

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 материаловедение

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка конструкции оправки на магнитной подвеске и исследование силовых зависимостей при алмазном выглаживании

УДК 62-229.324:621.923.4:621.921.34

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ92	Бровкин Глеб Сергеевич		

Руководитель ВКР

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

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кащук И.В.	К.Т.Н. доцент		22.02.21

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Скачкова Л.А.	-		09.03.21

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мартюшев Никита Владимирович	К.Т.Н.		

Томск – 2021 г.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Код компетенции СУОС	Наименование компетенции СУОС
<b>Универсальные компетенции</b>	
УК(У)-1	Способность осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способность управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла, получать и обрабатывать информацию из различных источников с использованием современных информационных технологий, применять прикладные программные средства при решении практических вопросов с использованием персональных компьютеров с применением программных средств общего и специального назначения в том числе в режиме удаленного доступа
УК(У)-3	Способность организовать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способность применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия (-ий), анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-5	Способность на научной основе организовывать свой труд, самостоятельно оценивать результаты своей деятельности, владеть навыками самостоятельной работы в сфере проведения научных исследований, создавать и редактировать тексты профессионального назначения
УК(У)-6	Способность определить и реализовать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки, а также использовать приемы первой помощи, методы защиты в условиях чрезвычайных ситуаций
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
ОПК(У)-1	Способность формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки
ОПК(У)-2	Способность применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
ОПК(У)-3	Способность использовать иностранный язык в профессиональной сфере
ОПК(У)-4	Способность осуществлять экспертизу технической документации
ОПК(У)-5	Способность 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, по разработке проектов стандартов и сертификатов, обеспечивать адаптацию современных версий систем управления качеством к конкретным условиям производства на основе международных стандартов
ОПК(У)-6	Способность к работе в многонациональных коллективах, в том числе при работе над междисциплинарными и инновационными
ОПК(У)-7	Способность обеспечивать защиту и оценку стоимости объектов интеллектуальной деятельности
ОПК(У)-8	Способность проводить маркетинговые исследования и подготавливать бизнес-планы выпуска и реализации перспективных и конкурентоспособных изделий в области машиностроения
ОПК(У)-9	Способность обеспечивать управление программами освоения новой продукции и технологий, проводить оценку производственных и непроизводственных затрат на обеспечение требуемого качества продукции, анализировать результаты деятельности производственных подразделений
ОПК(У)-10	Способность организовывать работу по повышению научно-технических знаний работников
ОПК(У)-11	Способность подготавливать отзывы и заключения на проекты стандартов, рационализаторские предложения и изобретения в области машиностроения
ОПК(У)-12	Способность подготавливать научно-технические отчеты, обзоры, публикации по результатам выполненных исследований в области машиностроения
ОПК(У)-13	Способность разрабатывать методические и нормативные документы, предложения и проводить мероприятия по реализации разработанных проектов и программ в области машиностроения
ОПК(У)-14	Способность выбирать аналитические и численные методы при разработке математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов в машиностроении
<b>Профессиональные компетенции</b>	
ПК(У)-1	Способность разрабатывать технические задания на проектирование и изготовление машин, приводов, оборудования, систем и нестандартного оборудования и средств технологического оснащения, выбирать оборудование и технологическую оснастку
ПК(У)-2	Способность разрабатывать нормы выработки и технологические нормативы на расход материалов, заготовок, топлива и электроэнергии в машиностроении

ПК(У)-3	Способность оценивать технико-экономическую эффективность проектирования, исследования, изготовления машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов, принимать участие в создании системы менеджмента качества на предприятии
ПК(У)-4	Способность подготавливать заявки на изобретения и промышленные образцы, организовывать работы по осуществлению авторского надзора при изготовлении, монтаже, наладке, испытаниях и с даче в эксплуатацию выпускаемых изделий и объектов машиностроения
ПК(У)-5	Способность разрабатывать планы и программы организации инновационной деятельности на предприятии, оценивать инновационные и технологические риски при внедрении новых технологий, организовывать повышение квалификации и тренинг сотрудников подразделений в области инновационной деятельности и координировать работу персонала при комплексном решении инновационных проблем в машиностроении
ПК(У)-6	Способность разрабатывать мероприятия по комплексному использованию сырья, по замене дефицитных материалов и изысканию способов утилизации отходов машиностроительного производства
ПК(У)-7	Способность организовать развитие творческой инициативы, рационализации, изобретательства, внедрение достижений отечественной и зарубежной науки, техники, использование передового опыта, обеспечивающих эффективную работу подразделения, предприятия
ПК(У)-8	Способность организовать и проводить научные исследования, связанные с разработкой проектов и программ, проводить работы по стандартизации технических средств, систем, процессов оборудования и материалов
ПК(У)-9	Способность разрабатывать физические и математические модели исследуемых машин, приводов, систем, процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере, разрабатывать методики и организовывать проведение экспериментов с анализом их результатов
ПК(У)-10	Способность и готовность использовать современные психолого-педагогические теории и методы в профессиональной деятельности
ПК(У)-11	Способность подготавливать технические задания на разработку проектных решений, разрабатывать эскизные, технические и рабочие проекты технических разработок с использованием средств автоматизации проектирования и передового опыта разработки конкурентоспособных изделий, участвовать в рассмотрении различной технической документации, подготавливать необходимые обзоры, отзывы, заключения в области профессиональной деятельности
ПК(У)-12	Способность составлять описания принципов действия и устройства проектируемых изделий и объектов с обоснованием принятых технических решений в области профессиональной деятельности
ПК(У)-13	Способность применять новые современные методы разработки технологических процессов изготовления изделий и объектов в сфере

	профессиональной деятельности с определением рациональных технологических режимов работы специального оборудования в машиностроении
--	---

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 (специальность) 15.04.01 Машиностроение  
Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедение

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

\_\_\_\_\_ Мартюшев Н.В.  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

### ЗАДАНИЕ

#### на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
4AM92	Бровкину Глебу Сергеевичу

Тема работы:

Разработка конструкции оправки на магнитной подвеске и исследование силовых зависимостей при алмазном выглаживании

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

04.06.2021

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

##### Исходные данные к работе

*(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.).*

Объектом магистерской диссертации являются оправка на магнитной подвеске для алмазного ваглаживания.

<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>Произвести литературный обзор по обработке поверхностей с помощью алмазного выглаживания. Проанализировать существующие оправки, на основе всех плюсов и минусов данных оправок сконструировать оправку исключая минусы имеющих оправок, которая будет работать с постоянной силой <math>P_y</math>. Испытать оправку, с помощью экспериментов исследовать силовые зависимости .</p>
<p><b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></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>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Кашук И.В.</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Скачкова Л.А.</p>
<p>Разделы, выполненные на иностранном языке</p>	<p>Айкина Т.Ю.</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></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>4АМ92</p>	<p>Бровкин Глеб Сергеевич</p>		

## Оглавление

Оглавление.....	8
Введение.....	10
1. Литературный обзор.....	12
1.1 Алмазное выглаживание.....	12
1.2. Обзор оправок для алмазного выглаживания, работающих по нежёстким схемам.....	22
1.2.1. Оправка для алмазного выглаживания с витой пружиной.....	22
1.2.2. Оправки для алмазного выглаживания с плоскими пружинами. ..	24
1.2.3. Оправка для алмазного выглаживания с плоской симметричной пружиной.....	26
1.2.4. Оправка с силовым элементом в виде винтовой пружины, и регулировкой силы выглаживания с помощью индикатора часового типа.....	28
1.2.5. Оправка для алмазного выглаживания с силовой установкой из 4-х плоских пружин и пневматическим сильфоном.....	31
1.2.6. Оправка для алмазного выглаживания на магнитной подвеске. ...	34
2. Конструкторская часть.....	36
2.1.Конструкция оправки для алмазного выглаживания на магнитной подвеске.....	36
2.2. Сборка магнитной оправки.....	39
2.3. Анализ силы сопротивления при перемещении индентора.....	42
3. Экспериментальная часть.....	46
3.1. Таррировка оправки для алмазного выглаживания на магнитной подвеске.....	50
Заключение:.....	58
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..	60
Введение.....	60
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	61
4.1.1 Анализ конкурентных технических решений.....	61
4.1.2 SWOT-анализ.....	61
4.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	65

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования .....	65
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения .....	66
4.3 Бюджет научно-технического исследования .....	69
4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .....	74
Вывод.....	74
5. Социальная ответственность.....	77
Введение.....	77
5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности. ...	77
5.1.1. Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства. ....	77
5.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны сборщика. ....	78
5.2. Производственная безопасность. ....	79
5.2.1. Анализ вредных и опасных производственных факторов.....	79
5.3. Экологическая безопасность. ....	82
5.3.1. Защита атмосферы .....	83
5.3.2. Защита гидросферы.....	83
5.3.3. Защита литосферы.....	84
5.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	85
Список используемых источников .....	87
Приложение А .....	89

## **Введение.**

В настоящее время мы живем в веке развитого машиностроения. Машины стали очень точные, надежные и сложные по своей конструкции, но как известно чем сложнее конструкция, тем у нее больше слабых мест. У инженеров машиностроителей существует задача, как спроектировать деталь, машину или установку с максимальным КПД, потратив на ее изготовление минимальный бюджет. Для решения данной задачи инженеры приходят к новым технологиям обработки материалов, для улучшения их механических характеристик.

Одним способом улучшения характеристик деталей – является финишная обработка деталей, с получением более низкой шероховатости и упрочнением поверхностного слоя детали. Такая обработка называется алмазное выглаживание.

Алмазное выглаживание слабо развито в настоящее время, конструкция оправок примитивная, на большей ей части обрабатывать можно только цилиндрические поверхности установленные на станок с отсутствием радиального биения. Выглаживание фасонных поверхностей, практически невозможно из-за изменения силы  $P_y$ , возникающей в процессе выглаживания, и доступно лишь на специальных оправках, изготовленных единичных экземплярах. Пример такой оправки - оправка с пневматическим сильфоном. Но даже при выглаживании на данной оправке сила  $P_y$ , меняется за счет влияния плоских пружин и металлических стенок пневматического сильфона.

Исходя из выше сказанного становится очевидным тот факт, что конструкции существующих оправок имеют ряд конструктивных недостатков, а упрочненный слой, полученный этими оправками, не удовлетворяет требованиям современного машиностроения. Актуальность работы заключается в том, что процесс алмазного выглаживания изучен недостаточно, а конструкции оправок нуждаются

в доработке, либо в разработке новой конструкции с учетом недостатков существующих. Целью работы является разработка конструкции оправки на магнитной подвеске и исследование силовых зависимостей при алмазном выглаживании.

# 1. Литературный обзор

## 1.1 Алмазное выглаживание.

Эксплуатационные свойства деталей машин значительной степени определяются качеством их рабочих поверхностей. Оно характеризуется шероховатостью, волнистостью, а также совокупностью физико-механических свойств поверхностного слоя.

Несмотря на микроскопические размеры неровностей, образующих шероховатость, они оказывают существенное влияние на такие свойства деталей и их сопряжений как трение и износ; способность удерживать смазку, контактные деформации; концентрация напряжений и усталостная прочность; надежность прессовых соединений; коррозионная стойкость; контактное сопротивление на сдвиг; электрохимическая неоднородность поверхности, а также прочность и качество покрытий. Поэтому технологическое обеспечение заданной шероховатости поверхностей деталей являются важными и ответственными задачами машиностроительного производства.

Шероховатость поверхности детали определяется совокупностью применяемых технологических методов, приемов и режимов обработки. В основном формирование шероховатости поверхности деталей происходит на заключительной стадии обработки. Однако в ряде случаев наблюдается существенное влияние предшествующих технологических операций.

Шероховатость поверхности, например при точении, шлифовании, полировке зависит от режимов обработки, геометрии инструмента, износа режущей кромки, структуры и механических свойств материала детали и инструмента, наличия смазочно-охлаждающей жидкости и др. Изменяя условия обработки, изменяют качество поверхности детали. Вместе с тем возможности достижения оптимальных по условиям эксплуатации параметров качества поверхности деталей при одних способах обработки являются ограниченными,

поэтому возникает необходимость разработки и применения альтернативных методов обработки.

Одними из наиболее простых и эффективных методов повышения качества поверхностей деталей являются методы поверхностно — пластического деформирования, среди которых важная роль принадлежит алмазному выглаживанию.

Преимущество этого метода заключается в том, что при выглаживании происходит уменьшения шероховатости поверхности и одновременно упрочнение поверхностного слоя (повышение микротвердости), а также повышение точности размеров и форм детали.

В качестве инструмента при выглаживании используются наконечники из природного, синтетического алмаза или композитный поликристаллический материал с рабочей поверхностью в виде сферы (рис. 1), конуса или цилиндра. Выглаживатель должен обладать высокой твердостью, низким коэффициентом трения и высокой теплопроводностью.

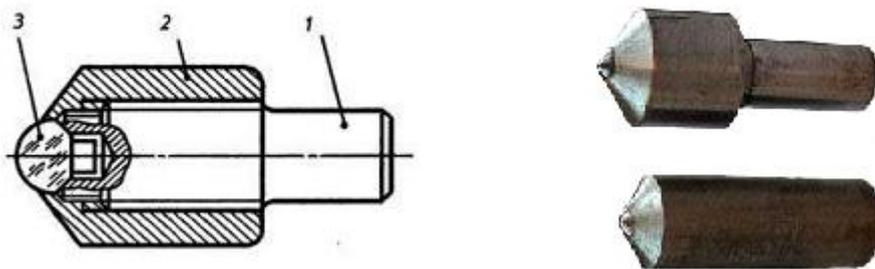


Рис. 1. а) Наконечник для алмазного выглаживания: 1 – наконечник, 2 – оправка приспособления, 3 – кристалл алмаза; б) Внешний вид наконечников.

Выглаживание в большинстве случаев аналогично токарной обработке. Процесс протекает в условиях трения скольжения. Важным условием является наличие смазки и охлаждения.

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 алмазном 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 [2, с. 55, 4, с. 325, 5, с. 150]. Малая величина радиуса закругления выглаживателя (0,5-4мм) обуславливает небольшую силу выглаживания (от 50 до 300Н), 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.

Как правило, алмазное выглаживание применяется после чистового точения или шлифования. В результате обработки выглаживанием обеспечивается уменьшение шероховатости в 2,5-6 раз, увеличение несущей способности поверхности до 10 раз, упрочнение поверхностного слоя на 20-250%.

Алмазное выглаживание является пластическим деформированием поверхностных слоев детали инструментом, наконечник, рабочая часть которого изготовлена из искусственного алмаза и имеет вид сферы.

Выглаживание проводят на токарном станке, в резцедержателе которого закреплен рабочий инструмент. В процессе выглаживания инструмент прижимается к поверхности вращающейся детали с усилием 100—200 Н, что ведет к уменьшению шероховатости и повышению износостойкости. При термомеханическом способе увеличение долговечности деталей и повышение общего уровня прочностных и других свойств достигается за счет совмещения пластической деформации и термического воздействия, осуществляемых в едином технологическом цикле.

Пластическое деформирование является промежуточной операцией. При термической и химико-термической обработке деталей для снятия внутренних напряжений, возникающих при наплавке, получения однородной структуры металла применяют отжиг, нормализацию и отпуск.

Износостойкость деталей повышают поверхностной закалкой с нагревом токами высокой частоты. На поверхности закаленного слоя возникают остаточные напряжения сжатия, способствующие повышению усталостной прочности деталей. Применение закалики обеспечивает возможность использования для наплавки сравнительно недорогих материалов и доступных защитных сред. Для повышения износостойкости деталей применяют также химико-термическую обработку: цементацию, азотирование, ит-роцементацию. При выборе рационального способа восстановления деталей необходимо учитывать размеры, форму, точность обработки деталей, материал и термическую обработку, применяемую при изготовлении детали, значение и характер износа восстанавливаемых поверхностей, условия эксплуатации детали, технологические и производственные возможности авторемонтного предприятия, затраты на восстановление, достоинства и недостатки способов восстановления и др. Знание этих факторов позволяет решить вопрос о возможности применения тех или иных способов восстановления деталей, классифицировать в соответствии с этим детали, а также выявить те из них, которые можно восстанавливать несколькими способами, что дает возможность найти, самый рациональный.

Алмазное выглаживание отличается от ППД обкаткой лишь конструктивными особенностями используемого инструмента, в котором рабочим элементом служат алмаз, гексанит или другие сверхтвердые материалы.

На качество алмазного выглаживания, т. е. шероховатость поверхности, степень упрочнения, твердость поверхностного слоя, влияет радиус сферической поверхности алмаза, усилие прижатия поверхности к детали, продольная подача и число проходов.

Радиус алмаза выбирают в зависимости от исходной поверхности металла, из которого изготовлена деталь. При этом для материалов твердостью НВ<300 радиус алмаза 2,5...3,0 мм; при НКСЭ 35...50- 1.5...2.5 мм и НРХЭ 50...65 -

1,3...2,0 мм, т.е. с увеличением твердости поверхности детали радиус алмаза уменьшается.

Усилие прижатия инструмента к детали также имеет большое значение. При усилении меньше оптимального микронеровности сглаживаются не полностью, а при большем поверхностный слой перенаклепывается и разрушается.

Установлено, что продольная подача инструмента зависит от вида упрочняемого материала. Для закаленных сталей она составляет 0,02...0,04 мм/об., для цветных металлов и незакаленных сталей—0,03...0,05 мм/об. Основное условие при выборе подачи—отсутствие неупрочненных участков на поверхности деталей.

Алмазное выглаживание осуществляют, как правило, за один проход, так как увеличение числа проходов не изменяет существенно шероховатость поверхности упрочняемой детали. Алмазное выглаживание является простым, эффективным и высокопроизводительным способом отделочной и упрочняющей технологии. Его суть заключается в пластическом деформировании поверхности обрабатываемой детали скользящим по ней инструментом — закреплённым в оправке алмазом. Особенность этого способа является следствием физико-механических свойств рабочего тела — алмаза. Уникальность этих свойств проявляется в следующем [1]: 1) Сверхвысокая прочность алмаза, которая в 4–6 раз выше прочности (твёрдости) твёрдых сплавов;  $\sigma_{\text{в}} = 11000...16000 \text{ МПа}$

Высокая прочность и твёрдость позволяют создать в очаге пластической деформации большие удельные усилия. В сочетании с малыми размерами пятна контакта это позволяет передавать на обрабатываемую деталь небольшие полные усилия. Вот почему алмазное выглаживание, в отличие от других способов, применяют в первую очередь: — для обработки твёрдых материалов и сплавов после их закалки (HRC 65...70); — для обработки нежестких деталей (полная сила мала). 2) Алмаз характеризуется

малой адгезией (схватыванием) с обрабатываемыми материалами. Следствием этого свойства является то, что взаимное скольжение поверхности детали и алмаза сопровождается малыми величинами коэффициента трения. Его величина зависит от твёрдости обрабатываемого материала и с уменьшением последней коэффициент трения возрастает.

для относительно мягких материалов;  $\mu = 0,1$

для твёрдых материалов,  $\mu = 0,05 \dots 0,08$

При этом температура в очаге пластической деформации на глубине не более 0,1 мм не превышает 200–3000С. Если скорость выглаживания больше 100 м/мин, то температура увеличивается и при скорости 500 м/мин может достигать 600–7000С (температура высокого отпуска). Для алмазного выглаживания различных материалов применяют стандартные алмазные наконечники с радиусом сферы рабочей части от 0,6 до 4 мм. Схема алмазного выглаживателя приведена на рисунке 1. Чаще всего радиус алмаза от 1,5 до 3,5 мм [1–2]. Чем больше радиус, тем меньше твёрдость обрабатываемой детали. Для закалённых сталей он меньше 1,5 мм; для мягких — 2,5...3,5 мм.

Выполняя алмазное выглаживание, совместно или отдельно решают 3 задачи:

1) Выглаживание — то есть изменение микрогеометрии поверхности детали. В зависимости от химического состава и механических свойств материала детали, а также в зависимости от режимов обработки можно достигать шероховатости обрабатываемой поверхности Ra от 0,08 мкм до 0,63 мкм. При этом относительная опорная длина профиля может составлять  $\tau_r$  от 30 до 85 % на уровне 30 %. При тонком шлифовании этот показатель не превышает 1,5–15 %.

2) Упрочнение поверхностного слоя детали с целью увеличения её долговечности. Для достижения такого упрочнения повышают величину удельных усилий деформирования и с этой целью на 15–40 % увеличивают

полное усилие выглаживания, по сравнению с расчётным, и по возможности уменьшают радиус сферы применяемого алмазного наконечника. При этом степень упрочнения увеличивается на 25–40 % а глубина наклёпанного слоя может достигать 0,3–0,6 мм. Величина остаточных напряжений сжатия на поверхности детали достигает 1200 Мпа [2–3]. 3) Калибрующая — размерная обработка. Алмазное выглаживание позволяет повысить размерную точность обрабатываемой детали, уменьшив или увеличив диаметр на 5...15 мкм.

Существуют следующие схемы алмазного выглаживания: По жёсткой схеме; По нежёсткой схеме. При выглаживании по первой схеме рабочий инструмент выполняется с державкой как у обычного токарного резца, жёсткость которого высока. Жёсткая схема приведена на рисунке 2.

Обработка оправками данного типа относится к жесткой схеме выглаживания, с жестким закреплением инструмента. И при данном закреплении оправки повышается твёрдость, точность формы и размеры обработанной поверхности детали, за счет деформации металла, а также его уплотнения. Серьезная проблема, при жестком выглаживании – это биение. Биение, как и колебания глубины внедрения пагубно влияют на силу выглаживания. В последствии влияния данных факторов при жестком выглаживании может выходить не равномерная частота шероховатости а также разношерстность по твердости выглаженной поверхности. Сама оправка простая по конструкции и может иметь низкую точность при изготовлении, однако деталь должна быть идеально изготовлена и выставлена на очень точном станке. Чаще всего выглаживание осуществляется сразу же после токарной обработки, не переустанавливая деталь.

Оправки используемые в жесткой схеме выглаживания (рис. 2) представляет собой стальную державку как у токарного резца, вот только вместо режущей части закреплена насадка с искусственным алмазом.

Такие оправки используются крайне редко и подходят к обработке только цилиндрических и торцевых поверхностей не имеющего биения. На

таких оправках тяжело получить нужную нам силу и глубину внедрения, из-за погрешности супорта резцедержателя а также из-за не жесткой системы СПИД.

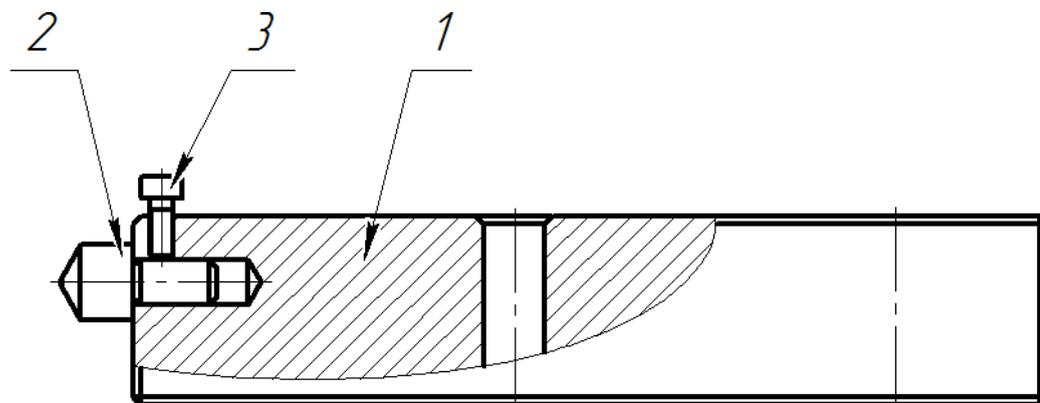


Рисунок 2 - жесткая оправка.

Такую схему применяют в том случае, если обработка детали осуществляется с одного установка по схеме «токарная обработка + выглаживание». В этом случае биение детали минимально. Такая схема применяется редко. Во всех остальных случаях применяют упругое выглаживание. При упругом выглаживании обеспечивается постоянство силы выглаживания даже при биении детали за счёт снижения жёсткости оправки. Нежёсткая схема приведена на рисунке 3.



Рис. 3. Нежёсткая схема ,

где — биение; — коэффициент жёсткости системы; — дополнительные усилия вследствие биения детали. Желательно выбирать жёсткость оправки оптимальной. С одной стороны, эта жёсткость должна быть такой, чтобы исключить вибрации в результате автоколебаний системы. С другой стороны,

жёсткость оправки должна быть такой, чтобы (следуя формуле) обеспечить постоянство усилия и, вследствие этого, постоянство шероховатости.

Алмазное выглаживание выполняют на универсальном токарном оборудовании. В исключительных случаях на специализированных производствах применяют специальные автоматические станки (в подшипниковой промышленности). Алмазное выглаживание не должно сопровождаться ударными нагрузками и вибрациями. Для успешного выполнения алмазного выглаживания необходимо обеспечить: Фаски на входе и на выходе соответствующих ступеней вала; Необходимо во всех случаях стремиться к минимальному радиальному биению детали;

Алмазным выглаживанием не желательно обрабатывать прерывистые поверхности; Для уменьшения износа алмаза необходимо применять смазки более эффективные, чем указанные выше (олеиновая кислота, животный технический жир, а также специальные синтетические смазки с наполнителями в виде серы, графита и дисульфита молебдена). Приведённые рекомендации применимы для отделки поверхности детали, когда решается основная задача — уменьшение шероховатости поверхности, которая неизменно сопровождается упрочнением поверхностного слоя.

При необходимости решения задачи более интенсивного упрочнения поверхностного слоя режимы обработки меняются. В частности, увеличивают до 1,5 раз величину силы выглаживания, при этом для повышения производительности подача также может быть увеличена. Для упрочнения поверхностного слоя целесообразно применять наконечник с меньшим радиусом сферы. Необходимо учитывать, что при калибровке диаметр вала после алмазного выглаживания уменьшается на определённую величину. Такое уменьшение зависит от шероховатости исходной поверхности, усилия выглаживания, твёрдости обрабатываемого материала.

Уменьшение диаметра вала в результате алмазного выглаживания определяется указанными факторами и составляет от 5 до 15 мкм. Алмазное выглаживание в силу уникальных свойств алмаза (высокая прочности и малая

адгезия) целесообразно применять, в первую очередь, для закалённых сталей и других относительно твёрдых материалов. Кроме того, алмазное выглаживание (с малой величиной  $R_{сф}$ ) целесообразно применять для нежёстких деталей из относительно твёрдых материалов. Допустимая величина твёрдости обрабатываемой детали .  $\Delta HВ = 5...10$

## 1.2. Обзор оправок для алмазного выглаживания, работающих по нежёстким схемам.

### 1.2.1. Оправка для алмазного выглаживания с витой пружиной.

Данный инструмент-оправка (рис. ), позволяющий выглаживать наружную поверхность стальных деталей типа «вал». Алмазный наконечник 1с рабочей поверхностью в виде сферы, закрепленный винтом 2 вставлен в подвижный шток 3, который может перемещаться внутри корпуса 4 прямоугольного сечения. Внутри корпуса находится пружина 5.

Перемещение штока приводит к сжатию пружины и возникновению силы между алмазным наконечником и обрабатываемой деталью. Инструмент в сборе с пружиной тарируется по образцовому динамометру и позволяет задавать силу прижатия в диапазоне 100-300Н с шагом 50Н.

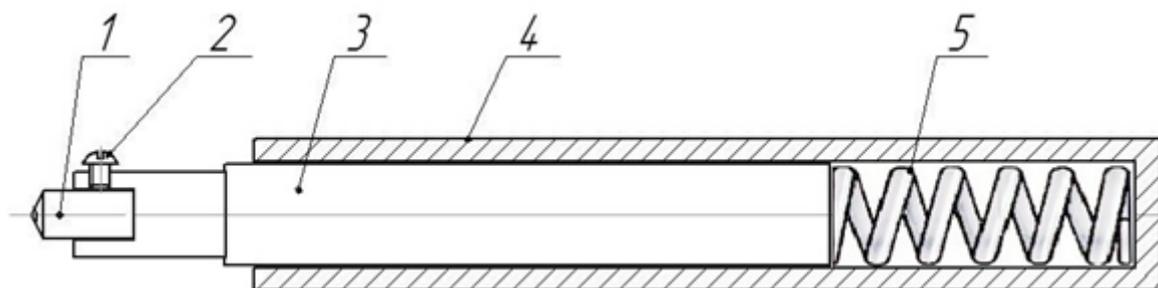


Рис.4. Оправка для алмазного выглаживания.

Прижатый к обрабатываемой поверхности с силой  $P_v$  инструмент внедряется в нее на глубину  $h$ , в зоне контакта возникают пластические деформации (рис. 3). При этом происходит сглаживание исходной шероховатости, повышается твердость поверхностного слоя, изменяется его микроструктура.

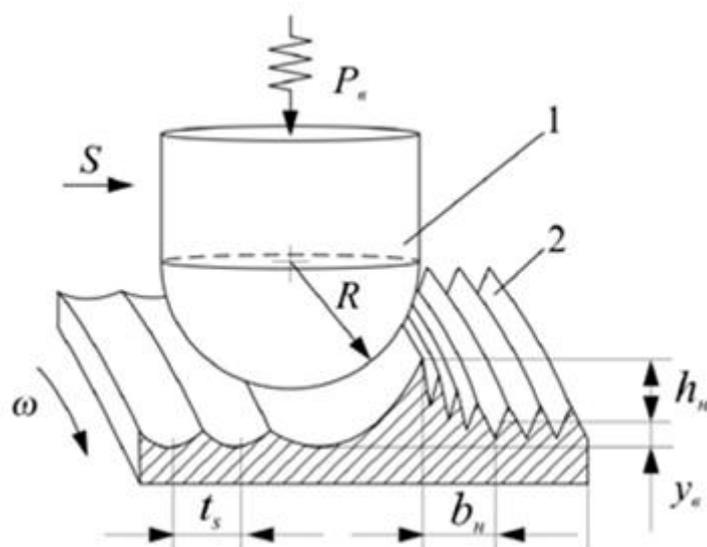


Рис. 5. Схема выглаживания поверхности детали: 1- выглаживатель; 2- обрабатываемая поверхность;  $R$  – радиус выглаживателя;  $t_s$  – шаг подачи;  $\omega$  – угловая скорость детали.

Экспериментально установлено, что при внедрении индентора выглаживающего инструмента на глубину, превышающую наибольшую высоту неровностей профиля поверхности после чистового точения, начинается отеснение 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 нагружна гораздо больше, чем задняя. По этой причине в процессе выглаживания возникает тангенциальная составляющая силы  $P_t$ .

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 полу поверхность (в направлении подачи) нагружена гораздо больше, чем левая полу поверхность. Поэтому в процессе выглаживания возникает осевая сила  $P_x$ .

### **1.2.2. Оправки для алмазного выглаживания с плоскими пружинами.**

Для обработки деталей с незначительными отклонениями формы, а также с погрешностью установки детали на станок, применяют оправки нежесткой схемы выглаживания с плоскими пружинами. Обрабатывать можно такими оправками наружные и торцевые поверхности валов и прочих деталей.



Рисунок 6. Оправка с плоской пружиной имеющий конструктив типы петля.

По конструкции данная оправка напоминает простую, жесткую

оправку.

Главное отличие между данной и жесткой оправкой – это наличие плоской петлевой пружины. Индентор устанавливается непосредственно в саму оправку, и притягивается винтом. Материал державки У8А, выбран не случайно, а для того что бы закалить до необходимой нам твердости 49- 52 *HRC*. Создаваемое усилие варьируется от 2 до 5 мм, значение зависит от толщины рабочей части. Настраивается усилие с помощью индикатора часового типа, щуп которого проходит через сквозное отверстие находящееся в корпусе оправки и упирается в гибкую часть оправки. Данная оправка очень проста и универсальна и подходит для работы практически на любом токарном станке. Еще один плюс данной оправки – это ее компактные размеры, позволяющие выглаживать деталей сложной конфигурации.

Недостатки данной оправки заключаются в не константное усилие пятна контакта из за конструкции петлевой пружины. А так же возникновение автоколебаний при высокой скорости вращения детали. Также недостатком является малый ход оправки, следовательно она имеет те же минусы, что и жесткая оправка.

### 1.2.3. Оправка для алмазного выглаживания с плоской симметричной пружиной

Схожей по конструкции является оправка с плоской симметричной пружиной. Оправка, так же как предыдущий вариант предназначена для обработки наружных цилиндрических поверхностей и торцов.



Рисунок 7. Оправка для алмазного выглаживания с плоской симметричной пружиной

Данная оправка состоит из основания (державка), плоской симметричной пружины, демпфирующей прокладки состоящей из пенополиуретановой резины, индикатора часового типа и индентора. Выглаживатель закреплен на основании плоской пружины, пружина в свою очередь крепится к державки оправки, а сама державка устанавливается в резцедержатель токарного станка. Плоская пружина в данной оснастке нужна не только как связующий элемент между индентором и державкой, но и так же пружина создает усилия выглаживания, а также сглатывает колебания возникающие при выглаживании. Регулировка усилия выглаживания осуществляется как и у предыдущей оправке с пружиной по типу петли,

перемещением резцедержателя и изменению расстояния по индикатору часового типа.

Плоская пружина представляет собой сборку из восьми плоских пружин. Они располагаются между двумя стойками по четыре пружины с каждой стороны. При выглаживании пружины работают на изгиб. Конструкция позволяет перемещаться не только линейно вдоль оси индентора, но и поворачиваться. При этом одна половина опоры сжимается, а другая растягивается. Недостатком пружинной опоры является ей малая жесткость в направлении оси X, под воздействием силы  $P_x$ , вследствие чего происходит сдвиг стоек пружины друг относительно друга. Это является существенным недостатком данной опоры при использовании в оправках для крепления алмазного индентора, так как это приводит к перекосам индентора.

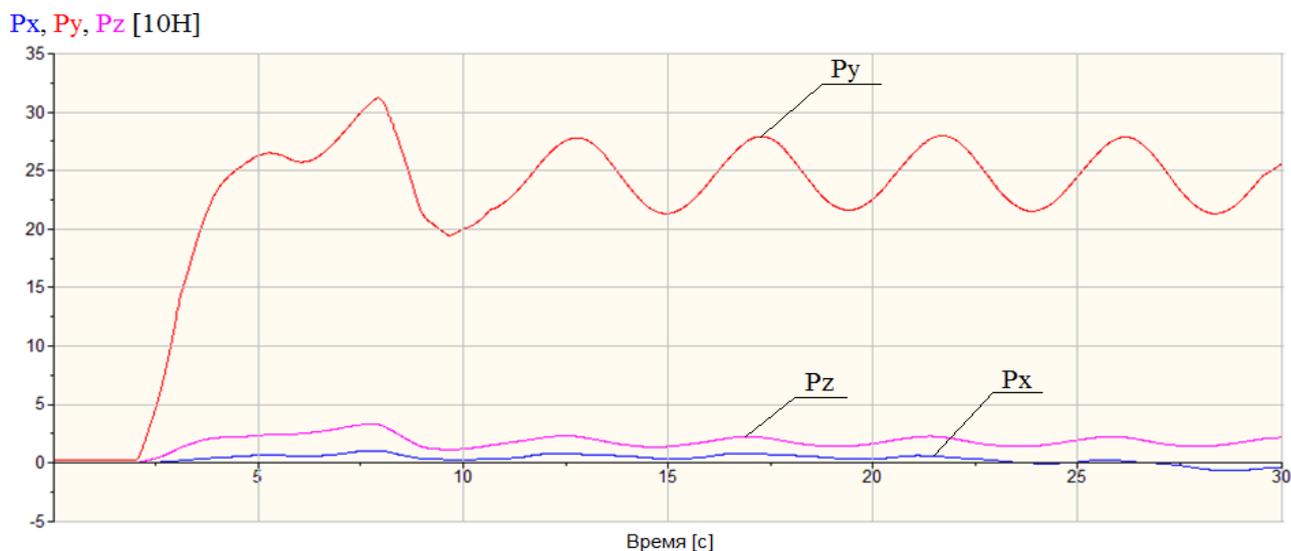


Рисунок 8. Зависимость составляющих силы выглаживания  $P_y$ ,  $P_x$  и  $P_z$  [H] от времени  $T$  [c] при выглаживании оправкой с симметричной плоской пружиной:  $R_{cf} = 2$  мм;  $S = 0,05$  мм/об;  $V \approx 0,02$  м/с;  $\omega = 1,3$  с<sup>-1</sup>

При выглаживании оправкой с плоской симметричной пружиной, на полученном графике видно, что радиальная сила  $P_y$  имеет синусоидальный вид. Исследования показали, что колебания силы зависят от коэффициента жесткости пружины и от величины радиального биения. Радиальное биение

заготовки приводит к перемещениям алмазного индентора в направлении оси  $Y$ , который в свою очередь деформирует опору, на которой он закреплен. Упругая деформация пружин в опоре приводит к изменению силы. Колебания радиальной силы  $P_y$  на участке стабильного процесса выглаживания составили около  $67 \text{ Н}$ . Такой же характер выглаживания и у оправки с однопетлевой плоской пружиной.

При уменьшении жесткости пружины, а так же при более точной уснановки детали с минимальным радиальным биением, уменьшается амплитуда колебания сил. Но при уменьшение жесткости пружины так же уменьшается сила выглаживания, а следовательно и вся производительность обработки! Исходя ихэтого можно сказать что использование плоских пружин в качестве силовогоэлемента нецелесообразно, так как основное требование – стабилизация силывыглаживания - не достигнуто.

#### **1.2.4. Оправка с силовым элементом в виде винтовой пружины, и регулировкой силы выглаживания с помощью индикатора часового типа.**

Оправка для алмазного выглаживания с силовым элементом в виде винтовойпружины также предназначена для обработки наружных цилиндрических поверхностей деталей и их торцов.

Конструкция оправки представляет собой цилиндрический корпус сосквозным шлифованным отверстием, в которое устанавливаются плунжер с закрепленным на нем индентором и винтовая пружина. В корпусе профрезерован паз, через который проходит стержень, жестко соединенный с плунжером.

Стержень одновременно служит как опора для щупа индикатора, так и упором для ограничения индентора.

Оправка имеет возвратно-поступательную пару, работающую в условиях сухого трения. В качестве силового элемента используется винтоваяпружина, котораяподжимаетсярегулирующим винтом.При

затяжки регулировочного винта происходит увеличение силы давления выглаживателя в заготовку.

Выглаживание производится при определенной величине силы прижатия, которое контролируется индикатором часового типа.

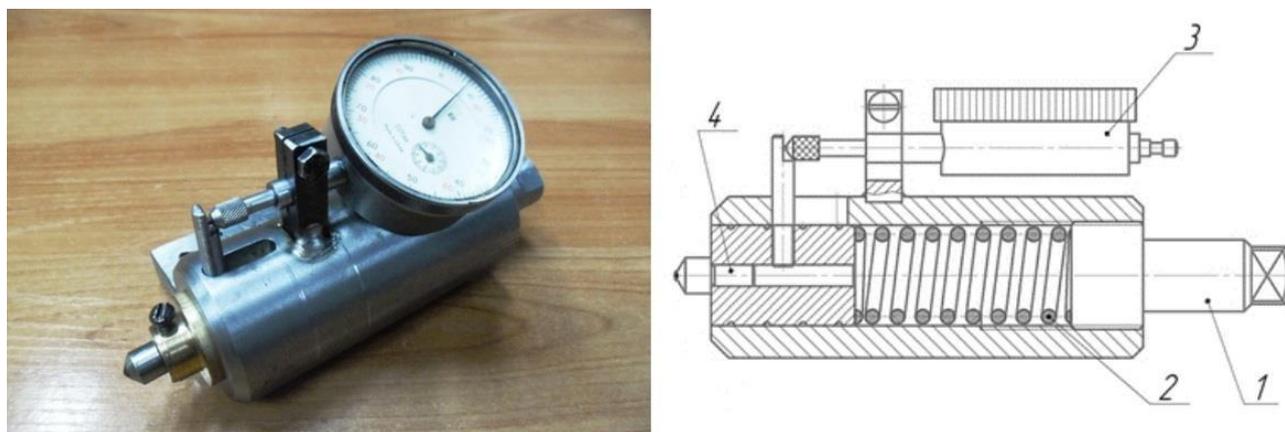


Рисунок 9. Оправка с винтовой пружиной: 1 – регулировочный винт; 2 – винтовая пружина; 3 – индикатор часового типа; 4 – индентор.

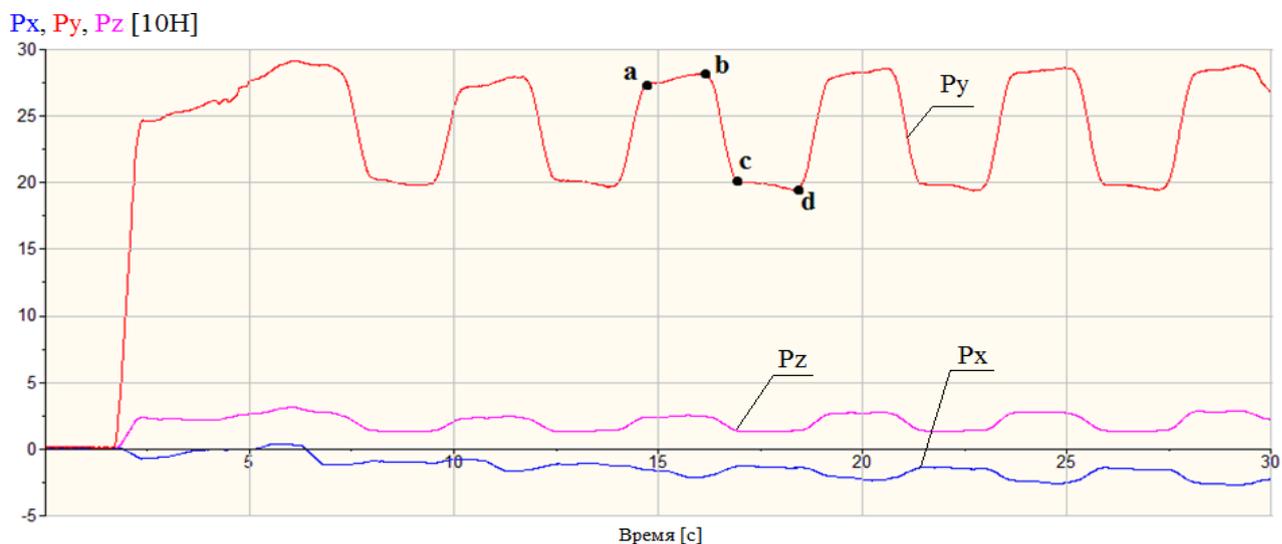


Рисунок 10. Зависимость составляющих силы выглаживания  $P_y$ ,  $P_x$  и  $P_z$  [H] от времени  $T$  [c] при выглаживании оправкой с винтовой пружиной:

$$R_{сф} = 2 \text{ мм}; S = 0,05 \text{ мм/об}; V \approx 0,02 \text{ м/с}; \omega = 1,3 \text{ с}^{-1}$$

При исследовании получили график напоминающий по своему виду профиль трапецеидальной резьбы зависимости радиальной силы от времени, скорее всего, вызван микро клином возвратно-поступательной

пары трения или зацепление витками пружины об внутренний диаметр корпуса. При уменьшении трения в возвратно-поступательной паре путем подачи СОЖ, вращением индентора относительно корпуса, внешними вибрациями уменьшили амплитуду колебания силы  $P_y$ , но не изменили в целом силу возникающую при выглаживании.

Анализ проделанного эксперимента показал, что величина колебания радиальной силы выглаживания зависит не только от коэффициента жесткости винтовой пружины, но и от характера процесса выглаживания.

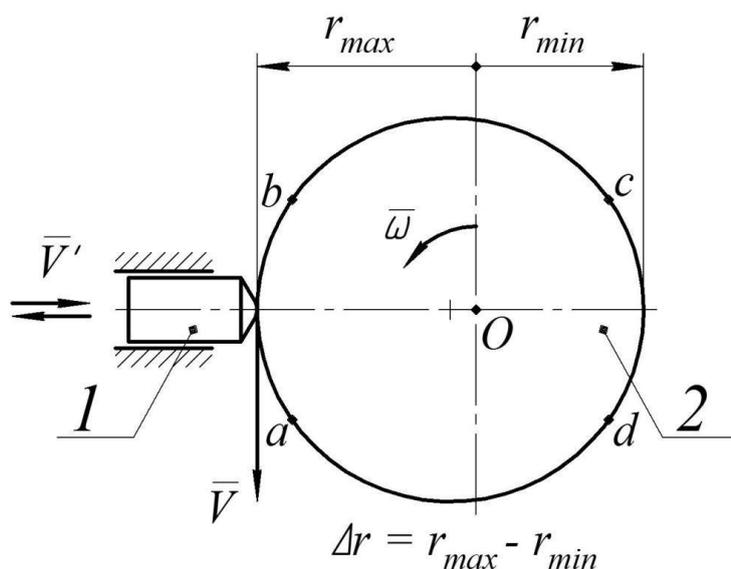


Рисунок 11. Схема движения индентора по поверхности с радиальным биением: 1- индентор, установленный в возвратно-поступательной прецизионной паре;

2 – обрабатываемая поверхность

На графике установлено, что радиальная сила  $P_y$  убывает и возрастает скачками, рывками. На участке «a- b», показано увеличение радиального размера, сила линейно возрастает вследствие роста силы упругости, которая стремится восстановить первоначальную форму пружины. На участке

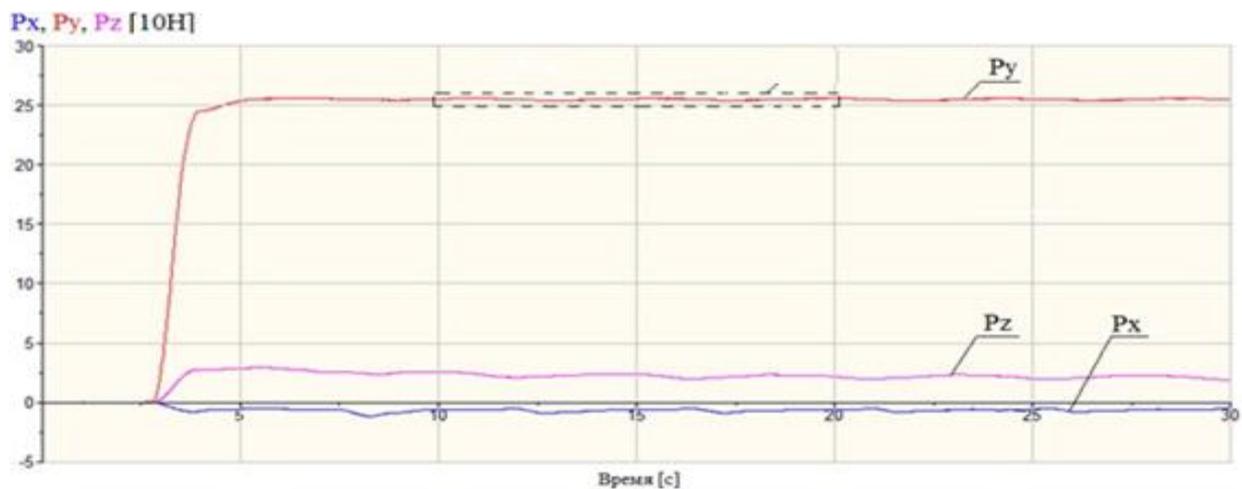
графика «*b-c*», которое соответствует прохождению индентора максимального радиуса, заметно резкое уменьшение кривой графика. Это объясняется возникновением схватывания в возвратно-поступательной паре, кратковременно появляется сила трения покоя, которая затем сменяется силой трения скольжения. Срыв и начало плунжера приводят к скачкообразному уменьшению радиальной силы выглаживания. Следующий участок «*c-d*» соответствует уменьшению радиуса обрабатываемой детали. Сила  $P_y$  линейно уменьшается в связи с уменьшением силы упругости пружины. Колебания силы составляют около 88 Н, что больше амплитуды колебаний плоской пружины. Вызвано это, вероятнее всего, возникновением инерции вследствие резкого начала движения так как стальной плунжер имеет массу.

При анализе данного графика можно сделать вывод, что использование возвратно-поступательной пары трения в конструкциях оправок для алмазного выглаживания крайне нежелательно. Оправка с силовым элементом в виде винтовой пружины не справляется с основной задачей – стабилизацией сил выглаживания.

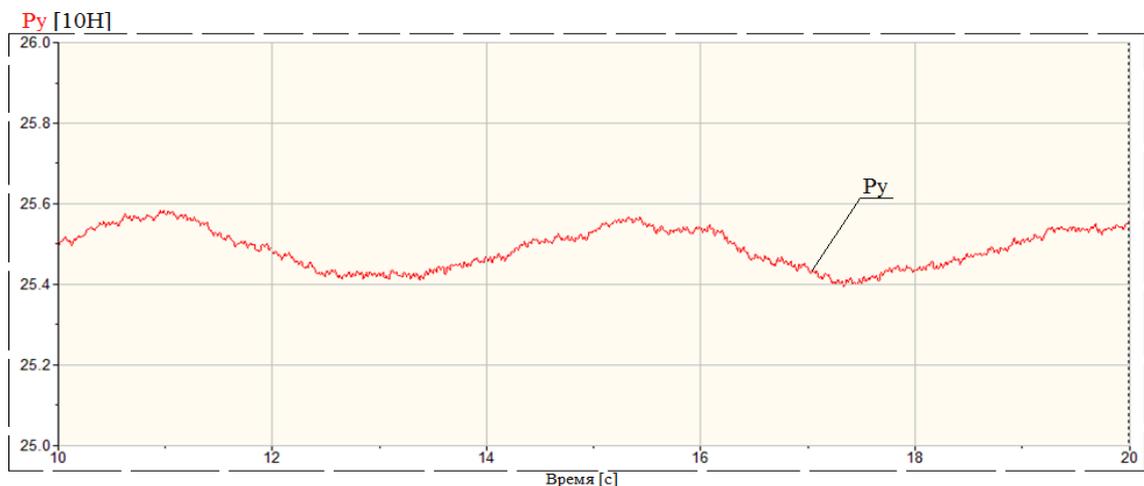
#### **1.2.5. Оправка для алмазного выглаживания с силовой установкой из 4-х плоских пружин и пневматическим сильфоном.**

Оправка с пневматическим сильфоном и установкой индентора на 4-х плоских стойках была разработана на основе оправки на гибких опорах. Данная оправка имеет очень сложную конструкцию. Если сравнивать с ранее перечисленными оправками, то у пневматической оправки значительно увеличена жесткость конструкции и изменена компоновка некоторых элементов. Корпус был изготовлен из единой заготовки, чтобы увеличить жесткость конструкции в отличие от сборных конструкций. Конструкция данной оправки конструировалась и просчитывалась с помощью специальных программ компьютерного моделирования. Размеры стенок были просчитаны, чтобы избежать возможные деформации корпуса вследствие возникновения сил во время выглаживания. Корпус прикреплен

к основанию оправки на 4-х плоских стойках. Перемещение индентора осуществляется упругой деформацией плоских стоек. Силовым элементом служит пневматический сильфон предварительно закаченным сжатым воздухом. В свое время сильфон собран с ресивером, который служит для выравнивания давления и смягчения скачков пульсаций, вызванных перемещением индентора.



a)



б) увеличенный участок графика

Рисунок 12. Зависимость составляющих силы выглаживания  $P_y$ ,  $P_x$  и  $P_z$  [H] от времени  $T$  [с] при выглаживании оправкой пневматической с ресивером с параллелограммной установкой индентора на 4-х плоских стойках:

$$R_{сф} = 2 \text{ мм}; S = 0,05 \text{ мм/об}; V \approx 0,02 \text{ м/с}; \omega = 1,3 \text{ с}^{-1}$$

Конструкция данной оправки позволяет выглаживать детали с радиальным биением полученном как при обработке, так и при не

качественной установки детали на станок. При испытании оправки по графике показано практически прямой вид зависимости сил выглаживания. На увеличенном виде части зависимости можно заметить, что колебания радиальной силы  $P_y$  не превышают 2 Н. Это малое изменение вызвано упругими деформациями стоек.

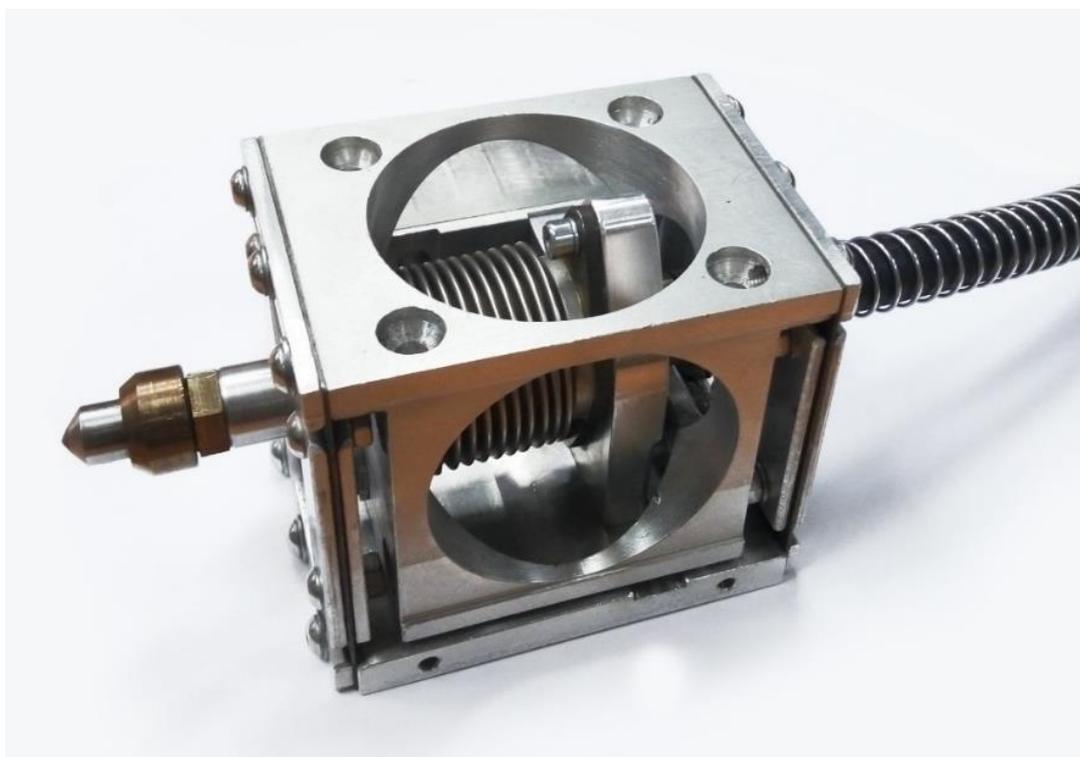


Рисунок 13. Оправка с пневматическим сифоном и установкой индентора на 4-х плоских стойках.

Представленная оправка с пневматическим сифоном и установкой индентора на 4-х плоских стойках обеспечивает наиболее высокую степень стабилизации силы  $P_y$  в процессе обработки фасонных поверхностей, деталей сложной формы, а так же установленных с радиальным биением. Алмазное выглаживание данной оправкой можно производить без предварительной точной установки детали. Конструкция практически не имеет недостатков, которые свойственны пружинным оправкам и оправкам с парами трения.

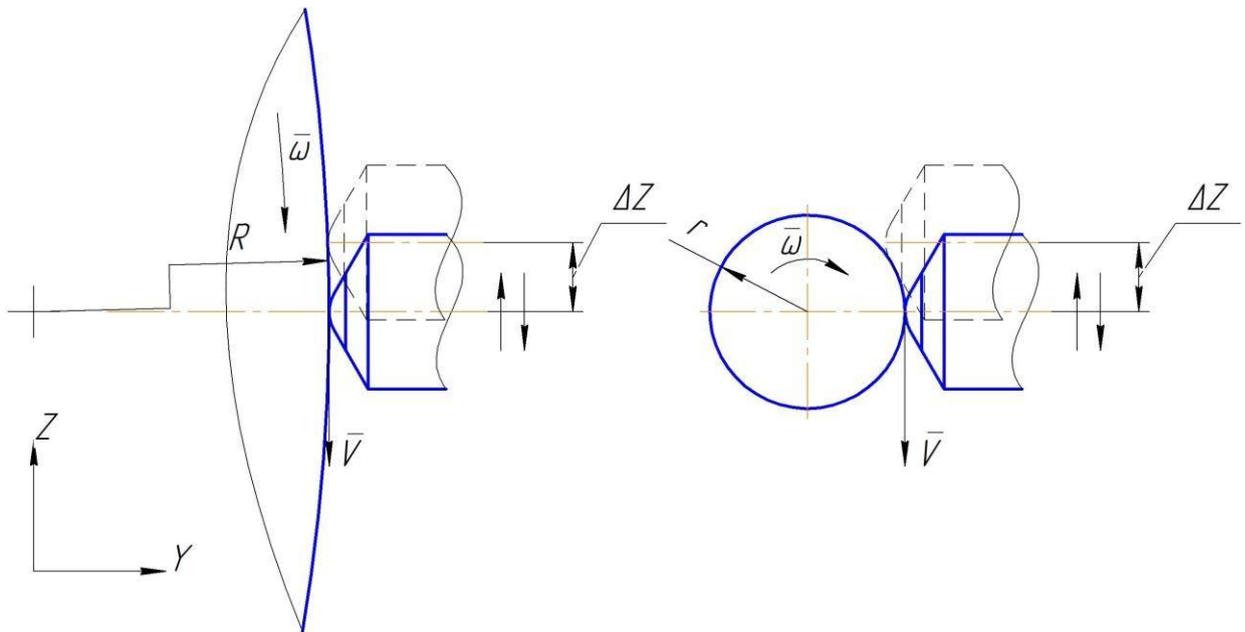


Рисунок 14. Схема перемещения выглаживателя в вдоль оси  $Z$ .

Однако проблема при работе данной остнастки все таки имеется - это перемещения индентора в направлении оси  $Z$  как видно на рисунке. В силу постоянства длины стоек во время перемещения в направлении оси  $Y$  индентор имеет небольшое линейное перемещение в направлении оси  $Z$  и угловое смещение относительно точки закрепления стоек. Это явление имеет неблагоприятное влияние на процесс обработки при малых диаметрах обрабатываемой детали. Индентор, сместившись по  $Z$ , контактирует с деталью конусной поверхностью, тем самым меняя пятно контакта и усилие прижатия.

#### **1.2.6. Оправка для алмазного выглаживания на магнитной подвеске.**

Оправки, описанные ранее, которые уже разработаны и применяются в производстве, имеют один общий недостаток, это наличие пары трения при перемещении индентора относительно обрабатываемой поверхности детали, что вызывает нестабильную процесса выглаживания ( рис ).

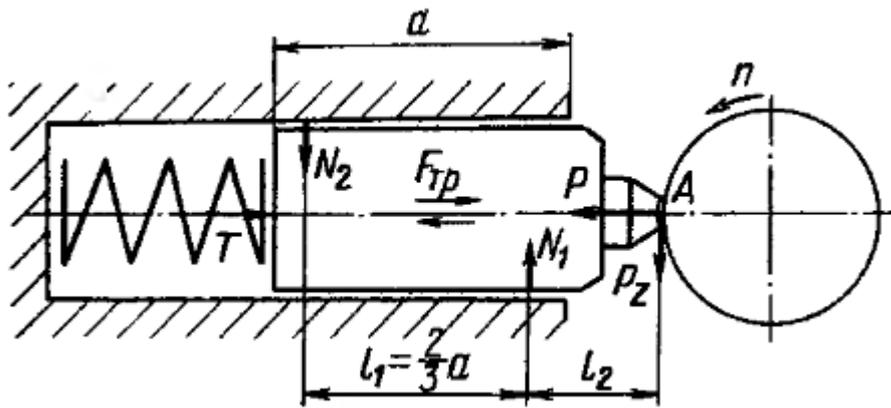


Рис 15. принципиальная схема направления сил упругой оправки при алмазном выглаживании.

Кроме наличия пары трения, силовой элемент ( пружина, упругая перемычка) так же вызывает дестабилизацию процесса выглаживании. При обработке детали с биением  $\delta$ , тогда колебание силы выглаживания, вызванное силовым элементом, составляет  $\Delta F = K \times \delta$ , где  $K$  – коэффициент упругости пружины. Колебание силы выглаживания увеличивается с увеличением биения обрабатываемой поверхности детали.

Проблема колебания силы выглаживания, вызванное силовым элементом, уже оптимизирована оправками с силовым устройством в виде сиффона. Оправки для алмазного выглаживания с силовым устройством в виде сиффона, были разработаны для гладкого выглаживания винтовых поверхностей или других поверхностей, имеющих переменный радиус кривизны в направлении векторов скорости  $V$  и подачи  $S$ . Силовым элементом является сиффон, в котором создаётся давление, контролируемое манометром. Однако ограниченный объём сиффона, используемого в оправке, приводил к тому, что радиальное биение поверхности в процессе выглаживания вызывает изменение давления в сиффоне и, как следствие, изменение силы выглаживания  $P_y$ . Для стабилизации силы выглаживания при обработке фасонных поверхностей в систему «алмаз-сиффон» добавлен рессивер, позволяющий значительно уменьшить колебание

давления в сильфоне за счёт увеличения объёма сжатого воздуха. Объём ресивера более чем в 10 раз больше объёма рабочей камеры сильфона. Для «полной»

стабилизации давления в силовой системе подобных оправок можно использовать

«мягкие» ресиверы – резиновые камеры с соответствующей жесткостью стенок камеры. При обработке поверхности с радиальным биением 3мм, колебание силы выглаживания составляет  $\Delta P_y \leq 0.02 \text{ кН}$ . Данные оправки с силовым элементом

«сильфон-рессивер» позволяет обрабатывать различные фасонные поверхности.

Проблема наличия пары трения может оптимизироваться с помощью системы «магнитов-лесок». Индетор висит на лесках, индетор действует магнитная сила, которая удерживает положение индетора но не мешает ему перемещаться вдоль оси у.

Вышесказанное обуславливает актуальность работы.

## **2. Конструкторская часть.**

### **2.1. Конструкция оправки для алмазного выглаживания на магнитной подвеске**

Во избежание силы трения при процессе алмазного выглаживания, спроектирована, разработана и изготовлена оправка на магнитной подвеске представлена в рис.

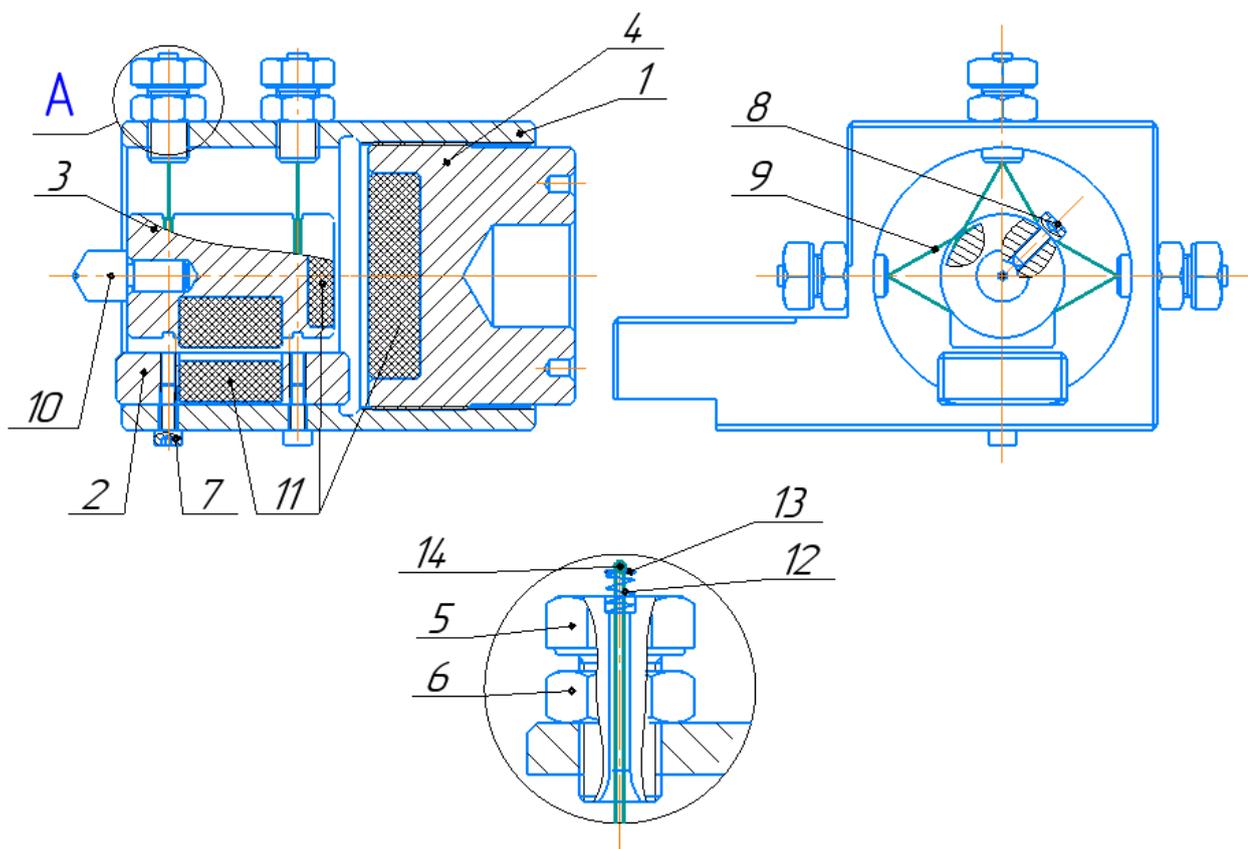


Рис 16. эскиз оправки для алмазного выглаживания на магнитной подвеске

Комплекующие элементы оправки:

1. Корпус;
2. Фундамент магнита;
3. Стержень;
4. Задняя пятка магнита;
5. Болт натяжки лески;
6. Контр гайка;
7. Спец винт м3х12;
8. Спец винт м3 х 6;
9. Тросик  $S=0,3\text{мм}$ .

10. Индентрор.
11. Магниты.
12. Пружина.
13. Шайба.
14. Узел.

Основной принцип работы оправки на магнитной подвеске заключается в том, стержень 3 притянут леской 9 к трем сторонам корпуса 1, через натяжной болт 5, который в свою очередь законтрогаен гайкой 6 после необходимой затяжки и регулировки. В стержне установлены два магнита и индентор. Нижний магнит работает на притяжение с магнитом расположенном в фундаменте магнита 2, магнит расположенный с торца стержня работает на отталкивание. С помощью магнитов работающих на отталкивание регулируется сила выглаживания.

Главной задачей при сборке оправки являлась выставления стержня точно по центру внутреннего отверстия в корпусе 1. От правильного выставленного стержня зависит правильная работа оправки, при не соблюдении осей между отверстием корпуса и осью стержня получается разная длина лесок, на которых осуществляется подвес индентора. Из за этого, усилие на лески возникающее при выглаживании не равномерное и всю конструкцию подвешенную на лесках и взаимодействующую магнитами между собой начинает скручивает, качество обработанной поверхности при этом получается не равномерной.

От центрованное расположение стержня достигается натягом лесок с помощью регулировочных болтов. Лески в свою очередь окутывают стержень через канавки, для большей надежности конструкции.

## 2.2. Сборка магнитной оправки

Сложностью сборки магнитной оправки является установление магнитов, регулирования положение индентора.

С целью регулирования усилия выглаживания на цилиндрической поверхности задней пятки нарезана резьба  $M52 \times 1,5$ . На той же пятка еще нарезана шкала, которая указывает перемещение магнита 9. Отношение усилия выглаживания к перемещению можно выяснить через эксперимент. После этого на каждой отметке будет указано соответствующее усилие выглаживания.

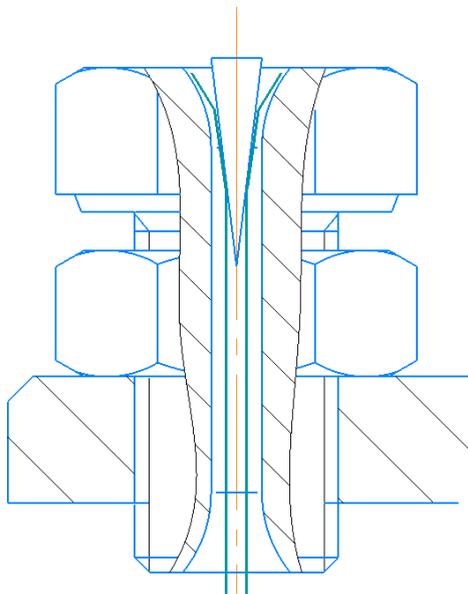


Рис17. конструкция

У лесок одни стороны жестко закреплены клиньями на болтах 4, которые имеют сквозное отверстие  $\varnothing 2$  (рис17). Те болты позволяет регулировать положение индентора и зазор между магнитами 6,7. За счет этого регулирование сил магнитов реализуется.

Оси приспособления, где установлен индентор и магниты, должна удерживать такое положение, высота оси приспособление относительно базовой поверхности

1 равна  $24^*$  ( данный размер получен следующим образом: высота оси центров станка—1мм) , длина правых и левых лесок должна быть равными во

избежание перекоса при поступательных перемещениях приспособления. Кроме того, присоединение магнита к приспособлениям является приклеиванием.

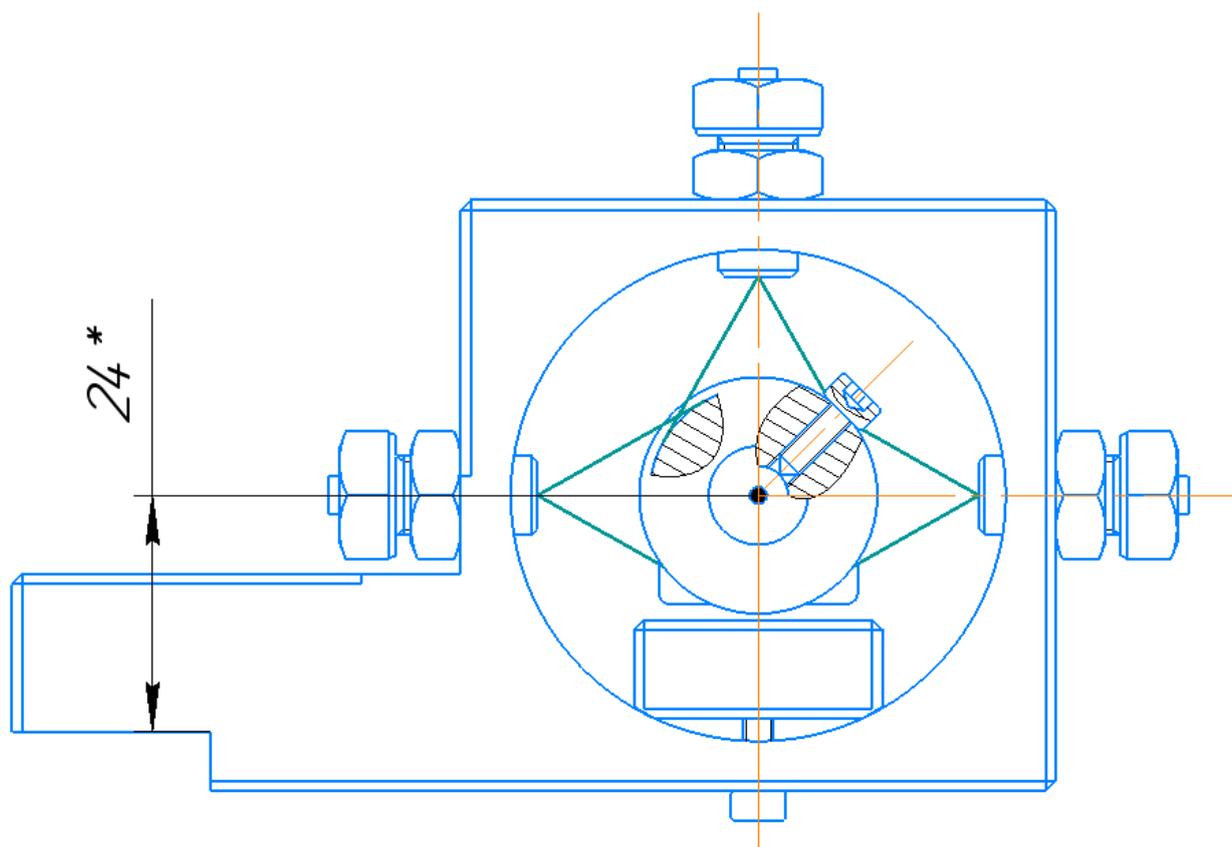


Рис18. Расположение индентора относительно базовой

В частности, неодимовые магниты защищены никелированным покрытием, а значит следует выбирать клей для металлических поверхностей. Учитывая, что соединение должно выдерживать серьезные нагрузки и вибрации, важно уделить должное внимание подготовке поверхности. Перед тем, как приклеить магнит к металлу, следует тщательно очистить целевую поверхность, используя спирт или другой подходящий растворитель. Затем нанесите качественный термопластический или эпоксидный клей «Момент».

В данной оправке индетор удерживается лесками и неодимовыми магнитами, которые имеют силу сцепления 7кг ( $P_x < P_z \approx 40\text{Н}$ ). Леска обладает определенной пластичностью, позволяет индетор перемещаться вдоль оси Y в определенном пределе. Задний магнит, создающий усилие выглаживания, имеет силу сцепления 38кг, которая достойна в большинстве случаев. 3D-

модель данной оправки представлена в рисунке (рис 19).

Данная оправка является универсальной, если вместо задней пятки устанавливаются другие силовой элементы, например пружины, сиффон и др.

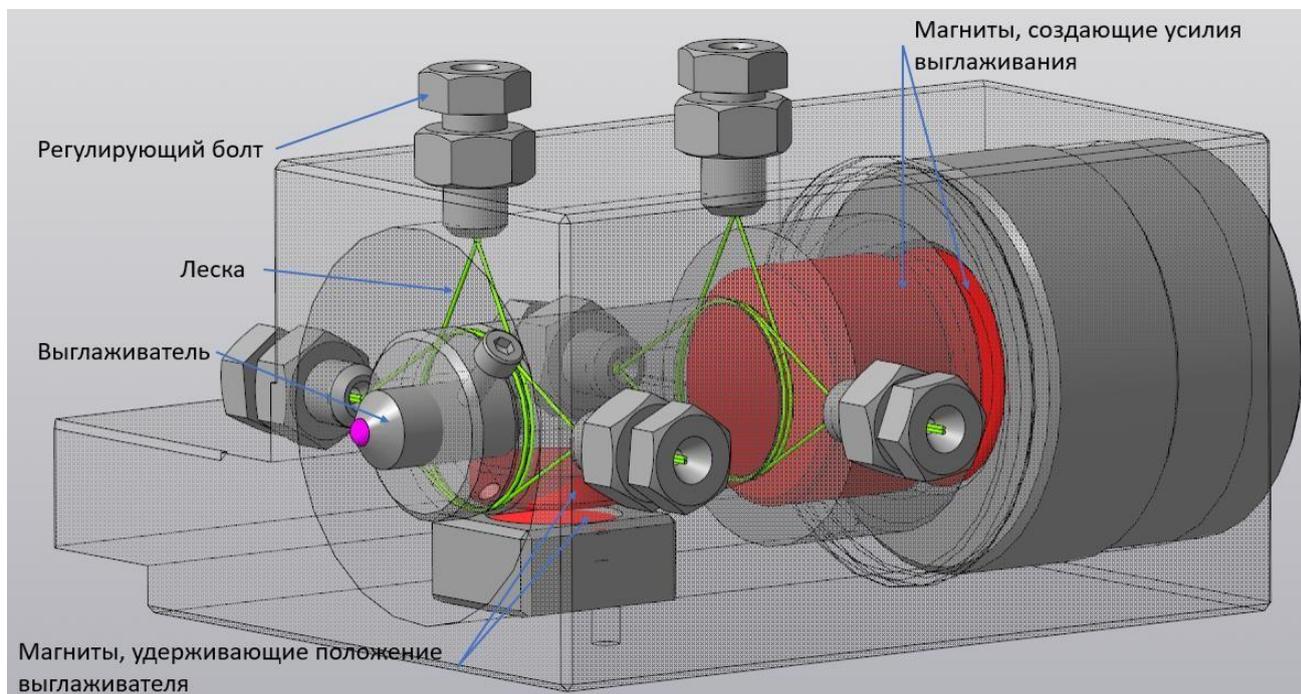
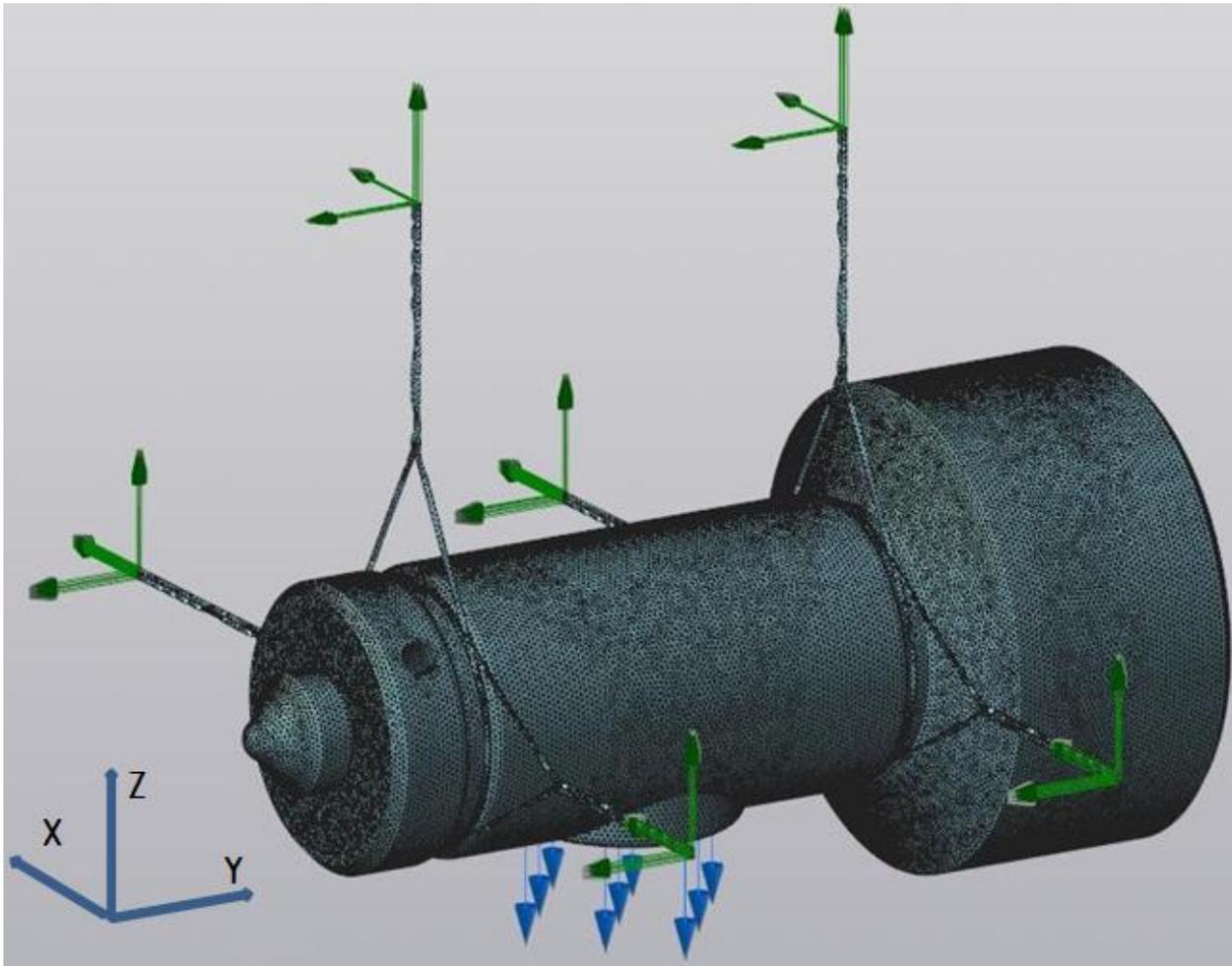


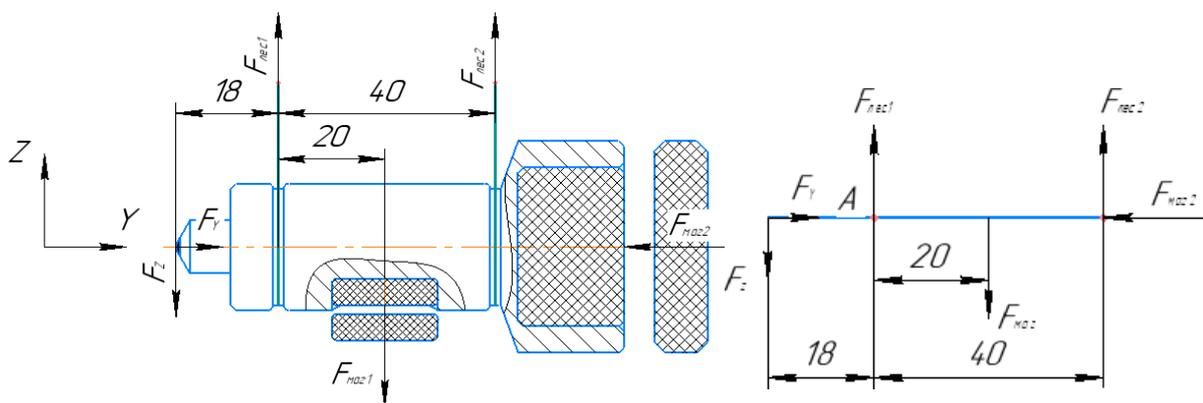
Рис 19. 3D модель магнитной оправки

### 2.3. Анализ силы сопротивления при перемещении индентора

Данная оправка разработана в основе следующей модели:



На плоскости Y-Z



В этом случае есть уравнение на плоскости Y-Z:

$$F_{лес1} + F_{лес2} = F_{маг} + F_z$$

относительно точки А есть:

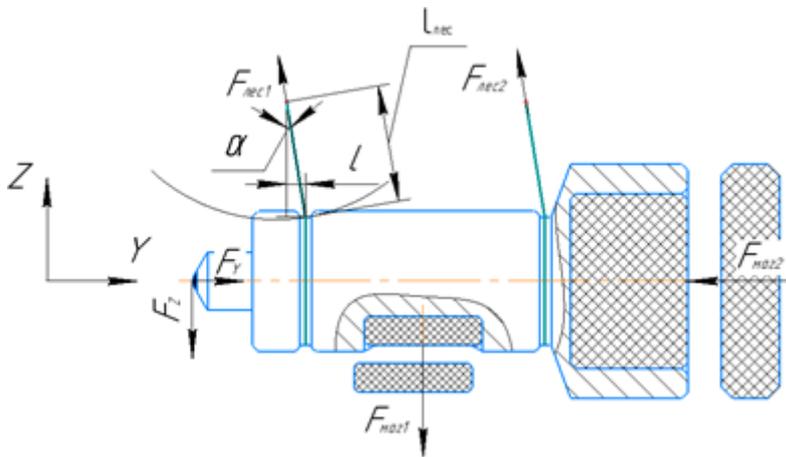
$$F_{лес2} \times 40\text{мм} + F_z \times 18\text{мм} = F_{маг} \times 12.5\text{мм}$$

$$F_{лес2} = 0.31F_{маг} - 0.74F_z > 0$$

$$F_{лес1} = 0.69F_{маг} + 1.74F_z$$

При перемещении индентора на величину  $l$  есть:

$$(F_{лес1} + F_{лес2}) \cos \alpha = F_{маг} + F_z$$



$l$

$$\sin \alpha = \frac{l}{l_{лес}}$$

$l_{лес}$

Сила сопротивления  $F^1$

сопро

$$F^1_{сопро} = (F_{маг} + F_z) \tan \alpha$$

$l$

$l_{лес}$

$$= (F_{маг} + F_z) \frac{l}{l_{лес}}$$

$l_{лес}$

$l$

$$= (F_{маг} + F_z) \frac{l}{l_{лес}}$$

$$\sqrt{l_{\text{лес}}^2 - l^2}$$

1

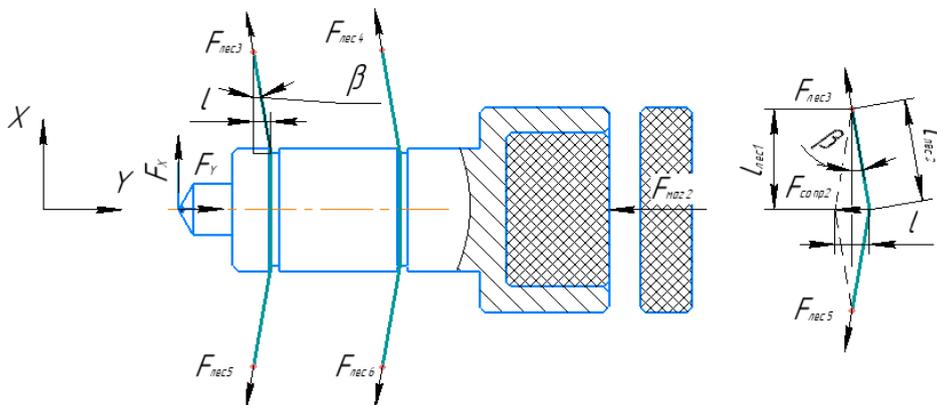
$$= (F_{\text{маг}} + F_z)$$

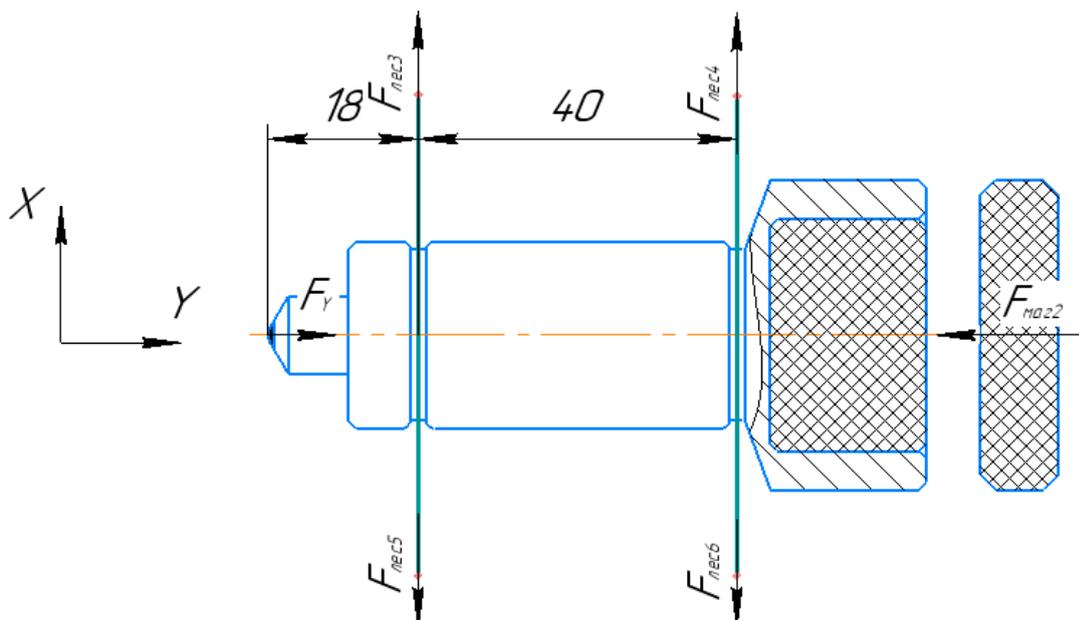
$$\sqrt{l_{\text{лес}}}$$

Отсюда получено, что при одинаковом перемещении  $l$  сила сопротивления  $F^1$  зависит от  $F$  – сила магнита и длины сопро. маг лески  $l( F^1_{\text{а}} (F + F), F^1_{\text{а}}^1 )$ .

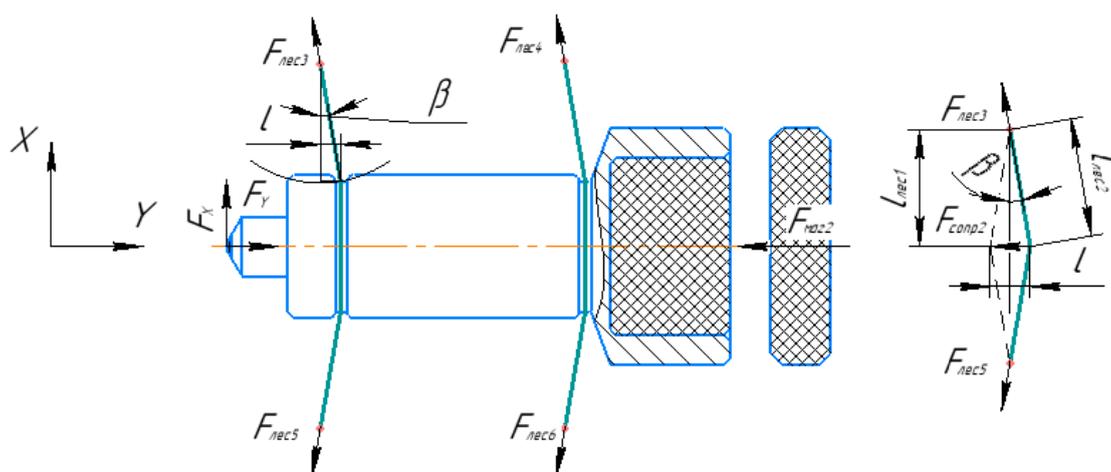
лес сопро маг z сопро  $l_{\text{лес}}$

Для данной оправки  $F_{\text{сопро1}} = 14.8\text{Н}$ , при перемещении  $l = 2\text{мм}$





Так как силовой анализ на оси X не имеет актуальное значение, здесь не рассматривается. При перемещении индентора на величину  $l$  на плоскости X-Y есть следующая схема



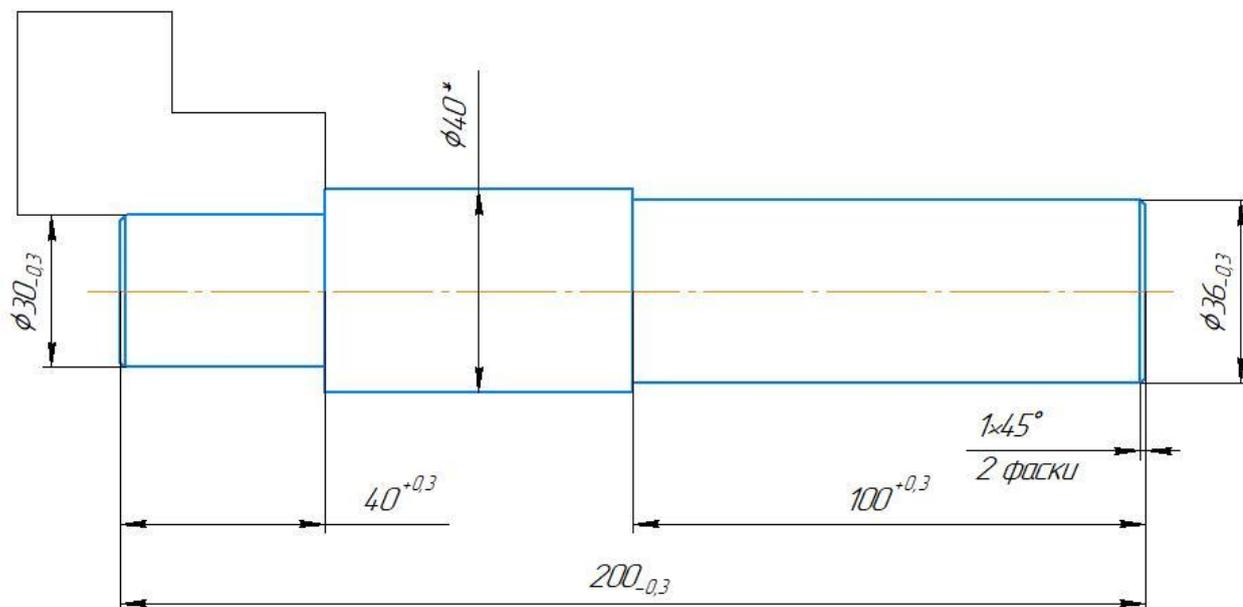
У лесок растяжимость составляет 10% из ее исходной длины. При растяжении лесок к 10% из ее исходной длины, нагрузка близка к максимальной. Лески, приняты для данной оправки, имеет следующие характеристики: диаметр сечения: 0.5мм, разрывная сила: 38кг.

Для данной оправки,  $F_{сопр2} = 8.9\text{Н}$  при перемещении  $l = 2\text{мм}$ .

Таким образом, сила сопротивления  $F_{сопр} = F_{сопр1} + F_{сопр2} = 14.8 + 8.9 = 23.7\text{Н}$

### 3. Экспериментальная часть.

На данной оправке была проведена серия экспериментов по алмазному выглаживанию. Опытным путем мы узнали диапазон усилий, при котором можно выглаживать на данной оправке, сила действующая на алмаз до прикосновения магнитов оказалась равной 5,8 кг. Исходя из этого, мы выбрали материал заготовки для выглаживания – Д16. Конструкцию и размеры изображены на эскизе.



Эскиз заготовки для проведения экспериментов.

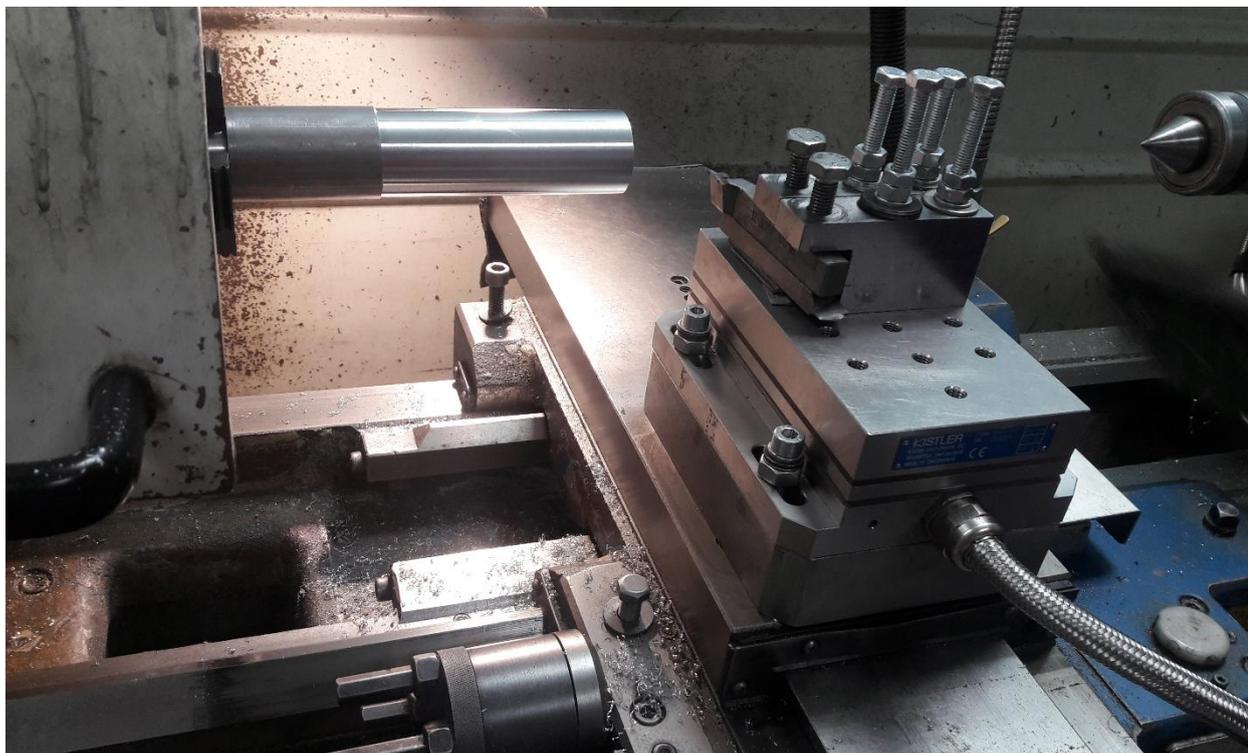
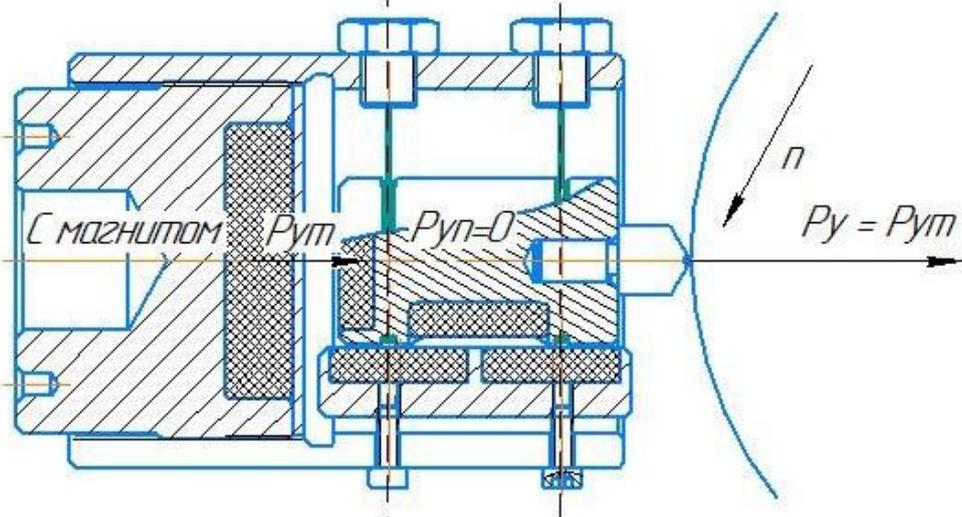
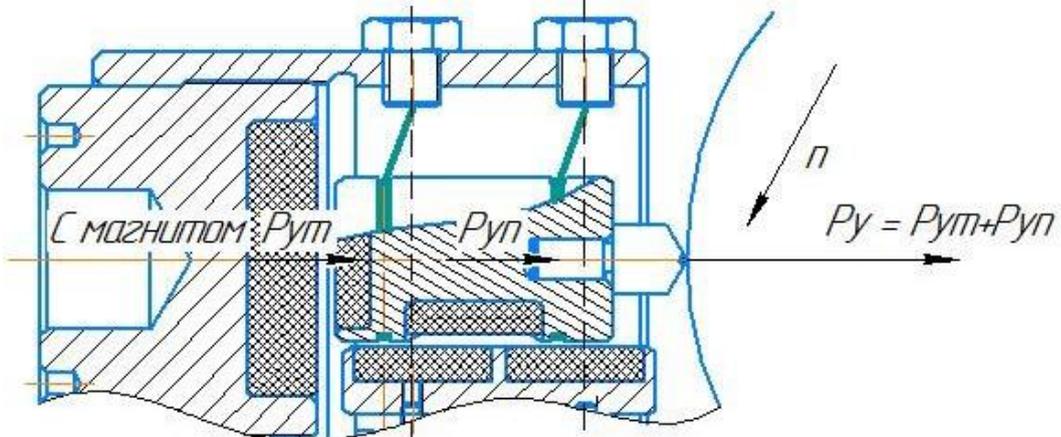
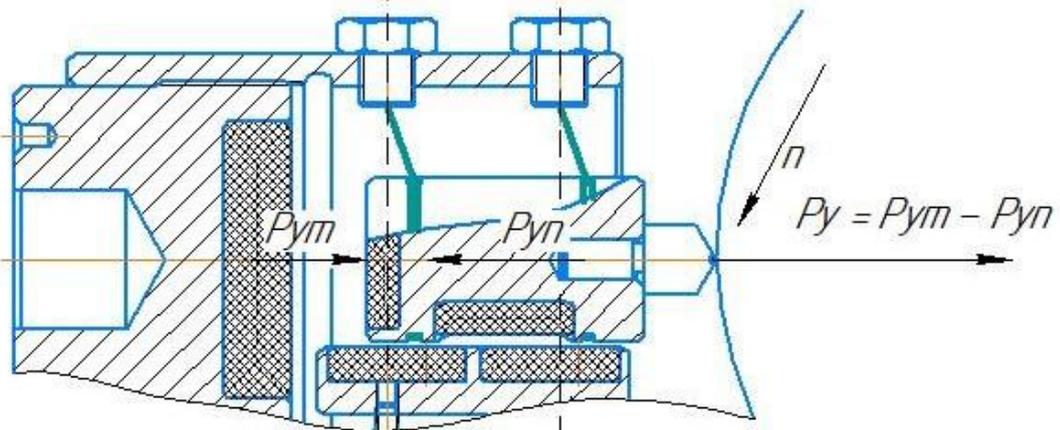
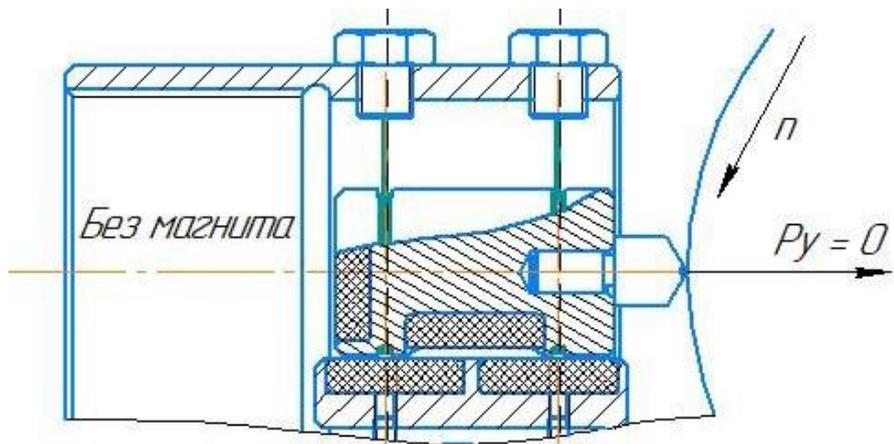


Рисунок 20. Установка и протачивание заготовки.

Для достижения цели данной диссертации нам необходимо провести ряд экспериментов которые помогут нам провести исследование силовых зависимостей возникающих при выглаживании. Эксперименты проводились следующим образом:

1. Анализировался литературный обзор про алмазное выглаживание в целом.
2. Ознакамливались с динамометрической установкой Kistler.
3. Ознакомливались с токарным станком KHNUTH.
4. Подготавливали рабочие части заготовки по эскизу.
5. На станке производилась замена резцедержателя на динамометр.
6. Производилось подключение динамометрической установки с ПК.
7. Настраивались необходимые параметры на усилителе Kistler и в самой программе на компьютере.
8. Проводили пробные замеры без выглаживания, что бы увидеть показания динамометра на шумы идущие от станка. Результаты данного пробного испытания изложены на графиках.( )
9. Проводили ряд экспериментов с выполнением выглаживания образца.

Выглаживали с магнитом и без, а так же выполнили условия в котором при выглаживании измеряли усилие воздействия самого магнита, без дополнительного усилия натяжения создаваемого пружинами и натяжением лески. Принцип данного условия схематично изобразен на рисунке ( 21 )



### 3.1. Таррировка оправки для алмазного выглаживания на магнитной подвеске.

После изготовления необходимо про тарировать оправку для определения силы относительно перемещения задней опоры магнита.

Таррировка проводилась по следующим условиям:

1. Закручиваем магнит до упора, тем самым делаем силу усилия алмаза максимальным.
2. Подводим выглаживатель до упора с заготовкой, доводим оправку до тех пор пока тросы выпрямятся в вертикальном положении, тем самым мы делаем усилие троса и пружин = 0. И можем замерить воздействие магнита.
3. Далее будем выкручивать заднюю пятку с магнитом с периодом 1 оборот (1,5 мм) и замерять силу.

Результаты испытания показаны на графике 1.

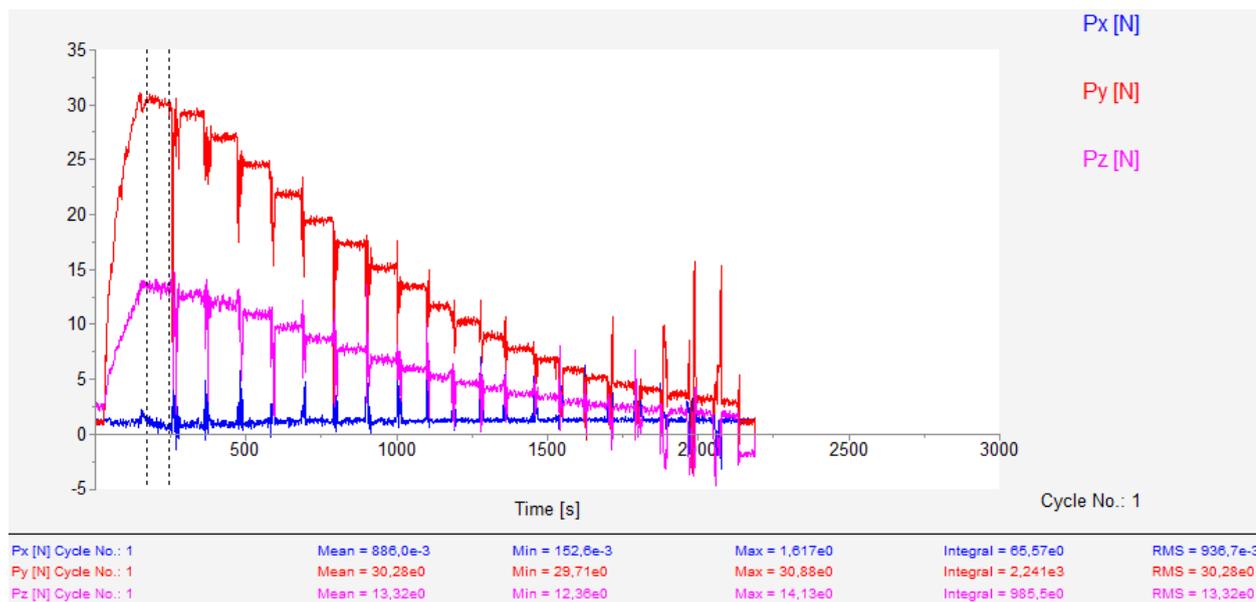


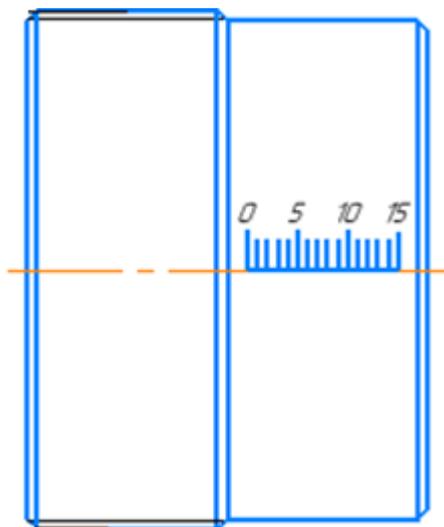
График 1.

На сколько откручен магнит, относительно полного закручивания, оборот.	Сила Py, Нм.	Примечание
Магнит закручен полностью,		

начало координат нашего эксперимента	30,28	Руп =0
1	29,2	
2	27,8	
3	24,7	
4	22,2	
5	19,1	
6	17,4	
7	15,6	
8	13,4	
9	11,7	
10	10,6	
11	9,4	
12	7,5	
13	6,1	
14	5,4	
15	4,9	
16	4,8	
17	4,7	
18	4,65	
19	4,4	
20	4	
21	0	Нет касания алмаза

После получения значений, нам необходимо нагровировать шкалу с шагом 1,5 мм = шагу резьбы заднего магнитного упора. Данная шкала необходима для упрощения технологии алмазного выглаживания. Зная какое нам необходимо усилие при выглаживании, мы просто закручиваем или выкручиваем заднюю опору магнита

на необходимое количество оборотов, совместив риску на опоре с корпусом магнитной оправки.



При проведении эксперимента были выявленные шумы:

График 2. показывает фон системы(станок выключен) . Среднее показания динамометра 0,942 Нм.

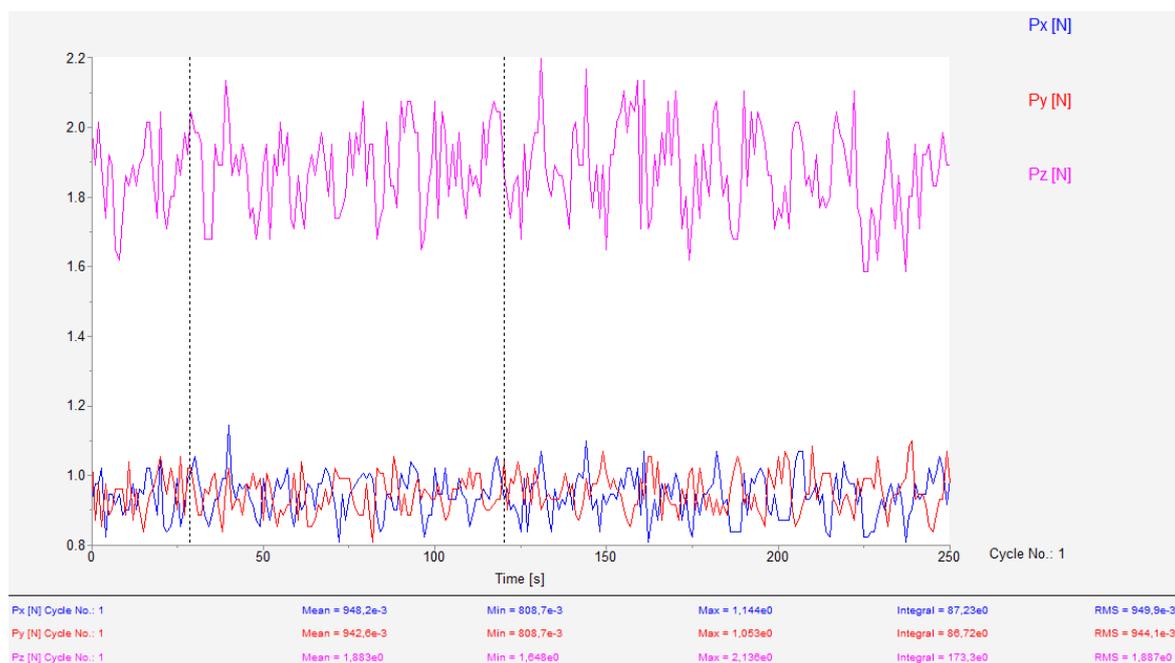


График 2.

График 3 показывает шумы включенного станка с выключенным вращением шпинделя, выключенной подачей. Касание алмаза с заготовкой при данном эксперименте отсутствует. Среднее показание динамометра 1,022 Нм.

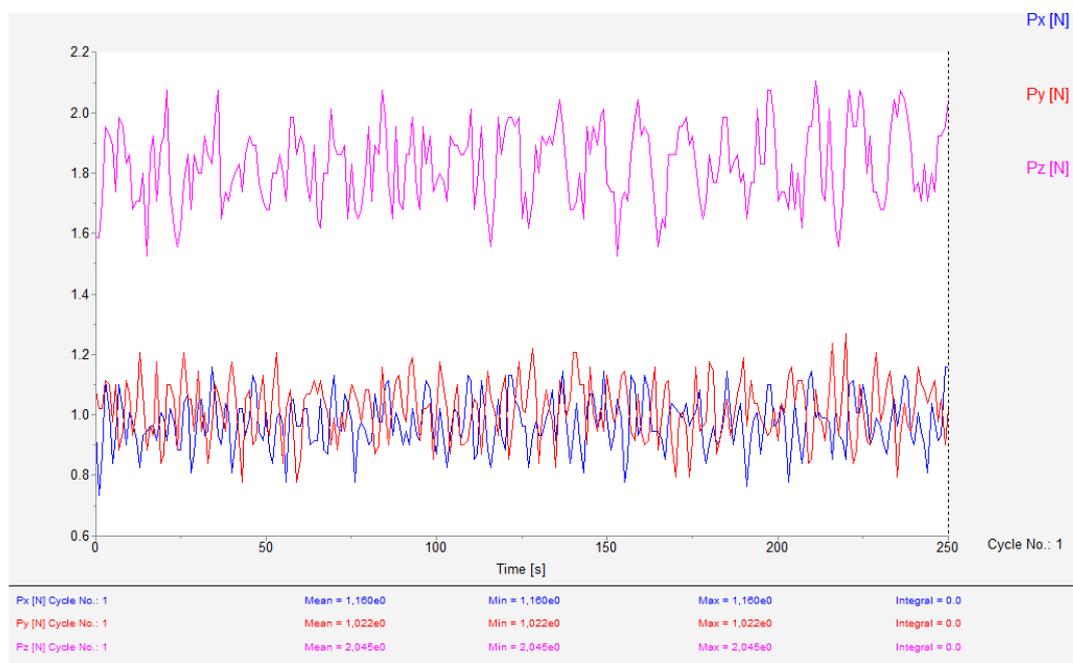


График 3.

График 3 показывает шумы включенного станка с включенным вращением шпинделя, включенной подачей. Касание алмаза с заготовкой при данном эксперименте отсутствует. Среднее показание динамометра 1,144 Нм.

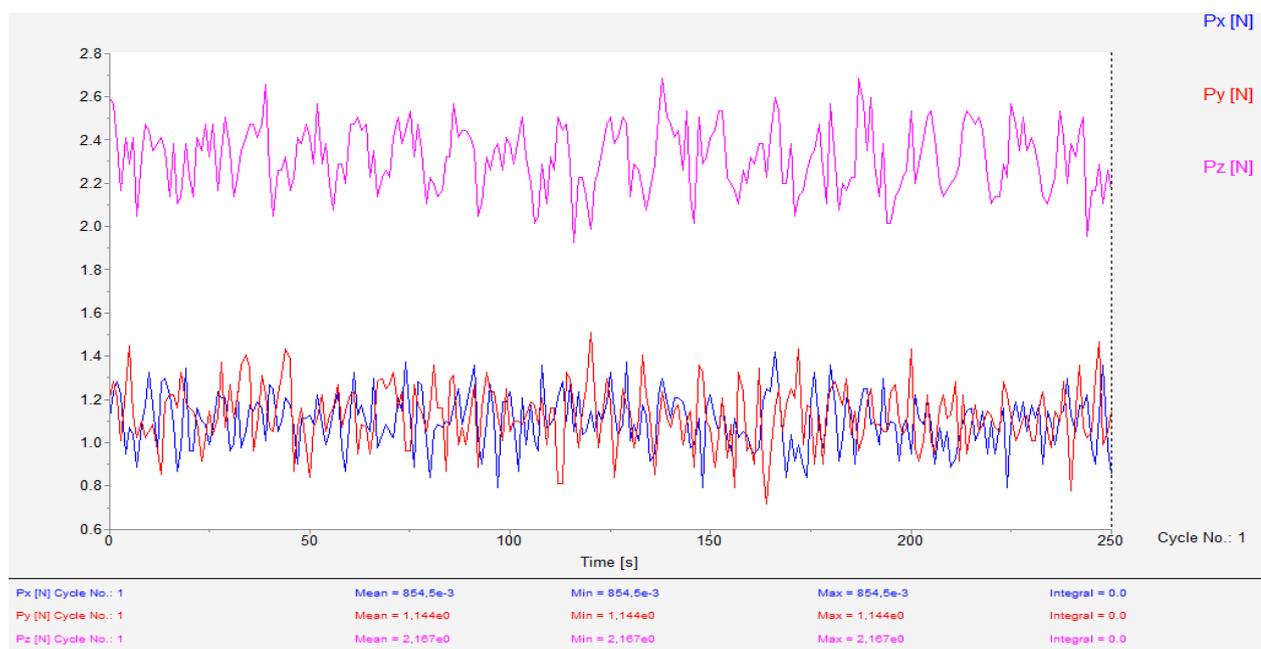


График 4.

Следующий эксперимент проводился выглаживанием заготовки без усилия магнита. Сила выглаживания обеспечивалась упругостью пружин и силой натяжения тросиков. Усилие давления алмаза на заготовку осуществляли перемещением поперечной подачей на 0,5 мм, по нониусу. Результаты испытания показаны на графике 5

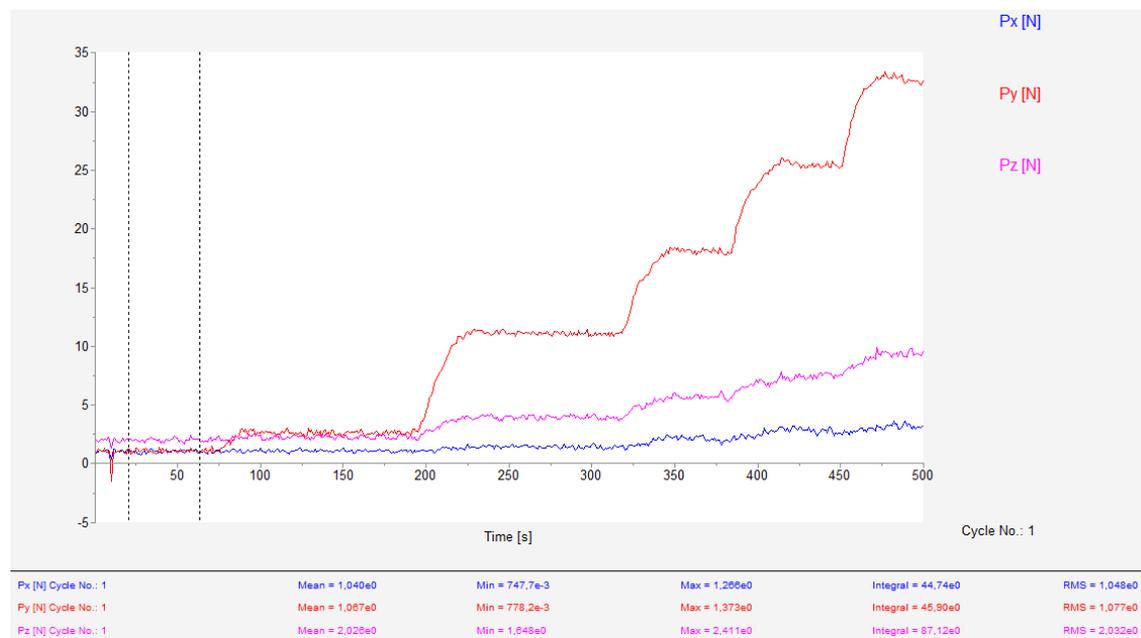


График 5.

Из 5 графика мы видим как изменяется сила выглаживания за счет перемещения ручки нониуса с периодичностью 0,5 мм, эксперимент длился 500 программа секунд, что примерно равняется 50 секундам.

От 0 до 70 программа секунд средняя сила выглаживания = 1,067 Нм при этом периоде времени касания алмаза с заготовкой не происходило. На участке времени с 70 до 190 программа секунд происходило касание, обнулялась система отчета, средняя сила выглаживания = 2,258 Нм.

При перемещения подачи на 0,5 мм средняя сила выглаживания изменилась до = 11,11 Нм. Это отчетливо видно на графике во временном промежутке от 210 до 310 программа секунд.

С 350 до 390 программа секунд видим среднюю силу = 18,12 Нм. Перемещение оправки на 1 мм, относительно начала нашего отчета (начала касания алмаза с заготовкой)

На промежутке от 420 до 450 программа секунд видим среднюю силу = 25,43 Нм. Перемещение оправки на 1,5 мм, относительно начала координат.

На промежутке от 470 до 500 программа секунд видим среднюю силу = 32,78 Нм. Перемещение оправки на 2,0 мм, относительно начала координат.

Проанализировав график делаем вывод по данному эксперименту:

Изменение силы происходит с линейной зависимостью, при перемещении поперечной подачи на 0,5 мм, сила изменялась от 7,09 Нм до 8,52 Нм, среднее изменение силы = 7,65 Нм. Данная сила воздействия алмаза, реализуется усилием натяжения тросиков и силы упругости пружин, без помощи магнитного воздействия.

Следующий эксперимент проводился выглаживанием заготовки с использованием магнита. Перед началом эксперимента мы высчитываем на сколько сила магнитного воздействия выдвигает индентор относительно нуля. У нас получилось значение равное 2 мм. На данном эксперименте мы начнем выглаживать именно с этого значения и дойдем до соприкосновения магнитов, то есть до упругого касания.

Усилие давления алмаза на заготовку осуществляли перемещением поперечной подачей на 0,5 мм, по нониусу. Результаты испытания показаны на

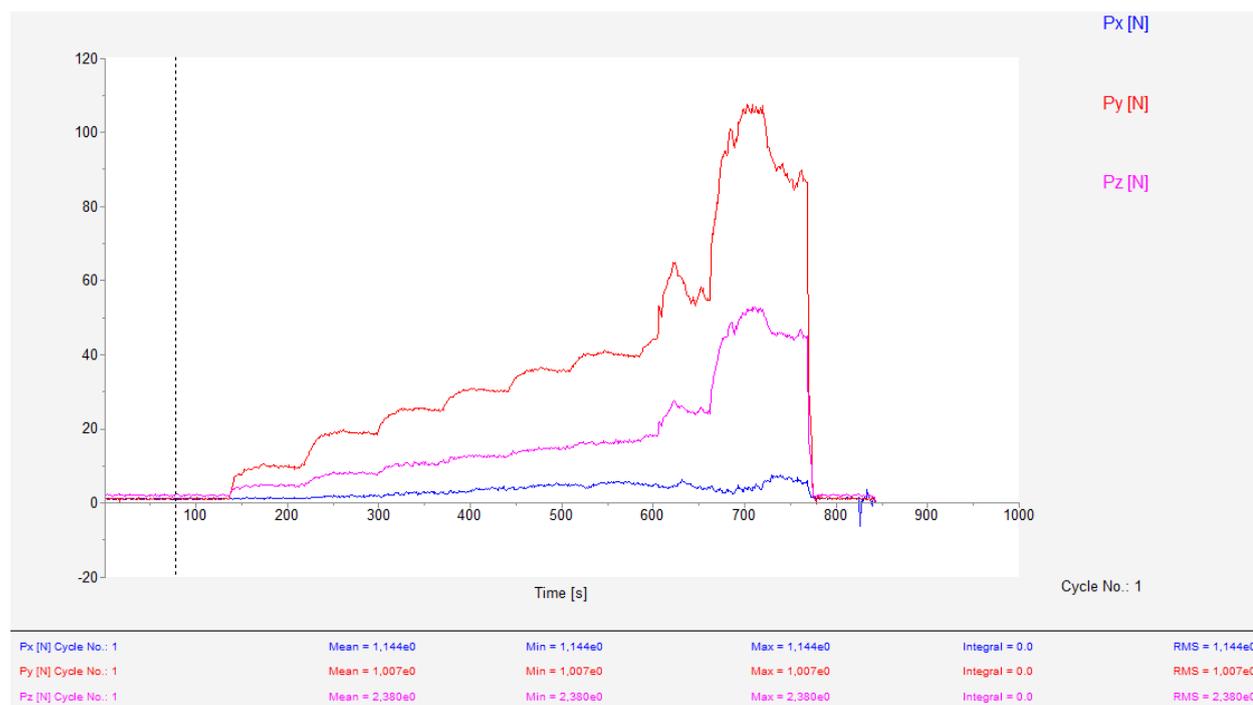


График 6.

Из данного графика мы видим как изменяется сила выглаживания за счет перемещения ручки нониуса с периодичностью 0,5 мм, эксперимент длился 850 программа секунд, что примерно ровняется 85 секундам.

От 0 до 130 программа секунд средняя сила выглаживания = 1,007 Нм при этом периоде времени произошло касания алмаза с заготовкой, без усилия, нашли нуль!

Далее добавляем поперечную подачу по 0,5 мм. На участке времени с 150 до 210 программа секунд средняя сила выглаживания = 9,842 Нм.

При перемещения подачи на 1,0 мм относительно нуля, средняя сила выглаживания изменилась до = 18,95 Нм. Это отчетливо видно на графике во временном промежутке от 230 до 300 программа секунд.

С 320 до 370 программа секунд видим среднюю силу = 25,15 Нм. Перемещение оправки на 1,5 мм, относительно начала нашего отчета (начала касания алмаза с заготовкой)

На промежутке от 390 до 440 программа секунд видим среднюю силу = 30,42 Нм. Перемещение оправки на 2,0 мм, относительно начала координат. При данном положении алмаза усилие подвеса ровняется нулю.

На промежутке от 470 до 510 программа секунд видим среднюю силу = 35,89 Нм. Перемещение оправки на 2,5 мм, относительно начала координат нашего эксперимента.

На промежутке от 530 до 580 программа секунд видим среднюю силу = 40,15 Нм. Перемещение оправки на 3,0 мм, относительно начала координат нашего эксперимента.

На промежутке от 610 до 650 программа секунд видим среднюю силу = 58,81 Нм. Перемещение оправки на 3,5 мм, относительно начала координат нашего эксперимента. На данном участке произошло соприкосновение магнитов и упругое выглаживание, в связи с чем видно по графику не пропорционально высокое увеличение силы. Следующий скачек силы до 110 Нм на промежутке времени от 690 до 780 программа секунд мы не учитываем, так как подвес на этом периоде времени уже не работает.

Проанализировав график делаем вывод по данному эксперименту:

Изменение силы происходит с линейной засимостью, при перемещении поперечной подачи на 0,5 мм, сила изменялась от 9,842 Нм до 4,26 Нм, среднее изменение силы = 6,2Нм. Данная сила воздействия алмаза, реализуется усилием натяжения тросиков и силы упругости пружин, а так же с помощью магнитного воздействия. Из расчета сил и анализа видно, что при воздействия подвеса + магнитного воздействия, силы выглаживания достигаются большей величины, чем на одном подвесе. Однако величина изменения силы получается меньше.

### **Заключение:**

При выполнении магистерской диссертации была спроектирована, изготовлена и испытана оправка для алмазного выглаживания на магнитной подвеске. На испытаниях оправка была протаррирована, а также исследовали силовые зависимости возникающие при выглаживании. Оправка работает исправно, но работает при малых силах, так как силы магнитного воздействия не достаточно для достижения больших усилий. Усилий выдающих оснастку достаточно для выглаживания материалов с малой твердостью к примеру таких как Л63 и Д16.

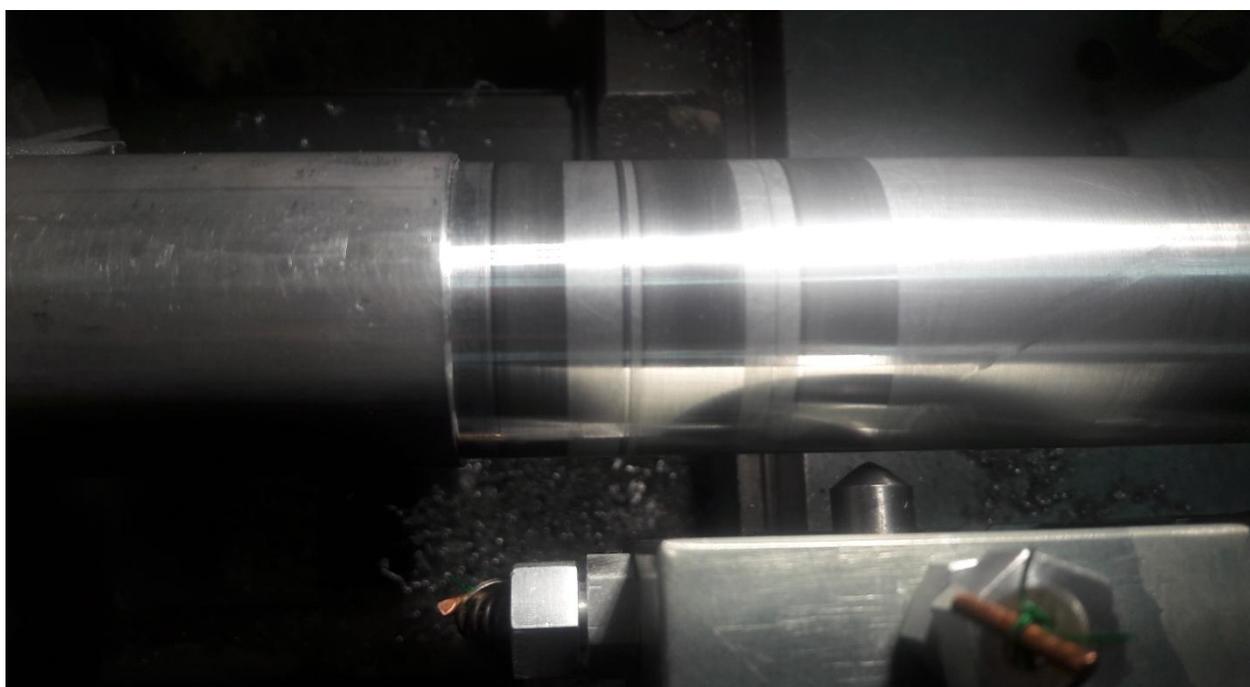


Рисунок 22. Выглаженный образец, блестящие пояски – это выглаженные зоны полученные во время эксперимента.

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

Студенту:

<b>Группа</b> 4АМ92	<b>ФИО</b> Бровкин Глеб Сергеевич		
<b>Школа</b>	ИШНПТ	<b>Отделение</b> Школа	<b>Материаловедения</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистр	<b>Направление/специальность</b>	15.04.01 Машиностроение

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления во внебюджетные фонды 30 %</i>

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

1. <i>Анализ конкурентных технических решений (НИ)</i>	<i>Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ</i>
2. <i>Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)</i>	<i>Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования</i>
3. <i>Составление бюджета инженерного проекта (НИ)</i>	<i>Расчет бюджетной стоимости НИ</i>
4. <i>Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)</i>	<i>Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности.</i>

**Перечень графического материала**

1. *Оценка конкурентоспособности ИР*
2. *Матрица SWOT*
3. *Диаграмма Ганта*
4. *Бюджет НИ*
5. *Основные показатели эффективности НИ*

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	01.02.2021
---	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кащук Ирина Вадимовна	к.т.н доцент		08.02.21

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ92	Бровкин Глеб Сергеевич		08.02.21

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

##### Введение

Основная цель данного раздела – оценить перспективность развития и планировать финансовую и коммерческую ценность конечного продукта, представленного в рамках исследовательской работы. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на следующие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, каков бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала разработки.
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

Целью НИР является разработка конструкции оправки на магнитной подвеске и исследование силовых зависимостей при алмазном выглаживании.

## 4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

### 4.1.1 Анализ конкурентных технических решений

В ходе исследования были рассмотрены две конкурирующие технологии получения оксида кремния:

- 1) Экстрагированием оксида кремния из рисовой шелухи;
- 2) Смешивание кремнийсодержащего материала с фторидом аммония.

Детальный анализ необходим, т.к. каждый тип покрытия имеет свои достоинства и недостатки. В таблице 4.1 показано сравнение разработок-конкурентов и разработки данного НИР с точки зрения технических и экономических критериев оценки эффективности.

Таблица 4.1 – Сравнение конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Актуальность исследования	0,1	5	3	4	0,5	0,3	0,4
2. Эффективность работы	0,14	5	2	3	0,7	0,28	0,42
3. Нагрузка в аппарате	0,18	4	3	3	0,72	0,54	0,54
4. Рабочие параметры аппарата	0,14	4	4	3	0,56	0,56	0,42
5. Простота изготовления	0,05	3	5	4	0,15	0,25	0,2
6. Компактность	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
7. Безопасность	0,08	4	4	4	0,32	0,32	0,32
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Цена сырья	0,12	4	5	3	0,48	0,6	0,36
2. Предполагаемый срок эксплуатации	0,06	4	3	4	0,24	0,18	0,24
3. Финансирование научной разработки конкурентных товаров и разработок	0,08	5	4	4	0,4	0,32	0,32
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>43</b>	<b>38</b>	<b>37</b>	<b>4,3</b>	<b>3,6</b>	<b>3,5</b>

Расчет конкурентоспособности, на примере цены сырья, определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i$$

где  $K$  – конкурентоспособность проекта;  $B_i$  – вес показателя (в долях единицы);  $B_i$  – балл показателя.

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что исследование является наиболее актуальным и перспективным, имеет конкурентоспособность.

### 4.1.2 SWOT-анализ

Для проведения комплексного анализа проекта воспользуемся SWOT-анализом. Он проводится в несколько этапов. На первом этапе определяются сильные и слабые стороны проекта, а также выявляются возможности и угрозы для реализации проекта. Первый этап проведения SWOT-анализа представлен в таблице 4.2.

Таблица 4.2. Матрица SWOT

<p><b>Strengths (сильные стороны)</b></p> <p>С1. Не требуется специализированное оборудование, обработка возможно на универсальных станках.</p> <p>С2. Производительность выше, чем у шлифования и поверхностной закалки.</p> <p>С3. Стоимость поверхностной закалки и шлифования выше, стоимости выглаживания.</p> <p>С4. Упрочнение поверхностного слоя, из-за наклепа.</p> <p>С5. Снижение шероховатости поверхности.</p>	<p><b>Weaknesses (слабые стороны)</b></p> <p>Сл1. Средство алмаза исключает возможность обработки некоторых материалов.</p> <p>Сл2. Низкая степень переналадки.</p> <p>Сл3. Динамометрические</p>
<p><b>Opportunities (возможности)</b></p> <p>В1. Освоение новых материалов индентора, для получения возможности обработки твердого сплава.</p> <p>В2. Создание оснасти, обеспечивающей постоянство качества поверхности.</p> <p>В3. Быстрое внедрение в производство.</p>	<p><b>Threats (угрозы)</b></p> <p>У1. Длительное время технология не получала развития, и для использования метода выглаживания необходимо существенно изменять технологические процессы.</p> <p>У2. Развитие более универсальных методов может привести к потере конкурентного преимущества – производительности.</p>

	УЗ. При переходе на данную технологию у предприятия появятся значительные объёмы не загруженного оборудования.
--	--

После того как сформированы четыре области, переходим ко второму этапу, на котором необходимо выявить соответствия сильных и слабых сторон проекта внешним условиям окружающей среды. Для этого в рамках данного этапа строится интерактивная матрица, при этом каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Интерактивные матрицы представлены в таблицах ниже.

Таблица 4.3. Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и возможности»

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	В1	+	-	-	-	-
	В2	-	-	-	+	+
	В3	+	+	+	-	-

Таблица 4.4. Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и возможности»

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	В1	+	-	-
	В2	-	-	+
	В3	-	+	-

Таблица 4.5. Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и угрозы»

Сильные стороны проекта
-------------------------

Угрозы		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	+	-	-	-	-
	У2	-	+	-	+	+
	У3	-	+	+	-	-

Таблица 4.6. Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и угрозы»

Слабые стороны проекта				
Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	-	+	-
	У2	+	-	+
	У3	-	+	-

На третьем этапе составляется итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 4.7.

Таблица 4.7. Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	С1. Не требуется специализированное оборудование, обработка возможно на универсальных станках.	Сл1. Средство алмаза Исключает возможность обработки некоторых материалов.
	С2. Производительность выше, чем у шлифования и поверхностной закалки. С3. Стоимость поверхностной закалки и шлифования выше, стоимости выглаживания.	Сл2. Низкая степень переналадки. Сл3. Динамометрические оправки не обеспечивают постоянство качества поверхности.
	С4. Упрочнение Поверхностного слоя, из-за наклепа.	
	С5. Снижение шероховатости поверхности.	

	С5. Уменьшение шероховатости поверхности и придание эстетического вида	
<b>Возможности:</b> В1. Освоение новых материалов индентора, для получения возможности обработки твердого сплава	В1С1	В1Сл1
В2. Создание оснасти, Обеспечивающей постоянство качества поверхности.	В2С4С5	В2Сл3
В3. Быстрое внедрение в производство.	В3С1С2С3	В3Сл2
<b>Угрозы:</b>		
У1. Длительное время технология не получала развития, и для использования метода Выглаживания необходимо существенно изменять технологические процессы.	У1С1	У1Сл2
У2. Развитие более универсальных методов может привести к потере конкурентного преимущества производительности.	У2С2С4С5	У2Сл1Сл3
У3. При переходе на данную технологию у предприятия появятся значительные объёмы не загруженного оборудования	У3С2С3	У3Сл2

В результате SWOT-анализа показано, что несмотря на снижение стоимости разработок конкурентов, поверхности обработанные методом алмазного выглаживания, обладают лучшими механическими свойствами и является более привлекательными на мировом рынке.

## 4.2 Планирование научно-исследовательских работ

### 4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение количества исполнителей для каждой из работ;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления.

Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Порядок этапов работ и распределение исполнителей для данной научно-исследовательской работы, приведен в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Научный руководитель
	2	Календарное планирование выполнения НИР	Инженер, научный руководитель
Выбор способа решения поставленной задачи	3	Обзор научной литературы	Инженер
	4	Выбор методов исследования	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование эксперимента	Инженер, научный руководитель
	6	Подготовка образцов для эксперимента	Инженер
	7	Проведение эксперимента	Инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Обработка полученных данных	Инженер
	9	Оценка правильности полученных результатов	Инженер, Научный руководитель
Оформление отчета по НИР	10	Составление пояснительной записки	Инженер

#### 4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

При проведении научных исследований основную часть стоимости разработки составляют трудовые затраты, поэтому определение трудоемкости проводимых работ является важным этапом составления бюджета.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости использована следующая формула:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5}, \quad (4.1)$$

где  $t_{\text{ож}i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, человеко-дни;

$t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, человеко-дни;

$t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, человеко-дни.

Зная величину ожидаемой трудоемкости, можно определить продолжительность каждой  $i$ -ой работы в рабочих днях  $T_{pi}$ , при этом учитывается параллельность выполнения работ разными исполнителями. Данный расчёт позволяет определить величину заработной платы.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожіi}}{Ч_i}, \quad (4.2)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, рабочие дни;

$t_{ожіi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни;

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой (4.3):

$$T_{ki.инж} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (4.3)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$  – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{кал.инж} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48 \quad (4.4)$$

где  $T_{кал}$  – общее количество календарных дней в году;  $T_{вых}$  – общее количество выходных дней в году;  $T_{пр}$  – общее количество праздничных дней в году.

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ			Длительность работ в рабочих днях	Длительность работ в календарных днях
	$t_{\min}$ , чел-дни	$t_{\max}$ , чел-дни	$t_{ожіi}$ , чел-дни		



№	Вид работ	Исп	$T_{ki}$ кал. дн.	Продолжительность работ											
				февр			март			апр			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
5	Планирование эксперимента	Исп1 Исп2	10			■									
6	Подготовка образцов для эксперимента	Исп2	9				■								
7	Проведение эксперимента	Исп2	18					■	■						
8	Обработка полученных данных	Исп2	18							■	■				
9	Оценка правильности полученных результатов	Исп1 Исп2	6									■			
10	Составление пояснительной записки	Исп2	13										■	■	

Примечание:

■ – Исп. 1 (научный руководитель), ■ – Исп. 2 (инженер)

### 4.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования учитывались все виды расходов, связанных с его выполнением. В этой работе использовать следующую группировку затрат по следующим статьям:

- материальные затраты научно-исследовательской работы (НИР);
- затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы НИР.

#### 4.3.1 Расчет материальных затрат научно – технического исследования

Материальные затраты — это затраты организации на приобретение сырья и материалов для создания готовой продукции.

Данная часть включает затрат всех материалов, используемых для получения оксида кремния методом выщелачивания. Результаты расчета затрат представлены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Затраты для получения оксида кремния

Наименование статей	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Итого затраты, руб.
Зола	кг	100	2000	200 000
Щелочь	кг	400	80	32 000
Вода	л	500	42	21 000

СИЗ	шт	2	10000	20 000
<b>Итого:</b>				273 000

#### 4.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

Расчет сводится к определению амортизационных отчислений, так как оборудование было приобретено до начала выполнения данной работы и эксплуатировалось ранее, поэтому при расчете затрат на оборудовании учитываем только рабочие дни по данной теме.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации: рассчитывается по формуле:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (4.5)$$

где  $n$  – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m, \quad (4.6)$$

$$A = \frac{7 \cdot 3500000}{12} \cdot 0,16 = 326700 \text{ руб.}$$

где  $I$  – итоговая сумма, тыс. руб.;  $m$  – время использования, мес.

Таблица 4.12 – Затраты на оборудование

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во ед.	Срок полезного использования, лет	Время использования, мес.	$H_A, \%$	Цена оборудования, руб.	Амортизация
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Динамометр Kistler	1	15	0,16	7	3 500 000	3267,00
2	Компьютер	1	20	3	5	50 000	625
<b>Итого:</b>						3892 руб.	

#### 4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата  $Z_{осн}$  одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (4.7)$$

где  $Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата, руб.;  $T_p$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (таблица 4.9).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{51285 \cdot 10,3}{246} = 2147,3 \text{ руб.}, \quad (4.8)$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;  $F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней;  $M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

- при отпуске в 28 раб. дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная рабочая неделя;
- при отпуске в 56 раб. дней  $M = 10,3$  месяца, 6-дневная рабочая неделя.

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.} \quad (4.9)$$

Должностной оклад работника за месяц:

- для руководителя:

$$Z_m = Z_{мс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) k_p = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.} \quad (4.10)$$

- для инженера:

$$Z_m = Z_{мс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.}, \quad (4.11)$$

где  $Z_{мс}$  – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.;  $k_{пр}$  – премиальный коэффициент, равен 0,3;  $k_d$  – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2;  $k_p$  – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 4.13 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	52/14	104/14
- выходные дни		
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	48/5	24/10
- отпуск		
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	213

Таблица 4.14 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИР	$Z_{мс}, руб$	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$Z_{м}, руб$	$Z_{дн}, руб$	$T_p, раб.дн.$	$Z_{осн}, руб$
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2147,3	10,2	21902,5
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	64	111558,4
Итого:								133460,9

#### 4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}$$

$$Z_{доп} = 0,15 \cdot 21902,5 = 3285,4 \quad (4.12)$$

– для инженера:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}$$

$$Z_{доп} = 0,15 \cdot 111558,4 = 16733,8 \quad (4.13)$$

где  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15)

#### 4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{внеб} = k_{внеб}(Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,3 \cdot (21902,5 + 3285,4) = 7556,4 руб. \quad (4.14)$$

– для инженера:

$$Z_{внеб} = k_{внеб}(Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,3 \cdot (111558,4 + 16733,8) = 38487,7 руб. \quad (4.15)$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2021 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

#### 4.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

Величина накладных расходов определяется по формуле

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{пр} \quad (4.16)$$

где  $k_{пр}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величина коэффициента принимается равной 0,16.

#### 4.3.7 Бюджетная стоимость НИР

Таблица 4.15 – Группировка затрат по статьям

Статьи							
1	2	3	4	5	6	7	8
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Стоимость бюджета
3892	273000	133460,9	20019,2	46044,1	475416,2	76226,59	551642,79

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется бюджет НИР для разработки технологии получения оксида кремния из золошлаковых отходов ТЭЦ по форме, приведенной в таблице 4.16. В таблице также представлено определение бюджета затрат двух конкурирующих научно-исследовательских проектов.

Таблица 4.16 – Группировка затрат по статьям

№	Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
		Текущий Проект	Исп.2	Исп.3	
1	Материальные затраты НИР	273000	280000	283000	Пункт 4.2.3.1
2	Амортизация	3892	456900	672000	Пункт 4.2.3.2
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	133460,9	148391	148391	Пункт 4.2.3.3
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	20019,2	22258,7	22258,7	Пункт 4.2.3.3
5	Отчисления во внебюджетные фонды	46044,1	51194,9	51194,9	Пункт 4.2.3.4
6	Накладные расходы	75226,59	49776,6	49776,6	Пункт 4.2.3.5
Бюджет затрат НИР		551642,79	1008521,2	1226621,2	Сумма ст. 1- 6

Где:

Исп.2 – Аналог 1

Исп.3- Аналог 2

#### 4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Для определения эффективности исследования рассчитан интегральный показатель эффективности научного исследования путем определения интегральных показателей финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

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

В качестве аналогов НИР рассмотрены:

- 1) Экстрагированием оксида кремния из рисовой шелухи;
- 2) Смешивание кремнийсодержащего материала с фторидом аммония.

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{ri}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (4.17)$$

где  $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{ri}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения.

$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 551642,79$  руб,  $\Phi_{\text{исп.1}} = 1008521,2$  руб,  $\Phi_{\text{исп.2}} = 1226621,2$  руб.

#### Вывод

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

1. Результатом анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации НИР как наиболее подходящего и оптимального по сравнению с другими.

2. В ходе планирования для руководителя и инженера был разработан график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей. Определено следующее: общее количество дней для выполнения работ составляет 100 дней; общее количество дней, в течение которых работал инженер, составляет 96 дней; общее количество дней, в течение которых работал руководитель, составляет 15 дней;

3. Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 551642,79 руб;

4. Результат оценки эффективности ИР показывает следующие выводы:

1) значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,45 что является показателем того, что ИР является финансово выгодной по сравнению с аналогами;

2) значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,65, по сравнению с 3,8 и 4,05;

3) значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 4,74, по сравнению с 3,84 и 4,05, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4АМ92	Бровкин Глеб Сергеевич

<b>Школа</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделение</b>	Материаловедение
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	150401/Машиностроение

**Тема дипломной работы: «Разработка конструкции оправки на магнитной подвеске и исследование силовых зависимостей при алмазном выглаживании».**

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

1. Характеристика объекта исследования и области его применения	Объектом исследования является оправка на магнитной подвеске, разработка и исследования которой проводились в 16 корпусе с использованием станков и необходимого оборудования.
---	--

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

1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 1.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные факторы: Повышенный уровень шума на рабочем месте Повышенный уровень вибрации Недостаточная освещенность рабочей зоны Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны. Опасные факторы: Подвижные части производственного оборудования Опасность поражения электрическим током
2. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: -Специальные правовые нормы трудового законодательства;(характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) -Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N197-ФЗ. (ред. от 27.12.2018); ГОСТ 12.2.032-78; ГОСТ 21889-76; ГОСТ 22269-76; ГОСТ 21958-76.
3. Экологическая безопасность	Влияние деятельности на ОС: атмосферу, гидросферу и литосферу.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	Возможные ЧС: наводнение , ураганы, лесные пожары, возгорания ГСМ, нефтегазоводопрооявления на скважине и т.п Наиболее типичная ЧС: сильные морозы

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	09.03.2021
---	------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Старший преподаватель	Скачкова Л.А.	-		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
4АМ92	Бровкин Глеб Сергеевич		

## **5. Социальная ответственность**

### **Введение.**

В данном разделе рассмотрены вопросы, связанные с организацией рабочего места инженера-технолога в соответствии с нормами производственной санитарии, техники производственной безопасности и охраны окружающей среды.

Вопросы производственной и экологической безопасности рассматриваются на основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований по эффективности высокоскоростных стратегий при удалении значительных объемов материала в сравнении с классическими методами и условия их применения. Все исследования связанные с данной работой производились на базе ООО «Промышленная механика». В ходе экспериментальных исследований использовался 3х- координатный фрезерный станок с ЧПУ Haas VF1 и динамометр Kistler 9257B. Полученные результаты эксперимента обрабатывались на ПК.

Производственная среда, организация рабочего места должны соответствовать общепринятым и специальным требованиям техники безопасности, эргономики, нормам санитарии, экологической и пожарной санитарии.

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

#### **5.1.1. Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.**

Режим рабочего времени.

В данном разделе рассмотрим режим рабочего времени токаря, занимающегося алмазным выглаживанием.

Режим рабочего времени должен предусматривать продолжительность рабочей недели (пятидневная с двумя выходными днями), продолжительность ежедневной работы (смены), время начала и окончания работы, время перерывов в работе, чередование рабочих и нерабочих дней, которые устанавливаются правилами внутреннего трудового распорядка в соответствии с трудовым законодательством и иными нормативными правовыми актами, содержащими нормы трудового права, коллективным договором, соглашениями, а для работников, режим рабочего времени которых отличается от общих правил, установленных у данного работодателя, -

трудовым договором согласно трудового кодекса Российской Федерации от 30.12.2001 N197-ФЗ. (ред. от 27.12.2018).

### **Оплата и нормирование труда.**

В данном разделе рассмотрим оплату и нормирование труда сборщика, собирающего кожух.

Базовый оклад (базовый должностной оклад), осуществляющего профессиональную деятельность по профессии рабочего, входящим в соответствующую профессиональную квалификационную группу, без учета компенсационных, стимулирующих и социальных выплат.

В соответствии с коллективным договором или трудовым договором по письменному заявлению работника оплата труда может производиться и в иных формах, не противоречащих законодательству Российской Федерации и международным договорам Российской Федерации. Доля заработной платы, выплачиваемой в неденежной форме, не может превышать 20 процентов от начисленной месячной заработной платы.

Заработная плата работника зависит от его квалификации, сложности выполняемой работы, количества и качества затраченного труда и максимальным размером не ограничивается, за исключением случаев, предусмотренных настоящим Кодексом.

### **Виды компенсаций при работе во вредных условиях труда**

У сборщика присутствует вредный фактор «шумы», которые исходят от прессов, находящихся рядом с ним. За это полагаются следующие компенсации:

- Ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск в со ст. 117 трудового кодекса РФ.
- Сокращенная продолжительность рабочего времени в со ст. 92 трудового кодекса РФ.
- Повышение оплаты труда в со ст. 147 трудового кодекса РФ.
- Досрочное назначение трудовой пенсии в со ст. 27 и 27.1 трудового кодекса РФ.

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

Рабочее место должно обеспечивать возможность удобного выполнения работ в положении сидя или стоя или в положении и сидя, и стоя. При выборе положения работающего необходимо учитывать:

- физическую тяжесть работ;
- размеры рабочей зоны и необходимости передвижения в ней работающего в процессе выполнения работ;
- технологические особенности процесса выполнения работ.

Рабочее место при выполнении работ в положении сидя должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78, в положении стоя – ГОСТ 12.2.033. – 78.

## 5.2. Производственная безопасность.

### 5.2.1. Анализ вредных и опасных производственных факторов

Работа производилась на 3х-координатном фрезерном станке, при работе на котором существует ряд вредных и опасных производственных факторов.

Таблица 1 – возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ					Нормативные документы
	Разрабо тка	Изготов ление	Эксплу тация			
1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+			СанПин 2.2.4.548-96
2. Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	+			СНиП 23-05-95
3. Недостаточная освещенность рабочей зоны		+	+			СП 52.13330.2016
4. Превышение уровня шума		+	+			СанПин 2.2.4.3359-16

В работе был задействован станок:

- 1) 3х-координатный фрезерный станок с ЧПУ Haas VF1.

Для работы на станке существует своя типовая инструкция по охране труда:

- ТОО Р-15-050-97 «Типовая инструкция по охране труда для станочников металлообрабатывающих станков (токарные, фрезерные, сверлильные, строгальные, шлифовальные, заточные станки)».

Обработка металлов может сопровождаться наличием ряда вредных и опасных производственных факторов, в том числе:

- электрический ток;
- абразивная пыль, мелкая стружка и аэрозоли смазочно-охлаждающей жидкости;
- отлетающие кусочки металла, абразивного материала;
- высокая температура поверхности обрабатываемых деталей и инструмента;
- повышенный уровень вибрации;
- движущиеся машины и механизмы, передвигающиеся изделия, заготовки и материалы;
- недостаточная освещенность рабочей зоны, наличие прямой и отраженной блескости, повышенная пульсация светового потока.

Кроме того, в ходе выполнения данного проекта большое количество времени работе велась с использованием ПЭВМ и станков с ЧПУ, в которые так же встроены ЭВМ. Для работы с данным оборудованием существует следующая типовая инструкция: ТОО Р 01-00-01-96 «Типовая инструкция по охране труда для операторов и пользователей персональных электронно-вычислительных машин (ПЭВМ) и работников, занятых эксплуатацией ПЭВМ и видеодисплейных терминалов (ВДТ)». Работа оператора ПЭВМ относится к категории работ, связанных с опасными и вредными условиями труда. В процессе труда на оператора ПЭВМ оказывают действие следующие опасные и вредные производственные факторы:

1) физические:

- повышенные уровни электромагнитного излучения;

- повышенные уровни рентгеновского излучения;
- повышенные уровни ультрафиолетового излучения;
- повышенный уровень инфракрасного излучения;
- повышенный уровень статического электричества;
- повышенные уровни запыленности воздуха рабочей зоны;
- повышенное содержание положительных аэроионов в воздухе

рабочей зоны;

- пониженное содержание отрицательных аэроионов в воздухе

рабочей зоны;

- пониженная или повышенная влажность воздуха рабочей зоны;
- пониженная или повышенная подвижность воздуха рабочей

зоны;

- повышенный уровень шума;
- повышенный или пониженный уровень освещенности;
- повышенный уровень прямой блескости;
- повышенный уровень отраженной блескости;
- повышенный уровень ослепленности;
- неравномерность распределения яркости в поле зрения;
- повышенная яркость светового изображения;
- повышенный уровень пульсации светового потока;
- повышенное значение напряжения в электрической цепи,

замыкание которой может произойти через тело человека;

2) химические:

- повышенное содержание в воздухе рабочей зоны двуокиси углерода, озона, аммиака, фенола, формальдегида и полихлорированных бифенилов;

3) психофизиологические:

- напряжение зрения;
- напряжение внимания;
- интеллектуальные нагрузки;
- эмоциональные нагрузки;
- длительные статические нагрузки;
- монотонность труда;
- большой объем информации обрабатываемой в единицу времени;
- нерациональная организация рабочего места;

4) биологические:

- повышенное содержание в воздухе рабочей зоны микроорганизмов.

Таким образом, в ходе выполнения данного проекта имело место большое количество опасных и вредных производственных факторов.

### **5.3. Экологическая безопасность.**

Охрана окружающей среды – это комплексная проблема и наиболее активная форма её решения – это сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства. Охрану природы можно представить как комплекс государственных, международных и общественных мероприятий, направленных на рациональное использование природы, восстановление, улучшение и охрану природных ресурсов.

Технический прогресс постоянно увеличивает возможности воздействия на окружающую среду и создает предпосылки для возникновения экологических кризисов. Поэтому в настоящее время вопросы охраны

окружающей среды и рационального использования природных ресурсов имеют первостепенное значение.

Данная магистерская работа не представляет опасности для экологической обстановки, поскольку отсутствует использование токсичных материалов. Все операции являются сугубо механическими, без выделения вредных газов и веществ, однако, в процессе металлообработки снимается слой металлической стружки, которая должна правильно утилизироваться для переработки (переплавки). Стружку необходимо разделить на цветной и черный лом, спрессовать, упаковать и отправить на переплавку. Ртутные лампы сдать в соответствующую фирму на утилизацию. Смазочно-охлаждающую жидкость фильтровать и вернуть в цикл, взвеси собрать и сдать в строительную или дорожную промышленность в качестве инертного материала.

### **5.3.1. Защита атмосферы**

Ограниченные размеры атмосферы делают ее весьма чувствительной к локальному, региональному и глобальному загрязнению. В реальных (производственных, городских, региональных и т.п.) условиях атмосферный воздух практически всегда оказывается одновременно загрязненным несколькими веществами. Средства защиты атмосферного воздуха от выбросов включают: очистку выбросов от примесей в специальных аппаратах, таких как циклоны, обеспечивающие улавливание частиц крупнее 5 мкм с эффективностью до 0,95, рукавные фильтры - улавливание частиц крупнее 0,1 мкм с эффективностью до 0,999, и устройства перед поступлением газов в атмосферу; рассеивание очищенных выбросов в атмосферном воздухе. Так как эксперименты проводились не в производственных масштабах, выбросы порошков металлов в атмосферу незначительны. В следствии чего, в лаборатории не требуются специальные очистительные фильтры.

### **5.3.2. Защита гидросферы**

Проникновение в гидросферу обусловлено обслуживанием установки,

ее мойки, и так же мойки рук. Для минимизации попадания лаборатория должна быть оборудована отстойниками, в которых порошок будет происходить коагуляция и седиментация. Для создания замкнутых систем водоснабжения промышленные сточные воды подвергаются очистке механическими, химическими, физико-химическими, биологическими и термическими методами до необходимого качества. Для очистки сточных вод от органических растворителей используют методы экстракции, ректификации, абсорбция, обратный осмос и ультрафильтрация и др.

### **5.3.3. Защита литосферы**

Утилизация отходов должна осуществляться в соответствии с "Санитарными правилами порядка накопления, транспортирования, обезвреживания и захоронения токсичных промышленных отходов" (N 8180-84 от 28.12.84). Твердые отходы, а также порошковые системы собираются в специальные сборники и увозятся для уничтожения.

#### **5.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Чрезвычайная ситуация – это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Лаборатория находится в городе Томск с резко-континентальным климатом. Природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т.д.) в данном городе отсутствуют. Возможными ЧС могут быть: природного характера – сильные морозы, техногенного характера – шпионаж, диверсия.

Критически низкие температуры могут привести к авариям систем теплоснабжения и жизнеобеспечения, приостановке работы, обморожениям и даже жертвам среди населения. В случае заморозки труб в лаборатории предусмотрены запасные электрообогреватели. Электропитание для обогревателей обеспечивает генератор. Данное оборудование хранится на складе и их техническое состояние постоянно проверяется.

ЧС, возникающие в результате диверсий, возникают все чаще.

Зачастую такие угрозы оказываются ложными, однако, работы в данном случае все равно прекращаются. Для предупреждения вероятности осуществления диверсии предприятие необходимо оборудовать системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи, а также исключения распространения информации о системе охраны объекта, расположений помещений и оборудования в помещениях, сигнализаторах, их местах установки и количестве. Должностные лица обязаны раз в полгода проводить тренировки по отработке действий на случай ЧС.

## Заключение

В данной части работы были рассмотрены опасные и вредные факторы, влияющие на здоровье, самочувствие работающего и безопасность труда. Были разработаны мероприятия по защите от них. Большинство опасных и вредных факторов удалось устранить или значительно снизить их негативное влияние.

В целом можно отметить, что условия труда в рассматриваемой лаборатории являются достаточно комфортными и безопасными, что способствует снижению показателей травматизма, а также благоприятствует повышению производительности труда.

### Список литературы.

1. Давыдов, Борис Ильич. Биологическое действие, нормирование и защита от электромагнитных излучений / Б. И. Давыдов, В. С. Тихончук, В. В. Антипов. — Москва: Энергоатомиздат, 1984. — 177 с.: ил.: 21 см.
2. Грачёв, Николай Николаевич. Защита человека от опасных излучений / Н. Н. Грачёв, Л. О. Мырова. — Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005. — 317 с.: ил. — Библиогр.: с. 316-317.
3. Максименко, Георгий Тарасович. Техника безопасности при применении пожароопасных, взрывоопасных и токсичных материалов / Г. Т. Максименко, В. М. Покровский. — 3-е изд., перераб. и доп. — Киев: Будівельник, 1987. — 150 с.: ил.: 22 см. — Библиогр.: с. 148 (27 назв.).
4. Техника безопасности в электроэнергетических установках : справочное пособие / под ред. П. А. Долина. — Москва: Энергоатомиздат, 1987. — 400 с.: ил.
5. Лесенко, Георгий Георгиевич. Безопасность труда в приборостроении / Г. Г. Лесенко, Ю. И. Борисенко. — Киев: Техника, 1988. — 128 с.: ил. — Техника безопасности. — Библиогр.: с. 127.
6. Экология: учебник / В. И. Коробкин, Л. В. Передельский. — 19-е изд., доп. и перераб. — Ростов-на-Дону: Феникс, 2014. — 603 с.
7. Панин В.Ф., Сечин А.И., Федосова В.Д. Экология для инженера // под ред. проф. В.Ф. Панина. — М.: Изд. Дом «Ноосфера», 2000. — 284 с.  
<http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/simple/document/RU%5CTPU%5Cbook%5C25604>

## Список используемых источников

1. Червач, Юрий Борисович. Выбор оптимальной конструкции силовых элементов оправок для выглаживания [Электронный ресурс] = Selection of optimal design of burnishing tool actuators for diamond smoothing / Ю. Б. Червач, В. А. Мезенцев // Справочник. Инженерный журнал с приложением. — 2015. — № 7. — [С. 11-15].
2. Магомедов А. Интегрированный конечно-элементный анализ в Компас 3D [Электронный ресурс] /А. Магомедов, А. Алехин // Журнал «САПР и графика» – М., 2011. - №1.
3. Евсин Е.А. Исследование возможности оптимизации инструмента для алмазного выглаживания / Е.А. Евсин // Совершенствование процесса абразивно-алмазной и упрочняющей технологии в машиностроении: сб. ст. Пермь: Перм. политехн. ин-т, 1983. С. 63-70.
4. Клепиков В.В. Технологические процессы алмазного выглаживания: учеб. для вузов / В.В. Клепиков, А.Н. Бодров. М.: Высшая школа, 2006. 320 с.
5. Горгоц В.Г. Теоретический анализ динамики процесса алмазного выглаживания поверхностей деталей методом фазовой плоскости / В.Г. Горгоц, В.П. Кузнецов // Технология машиностроения. 2006. № 11. С. 18-21.
6. Донсков А.С. Исследование контактной зоны деформации при выглаживании инструментом произвольной формы / А.С. Донсков // Совершенствование процессов абразивно-алмазной и упрочняющей технологии в машиностроении: сб. ст. Пермь: Перм. политехн. ин-т, 1983. С. 36-45.
7. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием: справочник / Л. Г. Одинцов. — М.: Машиностроение, 1987.
8. О технологических возможностях и эффективности процесса алмазного выглаживания / Л. А. Хворостухин, Н. Н. Ильин // Научные принципы управления качеством поверхностного слоя при механической обработке. — 1977. — № 5. — С. 170-174.
9. Повышение износостойкости деталей алмазным выглаживанием / Л. А. Хворостухин, А. С. Чабан // Вестник машиностроения: научно-технический и производственный журнал / Орган Госкомитета Совета Министров СССР по науке и технике. — 1973. — № 10. — С. 11-19. — ISSN 0042-4633.
10. Щербак А. М. Механические и микромеханические особенности алмазного выглаживания. — В сб.: Алмазы и сверхтвердые материалы, 1979, № 9, с. 8-9.
11. Повышение несущей способности деталей машин алмазным выглаживанием // В.К. Яценко, Г.З. Зайцев, В.Ф. Притченко – М.: Машиностроение, 1985. 232 с., ил.
12. Гурин Ф.В. и Смелянский В.М. Шероховатость и отклонение формы при алмазном выглаживании жестким инструментом. Сб. «Размерно-чистовая и упрочняющая обработка поверхностным деформированием», Минск, АН БССР,

1966 №3.

13. Торбило В.М., Алмазное выглаживание. М., «Машиностроение», 1972, 105 с. Григорьев С.Н., Кохомский М.В., Маслов А.Р. Инструментальная оснастка станков с ЧПУ: Справочник/ Под общ. ред. А.М. Маслова. – М.: Машиностроение, 2006. – 554 с.: ил.

14. Степанова, Т.Ю. Технологии поверхностного упрочнения деталей машин: учебное пособие/ Т.Ю. Степанова; Иван. гос. хим.-технол. ун-т.-Иваново, 2009. - 64с.

15. Влияние шероховатости исходной поверхности на силу алмазного выглаживания Антонюк Ф. И., Калмыков В. В., Федоров В. А./Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2014. № 12. С. 171–180.

# Приложение А

## Diamond burnishing technology overview

### Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM92	Бровкин Глеб Сергеевич		

### Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Червач Ю.Б.	к.т.н.		

### Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Айкина Т.Ю	к.ф.н.		

## Diamond burnishing technology overview

The operational properties of machine parts are largely determined by the quality of their working surfaces. They also depend on processing modes, tool geometry, cutting edge wear, structure and mechanical properties of the material of the part and tool, the presence of cutting fluid, etc. Changing the processing conditions change the surface quality of the part. At the same time, the possibilities of achieving optimal parameters of the surface quality of parts with some processing methods are limited in terms of operating conditions.

As a tool for smoothing, tips made of natural, synthetic diamond or composite polycrystalline material with a working surface in the form of a sphere (Fig. 1), a cone or a cylinder are used. The smoother must have high hardness, low friction and high thermal conductivity.

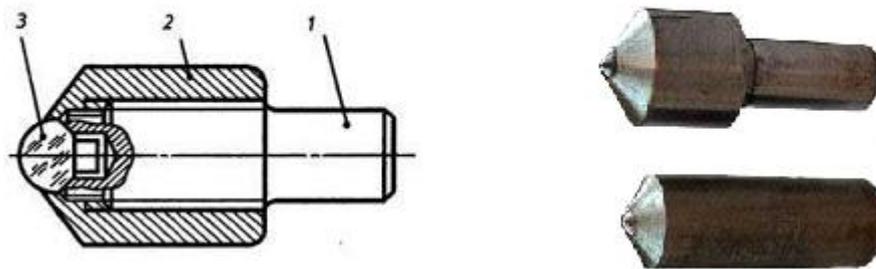


Fig. 1. a) A tip for diamond burnishing: 1 - tip, 2 - tool holder, 3 - diamond crystal; b) Appearance of the handpieces.

Smoothing in most cases is similar to turning. The process takes place under sliding friction conditions. Lubrication and cooling are essential.

Diamond burnishing is a plastic deformation of the surface layers of a part with a tool, the tip, the working part of which is made of artificial diamond and looks like a sphere.

Smoothing is carried out on a lathe, in the tool holder of which a working tool is fixed. During the smoothing process, the tool is pressed against the surface of the rotating part with a force of 100-200 N, which leads to a decrease in roughness and an increase in

wear resistance. With the thermomechanical method, an increase in the durability of parts and an increase in the overall level of strength and other properties is achieved by combining plastic deformation and thermal effects, carried out in a single technological cycle.

Plastic deformation is an intermediate operation. In thermal and chemical-thermal processing of parts, annealing, normalization and tempering are used to relieve internal stresses arising during surfacing, to obtain a homogeneous metal structure. The wear resistance of parts is increased by surface hardening with heating by high-frequency currents. Residual compressive stresses appear on the surface of the hardened layer, which increase the fatigue strength of parts. The use of hardening makes it possible to use relatively inexpensive materials for surfacing and available protective media. To increase the wear resistance of parts, chemical-thermal treatment is also used: carburizing, nitriding, it-carburizing. When choosing a rational method for restoring parts, it is necessary to take into account the size, shape, accuracy of processing parts, material and heat treatment used in the manufacture of parts, the value and nature of wear of the restored surfaces, operating conditions of the part, technological and production capabilities of a car repair company, restoration costs, advantages and disadvantages of restoration methods, etc. Knowledge of these factors makes it possible to use certain methods of restoring parts, classify parts accordingly, and also identify those that can be restored in several ways, which makes it possible to find the most rational one.

Diamond burnishing differs from RPM by rolling only in the design features of the tool used, in which diamond, hexanite or other superhard materials serve as a working element.

The quality of diamond burnishing, i.e. surface roughness, degree of hardening, hardness of the surface layer, is influenced by the radius of the spherical surface of the diamond, the force of pressing the surface against the part, longitudinal feed and the number of passes.

The radius of the diamond is chosen depending on the original surface of the metal from which the part is made. At the same time, for materials with hardness  $HB < 300$ , the diamond radius is 2.5 ... 3.0 mm; at NCE 35 ... 50 - 1.5 ... 2.5 mm and NRCE 50 ... 65 - 1.3 ... 2.0 mm, i.e. with an increase in the surface hardness of the part, the radius of the diamond decreases.

The force of pressing the tool against the part is also of great importance. With an effort less than the optimum, microroughnesses are not completely smoothed, and with a larger surface layer, the surface layer is re-riveted and destroyed.

It was found that the longitudinal feed of the tool depends on the type of material to be hardened. For hardened steels, it is 0.02 ... 0.04 mm / rev., for non-ferrous metals and unhardened steels — 0.03... 0.05 mm / rev. The main condition when choosing a feed is the absence of unreinforced areas on the surface of the parts.

Diamond burnishing is carried out, as a rule, in one pass, since an increase in the number of passes does not significantly change the surface roughness of the part to be hardened. It is 4–6 times higher than the strength (hardness) of hard alloys;  
 $\sigma_B = 11000...16000 \text{ MPa}$

High strength and hardness make it possible to create high specific forces in the zone of plastic deformation. In combination with the small contact patch size, this allows small total forces to be transferred to the workpiece.

For diamond burnishing of various materials, standard diamond tips with a sphere radius of the working part from 0.6 to 4 mm are used. A diagram of a diamond smoother is shown in Figure 1. Most often, the radius of a diamond is from 1.5 to 3.5 mm [1–2]. The larger the radius, the lower the hardness of the workpiece. For hardened steels, it is less than 1.5 mm; for soft - 2.5 ... 3.5 mm.

By performing diamond smoothing, they solve 3 problems jointly or separately, smoothing - that is, changing the microgeometry of the surface of the part. Depending on the chemical composition and mechanical properties of the material of the part, as well as depending on the processing modes, it is possible to achieve a roughness of the processed

surface Ra from 0.08  $\mu\text{m}$  to 0.63  $\mu\text{m}$ . In this case, the relative reference length of the profile can be tp from 30 to 85% at the level of 30%. With fine grinding, this figure does not exceed 1.5-15%.

The rigid circuit is shown in Figure 2.

Machining with mandrels of this type refers to a rigid burnishing scheme, with a rigid fixation of the tool. And with this fixing of the mandrel, the hardness, shape accuracy and dimensions of the machined surface of the part increase, due to the deformation of the metal, as well as its compaction. A serious problem with hard ironing is beating. Beating, as well as fluctuations in penetration depth, have a detrimental effect on the smoothing force. As a result of the influence of these factors, during hard burnishing, an uneven roughness frequency can occur, as well as a heterogeneity in the hardness of the smoothed surface. The mandrel itself is simple in design and may have low manufacturing accuracy, but the part must be perfectly manufactured and set on a very precise machine. Most often, smoothing is carried out immediately after turning, without reinstalling the part.

The mandrels used in the rigid burnishing scheme (Fig. 2) represent a steel holder like a turning tool, but instead of the cutting part, a nozzle with an artificial diamond is fixed.

Such mandrels are used extremely rarely and are suitable for machining only cylindrical and non-runout end surfaces. On such mandrels, it is difficult to get the force and depth of penetration we need, because of the error of the support of the tool holder and also because of the not rigid AIDS (machine, device, tool, detail)

system.

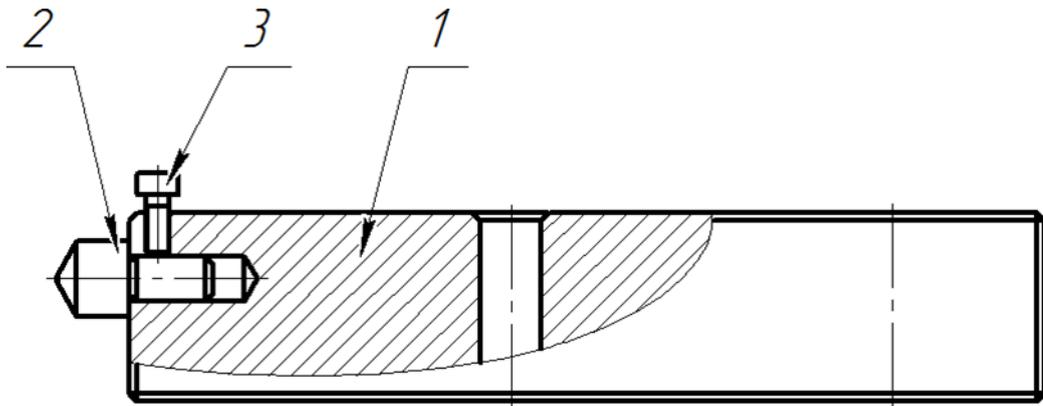


Fig. 2 - Rigid mandrel.

Such a scheme is used if the processing of the part is carried out from one installation according to the “turning + smoothing” scheme. In this case, the runout of the part is minimal. This scheme is rarely used. In all other cases, elastic smoothing is used. Elastic smoothing ensures a constant smoothing force even when the workpiece beats by reducing the stiffness of the mandrel. The non-rigid circuit is shown in Figure 3.



Fig. 3. Non-rigid scheme,

With a non-rigid system, beating of the part occurs, due to a decrease in the system's stiffness coefficient, as a result of which additional efforts arise.

It is advisable to choose the optimal stiffness of the mandrel.

In particular, the magnitude of the smoothing force is increased up to 1.5 times, while the feed can also be increased to raise productivity. To harden the surface layer, it is advisable to use a tip with a smaller radius of the sphere. It should be borne in mind that

when calibrating, the shaft diameter after diamond burnishing is reduced by a certain amount.

In addition, diamond burnishing (with a small  $R_{sp}$  value) is advisable to use for non-rigid parts made of relatively hard materials. The permissible value of the hardness of the workpiece.  $\Delta HB = 5 \dots 10$

### **Overview of non-rigid diamond burnishing mandrels.**

#### **Coiled spring diamond burnishing mandrel.**

This tool is a mandrel (fig.4.) which allows smoothing the outer surface of steel parts of the “shaft” type. A diamond tip 1 with a working surface in the form of a sphere, secured by a screw 2, is inserted into a movable rod 3, which can move inside a housing 4 of rectangular cross-section. There is a spring inside the body 5.

The movement of the stem compresses the spring and creates a force between the diamond tip and the workpiece. The tool assembled with a spring is tared according to an exemplary dynamometer and allows you to set the clamping force in the range of 100-300N with a step of 50N.

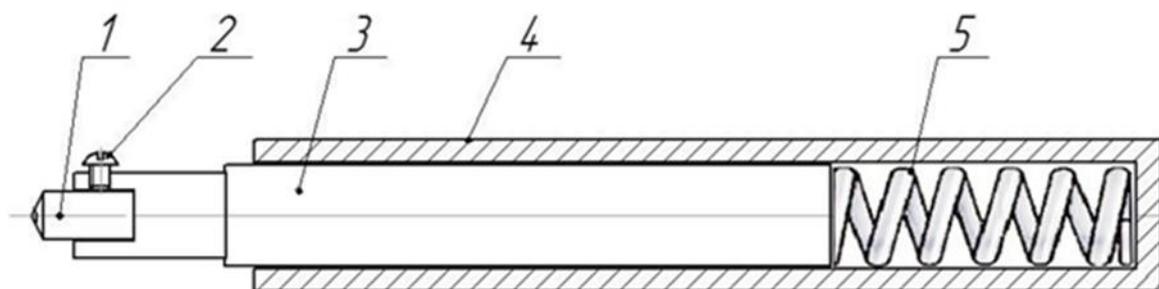


Fig.4. Smoothing mandrel for diamond burnishing.

A tool pressed against the surface to be treated with a force  $P_w$  is embedded into it to a depth  $h$ , and plastic deformations appear in the contact zone (Fig. 5). In this case,

the initial roughness is smoothed, the hardness of the surface layer increases, and its microstructure changes.

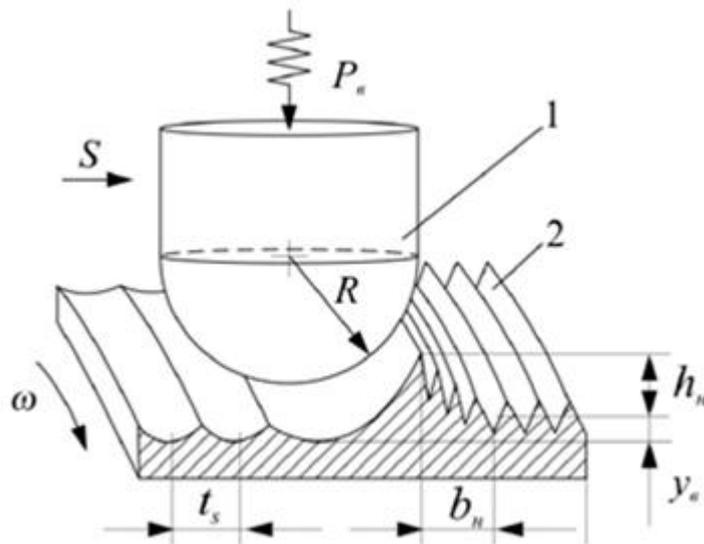


Fig. 5. Scheme of smoothing the surface of the part: 1- smoother; 2- treated surface;  $R$  - the radius of the smoother;  $t_s$  - feed step;  $\omega$  is the angular velocity of the part.

It has been experimentally established that when the indenter of the smoothing tool is inserted to a depth exceeding the maximum height of the surface irregularities after finishing turning, the plastically deformed metal starts to be pushed in the direction of supply  $S$  with the formation of a lateral bead with height  $h_n$  and width  $b_n$ .

Out from under the smoother towards the smoothed surface is distorted. The profile of the groove formed in the previous revolution is distorted to the greatest extent.

After each revolution of the workpiece, the groove-trace of the smoother moves in the axial direction by the amount of feed  $S$ . During subsequent machining of the workpiece, the groove is repeatedly overlapped, because its width is greater than the feed value. On the side of the non-ironed surface, a roll of deformed metal is also formed, the right floor surface (in the direction of feeding) is loaded much more than the left floor surface. Therefore, during the smoothing process, an axial force  $P_x$  arises.

Flat springs diamond burnishing mandrels.

For processing parts with slight deviations in shape, as well as with an error in installing the part on the machine, mandrels of a non-rigid burnishing scheme with flat springs are used. The outer and end surfaces of shafts and other parts can be processed with such mandrels.



Fig. 6. Mandrel with flat spring hinge type.

The design of this mandrel resembles a simple, rigid mandrel. The main difference between this and the rigid mandrel is the flat loop spring. The indenter is installed directly into the mandrel itself, and is attracted by the screw. The material of the holder U8A was not chosen by chance, but in order to harden it to the required hardness of 49-52 HRC. The generated force varies from 2 to 5 mm, the value depends on the thickness of the working part. The force is adjusted using a dial indicator, the probe of which passes through a through hole located in the mandrel body and abuts against the flexible part of the mandrel. This chuck is very simple and versatile and is suitable for work on almost any lathe. Another plus of this mandrel is its compact size, which allows ironing parts of complex configuration.

The disadvantage of this mandrel is that the force of the contact patch is not constant due to the design of the loop spring. Besides, there are self-oscillations at a high speed of rotation of the part. Also, the drawback is the low stroke of the mandrel, therefore, it has the same disadvantages as the rigid mandrel.

### **Diamond blade with flat symmetrical spring**

A mandrel with a flat symmetrical spring is similar in design. The mandrel, like the previous version, is designed for processing the outer cylindrical surfaces and ends.



Fig. 7. Diamond blade with flat symmetrical spring

This mandrel consists of a base (holder), a flat symmetrical spring, a damping pad consisting of polyurethane foam rubber, a dial gauge and an indenter. The smoother is fixed on the base of the flat spring, the spring, in turn, is attached to the holder of the arbor, and the holder itself is installed in the tool holder of the lathe. A flat spring in this equipment is needed not only as a connecting element between the indenter and the holder, but also the spring creates smoothing forces, and also smoothes vibrations arising during smoothing. Adjustment of the smoothing force is carried out as in the previous mandrel with a spring in the loop type, by moving the tool holder and changing the distance according to the dial indicator.

The flat spring is an assembly of eight flat springs. They are located between two posts with four springs on each side. When smoothing, the springs work in bending. The design allows you to move not only linearly along the axis of the indenter, but also to rotate.

In this case, one half of the support is compressed, and the other is stretched. The disadvantage of the spring support is its low rigidity in the direction of the X axis, under the influence of the  $P_x$  force, as a result, the spring struts shift relative to each other. This is a significant disadvantage of this spring support when used in mandrels for attaching a diamond indenter, as this leads to distortions of the indenter.

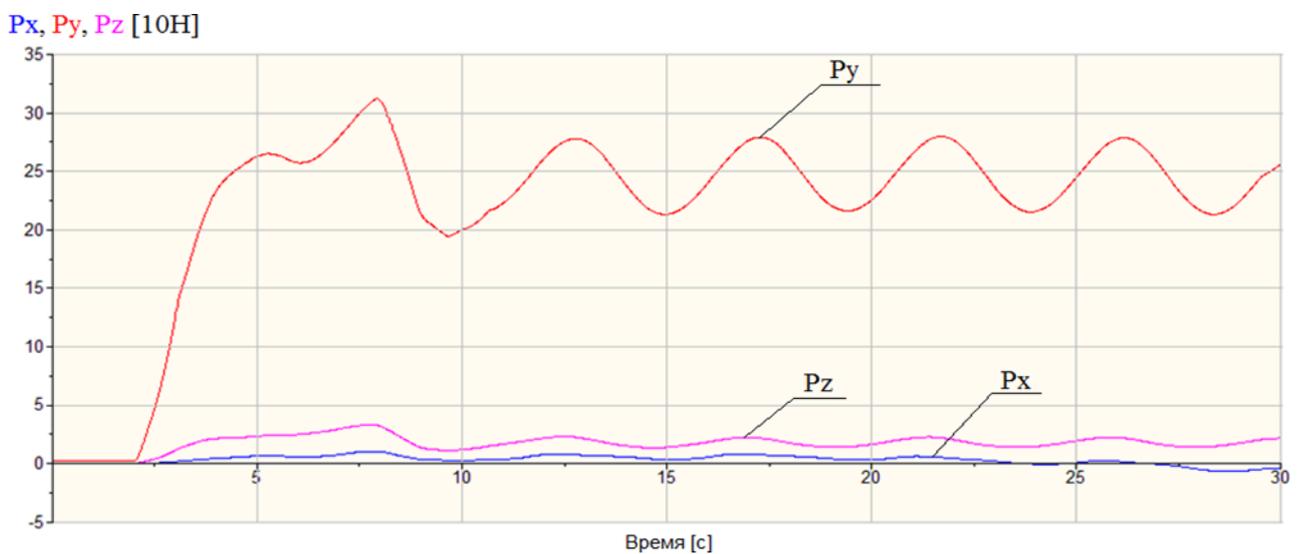


Fig. 8. Dependence of the components of the burnishing force  $P_y$ ,  $P_x$  and  $P_z$  [H] on the time  $T$  [s] when burnishing with a mandrel with a symmetric flat spring:  $R_{sf} = 2$  mm;  $S = 0.05$  mm / rev;  $V \approx 0.02$  m / s;  $\omega = 1.3$  s<sup>-1</sup>

When a mandrel with a flat symmetric spring is used for smoothing, the resulting graph shows that the radial force  $P_y$  is sinusoidal. Studies have shown that force fluctuations depend on the coefficient of spring rigidity and on the magnitude of the radial runout. The radial runout of the workpiece causes the diamond indenter to move in the direction of the Y axis, which in turn deforms the support on which it is fixed. Elastic deformation of the springs in the support leads to a change in force. Fluctuations of the radial force  $P_y$  in the section of the stable burnishing process were about 67 N. The same burnishing pattern was observed for the mandrel with a single-loop flat spring.

With a decrease in the stiffness of the spring, as well as with a more accurate setting of the part with a minimum radial runout, the amplitude of the force oscillation decreases. But with a decrease in the stiffness of the spring, the smoothing force also decreases resulting in the entire processing productivity. Based on this, it can be concluded that the use of flat springs as a load-bearing element is impractical, since the main requirement - stabilization of the smoothing force - has not been achieved.

### **Mandrel with a power element in the form of a helical spring, and adjustment of the smoothing force using a dial indicator.**

The mandrel for diamond burnishing with a force element in the form of a helical spring is also intended for processing the outer cylindrical surfaces of parts and their ends.

The design of the mandrel is a cylindrical body with a through-grounded hole, a plunger with an indenter is attached to it and a helical spring is installed. A groove is milled in the body; a rod passes through it, and it is rigidly connected to the plunger.

The rod simultaneously serves both as a support for the indicator probe and as a stop for limiting the indenter.

The mandrel has a reciprocating pair operating under dry friction conditions. A helical spring is used as a power element, which is compressed by an adjusting screw. When the adjusting screw is tightened, the pressure force of the smoother into the workpiece increases.

Smoothing is performed at a certain amount of pressing force, which is controlled by a dial indicator.

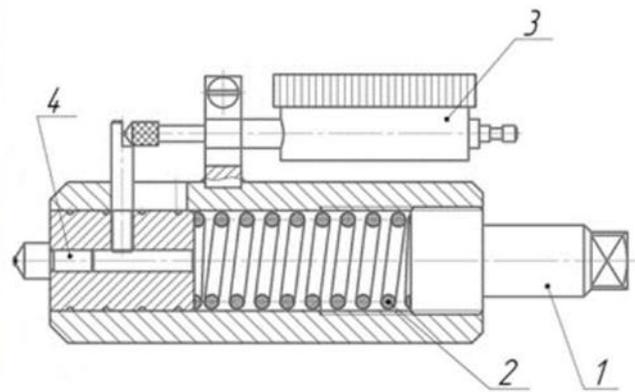


Fig. 9. Mandrel with helical spring: 1 - adjusting screw; 2 - helical spring; 3 - dial indicator; 4 - indenter.

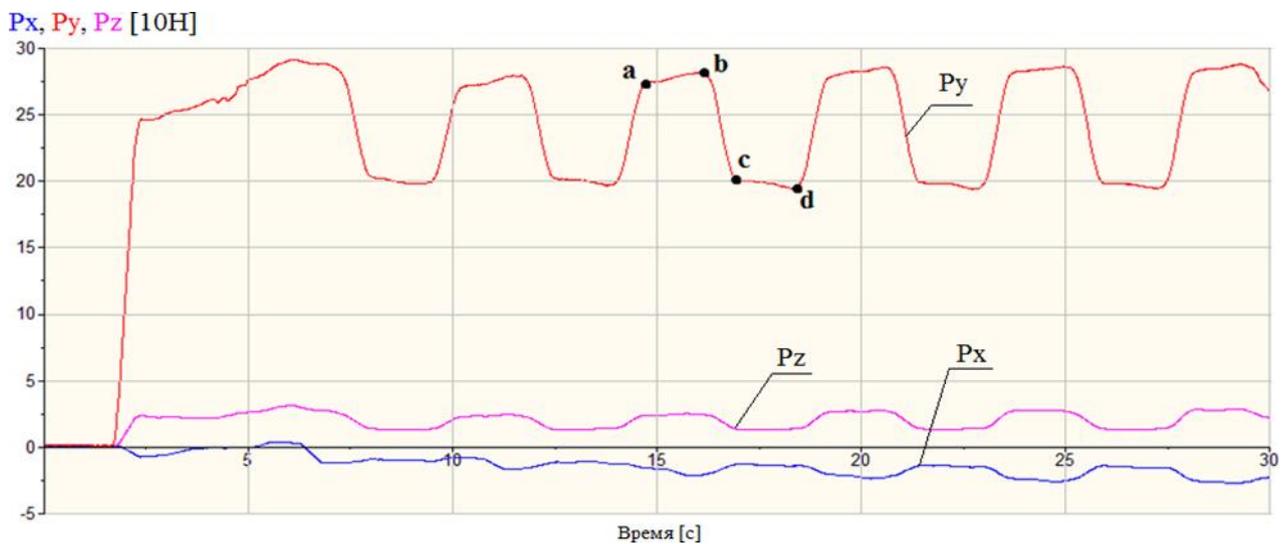


Fig. 10. Dependence of the components of the burnishing force  $P_y$ ,  $P_x$  and  $P_z$  [H] on the time  $T$  [s] when burnishing with a mandrel with a helical spring:

$$R_{sph} = 2 \text{ mm}; S = 0.05 \text{ mm / rev}; V \approx 0.02 \text{ m / s}; \omega = 1.3 \text{ s}^{-1}$$

During the study, a graph was obtained that resembled the profile of a trapezoidal thread of the dependence of the radial force on time, most likely caused by a micro wedge of a reciprocating friction pair or the engagement of the spring coils on the inner diameter of the body. With a decrease in friction in the reciprocating pair by supplying coolant, rotating the indenter relative to the body, external vibrations reduced the amplitude of fluctuations of the force  $P_y$ , but did not change the overall force arising during smoothing.

Analysis of the performed experiment showed that the value fluctuations in the radial burnishing force depend not only on the coefficient of stiffness of the coil spring, but also on the nature of the burnishing process.

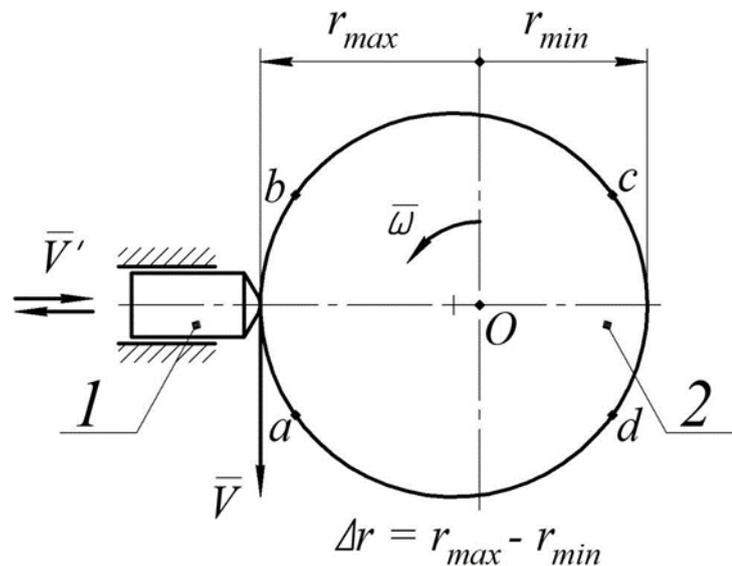


Fig. 11. Diagram of indenter movement on a surface with radial runout: 1- indenter installed in a reciprocating precision pair; 2 - treated surface

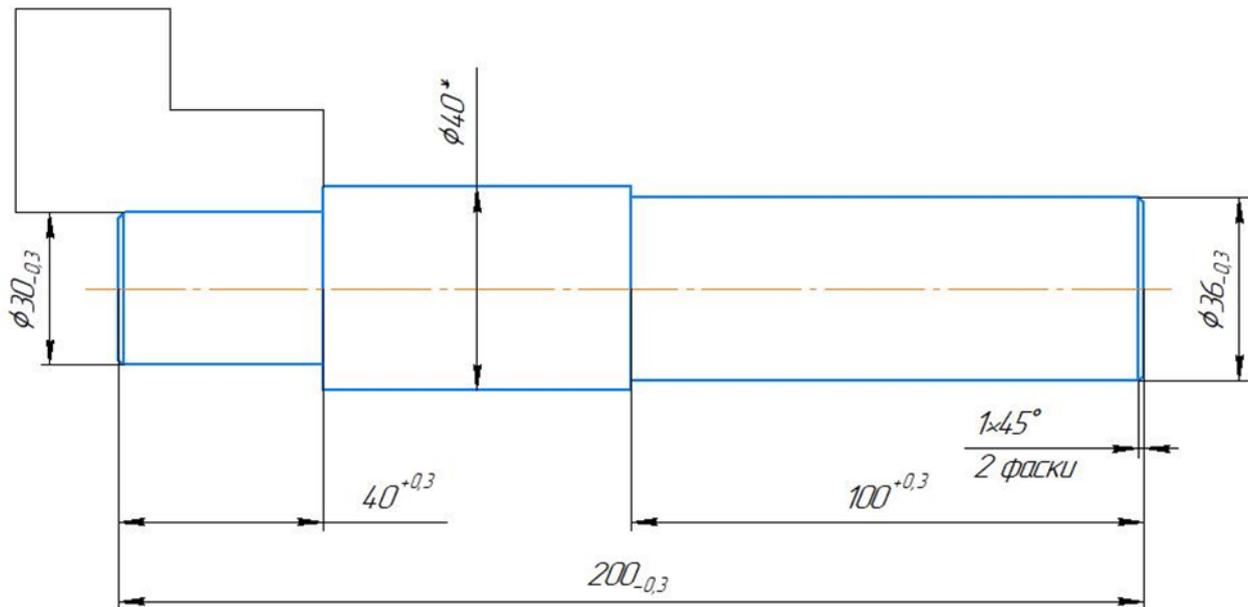
The graph shows that the radial force  $P_y$  decreases and increases in jumps, jerks. In the section “a – b”, an increase in the radial size is shown, the force increases linearly due to an increase in the elastic force, which tends to restore the original shape of the spring. In the section of the graph "b-c", which corresponds to the passage of the indenter of the maximum radius, a sharp decrease in the graph curve is noticeable. This is due to the occurrence of seizure in the reciprocating pair, the static friction force appears for a short time, which is then replaced by the sliding friction force. Stalling and the beginning of the plunger leads to an abrupt decrease in the radial smoothing force. The next section “c-d” corresponds to a decrease in the radius of the workpiece. The force  $P_y$  decreases linearly due to a decrease in the spring force. The force fluctuations are about 88 N, which is greater than the amplitude of the flat spring. This is most likely caused by the occurrence of inertia due to the sudden onset of movement, since the steel plunger has a mass.

When analyzing this graph, it can be concluded that the use of a reciprocating friction pair in the designs of mandrels for diamond burnishing is highly undesirable. A

mandrel with a power element in the form of a helical spring does not cope with the main task - stabilization of the smoothing forces.

## Experimental procedure

A series of diamond burnishing experiments were carried out on this mandrel. In an empirical way, we achieve a magnetic force, at which it is possible to use the force acting on the diamond before touching, equal to 5.8 kg. Based on this, we have chosen the material of the workpiece for smoothing - D16. The design and dimensions are shown in the sketch.

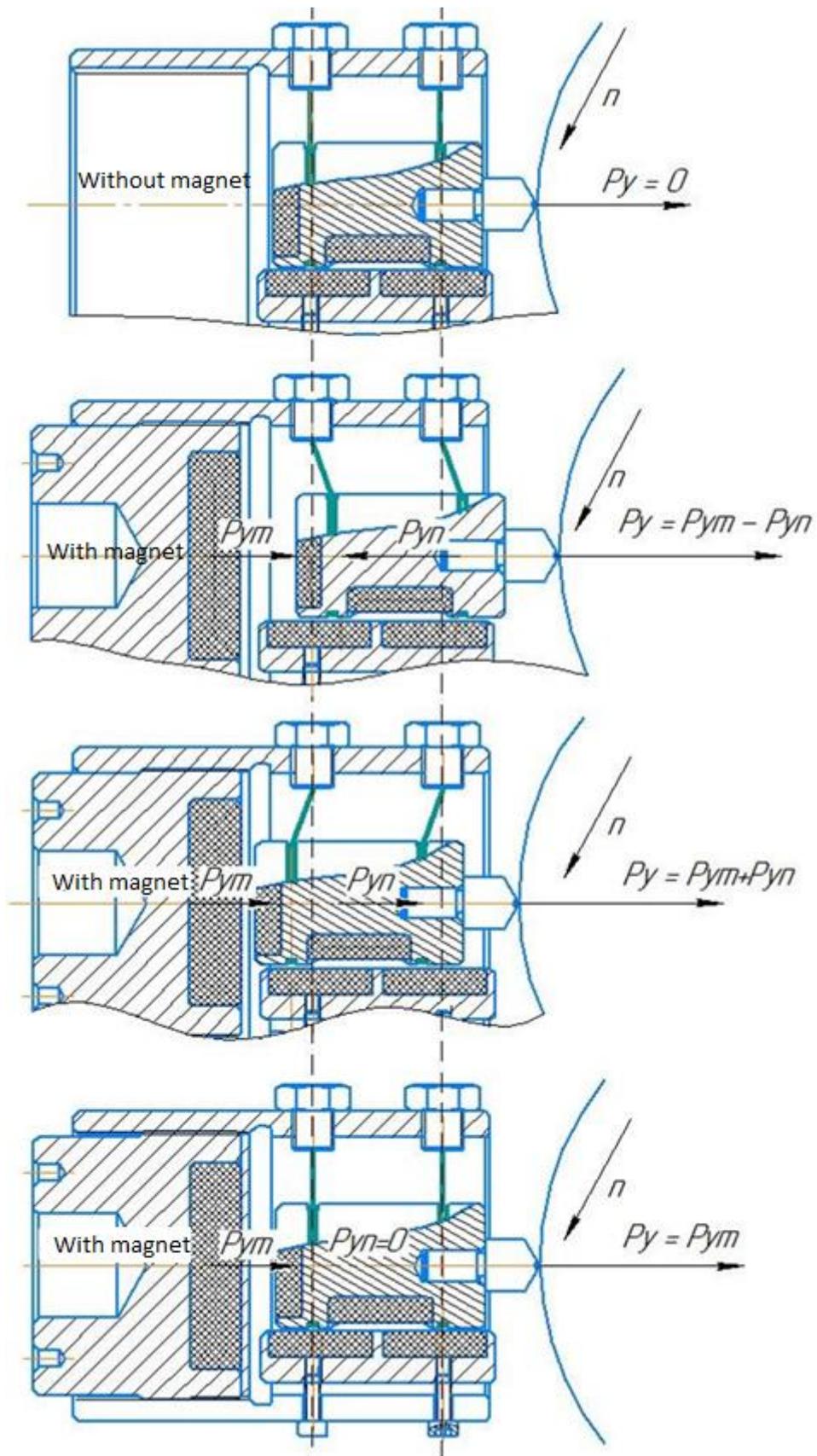


A sketch of a blank for conducting experiments.

The experiments were carried out as follows:

1. The literature about diamond burnishing was analyzed.
2. We become familiar with the Kistler dynamometer.
3. We got acquainted with the KNHUTH lathe.
4. The working parts of the workpiece were prepared according to the sketch.
5. On the machine, the tool holder was replaced with a dynamometer.
6. The dynamometer unit was connected from a PC.
7. The necessary parameters were adjusted on the Kistler amplifier and in the computer program.
8. Trial measurements were conducted without smoothing in order to see the dynamometer readings of sounds coming from the machine. The results of this pilot test are shown in the graphs. (1, 2)

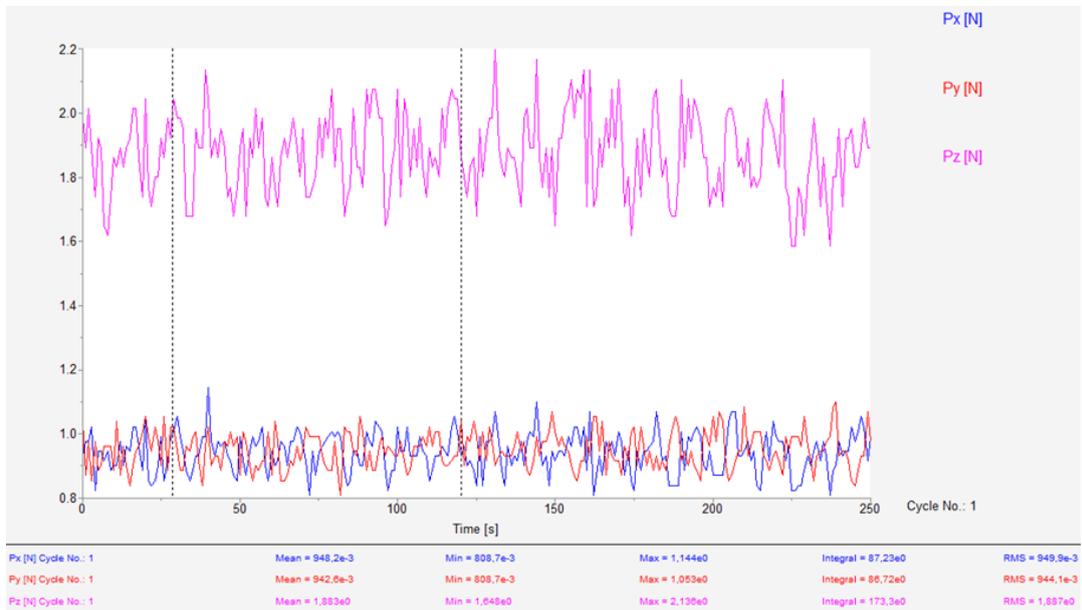
9. A series of experiments were conducted to perform burnishing of the sample. Smoothed with and without a magnet, as well as fulfilled the conditions in which, during smoothing, the force of the magnet itself was measured, without additional tension force created by springs and tension of the fishing line. The principle of this condition is schematically depicted in the sketch 12.



Sketch 12, schematic principle of the mandrel work

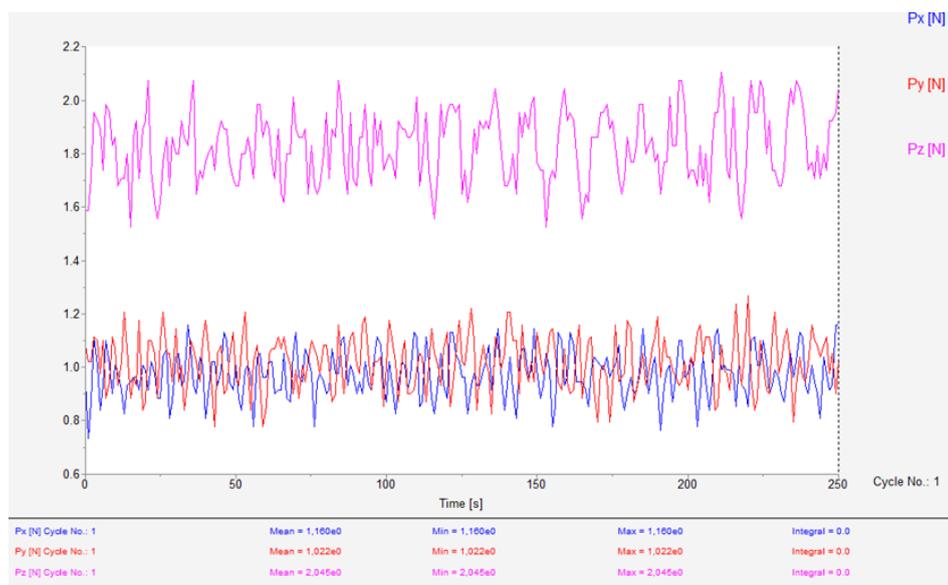
During the experiment, the following noises were detected:

Graph 1. shows the background sound of the system (the machine was off). The average dynamometer reading is 0.942 Nm.



Graph 1.

Graph 2 shows the noises of the machine turned on with the spindle turned off, the feed turned off. There is no contact between the diamond and the workpiece in this experiment. The average dynamometer reading is 1.022 Nm.



Graph 2.

## References

1. Chervach, Yuri Borisovich. The choice of the optimal design of the power elements of the mandrels for smoothing [Electronic resource] = The choice of the optimal design of the drives of the polishing tool for diamond grinding / Yu.Yu. B. Chervach, V. A. Mezentsev // Handbook. Engineering journal with annex. - 2015. - No. 7. - [S. 11-15].
2. Magomedov A. Integrated finite element analysis in Compass 3D [Electronic resource] / A. Magomedov, A. Alekhin // CAD and Graphics Magazine - M., 2011. - No. 1.
3. Evsin E.A. Investigation of the possibility of optimizing the tool for diamond burnishing / E.A. Evsin // Improvement of the process of abrasive-diamond and hardening technology in mechanical engineering: collection of articles. Art. Perm: Perm. polytechnic in-t, 1983.S. 63-70.
4. Klepikov V.V. Technological processes of diamond burnishing: textbook. for universities / V.V. Klepikov, A.N. Bodrov. M.: Higher school, 2006.320 p.
5. Gorgots V.G. Theoretical analysis of the dynamics of the diamond burnishing process of the surfaces of parts by the phase plane method / V.G. Gorgots, V.P. Kuznetsov // Mechanical engineering technology. 2006. No. 11. S. 18-21.
6. Donskov A.S. Investigation of the contact zone of deformation during burnishing with a tool of arbitrary shape / A.S. Donskov // Improvement of processes of abrasive-diamond and hardening technology in mechanical engineering: collection of articles. Art. Perm: Perm. polytechnic in-t, 1983.S. 36-45.
7. Strengthening and finishing of parts by surface plastic deformation: a reference book / L. G. Odintsov. - M.: Mechanical Engineering, 1987.
8. On the technological capabilities and efficiency of the diamond burnishing process / L. A. Khvorostukhin, N. N. Ilyin // Scientific principles of quality control of the surface layer during machining. - 1977. - No. 5. - S. 170-174.

9. Improving wear resistance of parts by diamond burnishing / L. A. Khvorostukhin, A. S. Chaban // Bulletin of mechanical engineering: scientific, technical and production journal / Body of the State Committee of the Council of Ministers of the USSR for science and technology. - 1973. - No. 10. - S. 11-19. - ISSN 0042-4633.

10. Shcherbak AM Mechanical and micromechanical features of diamond burnishing. - In collection: Diamonds and superhard materials, 1979, No. 9, p. 8-9.

11. Increasing the bearing capacity of machine parts by diamond burnishing // VC. Yatsenko, G.Z. Zaitsev, V.F. Pritchenko - M.: Mashinostroenie, 1985. 232 p., Ill.

12. Gurin F.V. and Smelyanskiy V.M. Roughness and shape deviation during diamond burnishing with a hard tool. Sat. "Dimensional finishing and hardening treatment by surface deformation", Minsk, Academy of Sciences of the BSSR, 1966 No. 3.

13. Torbilo VM, Diamond burnishing. M., "Mechanical Engineering", 1972, 105 p.

14. Grigoriev S.N., Kokhomsky M.V., Maslov A.R. Tooling for CNC machine tools: Handbook / Under total. ed. A.M. Maslova. - M.: Mashinostroenie, 2006. -- 554 p. : ill.

15. Stepanova, T.Yu. Technologies of surface hardening of machine parts: textbook / T.Yu. Stepanova; Ivan. state chem.-technol. un-t-Ivanovo, 2009. -- 64p.

16. Influence of the initial surface roughness on the force of diamond burnishing Antonyuk FI, Kalmykov VV, Fedorov VA / Science and Education. MSTU them. N.E. Bauman. Electron. zhurn. 2014. No. 12. P. 171–180.

17. Professional English R.I. Tolobanova, O.B. Shamina, A.B. Kim / publishing house of the Tomsk Polytechnic University, 2007, p. 51-58.