7 – Идентификация экологических факторов технического объекта

Наименование технического объекта, производственно-технологического процесса	Структурные составляющие технического объекта, производственно-технологического процесса (производственного здания или сооружения по функциональному назначению, технологические операции, оборудование), энергетической установки, транспортного средства и т.п.	Негативное воздействие технического объекта на атмосферу (вредные и опасные выбросы в окружающую среду)	Негативное воздействие технического объекта на гидросферу (образующие сточные воды, забор воды из источников водоснабжения)	Негативное воздействие технического объекта на литосферу (почву, растительный покров,) (образование отходов, выемка плодородного слоя почвы, отчуждение земель, нарушение и загрязнение растительного покрова )
Моделирование процесса вытяжки коробчатой детали ступенчатой формы	ПК и программные продукты SIEMENS NX 9.0 PLM Software LS-PREPOST и LS-DYNA	Повышение озона Повышение двуокиси углерода, аммиака, формальдегида	Утилизация ртутных ламп Утилизация расходных материалов	-

Таблица 6.8 – Разработанные организационно-технические мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия технического объекта на окружающую среду

Наименование технического объекта	Моделирование процесса вытяжки коробчатой детали ступенчатой формы
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на атмосферу	Использование вытяжной вентиляции с системой очистки воздуха

Продолжение таблицы 6.8

Мероприятия по снижению негативного воздействия на гидросферу	Повышенный контроль за процессом утилизации использованных технологических материалов, сбор, сдача, размещение отходов производства по договорам, организациям имеющим лицензии на работу с отходами.
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу	Повышенный контроль за процессом утилизации использованных технологических материалов, сбор, сдача, размещение отходов производства по договорам, организациям имеющим лицензии на работу с отходами.

В разделе «Безопасность и экологичность технического объекта» приведена характеристика моделирования коробчатой детали ступенчатой детали, перечислены технологические операции, должности работников, производственно-техническое оборудование, применяемые материал (таблица 6.1).

Проведена идентификация профессиональных рисков по осуществляемому моделированию коробчатой детали ступенчатой формы видам производимых работ. В качестве опасных и вредных производственных факторов идентифицированы следующие: (таблица 6.2). Разработаны организационно-технические мероприятия, включающие технические устройства снижения профессиональных рисков, а именно инструктаж по технике безопасности, применение средств автоматизации и механизации и т.д. Подобраны средства индивидуальной защиты для работников (таблица 6.3)

Разработаны мероприятия по обеспечению пожарной безопасности технического объекта. Проведена идентификация классов пожара и опасных факторов пожара и разработка средств и мер обеспечения пожарной безопасности (таблица 6.4). Разработаны мероприятия по обеспечению пожарной безопасности на техническом объекте (таблица 6.5).

Идентифицированы технологические факторы (таблица 6.6) и разработаны мероприятия по обеспечению экологической безопасности на техническом объекте (таблица 6.7)

## 7. Экономическая часть проекта

Организационно-экономическое обоснование целесообразности исследования в рамках данной бакалаврской работы заключается в следующем:

1. Определение трудоемкости и длительности проводимых работ.
2. Составление линейного плана-графика выполнения бакалаврской работы на протяжении всего процесса исследования.
3. Расчет затрат необходимых для проведения данного исследования.
4. Расчет экономической эффективности внедрения исследования.

7.1 Определение трудоемкости и длительности выполнения каждого этапа работ

Работы, осуществляемые в процессе исследования, разбиваются на определенные стадии и этапы и сводятся в таблицу (табл. 7.1).

Таблица 7.1 – Сводная таблица результатов отчёта

Этап работ	Шифр работ
1	1.1
2	1.2
3	1.3
4	1.4
5	1.5
6	1.6
7	1.7
7	1.8
8	1.9

9	1.10
10	1.11
11	1.12
12	1.13
13	1.14

Ожидаемая трудоемкость выполнения каждой работы и каждого этапа:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{мин} + 2 \cdot t_{маx}}{5} \quad (7.1)$$

$t_{дет,мин}$  – оптимистическая оценка трудоемкости выполнения работы, дн.;

$t_{маx}$  – пессимистическая оценка трудоемкости выполнения работы, дн.

Длительность работы или этапа:

$$T_i = \frac{t_{от}}{P_i} \quad (7.2)$$

где  $P_i$  – численность исполнителей.

$t_{0-1} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4$  (дн.);  $T_{0-1} = \frac{1,4}{6} = 0,23$  (дн/чел), принимаем целое  $T_{0-1} = 1$  (дн/чел).

Суммарная длительность бакалаврской работы находится по формуле (7.3):

$$T_{нир} = \sum T_{эт} \quad (7.3)$$

В результате расчетов длительность выполнения бакалаврской работы составила 74 дней. Для наглядности хода выполнения работ строиться линейный план-график



## 7.2 Расчет затрат на проведение бакалаврской работы

Таблица 7.3 – Численность исполнителей по этапам работ

№ этапа	Техник	Руководитель	Всего (чел)
1.1	1	1	2
1.2	1	1	2
1.3	1	1	2
1.4	1	-	1
1.5	1	-	1
1.6	1	-	1
1.7	1	-	1
1.8	1	-	1
1.9	1	-	1
1.10	1	1	2
1.11	1	1	2
1.12	1	1	2
1.13	1	-	1
1.14	1	-	1

## 7.3 Построение линейного плана-графика

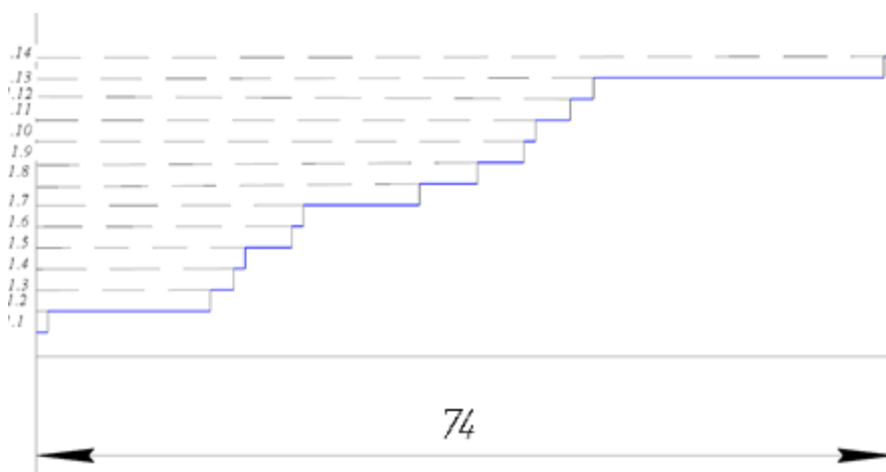


Рисунок 7.1 – линейный план-график

Таблица 7.4 – Расходы на заработную плату

Исполнители	Месячный оклад, руб.	Средняя дневная ставка, руб.	Время занятости, дн.	Сумма зарплаты, руб.
Техник	6000	82,0	74	6068
Руководитель	24000	653,0	23	15019
Суммарная заработная плата ЗПЛ <sub>бр</sub> , руб.				21087

Отчисления на социальные нужды вычисляются по формуле (7.4):

$$O_{\text{с.н.}} = \frac{N_{\text{соц.}} \cdot \text{ЗПЛ}_{\text{бр}}}{100} = \frac{28 \cdot 21087}{100} = 5904.36 \quad (7.4)$$

где  $N_{\text{соц.}}$  – норма отчислений на социальные нужды, 28%.

Общие расходы на бакалаврскую работу определяются по формуле:

$$Z_{\text{бр}} = \frac{(\text{ЗПЛ}_{\text{бр}} + O_{\text{сн}}) \cdot 100}{43} = \frac{21087 + 5904.36 \cdot 100}{43} = 62770.6 \text{ руб.} \quad (7.5)$$

Из проделанных расчетов видно, что затраты на бакалаврскую работу составляют 62770.6, при длительности ее выполнения 74 дней.

#### 7.4 Расчет экономической эффективности

Таблица 7.5 – Трудоёмкость проекта штамповки

Выполненная работа	Трудоёмкость (час)		Примечание
	До изменения	После изменения	
Стандарт элементы	16	8	Нижние, верхние плиты
Специализированные элементы	20	10	Толкатель, съёмники
Специальные элементы	44	22	Матрица, пуансон
Итого	80	40	

$$\Delta t = t_{\text{шт}}^{\text{пр}} - t_{\text{шт}}^{\text{баз}} \quad (7.6)$$

$t_{шт}^{пр}$  – время потраченное на моделирование и анализ процесса до изменений инструмента (80)

$t_{шт}^{баз}$  – время потраченное на моделирование и анализ процесса после изменений инструмента (40)

1) Экономический эффект от снижения времени проектных работ:

$$\mathcal{E}_1 = \Delta t_{шт}^{пр} \cdot C_T \cdot K_{зпл} \cdot N_T = 40 \cdot 64,84 \cdot 2,286 \cdot 50 = 101785,5 \text{ р} \quad (7.7)$$

2) Экономический эффект от снижения времени на испытания:

Таблица 7.5 – Трудоёмкость на испытания

Выполненная работа	Трудоёмкость (час)		Примечание
	До изменения	После изменения	
Вытяжка коробчатой детали ступенчатой формы	40	24	Для исправления дефектов были изменены радиуса матрицы на первой вытяжки и добавлены дополнительные угловые радиуса на последующих операциях.

$$\mathcal{E}_2 = (40 - 24) \cdot C_T \cdot K_{зпл} \cdot N_T = 16 \cdot 64,84 \cdot 2,286 \cdot 50 = 118579,4 \text{ р} \quad (7.8)$$

3) Сумма экономических эффектов:

$$\Sigma \mathcal{E} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 = 101785,5 + 118579,4 = 220364,9 \text{ р} \quad (7.9)$$

Срок окупаемости новой технологии:

$$T_{ок} = \frac{Z_{окр}}{\Sigma \mathcal{E}} = \frac{62770}{220364,9} \approx 1 \text{ год} \quad (7.10)$$

В результате затраты на исследовательскую работу составили 62770 руб, а суммарный экономический эффект составил 220364.9 руб., при сроке окупаемости затрат в течение одного года.

## Заключение

В результате данной дипломной работе получены следующие итоги:

1. Выполнено исследование особенностей CAE-анализа процессов листовой штамповки с помощью программных продуктов LS-PREPOST и LS-DYNA.
2. Проведён анализ технологического процесса, получения коробчатой детали ступенчатой формы.
3. Сформированы 3D-модели инструмента и конечной детали.
4. Были рассмотрены параметры материалов детали и инструмента, а так же способы их ввода. Выбран тип модели материала более подходящий для вытяжки.
5. Выполнено моделирование процесса листовой штамповки в LS-PREPOST и LS-DYNA.
6. На основе заданной симуляции был изменён инструмент, для улучшения качества детали и предотвращения дефектов, возникающих во время вытяжки.
7. Рассмотрены меры по обеспечению безопасности и экологичности проекта.
8. Выполнено экономическое обоснование целесообразности проведения моделирования вытяжки при помощи программных продуктов LS-PREPOST и LS-DYNA.

## Литература

1. Романовский, В.П. Справочник по холодной штамповке / В.Н. Романовский. - Л.: Машиностроение, 1979 г. – 520с.
2. Чернявский, А.О. Метод конечных элементов. Основы практического применения / Чернявский А.О. - 106 с.
3. Ли, Л. Основы САПР (CAD/CAM/CAE) / Ли Л. – СПб.: Питер, 2004. – 560 с
4. Кравчук, А.С. электронная библиотека механики и физики. Лекции по ANSYS/LS-DYNA и основам LS-PREPOST [Основные элементы графического интерфейса LS-PREPOST. Решение задач с помощью LS-DYNA Solver]. / Кравчук А.С, А. И. Кравчук. – М.: БГУ, 2013 г. – 122с.: ил. – Библиогр.: с. 71–72.
5. Кравчук, А.С. электронная библиотека механики и физики. Лекции по ANSYS/LS-DYNA и основам LS-PREPOST [Ограничения и нагрузки в ANSYS/LS-DYNA. Решение поставленных задач и просмотр результатов решения в ANSYS/LS-DYNA]. / Кравчук А.С, А. С. Чашинский, А. И. Кравчук. – М.: БГУ, 2013 г. – 74с.: ил. - Библиогр.: с. 119–120.
6. Кравчук, А.С. электронная библиотека механики и физики. Лекции по ANSYS/LS-DYNA и основам LS-PREPOST [ANSYS/LS-DYNA. Общая характеристика интерфейса и средств создания твердотельной модели детали. Использование моделей материалов и типов конечных элементов LS-DYNA]. / Кравчук А.С, А. И. Кравчук. – М.: БГУ, 2013 г. – 161с.: ил. - Библиогр.: с. 158–159.
7. Нори Д., де Фриз Ж. Введение в метода конечных элементов: Пер. с англ. / Нори Д. де Фриз Ж. – М.: Мир, 1981 г. – 304с
8. Зенкевич, О. Метод конечных элементов в технике / Зенкевич О. – М.: Мир, 1979 г. – 541 с.

9. Чумаченко, Е.Н. Математическое моделирование в нелинейной механике (обзор программных комплексов для решения задач моделирования) / Е.Н. Чумаченко. - М.: 2009 г. – 38 с.
10. Горина, Л.Н. Безопасность и экологичность объекта дипломного проекта. Учебно-методическое пособие к дипломному проектированию. / Л.Н. Горина, Н.Е. Данилина, Н.Н. Кувшинова и др. – Т.: изд-во ТГУ, 2008. – 33 с.
11. Jonh O. Hallquist. LS-DYNA theoretical manual. / Jonh O. Hallquist. - Livermore Software Technology Corporation. – 1998.
12. LS-DYNA 960 Keyword User's Manual. Livermore Software Technology Corporation – 2001.
13. LS-DYNA 960 Keyword User's Manual [Volume 2, material models]. Livermore Software Technology Corporation – 2002.
14. Bradley, N. Maker. Input Parameters for Metal forming simulation Using LS-DYNA. / Bradley N. Maker ,Xinhai Xhu. - 6<sup>th</sup> International LS-DYNA conference. – 2000.
15. SuriBala. Modeling rigid Bodies in LS-DYNA. / SuriBala- FEA information Newsletters – vol. 1. 2002.
16. Горина, Л.Н. Обеспечение безопасности условия труда на производстве / Л.Н. Горина. – Т.: ТГУ, 2004г. – 94 с.
17. Организация производства и менеджмент: Методические указания к выполнению курсовой работы / сост. Н.В. Александрова. – Т.: ТГУ, 2007. – 32с.
18. Гончаров, П.С. NX для конструктора-машиностроителя / Гончаров П.С., Ельцов М.Ю., Коршиков С.Б., Лаптев И.В., Осюк В.А. -М.: ДМК Пресс Москва, –2010 г. - 477 с.
19. Мельников, Э.Л. Холодная штамповка днищ. / Мельников Э.Л. - М.: Машиностроение, –1976 г. - 184 с.
20. Сегерлинд, Л.Дж. Применение метода конечных элементов. / Сегерлинд Л. Дж. – М.: Мир, 1979 г. – 304 с.