

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа новых производственных технологий

Направление подготовки 15.04.01 Машиностроение

ООП/ОПОП Автоматизация технологических процессов и производств в машиностроении

Отделение школы (НОЦ) Отделение машиностроения

### ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА МАГИСТРАНТА

Тема работы
<b>Исследование процесса алмазного выглаживания фасонных поверхностей</b>

УДК: 621.923.4:621.921.34

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM11	Саветина И.С.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Червач Ю.Б.	К.Т.Н.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гасанов М.А.	Д.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич О.А.	К.б.Н.		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Автоматизация технологических процессов и производств в машиностроении	Сорокова С.Н.	к.ф-м.н.		

**Результаты обучения**  
**Направление 15.04.01 Машиностроение**

**ООП: Автоматизация технологических процессов и производств в машиностроении**

<b>Код компетенции СУОС</b>	<b>Наименование компетенции СУОС</b>
<b>Универсальные компетенции</b>	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовать и руководить работой команды, выработывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
ОПК(У)-1	Способен формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки результатов исследования
ОПК(У)-2	Способен осуществлять экспертизу технической документации при реализации технологического процесса
ОПК(У)-3	Способен организовывать работу коллективов исполнителей, принимать исполнительские решения в условиях спектра мнений, определять порядок выполнения работ, организовывать в подразделении работы по совершенствованию, модернизации, унификации выпускаемых изделий и их элементов, разработке проектов стандартов и сертификатов, обеспечивать адаптацию современных версий систем управления качеством к конкретным условиям производства на основе

	международных стандартов
ОПК(У)-4	Способен разрабатывать методические и нормативные документы при реализации разработанных проектов и программ, направленных на создание узлов и деталей машин
ОПК(У)-5	Способен разрабатывать аналитические и численные методы при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов
ОПК(У)-6	Способен использовать современные информационно-коммуникационные технологии, глобальные информационные ресурсы в научно-исследовательской деятельности
ОПК(У)-7	Способен проводить маркетинговые исследования и подготавливать бизнес-планы выпуска и реализации перспективных и конкурентоспособных изделий в области машиностроения
ОПК(У)-8	Способен подготавливать отзывы и заключения на проекты стандартов, рационализаторские предложения и изобретения в области машиностроения
ОПК(У)-9	Способен подготавливать научно-технические отчеты, обзоры, публикации по результатам выполненных исследований в области машиностроения
ОПК(У)-10	Способен разрабатывать методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий
ОПК(У)-11	Способен организовывать и осуществлять профессиональную подготовку по образовательным программам в области машиностроения
ОПК(У)-12	Способен разрабатывать и применять алгоритмы и современные цифровые системы автоматизированного проектирования деталей и узлов машин и оборудования различной сложности на современном машиностроительном предприятии
<b>Профессиональные компетенции</b>	
ПК(У)-1	Способен разрабатывать технические задания на НИР и ОКР при исследовании, проектировании и изготовлении машин, приводов, оборудования, систем, нестандартного оборудования и средств технологического оснащения.

ПК(У)-2	Способен проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки при исследовании самостоятельных тем или тем организаций.
ПК(У)-3	Способен подготавливать заявки на изобретения, полезные модели и промышленные образцы с использованием средств и методов патентного поиска.
ПК(У)-4	Способен разрабатывать технологии и управляющие программы изготовления особо сложных деталей на многокоординатных токарно-фрезерных обрабатывающих центрах с ЧПУ и многокоординатных фрезерных обрабатывающих центрах с ЧПУ.
ПК(У)-5	Способен производить технологическую подготовку и обеспечение производства деталей машиностроения средней и высокой сложности
ПК(У)-6	Способен проектировать особо сложные станочные, сборочные и контрольно-измерительные приспособления.
ПК(У)-7	Способен производить автоматизированное проектирование технологических процессов изготовления деталей и сборки сборочных единиц изделий высокой сложности.
ПК(У)-8	Способен производить автоматизацию и механизацию производственных процессов механосборочного производства.
ПК(У)-9	Способен организовать инструментальное обеспечение механосборочной организации.
ПК(У)-10	Способен проектировать и организовывать учебный процесс по образовательным программам с использованием современных образовательных технологий
ПК(У)-11	Способен обеспечить качество изделий высокой сложности в механосборочном производстве.
ПК(У)-12	Способен управлять развитием литейного производства
ПК(У)-13	Способен производить технологическое проектирование механосборочной организации

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа - Инженерная школа новых производственных технологий  
 Направление подготовки 15.04.01 Машиностроение  
 Отделение школы (НОЦ) - Отделение машиностроения

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ Сорокова С. Н.  
 (Подпись)      (Дата)      (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации
--------------------------

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ11	Саветина И. С.

Тема работы:

<b>Исследование процесса алмазного выглаживания фасонных поверхностей</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	01.02.2023, № 32-55/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	21.05.2023
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Инденитор d=1мм, полупространство, материал инденитора: алмаз, материал полупространства: контрактационная сталь – сталь 3.</p>
---	--

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Обзор научно-технической литературы, проведение статического исследования, проведение динамического исследования, обсуждение результатов выполненной работы, заключение по работе.</p>
<p><b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Графический материал в виде скриншотов из программы ANSYS.</p>

<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>  <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>Проектная часть</p>	<p>Червач Юрий Борисович</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Гасанов Магеррам Али оглы</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Антоневич Ольга Алексеевна</p>

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	
--	--

**Задание выдал руководитель:**

<p>Должность</p>	<p>ФИО</p>	<p>Ученая степень, звание</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>Доцент</p>	<p>Червач Ю. Б.</p>	<p>К.Т.Н</p>		

**Задание принял к исполнению студент:**

<p>Группа</p>	<p>ФИО</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>4AM11</p>	<p>Саветина И. С.</p>		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа имеет объем 130 стр., включает в себя 34 рис., 30 формул, 26 табл., 39 источников и 1 приложение (раздел на английском языке).

Ключевые слова: алмазное выглаживание, пластические деформации, напряжения, метод конечных элементов, сфера, плоскость, ANSYS.

Объектом исследования является процесс обработки алмазным выглаживанием.

Цель работы: исследование контактных явлений в процессе обработки фасонных поверхностей деталей машин.

Практическая новизна: применение МКЭ в программе ANSYS при взаимодействии полусферы и плоскости.

В проектной части ВКР описаны статический и динамический анализ взаимодействия двух тел, в которых описаны зоны деформирования и этапы исследования.

Моделирование взаимодействия заданных тел в программе ANSYS снижает затраты на проведение натурных испытаний.

Результаты исследования могут использоваться при исследовании процесса обработки алмазным выглаживанием.

В четвертой главе рассмотрены аспекты исследования, связанные с ответственностью инженера, который отвечает за безопасность производства.

В пятой главе НИОКР анализируется со стороны экономики и оценки конкурентоспособности разработки.

Заключения посвящены основным выводам глав.

## Оглавление

Реферат .....	7
1. Введение.....	11
1.1 Актуальность работы.....	11
1.2 Литературный обзор .....	12
1.2.1 Понятие поверхностного пластического деформирования .....	12
1.2.2 Виды алмазного выглаживания .....	15
1.2.3 Инструменты для выглаживания.....	17
1.2.4 Выглаживание фасонных поверхностей.....	18
1.2.5 Силы при алмажном выглаживании.....	19
1.2.6 Способы обработки поверхности алмазным выглаживанием.....	22
1.2.7 Технологическое оснащение.....	24
1.2.8 Режимы резания при алмажном выглаживании.....	30
1.2.9 Преимущества и недостатки алмазного выглаживания.....	31
2. Статический анализ взаимодействия индентора с деталью .....	34
3. Динамический анализ взаимодействия индентора с деталью.....	47
Заключение по разделу .....	58
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..	61
4.1 Предпроектный анализ .....	61
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	61
4.1.2 Анализ конкурентных решений.....	62
4.1.3 SWOT-анализ.....	63
4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	65
4.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования.....	66



4.2	Инициация проекта .....	67
4.2.1	Цели и результаты проекта .....	67
4.2.2	Ограничения и допущения проекта.....	67
4.3	Планирование управления научно-техническим проектом .....	69
4.3.1	Иерархическая структура работ проекта.....	69
4.3.1	План проекта.....	70
4.4	Бюджет научного исследования .....	72
4.4.1	Специальное оборудование для научных работ .....	72
4.4.2	Основная заработная плата .....	72
4.4.3	Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала .....	74
4.4.4	Отчисления на социальные нужды .....	75
4.4.5	Накладные расходы.....	75
4.4.6	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта ...	76
4.4.7	Организационная структура проекта .....	76
4.4.8	План управления коммуникациями проекта .....	77
4.4.9	Реестр рисков проекта .....	78
4.5	Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .....	79
4.5.1	Оценка абсолютной эффективности исследования.....	79
4.5.2	Чистая текущая стоимость (NPV) .....	79
4.5.3	Дисконтированный срок окупаемости.....	81
4.5.4	Внутренняя ставка доходности (IRR) .....	82
4.5.5	Социальная эффективность научного проекта .....	84
4.5.6	Оценка сравнительной эффективности исследования .....	84

Вывод.....	87
5. Социальная ответственность .....	90
Введение.....	90
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	91
5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства.....	91
5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны .....	92
5.2 Профессиональная социальная ответственность.....	94
5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создавать объект исследования.....	94
5.2.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на производстве при внедрении объекта исследования.....	95
5.2.3 Расчет вредного фактора в помещении .....	97
при разработке проектного решения.....	97
5.3 Экологическая безопасность.....	100
5.3.1 Анализ влияния объекта и процесса исследования на окружающую среду .....	100
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	102
5.4.1 Анализ вероятных ЧС и их причины .....	102
5.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС .....	102
Заключение .....	104
Список публикаций.....	106
Список литературы .....	107
Приложение .....	113

# 1. Введение

## 1.1 Актуальность работы

Одним из способов обработки поверхностным пластическим деформированием в машиностроении является алмазное выглаживание. В процессе ПДД происходит упрочнение металла, которое обеспечивает увеличение сопротивления усталости, а также твердости поверхностного слоя.

Использование данного вида обработки материала для финишной операции обеспечивает улучшение качества поверхностного слоя, а также эксплуатационные свойства деталей.

Данный метод обработки обладает широкими технологическими возможностями и используется в машиностроительном производстве.

Актуальность работы заключается в анализе процесса выглаживания фасонных поверхностей и исследовании возникающих пластических деформаций. В результате поверхностного пластического деформирования повышаются твердость и прочность поверхностного слоя, формируются благоприятные остаточные напряжения сжатия, уменьшается шероховатость  $R_a$ , увеличивается радиус закругления вершин микровыступов и т.д.

Цель данной работы – продемонстрировать, на примере взаимодействия сферы и плоскости, суть обработки поверхностным пластическим деформированием.

Несмотря на то, что рассматриваемый метод обработки активно используется в промышленности, до сих пор есть много вопросов к полному пониманию процессов, происходящих в процессе выглаживания. Одно из развиваемых теоретических направлений исследования процесса выглаживания основывается на применении компьютерного моделирования.

## 1.2 Литературный обзор

### 1.2.1 Понятие поверхностного пластического деформирования

Малая шероховатость поверхности и ее упрочнение может быть получено при использовании такого метода, как алмазное выглаживание.

Поверхностное пластическое деформирование основано на способности металлической поверхности воспринимать остаточные пластические деформации без нарушения целостности металла. В результате поверхностного пластического деформирования повышаются твердость и прочность поверхностного слоя, формируются благоприятные остаточные напряжения сжатия, уменьшается шероховатость  $R_a$ , увеличивается радиус закругления вершин микровыступов и т.д. На рис. 1 представлен закон разгрузки и повторного нагружения детали в процессе обработки алмазным выглаживанием.

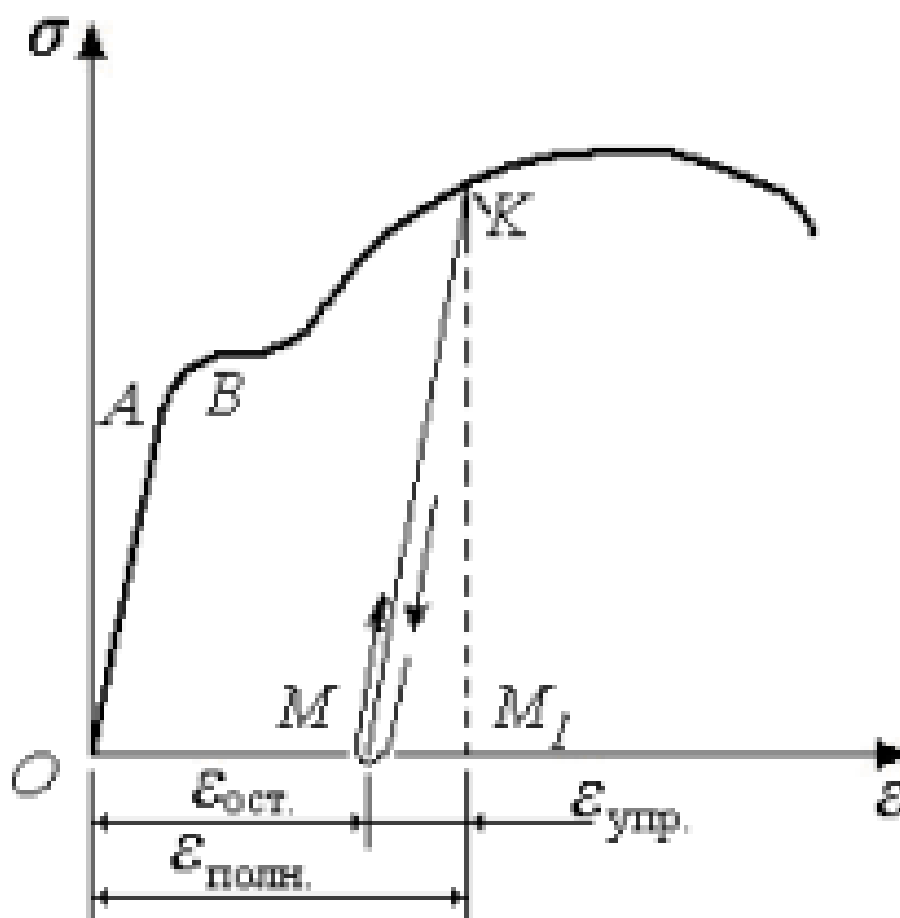


Рисунок 1 - Закон разгрузки и повторного нагружения [1]

Если после нагружения образца выше точки В разгрузить его в зоне упрочнения (например, в точке К) – в материале образца сохранятся остаточные деформации, определяемые его пластическими свойствами (рис.1). При этом линия разгрузки на диаграмме пойдет по линии КМ, параллельной ОА. При повторном нагружении линия на диаграмме пойдет по МК и далее до предела прочности. Таким образом, материал не проходит участок упругопластических деформаций, т.е. повышаются упругие свойства материала.

Полная деформация материала образца для точки К ( $\varepsilon_{\text{полн}}$ , формула (1.1)) характеризуется отрезком ОМ1 и состоит из упругой деформации  $\varepsilon_{\text{упр}}$  (отрезок ММ1) и остаточной деформации  $\varepsilon_{\text{ост}}$  (отрезок ОМ):

$$\varepsilon_{\text{полн}} = \varepsilon_{\text{упр}} + \varepsilon_{\text{ост}} \quad (1.1)$$

Отличием алмазного выглаживания от обработки со снятием стружки является то, что деформируемый слой не удаляется, а претерпевает дополнительную упругопластическую деформацию. Величина и глубина проникновения этой дополнительной деформации зависит от знака, величины и характера залегания ранее наведенных остаточных напряжений.

В процессе действия на деталь переменных напряжений в металле происходит накопление повреждений, что приводит к образованию усталостной трещины. Скорость развития усталостной трещины зависит от характера микрорельефа, параметров деформационного упрочнения, знака и уровня остаточных напряжений. Из-за возникновения наибольших циклических напряжения при кручении, изгибе, при наличии концентрации различных дефектов поверхности и напряжений происходит образование усталостной трещины, которое начинается с поверхности. Поэтому качество обработки поверхности оказывает важное воздействие на сопротивление усталости, особенно для высокопрочных сталей. Качество изделий, эксплуатационные свойства деталей машин и надежность их работы в значительной степени зависят от технологии их изготовления и, в

особенности, от технологии чистовой и отделочной обработки, в процессе которых формируется поверхностный слой деталей.

### 1.2.2 Виды алмазного выглаживания

Выглаживание с жестким закреплением выглаживателя используют для обработки особо точных деталей на станках повышенной точности за одну установку с предшествующей обработкой, либо одновременно с предшествующей обработкой (например, одновременное точение и выглаживание). При выглаживании с жестким закреплением инструмента происходит исправление погрешностей геометрической формы детали. В большинстве случаев исправление геометрической формы происходит в пределах высот исходных микронеровностей. При пластических деформациях, вызывающих изменение формы за пределами величины исходных микронеровностей, возможно получение поверхности неоднородной как по шероховатости, так и по упрочнению поверхностного слоя. Для снижения неоднородности упрочненного слоя выглаживания иногда целесообразно проводить в одну установку с предшествующей операцией, посещая выглаживающий инструмент сразу за режущим.

Выглаживание с упругим закреплением инструмента является более удобным способом. При этом способе выглаживания инструмент упруго прижимается к обрабатываемой детали с помощью пружины или иным способом. Сила прижатия выглаживателя к детали, зависящая от пластичности обрабатываемого материала, шероховатости поверхности и радиуса выглаживателя, легко контролируется и поддерживается постоянной в процессе обработки.

При упругом закреплении выглаживателя погрешности формы детали копируются и не исправляются. Происходит только сглаживание шероховатости поверхности и ее упрочнение. Достоинством этого способа выглаживания является простота настройки и сравнительно невысокие требования к точности и жесткости станков и обрабатываемых деталей.

Наиболее широкое распространение в промышленности получило выглаживание с упругим закреплением инструмента. Выглаживание

производится на обычных универсальных и специальных станках — токарных, расточных, строгальных, агрегатных и др.

Выглаживанием можно получить шероховатость обработанной поверхности  $Rz = 0,4-2,6$  мкм, при этом образуется упрочненный слой, глубина распространения которого достигает нескольких десятых миллиметров, в упрочненном слое наводятся сжимающие остаточные напряжения, достигающие 700-900 МПа. Все эти характеристики поверхностного слоя позволяют значительно увеличить износостойкость, контактную усталостную прочность, коррозионную стойкость и др.

Использование в качестве деформирующего элемента алмаза с радиусом закругления 0,5-3 мм требует малых усилий деформирования, в связи с чем выглаживанием можно обрабатывать детали с небольшой толщиной стенок (до 0,5 мм) и небольшими диаметрами (4-5 мм). Для его изготовления используются природные кристаллические алмазы, а также синтетические алмазы, представляющие собой поликристаллы размером до 5-6 мм. Алмазное выглаживание может осуществляться инструментами с жестким и упругим контактом деформирующего элемента с обрабатываемой поверхностью [2].



### 1.2.3 Инструменты для выглаживания

При изучении алмазного выглаживания исследовательским вопросом является “Какой инструмент и оправку использовать при обработке алмазным выглаживанием?”.

Алмаз обладает высокой стойкостью, достигающей 40-50 ч. машинного времени, что способствует экономической эффективности процесса алмазного выглаживания. Форма рабочей поверхности алмаза может быть сферической, цилиндрической и конической.

Для изготовления выглаживателей одинаково широко применяются природные и синтетические алмазы, а также композиты. Стойкость природных и искусственных алмазов, композитов примерно одинакова. Для обработки железоуглеродистых сплавов более предпочтительным является применение в качестве деформирующих элементов композитов. Алмаз обладает значительной твердостью и позволяет обработать большинство конструкционных материалов. Однако, на практике использование натурального алмаза сопровождается определенными трудностями. Например, для использования алмаза его предварительно необходимо сориентировать в направлении максимальной твердости. Поскольку натуральный алмаз обладает значительной хрупкостью, то обрабатывать поверхности, имеющие большие биения относительно оси вращения не представляется возможным и т.д.

Инструмент со сферической формой алмаза позволяет обрабатывать наружные, внутренние и плоские поверхности, он наиболее распространен и прост в изготовлении. Но требует точной установки строго по оси вращения.

Цилиндрическую форму удобно применять для обработки наружных поверхностей вращения, такой алмаз не требует точной установки над осью центров.

Коническая и другие формы широкого применения не нашли из-за отсутствия природных и синтетических алмазов большого размера. Достоинства выглаживания во многом предопределены свойствами алмаза.

Он отличается чрезвычайно высокой твердостью, малым коэффициентом трения, идеальной гладкостью, высокой теплопроводностью

#### **1.2.4 Выглаживание фасонных поверхностей**

Фасонная поверхность — поверхность, полученная либо криволинейной образующей, либо сочетанием прямолинейных образующих, которые располагаются под разным наклоном относительно оси детали, либо комбинацией прямолинейных и криволинейных образующих

Алмазным выглаживанием можно обрабатывать почти все применяющиеся в промышленности металлы и сплавы, за исключением титана, циркония и ниобия, так как эти материалы налипают на рабочую часть инструмента. Обработке подвергаются разные поверхности по форме, даже сложные поверхности, в данной работе будет рассматриваться обработка алмазным выглаживанием фасонных поверхностей.

Выглаживание фасонных поверхностей вращения производится по трем схемам [3]:

- а) по копиру;
- б) с постоянным прижимом выглаживателя к обрабатываемой поверхности с помощью груза;
- в) в результате упругого контакта выглаживателя с обрабатываемой деталью.

### 1.2.5 Силы при алмазном выглаживании

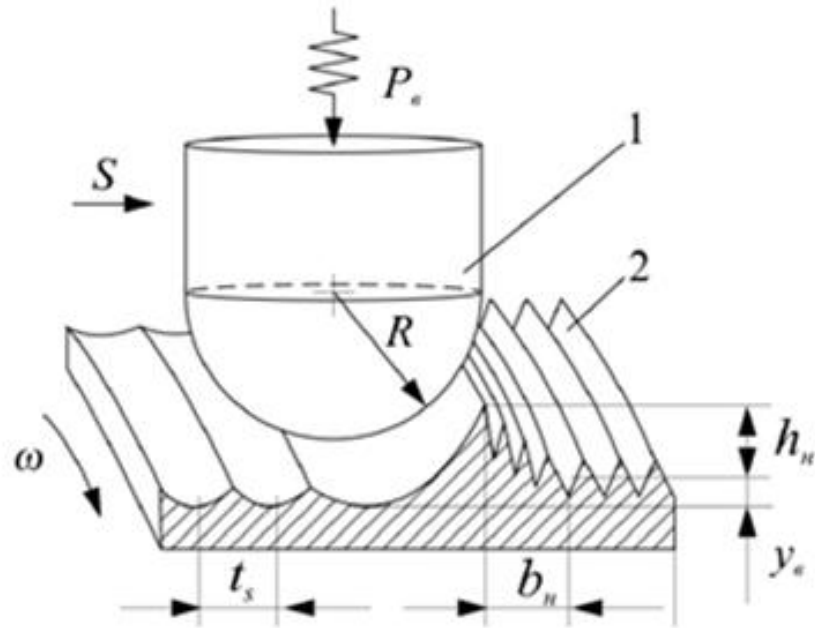


Рисунок 2 – Схема выглаживания поверхности детали: 1- выглаживатель; 2- обрабатываемая поверхность;  $R$  – радиус выглаживателя;  $t_s$  – шаг подачи;  $\omega$  – угловая скорость детали [4]

Экспериментально установлено, что при внедрении индентора выглаживающего инструмента на глубину, превышающую наибольшую высоту неровностей профиля поверхности после чистового точения, начинается оттеснение пластически деформированного металла в направлении подачи  $S$  с образованием бокового наплыва высотой  $h_n$  и шириной  $b_n$ . Высота неровностей в направлении скорости (продольная шероховатость) обычно значительно меньше, чем высота поперечной шероховатости (в направлении подачи). После прохода инструмента происходит частичное упругое восстановление поверхности. Впереди выглаживателя образуется валик пластически деформированного металла, передняя поверхность выглаживателя как правило нагружена гораздо больше, чем задняя. По этой причине в процессе выглаживания возникает тангенциальная составляющая силы  $P_\tau$ .

При продольном перемещении выглаживатель как бы «раздвигает» поверхностные неровности в стороны. При этом со стороны исходной поверхности образуется валик деформированного металла, а со стороны выглаженной поверхности происходит искажение профиля канавок, образовавшихся при предыдущих оборотах детали в результате пластического течения металла, выдавливаемого из-под выглаживателя в сторону выглаженной поверхности. В наибольшей степени искажается профиль канавки, образованной на предыдущем обороте.

После каждого оборота обрабатываемой детали канавка-след выглаживателя перемещается в осевом направлении на величину подачи  $S$ . При последующих обработках обрабатываемой детали происходит многократное перекрытие канавки, т.к. ее ширина больше величины подачи. Со стороны невыглаженной поверхности так же образуется валик деформированного металла, правая полуповерхность (в направлении подачи) нагружена гораздо больше, чем левая полуповерхность. Поэтому в процессе выглаживания возникает осевая сила  $P_x$ .

В результате пластического деформирования обрабатываемой поверхности происходит сглаживание исходных неровностей и образование нового микрорельефа поверхности с меньшим значением шероховатости. Размер детали уменьшается на величину остаточной деформации. Величина и формаобразующихся микронеровностей также зависит от неоднородности, шероховатости и твердости исходной обрабатываемой поверхности, колебаний силы выглаживания, вызванных биением детали и др.

Формирование нового поверхностного слоя при алмазном выглаживании происходит вследствие пластического деформирования обрабатываемой поверхности. Под действием радиальной силы  $P_y$ , действующей на поверхность в области контакта алмаза с деталью, возникают давления. Если их величина превышает предел текучести, возникает пластическая деформация поверхностного слоя. Этот процесс приводит к искажению кристаллической решетки.

Эффективность алмазного выглаживания различных материалов в значительной мере определяется их исходной структурой. В результате исследований установлено, что значительные деформации при обработке деталей из стали возникают в феррите, а меньшие – в мартенсите и перлите.

Высокая эффективность упрочнения поверхности объясняется высокой плотностью дефектов, образующихся в поверхностном слое, за счет концентрации дислокаций. При алмажном выглаживании плотность дислокаций в приповерхностном слое достигает своего максимального значения. С увеличением расстояния от поверхности в глубь материала плотность дислокаций уменьшается.

Основное отличие алмазного выглаживания от других методов упрочнения поверхности заключается в том, что слой материала не удаляется, а претерпевает дополнительную упругопластическую деформацию.

Высокая твердость алмаза (практически на порядок больше, чем у твердых сплавов) в сочетании с малым коэффициентом трения (0,03-0,12) дают возможность обрабатывать практически все металлы и сплавы, поддающиеся пластической деформации, в том числе закаленные стали. Малая величина радиуса закругления алмаза (0,5 – 4 мм) обуславливает небольшую силу выглаживания, что позволяет производить обработку маложестких деталей. Следует отметить, что при силе  $P_y > 300\text{Н}$  возрастает глубина упрочненного слоя, увеличивается микротвердость в нижних слоях, однако уменьшение микротвердости в верхнем тонком поверхностном слое происходит за счет уменьшения пластичности.

### 1.2.6 Способы обработки поверхности алмазным выглаживанием

Алмазное выглаживание выполняют на токарных станках. Повышенная чувствительность алмазов к вибрациям требует применения жестких станков или соответствующей подготовки существующих на предприятии. Как правило, процесс алмазного выглаживания можно осуществлять и на универсальных станках и ЧПУ, работа может выполняться методом пробных проходов и по программе. Кинематика процесса обработки наружных или внутренних цилиндрических и торцовых поверхностей схожа с точением или растачиванием, а так же обкатыванием шариком. Главное движение это вращение заготовки, а инструмент совершает движение подачи, при постоянном рабочем усилии. Для алмазного выглаживания характерен подвод инструмента до касания с вращающейся поверхностью и начало цикла обработки, без вывода инструмента за границу правого торца, откуда например, начинают точение.

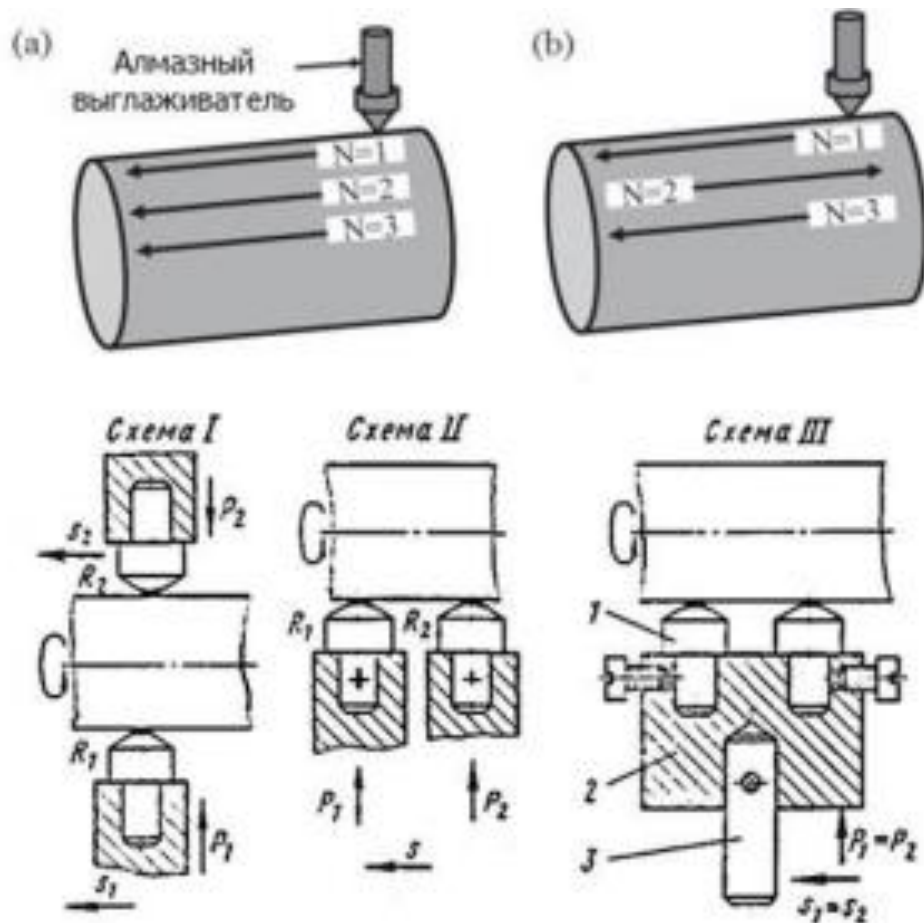


Рисунок 3 – Схема многозаходной обработки [5]

Алмазное выглаживание может выполняться за два или три хода. Для нейтрального исполнения державок многопроходная обработка может реализовываться и однонаправленно (рисунок 3, а) и с обратным рабочим ходом (рисунок 3, б), что уменьшает время холостых ходов.

Алмазное выглаживание имеет недостаток – это низкая производительность. Для повышения производительности можно реализовать три основные схемы, показанные на примере выглаживания наружных цилиндрических поверхностей двумя наконечниками.

Схема I предусматривает назначение для каждого из инструмента своего усилия и продольной подачи, например для сглаживающего и упрочняющего режимов. Схема может быть реализована на станках с несколькими суппортами, обеспечивающими возможность назначения различных подач каждому инструменту.

В схеме II подача инструментов одинакова. Каждый из наконечников устанавливается в свою державку, обеспечивающее требуемое усилие выглаживания. Державки закрепляются в одном суппорте станка. Подходит для гладких наружных тел вращения.

В схеме III, наиболее простом для реализации, наконечники 1 с различным радиусом алмаза закрепляются в оправке 2. Она крепится с помощью хвостовика 3 в упругую державку. Наконечники в инструменте располагаются либо вдоль оси вращения детали, что ограничивает его применение как в схеме II, либо в плоскости, перпендикулярной оси, но первый наконечник опережает второй в направлении продольной подачи на сотые доли миллиметра. Всё это повышает производительность процесса.

Значимыми факторами контактного взаимодействия инструмента и заготовки, являются [5]:

- 1) Удельное усилие контактного взаимодействия выглаживания на поверхности детали в зоне очага деформации;
- 2) Контактное трение, возникающее при движении инструмента между поверхностью детали и выглаживанием.

### 1.2.7 Технологическое оснащение

К технологическому оснащению относятся державки для алмазного выглаживания, которые достаточно различны. Наиболее просты конструкции для жесткого выглаживания и для упругого с тарированной пружиной. Такие державки не занимают много места в инструментальном магазине и легко поддаются настройке. Основной недостаток державок заключается в том, что они не позволяют оценить величину изменения усилия или натяга в процессе обработки, а значит точно ее контролировать. В промышленности широко используются оправки с винтовой пружиной.

Одной из причин ограниченного использования процесса алмазного выглаживания для упрочнения поверхностей деталей современного машиностроительного производства является сложность экспериментального подбора основных режимов обработки, а именно, радиальной составляющей силы выглаживания  $P_r$ , как уже сказано выше, и радиуса алмазного индентора  $R_{сф}$ . Данные параметры сильно влияют на величину давления между обрабатываемой поверхностью и индентором. Оправки, используемые в промышленности, не способны стабилизировать силу выглаживания  $P_r$  во время обработки фасонных поверхностей, так как они имеют жесткие силовые элементы в виде плоских или винтовых пружин, а это влечет за собой определенные последствия.

Во-первых, незначительное отклонение силы выглаживания может привести к неоптимальной величине упрочнения.

Во-вторых, наоборот, к разупрочнению поверхности.

Если рассматривать процесс с левым наклоном то можно заметить одну особенность - контакт индентора за один оборот поверхностей [6]:

- 1) С выпуклой поверхности в направлениях вектора скорости  $V$  и подачи  $S$  индентора по наружному диаметру резьбы;
- 2) С винтовой наклонной поверхности правой боковой поверхностью витка резьбы;



3) С выпуклой поверхности в направлениях вектора скорости  $V$  и с вогнутой поверхностью в направлении подачи  $S$  индентора по внутреннему диаметру резьбы;

4) С винтовой наклонной левой боковой поверхностью витка резьбы.

Для поверхностей, имеющих переменный радиус кривизны в направлении скорости  $V$  и подачи  $S$ , спроектировали оправки, которые имеют силовое устройство под названием сильфон. В этом устройстве создается давление, которое контролируется манометром. Так как сильфон имеет ограниченный объем в устройство добавлен ресивер, который дает возможность уменьшить колебание давления в сильфоне. Также можно использовать "мягкие" ресиверы, которые представляют собой резиновые камеры с соответствующей жесткостью стенок камеры.

Если использовать оправку, представленную на рисунок 4, имеющую плоскую пружину, то при появлении радиального биения сила выглаживания  $P_y$  будет меняться в зависимости от величины биения.



Рисунок 4 - Динамометрическая оправка с симметричной плоской пружиной для алмазного выглаживания (силовой элемент – плоская пружина) [7]

При использовании оправок с винтовой пружиной при радиальном биении характер изменения силы выглаживания отличается от выглаживания с оправкой на рис. 4. Характер зависимости силы выглаживания от времени имеет пилообразный характер, так как происходит механическое зависание прецизионной плунжерной возвратно-поступательной пары в условиях сухого трения.

Величина силы  $\Delta P_y$  зависит от жёсткости пружины  $k$ , когда происходит изменение длины пружины, но и от условий движения индентора по поверхности детали.

Анализ результатов выглаживания поверхностей деталей с радиальным биением до 0,01...0,02 мм оправкой с винтовой пружиной показал, что колебание силы выглаживания  $\Delta P_y$  также вызваны, в значительной мере, зависанием плунжерной возвратнопоступательной пары.

Исходя из этого, можно сделать вывод, что использование пружинных оправок с возвратно-поступательными парами трения для гладкого и фасонного выглаживания поверхностей деталей приведёт к процессу обработки с переменной силой  $P_y$ , и неоднородному процессу упрочнения поверхностного слоя [7].

Для регулирования давления воздуха необходимо использовать в конструкции систему “сильфон-ресивер”. Данная система стабилизирует силы выглаживания в процессе обработки фасонных поверхностей с большим радиальным биением. Также, было необходимо полностью исключить возвратно-поступательное и вращательные пары трения и пары трения качения в конструкции оправки.

Индентор (с элементами крепления к оправке) должен свободно перемещаться по радиальному направлению «у» относительно обрабатываемой детали, а по ортогональным направлениям «х» и «z» – не имел возможности перемещаться под воздействием сил  $P_x$  и  $P_z$ . С учётом этих требований разработана оправка пневматическая с ресивером (силовой элемент–сильфон со сжатым воздухом) с параллелограммной установкой индентора на 4-х плоских стойках (рисунок 5) [7].



Рисунок 5 - Оправка для выглаживания пневматическая с ресивером (силовой элемент – сильфон со сжатым воздухом) с параллелограммной установкой индентора на 4-х плоских стойках [7]

Проведённые исследования силовых зависимостей в процессе алмазного выглаживания поверхностей деталей, установленных в приспособления станка с радиальным биением (или фасонных поверхностей), оправками с разными силовыми элементами и конструктивными особенностями, показывают, что колебания сил зависят не только от жёсткости и типа силовых элементов, но и от неравномерного перемещения подвижных пар трения. схватывания возвратно-поступательных пар трения в условиях сухого трения

Использование на производстве оправок с возвратно-поступательными парами трения требует либо очень точной установки деталей перед обработкой, либо выполнения финишной операции упрочнения непосредственно после предшествующей операции без переустановки детали.

Конструктивные особенности оправки пневматической с ресивером с параллелограммной установкой индентора на 4-х плоских стойках позволяет

обрабатывать сложные фасонные поверхности и поверхности деталей, установленных с относительно большим биением с постоянной силой выглаживания  $P_y$ . Силовой элемент и конструктивные особенности оправки позволяют проводить обработку с высокими скоростями выглаживания без возникновения автоколебаний в системе «индентор–обрабатываемая поверхность детали».[7]

Результаты изучения данной темы сигнализируют о необходимости дополнительных исследований, чтобы лучше понять, как именно спроектировать оправку, чтобы контролировать силу выглаживания.

### 1.2.8 Режимы резания при алмазном выглаживании

Оптимальные значение силы выглаживания определяют по следующим формулам (1.2) – (1.3).

Для закаленных сталей:

$$P = 0,013HV\left(\frac{DR}{D+R}\right)^2. \quad (1.2)$$

Для материалов невысокой и средней твердости:

$$P = 0,008HV\left(\frac{DR}{D+R}\right)^2, \quad (1.3)$$

где  $HV$  — твердость обрабатываемой поверхности по Виккерсу;  $D$  — диаметр обрабатываемой поверхности, мм;  $R$  — радиус рабочей части алмаза, мм.

Сила выглаживания, больше 200–250 Н для деталей из высокопрочных материалов и больше 100–150 Н для деталей из материалов средней твердости, как правило, нецелесообразна. Основным критерием выбора радиуса сферы инструмента является твердость материала обрабатываемой заготовки: для деталей из мягких сталей и цветных сплавов этот радиус должен составлять 2,5–3,5 мм, для деталей из материалов средней твердости — 1,5–2,5 мм, для деталей из высокопрочных сталей ( $HRC > 60$ ) — 1,0–1,5 мм. Оптимальные режимы выглаживания для достижения максимального упрочнения несколько «жестче», чем для достижения минимального параметра шероховатости. Для максимального упрочнения следует на 15–40 % увеличить силу выглаживания или на 10–30 % уменьшить радиус инструмента, можно одновременно несколько «ужесточить» оба эти параметра. При выглаживании с оптимальными режимами обеспечивается степень упрочнения 25–30 % при глубине упрочненного слоя до 0,4 мм и создаются сжимающие остаточные напряжения до 1,2 Гпа [8].

### 1.2.9 Преимущества и недостатки алмазного выглаживания

Наиболее часто выделяют такие преимущества при алмазном выглаживании [9]:

- 1) Могут быть получены поверхности с качеством  $Rz < 1$  мкм, как правило улучшение качества поверхности на 2-3 класса;
- 2) Возможно применение одного инструмента для различных типов и размеров деталей, а также видов материалов;
- 3) Используется на станках с ЧПУ и универсальных токарных станках;
- 4) Инструменты не требуют настройки, и когда инструмент закреплен на станке, он готов к использованию;
- 5) Во время работы инструмент фиксируется, а заготовка вращается. Вращение возможно в двух направлениях;
- 6) Можно добиться высокого качества поверхности;
- 7) Стойкость алмазного выглаживателя на порядок выше стойкости накатного ролика;
- 8) Увеличение микротвердости поверхностного слоя детали (при этом может улучшаться износостойкость детали до 20-30%, усталостная прочность).

Недостатком выглаживания:

- 1) Низкая производительность;
- 2) При выглаживании существует трение скольжения между обрабатываемой поверхностью и рабочей поверхностью индентора, которое приводит к проскальзыванию указанных поверхностей, ухудшая тем самым шероховатость поверхности детали.

ППД имеет значительные преимущества в отношении достигаемого качества обработанной поверхности, по сравнению с обработкой известными методами резания металла. Так, микроструктура после шлифования закаленных сталей отличается повышенным содержанием в поверхностном слое остаточного аустенита (до 30-40%). По данным ряда исследований,

остаточный аустенит, возникающий в поверхностном слое закаленных сталей после шлифования, является нежелательной структурной составляющей, понижающей некоторые эксплуатационные свойства поверхностного слоя (контактную выносливость, усталостную прочность и износостойкость). Рентгеноструктурное исследование фазового состава поверхностного слоя закаленной стали ШХ15 после алмазного выглаживания показали, что в процессе алмазного выглаживания происходит интенсивный распад остаточного аустенита. При исходном 30%-м содержании остаточного аустенита выглаживание с силой 32 кгс вызывает практически полный его распад. Уменьшение подачи и увеличение числа проходов при выглаживании уменьшают количество остаточного аустенита в поверхностном слое.

Таким образом, при алмажном выглаживании происходящие структурные превращения уменьшают количество остаточного аустенита в поверхностном слое, что улучшает физико-механические свойства металла. Улучшается коррозионная стойкость поверхности, повышаются контактная прочность и динамическая стойкость. Однако применяемые в настоящее время способы ППД отличаются низкой производительностью, сложно поддаются автоматизации и поэтому требуют в этом отношении дальнейшего совершенствования.



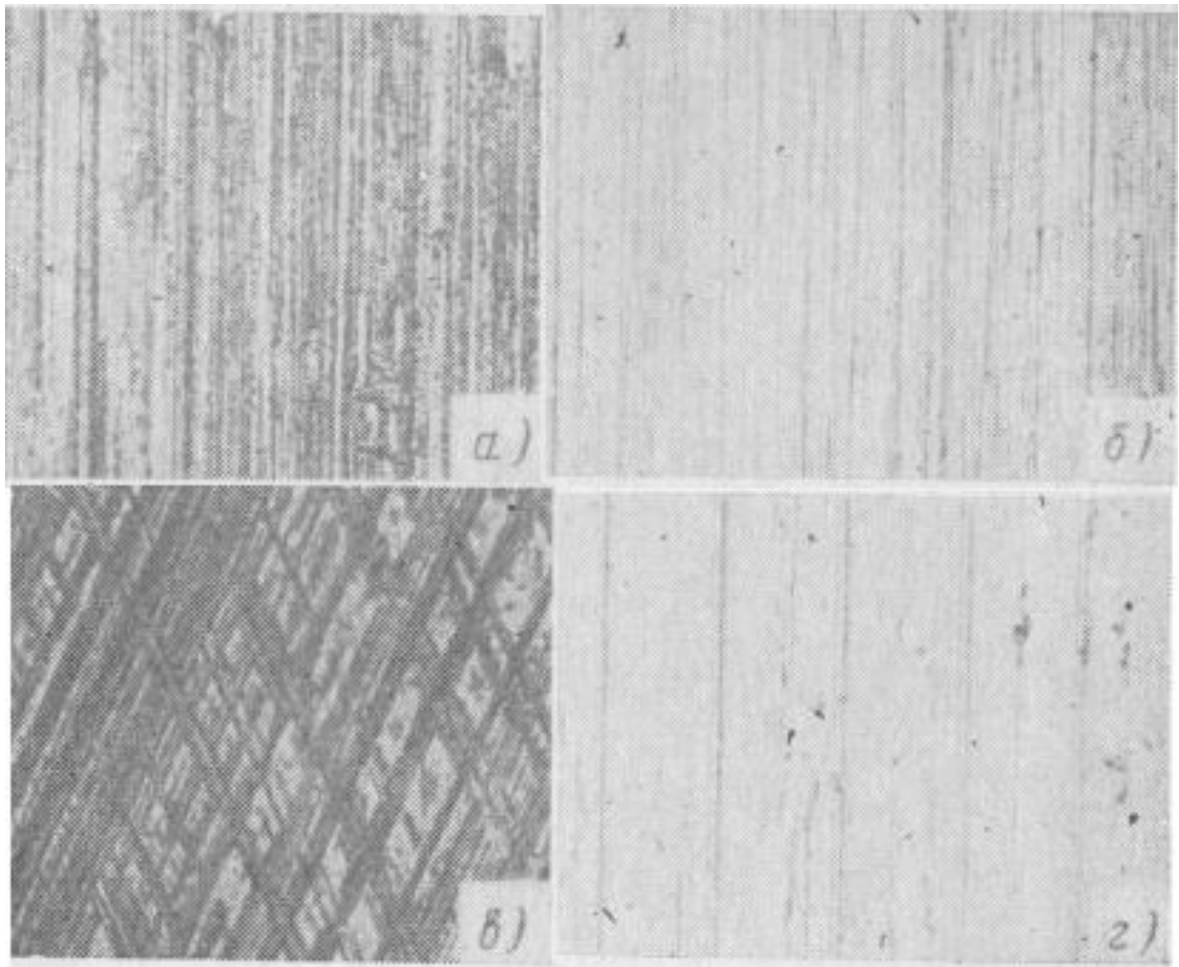


Рисунок 6 - Вид поверхности после:  
а – шлифования; б – полирования; в – суперфиниширования; г – алмазного  
выглаживания [10]

## **2. Статический анализ взаимодействия индентора с деталью**

Благодаря техническому прогрессу стало возможно решать задачи, затрагивающие вопросы прочности, методом МКЭ, как в данном исследовании.

Основная идея метода конечных элементов заключается в том, что конструкция разбивается на малые простые геометрические объемы, которые называются конечными элементами. Они образуют расчетную сетку. Воздействие между конечными элементами передается через узлы.

Использование программы ANSYS позволяет определить такие параметры, как перемещение конструкции, напряжения, деформации и т.д. Контактные нагружения являются одними из часто встречаемых случаев взаимодействия деталей машин.

Контактные задачи можно квалифицировать по признаку размерности:

- 1) Плоские задачи;
- 2) Пространственные или осесимметричные задачи.

В данном исследовании рассматривается контактная осесимметричная задача, то есть рассматривается контактное взаимодействие полусферы и плоскости. Тем самым, проводится исследование деформируемого твердого тела (детали) при статическом взаимодействии с индентором, которая является абсолютно жестким телом.

В данном анализе мы моделируем процесс обработки алмазным выглаживанием, но в простом виде. Несмотря на это, суть взаимодействия индентора с деталью при реальной обработке алмазным выглаживанием не меняется.

Рассмотрим принцип данного анализа при статическом взаимодействии. Статический анализ заключается в равновесие тел под действием приложенных к ним сил.

Индентор радиусом  $R$  внедряется в упругое полупространство на глубину проникновения  $\delta$ , образуя область контакта. Схема внедрения представлена на рис. 7.

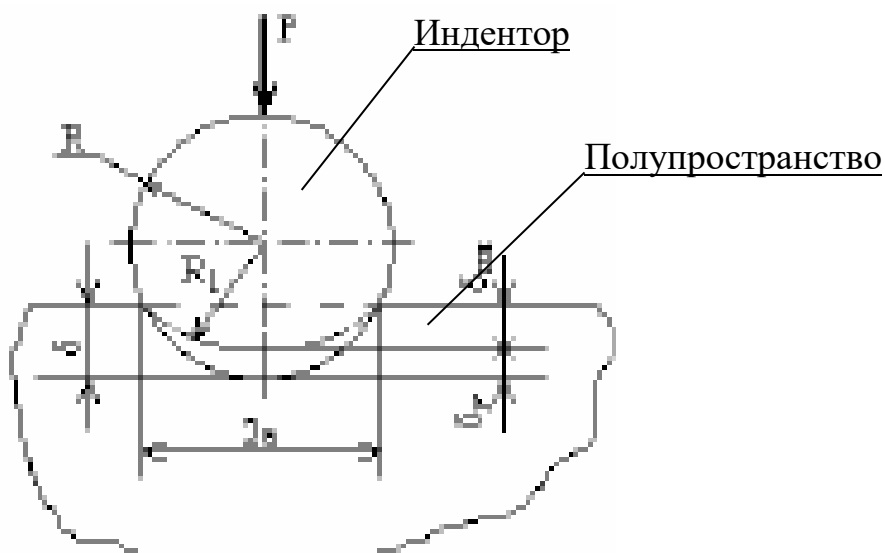


Рисунок 7 – Схема статического анализа

$\delta$  – величина внедрения сферы;  $\delta_{nl}$  – величина сближения после взаимодействия (пластическая составляющая полного сближения);  $\delta_y$  – величина на которую уменьшается сближение после снятия нагрузки (упругая составляющая полного сближения).

В данном случае при контакте индентора и деформированной детали возникают упругопластические деформации. После снятия нагрузки происходит упругое восстановление плоскости, но сближение уменьшается на некоторую величину  $\delta_y$  согласно схеме на рис. 6.

Материал индентора – алмаз (рис. 8-9), материал детали – конструкционная сталь – сталь 3 (рис. 10-11).

Характеристика материала индентора – алмаза на рис 7-8:

- 1) Density – Плотность –  $7,85 \cdot 10^{-6}$  кг/мм<sup>3</sup>;
- 2) Young's Modulus – Модуль Юнга –  $8 \cdot 10^5$  МПа;
- 3) Bulk Modulus – Объемный модуль –  $2,6667 \cdot 10^5$  МПа;
- 4) Shear Modulus – Модуль сдвига –  $4 \cdot 10^5$  МПа;

5) Coefficient of Thermal Expansion – Коэффициент теплового расширения –  $9,41 \cdot 10^{-6} \text{ 1/C}^\circ$ ;

6) Compressive Ultimate Strength – Предельная прочность на сжатие – 1700 МПа;

7) Compressive Yield Strength – Предел текучести при сжатии сжатие – 930 МПа;

**Dymond**

Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1

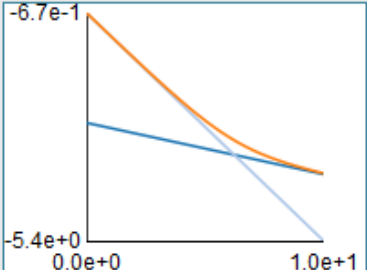
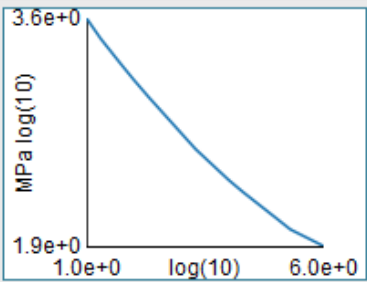
Density	7,85e-06 kg/mm <sup>3</sup>
<b>Structural</b>	
▼ Isotropic Elasticity	
Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio
Young's Modulus	8e+05 MPa
Poisson's Ratio	0
Bulk Modulus	2,6667e+05 MPa
Shear Modulus	4e+05 MPa
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion	9,4e-06 1/°C
Compressive Ultimate Strength	1700,0 MPa
Compressive Yield Strength	930,00 MPa
Strain-Life Parameters	
S-N Curve	
Tensile Ultimate Strength	1070,0 MPa
Tensile Yield Strength	930,00 MPa

Рисунок 8 – Материал индентора

- 8) Tensile Ultimate Strength – Предельная прочность на сжатие – 1070 МПа;
- 9) Tensile Yield Strength – Предел текучести при сжатии сжатие – 930 МПа;
- 10) Isotropic Thermal Conductivity – Изотропная теплопроводность – 21900 Вт/м·С°;
- 11) Specific Heat – Удельная теплоемкость – 522 Дж/кг·С°.

Thermal	
Isotropic Thermal Conductivity	21,900 W/m·°C
Specific Heat Constant Pressure	522,00 J/kg·°C

Electric	
Isotropic Resistivity	1,7e-06 ohm·m

Magnetic	
Isotropic Relative Permeability	1,0000

Рисунок 9 – Продолжение характеристик материала индентора

Характеристика материала детали – Ст.3 на рис 10-11:

- 1) Young's Modulus – Модуль Юнга –  $2 \cdot 10^5$  МПа;
- 2) Bulk Modulus – Объемный модуль –  $1,6667 \cdot 10^5$  МПа;
- 3) Shear Modulus – Модуль сдвига – 76923 МПа;
- 4) Coefficient of Thermal Expansion – Коэффициент теплового расширения –  $1,2 \cdot 10^{-5}$  1/С°;
- 5) Compressive Ultimate Strength – Предельная прочность на сжатие – 0 МПа;
- 6) Compressive Yield Strength – Предел текучести при сжатии сжатие – 250 МПа;
- 7) Tensile Ultimate Strength – Предельная прочность на сжатие – 460 МПа;

8) Tensile Yield Strength – Предел текучести при сжатии сжатие – 250 МПа;

9) Isotropic Thermal Conductivity – Изотропная теплопроводность – 60,5 Вт/м·С°;

10) Specific Heat – Удельная теплоемкость – 434 Дж/кг·С°.

Structural Steel	
Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio
Young's Modulus	2e+05 MPa
Poisson's Ratio	0,30000
Bulk Modulus	1,6667e+05 MPa
Shear Modulus	76923 MPa
Bilinear Isotropic Hardening	
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion	1,2e-05 1/°C
Compressive Ultimate Strength	0 MPa
Compressive Yield Strength	250,00 MPa
Strain-Life Parameters	
S-N Curve	
Tensile Ultimate Strength	460,00 MPa
Tensile Yield Strength	250,00 MPa

Рисунок 10 – Материал детали Ст.3

Thermal	
Isotropic Thermal Conductivity	60,500 W/m·°C
Specific Heat Constant Pressure	434,00 J/kg·°C

Electric	
Isotropic Resistivity	1,7e-07 ohm·m

Magnetic	
Isotropic Relative Permeability	10000

Рисунок 11 – Продолжение характеристик материала детали Ст.3

Дерево данного исследования изображено на рис.12.

Дерево исследования состоит из следующих действий (рис.12):

- 1) Geometry – Задание геометрической модели;
- 2) Materials – Задание материалов деталей;
- 3) Connections – Задание связей для контакта деталей;
- 4) Mesh – Сетка;
- 5) Static Structural – статический прочностной анализ;
- 6) Граничные условия:
  - 6.1 Fixed Support – жесткая заделка,
  - 6.2 Displacement – перемещение;
- 7) Solution – исследование:
  - 7.1 Total deformation – Полная деформация;
  - 7.2 Equivalent Stress – Приведенное напряжение;
  - 7.3 Equivalent Plastic Strain – Пластические деформации;
  - 7.4 Directional deformation – Деформация вдоль некоторого направления.

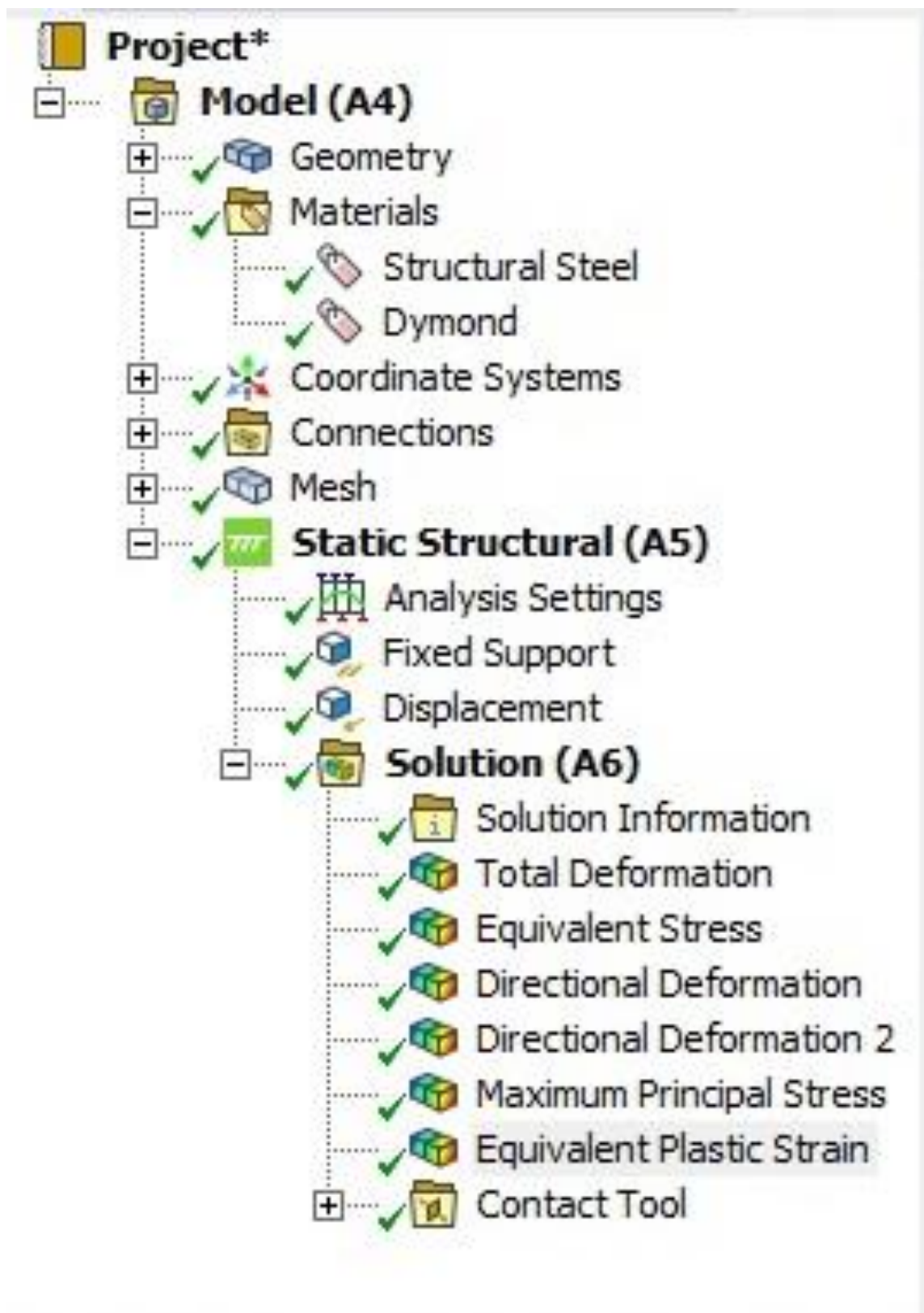


Рисунок 12 – Дерево статического анализа



Функция Displacement создает принудительное поступательное смещение (в данном исследовании) в указанном направлении для выбранной привязки. Направление индентора происходит по оси Y. На рис. 13 в правом нижнем углу показаны направления осей для данного анализа.

Задается контактное взаимодействие через вкладку в дереве под названием “Connections” (рис. 14). Синим цветом помечается поверхность, к которой необходимо произвести контакт индентора, так называемое для программы тело “цель”. Красным цветом помечается полупространство “тело-контакт”.

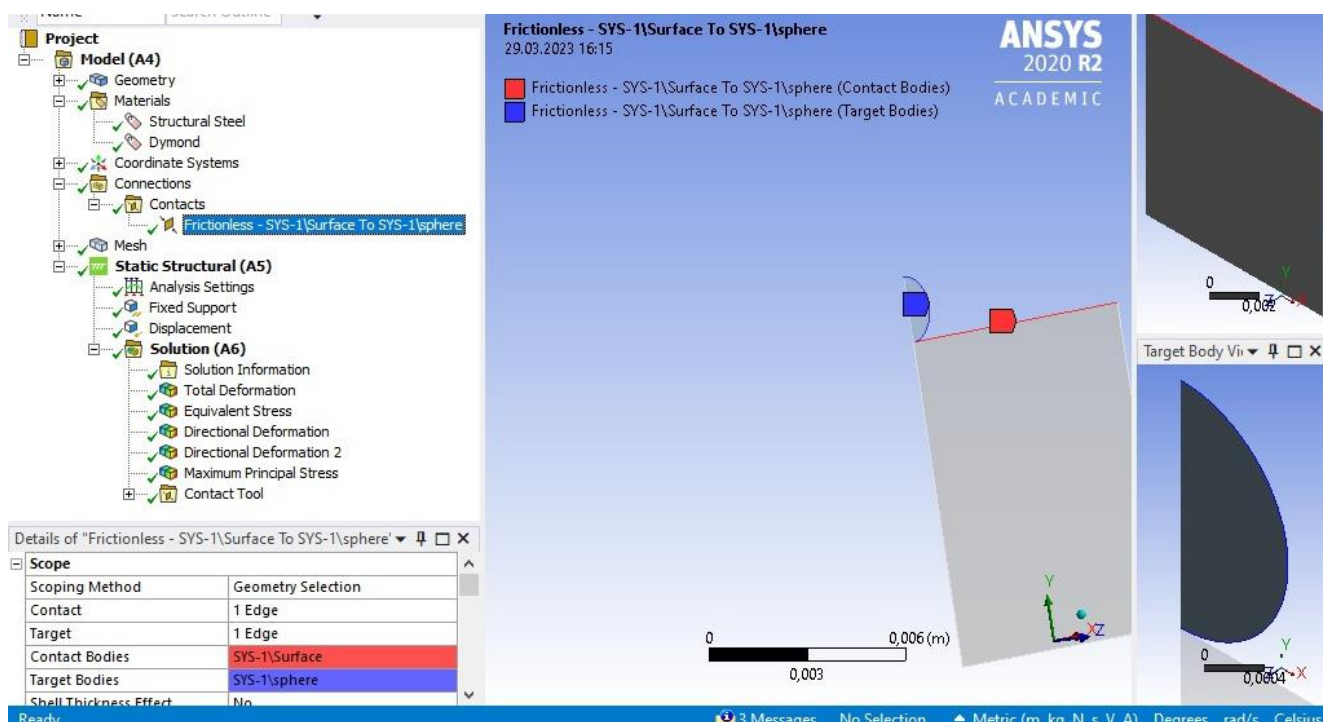


Рисунок 13 – Контактное взаимодействие

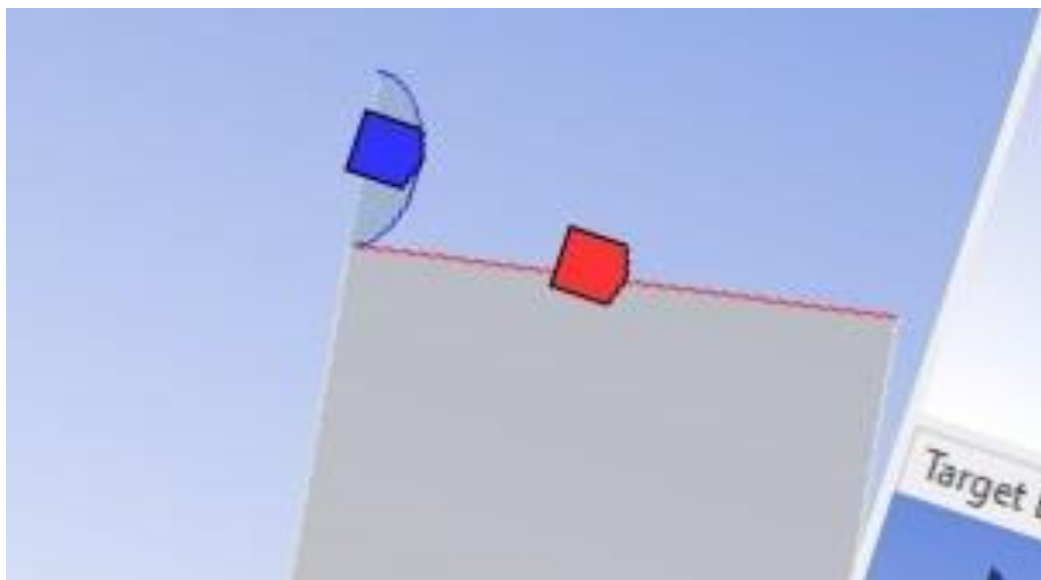


Рисунок 14 – Контакт деталей

Внедряем индентор в деталь по оси  $Y$ , после взаимодействия нагрузка снимается, проводим анализ для оценки полных деформаций (рис. 15).

Это деформации, включающие в себя упругие и пластические компоненты.

На рис. 15 наблюдаются полные деформации после снятия нагружения, они распределяются в зоне контакта индентора и полупространства. Деталь окрашивается в разные цвета для оценки величины деформаций в разных зонах контакта. Слева от изображения определены соответствия цветов с конкретными значениями деформациями. Значения представлены в метрах.

Красным цветом отображаются максимальные деформации равные 0,206 мм. Голубым цветом отображаются минимальные деформации, равные 0,023 мм. Места без образующихся деформаций отображаются синим цветом.

**A: Static Structural**  
Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Unit: m  
Time: 2  
Deformation Scale Factor: 1.0 (True Scale)  
12.03.2023 12:20

**0,00020667 Max**  
0,00018371  
0,00016074  
0,00013778  
0,00011482  
9,1853e-5  
6,889e-5  
4,5926e-5  
2,2963e-5  
**0 Min**

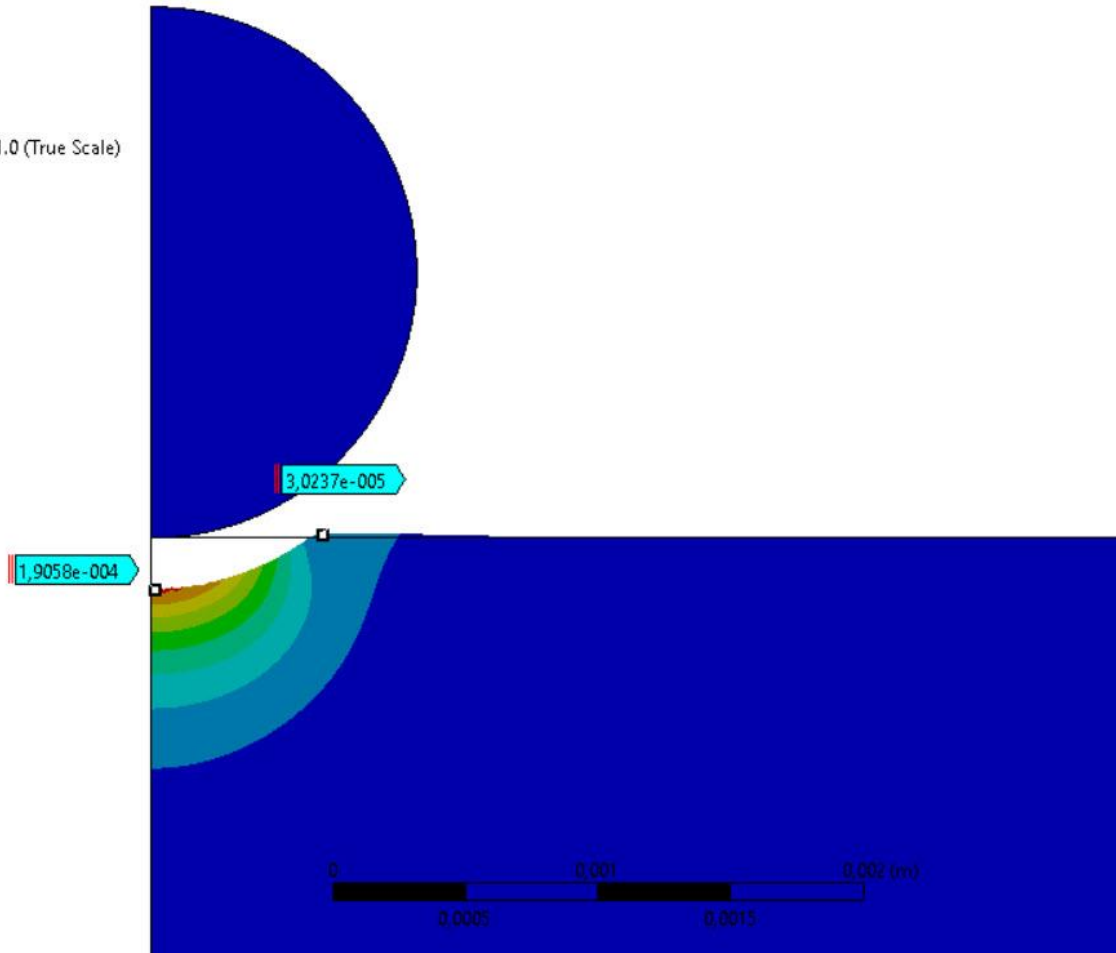


Рисунок 15 – Полные деформации

**A: Static Structural**  
Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Unit: m  
Time: 2  
Deformation Scale Factor: 1.0 (True Scale)  
12.03.2023 12:27

**0,00020667 Max**  
0,00018371  
0,00016074  
0,00013778  
0,00011482  
9,1853e-5  
6,889e-5  
4,5926e-5  
2,2963e-5  
**0 Min**

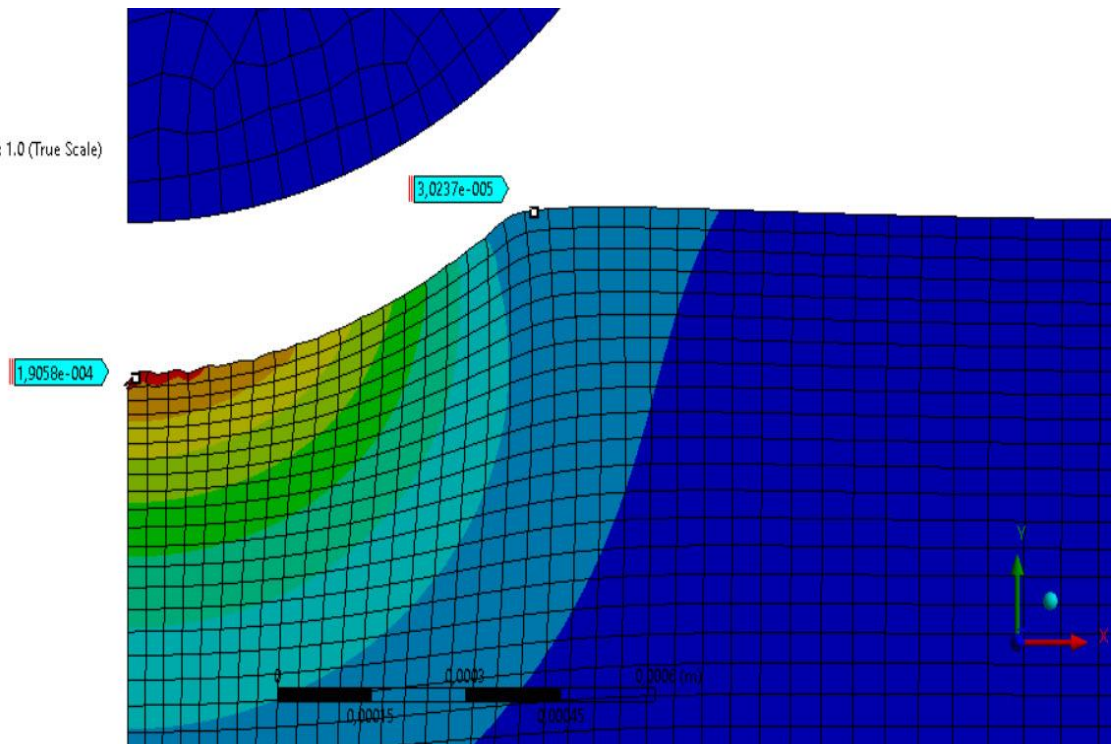


Рисунок 16 – Полные деформации вблизи

Анализ пластических деформаций после внедрения индентора и снятия нагрузки представлен на рис. 17. Пластические деформации - это необратимые деформации. Максимальные пластические деформации наблюдаются на самом нижнем уровне лунки. Они окрашены красным цветом, и их значение равно относительным деформациям 0,76262 м/м.

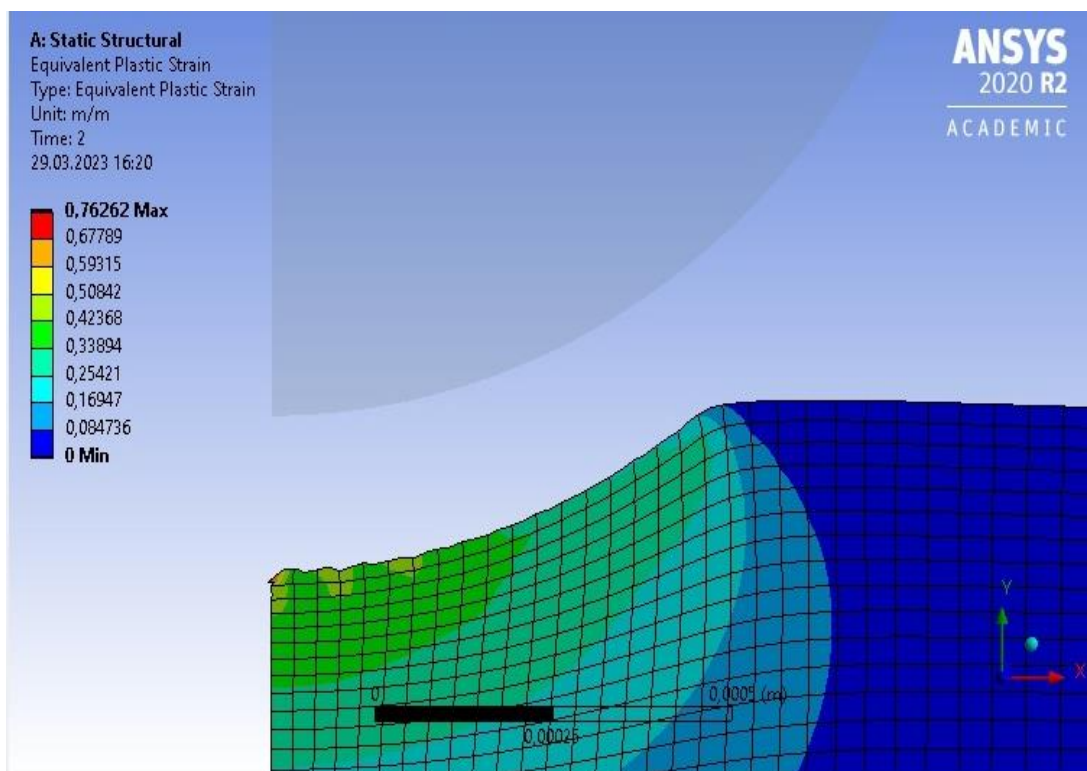


Рисунок 17 – Пластические деформации

На рис. 17, анализируя сетку, можно наблюдать деформации сжатия и растяжения полупространства. В зоне лунки размер сетки уменьшился в направлении внедрения индентора по оси Y, следовательно, в этой зоне наблюдаются деформация сжатия. В зоне наплыва материала размер сетки увеличился, следовательно, в этой зоне наблюдаются деформация растяжения.

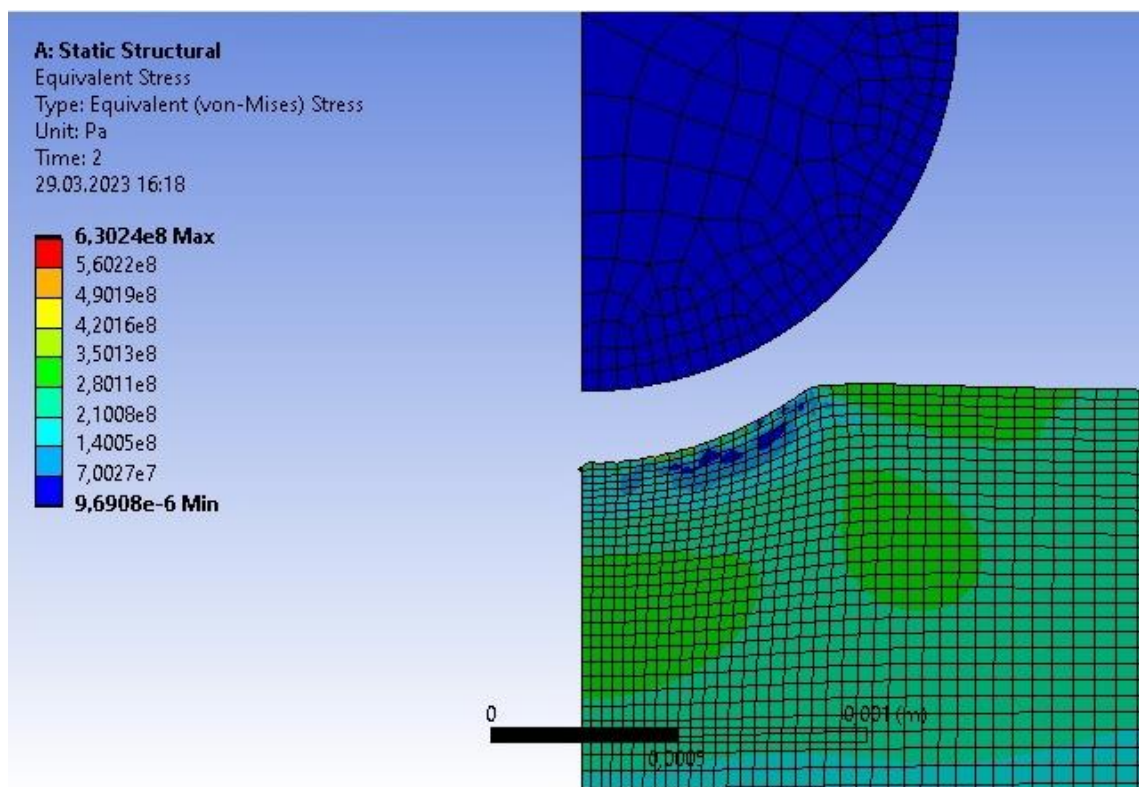


Рисунок 18 – Эквивалентное (приведенное) напряжение

С анализом эквивалентных напряжений можно ознакомиться на рис. 18. Эквивалентное (приведенное) напряжение – напряжение одноосного растяжения (сжатия), равноопасного рассматриваемому сложному напряженному состоянию.

Данное напряжение – это напряжение по Мизесу и оно характеризует удельную потенциальную энергию формоизменения. Оно рассматривается, как критерий перехода материала в стадию пластического деформирования в случае многоосного напряженного состояния.

На данном изображении можно наблюдать концентраторы напряжений в определенных областях плоскости, равные  $2,8 \cdot 10^8$  Па и окрашены ярко-зеленым цветом. Минимальные значения напряжений в зоне контакта равны  $9,6 \cdot 10^{-6}$  Па и окрашены в синий цвет.

Программа ANSYS строит графики сходимости величин сетки по проведенным исследованиям, в данном случае представлен график сходимости относительных деформаций м/м от шага исследования (рис. 19).



Зеленый график соответствует максимальным значениям относительным деформации сетки. Красный график соответствует минимальным значениям относительным деформации сетки. Синий график соответствует средним значениям относительным деформации сетки.

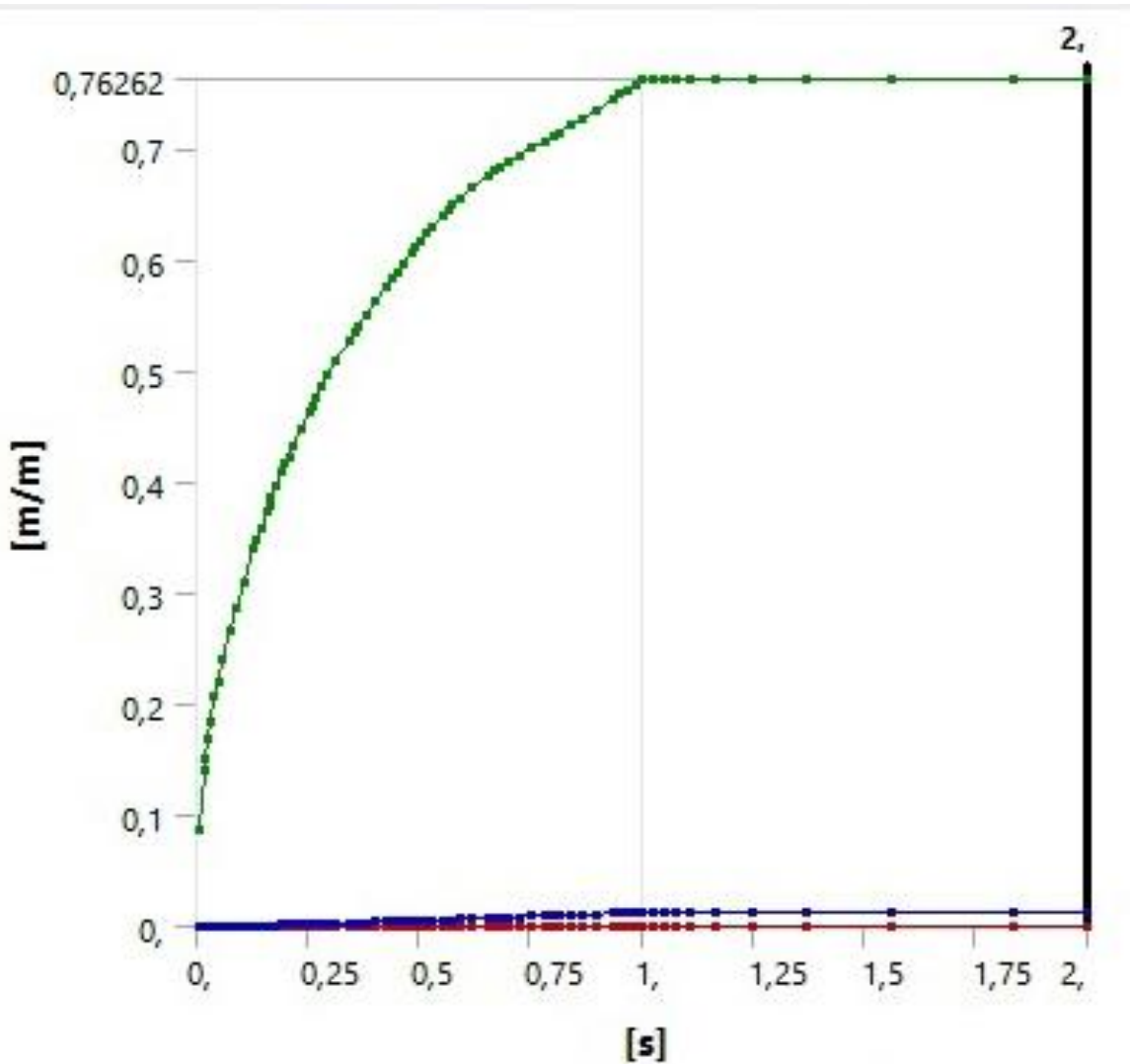


Рисунок 19 – График зависимости относительных деформаций от перемещения в пластическом анализе

### 3. Динамический анализ взаимодействия индентора с деталью

При динамическом анализе рассматривают движение под действием приложенных к индентору сил.

Поверхностный слой детали при алмазном выглаживании формируется в результате пластической деформации обрабатываемой поверхности. На поверхность контакта индентора и детали действует радиальная сила. Вследствие чего возникают контактные давления (рис. 20).

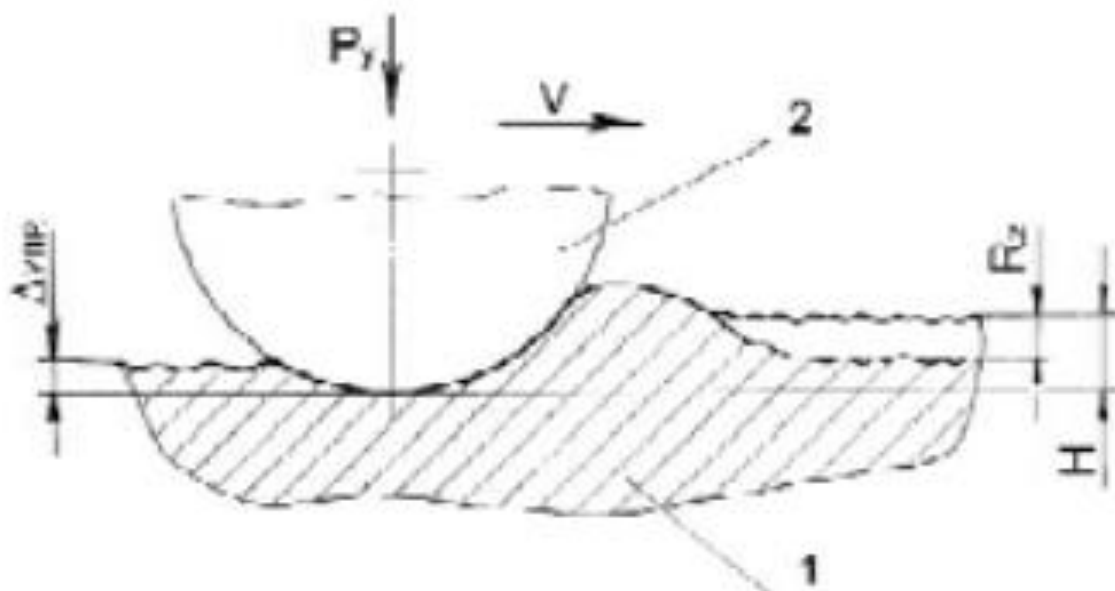


Рисунок 20 – Схема динамического анализа

$P_y$  – усилие вдавливания индентора,  $V$  – скорость движения индентора,  $R_z$  – величина исходной шероховатости,  $H$  – глубина вдавливания,  $\Delta_{упр}$  – глубина упрочненного слоя

Дерево данного исследования изображено на рис. 20. В ходе данного исследования необходимо задаться материалом деталей. Индентор – алмаз, полупространство – конструкционная сталь – сталь 3, как и в прошлом исследовании из главы 2.

Дерево исследования состоит из следующих действий (рис. 21):

- 1) Geometry – Задание геометрической модели;
- 2) Construction Geometry – Вспомогательная геометрия;
- 2) Materials – Задание материалов деталей;
- 3) Connections – Задание связей для контакта деталей;
- 4) Mesh – Сетка;
- 5) Static Structural – статический прочностной анализ;
- 6) Граничные условия:
  - 6.1. Fixed Support – жесткая заделка,
  - 6.2 Remote Displacement – дистанционное перемещение;
- 7) Solution – исследование:
  - 7.1 Total deformation – Полная деформация;
  - 7.2 Equivalent Stress – Приведенное напряжение;
  - 7.3 Equivalent Plastic Strain – Пластические деформации;
  - 7.4 Directional deformation – Деформация вдоль некоторого направления.



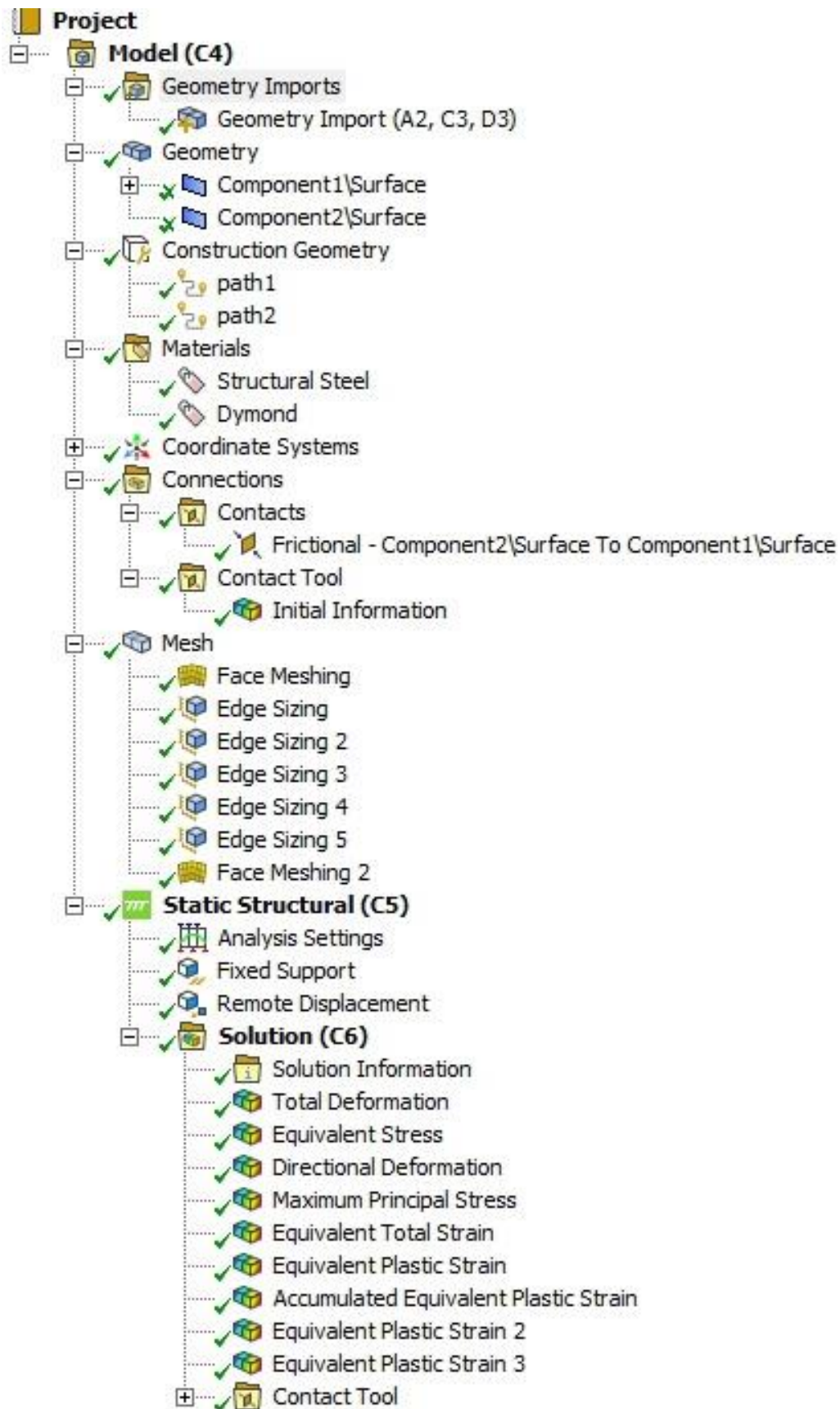


Рисунок 21 – Дерево динамического анализа

При динамическом анализе так же, как и в статическом анализе, рассматривается взаимодействие индентора и полупространства. Отличие в том, что индентор перемещается по детали в направлении подачи (рис. 22).

В ходе данного анализа напряженно-деформированного состояния были сделаны такие допущения, как:

- 1) Деталь рассматривается, как пластина, размеры которой другого порядка малости, если сравнивать ее с размерами инструмента;
- 2) В качестве инструмента был принят сферический индентор, который задается абсолютно твердым телом;
- 3) В силу симметрии задача рассматривается, как плоская осесимметричная задача;
- 4) Инструменту задавалась не скорость, а перемещение.

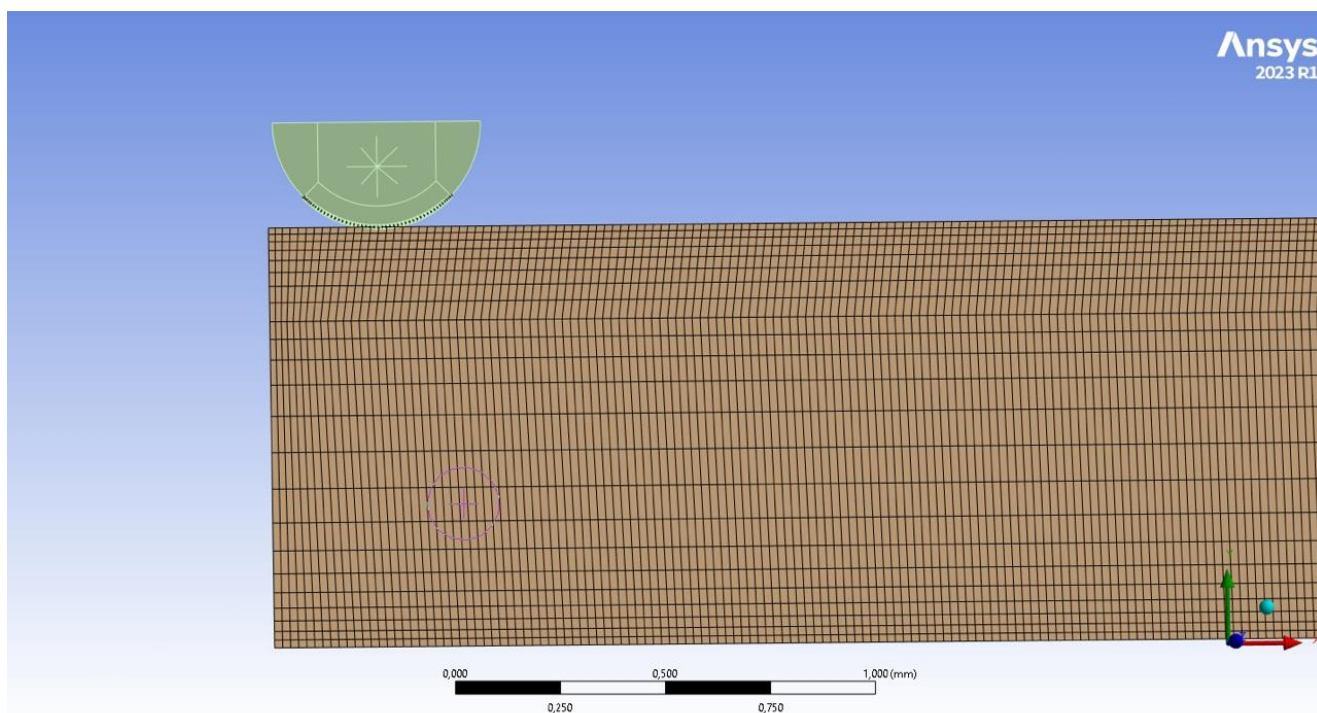


Рисунок 22 – Детали

Данная задача является квазидинамической, то есть изменение процесса с некоторым фиксированным интервалом времени. В данном случае это распространяется на перемещение инструмента, которому задавалась не скорость, а перемещение, как это говорилось выше.

Перемещение задается в шагах. Первый шаг 1 секунда 100 шагов, затем 5 секунд 3000 шагов.

Задается контактное взаимодействие через функцию Frictional (рис. 23). Красным цветом помечается поверхность, к которой необходимо произвести контакт индентора, так называемое тело “цель”. Синим цветом помечается поверхность “тело-контакт”.

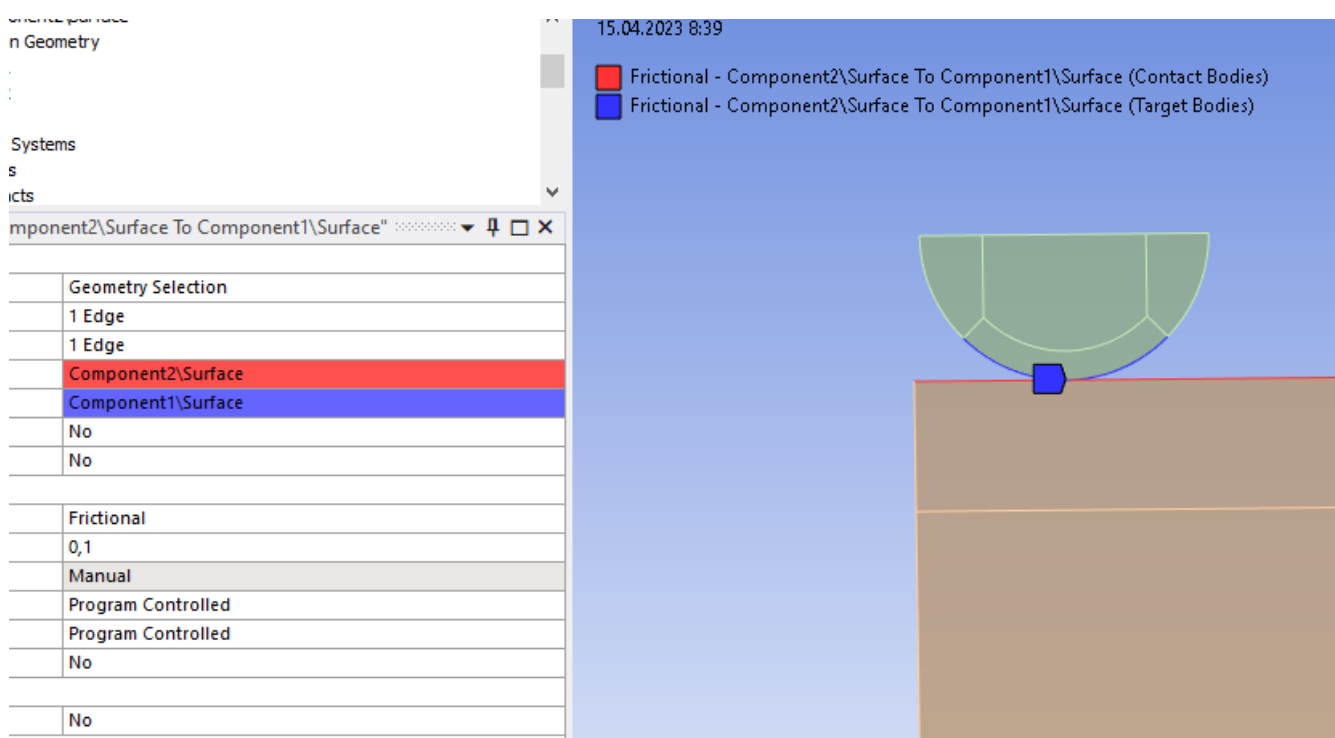


Рисунок 23 – Контактное взаимодействие индентора и полупространства

Процесс алмазного выглаживания в данной постановке задачи происходит так:

- 1) Внедрение индентора на определенную глубину по оси Y;
- 2) Перемещение индентора вдоль заданной поверхности.

Для правильного расчета исследования необходимо задать граничные условия. Для нижней поверхности задаем ограничения по всем степеням свободы.

Помимо ограничений перемещения плоскости необходимо задать ограничение смещения полусферы. Функция Displacement создает принудительное поступательное смещение (в данном исследовании) в

указанном направлении для выбранной привязки. Применение данной функции смещения похоже на приложение нагрузки к привязке.

Поступательное движение индентора — механическое движение абсолютно твёрдого тела, при котором отрезок, связывающий любые две точки этого тела остаётся параллельным своему положению в любой предыдущий момент времени.

Размеры и тип сетки вносят свое влияние в зону контакта деталей. Если использовать крупную сетку, сходимость деталей может быть не точной, площадь контакта может стремиться к нулю и вызывать огромные величины напряжений. Программа не сможет произвести необходимый для нас анализ.

Для обеспечения сходимости деталей необходимо задавать сетку с измельчением в зоне контакта. Это позволяет точно проводить исследование для контактирующих поверхностей. В нашем случае размеры сетки равны 0,17 мм.

Исходя из того, что моделируемое взаимодействие состоит из двух этапов, необходимо для начала задать перемещение индентора на определенную глубину равную 0,008 мм. Вдавливание индентора производят в приповерхностном слое, который равен 1 мм.

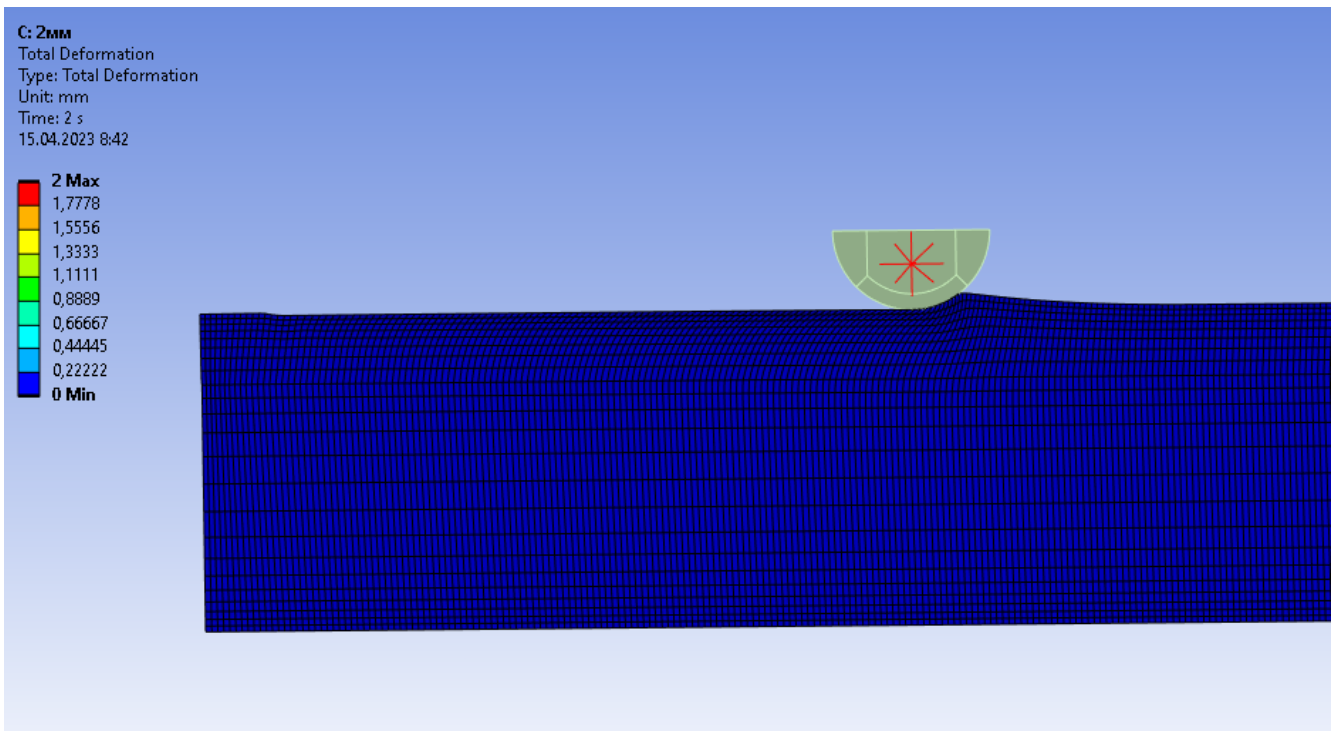


Рисунок 24 – Полная деформации

После внедрения индентора задаем суммированное перемещение и производим деформирование поверхностного слоя детали (рис. 24).

Траектория перемещения индентора показана на рис. 25.

Пластические деформации представлены на рис. 27.

Деталь окрашивается в разные цвета для оценки величины деформаций в разных зонах контакта.

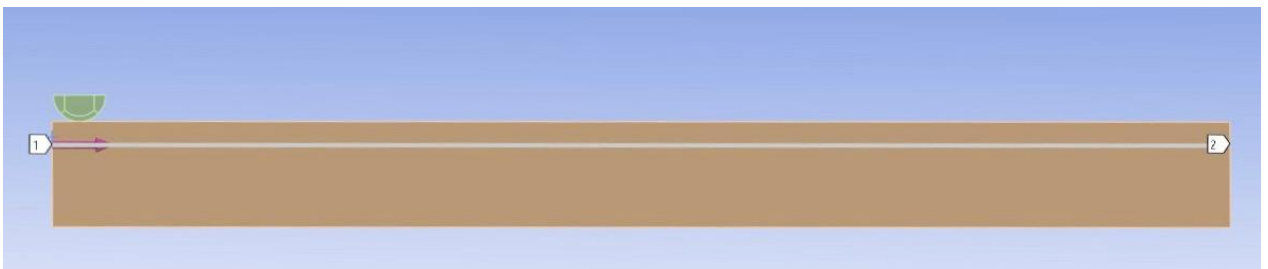


Рисунок 25 – Траектория перемещения

Красный цвет говорит о наибольшем значении, а синий о наименьшем значении. Сами же величины эквивалентных напряжений и пластических деформаций показаны слева от изображения взаимодействия деталей, которые можно рассмотреть на рис 26. и рис 27. соответственно.

Эквивалентное (приведенное) напряжение – напряжение одноосного растяжения (сжатия), равноопасного рассматриваемому сложному напряженному состоянию.

Данное напряжение – это напряжение по Мизесу и оно характеризует удельную потенциальную энергию формоизменения. Оно рассматривается, как критерий перехода материала в стадию пластического деформирования в случае многоосного напряженного состояния.

На данном изображении можно наблюдать максимальное значение напряжений, которые окрашены в красный цвет, равные 2084,3 МПа и окрашены ярко-зеленым цветом. Минимальные значения напряжений в зоне контакта равны  $9,6 \cdot 10^{-6}$  Па и окрашены в синий цвет. Результаты исследования соответствуют конечному шагу взаимодействия.

В конце времени перемещения индентора по плоскости в месте контакта наблюдается наплыв материала.

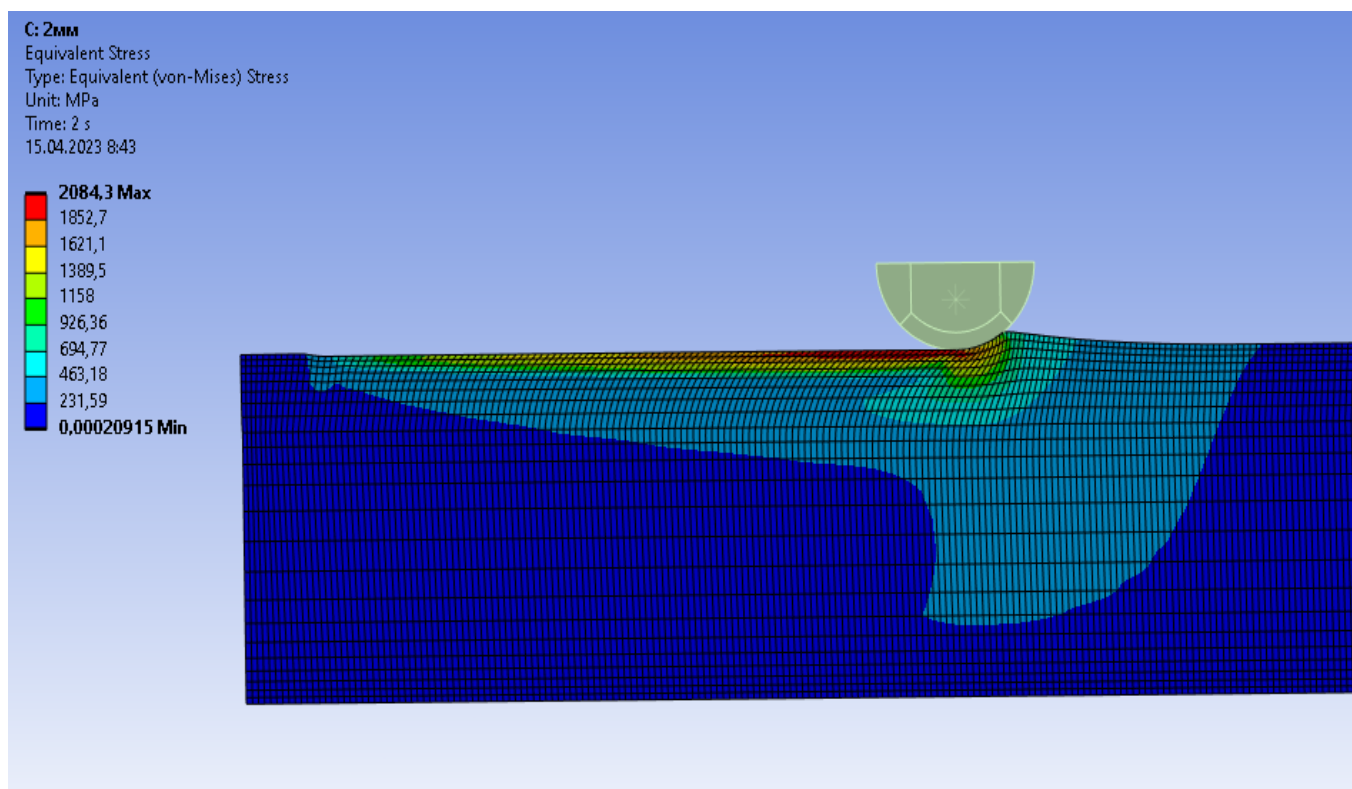


Рисунок 26 – Эквивалентные напряжения

Причиной образования наплыва является изменение характера деформации поверхностного слоя плоскости. В результате продольной



подачи площадь контакта полусферы с плоскостью уменьшается. Это происходит так, как уменьшается задний угол охвата материала. Объем металла, который выдавливается, вызывает рост площади контакта полусферы и плоскости, и образуется наплыв.

После прохождения полусферой данной траектории переходим к расчету деформаций и напряжений. Расчет эквивалентных напряжений представлен на рис. 26. Эквивалентные напряжения – это такие напряжения, под действием которых в условии растяжения-сжатия материал находится в равноопасном состоянии. Данные напряжения вводят для упрощения расчетов при сочетании деформаций.

В процессе алмазного выглаживания образуются пластические деформации в поверхностном слое детали. В данном исследовании в плоскости. Исследование эквивалентных пластических деформаций представлено на рис. 27.

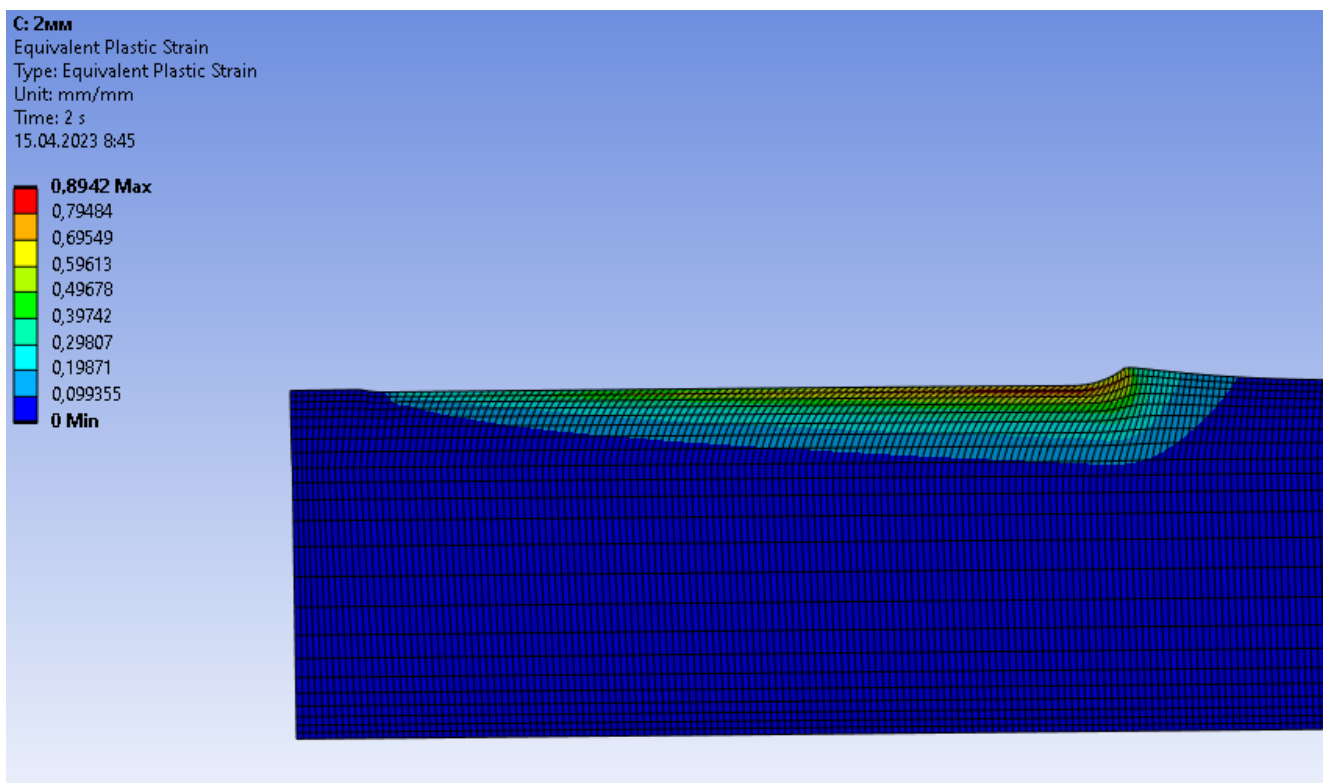


Рисунок 27 – Пластические деформации

Проанализировав исследование эквивалентных напряжений, можно сделать вывод, что в зоне контакта индентора с полупространством наблюдаются наибольшие значения напряжений и пластических деформаций, равные 2084,3 МПа и минимальные 0,00020915 МПа.

Анализ пластических деформаций после внедрения индентора и его движения по детали представлен на рис. 27. Результаты исследования соответствуют конечному шагу взаимодействия.

Пластические деформации - это необратимые деформации. Максимальные пластические деформации окрашены красным цветом, и их значение равно относительным деформациям 0,8942 мм/мм. Минимальное значение равно 0 мм/мм и окрашено в синий цвет.

На рис. 27, анализируя сетку, можно наблюдать деформации сжатия и растяжения полупространства. В зоне лунки размер сетки уменьшился в направлении внедрения индентора по оси Y, следовательно, в этой зоне наблюдаются деформация сжатия. В зоне наплыва материала размер сетки увеличился, следовательно, в этой зоне наблюдаются деформация растяжения.

Проведено исследование контактных напряжений, представленное на рис. 28. При данном анализе видно, что красным цветом окрашивается контакт полусферы с наплывом, а остальные значения располагаются в зоне контакта полусферы с поверхностью.



Максимальная величина контактного напряжения равна 2916,9 МПа.  
Минимальное значение в зоне контакта индентора и полупространства окрашено темно-голубым цветом и равно 324,1 МПа.



Рисунок 28 – Контактные напряжения

По полученным данным на рис. 28 построим график зависимости относительных пластических деформаций мм/мм от шага исследования в Excel (рис. 29).

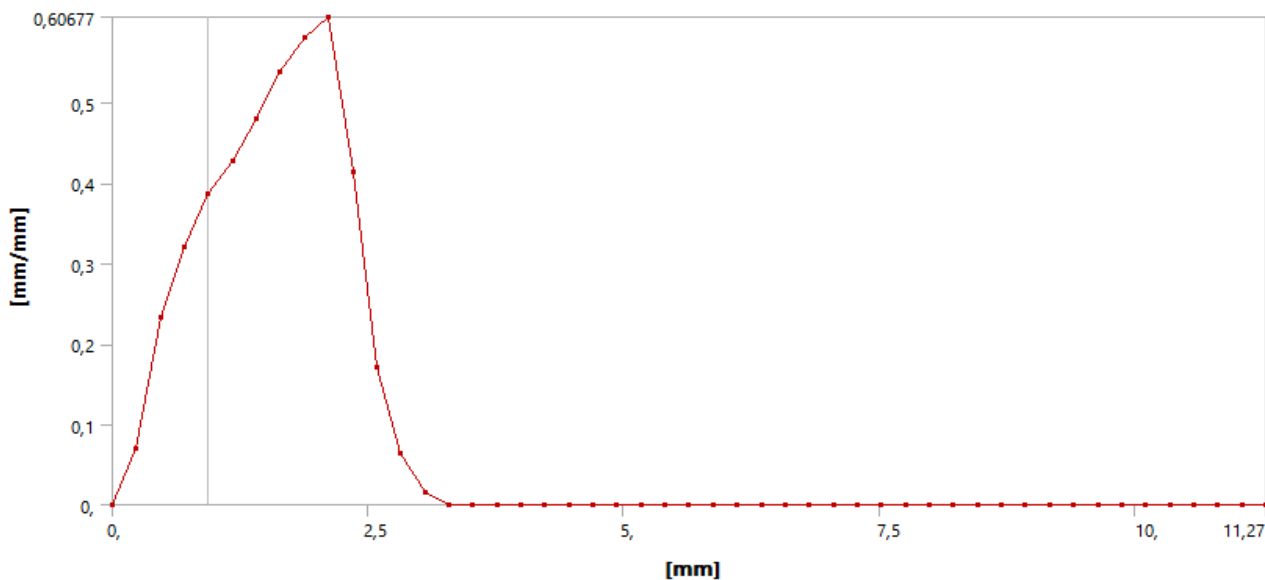


Рисунок 29 – График зависимости относительных пластических деформаций мм/мм от шага исследования

## Заключение по разделу

В ходе данного исследования был проведен анализ взаимодействия сферы и плоскости, как схема взаимодействия индентора с деталью фасонной поверхности при алмазном выглаживании. Упрощение схемы деталей не влияет на суть исследования и несет аналитический характер.

Целью данного исследования являлось продемонстрировать возможности программного обеспечения для анализа такого сложного процесса обработки, как алмазное выглаживание. Благодаря программе ANSYS можно оценить эксплуатационные возможности того или иного материала для любого вида деталей, проанализировав их на пластические деформации и напряжения.

Возможности программы дают инженеру вариативность способов оценки разных параметров помимо тех, что мы анализировали в данной работе.

Исходя из полученных данных, мы можем наблюдать концентраторы напряжений в зоне контакта деталей и оценивать их значение. Тем самым, инженер может размышлять и совершенствовать свои разработки, а также совершенствовать процесс алмазного выглаживания, улучшая, например, оправки.

Способность программы строить графики может наглядно указывать на места, которые нуждаются в более детальном исследовании и направлять на другие шаги, а также направления исследований.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4АМ11	Саветина Ирина Сергеевна

<b>Школа</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделение</b>	<b>Отделение машиностроения</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	15.04.01 Машиностроение

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Размер окладов и выплат исполнителям проекта: 24064 руб. Нормы и нормативы расходования ресурсов: 1. Норма амортизации персонального компьютера - 20% в год; 2. Дополнительная заработная плата - 12% - 20% от основной заработной платы. Ставка отчислений на социальные нужды – 30% от ФОТ.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Финансирование за счет средств государственного бюджета.
2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
3. Планирование процесса управления НИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НИ
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Оценка эффективности проекта.

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. Оценка конкурентоспособности технических решений 2. Матрица SWOT 3. График проведения и бюджет НИ 4. Расчёт денежного потока 5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ
--

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	1.03.2023
---	-----------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Профессор	Гасанов Магеррам Али оглы	Доктор экономических наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
4АМ11	Саветина Ирина Сергеевна		

**Тема:** «Исследование процесса алмазного выглаживания фасонных поверхностей».

**Краткое описание.**

Данная ВКР посвящена анализу процесса выглаживания фасонных поверхностей, который до сих пор порождает вопросы о процессе обработки. Цель данной работы – продемонстрировать, на примере взаимодействия сферы и плоскости, суть обработки поверхностным пластическим деформированием.

Данный вид обработки деталей можно рассматривать, используя метод конечных элементов. Этот метод подходит для задач механики твердого деформируемого тела.

В процессе выглаживания, в месте контакта поверхности детали и индентора с алмазным наконечником, возникают значительные контактные напряжения. При определенном усилии выглаживания происходит пластическая деформация поверхностного слоя, которая описана и исследована с помощью программы ANSYS.

#### 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

##### 4.1 Предпроектный анализ

##### 4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Анализ процесса обработки алмазного выглаживания по средствам программы ANSYS показывает, какие пластические деформации могут происходить в материале. Тем самым, исходя из расчета, можно оценивать эффективность данного вида обработки и работать над ее производительностью. Рассматриваемые силовые зависимости при алмазном выглаживании и различных конструкций оправок в данной работе нацелены на конкретного потребителя – средне – и мелкосерийные предприятия машиностроительной направленности.

Сегментировать рынок услуг можно по степени потребности использования данных расчетов. Результат сегментирования представлены на таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Карта сегментирования рынка услуг по разработке.

		Тип анализа	
		Прочностной статический анализ	Прочностной динамический анализ
Тип серийного производства	Средне-серийное		
	Мелко-серийное		
		Фирма А	Фирма Б

#### 4.1.2 Анализ конкурентных решений

Подобных анализов от других раздатчиков очень мало. В качестве конкурентов были рассмотрены похожие решения. К примеру, статья с подобным анализом, или любой другой ресурс, где реализован данный метод. В конечном итоге, в качестве конкурирующих решения были выбраны следующие продукты:

1. Моделирование процесса алмазного выглаживания; [1]
2. Методы измерения твердости материалов. [2]

Экспертная оценка основных технических характеристик данных продуктов представлена в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Оценочная карта сравнения конкурентов

№	Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
			Бф	Бк1	Бк2	Кф	К1	К2
	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>								
1	Производительность труда рабочего	0,2	5	3	3	1	0,6	0,6
2	Удобство в эксплуатации	0,15	5	5	5	0,75	0,75	0,75
3	Время изготовления детали	0,05	4	3	4	0,2	0,15	0,2
4	Надежность	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
5	Уровень шума	0,15	4	3	3	0,6	0,45	0,45
6	Безопасность	0,2	5	5	5	1	1	1
<b>Экономические критерии оценки</b>								
7	Конкурентоспособность	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
8	Цена	0,05	4	2	2	0,2	0,1	0,1
9	Итого	1	37	29	30	<b>4,75</b>	<b>3,85</b>	<b>3,9</b>

Исходя из проведенного анализа можно заключить, что уязвимость конкурентных технологических решений связана, прежде всего, с отсутствием повышения производительности труда, то есть предоставляемые системами возможности не достаточны, для реализации успешного процесса автоматизации, например ограничение мощности ПК. Реализации двух конкурентов очень схожи, поэтому коэффициенты их конкурентоспособности едва различимы.

### 4.1.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Матрица составляется на основе анализа рынка и конкурентных технических решений, и показывает сильные и слабые стороны проекта, возможности и угрозы для разработки.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Матрица SWOT представлена в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – SWOT-анализ

		Сильные стороны	Слабые стороны
		<p>С1. Внедрение научно-исследовательских разработок.</p> <p>С2. Безопасность процесса при разработке проекта.</p> <p>С3. Низкое влияние человеческого фактора.</p> <p>С4. Небольшая конкуренция.</p>	<p>СЛ1. Наличие дорогостоящего программного обеспечения.</p> <p>СЛ2. Потребность в больших объемах вычислительных ресурсов.</p> <p>СЛ3. Длительное время для проведения проектирования.</p> <p>СЛ4. Неточность полученных результатов.</p>
Возможности			
В 1	Доработка программы	В1С1. При проектировании есть возможность внедрить новые разработки.	В1СЛ3 Доработка программы может увеличить время проектирования анализа.
В 2	Работа программы онлайн	В2С3. Онлайн вычисления позволят сократить нагрузку на человека.	В2СЛ2. Возможность работы в реальном времени требует наличия мощного ПК.
В 3	Механизация и автоматизация процесса изготовления	В3С2. Автоматизация процесса обработки способствует безопасному анализу.	
В 4	Широкий выбор материалов	В4С2С3С4. Широкий спектр функционала, а также малая конкуренция способствуют распространению системы на рынок	

Продолжение таблицы 4.3.

Угрозы		У1У2С1С3С4. Постоянный анализ работы программы способствует развитию разработки.	У4СЛ1. Из-за несвоевременного финансирования невозможно приобрести программное обеспечение. У1У2У3СЛ4 Неудобная работа на портативных устройствах, медленная работа системы, медленная работа системы, может привести к неточным результатам.
У 1	Неверное выполнение		
У 2	Сложность при освоении программы		
У 3	Медленная работа системы		
У 4	Несвоевременное финансирование		

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Соотношения параметров представлены в таблице 4.4 – 4.7.

Таблица 4.4 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		С1	С2	С3	С4
	В1	+	-	-	-
	В2	-	-	+	-
	В3	-	+	-	-
	В4	-	+	+	+

Таблица 4.5 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		СЛ1	СЛ2	СЛ3	СЛ4
	В1	-	-	+	-
	В2	-	+	-	-
	В3	-	-	-	-
	В4	-	-	-	-

Таблица 4.6 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта					
Угрозы проекта		С1	С2	С3	С4
	У1	+	-	+	+
	У2	+	-	+	+
	У3	-	-	-	-
	У4	-	-	-	-



Таблица 4.7 – Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны проекта					
Угрозы проекта		СЛ1	СЛ2	СЛ3	СЛ4
	У1	-	-	-	+
	У2	-	-	-	+
	У3	-	-	-	+
	У4	+	-	-	-

#### 4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения. Для этого необходимо заполнить специальную форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта. Перечень вопросов приведен в табл. 4.8.

Таблица 4.8 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	5
3.	Определены технологии для предложения на рынке	3	4
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	3
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	3	2
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	4	2
7.	Проведены маркетинговые исследования рынка	4	4

8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	3
----	--	---	---

Продолжение таблицы 4.8.

9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	4
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	5	4
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	4
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	1
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	2	3
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	2	2
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	5	5
	<b>ИТОГО БАЛЛОВ</b>	47	50

Итоговые значения проработанности научного проекта и знания у разработчика лежат в диапазоне от 47 до 50, что говорит о средней перспективности проекта. Многие аспекты вывода продукта на рынок не были учтены, а также проявляется недостаток знаний. Следовательно, требуется дополнительные затраты на наём или консультации у соответствующих специалистов.

#### **4.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования**

Перспективность данного научного исследования выше среднего, следовательно, не все этапы разработки были рассмотрены и изучены. Так как основной научно-технический задел определен, этого достаточно для коммерциализации проекта. Уровень разработки научного проекта и уровень знаний разработчика достаточны для реализации пунктов, которые были выбраны в табл. 4.8.

## 4.2 Инициация проекта

В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта.

### 4.2.1 Цели и результаты проекта

Перед определением целей необходимо перечислить заинтересованные стороны проекта. Информация по заинтересованным сторонам представлена в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидание заинтересованных сторон
Пользователь	Точность результатов анализа
Разработчик	Получение прибыли со своего продукта
Научный руководитель, студент	Выполненная выпускная квалификационная работа

Цели и результат проекта представлены в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Цели и результат проекта

<b>Цели проекта:</b>	Изучить научную литературу Изучить программу ANSYS Провести исследование и анализ процесса обработки алмазным выглаживанием
<b>Ожидаемые результаты проекта:</b>	Обосновать появившееся напряжение при взаимодействии. Описать метод анализа исследования.
<b>Критерии приемки результата проекта:</b>	Правильное распределение зон деформирования и их значений.
<b>Требования к результату проекта:</b>	<b>Требование:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Обоснования этапов исследования.</li><li>• Подведение итогов по результатам исследования.</li></ul>

### 4.2.2 Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованы в рамках данного проекта. Эту информацию представить в табличной форме (табл. 4.11).

Таблица 4.11 – Ограничения проекта

<b>Фактор</b>	<b>Ограничения</b>
1.2.3.1 Бюджет проекта	600000
1.2.3.1.1 Источник финансирования	ТПУ
1.2.3.2 Сроки проекта	30.01.2023 – 21.05.2023
1.2.3.2.1 Фактическая дата утверждения плана управления проектом	6.02.2023
1.2.3.2.2 Плановая дата завершения проекта	21.05.2023

## 4.3 Планирование управления научно-техническим проектом

### 4.3.1 Иерархическая структура работ проекта

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

План управления научным проектом должен включать в себя следующие элементы:

- иерархическая структура работ проекта;
- контрольные события проекта;
- план проекта;
- бюджет научного исследования.

На рисунке 4.1 представлен шаблон иерархической структуры.



Рисунок 4.1 – Иерархическая структура по ВКР

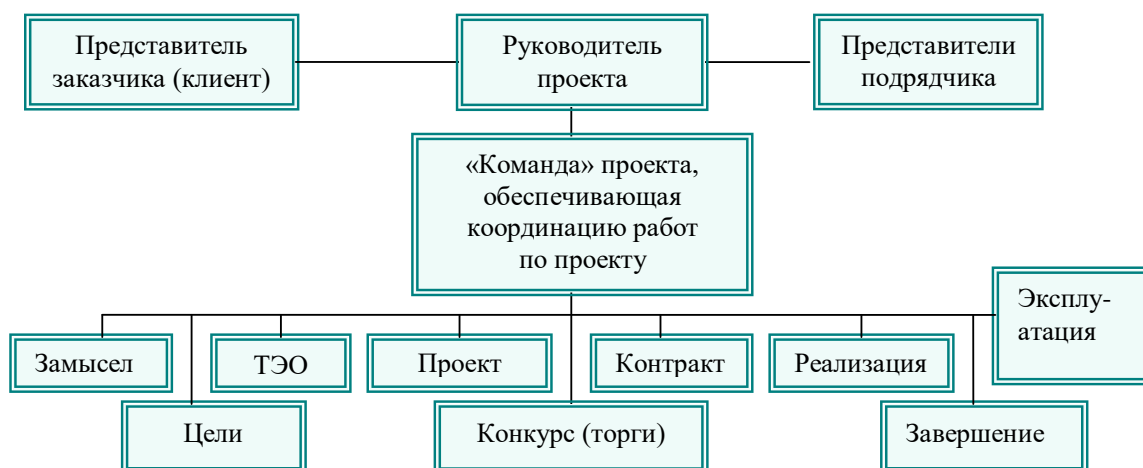


Рисунок 4.2 – Проектная структура проекта

В данном проекте будет проектная структура проекта, так как такое исследование не проводилось ранее, имеет трудоемкую реализацию. Пример проектной структуры изображен на рисунке 4.2.

#### 4.3.1 План проекта

Реализация НИОКР состоит из нескольких этапов, которые составляют структуру научного исследования. Для иллюстрации календарного плана составим диаграмму Ганта. На ней работы по теме представлены протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания данных работ. График строится в виде табл. 4.12 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике следует выделить различным цветом в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 4.12. – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Код раб. (из ИС Р)	Вид работ	Исполнители	Т <sub>к</sub> , кл · дн ·	Продолжительность выполнения работ															
				Янв.			Февр.			Март			Апр.			Май.			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Выбор направления исследования	Научный руководитель, дипломник	5			■	■												
2	Описание требований	Научный руководитель	10				■												
3	Патентный поиск	Дипломник	10					■	■										
4	Составление технического задания	Научный руководитель, дипломник	10							■	■								
5	Изучение литературы	Дипломник	10								■	■							
6	Написание литературного обзора	Дипломник	15									■	■	■					
7	Проведение статического исследования	Дипломник	15										■	■	■				
8	Проведение динамического исследования	Дипломник	15												■	■	■		
10	Написание документации	Дипломник	20															■	■

■ – Научный руководитель      ■ – Дипломник

#### 4.4 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям, представленным в таблице 4.13.

##### 4.4.1 Специальное оборудование для научных работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

Для разработки нынешней системы требуется обычное оборудование в виде персонального компьютера и купленной лицензии программы ANSYS для университетов.

Таблица 4.13 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс.руб.	Общая стоимость оборудования, тыс.руб.
1.	Персональный компьютеры	1	60000	60000
2.	Лицензия ANSYS	1	-	100000

##### 4.4.2 Основная заработная плата

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы.

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (4.5)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;  $Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата.



Основная заработная плата  $Z_{\text{осн}}$  руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}}, \quad (4.6)$$

где  $T_{\text{раб}}$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;  $Z_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Значит, для руководителя:

$$Z_{\text{осн}} = 1983,8 \cdot 17 = 33724,6 \text{ руб.}$$

Для дипломника:

$$Z_{\text{осн}} = 1538,1 \cdot 93 = 143043 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (4.7)$$

где  $Z_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;  $M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года при отпуске в 28 раб. дн.  $M=11,2$  месяца, 5 - дневная неделя, при отпуске в 56 раб. дн.  $M=10,4$  месяца, 6 - дневная неделя;  $F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала (в рабочих днях).

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{ТС}}(1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}})k_{\text{р}}, \quad (4.8)$$

где  $Z_{\text{ТС}}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;  $k_{\text{пр}}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3;  $k_{\text{д}}$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2-0,5;  $k_{\text{р}}$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Тогда, для руководителя:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{(24064(1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3) \cdot 10,4}{246} = 1983,8 \text{ руб.}$$

Для дипломника:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{(15000(1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3) \cdot 11,2}{213} = 1538,1 \text{ руб.}$$

Баланс рабочего времени представлен в таблице 4.14.

Таблица 4.14 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Магистр
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	118	118
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	56	28
- невыходы по болезни	–	–
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	213

Таблица 4.15 – Результаты расчета основной заработной платы

Исполнители	З <sub>б</sub> , руб.	k <sub>р</sub>	З <sub>м</sub> , руб	З <sub>дн</sub> , руб.	T <sub>р</sub> , раб. дн.	З <sub>осн</sub> , руб.
Руководитель	24064	1,3	46924,8	1983,8	17	33724,6
Дипломник	15000	1,3	29250	1538,1	93	143043
Итого по статье З <sub>осн</sub> :						176767,6

#### 4.4.3 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

Дополнительная заработная плата включает оплату за непроработанное время (очередной и учебный отпуск, выполнение государственных обязанностей, выплата вознаграждений за выслугу лет и т.п.) и рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (4.8)$$

где  $Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата, руб.;  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12-0,15);  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата, руб.

Для руководителя:

$$Z_{\text{доп}} = 0,12 \cdot 33724,6 = 4046,9 \text{ руб.}$$

Определим дополнительную заработную плату студента:

$$Z_{\text{доп}} = 0,12 \cdot 143043 = 17165,2 \text{ руб.}$$

#### 4.4.4 Отчисления на социальные нужды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется по формуле (4.9):

$$Z_{внеб} = k_{внеб}(Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (4.9)$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2023 год установлен размер страховых взносов равный 30%. Сведем результат по формулам (4.9) в таблицу 4.16.

Таблица 4.16 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	33724,6	4046,9
Студент - дипломник	143043	17165,2
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	30%	
Итого	11331,45+48062=59396,45	

#### 4.4.5 Накладные расходы

В эту статью относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др. В расчетах эти расходы принимаются в размере 70 - 90 % от суммы основной заработной платы научно-производственного персонала данной научно-технической организации.

Накладные расходы составляют 80-100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (4.10)$$

где  $k_{\text{накл}}$  – коэффициент накладных расходов (принимается равным 0,16).

#### 4.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Расчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Таблица 4.17 – Бюджет НТИ

№	Затраты по статьям						
	Материалы	Специальное оборудование для научных работ	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Накладные расходы	Отчисления на социальные нужды	Итого плановая себестоимость
1	-	160000	33724,6	4046,9	6043,4	11331,45	<b>449049,8</b>
2	-		143043	17165,2	25633,3	48062	

#### 4.4.7 Организационная структура проекта

В практике используется несколько базовых вариантов организационных структур: функциональная, проектная, матричная.

Для выбора наиболее подходящей организационной структуры можно использовать табл. 4.18.

Таблица 4.18 – Выбор организационной структуры научного проекта

Критерии выбора	Функциональная	Матричная	Проектная
Степень неопределенности условий реализации проекта	Низкая	Высокая	Высокая
Технология проекта	Стандартная	Сложная	Новая
Сложность проекта	Низкая	Средняя	Высокая

Продолжение табл. 4.18

<b>Взаимозависимость между отдельными частями проекта</b>	Низкая	Средняя	Высокая
<b>Критичность фактора времени (обязательства по срокам завершения работ)</b>	Низкая	Средняя	Высокая
<b>Взаимосвязь и взаимозависимость проекта от организаций более высокого уровня</b>	Высокая	Средняя	Низкая

Как говорилось ранее, в данном случае, выбор лежит к проектной структуре проекта из-за особенностей разработки (рис. 4.2).

#### 4.4.8 План управления коммуникациями проекта

План управления коммуникациями отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта. Пример плана управления коммуникациями приведен в табл. 4.19.

Таблица 4.19 – Пример плана управления коммуникациями

<b>№ п/п</b>	<b>Какая информация передается</b>	<b>Кто передает информацию</b>	<b>Кому передается информация</b>	<b>Когда передает информацию</b>
1.	Статус проекта	Руководитель проекта	Представителю заказчика	Ежеквартально (первая декада квартала)
2.	Обмен информацией о текущем состоянии проекта	Исполнитель проекта	Участникам проекта	Еженедельно (пятница)
3.	Документы и информация по проекту	Ответственное лицо по направлению	Руководителю проекта	Не позже сроков графиков и к. точек
4.	О выполнении контрольной точки	Исполнитель проекта	Руководителю проекта	Не позже дня контрольного события по плану управления

#### 4.4.9 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты. Информацию по данному разделу необходимо свести в таблицу (табл. 4.20).

Уровень риска может быть: высокий, средний или низкий в зависимости от вероятности наступления и степени влияния риска. Риски с наибольшей вероятностью наступления и высокой степенью влияния будут иметь высокий уровень, риски же с наименьшей вероятностью наступления и низкой степенью влияния соответственно низкий уровень.

Таблица 4.20 – Реестр рисков

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Потеря актуальности	На результат	3	5	Средний	Использование нового функционала	Изменения рынка
2	Отсутствие спроса	На время исследования	2	5	Низкий	Использование альтернативных программ	Отсутствие определенных специалистов в сфере исследования

## 4.5 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

### 4.5.1 Оценка абсолютной эффективности исследования

Для оценки общей экономической эффективности инноваций в качестве основных показателей рекомендуются:

- чистый доход;
- чистый дисконтированный доход;
- внутренняя норма доходности;
- потребность в дополнительном финансировании;
- срок окупаемости;
- индексы доходности затрат и инвестиций и др.

### 4.5.2 Чистая текущая стоимость (NPV)

Данный метод основан на сопоставлении дисконтированных чистых денежных поступлений от операционной и инвестиционной деятельности.

Если инвестиции носят разовый характер, то NPV определяется по формуле:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{опt}}{(1+i)^t} - I_0, \quad (4.11)$$

где  $ЧДП_{опt}$  – чистые денежные поступления от операционной деятельности;  $I_0$  – разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году;  $t$  – номер шага расчета ( $t = 0, 1, 2...n$ );  $n$  – горизонт расчета;  $i$  – ставка дисконтирования (желаемый уровень доходности инвестируемых средств).

Чистая текущая стоимость является абсолютным показателем. Условием экономичности инвестиционного проекта по данному показателю является выполнение следующего неравенства:  $NPV > 0$ .

Чем больше NPV, тем больше влияние инвестиционного проекта на экономический потенциал предприятия, реализующего данный проект, и на экономическую ценность этого предприятия.

Таким образом, инвестиционный проект считается выгодным, если NPV является положительной.

Коэффициент дисконтирования рассчитан по формуле:

$$КД = \frac{1}{(1+i)^t}, \quad (4.12)$$

где  $i$  – ставка дисконтирования, 20%;  $t$  – шаг расчета.

Таблица 4.21 - Расчет чистой текущей стоимости по проекту в целом

№	Наименование показателей	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1.	Выручка от реализации, тыс.руб.	0	538859,8	538859,8	538859,8	538859,8
2.	Итого приток, тыс.руб.	0	538859,8	538859,8	538859,8	538859,8
3.	Инвестиционные издержки, тыс.руб.	-449049,8	0	0	0	0
4.	Операционные затраты, тыс. руб. С+Ам+ФОТ	0	157167,2	157167,2	157167,2	157167,2
5.	Налогооблагаемая прибыль	0	381692,6	381692,6	381692,6	381692,6
6.	Налоги, тыс. руб	0	76338,5	76338,5	76338,5	76338,5
7.	Итого отток, тыс.руб. Опер.затр.+налоги	0	233505,7	233505,7	233505,7	233505,7
8.	Чистый денежный поток, тыс. руб. ЧДП=Пчист+Ам Пчист=Пдонал.-налог	-449049,8	393505,7	393505,7	393505,7	393505,7
9.	Коэффициент дисконтирования КД (приведения при $i=20\%$ )	1,000	0,833	0,694	0,579	0,482
10.	Дисконтированный чистый денежный поток, тыс.руб. (стр. 8·стр. 9)	-449049,8	327790,3	273092,9	227839,8	189669,7
11.	$\sum$ ЧДП			1018392,7		
12.	Итого NPV			569342,9		



Индекс доходности (PI) – показатель эффективности инвестиции, представляющий собой отношение дисконтированных доходов к размеру инвестиционного капитала. Данный показатель позволяет определить инвестиционную эффективность вложений в данный проект. Индекс доходности рассчитывается по формуле:

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{опt}}{(1+i)^t} / I_0 > 1, \quad (4.13)$$

где ЧДП – чистый денежный поток, руб.;  $I_0$  – начальный инвестиционный капитал, руб. Таким образом, PI для данного проекта составляет  $1,5 > 1$ .

### 4.5.3 Дисконтированный срок окупаемости

Как отмечалось ранее, одним из недостатков показателя простого срока окупаемости является игнорирование в процессе его расчета разной ценности денег во времени.

Этот недостаток устраняется путем определения дисконтированного срока окупаемости.

Рассчитывается данный показатель примерно по той же методике, что и простой срок окупаемости, с той лишь разницей, что последний не учитывает фактор времени.

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока (см. табл. 4.22).

Таблица 4.22 – Дисконтированный срок окупаемости

№	Наименование показателя	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1.	Дисконтированный чистый денежный поток ( $i=0,20$ )	-449049,8	314804,6	251843,6	201474,9	161337,4
2.	То же нарастающим итогом	-449049,8	-134245,2	117598,4	319073,3	480410,7
3.	Дисконтированный срок окупаемости	$DPP_{ДСК} = 1 + 134245,2 / 251843,6 = 1,5$ года				

#### 4.5.4 Внутренняя ставка доходности (IRR)

Для установления показателя чистой текущей стоимости (NPV) необходимо располагать информацией о ставке дисконтирования, определение которой является проблемой, поскольку зависит от оценки экспертов. Поэтому, чтобы уменьшить субъективизм в оценке эффективности инвестиций на практике широкое распространение получил метод, основанный на расчете внутренней ставки доходности (IRR).

Между чистой текущей стоимостью (NPV) и ставкой дисконтирования  $i$  существует обратная зависимость. Эта зависимость следует из таблицы 4.20 и графика, представленного на рисунке 2.

Таблица 4.23 - Зависимость NPV от ставки дисконтирования

№	Наименование показателя	0	1	2	3	4	
1	Чистые денежные потоки	-449049,8	393505,7	393505,7	393505,7	393505,7	
2	коэффициент дисконтирования						
	$i=0,1$	1	0,909	0,826	0,751	0,683	
	$i=0,2$	1	0,833	0,694	0,578	0,482	
	$i=0,3$	1	0,769	0,592	0,455	0,350	
	$i=0,4$	1	0,714	0,510	0,364	0,260	
	$i=0,5$	1	0,667	0,444	0,295	0,198	
	$i=0,6$	1	0,625	0,390	0,244	0,153	
	$i=0,7$	1	0,588	0,335	0,203	0,112	
	$i=0,8$	1	0,556	0,309	0,171	0,095	
	$i=0,9$	1	0,526	0,277	0,146	0,077	
	$i=1$	1	0,500	0,250	0,125	0,062	
3	Дисконтированный денежный поток, тыс. руб						NPV
	$i=0,1$	-449049,8	357696,3	300255,7	295522,7	268764,4	773189,3
	$i=0,2$	-449049,8	327790,3	273092,9	227446,3	189669,7	568949,4
	$i=0,3$	-449049,8	302605,8	232955,4	179045,1	137726,9	403283,4
	$i=0,4$	-449049,8	280963,1	200687,9	143236,1	102311,5	278148,8
	$i=0,5$	-449049,8	262468,3	174716,5	116084,2	77914,2	182133,4
	$i=0,6$	-449049,8	245941,1	153467,2	96015,4	60206,4	106580,3
	$i=0,7$	-449049,8	231381,4	131824,4	79881,6	44072,6	38110,2
	$i=0,8$	-449049,8	218789,2	121593,3	67289,5	37383,1	-3994,7
	$i=0,9$	-449049,8	206983,9	121593,3	57451,8	30299,9	-32720,9
	$i=1$	-449049,8	196752,8	98376,4	49188,2	24397,4	-80335

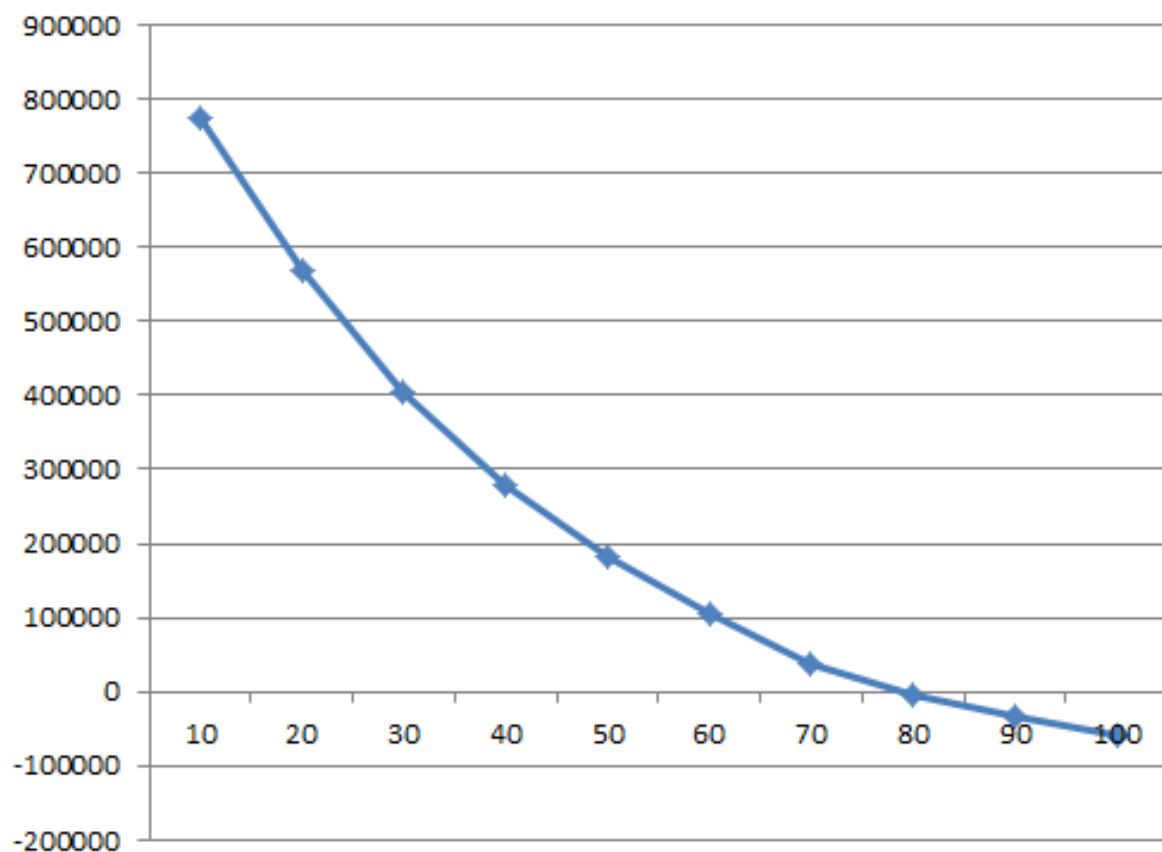


Рисунок 4.3 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования.

Из таблицы и графика следует, что по мере роста ставки дисконтирования чистая текущая стоимость уменьшается, становясь отрицательной. Значение ставки, при которой NPV обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или «внутренней нормы прибыли». Из графика получаем, что IRR составляет 0,75.

#### 4.5.5 Социальная эффективность научного проекта

Социальная эффективность научного проекта учитывает социально-экономические последствия осуществления научного проекта для общества в целом или отдельных категорий населения или групп лиц, в том числе как непосредственные результаты проекта, так и «внешние» результаты в смежных секторах экономики: социальные, экологические и иные внеэкономические эффекты.

Таблица 4.24 – Критерии социальной эффективности

ДО	ПОСЛЕ
Сложность в оценке процесса обработки.	Программа Ansys позволяет оценить напряжения и деформации, а также расположения зон деформирования.
Отсутствие знаний о возможностях программы.	Расчет значений напряжений и рассмотрение разновидности взаимодействий двух материалов с построением графиков.

#### 4.5.6 Оценка сравнительной эффективности исследования

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}i} = \frac{\Phi_{ri}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (4.14)$$

где  $I_{\text{финр}}^{\text{исп}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки,  $\Phi_{ri}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения,  $\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее

численное удешевление стоимости разработки в разгах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (4.15)$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;  $a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;  $b_i^a, b_i^p$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;  $n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблицы (табл. 4.25).

Таблица 4.25 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ ПО	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,2	5	3	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	5	2	3
3. Помехоустойчивость	0,15	3	3	3
4. Энергосбережение	0,1	3	3	3
5. Надежность	0,2	4	4	4
6. Точность анализа	0,2	4	4	4
<b>ИТОГО</b>	1	24	19	22

$$I_T^p = 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 = 4,1;$$

$$I_{T1}^a = 3 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,2 = 2,85;$$

$$I_{T2}^a = 4 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 = 3,6;$$

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_T^p}{I_{\phi}^p} = \frac{4,1}{0,21} = 19,5;$$

$$I_{\text{финр1}}^a = \frac{I_T^a}{I_{\phi}^a} = \frac{2,85}{0,16} = 17,8;$$

$$I_{\text{финр2}}^a = \frac{I_T^a}{I_{\phi}^a} = \frac{3,6}{0,18} = 20;$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\phi}^p}{I_{\phi}^a} = \frac{0,21}{0,16} = 1,3;$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\phi}^p}{I_{\phi}^a} = \frac{0,21}{0,18} = 1,2.$$

Таблица 4.26 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Аналог	Аналог
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,21	0,16	0,18
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,1	2,85	3,6
3	Интегральный показатель эффективности	19,5	17,8	20
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	1,3	1,2

## Вывод

В процессе выполнения раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» был определен целевой рынок для разработки.

Проведен анализ потребителей и конкурентов, из которого следует, что проектируемое устройство конкурентоспособное. Рассчитаны материальные затраты на изготовление данного устройства, затраты на основную и дополнительную зарплату, отчисления во внебюджетные фонды, накладные расходы на основании которых составлен бюджет затрат на НИИ. Произведено формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Проведено планирование управления научно-техническим проектом в ходе чего была определена структура проекта, которая называется проектной.

Произведена сравнительная характеристика эффективности разработки на основании интегрального показателя эффективности. Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять, что разработанный вариант проведения проекта является наиболее эффективным при решении поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

В ходе выполнения раздела финансового менеджмента определены:

1. Чистая текущая стоимость NPV, равная 569342,9 руб.;
2. Индекс доходности PI=1,5;
3. Внутренняя ставка доходности IRR 75%;
4. Срок окупаемости DPP<sub>дск</sub> =1,5 года.

Таким образом, мы имеем ресурсоэффективный проект, который может быть конкурентоспособен в связи своей уникальностью и новизне.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>		<b>ФИО</b>	
4AM11		Саветина Ирина Сергеевна	
<b>Школа</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>ОМШ</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	15.04.01 Машиностроение

Тема ВКР:

Исследование процесса алмазного выглаживания фасонных поверхностей	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<p><b>Введение</b></p> <p>– Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.</p>	<p>Объект исследования: алмазное выглаживание. Рабочая зона: офис. Количество и наименование оборудования рабочей зоны: ПК и рабочий стол. Проводится анализ процесса обработки в САЕ системе ANSYS, моделируя взаимодействие инструмента и детали для определения напряжений и деформаций. Область применения: предприятия машиностроения.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения:</b></p> <p>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</p> <p>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>	<p>ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования;</p> <p>ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление;</p> <p>ГОСТ 22269-76 Система "Человек-машина";</p> <p>Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N197-ФЗ.</p>
<p><b>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения:</b></p> <p>– Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов</p> <p>– Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора</p>	<p>Опасные и вредные факторы:</p> <p>1. Опасные и вредные производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего: температурой и относительной влажностью воздуха ;</p> <p>2. Опасные и вредные производственные факторы, связанные с акустическими колебаниями в производственной среде;</p> <p>3. Опасные и вредные производственные факторы, связанные со световой средой (некогерентными неионизирующими излучениями оптического диапазона электромагнитных полей) и характеризующиеся чрезмерными (аномальными относительно природных значений и спектра) характеристиками световой среды, затрудняющими безопасное ведение трудовой и производственной деятельности;</p> <p>4. Опасные и вредные производственные факторы,</p>



	<p>связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий, включая действие молнии и высоковольтного разряда в виде дуги, а также электрического разряда живых организмов.</p> <p>Средства защиты:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. К средствам защиты от повышения или понижения температур относятся: кондиционеры для радиационного обогрева и охлаждения;</li> <li>2. К средствам защиты от повышенного уровня шума относятся: средства звукоизоляции (корпус компьютера);</li> <li>3. К средствам нормализации освещения рабочих мест относятся: источник света, осветительные приборы;</li> <li>4. К средствам защиты от поражения током: изолирующие устройства и покрытия, устройство защитного заземления и зануления, предохранительные устройства, молниеотводы.</li> </ol> <p>Расчет производится по вредному фактору: недостаточное освещение рабочего места.</p>
<b>3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения.</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Воздействие на селитебную зону: утилизация компьютеров, их составляющих, компьютерных аксессуаров и других аппаратных средств.</li> <li>2. Основные источники загрязнения атмосферы: выбросы углекислого газа при производстве компьютерной техники.</li> <li>3. Основные источники загрязнения гидросферы: сточные воды, сбросы сточных вод, загрязнение при производстве или утилизации компьютерной техники.</li> <li>4. Основные источники загрязнения литосферы: образование отходов при поломке оргтехники и утилизации ее составных частей.</li> </ol>
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения</b>	<p>Возможные ЧС: возникновение пожара, инфекционные заболевания людей.</p> <p>Наиболее типичная ЧС – возникновение пожара.</p>
<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
<b>1.03.2023</b>	

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич Ольга Алексеевна	Кандидат биологических наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ11	Саветина Ирина Сергеевна		

## **5. Социальная ответственность**

### **Введение**

Целью данной выпускной квалификационной работы является моделирование процесса алмазного выглаживания с помощью программы ANSYS. В данном разделе рассмотрены вопросы, связанные с особенностями производственного процесса, с точки зрения несения ответственности инженера за последствия, которые могут возникать при разработке проектного решения.

Данная работа проводилась в отделении машиностроения ТПУ г. Томск. Рабочее место студента находится в кабинете учебного корпуса 16 “А”. Размер кабинета 10x5 м, в нем расположено 9 столов с ПК. С использованием компьютера происходит анализ процесса выглаживания, моделируются инструмент (условно) и деталь, их взаимодействие, программа высчитывает значение перемещений и деформаций, строятся графики.

Выглаживание, как один из методов обработки поверхностным пластическим деформированием (ППД), позволяет получать изделия с высокими эксплуатационными характеристиками. Данный метод обработки обладает широкими технологическими возможностями и используется в машиностроительном производстве.

Актуальность работы заключается в анализе процесса выглаживания фасонных поверхностей, который до сих пор порождает вопросы о процессе обработки. Также, в ходе работы проведён анализ возможного появления опасных и вредных производственных факторов и их влияние на условия работы; разработаны мероприятия по технике безопасности, направленные на снижение или устранение этих факторов. Произведен расчет по вредному фактору: недостаточное освещение рабочего места.

## **5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

### **5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства**

В условиях выполнения проекта в отделении машиностроения ТПУ городе Томск, можно выделить следующие специальные правовые нормы трудового законодательства согласно трудовому кодексу РФ [27]:

1. Режим рабочего времени устанавливается согласно Трудовому кодексу РФ от 30.12.2001 №197-ФЗ статья 100: пятидневная рабочая неделя с двумя выходными днями; продолжительность ежедневной смены 9 часов (с 7:30 до 16:30) с перерывом на отдых и обед с 11:30 до 13:00;

2. Защита персональных данных осуществляется согласно Федеральному закону от 27.07.2006 №152-ФЗ (ред. от 30.12.2020) “О персональных данных” (с изм. и доп. вступ. в силу с 01.03.2021);

3. Оплата труда: заработная плата каждого работника зависит от его квалификации, сложности выполняемой работы, количества и качества затраченного труда и максимальным размером не ограничивается, за исключением случаев, предусмотренных настоящим Кодексом (в ред. Федерального закона от 02.04.2014 №55-ФЗ); минимальная заработная плата труда устанавливается законом и не может быть ниже прожиточного минимума трудоспособного населения (в ред. Федеральный закон от 30.06.2006 №90-ФЗ от 20.04.2007 №54-ФЗ);

4. Нормирование труда: работодатель обязан обеспечить нормальные условия для выполнения работниками норм выработки, согласно Федеральному закону от 30.06.2006 №90-ФЗ;

5. Обязательное социальное страхование: обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний (Федеральный закон от 29.12.2006 N 255-ФЗ (ред. от 29.12.2020));

6. Пенсионное обслуживание: лицам, которым в период с 01.01.2019 по 31.12.2020 исполнится 60 (мужчинам) и 55 (женщинам) лет, пенсия может быть назначена на 6 месяцев ранее достижения возраста,

установленного приложением 6 (ФЗ от 03.10.2018 N 350-ФЗ); лицам, имеющим страховой стаж не менее 42 и 37 лет, страховая пенсия по старости может назначаться на 24 месяца ранее достижения возраста, но не ранее достижения возраста 60 и 55 лет (соответственно мужчины и женщины) (часть 1.2 введена Федеральным законом от 03.10.2018 N 350-ФЗ).

### **5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны**

Выполняя планировку рабочего места необходимо учитывать следующее ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ [21]:

1. Рекомендуемый проход слева, справа и спереди от стола 500 мм. Слева от стола допускается проход 300 мм;

2. Рабочие места рекомендуется изолировать друг от друга перегородками высотой 1,5-2,0 м. Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 600-700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов. Дизайн ПЭВМ должен предусматривать окраску в спокойные тона.

3. Корпус ПЭВМ, клавиатура и др. должны иметь матовую поверхность с коэффициентом отражения 0,4-0,6 и не иметь блестящих деталей;

4. Расстояние от сиденья до нижнего края рабочей поверхности не менее 150 мм; высота пространства для ног не менее 600 мм;

5. Зона досягаемости моторного поля в горизонтальной плоскости при высоте рабочей поверхности над полом 725 мм;

6. Очень часто используемые средства отображения информации, требующие точного и быстрого считывания показаний, следует располагать в вертикальной плоскости под углом +/- 15° от нормальной линии взгляда и в горизонтальной плоскости под углом +/- 15° от сагиттальной плоскости.

По ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ для электробезопасности рабочего места должно присутствовать зануление, его следует выполнять электрическим соединением металлических частей электроустановок с заземленной точкой

источника питания электроэнергией при помощи нулевого защитного проводника. [22]

При размещении органов управления необходимо выполнять следующие эргономические требования по ГОСТ 22269-76 [23]:

1. Органы управления должны располагаться в зоне досягаемости;
2. Наиболее важные и часто используемые органы управления должны быть расположены в зоне легкой досягаемости;
3. Расположение функционально идентичных органов управления должно быть единообразным на всех панелях рабочего места;
4. Расположение органов управления должно обеспечивать равномерность нагрузки обеих рук и ног человека.

## 5.2 Профессиональная социальная ответственность

### 5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создавать объект исследования

Вредными производственными факторами являются факторы, воздействие которых может вызвать профессиональные заболевания и травмы. В помещении, в котором разрабатывается анализ процесса выглаживания фасонных поверхностей, возможно появление опасных и вредных производственных факторов (табл. 5.1).

Таблица 5.1 – Опасные и вредные факторы при разработке проектного решения

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
1. Опасные и вредные производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего: температурой и относительной влажностью воздуха.	СанПиН 2.2.4.548-96. 2.2.4. Физические факторы производственной среды. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. Санитарные правила и нормы.
2. Опасные и вредные производственные факторы, связанные с акустическими колебаниями в производственной среде.	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация. СНИП 23-03-2003. Защита от шума.
3. Опасные и вредные производственные факторы, связанные со световой средой и характеризующиеся чрезмерными характеристиками световой среды, затрудняющими безопасное ведение трудовой и производственной деятельности.	СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНИП 23-05-95.
4. Опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действием которого попадает работающий, включая действие молнии и высоковольтного разряда в виде дуги, а также электрического разряда живых организмов.	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность

## 5.2.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на производстве при внедрении объекта исследования

1. Опасные и вредные производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего: температурой и относительной влажностью воздуха. Источники возникновения: сквозняки, отсутствие кондиционирования воздуха в летний период года, недостаточное отопление в зимний период.

Таблица 5.2 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочем месте [16]

Период года	Категория работ по уровням энергзатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Іб (140 - 174)	21 - 23	20 - 24	60 - 40	0,1
Теплый	Іб (140 - 174)	22 - 24	21 - 25	60 - 40	0,1

Наиболее распространенными способами защиты от неблагоприятных микроклиматических условий являются вентиляция, отопление или кондиционирование, использование индивидуальных средств защиты от повышенной или пониженной температуры, регламентацией периодов работы в неблагоприятном микроклимате и отдыха и др.

2. Опасные и вредные производственные факторы, связанные с акустическими колебаниями в производственной среде. Воздействие шума на рабочих, превышающих предельно-допустимые уровни, обуславливает специфическое воздействие на слух, а также неспецифические изменения во всем организме, которые могут привести к потере трудоспособности.

Предельно допустимые уровни должны в соответствии с СНиП 23-03-2003. Уровень звука а помещения с рабочими кабинетами для выполнения конструкторских и проектных задач для категории Б не должен превышать значения 65 дБа [14]. Исправила ссылку Средства защиты от повышенного уровня шума: звукоизолирующие. Источником шума в помещении могут быть: не изолированные рабочие органы компьютера, плохая изоляция стен и окон.

3. Опасные и вредные производственные факторы, связанные со световой средой и характеризующиеся чрезмерными характеристиками световой среды, затрудняющими безопасное ведение трудовой и производственной деятельности может привести к утомлению и снижению работоспособности. Источники возникновения: неправильный подбор осветительных приборов, перекрытие светового потока посторонними предметами, неправильный расчет освещения помещения. Средства нормализации освещения производственных помещений и рабочих мест: источник света, осветительные приборы. Норма освещённости рабочего места согласно СП 52.13330.2016 не менее 300 Лк для общего освещения кабинета; 500-600 Лк на рабочих местах с локальной подсветкой; 100-200 Лк для зон отдыха [18];

4. Опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий, включая действие молнии и высоковольтного разряда в виде дуги, а также электрического разряда живых организмов. Источником данного фактора является компьютер. Основными методами и средствами защиты являются согласно ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ [19]: устройство защитного заземления и зануления, предохранительные устройства, молниеотводы, защитное отключение, безопасное расположение токоведущих частей. Напряжение прикосновения и токи при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки, не должны превышать 8 В и 1 мА, соответственно (постоянный ток) или 2 В, 0,3 мА (переменный ток частотой 50 Гц) согласно ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ [20].



### 5.2.3 Расчет вредного фактора в помещении при разработке проектного решения

Согласно СНиП 23-05-95 в помещении где происходит работа за компьютером освещенность при системе общего освещения не должна быть ниже 300 Лк.

Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое действие на человека и способствует повышению производительности труда. На рабочей поверхности должны отсутствовать резкие тени, которые создают неравномерное распределение поверхностей с различной яркостью в поле зрения, искажает размеры и формы объектов различия, в результате повышается утомляемость и снижается производительность труда.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения  $A = 10$  м, ширина  $B = 5$  м, высота  $H = 3,5$  м. Высота рабочей поверхности над полом  $h_p = 1$  м.

Коэффициент отражения побеленных стен с окнами без штор  $\rho_c = 70\%$ , чистого бетонного потолка  $\rho_{\text{п}} = 50\%$ . Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений со средним выделением пыли равен  $K_z = 1,5$ . Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп  $Z = 1,1$ .

Выбираем лампу ЛД-40, световой поток которой равен  $\Phi_{\text{лд}} = 2300$  Лм.

Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОДОР-2-40. Этот светильник имеет две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна 1227 мм, ширина – 265 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина  $\lambda$ , которая для люминесцентных

светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне 1,1–1,3. Принимаем  $\lambda = 1,2$ , расстояние светильников от перекрытия (свес)  $h_c = 0,5$  м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c = 3,5 - 1 - 0,5 = 2 \text{ м.}$$

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A+B)} = \frac{10 \cdot 5}{2 \cdot (10+5)} = 0,6.$$

Коэффициент использования светового потока  $\eta = 0,32$ .

Потребные группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$n = \frac{E \cdot A \cdot B \cdot K_z \cdot Z}{\Phi_n \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 10 \cdot 5 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{2300 \cdot 0,32} \approx 30.$$

Общее число светильников:  $n = 30$ . В каждом светильнике установлено по 2 лампы.

Размещаем светильники в 3 ряда по 5 светильника.

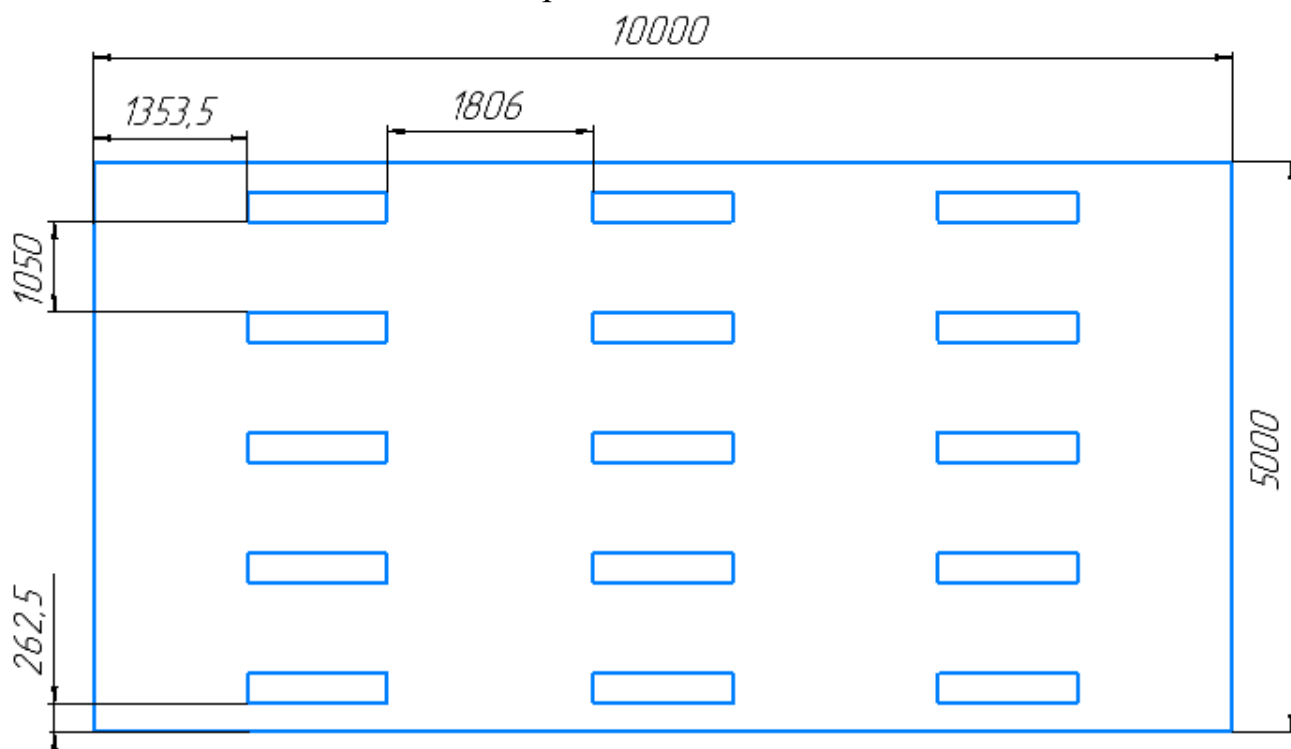


Рисунок 5.1 План размещения светильников в помещении

Расстояние от крайних светильников или рядов до стены

определяется по формуле:  $\frac{3}{2}L_1 + 2L_1 + 3 \cdot 1227 = 10000$ ;  $L_1 = 1806$ .

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:  $\frac{3}{2}L_2 + 2L_2 + 5 \cdot 265 = 5000$ ;  $L_2 = 1050$ .

Расчет светового потока группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_{\Pi} = \frac{E \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z}{n \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 10 \cdot 5 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{33 \cdot 0,32} = 2343.$$

Проверяем выполнение условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{лд}} - \Phi_{\Pi}}{\Phi_{\text{лд}}} 100\% \leq 20\%;$$
$$-10\% \leq \frac{2300 - 2343}{2300} 100\% \leq 20\%;$$

Следовательно,  $-10\% \leq 1,9\% \leq 20\%$  условие выполнено.

## 5.3 Экологическая безопасность

### 5.3.1 Анализ влияния объекта и процесса исследования на окружающую среду

Атмосфера. Основные источники загрязнения атмосферы: выбросы углекислого газа при производстве компьютерной техники. IV класс опасности.

В целях защиты атмосферы от загрязнения применяют следующие экозащитные мероприятия: очистка газовых выбросов от вредных примесей, рассеивание газовых выбросов в атмосфере; соблюдение нормативов допустимых выбросов вредных веществ.

Допустимая концентрация углекислого газа находится в пределах 1000–1400 ppm. Концентрация свыше этих показателей говорит о низком качестве воздуха, что негативно влияет на организм человека[21].

Гидросфера. Основные источники загрязнения гидросферы: сточные воды, сбросы сточных вод, загрязнение при производстве или утилизации компьютерной техники. IV класс опасности.

Защита гидросферы: развитие безотходных и безводных технологий; утилизация отходов; очистка промышленных сточных вод; передача сточных вод на другие предприятия.

Основным нормативным актом, регулирующим качество сточных вод, является СанПиН 2.1.5.980-00 [22].

Масса органических веществ в составе сточных вод, поступающих на очистку, ЭН	Концентрация загрязняющих веществ, мг/дм <sup>3</sup>													
	ХПК		БПК <sub>5</sub>		Взвешенные вещества				NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (N)		N <sub>общ</sub>		P <sub>общ</sub>	
	C <sub>ср</sub>	C <sub>макс</sub>	C <sub>ср</sub>	C <sub>макс</sub>	C <sub>ср</sub>	C <sub>макс</sub>	C <sub>ср</sub>	C <sub>макс</sub>	C <sub>ср</sub>	C <sub>макс</sub>	C <sub>ср</sub>	C <sub>макс</sub>		
До 500	150	200	40	60	50	65	н/н	н/н	н/н	н/н	н/н	н/н		
501-2 000	125	170	30	40	35	50	20	30	н/н	н/н	н/н	н/н		
2 001-10 000	120	160	25	35	30	40	15	20	н/н	н/н	н/н	н/н		
10 001-100 000	90	120	20	30	25	35	н/н	н/н	15	20	3	4,5		
Более 100 000	75	100	15	20	20	30	н/н	н/н	10	15	1,5	2		

Рисунок 5.2 – Допустимые значения показателей загрязняющих веществ сточных вод [23]

Литосфера. Основные источники загрязнения литосферы: образование отходов при поломке оргтехники и утилизации ее составных частей. IV класс опасности.

Защита литосферы: утилизация твердых отходов представляет собой переработку отходов, имеющую целью использование полезных свойств отходов или их компонентов.

Для оказания наименьшего влияния на окружающую среду, необходимо проводить специальную процедуру утилизации ПЭВМ и оргтехники, при которой более 90% отправится на вторичную переработку и менее 10% будут отправлены на свалки. При этом она должна соответствовать процедуре утилизации ГОСТ Р 53692-2009 [24].

Селитебная зона. Основные источники загрязнения селитебной зоны: утилизация компьютеров, их составляющих, компьютерных аксессуаров и других аппаратных средств.

Защита селитебной зоны: защитное зонирование территорий.

Согласно СанПиН 2.1.6.575—96 не допускается превышение ПДК на селитебных территориях и 0,8 ПДК в местах массового отдыха населения [25].

## **5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

### **5.4.1 Анализ вероятных ЧС и их причины**

1. Причины возникновения пожара неэлектрического характера: халатное неосторожное обращение с огнем, короткое замыкание, перегрузки по току, искрение и электрические дуги, статическое электричество и т. п.

2. Инфекционные заболевания людей связаны с нерегулярным проведением профилактических медицинских осмотров, медицинского обслуживания работающих, отсутствие у рабочих мотивации, а также механизмов стимуляции к здоровому образу жизни, к борьбе с факторами риска, к улучшению собственного самочувствия.

### **5.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС**

1. Для устранения причин возникновения пожаров в помещении должны проводиться следующие мероприятия:

- а) сотрудники должны пройти противопожарный инструктаж;
- б) сотрудники обязаны знать расположение средств пожаротушения и уметь ими пользоваться;
- в) необходимо обеспечить помещение системой оповещения о пожаре;
- г) пожарный инвентарь и первичные средства пожаротушения должны находиться на видном и легко доступном месте [26].

2. Для предупреждения заболеваний необходима рациональная организация труда и отдыха, которая нормируется в соответствии с санитарными правилами.

Источник возникновения наиболее типичной ЧС – возгорание техники или проводки. В случае возникновения пожара звуковая система оповещает всех сотрудников о немедленной эвакуации из здания в соответствии с планом эвакуации при пожарах и других ЧС (рисунок 5.1) [27].



Рисунок 5.1 – Пример плана эвакуации

Действия работодателей и работников при несчастном случае на производстве в результате возникновения обстановки, отвечающей критериям чрезвычайной ситуации:

1. Работники обязаны незамедлительно известить работодателя или непосредственного руководителя о каждом произошедшем несчастном случае, а также о любой ситуации, угрожающей жизни и здоровью людей;
2. Работодатель обязан расследовать несчастные случаи, а также принимать меры по сохранению жизни и здоровья работников и оказанию пострадавшим первой помощи при несчастных случаях;
3. Работник имеет право на страховые выплаты в результате несчастного случая в порядке, предусмотренном законодательством.

## Заключение

В ходе выпускной квалификационной работы были достигнуты определенные задачи исследования процесса алмазного выглаживания.

Рассмотрены такие аспекты этого процесса, как способы обработки, виды инструмента, режимы резания, понятие поверхностного пластического деформирования.

Алмазное выглаживание и по сей день имеет ряд вопросов и проблем о самом процессе обработки и совершенствования технологической оснастки для данного вида обработки.

Рассмотрен процесс обработки алмазным выглаживанием с помощью программы ANSYS. Данная программа способна определять напряжения и деформации, которые возникают при алмазном выглаживании. В данной программе есть возможность моделирования разные величины нагрузений и способы взаимодействия индентора с разными поверхностями.

Построение графика дает возможность для анализа величины деформаций и напряжений. В режиме реального времени программа сама составляет графики по результатам исследования.

Программа имеет возможность изменять размеры деталей и индентора. Для выбора материала деталей имеется большая номенклатура материалов.

Подводя итог аналитического анализа, можно свидетельствовать об эффективности использования программы ANSYS для оценки и моделирования процесса алмазного выглаживания.

В ходе ВКР были рассмотрены и другие аспекты, которые необходимо брать во внимание инженеру при разработке нового изделия.

Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» необходим для оценки актуальности разработки, а также для оценки возможности и необходимости поступления продукта на рынок. На сколько проект будет окупаем, реализован, эффективен и популярен для аудитории, которая интересуется данной темой исследования.



Раздел «Социальная ответственность» рассматривает вопросы безопасности разрабатываемого исследования, как для разработчика, так и для потребителя. Знание стандартов и умение оценивать уровень опасных факторов, может помочь предотвратить несчастные случаи на этапе проектирования, а также эксплуатации разработки.

## Список публикаций

### ЭФФЕКТИВНОСТЬ АЛМАЗНОГО ВЫГЛАЖИВАНИЯ [37].

Ю.Б. Червач, к.т.н., доц.,  
И.С. Саветина, студентка гр. 4АМ11  
Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,  
тел.(3822)-444-555  
E-mail: [iss27@tpu.ru](mailto:iss27@tpu.ru)

Малая шероховатость поверхности детали, а также, ее упрочнение, может быть получено с помощью алмазного выглаживания, которое является одним из методов поверхностного пластического деформирования.

В итоге процесса пластического деформирования при обработке поверхности формируется новый микрорельеф этой поверхности, в то время, как ее шероховатость уменьшается. По окончании обработки детали ее размеры уменьшаются, величина уменьшения которых соответствует величине остаточных деформаций. Шероховатость, которую приобретает деталь после обработки, зависит от шероховатости и твердости исходной поверхности детали, а также колебаний силы выглаживания. Колебания возникают из-за биения детали [1].

Исходная структура материала детали сказывается на эффективности процесса алмазного выглаживания. Именно феррит претерпевает большие деформации при обработке стальных деталей, а малые деформации возникают у мартенсита и перлита.

Дислокации образуются на поверхности материала по мере того, как деталь подвергается процессу механической обработки. Они приводят к высокой плотности дефектов и можно сказать, что они очень эффективны для поверхностного упрочнения. Дислокации, при рассматриваемом виде ППД, достигают максимальной величины на поверхности материала. Плотность этих дислокаций уменьшается по мере увеличения расстояния от поверхности до глубины материала.

Существует несколько видов ППД, но особенно алмазное выглаживание отличается тем, что при деформации слой материала не снимается с поверхности детали. Материал упруго и пластически деформируется при взаимодействии с алмазом. Алмаз обладает наибольшей твердостью. Признано, что алмазной обработке можно подвергать практически все имеющиеся металлы и сплавы, склонные к пластической деформации. Необходимо учитывать, что для обработки закаленных материалов алмаз должен иметь небольшие значения радиусов сферы.

Отметим, что при усилиях  $R_y > 300$  Н увеличивается глубина упрочняющего слоя, повышается микротвердость ниже лежащих слоев материала, однако, уменьшение микротвердости в верхнем тонком поверхностном слое происходит за счет уменьшения пластичности [1].

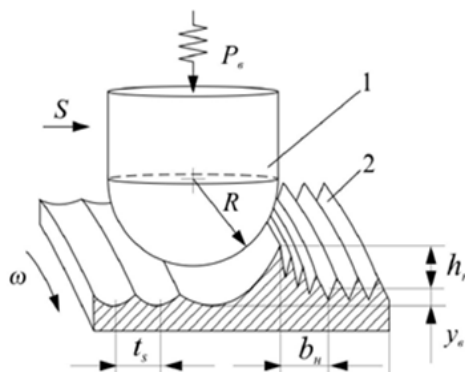


Рис. 1. Схема при алмазном выглаживании поверхности детали: 1 – алмаз; 2 – обрабатываемая поверхность;  $R$  – радиус алмаза;  $t_s$  – шаг подачи;  $\omega$  – угловая скорость детали [2].

## Список литературы

1. «Механика разрушения» [Электронный ресурс] // - «Студопедия» - Могилев, 2011 г. – Режим доступа: <https://studopedya.ru/2-5419.html>;
2. «Сущность процесса и конструкции инструмента» [Электронный ресурс] // StudRef - 2023 г. – Режим доступа: [https://studref.com/498226/tehnika/almaznoe\\_vyglazhivaniel](https://studref.com/498226/tehnika/almaznoe_vyglazhivaniel);
3. Торбило В.М., Алмазное выглаживание. М., «Машиностроение», 1972, 105 с.;
4. Евразийский союз ученых. Механизмы поверхностной микропластической деформации при алмазном выглаживании» - [Электронный ресурс] // Elibrary - 2023 г. – Режим доступа: <https://euroasia-science.ru/tehnicheskie-nauki/механизмы-поверхностной-микропласти/>;
5. «Процесс алмазного выглаживания» [Электронный ресурс] // - 2023 г. – Режим доступа: [https://open.istu.edu/pluginfile.php/57454/mod\\_resource/content/1/4.3%20Текстовый%20материал.pdf](https://open.istu.edu/pluginfile.php/57454/mod_resource/content/1/4.3%20Текстовый%20материал.pdf);
6. Червач Ю. Б., Мезенцев В. А. Выбор оптимальной конструкции силовых элементов оправок для выглаживания. Справочник. Томск издательство ТПУ 2015, с. 11-15;
7. Червач Ю. Б. Алмазное выглаживание фасонных поверхностей с постоянной радиальной силой  $P_r$  / Ю. Б. Червач // Современные проблемы машиностроения : сборник научных трудов XII Международной научно-технической конференции, г. Томск, 28 октября - 1 ноября 2019 г. — Томск : Изд-во ТПУ, 2019. — [С. 173-177];
8. Бафаев, Д. Х. Алмазное выглаживание поверхностного слоя деталей машин и выбор оптимального режима выглаживания / Д. Х. Бафаев. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2016. — № 5 (109). — С. 16-18;

9. «Сущность процесса и конструкции инструмента» [Электронный ресурс] // Оснастка. про - 2023 г. – Режим доступа: [https://www.osnastka.pro/almaznoye\\_vyglazhivaniye;](https://www.osnastka.pro/almaznoye_vyglazhivaniye;)

10. Н.В. Лихобабина, А.А. Королев. Упрочнение поверхностей алмазным выглаживанием - [Электронный ресурс] // Cyberleninka - 2023 г. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/uprochnenie-poverhnostey-almaznym-vyglazhivaniem;>

11. V.P. Kuznetsov, I.Yu. Smolin, A.I. Dmitriev, S.V. Smirnov, A.V. Makarov, A.E. Kiryakov, A.S. Yurovskikh, Finite element modeling of nanostructuring burnishing, Physical Mesomechanics, (2011) T.16, №6. – 87–97, (in Russian);

12. Кузнецов В.П., Горгоц В.Г., Скоробогатов А.С. Финишная технология наноструктурирующего выглаживания поверхностных слоев при обработке деталей машиностроения на многоцелевых станках // Нанотехника. – 2014. – №2. – С. 86-89;

13. Кузнецов В.П. Теоретическое обоснование и реализация наноструктурирующего выглаживания при обработке прецизионных деталей из конструкционных сталей. Дис. док. техн. наук. — В.П. Кузнецов.: КГУ, 2013. — 341 с.;

14. Скоробогатов А.С., Белорусец А.М. Наноструктурирование поверхностного слоя стали ШХ15 выглаживанием клиновым цилиндрическим выглаживанием // Сборник материалов XIX Международной научно-технической Уральской школы-семинара металловедов — молодых ученых (Екатеринбург, 19-23 ноября 2018 г.). – С.57-61;

15. Безъязычный В. Ф. Влияние качества поверхностного слоя после механической обработки на эксплуатационные свойства деталей машин // Инженерный журнал. — 2001. — № 4. — С. 9-16;

16. ГОСТ 12.2.032-78. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические

требования [Электронный ресурс] // «Консультант Плюс» - 2020 г. – Режим доступа: <http://rsmcapt29.ru/wp-content/uploads/2020/10/ГОСТ-12.2.032-78.-Рабочее-место-сидя.pdf>;

17. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление. [Электронный ресурс] // «СтандартСервис» - 2001 г. – Режим доступа: <https://murmansk.stds.ru/document/ГОСТ%2012.1.030-81.pdf>;

18. ГОСТ 22269-76. Система "Человек-машина". [Электронный ресурс] // «База ГОСТов» - 1990 г. – Режим доступа: [https://allgosts.ru/13/180/gost\\_22269-76](https://allgosts.ru/13/180/gost_22269-76);

19. СНиП 23-03-2003. Защита от шума. [Электронный ресурс] - г. Москва, 2004 г. – Режим доступа: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/f4e/4294817379.pdf>;

20. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов по безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. [Электронный ресурс] // «Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов» - 2021 г. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200136071>;

21. СанПиН 2.2.4.548-96. 2.2.4. Физические факторы производственной среды. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. Санитарные правила и нормы" [Электронный ресурс] // «Консультант Плюс» - 2013 г. – Режим доступа: [https://www.gubkin.ru/personal\\_sites/fedotovie/NPA/mkl.pdf](https://www.gubkin.ru/personal_sites/fedotovie/NPA/mkl.pdf);

22. "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 20.04.2021) [Электронный ресурс] // «КонсультантПлюс» - г. Москва, 2021 г. – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_34683/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/);

23. СП 52.13330.2016 "Естественное и искусственное освещение" Актуализированная редакция СНиП 23-05-95. [Электронный ресурс] – 2017 г. – Режим доступа: [https://energy.midural.ru/images/Upload/2017/101/SPEIO\\_07.11.2016\\_777.pdf](https://energy.midural.ru/images/Upload/2017/101/SPEIO_07.11.2016_777.pdf);

24. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. [Электронный ресурс] // «Электронный фонд правовых документов» - 2019 г. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200161238>;

25. ГОСТ 12.1.038-82. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. [Электронный ресурс] // «Электронный фонд правовых документов» - 1983 г. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/5200313>;

26. ГОСТ 30494-2011 "Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях". [Электронный ресурс] // «Электронный фонд правовых документов» - 2013 г. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200095053>;

27. СанПиН 2.1.5.980-00. 2.1.5. Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. Санитарные правила и нормы. [Электронный ресурс] // «Консультант Плюс» - 2014 г. – Режим доступа: [https://energy.midural.ru/images/Upload/2017/101/SANPIN\\_2.1.5.980\\_VOD.pdf](https://energy.midural.ru/images/Upload/2017/101/SANPIN_2.1.5.980_VOD.pdf);

28. ПДК сточных вод: что это такое, требования, допустимые значения основных веществ для стоков. [Электронный ресурс] // «Био-мир» - 2023 г. – Режим доступа: <https://bioso.ru/eko-problemy/okislyaemost-pdk.html>;

29. ГОСТ Р 53692-2009 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. [Электронный ресурс] // «Электронный фонд правовых документов» - 2011 г. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200081740>;

30. СанПиН 2.1.6.575—96. Гигиенические требования к охране атмосферного воздуха населенных мест. [Электронный ресурс] // «Минздрав России» - г. Москва, 1997 г. – Режим доступа: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/364/4294851713.pdf>;

31. Меры предупреждения аварий взрывов пожаров на производстве. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rikisweets.com/mery-preduprezhdeniya-avariy-vzryvov-pozharov-na-proizvodstve/>;

32. СТМ [Электронный ресурс]. // «РОССПЕЦПЛАН» - 2021 г. – Режим доступа: <http://rsplan.ru/obektyi/ofisyi/plan-evakuaczii-iz-ofisa-v-spb/>;
33. СанПиН 2.2.2.542-96 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" [Электронный ресурс] // «Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов» - 2021 г. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573500115>.
34. The process of diamond smoothing [Electronic resource] - Access mode: [https://open.istu.edu/pluginfile.php/57454/mod\\_resource/content/1/4.3%20Text%20material.pdf](https://open.istu.edu/pluginfile.php/57454/mod_resource/content/1/4.3%20Text%20material.pdf);
35. Chervach Yu. B. FEATURES OF CHANGING THE IRONING FORCES DURING PROCESSING OF SHAPED SURFACES // Modern problems of mechanical engineering: proceedings of the VI International scientific and technical conference, Tomsk, 28 September-2 October 2011. - Tomsk: Publishing house of Tomsk Polytechnic University, 2011 - С. 306-311;
36. Chervach Yu. B. DIAMOND IRONING OF SHAPED SURFACES WITH A CONSTANT RADIAL FORCE  $R_u$  // XII International Scientific and Technical Conference "Modern Problems of Mechanical Engineering", Tomsk, 2019 - Tomsk: Publishing house of Tomsk Polytechnic University, 2019 - P. 173 - 177;
37. Эффективность алмазного выглаживания / Ю. Б. Червач, И. С. Советина // Современные проблемы машиностроения: сборник трудов XV Международной научно-технической конференции, г. Томск, 22-25 ноября 2022 г. — Томск : Томский политехнический университет, 2022. — [С. 148-149];
38. Кузнецов В.П., Макаров А.В., Саврай Р.А. и др. Финишная обработка термоупрочненной высокохромистой стали однопроходным алмазным выглаживанием на токарно-фрезерном центре инструментом с

узлом динамической стабилизации. Вестник научно-технического развития. № 5 (45), 2011 г. С. 20-36;

39. Безязычный В. Ф. Влияние качества поверхностного слоя после механической обработки на эксплуатационные свойства деталей машин // Инженерный журнал. — 2001. — № 4. — С. 9-16.



**Приложение**  
(справочное)

**Study of the process of diamond  
smoothing of shaped surfaces**

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM11	Саветина Ирина Сергеевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
к. т. н.	Червач Юрий Борисович	Доцент		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
к. п. н.	Гутарева Надежда Юрьевна	Доцент		

## Literature review

Small roughness of the surface and its hardening can be obtained using a method such as diamond burnishing.

The smoothing process is a complex process, since the deformation of the surface layer is accompanied by the development of deformations in depth due to the indentation of the tool, as well as the development of shear deformations due to the sliding of the smoother over the surface of the part.

As a result of the hardening of the surface layers during surface deformation, it is possible to improve the physicochemical properties of the metal, which provide an increase in the service life of parts and products in general.

In addition to the above, as a result of surface hardening, there is a decrease in plasticity and an increase in the hardness of the material. Plastic deformations transform into elastic deformations at a certain depth, and with distance from the surface are equal to zero. Elastically plastically deformed layer has residual stresses, the magnitude of which depends on the modes and efforts of the process.

The difference between diamond burnishing and machining with chip removal is that the deformable layer is not removed, but undergoes additional elastoplastic deformation. The magnitude and depth of penetration of this additional deformation depends on the sign, magnitude and nature of the occurrence of the previously induced residual stresses.

Diamond smoothing can be classified [29]:

- 1) By the type of fastening of the diamond tool - rigid and elastic, as in the case of rolling;
- 2) By energy impact - either mechanical impact or vibration and ultrasonic impact;
- 3) According to the degree of surface deformation - smoothing, smoothing, hardening and hardening.

Smoothing with a rigid fixing of the smoother is used for processing particularly precise parts on high-precision machine tools in one setting with the

previous processing, or simultaneously with the previous processing (for example, simultaneous turning and smoothing).

Elastic ironing is a more convenient method. With this method of smoothing, the tool is elastically pressed against the workpiece by means of a spring or in some other way. The pressing force of the smoother to the part, which depends on the plasticity of the material being processed, the surface roughness and the radius of the smoother, can be easily controlled and maintained constant during processing.

When the smoother is resiliently fastened, the part shape errors are copied and not corrected. Only the surface roughness is smoothed and hardened. The advantage of this burnishing method is the ease of adjustment and relatively low requirements for the accuracy and rigidity of machine tools and workpieces.

The most widespread in the industry is semi-flat burnishing with elastic fastening of the tool. Ironing is performed on conventional universal and special machines - turning, boring, modular, etc.

By smoothing it is possible to obtain the roughness of the treated surface  $R_a = 0.08-0.32$  microns, while a work-hardened layer is formed, the propagation depth of which reaches several tenths of a millimeter, compressive residual stresses reaching 700-900 MPa are induced in the hardened layer. All these characteristics of the surface layer can significantly increase wear resistance, contact fatigue strength, corrosion resistance, etc.

The use of a diamond with a radius of curvature of 0.5-3 mm as a deforming element requires low deformation forces, and therefore burnishing can be used to process parts with a small wall thickness (up to 0.5 mm) and small diameters (4-5 mm). For its production, natural crystalline diamonds are used, as well as synthetic diamonds, which are polycrystals up to 5-6 mm in size. Diamond burnishing can be carried out with tools with rigid and elastic contact of the deforming element with the processed surface.

When studying diamond burnishing, the research question is "What tool and mandrel should be used in diamond burnishing?"

The diamond burnishing tool has a very high durability, reaching 40-50 hours of machine time, which contributes to the economic efficiency of the diamond burnishing process. The shape of the working surface of a diamond can be spherical, cylindrical and conical.

The spherical diamond tool can machine the outer, inner and flat surfaces and is the most common and easiest to manufacture. But it requires precise installation strictly along the axis of rotation.

The cylindrical shape is convenient to use for processing the outer surfaces of rotation, such a diamond does not require precise installation over the center axis, but its cost is much higher.

Conical and other forms are not widely used due to the lack of natural and synthetic large diamonds. The advantages of smoothing are largely predetermined by the properties of the diamond. It is characterized by extremely high hardness, low friction coefficient, perfect smoothness, high thermal conductivity.

The essence of diamond burnishing is that during surface processing, a diamond fixed in a holder moves along it with a very low coefficient of friction.

Diamond burnishing is performed on lathes. The increased sensitivity of diamonds to vibrations requires the use of rigid machines or appropriate training of existing ones in the enterprise. As a rule, the process of diamond burnishing can be carried out on universal machines and CNC, the work can be performed by the method of trial passes and according to the program.

The kinematics of the processing of external or internal cylindrical and end surfaces is similar to turning or boring, as well as ball rolling. The main movement is the rotation of the workpiece, and the tool makes a feed movement, with a constant working force. Diamond burnishing is characterized by the approach of the tool until it touches the rotating surface and the beginning of the machining cycle, without bringing the tool beyond the boundary of the right end, from where, for example, turning begins.

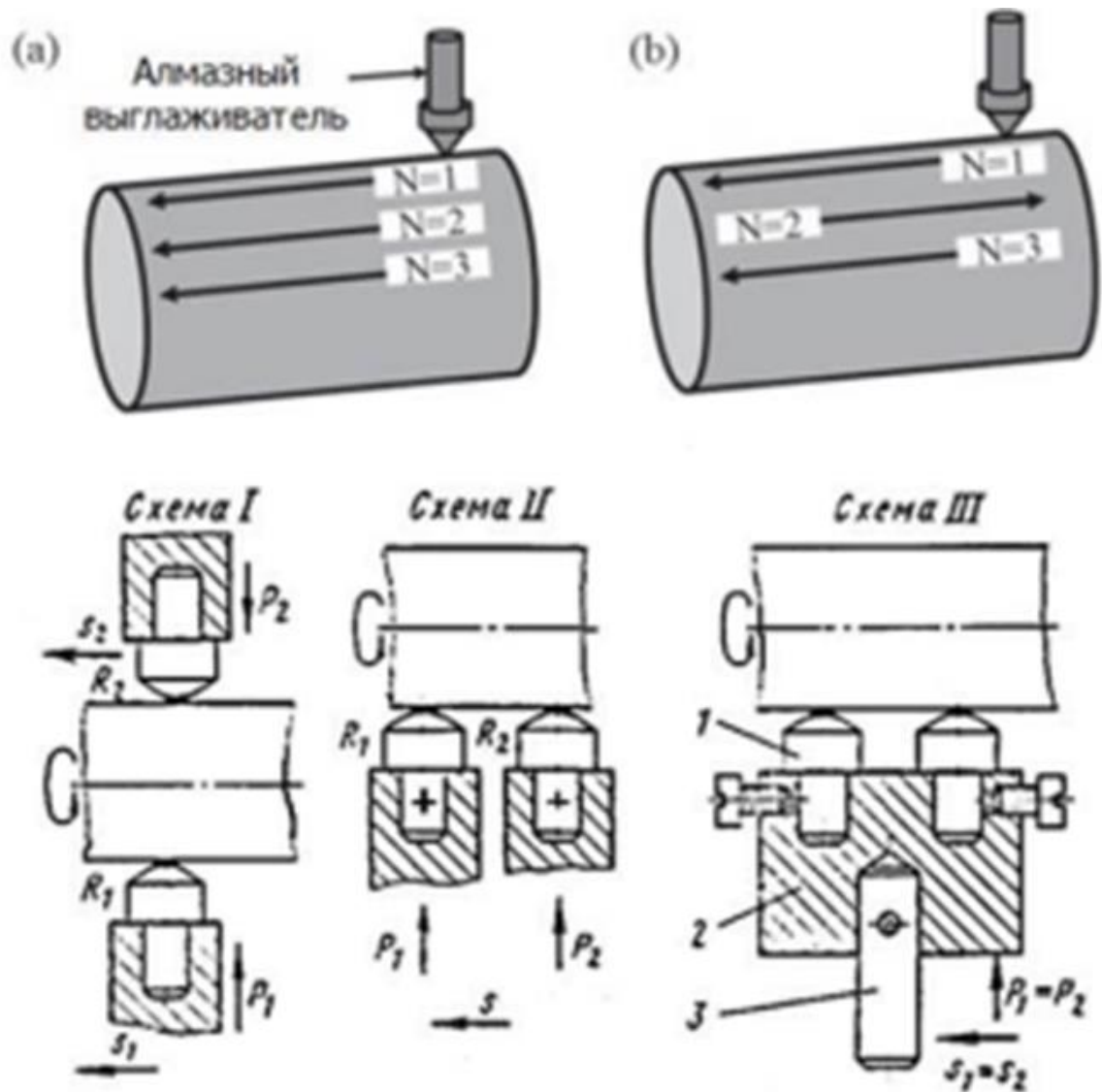


Figure 1 - Scheme of multi-start processing [29]

Diamond burnishing can be done in two or three strokes. For a neutral design of holders, multi-pass machining can be carried out both unidirectionally (Figure 1, a) and with a reverse working stroke (Figure 1, b), which reduces the time of idle strokes.

Diamond burnishing has a disadvantage - it is low productivity. To increase productivity, three basic schemes can be implemented, shown by the example of smoothing the outer cylindrical surfaces with two tips.

Scheme I provides for the assignment for each of the tool its own force and longitudinal feed, for example, for smoothing and hardening modes. The scheme

can be implemented on machines with several supports, providing the ability to assign different feeds to each tool.

In scheme II, the tool feed is the same. Each of the handpieces is installed in its own holder, providing the required smoothing force. The holders are fixed in one machine support and are suitable for smooth outer bodies of rotation.

In scheme III, which is the easiest to implement, tips 1 with different diamond radii are fixed in a mandrel 2. It is attached with a shank 3 into an elastic holder. The tips in the tool are located either along the axis of rotation of the part, which limits its use as in scheme II, or in a plane perpendicular to the axis, but the first tip is ahead of the second in the direction of longitudinal feed by hundredths of a millimeter. All this increases the productivity of the process.

Almost all metals and alloys used in the industry can be processed with diamond burnishing, with the exception of titanium, zirconium and niobium, since these materials adhere to the working part of the tool. Different surfaces in shape, even complex surfaces, are subjected to processing; in this work, processing by diamond burnishing of shaped surfaces will be considered.

Smoothing of shaped surfaces of revolution is carried out according to three schemes:

- a) by a copier;
- b) with constant pressing of the smoother to the treated surface with the help of a load;
- c) as a result of elastic contact of the smoother with the workpiece.

Significant factors of contact interaction between the tool and the workpiece are [30]:

- 1) Specific force of contact interaction of smoothing on the surface of the part in the zone of the deformation zone;
- 2) Contact friction arising from the movement of the tool between the surface of the part and smoothing.

The technological equipment includes holders for diamond burnishing, which are quite different. The simplest designs are for hard smoothing and for

elastic with a calibrated spring. These holders do not take up much space in the tool magazine and are easy to customize. The main disadvantage of tool holders is that they do not allow assessing the magnitude of the change in force or interference during machining, and therefore precisely control it. Coil spring mandrels are widely used in industry.

One of the reasons for the limited use of the diamond burnishing process for hardening the surfaces of parts of modern machine-building production is the complexity of the experimental selection of the main processing modes, namely, the radial component of the burnishing force  $P_y$ , as already mentioned above, and the radius of the diamond indenter  $R_{sph}$ . These parameters strongly influence the amount of pressure between the treated surface and the indenter.

The mandrels used in industry are not able to stabilize the smoothing force  $P_y$  during the processing of shaped surfaces, since they have rigid force elements in the form of flat or helical springs, and this entails certain consequences.

First, a slight deviation in the burnishing force can lead to sub-optimal hardening.

Secondly, on the contrary, this may lead to surface softening.

If we consider the process of diamond burnishing of a rope thread with a left slope, then you can notice the peculiarity indenter contact for one revolution of surfaces [2]:

- 1) From a convex surface in the directions of the velocity vector  $V$  and feed  $S$  of the indenter along the outer diameter of the thread;
- 2) With a helical inclined surface, the right side surface of the thread;
- 3) With a convex surface in the directions of the velocity vector  $V$  and with a concave surface in the direction of  $S$  feed of the indenter along the inner diameter of the thread;
- 4) With a helical inclined left side surface of the thread.

For surfaces with a variable radius of curvature in the direction of velocity  $V$  and feed  $S$ , mandrels were designed, which have a force device called a bellows. This device generates pressure, which is monitored by a pressure gauge. Since the

bellows has a limited volume, a receiver is added to the device, which makes it possible to reduce the pressure fluctuation in the bellows. You can also use "soft" receivers, which are rubber chambers with appropriate rigidity of the chamber walls.

If you use the mandrel shown in Figure 2, which has a flat spring, then with the appearance of radial runout, the smoothing force  $P_y$  will change depending on the runout value.



Picture 2 - Torque mandrel with a symmetrical flat spring for diamond burnishing (power element - flat spring) [31]



When using mandrels with a helical spring with radial runout, the nature of the change in the burnishing force differs from burnishing with a mandrel in Fig. 2. The nature of the dependence of the force of pecking on time has a sawtooth character, since there is a mechanical hang-up of a precision plunger reciprocating pair under dry friction conditions.

The magnitude of the force  $\Delta P_y$  depends on the stiffness of the spring  $k$ , when the length of the spring changes, but also on the conditions of movement of the indenter over the surface of the part.

Analyzing of the results of smoothing the surfaces of parts with a radial runout of up to 0,01 ... 0,02 mm by a mandrel with a helical spring showed that fluctuations in the smoothing force  $\Delta P_y$  are also caused, to a large extent, by the freezing of the reciprocating plunger pair.

Based on this, we can conclude that the use of spring mandrels with reciprocating friction pairs for smooth and shaped smoothing of the surfaces of parts will lead to a processing process with a variable force  $P_y$ , and an inhomogeneous process of hardening the surface layer [31].

To regulate the air pressure, it is necessary to use the “bellows-receiver” system in the design. This system stabilizes the smoothing forces during machining of shaped surfaces with high radial runout. Also, it was necessary to completely eliminate reciprocating and rotational friction pairs and rolling friction pairs in the mandrel design.

The indenter (with elements of attachment to the mandrel) must move freely in the radial direction "y" relative to the workpiece, and in the orthogonal directions "x" and "z" it was not able to move under the influence of the forces  $P_x$  and  $P_z$ . Taking these requirements into account, a pneumatic mandrel with a receiver (power element – bellows with compressed air) was developed with a parallelogram installation of an indenter on 4 flat struts (Figure 3) [31].



Figure 3 - Air smoothing mandrel with a receiver (power element - bellows with compressed air) with a parallelogram installation of an indenter on 4 flat racks [31]

The studies of force dependences in the process of diamond smoothing of the surfaces of parts installed in the fixtures of the machine with radial runout (or shaped surfaces), mandrels with different load-bearing elements and design features, show that force fluctuations depend not only on the stiffness and type of load-bearing elements, but also from uneven movement of moving friction pairs. seizure of reciprocating friction pairs under dry friction conditions

The use of mandrels with reciprocating friction pairs in production requires either a very precise setting of parts before processing, or a finishing hardening operation immediately after the previous operation without reinstalling the part.

The design features of a pneumatic mandrel with a receiver with a parallelogram installation of an indenter on 4 flat racks allows processing complex

shaped surfaces and surfaces of parts installed with a relatively large runout with a constant smoothing force PN. The power element and design features of the mandrel make it possible to carry out machining at high burnishing speeds without the occurrence of self-oscillations in the “indenter – workpiece surface” system [31].

Findings from this topic signal the need for more research to better understand how to design the mandrel to control the burnishing force.

The most common advantages of diamond smoothing are:

- 1) Surfaces with quality  $Rz < 1 \mu\text{m}$  can be obtained, typically improving surface quality by 2-3 classes;
- 2) Used on CNC machines and universal lathes;
- 3) Tools do not require adjustment, and when the tool is fixed on the machine, it is ready for use;
- 4) During operation, the tool is fixed and the workpiece is rotated. Rotation is possible in two directions;
- 5) High surface quality can be achieved;
- 6) The resistance of the diamond smoother is high;
- 7) Absence of burns when smoothing, which can occur when grinding or polishing with abrasive tools;
- 8) Increasing the microhardness of the surface layer of the part (this can improve the wear resistance of the part up to 20-30%, fatigue strength).

Disadvantage of smoothing:

- 1) Low productivity;
- 2) When burnishing, there is sliding friction between the machined surface and the working surface of the indenter, which leads to slippage of these surfaces, thereby deteriorating the surface roughness of the part.