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»

15.03.01 Машиностроение
(код и наименование направления подготовки, специальности)
Машины и технология обработки металлов давлением
(профиль)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Разработка технологического процесса штамповки зубчатого колеса в системе CAD – CAE»

Студент(ка)	П.П. Богатырев	
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)
Руководитель	П.Н. Шенбергер	
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)
Консультанты	Л.Н. Горина	
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)
	И.В. Краснопевцева	
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)

Допустить к защите

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

«_____»_____20_____г.

Тольятти 2016

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.к афедрой «СОМДиРП»
_____ В.В. Ельцов
(подпись) (И.О. Фамилия)
«____»_____20___г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение бакалаврской работы

Студент Богатырев_Платон_Павлович

1.Тема__Разработка_технологического_процесса_штамповки_зубчатого_колеса_в_системе_CAD_-_CAE

2. Срок сдачи студентом законченной выпускной квалификационной работы _____

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе Технологический процесс изготовления зубчатого колеса

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов, разделов) 1)_Основы_CAE_анализа горячей объёмной штамповки в DEFORM_3D_2)_Анализ_исследуемого_технологического_процесса_3)_Формирование_3D модели заготовки и инструмента в_SIEMENS_NX9_4)_Моделирование процесса горячей штамповки в DEFORM_3D_5)_Безопасность_и_экологичность_проекта_6)_Экономическое_обоснование_проекта_

5. Ориентировочный перечень графического и иллюстративного материала презентационный материал

6. Консультанты по разделам _И.В. Краснопевцева Л.Н. Горина

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: Богатырева Платона Павловича

по теме: «Разработка технологического процесса штамповки зубчатого колеса в системе CAD/CAE.

Наименование раздела работы	Плановый срок выполнения раздела	Фактический срок выполнения раздела	Отметка о выполнении	Подпись руководителя
Основы CAE-анализа горячей объёмной штамповки в DEFORM- 3D				
Анализ исследуемого технологического процесса				

Формирование 3D модели заготовки и инструмента в SIEMENS NX 9				
Моделирование процесса горячей штамповки в DEFORM- 3D				
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 данном дипломном проекте представлено исследование процесса моделирования горячей объёмной штамповки при помощи CAE-анализа, используя для этого программный продукт DEFORM-3D.

В технологической части проекта выпускной квалификационной работы определены форма и размеры исходной заготовки. В работе был представлен процесс формирования и проверки 3D-геометрии детали. В теоретической части представлены основы CAE-анализа, его преимущества, области применения. В дипломной работе также рассмотрены техника безопасности и мероприятия по охране труда. В экономической части была рассчитана ***.

Объём пояснительной записки 60 страниц, графического материала 6 листов формата А1.

Содержание

Введение 8

1.Основы CAE-анализа горячей объёмной штамповки в DEFORM-3D 10

2.Анализ исследуемого технологического процесса 20

2.1.Конструирование чертежа поковки зубчатого колеса 20

2.2.Размеры заготовки 23

2.3.Расчёт усилия пресса 25

2.4.Расчёт размеров перемычки под прошивку……..26

2.5.Определение формы и расчёта объёма заусенца.....28

3.Формирование 3D-геометрии заготовки и инструмента в Siemens NX9…….31

3.1Формирование 3D геометрии заготовки и инструмента для операции «Осадка»…….31

3.2Формирование 3D геометрии инструмента для операции «Штамповка»…….32

3.3Формирование 3D геометрии инструмента для операции «Прошивка перемычки»……33

3.4Формирование 3D геометрии инструмента для операции «Обрезка заусенца»……33

4.Моделирование процесса объёмной штамповки в DEFORM-3D…….....35

4.1.Иллюстрированное моделирование операции «Осадка заготовки»……..35

4.2.Иллюстрированное моделирование операции «Штамповка»……38

4.3.Иллюстрированное моделирование операции «Прошивка перемычки»……39

4.4.Иллюстрированное моделирование операции «Обрезка заусенца»……40

5.Безопасность и экологичность проекта……41

5.1 Технологическая характеристика объекта……..41

5.2 Идентификация профессиональных рисков……...42

5.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков……43

5.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта……...44

5.5 Обеспечение экологической безопасности технического объекта.....

6.Экономическая часть 55

Заключение .....

Список используемых источников .....

Введение

В данной дипломной работе рассмотрено исследование процесса моделирования горячей объёмной штамповки с помощью программного продукта DEFORM-3D. Его главным преимуществом является способность решать множество задач, близко связанных с горячей объёмной штамповкой: осадка, прокатка, штамповка, прошивка, обрезка и т.д.

Горячая объёмная штамповка является видом обработки металлов под давлением, объединяющая несколько технологических процессов, осуществляемых горячей пластической деформацией.

В экономическом отношении обработка металлов давлением (ОМД) обладает следующими преимуществами:

1) Экономным использованием материала и сравнительно небольшими отходами.
2) Высокой производительностью оборудования с применением механизации и автоматизации технологических процессов.
3) Массовым выпуском и низкой стоимостью изделий.

Наибольший эффект от применения ОМД может быть обеспечен при комплексном решении технологических вопросов на всех стадиях подготовки производства.

Во время штамповки деталей возникает вопрос повышения качества изготовления изделий в сочетании с требуемыми свойствами. Чтобы избежать лишних затрат при изготовлении и доработке оснастки, был применён способ математического моделирования с помощью CAD - CAE-программных продуктов Siemens NX9 и DEFORM-3D. Что позволяет не только избежать перерасхода финансов, но и существенно снизить затраты на время,

потребовавшееся на проведение испытаний и проектирования штамповой оснастки.

Целью дипломной работы является повышение качества изготовления поковки зубчатого колеса на основании методов численного моделирования в CAD/CAE системах.

Для достижения поставленной цели, необходимо решить **следующие задачи**:

- Провести анализ особенностей численного анализа с помощью программного продукта DEFORM-3D.
- Выполнить анализ технологического процесса, получения зубчатого колеса.
- Сформировать электронную 3D-модель заготовки, детали и инструмента.
- Выполнить моделирование процесса горячей объёмной штамповки при помощи программы DEFORM-3D.
- Проверить проект на экологичность и безопасность.
- Провести расчет экономической часть дипломной работы.

1. Основы CAE-анализа горячей объёмной штамповки в DEFORM-3D

CAE (с англ. Computer-aided engineering) – комплекс программных продуктов и пакетов, предназначенных для решения различных инженерных задач: расчётов, анализа, симуляции физических процессов. По-другому **CAE** можно назвать системами инженерного анализа. Инженеры при помощи **CAE** могут оценить работоспособность изделия, продукта, не прибегая к большим временным и денежным затратам.

К основным продуктам **CAE**-анализа можно отнести: ANSYS**,** LS-DYNA, NX Nastran, Abaqus, Deform, Qform и прочие. **CAE**-системы – это различные программные продукты, которые способны дать пользователю характеристику того, как поведёт себя в реальном времени разработанная на компьютере модель изделия, с помощью разнообразных математических расчётов, например, метод конечных элементов.

Метод конечных элементов (**МКЭ**) — это математический (численный) метод для решения дифференциальных уравнений с частными производными, а также интегральных уравнений, возникших при решении задач прикладной физики. Метод широко используется для решения задач механики деформируемого твёрдого тела, теплообмена и т.д.

Основными задачами метода конечных элементов являются прочностной анализ и расчет деформации. Так же МКЭ стал популярным для решения инженерных задач, связанных с аэро- и гидродинамикой, электроникой и радиоанализом. С его помощью решаются задачи механики жидкости, сплошных сред, статики и динамики.

В каждом из элементов произвольно выбирается вид аппроксимирующей функции.

Типы конечных элементов:

1.Брус.

2.Стержень.

3.Тонкая пластина или оболочка.

4.Двухмерное или трёхмерное тело и т.д.

Конечные элементы могут быть линейными (элементы 1-го порядка) или параболическими (элементы 2-го порядка).

Узел - это точка связи между собой отдельных элементов (рисунок 1.1).

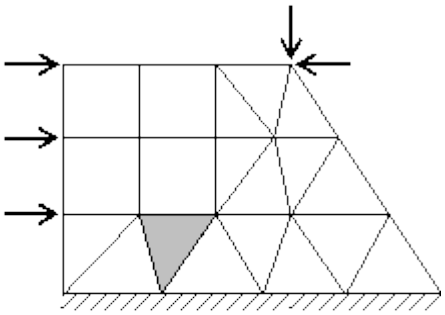


Рисунок 1.1- Узел конечных элементов

Автоматическое построение сетки выполняется по 2-м направлениям:

1. Произвольное построение сетки, когда соседние элементы могут существенно отличаться по размерам друг от друга.
2. Упорядоченное построение сетки, когда сетка создаётся путём деления геометрических элементов модели на некоторое число частей.

Степень свободы узла – это число перемещений в узле. Число независимых перемещений во всех узлах элемента определяет степень свободы КЭ. Степень свободы всей конструкции и соответственно порядок системы разрешающих уравнений определяется суммарным числом перемещений всех ее узлов. Поскольку основными неизвестными МКЭ в форме метода перемещений

считаются узловые перемещения, степень свободы КЭ и всей конструкции в целом является чрезвычайно важным понятием в МКЭ.

Если конструкция имеет оси и плоскости симметрии, то при назначении граничных условий смещения в узлах, плоскости симметрии должна равняться 0 (при условии, что смоделирована только часть конструкции.).

В общем случае МКЭ состоит из нескольких этапов:

1) Выделение конечных элементов.

Является одним из самых важных этапов МКЭ, так как от качества разбиения на конечные элементы, во многом зависит точность полученных результатов.

Например, при разбиении на более простые элементы, обеспечивает лучшие результаты концентрации напряжений, температуры, а также свойства материала.

Разделение на элементы обычно начинают от ее границы, с целью получения наиболее точного описания формы границы, после этого выполняют разделение внутренних областей. Изначально область делят на достаточно большие элементы, границы которых проходят в местах наиболее сложных местах изменения свойств материала, геометрии и т.д. Потом каждая большая область делится на более мелкие элементы, при этом стараются избегать резких изменений размеров элементов на границах.

2) Нумерация узлов элементов.

Порядок нумерации имеет весомое значение, так как влияет на качество последующих вычислений Матрица коэффициентов системы множеств алгебраических уравнений, по сути своей является разряженной матрицей ленточной структуры. Ненулевые элементы матрицы расположены параллельно главной диагонали. Целые числа являются максимальной разностью между номерами ненулевых элементов строки и называются шириной полосы.

От ширины полосы зависит какой объём памяти будет использован для хранения матрицы при анализе. Чем меньше ширина полосы, тем меньше будет использовано памяти и тем самым затраты времени на решение уравнений так же снижаются. При нумерации узлов, следует соблюсти последовательность, иначе нумерация будет неправильной, и во время расчёта, могут возникать ошибки, которые возможно приведут к нежелательным деформациям анализируемой детали.

3) Определение аппроксимирующей функции для каждого элемента (определение функции элемента).

Этот этап представляет собой аналитический метод решения поставленной задачи с использованием метода конечных элементов. Используется для решения задачи, с небольшим набором КЭ, так как представляет собой подсчёт без применения вычислительных процессов компьютерных платформ.

4) Решение полученной системы алгебраических уравнений.

Реальная конструкция аппроксимируется сотнями конечных элементов и, следовательно, появляются системы уравнений с сотнями и тысячами неизвестных, которые нужно решить. Решение таких систем - главная проблема реализации МКЭ.

Преимущества и недостатки МКЭ.

Основными преимуществами МКЭ являются:

1. Свойства материалов смежных элементов могут быть различными. Это позволяет применять метод к телам, составленных из нескольких материалов.
2. КЭ являются простые области (прямые линии, треугольники, прямоугольники, пирамиды, призмы). Таким образом, данным методом можно упрощать тела со сложной формой краев.

3. Размеры элементов могут быть переменными. Это позволяет увеличивать или уменьшать элементы сетки.
4. Алгоритм метода конечных элементов позволяет создать общие программы для решения задач различного класса.
5. Задача сводится к решению системы алгебраических уравнений большой размерности. Однако хорошая обусловленность системы разрешающих алгебраических уравнений позволяет получать достаточно точные решения для систем уравнений размерностью 5-10 миллионов и более.
6. Возможность разбиения на КЭ области любой формы и возможность расчёта полей напряжений и деформаций в реальных деталях с учётом всех их конструкционных особенностей.

Основные недостатки МКЭ:

Зависимость результатов расчёта от выполняемого пользователем выбора (построения) сетки КЭ и трудность оценки точности получаемых результатов являются основными недостатками метода.

Погрешности метода конечных элементов связаны с

•*ошибками дискретизации,* являющимися результатом геометрических различий границы рассматриваемой области (детали) и её КЭ-модели;

•*ошибками базисной функции,* обусловленными разностью между точным решением и его представлением в виде комбинации базисных функций заданного вида;

• *ошибками округления,* связанными с конечной длиной разрядной сетки компьютера и большим числом операций, выполняемых при решении задачи методом конечных элементов [1].

Ошибки дискретизации уменьшаются с уменьшение КЭ, а ошибки базисной функции и ошибки округления – нет (во всяком случае, не обязательно). Однако, общий (универсальный и теоретически обоснованный)

метод оценки погрешности МКЭ на сегодня отсутствует, а точное решение в реальных задачах обычно неизвестно. Поэтому, наиболее часто для оценки погрешности используется следующий приём: выполняется несколько расчётов при различных разбиениях области на КЭ, по результатам этих расчётов строится зависимость рассчитанных напряжений (перемещений, деформаций) от размера элемента, затем выполняется экстраполяция размера элемента, стремящегося к нулю. При отсутствии ошибок округления, такая последовательность решений сходится к точному решению, если

• базисные функции таковы, что при переходе через границу элементов остаются непрерывными сама функция и её производные вплоть до порядка p–1 включительно, где p – наивысший порядок производных содержащихся в функционале.

• размеры сетки уменьшаются таким образом, чтобы элементы каждого последующего уровня представляли собой части соответствующих элементов предыдущего уровня.

Метод конечных элементов довольно логичен. Он используется в программах: Siemens NX, LS-Dina, Deform-2D/3D и т.д. Моделирование процесса горячей объёмной штамповки осуществимо с помощью программного продукта DEFORM 3D.

DEFORM™-3D –гибкая и открытая (Fortran, Python), кросс-платформенная (UNIX/Windows) система конечно-элементного анализа механики и термодинамики процессов деформирования материалов при трёхмерной постановке задачи (рисунок 1.2).

Назначение:

›Обработка материалов давлением:

•Горячая ковка, объёмная штамповка и прокатка;

•Холодная объёмная и листовая штамповка и прокатка;

•Кольцевая раскатка;

•Волочение;

•Экструзия;

•Процессы спекания под давлением порошковых материалов;

›Обработка металлов резанием:

•Сверление;

•Фрезерование;

•Токарное точение;

›Термодинамика технологических процессов:

•Теплообмен с инструментом и окружающей средой;

•Индукционный и резистивный нагрев;

•Термообработка;

•Закалка;

•Отпуск;

•Отжиг;

›Шаблоны:

•DEFORM™ -F3/DEFORM™ -F2–моделирования процессов ковки и штамповки;

•Machining [Cutting]–резание металлов (сверление, точение, фрезерование);

•Die Stress Analysis–анализ нагрузок на инструмент;

•Shape Rolling–прокатка;

•Ring Rolling–кольцевая раскатка;

•Heat Treatment–процессы теплообмена;

›Исходные данные: ›Геометрия:

•3D–параллелепипед, цилиндр, полый цилиндр с/без скруглений на кромках;

•Прокатные ролики Ои V–профиля, сверло;

•Экструзия и вращение из плоского сечения произвольной формы (*.IGS);

•Импорт из CAD-систем (*.STL, *.PDA, *.IGS);

Модель материала:

•Библиотека материалов (250 наименований AISI, DIN, JAPAN стандарты);

•Материалы, создаваемые пользователем;

Начальные и граничные условия:

•Условия контакта;

•Модель трения;

•Условия теплообмена;

•Фазовый состав;

•Размер зерна;

•Содержание углерода.

Рисунок 1.2 - Структура и процесс моделирования в DEFORM- 3D

Препроцессор.

Возможности препроцессора:

- Создание простейшей и импорт из CAD систем сложной геометрии;
- Создание собственных и импорт сеток конечных элементов из сеточных генераторов сторонних пакетов (PATRAN, ANSYS ICEM);
- Библиотека материалов с возможностью добавления новых материалов;

- Выбор критериев и моделей исследуемых процессов из перечня известных в области ОМД и подготовка данных для них;
- Библиотека энергосиловых параметров стандартного оборудования для ОМД;
- Задание начальных и граничных условий, исследуемого процесса;
- Установка параметров моделирования: количество шагов, шаг сохранения результатов, алгоритмы решения уравнений, критерии остановки процесса и переразбиения сетки.

Решатель.

Возможности решателя:

- Автоматическое перестроение сетки, распараллеливание процесса решения,
- управление очередью задач.
- Алгоритмы решателя.
- Задачи деформирования;
- Метод сопряженных градиентов;
- Метод разреженных матриц;
- Задачи теплообмена;
- Метод сопряженных градиентов;
- Метод разреженных матриц;
- Skyline storage метод;
- Итерационные методы Ньютона и Рефсона;
- ВЫХОДНЫЕ ФАЙЛЫ; MSG, файл сообщений, .LOG ,лог файл, ERR, файл ошибок, DB–файл базы данных задачи.

Постпроцессор.

Возможности постпроцессора:

Графическое представление результатов вычислений по шагам:

• Общее;

• Между двумя точками;

• В указанных точках;

Определение направления течения материала с использованием линий и сеток Лагранжа.

Вывод информации в виде:

• Графических файлов;

• Видеофайлов;

• Текстовых файлов (изменение параметров по шагам, элементам и узлам).

В этом разделе был рассмотрен CAE-анализ. Проведён анализ работы метода конечных элементов, а также была выбрана программа, работающая с этим методом.

2. Анализ исследуемого технологического процесса

2.1 Конструирование чертежа поковки зубчатого колеса

Чертеж поковки зубчатого колеса показан на рисунке 2.1. Параметры приведены в таблице 2.1.

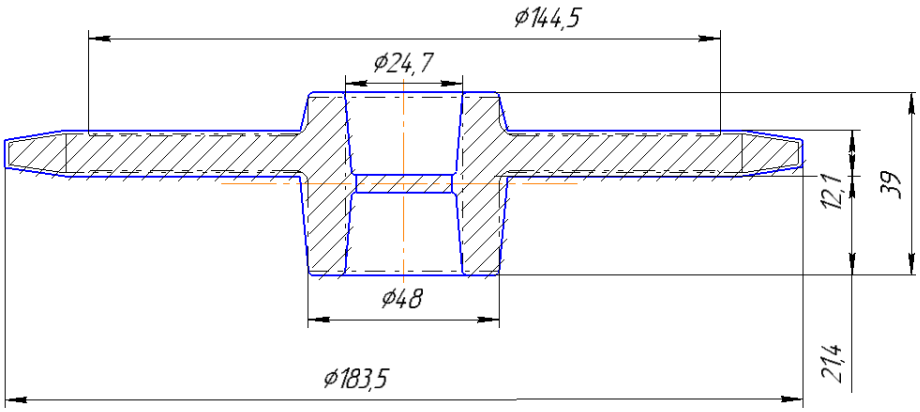


Рисунок 2.1 – Чертёж поковки

Таблица 2.1 – Параметры поковки (в мм)

D2	D1	D3	h1	h2	h3
144.5	48	183.5	12.1	21.4	40

Штамповочное оборудование – КГШП.

Нагрев заготовки – индукционный. Температура нагрева: 1280 ºС [2].

2.1.1 Исходные данные по детали:

a) Материал – СТ30

b) (Кремний (Si) 0.17-0.37

c) Медь (Cu), не более 0.25

d) Мышьяк (As), не более 0.08

e) Марганец (Mn)0.50-0.80

f) Никель (Ni), не более0.25

g) Фосфор (P), не более0.035

h) Хром (Cr), не более 0.25

i) Сера (S), не более 0.04

2.1.2 Определение массы детали:

Вычисляется объём детали с учётом всех отверстий с использованием программы NX9 Siemens PLM Software: V=379953мм^3.

Определяется масса детали:

m=$379953 \times 7.8 = 1{,}317$ кг

Определение объёма геометрической фигуры, в которую вписывается форма детали: $V_ф = \frac{\pi \times 〖181〗^2}{4} \times 39 = 168957$мм3 .=>0,168кг.

В соответствии с данными таблицы [3, табл. 2] определяется степень сложности поковок. - - С3 по количеству углерода в детали. Деталь входит в диапазон «0,16-0,32».

2.1.3 Определение исходного индекса.

Исходный индекс определяется с помощью данных таблицы [3, табл. 2], так же вычисляется масса поковки с учётом расчётного коэффициента.

$m_п = m_Д \cdot k_\rho = 1{,}3 \cdot 1.5 = 1{,}965$кг

Расчетный коэффициент определяется с помощью данных таблицы [3, табл. 20, прилож. 3].

Класс точности определяется с помощью данных таблицы [3, табл. 19, прилож. 1] : Т4.

Группа стали определяется с помощью данных таблицы [3, табл. 1]: М1

Исходный индекс определяется с помощью данных таблицы [3, табл. 2]: 11

Диаметр фигуры $181 \cdot 1{,}05 = 190{,}05$мм

Высота фигуры $39 \cdot 1{,}05 = 40{,}95$мм

$V_ф = 1105783{,}2$мм^3 $m_ф = 1.41$кг $\frac{m_п}{m_ф}$ =1,39

Конфигурация поверхности разъёма штампа: П(плоская)

2.1.4 Припуски и кузнечные напуски.

a) Основные припуски на размеры:

Ø181мм, шероховатость 1,6

Ø26 мм, шероховатость 1,6

толщина 39мм, шероховатость 2,5

толщина 8,9 мм, шероховатость 2,7

b) Дополнительные припуски, учитывающие:

- Смещение по поверхности разъёма штампа – 0,3 мм
- Отклонение от плоскости – 0,3 мм

c) Штамповочный уклон:

- На наружной поверхности не более 5º, принимаем 5º.
- На внутренней поверхности не более 7º, принимаем 7º.

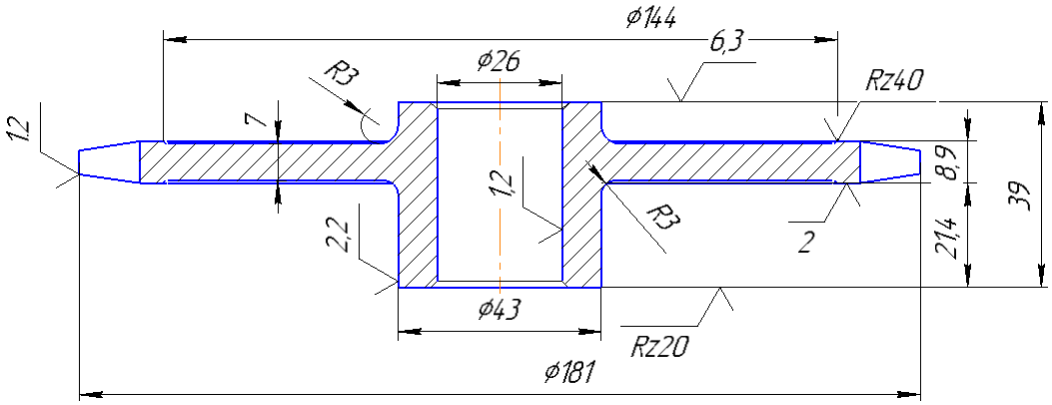


Рисунок 2.2 - Чертёж детали

Таблица 2.2 - Основные размеры детали (в мм)

D1	D2	D3	d1	h1	h2	h3	h4	R1	R2	A	Б	B	Г	F	D	E
43	144	181	26	8.9	21.4	39	7	3	3.2	Rz40	2	Rz20	6.3	1.2	2.2	1.2

2.1.5 Размеры поковки и их допускаемые отклонения.

a) Размеры поковки:

Ø181+2(1,6+0,3) =184,5мм принимаем 184 мм

Ø26-2(1,7+0,3) =22,3мм принимаем 22мм

толщина 39+1,3+1,6=41,9 мм принимаем 41 мм

толщина 8,9+1,2+1,5=11,6 мм принимаем 11мм

b) Радиус закругления наружных углов – 2 мм min, принимаем 3 мм.

c) Допускаемые отклонения размеров:

$Ø185^{1,4}_{-0,8}$

$Ø23^{+1,7}_{-0,7}$

толщина $43^{+1,3}_{-0,7}$

толщина $13^{+1,7}_{-0,5}$

d) Допускаемая величина остаточного облоя 0,9 мм

e) Допускаемое отклонение от плоскостности 0,8 мм

f) Допускаемое отклонение от концентричности пробитого отверстия

g) Относительно внешнего контура поковки 1,0 мм

h) Допускаемое смещение по поверхности разъема штампа 0,7 мм

i) Допускаемая величина высоты заусенца 3 мм

2.2 Размеры заготовки

Расчёт размеров заготовки из сортового проката включает определение объёма заготовки, площади и размеров её поперечного сечения и в последнюю очередь длины заготовки. Объём заготовки определяют, как сумму объектов поковки и отходов на угар, заусенец и перемычки под прошивку.

Для поковок, изготавливаемых осадкой исходной заготовки в торец, диаметр D определяют по формуле:

$$D_0 = 0.8 \cdot \sqrt[3]{V_ф} \quad (2.1)$$

$V_ф$=200000.06мм^3- объём заготовки с учётом отхода на угар

$$D_{0=}0.8 \cdot \sqrt[3]{1105783,2} = 82,72мм \quad (2.1)$$

Отсюда находится площадь поперечного сечения $F_{заг}$ по формуле:

$$F_{заг} = \frac{\pi \cdot D_0^2}{4} = 5371,4мм^2 \quad (2.2)$$

Найдём длину исходной заготовки $L_{заг}$ по формуле:

$$L_{заг} = \frac{V_ф}{F_{заг}} = \frac{1105783,2}{5371,4} = 205,8мм \quad (2.3)$$

2.3 Расчёт усилия пресса

На КГШП штампуются поковки сложной конфигурации массой до 100 кг. Условие деформирования отличается от условия деформирования на молотах. Это объясняется различной скоростью деформирования, которая на молотах составляет 5-8 м/с, а на прессах 0.5 — 0.6 м/с, поэтому и процесс заполнения полости штампа металлом на прессах происходит менее интенсивно, чем на молотах. Наличие у прессов выталкивателей позволяет:

- уменьшить штамповочные уклоны;
- применять закрытую штамповку;
- применять штамповку выдавливанием.

Усилие пресса определяем по формуле:

$$P = G_s \cdot \left(1 + 0.17 \cdot \frac{D_{\text{ср}}}{H} - 0.33 \cdot \frac{H^2}{D_{\text{ср}}}\right), \quad (2.4)$$

Где $D_{\text{ср}}$- Средний диаметр заготовки после осадки

$$D_{\text{ср}} = D_0\sqrt{\frac{H_0}{H}} = 21.7 \cdot \sqrt{\frac{181}{39}} = 46.7\text{мм} \quad (2.5)$$

Где H- высота конечной заготовки

H_0 – высота исходной заготовки ($L_{\text{заг}}$)

D_0 – диаметр исходной заготовки

$$P = 4 \cdot \left(1 + 0.17 \cdot \frac{181}{39} - 0.33 \cdot \frac{39^2}{181^2}\right) = 7.06\ \text{кг/мм}^2 \quad (2.6)$$

Усилие осадки $\boldsymbol{P}_{\text{осадки}}$:

$\text{P}_{\text{осадки}} = \text{P} \cdot \text{F}_{\text{заг}} = 7.06 \cdot 5371{,}4 = 337.37\text{мН}$

2.4 Определение формы и расчёта объёма заусенца

Количество металла, вытекающего в заусенечную канавку, зависит от ряда факторов, прежде всего от распределения объема металла заготовки в ручье и от соответствия между формами вертикальных сечений ручья и заготовки. Последнее определяет последовательность и характер заполнения ручья. Так, при заполнении ручья осадкой заусенец получается меньше, чем при заполнении ручья вдавливанием. Количество металла, вытекаемого в заусенец, определяет объем необходимой заусенечной канавки. В то же время форма и размеры канавки оказывают влияние на процесс истечения металла в заусенец. Поэтому, изменяя форму и размеры канавки, можно влиять на количество металла, образующего заусенец.

Завышение размера высоты заусенца (участок мостика заусенечной канавки) приводит к более свободному истечению в заусенец. При этом ручей может оказаться незаполненным. В таких случаях приходится увеличить объем

заготовки. А это приводит к увеличению отхода в заусенец и не всегда исключает не заполнение ручья.

Занижение размера высоты заусенца приводит к возрастанию сопротивления истечению, особенно при последних ударах. При этом увеличивается число ударов, необходимых для вытеснения излишка металла в заусенец после заполнения ручья, снижается производительность штамповки, повышается износ штампа и возрастает число случаев недоштамповки поковок по высоте.

Ближе к оптимальным размерам значения

$$h_з = 0.015\sqrt{F_n} \qquad (2.7)$$

где F_n - площадь проекции поковки на плоскость разъема в *мм.*

$$h_з = 0{,}015\sqrt{F_n} = 0.015\sqrt{26015{,}5} = 2{,}4 \text{ мм}, \qquad (2.7)$$

принимаем ближайшую большую глубину

$$h_з = 2 => S_з = 153\text{мм}^2,$$

С целью унификации режущего инструмента, применяемого при изготовлении заусенечных канавок, размеры последних нормализуют.

Для одного и того же размера высоты заусенца предусмотрено три группы размеров канавки по ширине:

1) для узкого заусенца

2) для среднего заусенца

3) для широко заусенца

Узкую канавку рекомендуется делать, когда ручей заполняется в основном в последнюю стадию процесса штамповки, например, когда ручей заполняется преимущественно осадкой; среднюю - при многостадийном процессе

заполнения ручья, когда осадка и вдавливание; широкую - при полном или почти полном отсутствии первой стадии процесса штамповки.

Внедрение клиновых канавок вместо обычных при штамповке поковок дисков и зубчатых колес уменьшает отход на заусенец в среднем с 15-25% до 5-10%, т.е. в 2,5-3 раза.

Объем заусенца высчитывается по формуле (2.8):

$$V_з = k \cdot P_n \cdot S_з \qquad (2.8)$$

где $S_з$ - площадь поперечного сечения заусенечной канавки;

P_n— длина заусенца по замкнутой линии, проходящей через центры

тяжести поперечных сечений заусенца, или приближенно периметр поковки по линии среза заусенца:

k - коэффициент заполнения металлом канавки для заусенца круглого сечения 0,5.

$$V_з = k \cdot P_n \cdot S_з = 2227000{,}8\text{мм}^2 \qquad (2.8)$$

У круглых в плоскости разъема поковок заусенец в среднем заполняет около 0,5-0,6, у прочих поковок - около 0,6-0,8 объема канавки.

Фактический объем заусенца у новых штампов несколько больше расчетного и уменьшается по мере износа окончательного ручья.

Усилие среза заусенца $P_{\text{среза}}$ высчитывается по формуле (2.9):

$$P_{\text{среза}} = G_{\text{среза}} \cdot h_з \cdot l_з = 58 \cdot 2 \cdot 587.36 = 68.13\text{т} \qquad (2.9)$$

Где $h_з$- высота заусенца

$L_з$- проекция длины заусенца с учётом напусков допусков и укорнов

$G_{\text{среза}}$-допускаемое напряжение.

2.5 Расчёт размеров перемычки под прошивку

При штамповке на КГШП в штампах нельзя получить в поковке сквозного отверстия. Для облегчения последующей прошивки в поковке получают наметку с перемычкой-пленкой небольшой толщины. Если в дальнейшем отверстие сверлят, то наметку выполняют для экономии металла.

В зависимости от формы и размеров отверстий и поковок применяют пять типов наметок:

1. с плоской пленкой
2. с раскосом
3. с магазином
4. с карманом
5. глухая

Толщина обычной (плоской) перемычки S зависит прежде всего от диаметра и глубины прошивки и может быть определена по эмпирической формуле (2.10):

$$S = 0.45\sqrt{12{,}5 - 0.25 \cdot 39 - 5} + 0.6\sqrt{39} = 4{,}41\ мм. \qquad (2.10)$$

Практически установлено, что толщина пленки в 10 раз меньше её диаметра, но не менее 4 *мм.*

Усилие прошивки $\boldsymbol{P}_{\text{прошивки}}$ определяется по формуле (2.11):

$$P_{прошивки} = G_{среза} \cdot h_{перемычки} \cdot L_{перемычки} = 54 \cdot 81.104 \cdot 6.1 = 26.7т \qquad (2.11)$$

Где $h_{перемычки}$- высота перемычки

$L_{перемычки}$ – длина перемычки

3. Формирование 3D-геометрии заготовки и инструмента в Siemens NX9

3.1 Формирование 3D-геометрии заготовки и инструмента для операции «Осадка»

Используя программный продукт Siemens NX v.9, была смоделирована четверть заготовки и далее выбрав вкладку” Файл”,” Экспорт”, экспортируется заготовка в отдельную папку в формате STL.

В целях уменьшения времени расчёта, а также уменьшения КЭ, было принято решение взять только четверть модели заготовки, для полноты описания всей модели были установлены плоскости симметрии (рисунок 3.1).

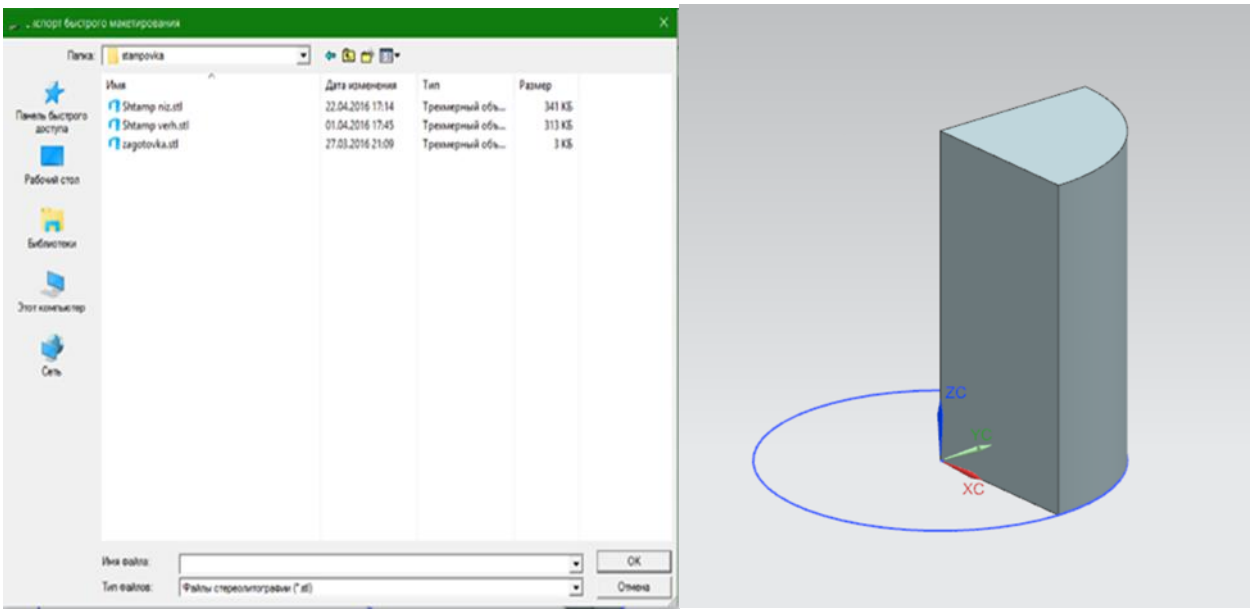


Рисунок 3.1 – 3D-модель заготовки

Инструмент для осадки был построен в DEFORM 3D с размерами A=250 B=250 H=50, радиус закругления R=15 (рисунок 3.2).

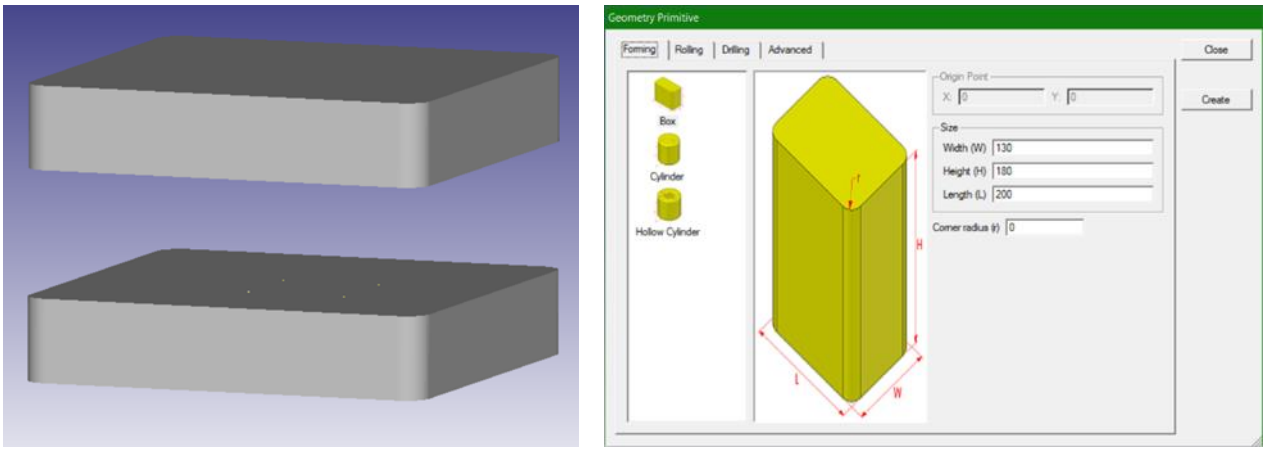


Рисунок 3.2 – Инструмент для операции «Осадка»

3.2 Формирование 3D-геометрии инструмента в Siemens NX9 для операции «Штамповка»

Для данной операции были смоделированы верхний и нижний части штампа, представленные на рисунках 3.3 и 3.4.

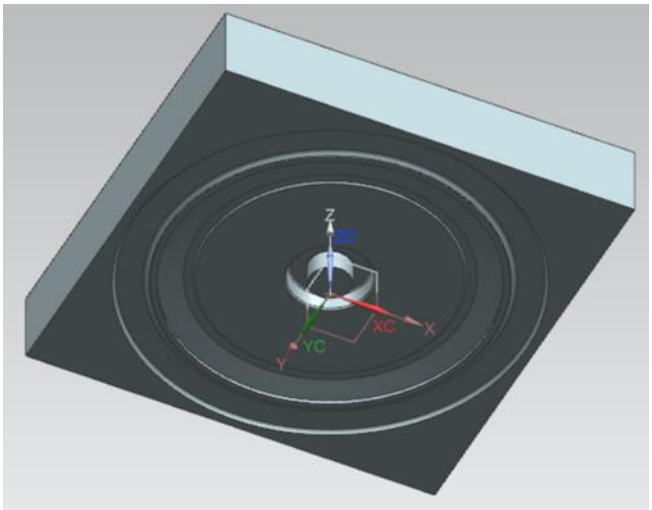


Рисунок 3.3 – Верхний штамп

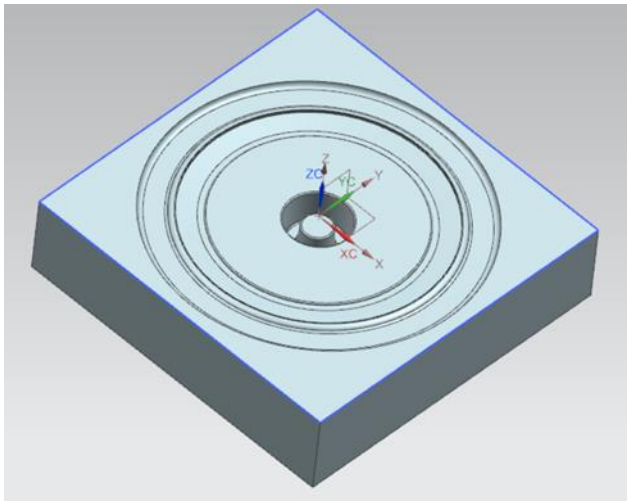


Рисунок 3.4 – Нижний штамп

3.3 Формирование 3D геометрии инструмента в Siemens NX9 для операции «Прошивка перемычки»

Для операции «Прошивка перемычки» был переделан нижний штамп, представленный на рисунке 3.4, а также был смоделирован новый инструмент для самой прошивки, показанный на рисунке 3.5.

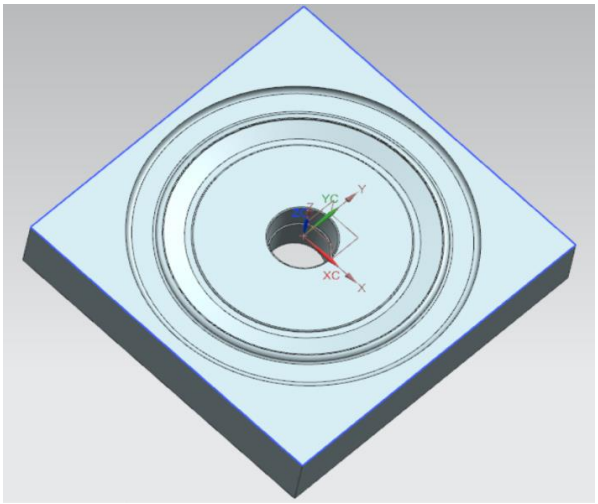


Рисунок 3.4 – Нижний штамп для операции «Прошивка перемычки»

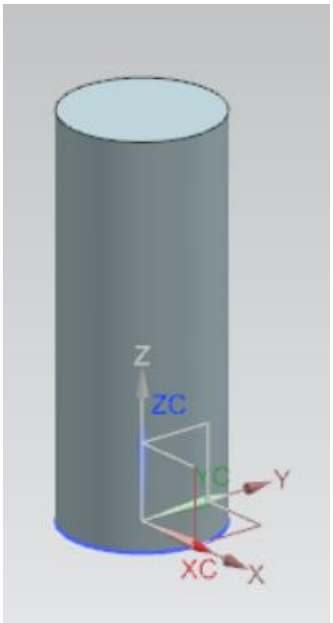


Рисунок 3.5 – Инструмент для операции «Прошивка перемычки»

3.4 Формирование 3D геометрии инструмента в Siemens NX9 для операции для операции «Обрезка заусенца»

Для операции «Обрезка заусенца» был смоделирован новый верхний штамп, который показан на рисунке 3.6. Так же был смоделирован инструмент для обрезки, с большим внутреннем радиусом на 2 мм чем нижний, для исключения столкновения. Он представлен на рисунке 3.7.

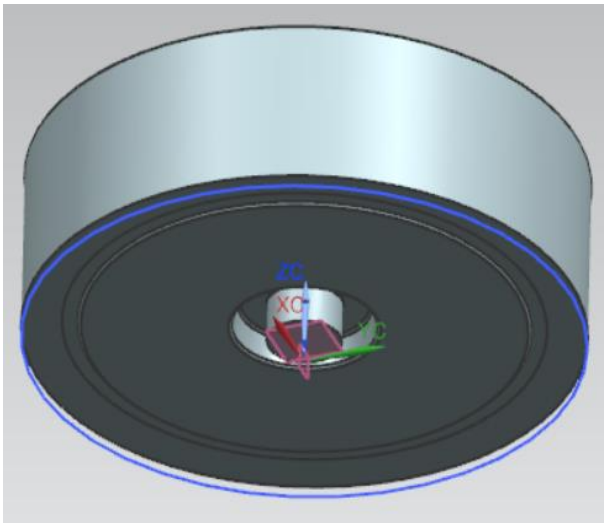


Рисунок 3.6 – Верхний штамп

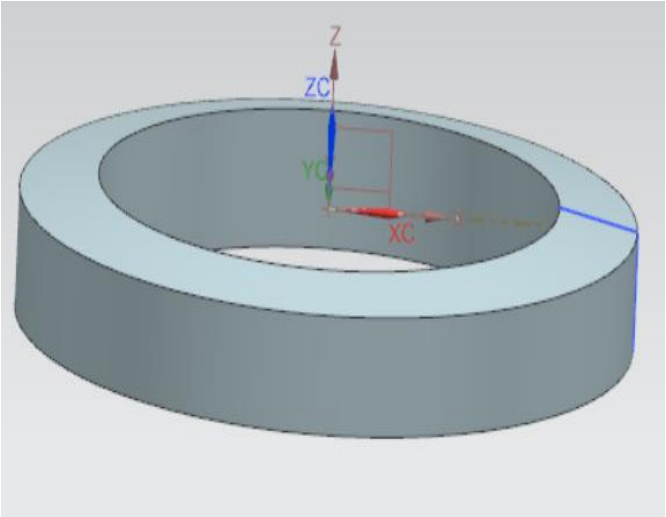


Рисунок 3.7 – Инструмент для обрезки

4. Моделирование процесса объёмной штамповки в DEFORM-3D

4.1. Иллюстрированное моделирование операции «Осадка заготовки»

Для моделирования операции «Осадка заготовки» выполняется следующая последовательность действий:

1. Запускается программный продукт DEFORM-3D.
2. Создается проект расчета («File» - “New problem” - «Next» - «Finish»).
3. В открывшемся окне препроцессора указываются параметры моделируемого технологического процесса, а именно
   - Указывается имя заготовки (рисунок 4.1, поз. 1) – Block.
   - Определяется тип заготовки – Plastic (тип материала пластичный) (рисунок 4.1, поз. 2).
   - Загружается материал для заготовки из встроенной библиотеки материалов – AISI 1030 (Ст. 30) (рисунок 4.1, поз. 3).
   - После того как задали эти параметры переходим во вкладку «Geometry» поз.1, выбираем кнопку «Import geometry» (поз.2), и импортируем заготовку в формате STL (рисунок 4.2).
   - Далее создаём сетку конечных элементов, для этого переходим во вкладку «Mesh» (поз.1), в окне (поз. 2) произвольно задаём количество конечных элементов. Нажимаем кнопку «Generate mesh» и переходим к инструменту (рисунок 4.3).
   - Инструмент был создан в программном продукте DEFORM 3D, используя при этом стандартную библиотеку данных (см. раздел 3.1).
   - Поскольку мы моделируем процесс только с одной четвёртой частью заготовки, нужно задать плоскости симметрии, для этого выбираем

нашу заготовку (поз. 1), переходим во вкладку «Object boundary conditions» (поз. 2), выбираем пункт «Symmetry» (поз. 3) далее «Symmetry plane» (поз.4). Далее выбираем наши плоскости симметрии и нажимаем кнопку (5) (Рис. 4.4).

- Далее нажимаем иконку, , в первой же вкладке выбираем систему измерений (поз. 1) - SI, а так же тип измерений(поз. 2) – Lagrangian Incremental. (рисунок 4.5). Переходим во вкладку «Step». В окне (поз. 1) задаём число шагов (50) для данной операции, окно (поз. 2) показывает частоту сохранения данных (каждый 10-ый) на шагах (Рисунок 4.6).

- Через иконку, , также можно задать модель материала, а так же различные параметры, например, коэффициент Cockcroft & Latham. С помощью иконки, , мы позиционируем инструмент относительно заготовки.

- Далее нажимаем иконку, , (поз. 1) задаём трение, далее с помощью кнопки (поз. 2) рассчитываем точность, нажимая кнопку (поз. 3) генерируем изображение на экран(Рис 4.7).

- После всего нажимаем иконку, , с её помощью создаётся база данных проекта. Для начала нажимаем кнопку, поз.1, программа проверяет нет ли ошибок, если их нет нажимаем кнопку поз.2 и создаём базу данных. База данных создаётся в формате .db. (Рис. 4.1.9).

- После выходим из окна препроцессора, предварительно сохранив проект, нажимаем иконку, , тем самым запуская расчёт. Расчёт запускается за счёт встроенного решателя, в программном продукте DEFORM 3D.

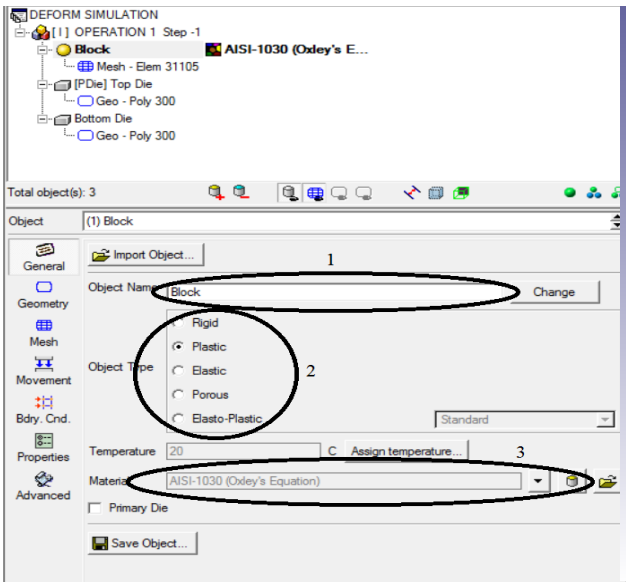


Рисунок 4.1 – Вкладка «General»

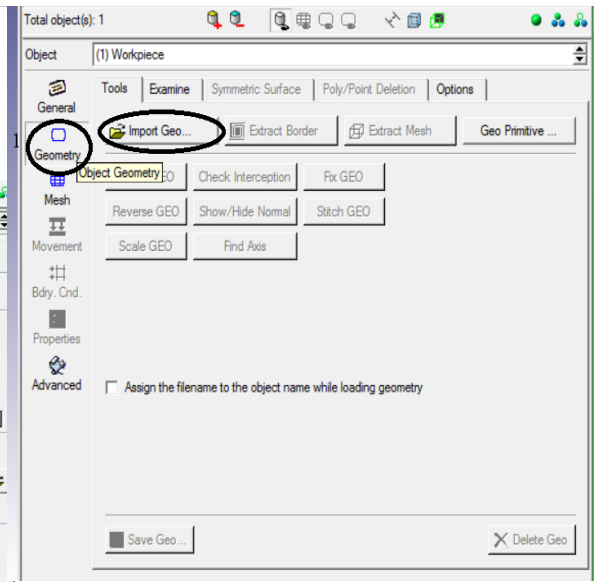


Рисунок 4.2 – Вкладка «Geometry»

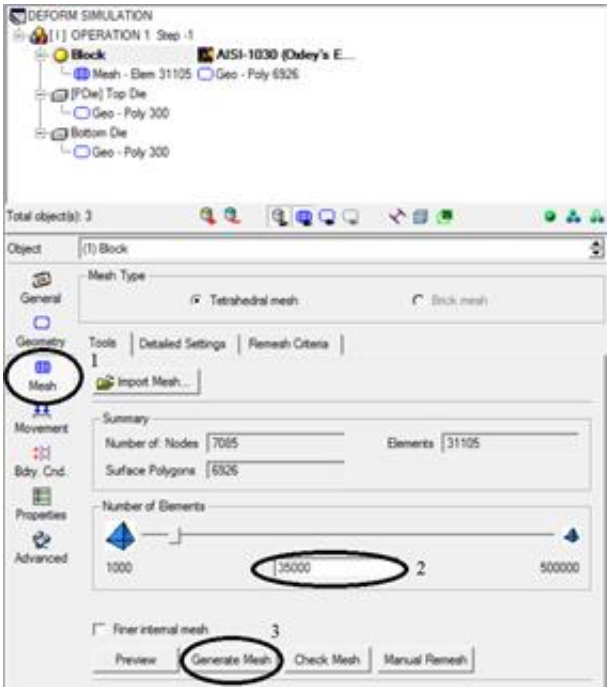


Рисунок 4.3 – Вкладка «Mesh»

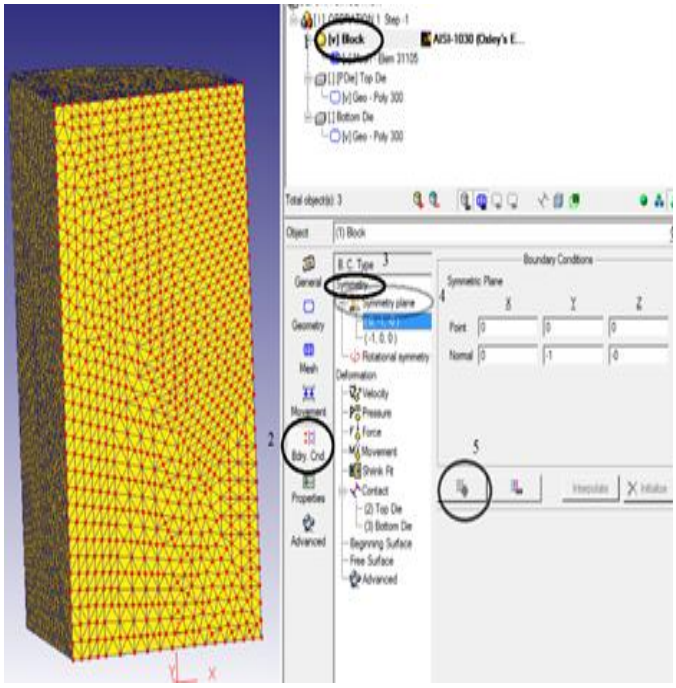


Рисунок 4.4 – Вкладка «Bdry.Cnd»

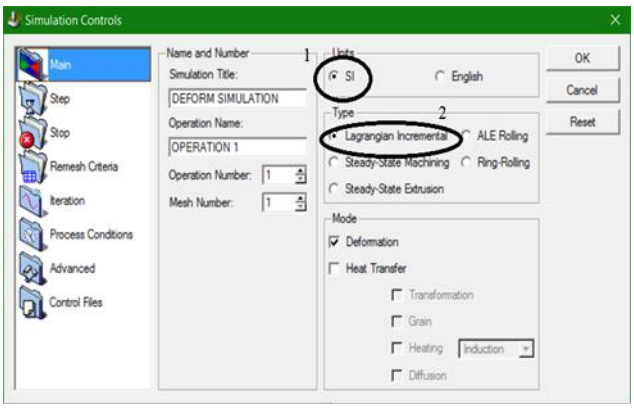


Рисунок 4.5 – Вкладка «Main»

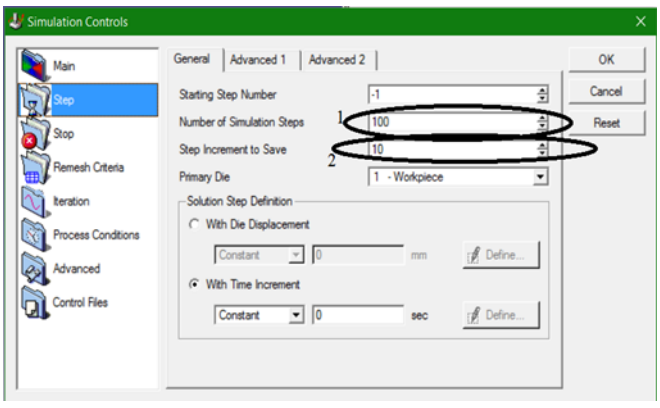


Рисунок 4.6 – Вкладка «Step»

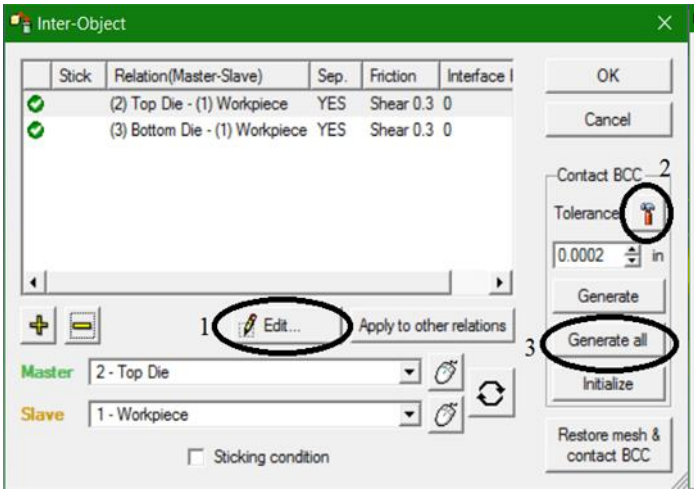


Рисунок 4.7 – Окно задания трения

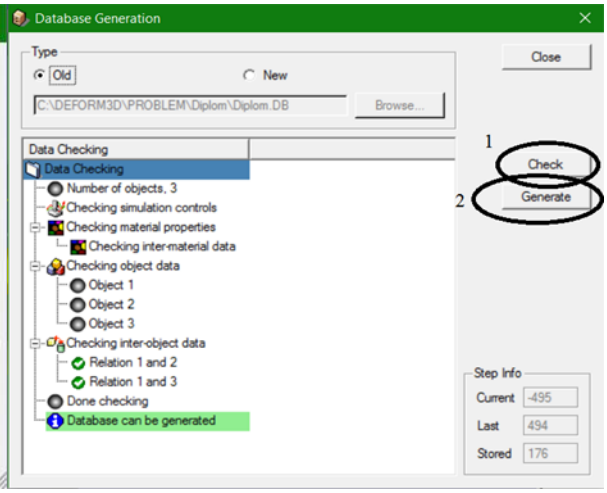


Рисунок 4.8 – Окно создания базы данных

4.2 Иллюстрированное моделирование процесса «Штамповка»

Использовав программный продукт Siemens NX9, были смоделированы верхний и нижний штампы (см. раздел 3.2) и импортированы в DEFORM 3D (рисунок 4.9).

1. Запускается программный продукт DEFORM-3D.

2. Выбирается проект расчёта (Diplom) в дереве проектов и запускается препроцессор.

3.В открывшемся окне препроцессора указываются следующие параметры:

- Во вкладке «Step» задаём число шагов- 300, ход одного шага 0.2.
- Во вкладке «Stop» задаём расстояние при котором наш штамп сомкнётся и жмём кнопку «ОК» (рисунок 4.10).
- В рабочем окне выбираем «Top Die» (поз. 1) и переходим во вкладку «Movement» (поз. 2), в окне (поз. 3) мы задаём скорость движения верхнего штампа (рисунок 4.11).
- Повторяя подпункты 11-12 пункта 3 раздела 4.1 заканчивается работа в препроцессоре.

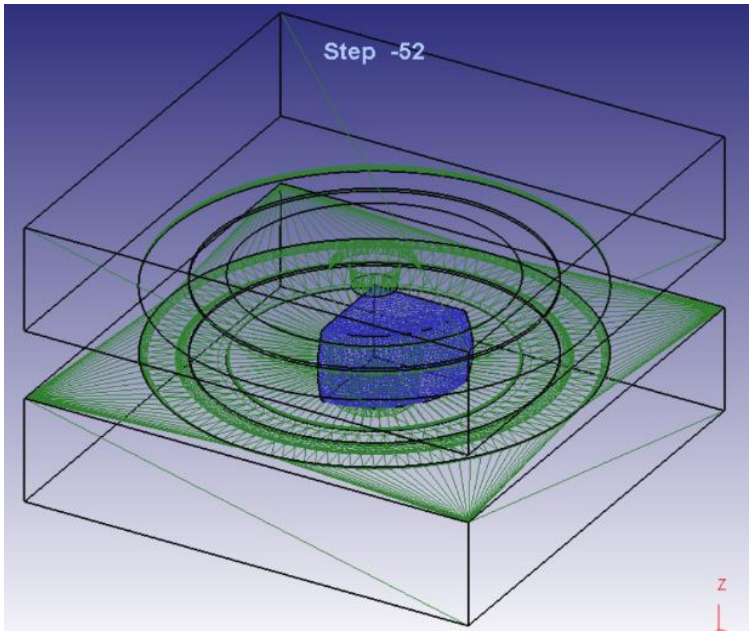
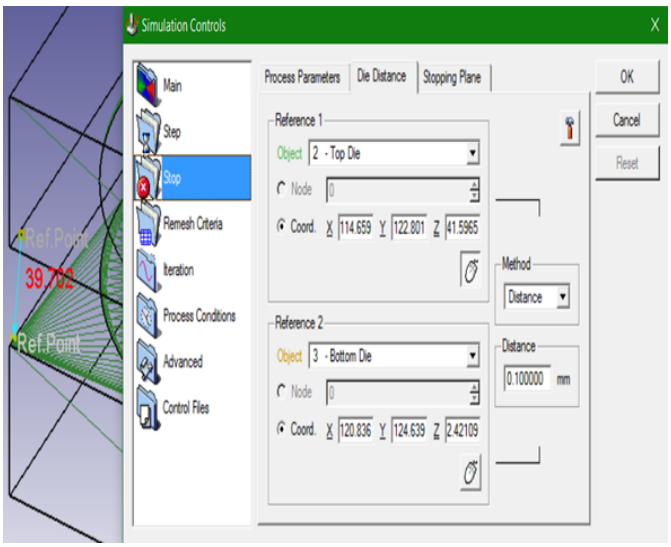


Рисунок 4.9 – Инструмент для операции «Штамповка»



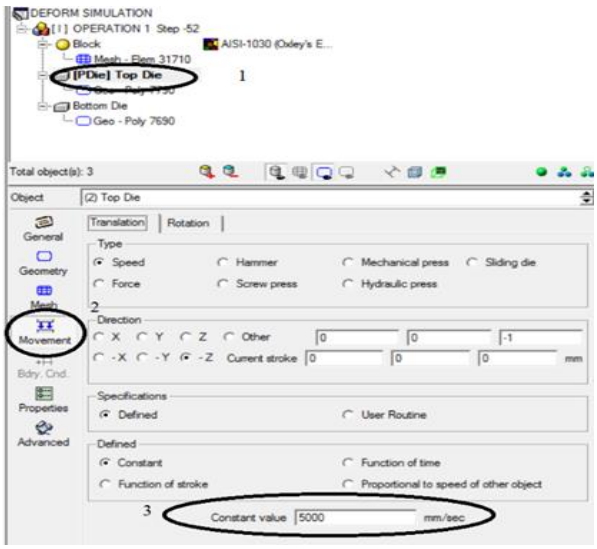


Рисунок 4.10 – Вкладка «Stop» Рисунок 4.11 – Общее рабочее окно

4.3 Иллюстрированное моделирование процесса «Прошивка перемычки»

Для этой операции был смоделирован новый нижний штамп, а также новый инструмент (см. раздел 3.3). Импортировали их в DEFORM-3D (рисунок 4.12).

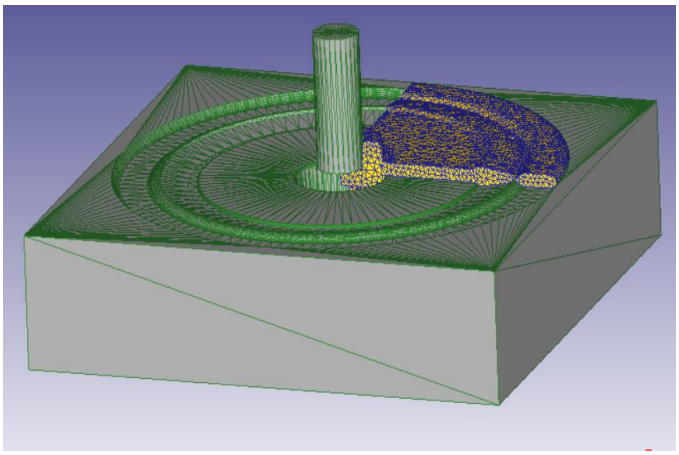


Рисунок 4.12 – Инструмент для операции «Прошивка перемычки»

- Во вкладке «Step» задаём число шагов 30, а ход одного шага ставим 0.76.
- Для этой операции вводится коэффициент разрушения металла, другими словами коэффициент Cockcroft & Latham. Для этого

нажимаем иконку, , переходим во вкладку «Advanced» (поз. 1), в окне «Fracture» (поз. 2) выбираем наш коэффициент, жмём на кнопку (поз. 3), в появившемся окне прописываем значение 0.28 (Рис.4.13).

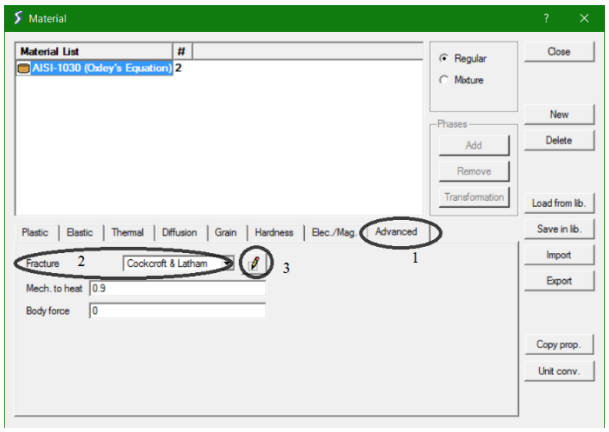


Рисунок 4.13 – Окно ввода коэффициента разрушения металла

- Завершая работу в препроцессоре, повторяется последний подпункт раздела 4.2.

4.4 Иллюстрированное моделирование операции «Обрезка заусенца»

1. Для операции «Обрезка заусенца» были смоделированы нижний штамп, а также нож для обрезки, в программном продукте Siemens NX9 (см. раздел 3.4), в последствии импортированы в программный продукт DEFORM – 3D (рисунок 4.14).

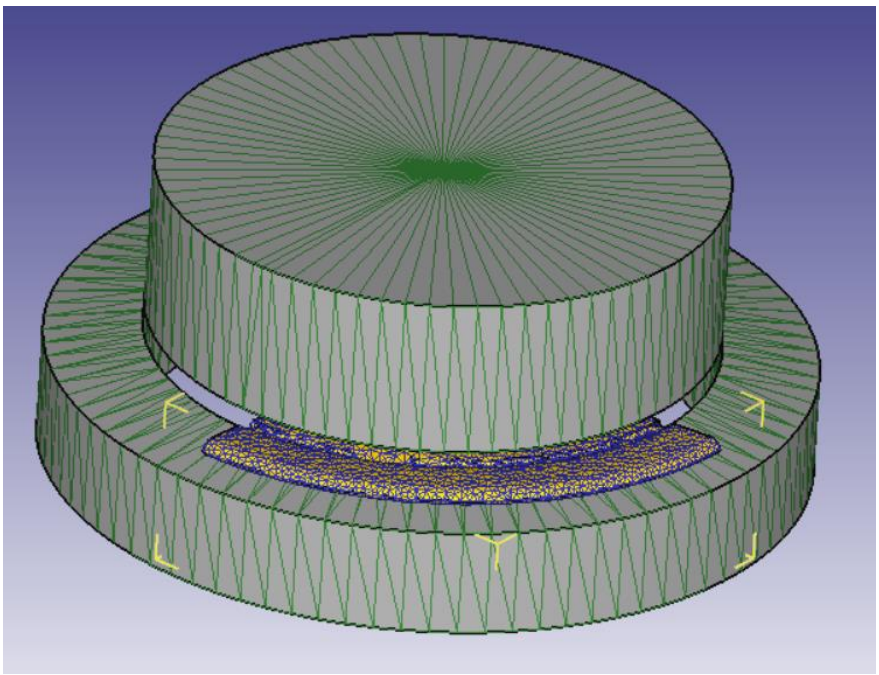


Рисунок 4.14 – Верхний и нижний штамп для операции «Обрезка заусенца»

- Во вкладке «Step», задаём число шагов 25, а ход шага 0.26.
- Далее нажимаем иконку, (поз. 1) задаём трение, далее с помощью кнопки (поз. 2) рассчитываем точность, нажимая кнопку (поз. 3) генерируем изображение на экран.
- После всего нажимаем иконку, с её помощью создаётся база данных проекта. Для начала нажимаем кнопку, поз.1, программа проверяет нет ли ошибок, если их нет нажимаем кнопку поз.2 и создаём базу данных. База данных создаётся в формате «db.».
- После выходим из окна препроцессора, предварительно сохранив проект. Расчёт запускается за счёт встроенного решателя, в программном продукте DEFORM-3D.

5. Безопасность и экологичность проекта

5.1 Технологическая характеристика объекта

В данном дипломном проекте, оборудование, 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 будет достаточно для запуска программных продуктов Siemens PLM NX 9 и DEFORM – 3D.

№ п/п	Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию	Оборудование, техническое устройство, приспособление
1	Моделирование технологического процесса штамповки зубчатого колеса	Моделирование технологического процесса штамповки	Оператор ЭВМ	Персональный компьютер CAD система - SIEMENSNX 9.0 PLMSoftware

				CAE система – DEFORM – 3D.

Так же для создания отчета и обработки статистических данных использовался Microsoft Excel 2013. При помощи которого были созданы и обработаны табличные данные конечных результатов исследования и его оптимизации, извлечённые при помощи Microsoft Word 2013 из файлов расширения opl.

Таблица 5.1 – Технологический паспорт объекта

5.2 Идентификация профессиональных рисков

Таблица 5.2 – 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 штамповки зубчатого колеса	Физические: Повышенные уровни электромагнитного излучения. Повышенный уровень статического электричества. Пониженная влажность рабочей зоны. Повышенный уровень шума. Пониженный уровень освещенности. Химические: Повышение озона, двуокиси углерода, аммиака, формальдегида Психофизические: Нагрузка на зрение	Персональный компьютер (экран и системный блок ПК), источники бесперебойного питания

		Утомление рук Нервное напряжение, утомляемость Эмоциональные нагрузки. Монотонность труда.	

5.3. Методы и средства снижения профессиональных рисков

Таблица 5.3 – 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

№ 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, а также приобретение аппаратов и техники, уровень шума которых оптимален для восприятия.	-

Продолжение таблицы 5.3			
6	Пониженный уровень освещённости	следует применять люминесцентные лампы, следует проводить чистку стекол и светильников не реже двух раз в год	-
7	Поза и статические нагрузки	Оптимизация рабочего времени и распределение времени отдыха в соответствии с нормативной документацией.	-
8	Нагрузка на зрение	Оптимизация рабочего времени и распределение времени отдыха в соответствии с нормативной документацией	-
9	Утомление рук	Оптимизация рабочего времени и распределение времени отдыха в соответствии с нормами документацией	-
10	Нервное напряжение, утомляемость	Оптимизация рабочего времени и распределение времени отдыха в соответствии с 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	-
13	Монотонность труда	Оптимизация рабочего времени и распределение времени отдыха в соответствии с документацией	-

5.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта

Таблица 5.4 – 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 и термического, пониженная концентрация, 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 5.4.1- Разработка технических средств и организационных мероприятий

Первичные средствапожаротушения	Мобильные средствапожаротушения	Стационарные установки 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 систем пожаротушения	Дымовые датчики	Рукава пожарные	Противогазы	Пожарные багры	Оповещатели пожара (звуковые, речевые)
Песок	Пожарные мотопомпы	Газовые установки систем	Тепловы датчики	Пожарный инвентарь	Носилки	Пожарные топоры	Световые указатели

		пожаротушения					"ВЫХОД"
Продолжение таблицы 5.4.1							
Кошма	Приспособленные технич.спец. средства (тягачи, прицепы)	Порошк. Установки систем пожаротушения	Приемно-контрольные приборы	Колонка пожарная	Защитные костюмы	Лопаты штыковые	Ручные пожарные извещатели

Таблица 5.4.2 – 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
Разработка технологического процесса штамповки зубчатого колеса На ПК и программных продуктах SIEMENS NX 9.0 PLM Software DEFORM – 3D	Обучение персонала требования ПБ; соблюдение техники безопасности; соблюдение последовательности алгоритма технологического процесса; наличие средств пожаротушения	Квалифицированный персонал; обеспечение защиты помещений системами обнаружения пожара; оповещения и эвакуации; наличие систем пожаротушения

5.5 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 объём вредных выбросов, складываемых из выбросов, возникающих на этапах производства, транспортировки, использования и утилизации продукции.

Таблица 5.7 – Идентификация экологических факторов технического объекта

Наименование технического объекта, производственно-технологического процесса	Структурные составляющие технического объекта, производственно-технологического процесса 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 (растительный покров, недра) (, загрязнение растительного покрова.)
Разработка технологического процесса штамповки зубчатого колеса в DEFORM – 3D	ПК и программные продукты SIEMENS NX 9.0 PLM Software DEFORM – 3D	Повышение озона Повышение двуокиси углерода, формальдегида	Утилизация ртутных ламп Утилизация расходных материалов	-

Таблица 5.8 – 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
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 разработки технологического процесса штамповки зубчатого колеса, перечислены технологические операции, должности работников, производственно-техническое оборудование, применяемые материал (таблица 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.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 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 4.1). Разработаны мероприятия по обеспечению пожарной безопасности на техническом объекте (таблица 4.2).

Идентифицированы технологические факторы (таблица 5) и разработаны мероприятия по обеспечению экологической безопасности на техническом объекте (таблица 5.1).

6. 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.

5.1 Определение трудоемкости и длительности выполнения каждого этапа работ

Ожидаемая трудоемкость выполнения каждого этапа работы определяется по эмпирической формуле (5.1):

$$T_{ож} = \frac{3T_{min} + 2T_{max}}{5} \quad (6.1)$$

где T_{min} —оптимистическая (наименьшая) трудоемкость; T_{max} — пессимистическая (наибольшая) трудоемкость.

Определяется длительность каждого этапа работ по формуле (6.2):

$$T_{эт} = \frac{T_{ож}}{Ч} \quad (6.2)$$

где Ч – численность исполнителей на данном этапе.

Суммарная длительность бакалаврской работы находится по формуле (5.3):

$$T_{нир} = \sum T_{эт} \quad (6.3)$$

Удельное значение каждого этапа рассчитываем по формуле (5.4):

$$У_{д.эт.} = \frac{Т_{эт}}{Т_{бр}} \cdot 100\% \quad (6.4)$$

Результаты расчетов заносятся в таблицу 6.2.

Таблица 6.1 − Сводная таблица результатов расчетов

№ п/п	T_{min}, дн	T_{max}, дн	Удельное значение этапа %	Нарастание технической готовности	Ожидаемая трудоемкость, дн	Количество одновременно работающих	Длительность этапа $Т_{эт}$,дн
1	4	9	12,7	12,7	6	1	6
2.1	5	8	6,5	19,2	6,2	1	3,1
2.2	5	8	6,5	25,7	6,2	2	3,1
2.3	4	7	5,5	31,2	5,2	1	2,6
2.4	5	7	6,14	37,34	5,8	1	2,9
2.5	6	8	7,2	44,54	6,8	1	3,4
3.1	5	7	12,3	56,84	5,8	1	5,8
3.2	7	9	5,5	62,34	8	2	2,6
3.3	6	8	7,2	69,54	6,8	1	3,4
3.4	5	8	4,4	73,94	6,2	1	2,06
4.1	5	8	6,6	80,54	6,2	1	6,2
4.2	8	11	6,5	87,04	9,2	2	4,6
4.3	5	8	6,6	93,64	6,2	2	3,1
4.4	4	9	6,3	99,94	6	2	3
$Т_{бр}$=68,3							

В результате расчетов длительность выполнения бакалаврской работы составила 47,22 дней. Для наглядности хода выполнения работ строиться линейный план-график.

6.2 Построение линейного план-графика

По рассчитанным данным, путем последовательного отложения отрезков, равных длительности этапов, строится линейный план-график (рисунок 6.1).

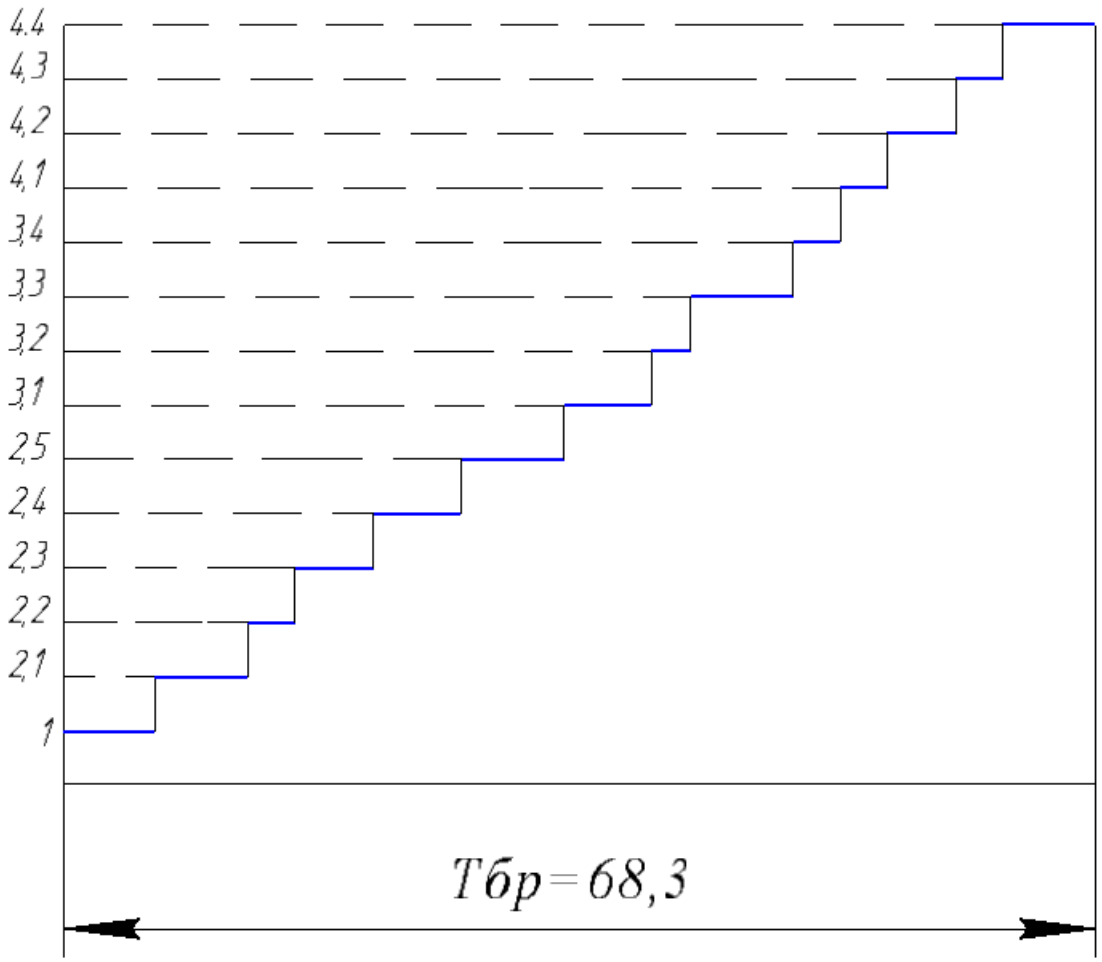


Рисунок 6.1 – Линейный план-график выполнения бакалаврской работы

6.3 Расчет затрат на проведение бакалаврской работы

Таблица 6.3 представляет собой табель численности исполнителей на каждом этапе работ.

Таблица 6.3 – Численность исполнителей по этапам работ

№ этапа	Техник	Руководитель	Всего человек
1	1	-	1
2.1	1	1	2
2.2	1	1	2

Продолжение таблицы 6.3			
2.3	1	1	2
2.4	1	1	2
2.5	1	1	2
3.1	1	-	1
3.2	1	1	2
3.3	1	1	2
3.4	1	1	2
4.1	1	-	1
4.2	1	1	2
4.3	1	1	2
4.4	1	1	2

В таблице 6.4 рассчитываются расходы на заработную плату для исполнителей работ.

Таблица 6.4 – Расходы на заработную плату

Исполнители	Месячный оклад, руб.	Средняя дневная ставка, руб.	Время занятости, дн.	Сумма зарплаты, руб.
Техник	6000	82,0	68,3	5600
Руководитель	24000	653,0	17	11101
Суммарная заработная плата $ЗПЛ_{бр}$, руб.				16701

Отчисления на социальные нужды вычисляются по формуле (6.5):

$$О_{с.н.} = \frac{Н_{соц.} \cdot ЗПЛ_{бр}}{100} = \frac{28 \times 16701}{100} = 4676{,}3 \text{ руб.}, \quad (6.5)$$

где $Н_{соц.}$ – норма отчислений на социальные нужды, 28%.

Общие расходы на бакалаврскую работу определяются по формуле (6.6):

$$З_{бр} = \frac{(ЗПЛ_{бр} + О_{сн}) \cdot 100}{43} = \frac{(16701 + 4676{,}3) \cdot 100}{43} = 49714{,}65 \text{ руб.}$$

Из проделанных расчетов видно, что затраты на бакалаврскую работу составляют 49714,65 руб., при длительности ее выполнения 68,3 дней.

6.4 Расчет экономической эффективности

Таблица 6.5 – Трудоёмкость технологического процесса штамповки

Выполненная работа	Трудоёмкость (час)		Примечание
	До изменения	После изменения	
Стандарт элементы	0	0	Эксцентриковый вал шатун ползун
Специализированные элементы	13	5	
Специальные элементы	17	10	Штамп верхний, штамп нижний
Итого	30	15	

$$\Delta t = t_{шт}^{пр} - t_{шт}^{баз} \quad (6.7)$$

$t_{шт}^{пр}$ – время, потраченное на моделирование и анализ процесса до изменений объёма (30)

$t_{шт}^{баз}$ – время, потраченное на моделирование и анализ процесса после изменений объёма (15)

1) Экономический эффект от снижения времени проектных работ:

$$Э_1 = \Delta t_{шт} \cdot С_т \cdot К_{зпл} \cdot N_г = 15 \cdot 171{,}8 \cdot 1{,}824 \cdot 75000 = 14738626{,}8 \text{ р} \quad (6.8)$$

2) Экономический эффект от снижения времени на испытания:

Таблица 6.6 – Трудоёмкость на испытания

Выполненная работа	Трудоёмкость (час)		Примечание
	До изменения	После изменения	
Моделирование технологического процесса штамповки зубчатого колеса.	25	15	Для исправления дефекта был изменён объём заготовки

$$Э_2 = (25 - 15) \cdot С_т \cdot К_{зпл} \cdot N_г = 10 \cdot 171{,}8 \cdot 1{,}824 \cdot 75000 = 18591120 \text{ р} (6.9)$$

3) Сумма экономических эффектов:

$$\Sigma Э = Э_1 + Э_2 += 14738626{,}8 + 185911120 = 33329746{,}8 \text{ р} \quad (6.10)$$

Срок окупаемости новой технологии:

$$Т_{ок} = \frac{З_{окр}}{\Sigma Э} = \frac{2351627}{33329746{,}8} \approx 1 \text{ год} \quad (6.11)$$

В результате затраты на исследовательскую работу составили 49714,65 руб, а суммарный экономический эффект составил 33329746,8 руб., при сроке окупаемости затрат в течение двух лет.

Заключение

В результате данной дипломной работы были получены следующие итоги:

1. Был исследован анализ особенностей CAE-анализа с помощью программного продукта DEFORM – 3D, рассмотрен анализ работы метода конечных элементов.
2. Проанализирован технологический процесс, получения зубчатого колеса.
3. Сформированы 3D-модели инструмента и заготовки.
4. Бал смоделирован технологический процесс штамповки зубчатого колеса с помощью программного продукта DEFORM – 3D.
5. Рассмотрены меры по обеспечению безопасности и экологичности проекта, а также были разработаны меры по охране труда.
6. Выполнено экономическое обоснование целесообразности проведения моделирования штамповки зубчатого колеса при помощи программного продукта DEFORM – 3D.

Список использованных источников

1. **Чернявский, А.О**, Метод конечных элементов. Основы практического применения / Чернявский А.О. - 106 с.

2. **Семёнов, Е.И, (**ред.) Ковка и штамповка. Справочник. Том 1 / Е.И. Семёнов. – М.: Машиностроение, 1985 г. – 219с.

3. **Киселенко, И.А,** Разработка чертежа горячей поковки: Методические указания / И.А. Киселенко – Т. : ТолПИ, 1995 г.

4. **Нори, Д.,** де Фриз Ж. Введение в метода конечных элементов: Пер. с англ. / Нори Д. де Фриз Ж. – М.: Мир, 1981 г. – 304с.

5. **Зенкевич, О.,** Метод конечных элементов в технике / Зенкевич О. – М.: Мир, 1979 г. – 541 с.

6. **Сегерлинд, Л.Дж,** Применение метода конечных элементов / Л.Дж. Сегерлинд – М.: Мир, 1979 г. – 392 с.

7. **Чумаченко, Е.Н,** Математическое моделирование в нелинейной механике (обзор программных комплексов для решения задач моделирования) /Е.Н. Чумаченко. - М.: 2009 г. – 38 с.

8. **http://www.deform.com**

9. **Kobayashi, S., Oh, S.I. and AltanT,** *Metall forming and the Finite-Element Method*. / S. Kobayashi – Oxford University Press,: 1989.

10. Steel heat treatment: Metallurgy and technologies/Edited by Georg E. Totten. – USA, Oregon, Portland: Portland State University, 2006.-832p.

11. Gorni,A.A. Steel forming and heat treating handbook -Brazil, São Vicente,2009.-102p.

12. **Cockroft M.G., Latham D.J.,** Ductility and workability of metals. / Journal of the Institute of Metals. – 1968, №96. – P. 33-39.

13. **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.

14. **Горина, Л.Н.,** Обеспечение безопасности условия труда на производстве / Л.Н. Горина. – Т.: ТГУ, 2004г. – 94 с.

15. Организация производства и менеджмент: Методические указания к выполнению курсовой работы / сост. Н.В. Александрова. – Т.: ТГУ, 2007. – 32с.

16. **Гончаров, П.С.,** NX для конструктора-машиностроителя / Гончаров П.С., Ельцов М.Ю., Коршиков С.Б., Лаптев И.В., Осиюк В.А. -М.: ДМК Пресс Москва, –2010 г. - 477 с.

17. **Богатов А.А.,** Механические свойства и модели разрушения металлов. / А.А. Богатов. – Е.: ГОУ ВПО УГТУ – УПИ, 2002 г. – 329 с.

18. **Огородников В.А.,** Оценка деформируемости металлов при обработке давлением. / А.В. Огороднико. – Киев: Вища школа, 1983. – 174 с.

19. **Дель Г.Д.,** Пластичность деформированного материала. / Физика и техника высоких давлений. 1983. №11. С. 28-32

20. **Bonora N.,** Identification and measurement of ductile damage parameters. / Journal of Strain Analysis for Engineering Design. – 1999, №34 (6). – P. 63-78.