

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

### ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА МАГИСТРАНТА

Тема работы
<b>Исследование процесса высокоскоростного алмазного выглаживания</b>

УДК 621.923.4:621.921.34

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ11	Гонтов Алексей Васильевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОмШ	Червач Ю.Б	канд. техн. наук		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН	Гасанов М. А.	д-р экон. наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД	Антоневич О.А	канд. биол. наук		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП/ОПОП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОмШ	Сорокова С.Н.	канд. физ.-мат. наук		

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

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

Код компетенции СУОС	Наименование компетенции СУОС
<b>Универсальные компетенции</b>	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовать и руководить работой команды, выработывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
ОПК(У)-1	Способен формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки результатов исследования
ОПК(У)-2	Способен осуществлять экспертизу технической документации при реализации технологического процесса
ОПК(У)-3	Способен организовывать работу коллективов исполнителей, принимать исполнительские решения в условиях спектра мнений, определять порядок выполнения работ, организовывать в подразделении работы по совершенствованию, модернизации, унификации выпускаемых изделий и их элементов, разработке проектов стандартов и сертификатов, обеспечивать адаптацию современных версий систем управления качеством к конкретным условиям производства на основе международных стандартов
ОПК(У)-4	Способен разрабатывать методические и нормативные документы при реализации разработанных проектов и программ, направленных на создание узлов и деталей машин
ОПК(У)-5	Способен разрабатывать аналитические и численные методы при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов
ОПК(У)-6	Способен использовать современные информационно-коммуникационные технологии, глобальные информационные ресурсы в научно-исследовательской деятельности
ОПК(У)-7	Способен проводить маркетинговые исследования и подготавливать бизнес-планы выпуска и реализации перспективных и конкурентоспособных изделий в области машиностроения
ОПК(У)-8	Способен подготавливать отзывы и заключения на проекты стандартов, рационализаторские предложения и изобретения в области машиностроения
ОПК(У)-9	Способен подготавливать научно-технические отчеты, обзоры, публикации по результатам выполненных исследований в области машиностроения

ОПК(У)-10	Способен разрабатывать методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий
ОПК(У)-11	Способен организовывать и осуществлять профессиональную подготовку по образовательным программам в области машиностроения
ОПК(У)-12	Способен разрабатывать и применять алгоритмы и современные цифровые системы автоматизированного проектирования деталей и узлов машин и оборудования различной сложности на современном машиностроительном предприятии
<b>Профессиональные компетенции</b>	
ПК(У)-1	Способен разрабатывать технические задания на НИР и ОКР при исследовании, проектировании и изготовлении машин, приводов, оборудования, систем, нестандартного оборудования и средств технологического оснащения.
ПК(У)-2	Способен проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки при исследовании самостоятельных тем или тем организаций.
ПК(У)-3	Способен подготавливать заявки на изобретения, полезные модели и промышленные образцы с использованием средств и методов патентного поиска.
ПК(У)-4	Способен разрабатывать технологии и управляющие программы изготовления особо сложных деталей на многокоординатных токарно-фрезерных обрабатывающих центрах с ЧПУ и многокоординатных фрезерных обрабатывающих центрах с ЧПУ.
ПК(У)-5	Способен производить технологическую подготовку и обеспечение производства деталей машиностроения средней и высокой сложности
ПК(У)-6	Способен проектировать особо сложные станочные, сборочные и контрольно-измерительные приспособления.
ПК(У)-7	Способен производить автоматизированное проектирование технологических процессов изготовления деталей и сборки сборочных единиц изделий высокой сложности.
ПК(У)-8	Способен производить автоматизацию и механизацию производственных процессов механосборочного производства.
ПК(У)-9	Способен организовать инструментальное обеспечение механосборочной организации.
ПК(У)-10	Способен проектировать и организовывать учебный процесс по образовательным программам с использованием современных образовательных технологий
ПК(У)-11	Способен обеспечить качество изделий высокой сложности в механосборочном производстве.
ПК(У)-12	Способен управлять развитием литейного производства
ПК(У)-13	Способен производить технологическое проектирование механосборочной организации

Школа Инженерная школа новых производственных технологий  
 Направление подготовки (ООП/ОПОП) 15.04.01 Машиностроение  
 Отделение школы (НОЦ) отделение машиностроения

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП/ОПОП  
 \_\_\_\_\_ Сорокова С.Н.  
 (Подпись) (Дата) (ФИО)

### ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4AM11	Гонтов Алексей Васильевич

Тема работы:

<b>Исследование процесса высокоскоростного алмазного выглаживания</b>	
<i>Утверждена приказом директора</i>	<i>32-55/с от 01.02.2023</i>

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	
--	--

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к функционированию (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.)</i></p>	<p>Объектом магистерской диссертации являются исследование высокоскоростного алмазного выглаживания для повышения производительности и качества обработки поверхности.</p>
<p><b>Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке</b>  <i>(аналитический обзор литературных источников 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>Выполнить литературный обзор по обработке поверхностей с помощью алмазного выглаживания. Проанализировать физическая сущность ППД и явления, происходящие в поверхностном слое при обработке высокоскоростным алмазным выглаживанием. С помощью экспериментов исследовать силовые зависимости при высокоскоростном алмазном выглаживании.</p>
<p><b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Демонстрационный материал (презентация в MS Power Point)</p>

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Исследовательский	Червач Ю. Б.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Гасанов М. А
Социальная ответственность	Антоневич О. А.
Литературный обзор (на англ. яз.)	Гутарева Н. Ю.
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:</b>	
Литературный обзор	

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

**Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОмШ	Червач Ю. Б.	канд. техн. наук		

**Задание принял к исполнению обучающийся:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
4АМ11	Гонтов Алексей Васильевич		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 117 с., 30 рис., 22 табл., 35 источников, 3 прил.

Ключевые слова: **ВЫСОКОСКОРОСТНОЕ АЛМАЗНОЕ ВЫГЛАЖИВАНИЕ, ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛ, СУЩНОСТЬ ППД, ОЧАГ ДЕФОРМИРОВАНИЯ, ПОВЕРХНОСТНЫЙ СЛОЙ, КОЛЕБАНИИ.**

Объектом исследования является высокоскоростное алмазное выглаживание.

Цель работы – являются исследование высокоскоростного алмазного выглаживания для повышения производительности и качества обработки поверхности.

В процессе исследования проводился: литературный обзор по обработке алмазным выглаживанием, физическая сущность ППД, явления происходящие в поверхностном слое, соотношение сил выглаживания при увеличении скорости.

В результате исследования были подобрана методика высокоскоростного алмазного выглаживания для повышения производительности и качества обработки поверхности

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» рассчитана стоимость научного исследования.

В разделе «Социальная ответственность» были рассмотрены проектные решений, исключая несчастные случаи на производстве, и снижение вредных воздействий на окружающую среду.

Степень внедрения: полученные результаты могут применяться в мелкосерийном производстве.

Область применения: машиностроение.

## Содержание

Введение .....	9
1 Литературный обзор.....	11
1.1 Обработка металлов методами ППД и особенности их применения.....	11
1.2 Сравнительный анализ методов ППД .....	15
1.3 Основные параметры процесса алмазного выглаживания.....	18
1.3.1 Характеристика физико-механических свойств алмаза .....	21
1.3.2 Тепловое явление и стойкость выглаживателя .....	26
1.3.3 Силы и колебания при алмазном выглаживании .....	27
1.3.4 Трение и смазка .....	28
2 Исследование алмазного выглаживания.....	30
2.1 Физическая сущность ППД .....	30
2.2 Явления, происходящие в поверхностном слое при обработке высокоскоростным алмазным выглаживанием .....	32
2.3 Изучения очага деформирования и анализ распределения сил и напряжений.....	41
2.4 Трение на поверхностном слое при выглаживании .....	44
3 Исследования алмазного выглаживания на высоких скоростях .....	48
3.1 Принцип работы пьезоэлектрических датчиков.....	48
3.2 Пневматическая оправка на 4 плоских пружинах.....	58
3.3 Тарировка оправки .....	59
3.4 Соотношение сил выглаживания при увеличении скорости .....	63
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ..	76
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	77
4.1.1 Анализ конкурентных технических решений .....	78
4.1.2 SWOT-анализ .....	80
4.2 Планирование научно-исследовательских работ .....	83
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования .....	83
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения .....	84
4.3 Бюджет научно-технического исследования.....	88
4.3.1 Расчет материальных затрат научно – технического исследования	88

4.3.2	Расчет амортизации специального оборудования .....	89
4.3.3	Основная заработная плата исполнителей темы.....	90
4.3.4	Дополнительная заработная плата исполнителей темы .....	92
4.3.5	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	93
4.3.6	Накладные расходы .....	94
4.3.7	Бюджетная стоимость НИР.....	94
4.4	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования ..	95
5	Социальная ответственность .....	101
5.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности ....	102
5.2	Производственная безопасность .....	104
5.2.1	Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования .....	104
5.2.2	Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий .....	106
5.2.3	Производственные факторы, обладающие свойствами химического воздействия на организм работающего человека .....	107
5.2.4	Подвижные части производственного оборудования .....	108
5.2.5	Производственные факторы, обладающие свойствами психофизиологического воздействия на организм человека (активное наблюдение за ходом производственного процесса, монотонность труда, перенапряжение анализаторов) .....	108
5.2.6	Производственные факторы, связанные с отсутствием или недостатком необходимого искусственного освещения .....	109
5.3	Экологическая безопасность .....	111
5.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	113
5.4.1	Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект.....	113
5.4.2	Анализ возможных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.....	114
	Список используемых источников.....	117
	Приложение А .....	120
	Приложение Б.....	137



## Введение

В машиностроении одной из главных задач является обеспечение длительного периода эксплуатации и надежности изделия. Для этих целей совершенствуются и внедряются новые технологии изготовления, материалы, эффективные технологические процессы, контроль и диагностика качества продукции и др.

Одним из эффективных направлений повышения качества и изделия является применение алмазного выглаживания. Качество изделия, надежность работы и эксплуатационные свойства машин зависят от технологии изготовления и в большей степени от финишной обработки, которая и образует поверхностный слой.

Выглаживание является отделочно-упрочняющей обработкой поверхностным пластическим деформированием (ППД). Данный метод повышает качество поверхности изделия увеличивает ее твердость, уменьшает шероховатость и износостойкость. Этот метод не оставляет шаржированной осколками абразива зерен, что происходит при процессах абразивной обработки.

В отличие от других методов (ППД) в качестве деформируемого элемента используется алмаз. Он обладает такими свойствами как высокая твердость, высокая теплопроводность, низкий коэффициент трения по металлу. Из-за высокой твердости алмазом можно обрабатывать почти все металлы как мягкие, так и закалённые (до HRC 60-65). Величина радиуса инструмента-выглаживателя мала и составляет от 0,75 до 4 мм, в связи с этим сила выглаживания имеет малую величину от 5 до 25 кгс.

Благодаря этому применение алмаза может быть как на маложестких деталях, так и на тонкостенных. Важным параметром процесса выглаживания является подача, которая обычно берется в пределах от 0,005 до 0,10 мм/об. Скорость выглаживания практически не влияет на микрорельеф упрочненной

поверхности. Однако, при больших скоростях могут возникнуть вибрации, ухудшающие качество обработки и снижающие стойкость инструмента.

Актуальность работы заключается в том, чтобы выявить максимальную скорость выглаживания на различных по конструкции оправках.

Целью работы является исследование процесса высокоскоростного алмазного выглаживания и выявления оптимальных параметров.

# 1 Литературный обзор

## 1.1 Обработка металлов методами ППД и особенности их применения

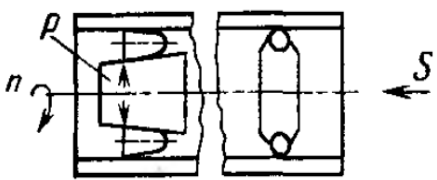
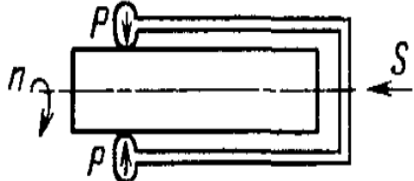
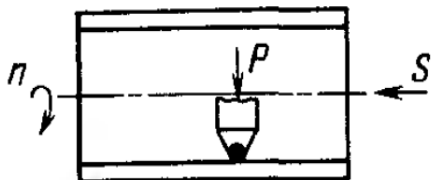
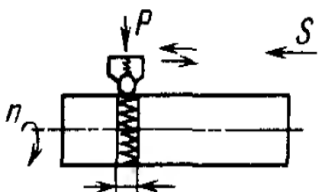
В соответствии с ГОСТ 18296-72 методы ППД можно разделить на и ударные и без ударные. При без ударном взаимодействии деформируемого материала с инструментом, рабочими телами или средой при статическом ППД условно понимается взаимодействие, при котором инерционные силы не оказывают существенного влияния на деформационные характеристики.

При ударных методах инструмент, рабочие тела или среда многократно воздействуют на все обрабатываемую поверхность или на ее часть, при этом сила в каждом цикле изменяется от нуля или от некоторого значения до максимума, а в случае локального ударного воздействия очага деформирования может последовательно и равномерно проходить всю обрабатываемую поверхность.

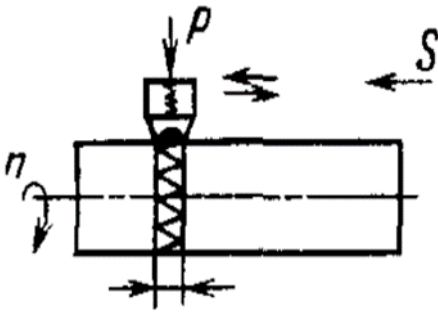
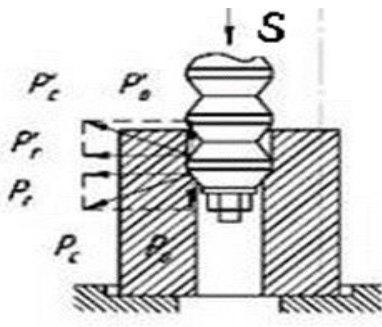
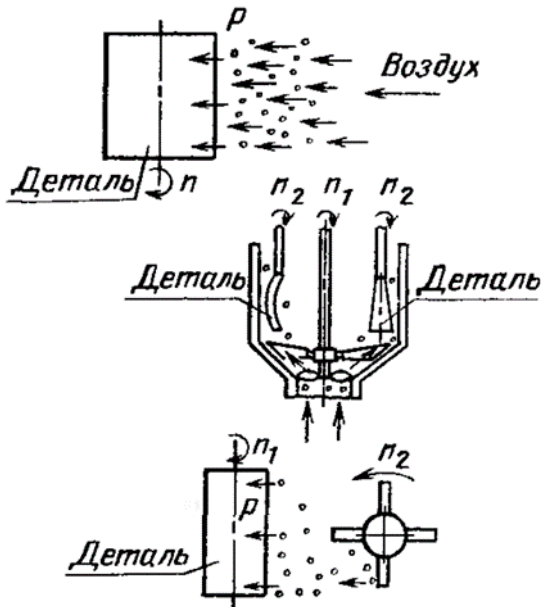
Инструментами при ППД могут быть ролик, шар с принудительной осью вращения или без нее, гладилка, дорн с не режущими кольцами, боек-чекан и т.д. В качестве рабочих тел при ППД могут быть использованы дробь, шарики из стали, стекла, пластмассы и др. Рабочей средой при ППД могут быть жидкости, газ и их суспензии с частицами абразива.

Сравнивая два этих метода, можно отметить, что обработка некоторыми ударными методами уступает по степени, а также без ударные методы ППД обеспечивают меньшую шероховатость поверхности с благоприятной формой микронеровностей. В таблице 1 приведем принципиальные схемы обработки с помощью основных распространённых методов ППД [3].

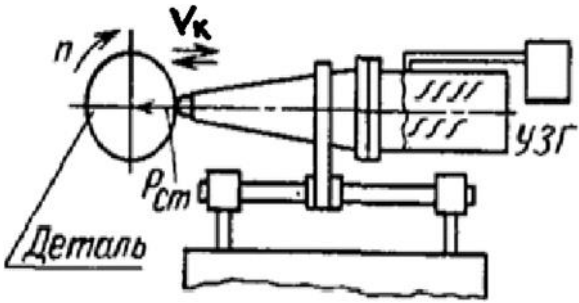
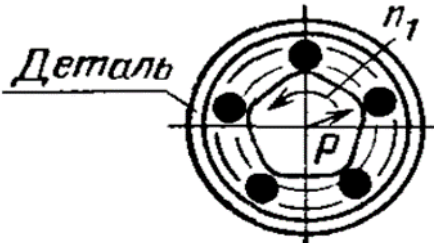
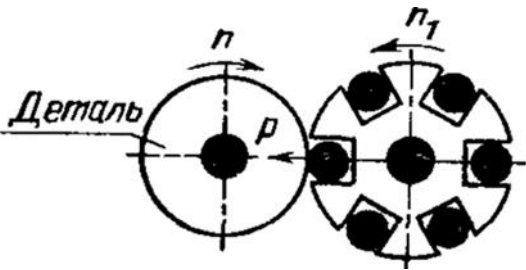
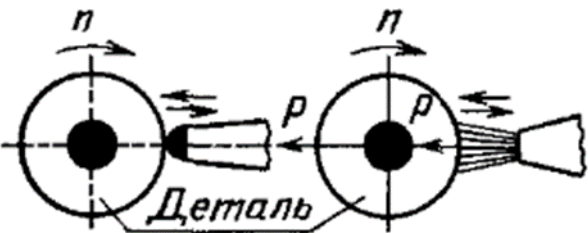
Таблица 1- Методы ППД

Без ударные методы	
<p>Упрочняющее раскатывание</p>  <p>Упрочняющее обкатывание</p> 	<p>Обрабатываемые поверхности тела вращения и плоские поверхности.</p> <p>Инструмент шар или ролик.</p> <p>Твердость <math>HRC \leq 45-55</math></p> <p>Характер производства серийное или массовое.</p>
<p>Выглаживание</p> 	<p>Поверхности тела вращения, тонкостенные и неравноожеские.</p> <p>Инструмент индентор.</p> <p>Твердость <math>HRC \leq 70</math>.</p> <p>Характер производства единичное или серийное.</p>
<p>Вибрационное накатывание</p> 	<p>Накатывание при вибрации инструмента (шар).</p> <p>Характер производства единичное или серийное.</p>

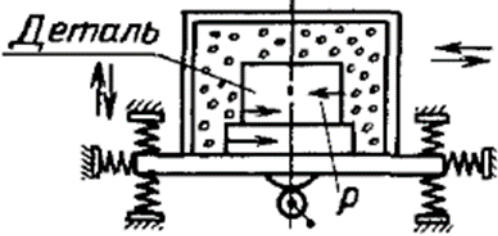
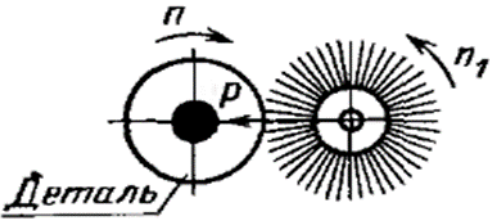
Продолжение таблицы 1

<p>Вибрационное выглаживание</p> 	<p>Накатывание при вибрации инструмента (индентор). Характер производства единичное или серийное.</p>
<p>Поверхностное дорнование</p> 	<p>Поступательное скольжение дорна по охватывающей его поверхности. Детали типа втулок и труб. Твердость <math>HRC \leq 40</math>. Характер производства серийное или массовое.</p>
<p><b>Ударные методы</b></p>	
<p>Дробеструйная обработка</p> 	<p>Удары дроби по деформируемому металлу. Дробь – круглые тела из различных материалов. В зависимости от источника кинематической энергии (струя газа, жидкость, газ с жидкостью, вращение ротора (дробемета) обработка называется гидродробеструйной, гидропневодробеструйной, дробеметной и т.д. Обрабатываемые поверхности могут быть различной конфигурации. Твердость <math>HRC \leq 55</math>. Характер производства серийный или массовый</p>

Продолжение таблицы 1

<p>Ультразвуковая обработка</p> 	<p>К постоянной силе добавляются силы удара ультразвуковых колебаний.</p> <p>Характер производства единичный или серийный.</p>
<p>Ударное раскатывание</p> 	<p>Ролики создают удары в момент прохождения выступающих элементов опоры.</p> <p>Обрабатываемые поверхности типа втулок и труб. Твердость <math>HRC \leq 50</math>.</p> <p>Характер производства серийный или массовый.</p>
<p>Центробежная обработка</p> 	<p>Удары инструмента по обрабатываемой поверхности под действием центробежной силы.</p> <p>Твердость <math>HRC \leq 50</math>.</p> <p>Характер производства серийный или массовый.</p>
<p>Упрочняющая чеканка</p> 	<p>Ударное приложения деформирующей силы при возвратно поступательном перемещении инструмента.</p> <p>Твердость <math>HRC \leq 50</math>. Характер производства серийный или массовый.</p>

Продолжение таблицы 1

<p>Вибрационная ударная обработка</p> 	<p>Удары дробью закрепленных деталей в замкнутом объеме при его вибрации. Твердость <math>HRC \leq 55</math>. Характер производства серийный или массовый.</p>
<p>Обработка механической щеткой</p> 	<p>Удары концами проволоки вращающейся механической щетки. Твердость <math>HRC \leq 55</math>. Характер производства серийный или массовый</p>

## 1.2 Сравнительный анализ методов ППД

В зависимости от размеров, конфигурации, материала детали, назначения обработки, серийности производства и других факторов назначают наиболее оптимальные методы ППД. Например для цилиндрических и конических поверхностях правильной геометрической формы твердостью до  $HRC < 45-50$  эффективно обрабатывать накатыванием роликовым или шариковым инструментом, а поверхности твердостью  $HRC > 50$  методами алмазного выглаживания.

Однако алмазное выглаживание имеет низкую производительность в сравнении с накатыванием, но обладает большей универсальностью и позволяет обрабатывать маложесткие и неравножесткие детали так как давление при алмазном выглаживании 100-200Н, а при накатывании 10-100кН.

Накатывание позволяет добиться большей глубины, но меньшей степени упрочнения, чем алмазное выглаживание. Недостатком технологии алмазного выглаживания является сложность обработки титановых сплавов ввиду повышенной адгезионной составляющей указанного коэффициента вследствие налипания частиц металла на деформирующий инструмент.

Из-за этого необходимо применять смазочно-охлаждающие технологические среды (СОТС), снижающие адгезионную составляющую. Алмазное выглаживание позволяет добиться меньшей шероховатости и большей микротвёрдости обработанных поверхностей, нежели накатывание, при снижении глубины наклёпа.

Для обработки детали методами накатывания и алмазного выглаживания необходимо дополнительно решить ряд технологических и конструкторских задач, связанных с созданием деформирующего инструмента специального профиля с необходимостью огибать обрабатываемую поверхность по криволинейной образующей и ориентировать инструмент определенным образом, с необходимостью во время обработки создать постоянное давление в зоне контакта.

Детали более сложной формы невозможно обрабатывать накатыванием и алмазным выглаживанием. Их целесообразно упрочнять виброударными методами или обработкой дробью. Однако энергетические затраты на обработку этими методами в 2-3 раза выше.

Дорнование является высокопроизводительным процессом, сочетающим возможности отделочной, упрочняющей, калибрующей и формообразующей обработок. Его применяют для обработки отверстий, когда необходимо получить высокие геометрические и физикомеханические характеристики поверхности. Сущность дорнования сводится к перемещению инструмента с натягом внутри не закреплённой заготовки, при этом размеры инструмента несколько превосходят диаметр отверстия.



Вибронакатывание и вибровыглаживание применяется в случаях необходимости выдавливания на поверхности заготовки едва заметных канавок для удержания смазки и продуктов износа в процессе эксплуатации. Оно осуществляется шаром или алмазом, которым дополнительно сообщаются колебания. Изменяя амплитуду и частоту, можно получить требуемый рисунок из сетки лунок.

Чеканка поверхности механическим или пневматическим молотком, форма рабочей части которого соответствует профилю упрочняемой заготовки, позволяет добиться значительных сжимающих напряжений и максимальной глубины наклёпанного слоя, достигающей значения несколько десятков миллиметров. Однако шероховатость после обработки заметно ухудшается, ввиду чего следующей операцией обычно является шлифование.

Показатели качества поверхности при разных методах приведём в таблице 2.

Таблица 2 - Показатели качества поверхности

<b>Метод ППД</b>	<b>Шероховатость, Ra мкм</b>	<b>Остаточные напряжения <math>\sigma'_{ост}</math> МПа</b>
Накатывание	0,05...0,32	150...400
Алмазное выглаживание	0,05...1	100...1400
Дорнование	0,1...1,6	100...500
Вибронакатывание	0,06...1,6	100...450
Чеканка	8...32	200...1000

### 1.3 Основные параметры процесса алмазного выглаживания

Основные параметры выглаживания можно рассмотреть в работе Торбило В.М. [1]. На качество поверхности влияет скорость деформирования это скорость движения инструмента относительно детали. Напряжённое состояние в зоне контакта определяется как механические свойства материала, глубина внедрения и размер рабочей части инструмента. Кратность приложенной нагрузки или количество нагружений каждой точки обрабатываемой поверхности. Рассмотрим деформацию поверхностного слоя в направлении движения выглаживателя (рисунок 1) со схемой (рисунок 2) более приближенной к реальному масштабу радиуса индентора и высоты шероховатости поверхности.

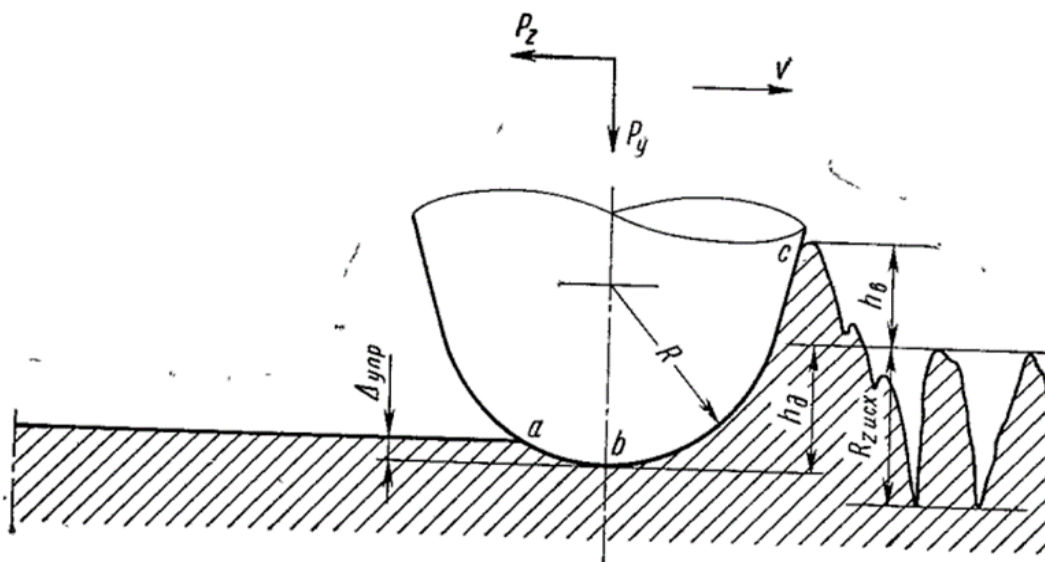


Рисунок 1 - Схема деформации в направлении, совпадающим с направлением скорости (Торбило В.М)

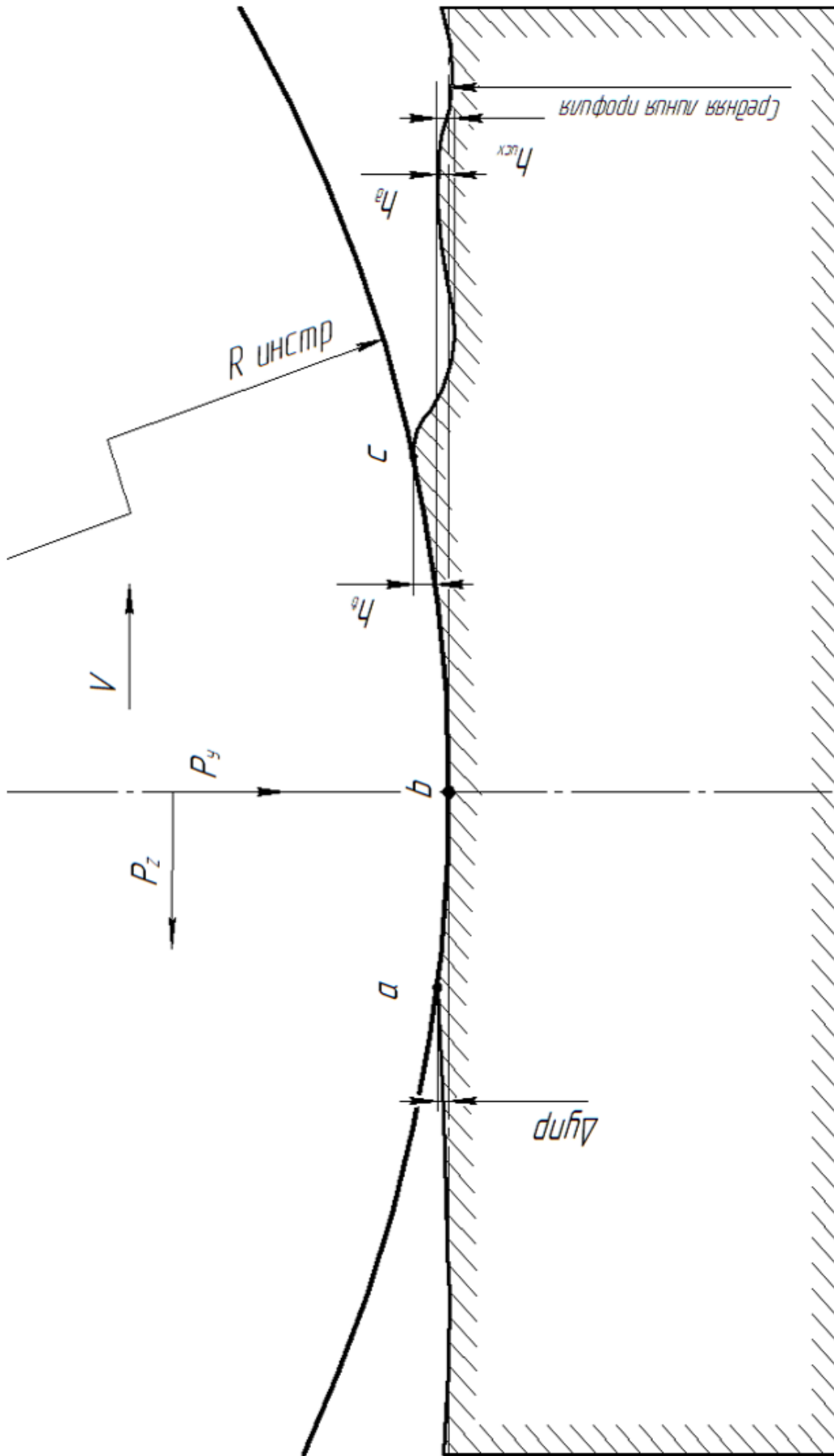


Рисунок 2- Схема в направлени, совпадающим с направлением скорости

На схемах наглядно видно отличие пиков шероховатости и радиуса индентора показанных в схемах Торбило В.М с приближенными размерами к реальному профилю поверхности.

Инструмент внедряется в поверхность с силой  $P_y$  на глубину  $h_d$  и при движении сглаживает неровности поверхности. После прохода инструмента происходит частично упругое восстановление  $\Delta_{упр}$ . Контакт происходит по дуге (adc) в связи с этим образуется валик  $h_b$  пластически деформируемого металла. Из-за этого задняя полуповерхность (ab) нагружена меньше, чем полуповерхность (bc) по этой причине возникает тангенциальная сила  $P_z$ .

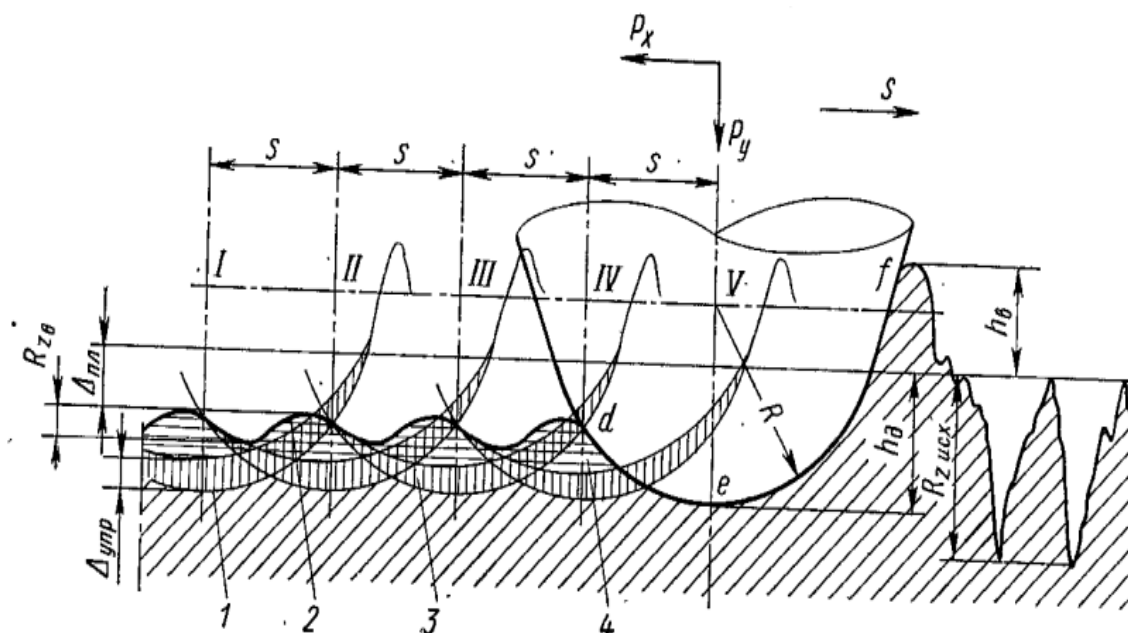


Рисунок 3 - Схема деформации в направлении подачи

Теперь рассмотрим деформацию в направлении подачи (рисунок 3). При продольном движении выглаживатель раздвигает металл деформируемых поверхностей в стороны. Образуется валик деформируемого металла  $h_b$ , а со стороны выглаженной поверхности происходит искажение профиля канавок, образовавшихся при предыдущих оборотах детали.

С каждым оборотом обрабатываемой детали канавка след выглаживателя перемещается в осевом направлении на величину подачи  $S$ . Происходит многократное перекрытие ее при последующих оборотах так как ширина канавки больше величины подачи. Контакт по дуге ( $ef$ ) больше, чем  $de$  в результате образуется сила  $P_x$ .

Микрорельеф поверхности выглаживания обуславливается основными факторами:

1. Величина исходной шероховатости поверхности детали
2. Величина подачи
3. Форма и размер рабочей части алмаза
4. Кинематика процесса (направление взаимного перемещения инструмента и обрабатываемой детали).
5. Величина внедрения алмаза
6. Величина упругого восстановления поверхности после выглаживания
7. Вибрациями системы СПИД
8. Пластическое течение материала, обусловлено появлением вторичной шероховатости.

### **1.3.1 Характеристика физико-механических свойств алмаза**

Алмаз— минерал, кубическая аллотропная форма углерода. При нормальных условиях метастабилен, то есть может существовать неограниченно долго. В вакууме или в инертном газе при повышенных температурах постепенно переходит в графит. Самый твёрдый по шкале эталонных минералов твёрдости Мооса.

Главные отличительные черты алмаза — высочайшая среди минералов твёрдость (и в то же время хрупкость), наиболее высокая теплопроводность среди всех твёрдых тел. У алмаза очень низкий коэффициент трения по металлу на воздухе — всего 0,07 что связано с образованием на поверхности кристалла тонких плёнок адсорбированного газа, играющих роль своеобразной смазки. Когда такие плёнки не образуются, коэффициент трения возрастает и достигает 0,6—1,0. Высокая твёрдость обуславливает исключительную износостойкость алмаза на истирание. Для алмаза также характерны самый высокий (по сравнению с другими известными материалами) модуль упругости и самый низкий коэффициент сжатия.

Температура плавления алмаза составляет примерно 3700—4000 °С при давлении ~11 ГПа. На воздухе алмаз сгорает при 850—1000 °С, а в струе чистого кислорода горит слабо-голубым пламенем при 720—800 °С, полностью превращаясь в углекислый газ. При нагреве до 2000 °С без доступа воздуха алмаз спонтанно за 15—30 минут переходит в графит и взрывообразно разрушается на мелкие части, при температурах более 2000 К поведение термодинамических характеристик алмаза (теплоёмкость, энтальпия) с ростом температуры приобретает аномальный характер.

Структура алмаза это - кристаллы кубической сингонии (гранецентрированная решётка). Атомы углерода в алмазе находятся в состоянии  $sp^3$ -гибридизации. Каждый атом углерода в структуре алмаза расположен в центре тетраэдра, вершинами которого служат четыре ближайших атома. Именно прочная связь атомов углерода объясняет высокую твёрдость алмаза.

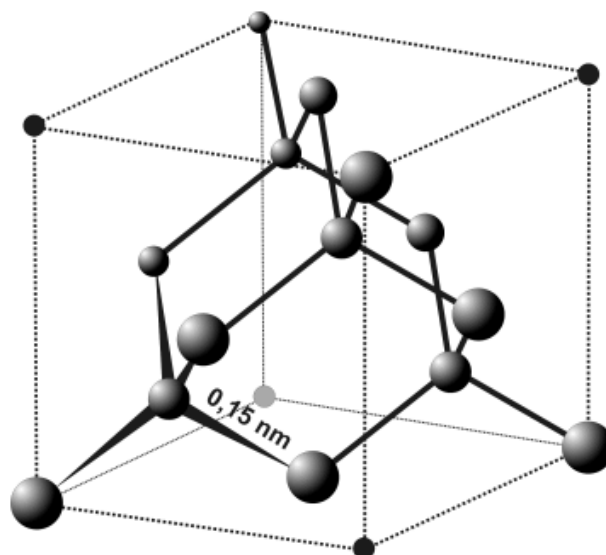


Рисунок 4 - Элементарная ячейка алмаза

Сравним физико-механические свойства алмаза и инструментальных материалов таблица 3.

Таблица 3 - Характеристики физико-механических свойств алмаза и инструментальных материалов

Материал	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Твердость в мПа	Теплопроводность см <sup>2</sup> /с	Модуль упругости, ГПа
Алмаз	3470—3550	103950	0,35	900
Карбид кремния	3200	31381	0,03	365
Кубический нитрид бора	2700	88259	0,2	790
Твердый сплав BK10C	14000-15000	19613	0,14	520
Сталь P18 (закаленная)	8500-8700	8335	0,05	220

Для изготовления выглаживателей используют природные и синтетические алмазы. Синтетические алмазы также широко известны под именами HPHT-алмазы или CVD-алмазы, названные так в честь двух популярных методов производства синтетических алмазов. HPHT расшифровывается как high-pressure high-temperature («высокие давление и температура»), а CVD — chemical vapor deposition («химическое осаждение из пара»). Для первого метода используют многотонные прессы, которые могут развивать давление до 5 ГПа при 1500 °С. Вторым методом — химическое осаждение из газовой фазы (chemical vapor deposition — CVD) — когда над подложкой создаётся плазма из атомов углерода, из которой атомы постепенно конденсируются на поверхность образуя алмаз. Третий метод использует формирование наноразмерных алмазов при помощи ударной волны от взрывчатки.

В HPHT методе используются три вида компоновки прессов: ленточный пресс, кубический пресс и пресс с разрезной сферой. Затравки алмазов помещаются на дно капсулы, помещаемой в пресс. В прессе под давлением капсулу нагревают до температуры выше 1400 °С, и металл-растворитель плавится. Расплавленный металл растворяет углерод, также заложенный в капсулу, и позволяет перемещаться атомам углерода к затравкам, благодаря чему затравки растут, формируя большие алмазы.

Наиболее совершенный тип прессов для выращивания алмазов — БАРС (БАРС = Беспрессовая Аппаратура высокого давления «Разрезная Сфера»). Разработан в 1989—1991 гг. учёными из Института геологии и минералогии им. В. С. Соболева сибирского отделения РАН. Прессы этой конструкции наиболее компактные, эффективные, экономичные из всех установок для выращивания алмазов. В центр устройства помещается керамическая цилиндрическая капсула объёмом около 2 см<sup>3</sup>, в которой синтезируется алмаз. Капсула окружается передающей давление керамикой на базе пиррофиллита,



которая сжимается пуансонами первой ступени из твёрдого материала, например, карбида вольфрама или сплава ВК10. Восьмигранная сборка пуансонов первой ступени сжимается при помощи восьми стальных пуансонов второй ступени. После сборки конструкция заключается между двух полусфер диаметром около метра, фиксируемых вместе полумуфтами. Зазор между полусферами и стальными пуансонами заполняется гидравлическим маслом под давлением, передавая усилие через пуансоны к капсуле. Капсула нагревается при помощи встроенного коаксиального графитового нагревателя, а температура контролируется при помощи термопары.

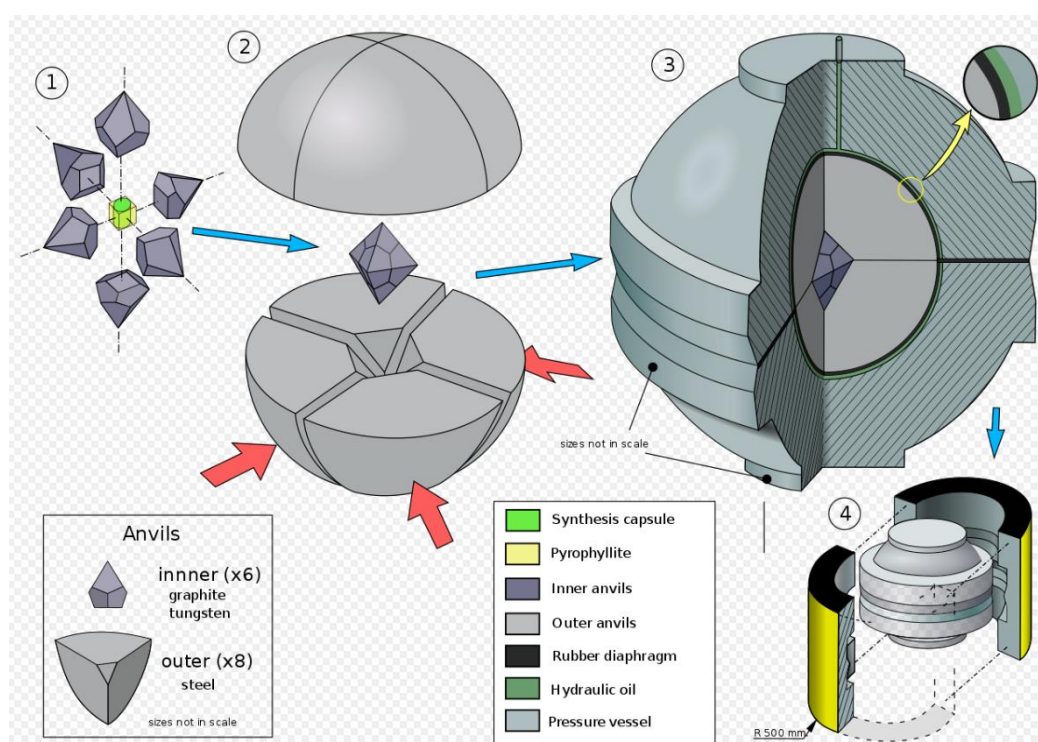


Рисунок 5 - Схема системы BARS

Химическое осаждение из газовой фазы — это метод получения алмазов, в котором алмаз растёт за счёт осаждения углерода на затравку из водород-углеродной газовой смеси. Простота и гибкость CVD-технологии обусловили популярность этого метода в лабораториях. При выращивании алмазов по технологии осаждения из газовой фазы можно тонко контролировать химический состав включений в итоговый продукт, выращивать алмазные

плёнки на заготовках большой площади. В отличие от HPHT, CVD-процесс не требует высокого давления — процесс роста происходит при давлениях менее 27 кПа.

Алмазные нанокристаллы (5 нм) в диаметре могут быть сформированы при детонации подходящей углеродсодержащей взрывчатки в металлической камере. Во время взрыва создаётся высокое давление и высокая температура, которой достаточно для превращения углерода из взрывчатки в алмаз. Сразу после взрыва камеру со взрывчаткой погружают в воду, это подавляет переход алмазов в более стабильный графит. В одном из вариантов этой технологии металлическая трубка заполняется порошком графита и помещается внутрь камеры, заполненной взрывчаткой. Нагрев и давление, развиваемое от взрыва, достаточны для превращения графита в алмаз. Финальный продукт всегда заключён в графите и других неалмазных формах графита, поэтому требует длительного кипячения в азотной кислоте (около суток при 250 °С) для извлечения. Полученные таким образом алмазные порошки используются в основном как абразив.

Синтетические алмазы с размером зерна более 3 мм в виде поликристаллов получили название баллас (АСБ) и карбонида (АСПК) по аналогии с наименованиями соответствующих природных алмазов. Особенность их структуры обеспечивает изотропность физико-механических свойств, что дает возможность инструменту работать с переменными нагрузками. Алмазы АСБ имеют шаровидную форму, а алмазы АСПК имеют форму цилиндра.

### **1.3.2 Тепловое явление и стойкость выглаживателя**

Затрачиваемая энергия в процессе выглаживания почти вся переходит в тепло и нагревает соответственно деталь и инструмент. Нагрев влияет как на качество обрабатываемых верхних слоев, так и на инструмент. И вследствие

на его стойкость так как при температуре, превышающей  $850\text{ }^{\circ}\text{C}$  алмаз, сгорает. Экспериментальную проверку температур в зоне контакта выглаживателя с деталью показала зависимость температуры со скоростью выглаживания.

Наибольшая скорость выглаживания по закалённой стали ШХ15, ограничиваемая теплостойкостью алмаза, составила 400-600м/мин. При скорости не более 100м/мин температура не превышала  $200\text{-}400\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Наиболее интенсивный износ наблюдается при скоростях 140-160м/мин, наименьший при 50-100 и 200-280м/мин. При скоростях 400м/мин происходит нагрев алмаза до  $700\text{-}750\text{ }^{\circ}\text{C}$  что приводит к интенсивному износу алмаза.

### **1.3.3 Силы и колебания при алмазном выглаживании**

Силы. При выглаживании сила  $P$  раскладывается на три составляющие: нормальную  $P_y$ , тангенциальную  $P_z$ , и силу подачи  $P_x$ . Сила выглаживания зависит от радиуса и формы алмазного выглаживателя, пластичности и шероховатости обрабатываемой поверхности, глубины внедрения, подачи и некоторых других факторов. Основной силой, создающие давление в контакте инструмента с деталью является нормальная составляющая  $P_y$ .  $P_z$ , и  $P_x$  в 10-20 раз меньше.

Максимальные и минимальные допустимые величины силы выглаживания задаются исходя из необходимости обеспечения стабильности качества выглаженной поверхности. Задав величины максимального минимального пределов силы выглаживания, можно определить допустимые значения скорости выглаживания.

Колебания. При выглаживании на обрабатываемой поверхности может появляться продольная и поперечная волнистости из-за колебаний технологической системы СПИД. При больших скоростях обработки начинаются интенсивные вибрации, приводящие к резкому ухудшению

обрабатываемой поверхности. При выглаживании наблюдаются вынужденные колебания и автоколебания. Вынужденные колебания вызываются такими причинами, как биение шпинделя станка, биение обрабатываемой детали, волнистость и наличие следов вибрации и т. д. Автоколебания при выглаживании обусловлены явлениями, присущими самому процессу выглаживания.

При движении инструмента по обрабатываемой поверхности объем деформируемого металла перед ним увеличивается, что вызывает увеличение сил выглаживания и отжим детали и инструмента; затем цикл повторяется. Кроме того, вследствие неравномерности шероховатости и твердости обрабатываемой поверхности фактические величины внедрения инструмента, сил выглаживания и трения являются переменными, что также обуславливает возникновение автоколебаний.

Характер колебаний технологической системы СПИД зависит от ее жесткости. Жесткое выглаживание при скоростях более 170 м/мин невозможно из-за сильных вибраций, в то время как при применении упругой державки можно выглаживать поверхности во всем диапазоне исследуемых скоростей.

### **1.3.4 Трение и смазка**

Трение и смазка. В процессе выглаживания в зоне контакта инструмента с деталью возникают силы трения, которые влияют на процесс протекания пластической деформации, нагрев инструмента и детали, на качество обрабатываемой поверхности.

Трение возникает вследствие деформирования тонкого поверхностного слоя материала обрабатываемой детали внедрившимся инструментом и преодоления адгезионных связей, возникающих между инструментом и

обрабатываемой поверхностью. Н. М. Михиным [2] установлено, что в случае трения в условиях пластического контакта коэффициент трения.

$$f = f_{\text{деф}} + f_{\text{адг}} \quad (1)$$

где  $f_{\text{деф}}$  – деформационная составляющая коэффициента трения;

$f_{\text{адг}}$  – адгезионная составляющая коэффициента трения.

Можно считать, что адгезионная составляющая коэффициента трения зависит лишь от вида обрабатываемого материала и его шероховатости и не зависит от режимов выглаживания. Изменение скорости выглаживания в рабочем диапазоне (до 250 м/мин) практически не влияет на коэффициент трения при выглаживании закаленных сталей, при выглаживании мягких материалов — незакаленных сталей, алюминия, бронзы с увеличением скорости коэффициент трения значительно уменьшается. Так, при выглаживании алюминиевого сплава Д16Т коэффициент трения уменьшается вдвое при увеличении скорости от 50 до 200 м/мин.

На качество выглаженной поверхности и стойкость инструмента большое влияние оказывает применяемая смазочно-охлаждающая жидкость. Выбранная жидкость должна обеспечить уменьшение трения и тепловыделения в зоне контакта, выдерживать большие давления, должна иметь стабильные свойства при нагреве, легко и удобно наноситься на обрабатываемую поверхность, должна быть нетоксична.

## **2 Исследование алмазного выглаживания**

### **2.1 Физическая сущность ППД**

Методы модификации поверхности уже давно используются для придания механическим компонентам улучшенных свойств. Для изменения поверхностного слоя обычно используют изменение химического состава, микроструктуры и напряженного состояния. Методы, используемые для улучшения характеристик поверхности, широко классифицируются как основанные на нанесении покрытия (например, покрытие, осаждение) или на основе деформации (например, механическая обработка, полирование, пластическая поверхностная деформация (далее ППД)).

Среди них последняя группа по своей природе более масштабируема для приложений структурных компонентов основанные на сильной пластической деформации для изменения микроструктуры поверхности и напряженного состояния, нанесения искусственного рельефа на поверхность и улучшения качества чистоты поверхности. Для конфигураций, основанных на деформации, целостность поверхности определяется полем деформации и соответствующей скоростью деформации, деформацией и температурой.

В связи с этим существует фундаментальная потребность в понимании и количественной оценке взаимосвязей между механикой деформации и контролируемыми параметрами обработки, а также соответствующих воздействий на различные элементы целостности поверхности. Для этого необходимы оптимизации методов поверхностной интенсивной пластической деформации для проектирования высокопроизводительной механической обработки.

Наружный тонкий слой металла отличающейся от основного объёма детали по фазовому, химическому составу и микроструктуре называется поверхностным слоем. Трение, износ и контактная усталость являются основными причинами вывода оборудования из строя условиях эксплуатации.

В связи с этим первоначально поверхностный слой подвержен сильнейшему физическому и химическому воздействию.

Реальная поверхность детали несовершенна и имеет геометрические отклонения. В зависимости от отношения шага  $S$  к высоте неровностей  $RZ$ :  $S/RZ < 50$  – шероховатость поверхности, при  $S/RZ = 50 \dots 1000$  волнистость и при  $S/RZ > 1000$  – отклонение от правильной геометрической формы.

Шероховатость поверхности регулируется ГОСТ 2789-73, стандарт устанавливает перечень параметров и типов направлений неровностей, которые должны применяться при установлении требований и контроле шероховатости поверхности, числовые значения параметров и общие указания по установлению требований к шероховатости поверхности.

#### Параметры шероховатости

$Ra$  – среднее арифметическое отклонение профиля шероховатости от средней линии в пределах базовой длины;

$Rz$  – высота неровностей профиля шероховатости по десяти точкам в пределах базовой длины;

$Rmax$  – наибольшая высота профиля шероховатости в пределах базовой длины;

$Sm$  – среднее значение шага неровностей профиля шероховатости по средней линии в пределах базовой длины;

$S$  – среднее значение шага местных выступов профиля шероховатости;

$tr$  – относительная опорная длина профиля, где  $p$  - значение уровня сечения профиля.

В ГОСТ 25142-82 даются уже определения, термины и расчет параметров шероховатости поверхности.

Так же к неровности поверхности можно отнести и волнистость, которая может возникать в результате вибраций в системе СПИД. Для оценки волнистости установлена три параметра рекомендацией СЭВ (РС 3951 - 73).

$W_z$  – высота неровностей профиля волн по десяти точкам;

$W_{max}$  – максимальная высота профиля волн;

$Smw$  – среднее значение шага профиля волн по средней линии;

## **2.2 Явления, происходящие в поверхностном слое при обработке высокоскоростным алмазным выглаживанием**

Наиболее характерном свойством металла является пластичность или способность претерпевать большую пластическую деформацию без разрушения. Схематично процесс деформации на атомном уровне можно представить с помощью пузырьковой модели рисунок 2.2.



Рисунок 2.2.1 - Наглядное воспроизведение дислокационной структуры границ зерен

Рассмотрим подробно перемещение атомов при пластической деформации. В идеальном монокристалле для совершения элементарного акта



пластической деформации не обходимо произвести сдвиг по всей атомной плоскости рисунок 2.2.2.

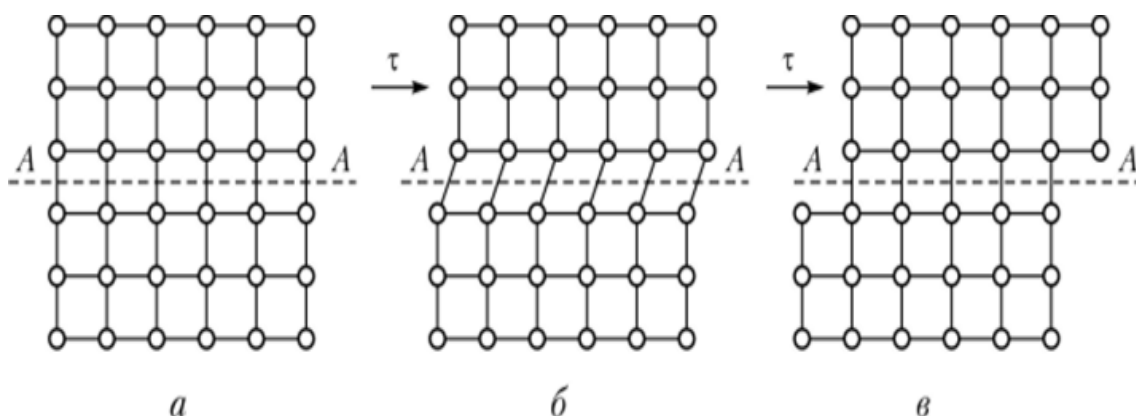


Рисунок 2.2.2 - Схема пластического сдвига в идеальном кристалле

Что бы преодолеть силы меж атомного взаимодействия не обходимо приложить внешнее напряжение 100 до 1000кг/мм<sup>2</sup>. Речь идет об идеальном монокристалле что же касается реальных кристалла то тут силы нужны гораздо меньше. Это можно объяснить тем, что на практике реальные кристаллы не имеют идеального строения (Рисунок 2.2.3) в них всегда присутствуют линейные дефекты кристаллической решётки, так называемыми дислокациями.

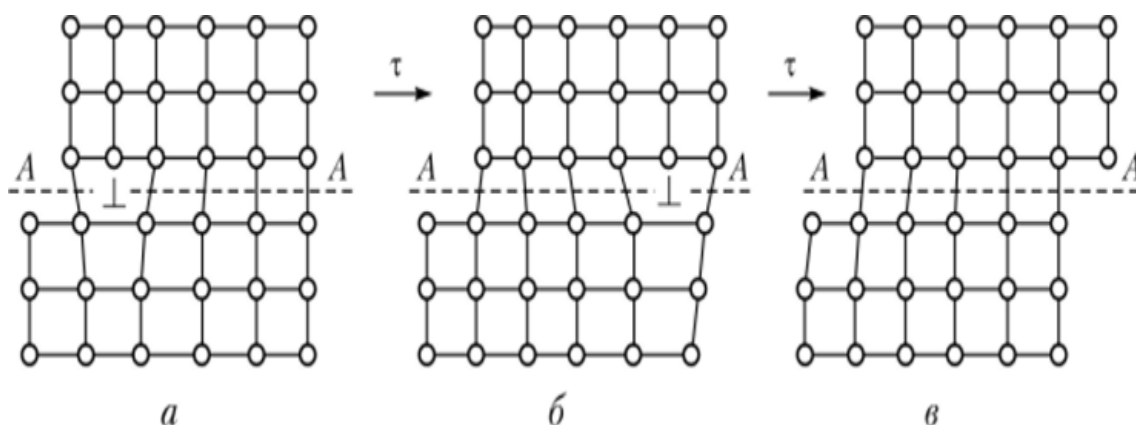


Рисунок 2.2.3 - Схема пластического сдвига в реальном кристалле

При приложении внешней нагрузки дислокация совершает движение через кристалл. Элементарный акт пластической деформации совершается за счет разрыва меж атомных связей на определённых участках плоскости

скольжения. В результате прохождения дислокации через кристалл на его поверхности образуются микроскопические уступы линии скольжения (Рисунок 2.2.4).

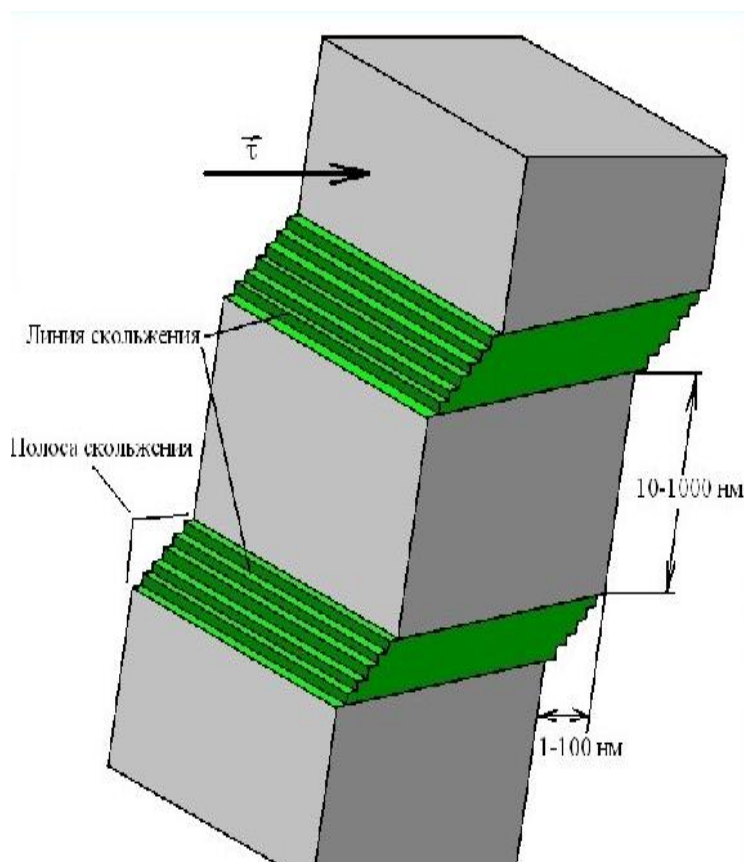


Рисунок 2.2.4 - Полосы скольжения

В процессе пластической деформации дислокации взаимодействуют с различными дефектами кристаллической структуры, что приводит к упрочнению кристалла.

На начальных стадиях пластической деформации дислокации движутся по одной системе скольжения. Размножение дислокаций происходит в основном за счет источников, которые получили название Источник Франка–Рида (Рисунок 2.2.5).

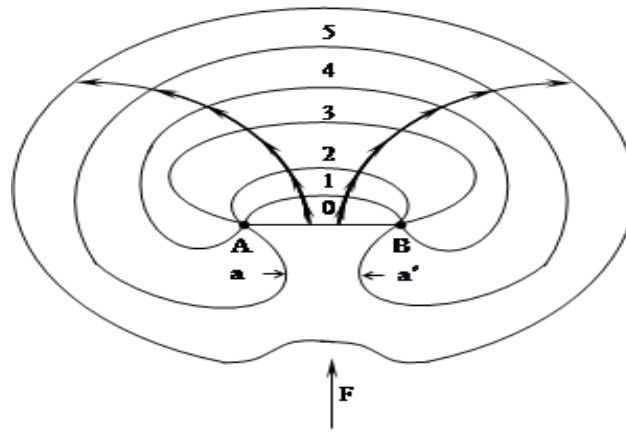


Рисунок 2.2.5 - Источник Франка–Рида. 0, 1, 2, 3, 4, 5 – последовательные положения дислокационного сегмента под действием силы  $F$ . Стрелками показано расширение петель

Действие этого источника основано на выгибании части дислокационной линии, закреплённой с двух сторон после образования дислокационной петли процесс, повторяется снова. При движении дислокаций по одной системе скольжения они без препятственно проходят через весь образец в этом случае напряжения течения составляет долю килограмма на квадратный миллиметр. При наличии препятствий для движения дислокаций напряжение течения резко возрастает одним из таких препятствий являются границы зерен в поликристаллах.

В следствии различной ориентировки зерен пластическая деформация в них начинается не одновременно. Распространение пластической деформации от зерна к зерну происходит по эстафетному механизму. Внутренние напряжения скопления дислокаций в близи границы вызывают размножение и движения дислокаций в соседнем зерне.

Развитие скольжения в отдельном зерне можно схематично представить как деформацию монокристалла аналогичной формы и размеров (Рисунок 2.2.6).

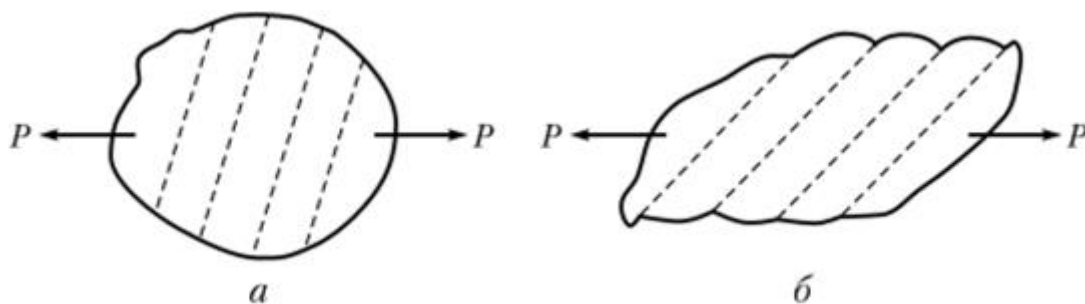


Рисунок 2.2.6 - Схема пластической деформации отдельного зерна металла

Как правило изменение формы отдельных зерен близко к изменению формы поликристаллического агрегата в целом. Напряжения течения в чистых поликристаллах подчиняется соотношению Холла-Петча, согласно которому сопротивления деформации тем больше, чем меньше размер зерна.

$$\sigma_T = \sigma_0 + Kd^{-1/2} \quad (2.1)$$

где  $\sigma_0$  — некоторое напряжение трения, которое необходимо для скольжения дислокаций в монокристалле;

$d$  — размер зерна;

$K$  — индивидуальная для каждого материала константа, также называемая «коэффициентом Холла-Петча».

В результате взаимодействия двух расцепленных дислокаций. Образуется барьеры Ломер-Коттрелла они являются эффективным препятствием для движения дислокаций. Взаимодействие движущихся дислокаций с дислокациями леса приводит к образованию ступеньки, которые, тормозят движения дислокаций. В результате перечисленных типов взаимодействия дислокаций с дефектами кристаллической структуры происходит упрочнение материала. Рассмотрим изменение структуры на отдельных стадиях пластической деформации (Рисунок 2.2.7).

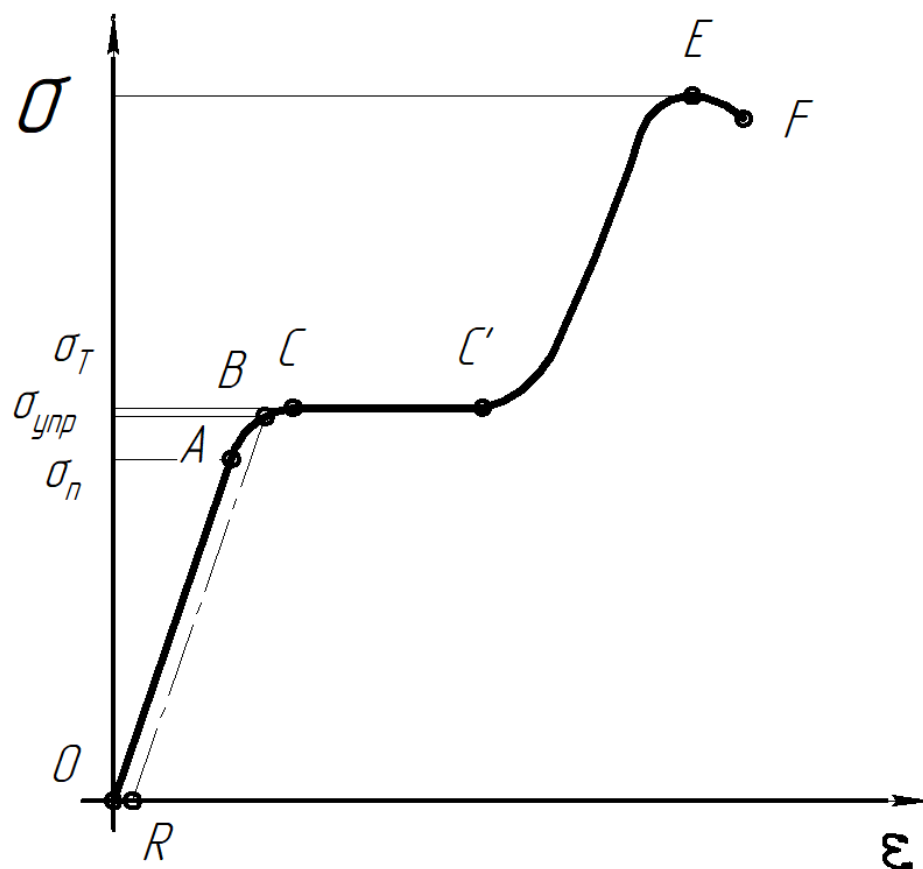


Рисунок 2.2.7 - Диаграмма растяжения

$$\delta = E \cdot \varepsilon \quad (2.2)$$

где,  $\delta$  – напряжение;

$E$  - модуль упругости или модуль Юнга;

$\varepsilon$  – относительная деформация.

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (2.3)$$

где,  $\Delta l$  – абсолютное удлинение;

$l$  - начальная длина.

Статический анализ выполняется тогда, когда выполняется закон Гука, а закон Гука выполняется только при малых деформациях при повышении предела пропорциональности на графике это отрезок  $OA$  связь между

напряжением и деформации становится не линейной и для более точных результатов надо проводить не линейный анализ.

Дуга АВ это предел упругости. ОР остаточная деформация. С-С' предел текучести на этом отрезке происходит рост деформации без увеличения нагрузки. С'-Е зона упрочнения. Е предел прочности максимальное напряжение, которое может выдержать материал оставаясь не разрушенным. В точке F происходит разрушение материала. Так же нам необходимо рассмотреть кривую упрочнения металл.

Кривые упрочнения металла иллюстрирует, что с накоплением деформации возрастает сопротивление металла пластической деформации, т. е он упрочняется за счет пластической деформации (рисунок 2.2.8).

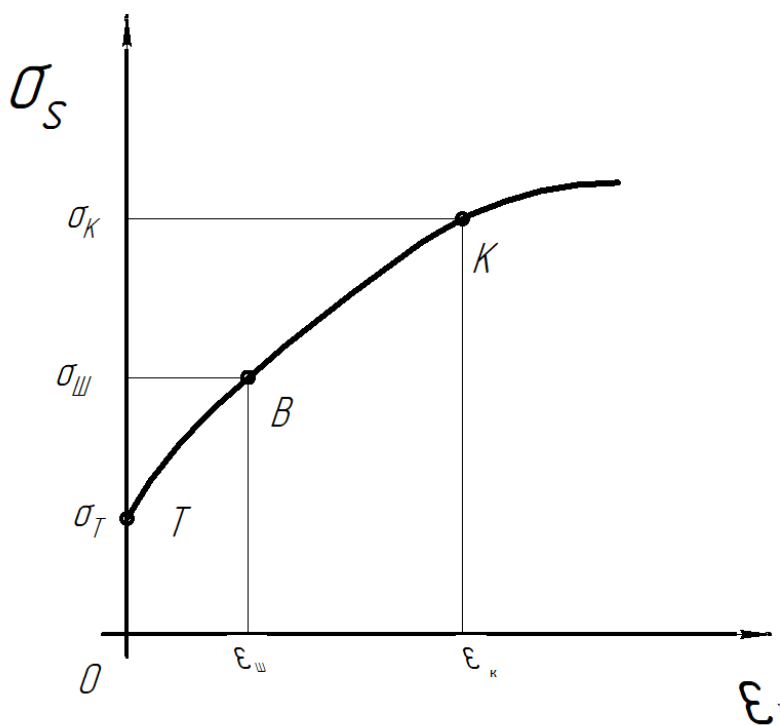


Рисунок 2.2.8 – Кривая упрочнения металлов

где, Т - точка соответствует условному пределу текучести;

$\sigma_T$  – условное напряжение (физический предел текучести);

В – точка, где возникает шейка;

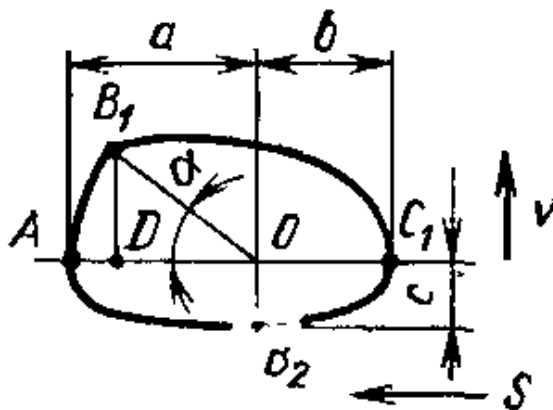
К – точка соответствующая моменту разрушения образца при растяжении.

На кривой упрочнения отсутствует участок упругой деформации. Предел текучести  $\sigma_T$  равен либо физическому пределу текучести (если на индекаторной диаграмме есть площадка текучести), либо условному пределу текучести  $\sigma_{0,2}$ . При растяжении образца равномерное удлинение происходит до точки В.

Процесс выглаживания представляет собой одну из микропластических операций, при которой сферический инструмент с алмазным наконечником внедряется металлическую поверхность образуя канавку при этом индентор скользит по поверхности.

Так называемый контур контакта, образующийся при вдавливании индентора в поверхность, можно разделить на три очага деформации (ОД). ОД зависит от таких параметров как шероховатость поверхности и глубины вдавливания индентора, а также скорости при выглаживании.

В работе Л. Г. Одинцова [3] описан контур контакта индентора с деталью. Он представляет из себя дугу окружности  $AB_1$  (Рисунок 2.2.9), соответствующая углу  $\alpha$ , и парабола  $B_1C_1$ .



### Рисунок 2.2.9 - Очаг деформации

Область контакта задней полусферы наконечника ограничивается дугой  $AB_2C_1$ , которая может быть аппроксимирована дугой эллипса. Площадь контакта наконечника сферической формы с деталью равна сумме площадей полуэллипса  $AB_2C_1$ , сектора окружности  $OAB_1$  и параболического полусегмента  $B_1C_1$  минус площадь треугольника  $OB_1D$ .

Вследствие упругих деформаций после обработки индентором образуется частичное возвращение деформации после снятия нагрузки, а перед выглаживателем образуется так называемый валик. За счет этого наплыва полуповерхность нагружена гораздо больше. Из-за этого наплыва и адгезионно взаимодействия выглаживателя с поверхностным слоем возникают силы  $P_x$  (осевая сила) и тангенциальная составляющая сила  $P_z$ .

Суть метода состоит в многократном перекрытии следа от выглаживателя, это происходит только при малых подачах. В результате чего обработанная поверхность алмазным выглаживателем имеет более гладкую поверхность за счет уменьшения высот неровностей профиля, образуется новый микрорельеф.

Не мало важно отметить, что в начальный момент выглаживания происходит выдавливание части материала на торец детали в следствии вдавливания индентора. В дальнейшем сила выглаживания стабилизируется, но если скорость выглаживания увеличить происходит перепрыгивания индентора через валик из-за автоколебаний (Рисунок 2.2.10).



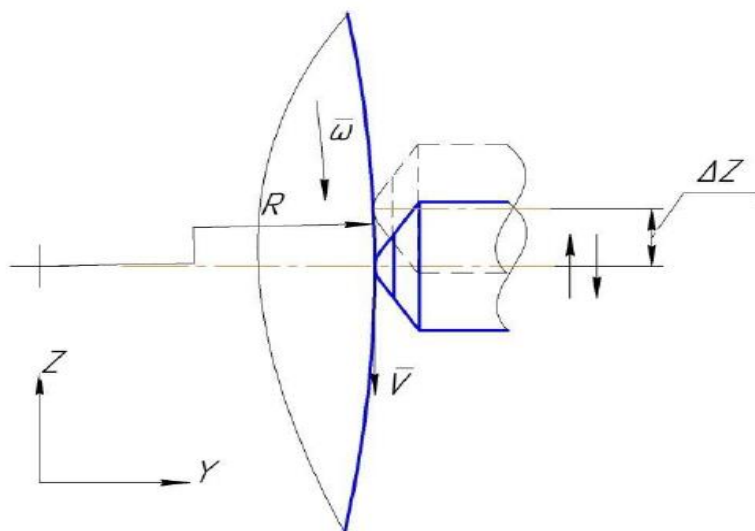


Рисунок 2.2.10 - Схема перемещения выглаживателя в вдоль оси Z

При выходе инструмента на кромку детали в конце обработки часть валика выходит и в результате выглаживающий индентор углубляется больше, чем на основной обрабатываемой поверхности. К моменту прохождения выглаживающим индентором самой кромки натяг исчезает и на торце образуется наплыв металла.

### 2.3 Изучения очага деформирования и анализ распределения сил и напряжений

Состояние поверхностного слоя при обработке детали методом ППД меняется из-за сложных процессов, происходящих в очаге деформирования. Таких как трение и тепловой процесс между заготовкой и индентором, многократная упругая и пластическая деформация. Все это влияет на микрогеометрию, микро- и макроструктуру и т.д.

При выглаживании в основном влияет сила воздействия инструмента на заготовку, радиус индентора который влияет на площадь контакта, многократность приложенных сил на поверхность.

При увеличении силы  $R_y$  при выглаживании инденором может происходить перенаклеп. Что приводит к ухудшению качество поверхности, а именно повышения шероховатости и образованию микротрещин в поверхностном слое.

В работе Г.Д Деля [4] описана зависимость между твердостью деформированного металла и интенсивностью напряжений при пластическом деформировании положена в основу метода определения напряженного состояния в пластической области по распределению твердости, представляющего собой без образцовый вариант метода догрузки.

Исследованием связи между твердостью, измеренной различными методами, и напряжением при испытании на сжатие широкого круга материалов установлено, что графики твердость — интенсивность напряжений, построенные для различных металлов, не совпадают. Однако все они имеют общую для данного способа измерения твердости огибающую, соответствующую связь между твердостью и пределом текучести идеально пластических материалов. Объясняется это уменьшением упрочняемости металлов с возрастанием деформации.

Если измеряют твердость по Бринеллю, по Виккерсу и микротвердость, огибающая является прямой. При измерении твердости по Роквеллу— это кривая. Многочисленные эксперименты показали, что при измерении твердости по Бринеллю огибающая достаточной точностью описывается уравнением.

$$\sigma_0 = (0,32 + 0,37) HB$$

Исходя из этого можно сказать, что сопротивление металл пластической деформации можно косвенно оценить измерением его твердости. Для повышения точности оценки рекомендуется зависимость уточнять

экспериментально. Несмотря на это этот метод дает существенную погрешность при малых деформациях.

По форме очага деформации (ОД) и граничными условиями методы ППД существенно отличаются от традиционных методов обработки давлением.

Фактическая площадь касания при пластической деформации индентором мала. В этих случаях, как известно, вводят идеализированную схему полупространства. Типичными задачами с такой расчетной схемой являются задачи о вдавливании индентора в полупространство.

Следовательно, для ОД, возникающих при ППД, характерно наличие не только контактных, но и достаточно развитых в неконтактных зон. При скольжении тела вдоль поверхности образуется асимметричный относительно профиля инструмент ОД с характерной для этого случая формой.

При обработке ППД выглаживанием при наличии двух движений – вращения заготовки и подачи инструмента образуется двухсторонний очаг деформации с неравномерным объёмом пластических зон, расположенных по разные стороны инструмента. Соотношение размеров контактных и некоторых зон определяется режимом обработки.

Соответственно рассмотренным случаям изменяются не только форма площади контакта, длина и форма внеконтактных поверхностей, но и механическое состояние деформируемого материала в очаге деформации.

Анализа механического состояния процессов ППД невозможно без граничных условий. К ним относятся формализованные физические условия на границе ОД. Эти условия могут быть заранее неизвестны или частично известны. Граничные условия можно разделить на тепловые механические. Для процессов холодной пластической деформации наиболее важными являются механические граничные условия.

Они задают в виде условий для скоростей смещений, напряжения, законов трения, условий неразрывности инструмента и деформируемого тела и другие, которые позволяют получать решения, адекватные приближенному процессу.

В настоящее же время в силу математических трудностей не удастся решить задачу ППД с определением границ ОД.

#### **2.4 Трение на поверхностном слое при выглаживании**

При выглаживании в процессе трения происходят существенные изменения механических и химико-физических характеристик поверхностного слоя. Свойства поверхностных слоев заготовки в процессе пластической деформации с применением смазочно-охлаждающей жидкости отличаются от объемных свойств материала.

В тоже время на поверхностном слое имеются слои окислов и поверхностных соединений. Слои окислов активно образуются при повышенных температурах. При взаимодействии двух твердых тел на свойства поверхностного слоя будут влиять способы обработки поверхностей.

В процессе трения происходят изменения свойств поверхностного слоя, а именно если повышается температура в зоне площади контакта происходит отжиг, что приводит к размягчению слоя. При скольжении по поверхности индентор касается фронтальной частью по направлению движения. Вследствие наплыва при перемещении в осевом направлении происходит переддеформирование слоя. В справочнике И.В Крагельского [5] указано что с увеличением скорости глубина деформируемого слоя уменьшается.

Проконтролировать изменения механических свойств слоя после алмазного выглаживания можно с помощью измерения микротвердости. В процессе выглаживания происходит увеличения твердости слоя из-за наклепа.

Адгезионную составляющую коэффициента трения теоретически рассчитать трудно, поэтому ее обычно определяют экспериментально. Коэффициент трения при выглаживании определяется опытным путем как отношение тангенциальной силы  $P_z$  к нормальной силе  $P_y$ :

$$f_{\text{тр}} = \frac{P_z}{P_y} \quad (2.4)$$

где  $f_{\text{тр}}$  – коэффициент трения;

$P_z$  – тангенциальная сила;

$P_y$  – нормальная сила.

Многочисленными экспериментами установлено, что коэффициент трения в зависимости от условий выглаживания равен 0,03—0,12. В наибольшей степени на величину коэффициента трения влияют вид обрабатываемого материала и глубина внедрения (или функционально связанная с ней сила выглаживания).

При алмазном выглаживании ряда металлов (титана, циркония, ниобия, тантала) силы адгезионного взаимодействия велики, что выражается в резком увеличении силы трения и налипании частиц обрабатываемого металла на рабочую поверхность алмаза. Это делает затруднительным алмазное выглаживание таких металлов. Однако при выглаживании большинства применяемых в промышленности металлов и сплавов вследствие их незначительного химического сродства с алмазом силы адгезии малы. Кроме того, выглаживание, как правило, производится со смазкой, что значительно уменьшает возможность адгезионного взаимодействия трущихся поверхностей и поэтому адгезионная составляющая коэффициента трения невелика ( $f_{\text{адг}}=0,01 \div 0,05$ ).

Можно считать, что адгезионная составляющая коэффициента трения зависит лишь от вида обрабатываемого материала и его шероховатости и не зависит от режимов выглаживания. Изменение коэффициента трения при различных режимах выглаживания происходит за счет деформационной составляющей.

При исследовании получено совпадение расчетных значений коэффициента трения с фактическими. При увеличении силы выглаживания коэффициент трения и его деформационная составляющая растут, а адгезионная составляющая остается примерно постоянной. Аналогичный вид имеет зависимость коэффициента трения от глубины внедрения выглаживателя.

Большое влияние на коэффициент трения оказывает твердость обрабатываемой детали, так как деформационная составляющая мала на твердых материалах и силы более стабильны при выглаживании, коэффициент трения уменьшается.

Увеличение радиуса рабочей части инструмента приводит к снижению коэффициента трения за счет его деформационной составляющей. С увеличением подачи при выглаживании коэффициент трения растет, однако, в интервале рабочих подач (0,02—0,10 мм/об) это изменение невелико. Изменение скорости выглаживания в рабочем диапазоне (до 250 м/мин) практически не влияет на коэффициент трения при выглаживании закаленных сталей, при выглаживании мягких материалов — незакаленных сталей, алюминия, бронзы с увеличением скорости коэффициент трения значительно уменьшается. Так, при выглаживании алюминиевого сплава Д16Т коэффициент трения уменьшается вдвое при увеличении скорости от 50 до 200 м/мин.

На качество выглаженной поверхности и стойкость инструмента большое влияние оказывает применяемая смазочно-охлаждающая жидкость.

Выбранная жидкость должна обеспечить уменьшение трения и тепловыделения в зоне контакта, выдерживать большие давления, должна иметь стабильные свойства при нагреве, легко и удобно наноситься на обрабатываемую поверхность, должна быть нетоксична.

Исследование влияния смазочно-охлаждающих жидкостей на качество поверхности при выглаживании стальных деталей показало, что наилучшие результаты дает применение индустриального масла 20 и сульфифрезола, которые и следует рекомендовать для выглаживания стальных деталей. Применение керосина и эмульсии при выглаживании сталей не рекомендуется.

В отличие от стали сплавы, основанные на алюминии, не нуждаются в СОЖ. Она используется только для на несении на детали декоративной поверхности.

Э. Г. Грановский установил, что для латуни и бронзы лучше всего применять индустриальные масла 20. А также было выявлено что смазочно-охлаждающей жидкости снижает износ алмазного индентора примерно в 5 раз по сравнению с выглаживанием всухую. Выше всего сказанного можно рекомендовать в качестве универсальной смазки индустриальное масло 20.

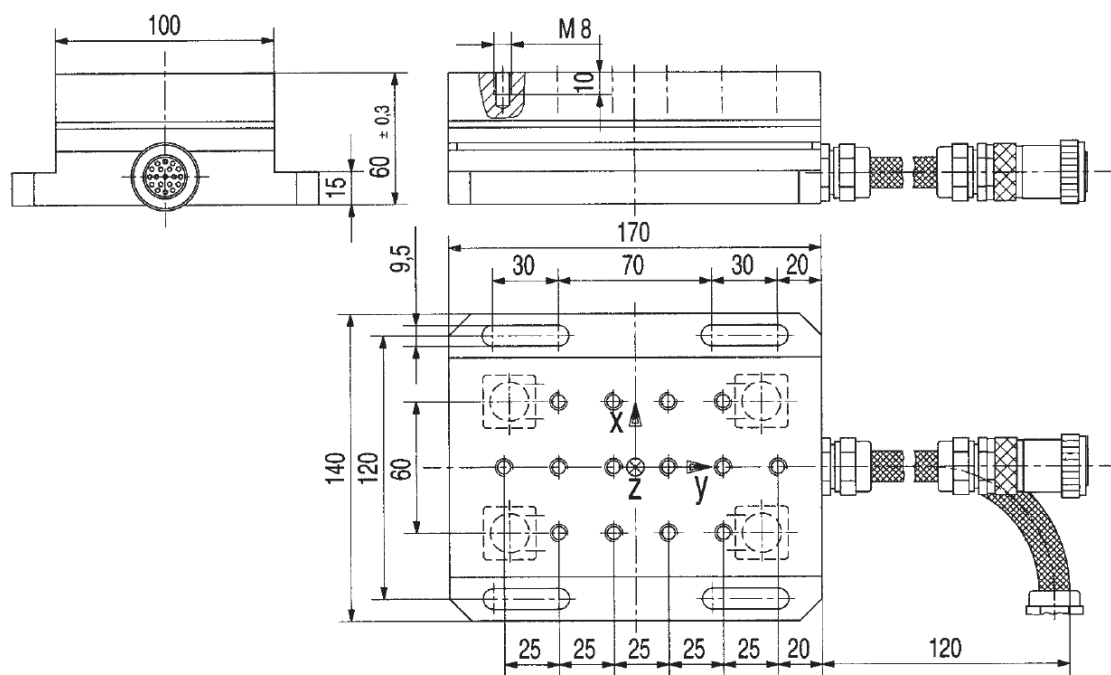
### 3 Исследования алмазного выглаживания на высоких скоростях

#### 3.1 Принцип работы пьезоэлектрических датчиков

Для измерения сил при высокоскоростном выглаживании в ходе эксперимента был использован прибор фирмы «KISTLER» модель 5233A1. Устройство этого прибора заключается в измерении пьезоэлектрического эффекта. Пьезоэлектрические датчики силы идеально подходят для точного измерения силы как в высокодинамических так и в квазистатических процессах.

Принцип работы датчика состоит в том, что силы сжатия и растяжения, воздействующие на кристалл, пропорциональны электрическому заряду. Благодаря высоким собственным частотам они способны точно измерять быстрые процессы.

Динамометр (Рисунок 3.1) состоит из четырех 3-компонентных датчиков силы, установленных под высоким предварительным натягом между опорной плитой и крышкой. Компоненты силы измеряются практически без смещения.



a)





Рисунок 3.1 - а) Размеры динамометра типа 9257BA; б) внешний вид

Накладка снабжена специальным теплоизоляционным слоем, который делает динамометр в значительной степени нечувствительным к температурным воздействиям. В динамометр встроен 3-канальный усилитель заряда. Следовательно, выходной сигнал на динамометре имеет низкое сопротивление. Встроенный кабель подключается к блоку управления типа 5233A1 (Рисунок 3.2).



Рисунок 3.2 - Блок управления тип 5233A1 «KISLER»

Динамометр устанавливается с помощью винтов на суппорт станка на поворотной плите. В крышке предусмотрено 14 отверстий с резьбой M8x1,25 для зажима силовых компонентов. В нашем случае это пневматическая оправка на 4 плоских пружинах с силовым элементом «сильфон-ресивер».

Контактные поверхности деталей, вводящих усилие, должны быть отшлифованы для обеспечения хорошего механического сцепления с накладкой. Схема подключения показана на рисунке 3.3.

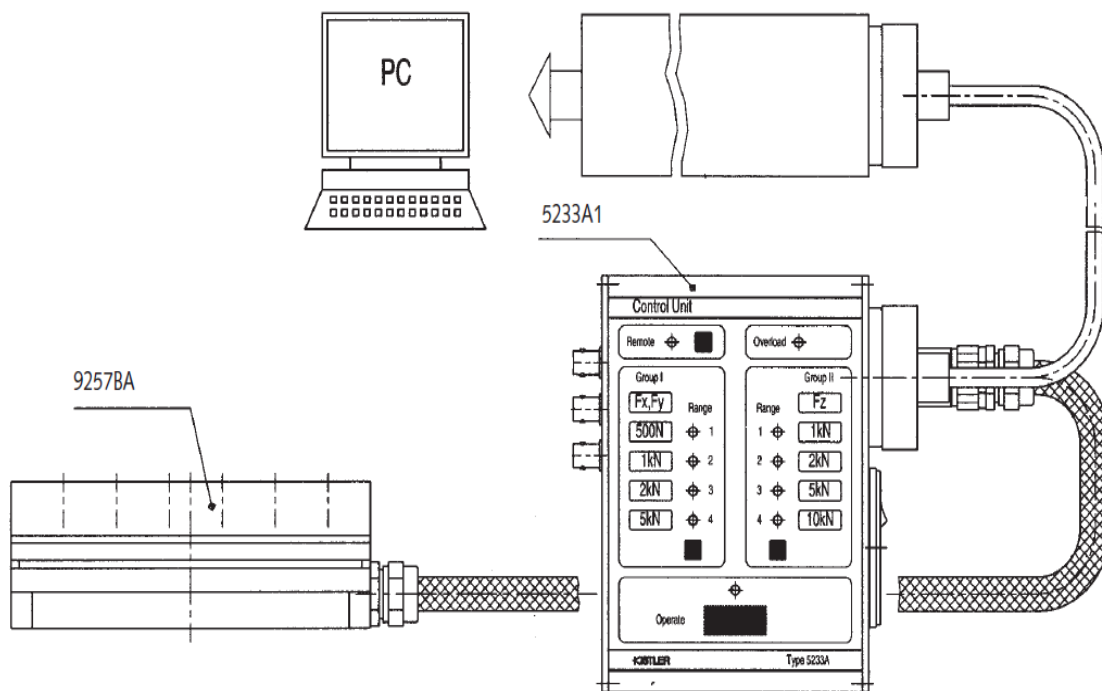


Рисунок 3.3 - Схема подключения прибора «KISLER»

Следует отметить, что неровные контактные поверхности могут вызывать внутренние искажения, создавая дополнительные большие нагрузки на отдельные измерительные элементы и увеличивая перекрестные помехи. Что было выявлено в ходе эксперимента. Наглядно показана на графиках рисунки 3.4-3.7.

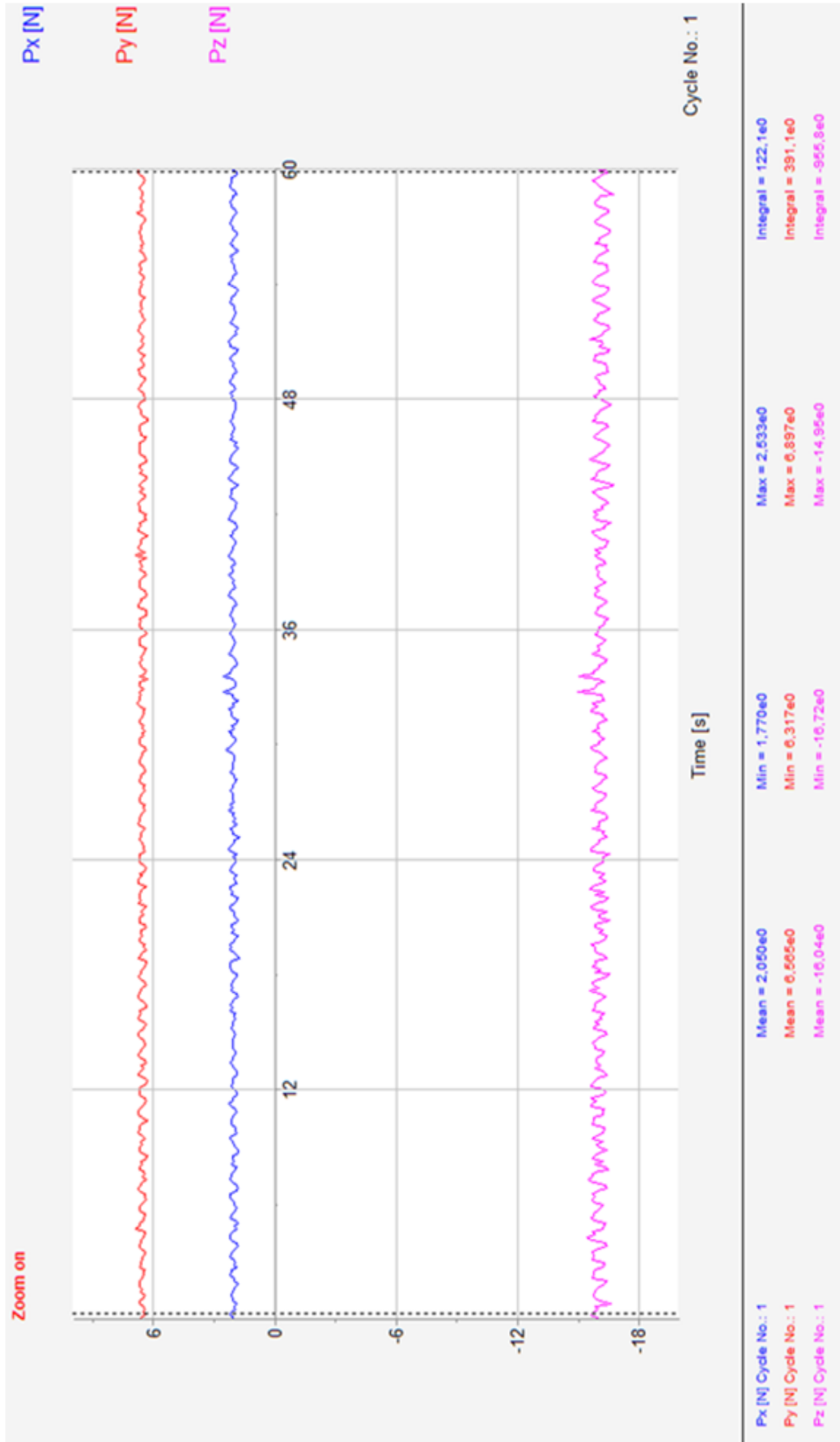


Рисунок 3.4 – Поворот относительно X по часовой

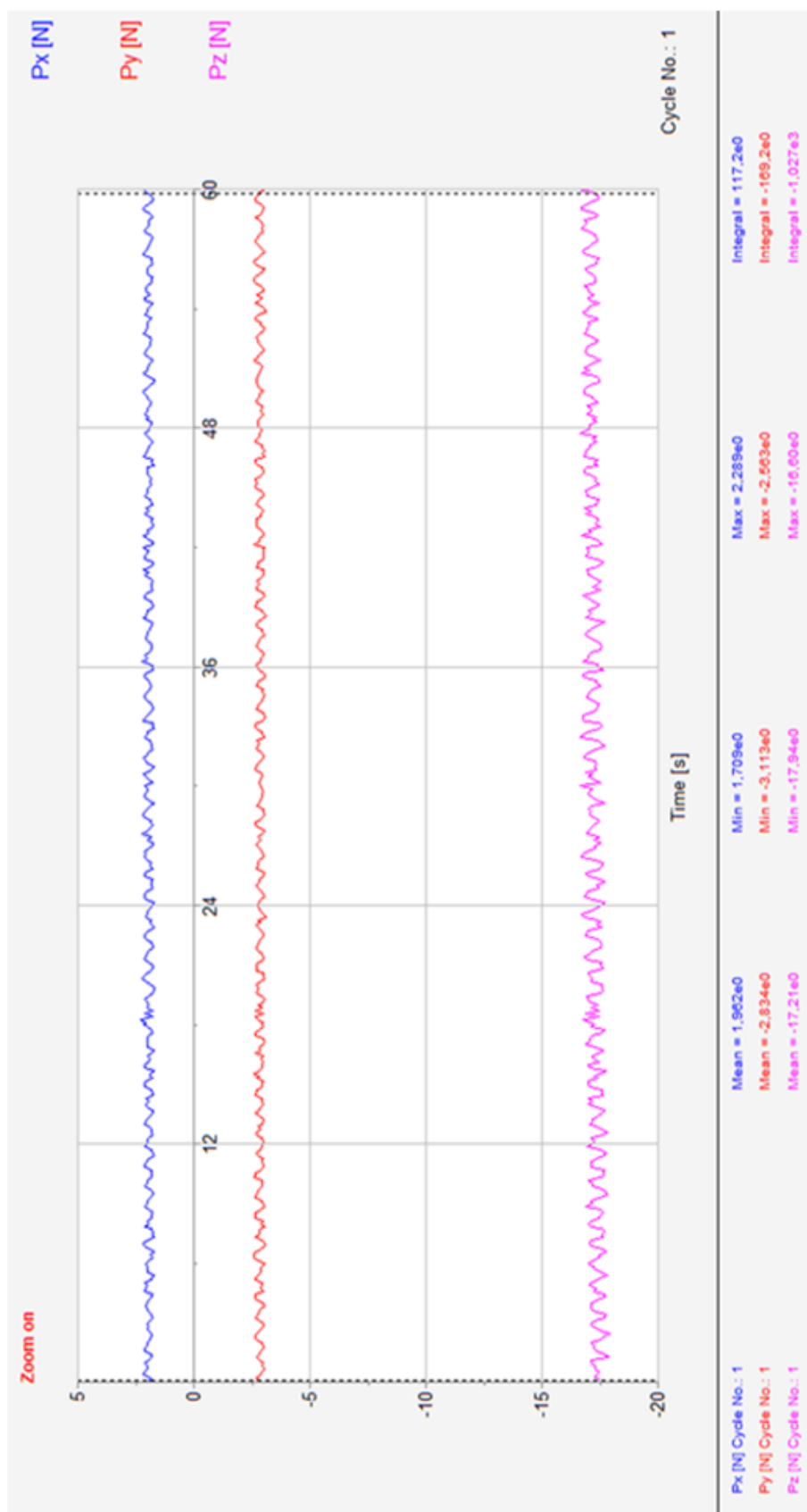


Рисунок 3.5 - Поворот относительно x против часовой

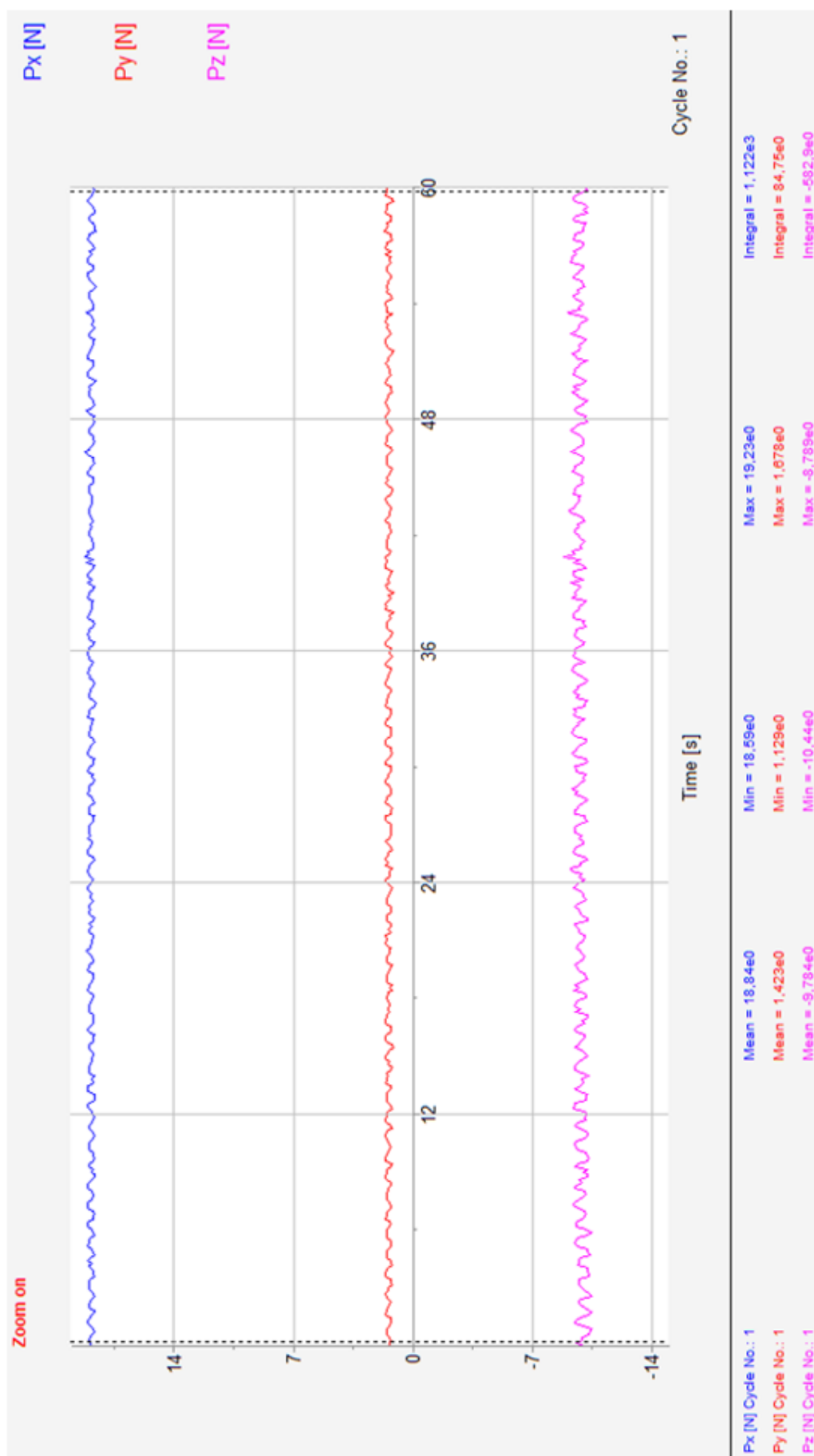


Рисунок 3.6 - Поворот относительно у по часовой

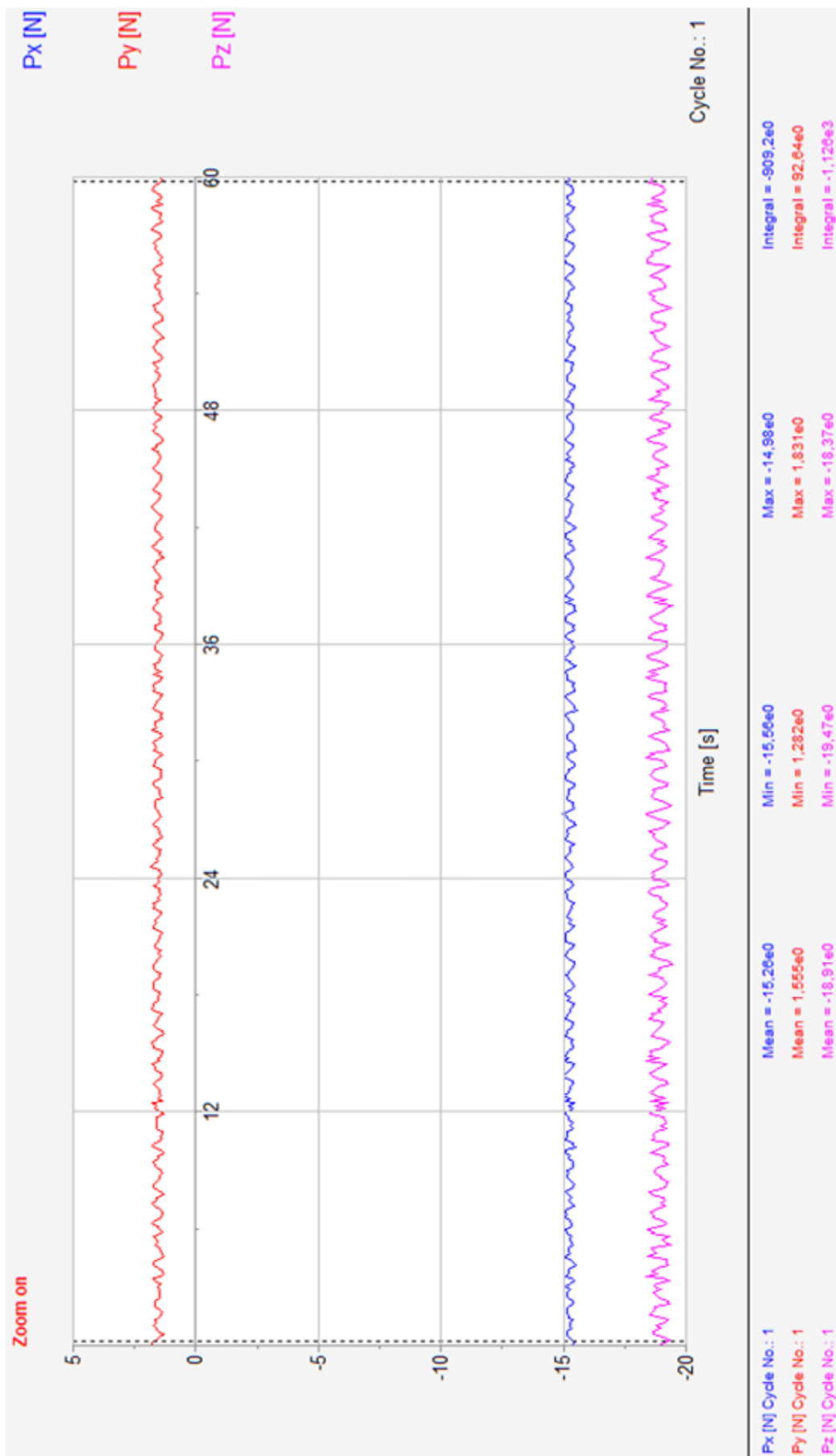


Рисунок 3.7 - Поворот относительно у по часовой

Кварцевые датчики силы не нуждаются в установке нулевого значения, но так называемый дрейф нуля присутствует. И был записан в ходе эксперимента рисунок 3.8. Дрейф нуля составил силу  $PZ$  в 6,5 (Н), а  $Px$ ,  $Py$  примерно 1,7(Н).



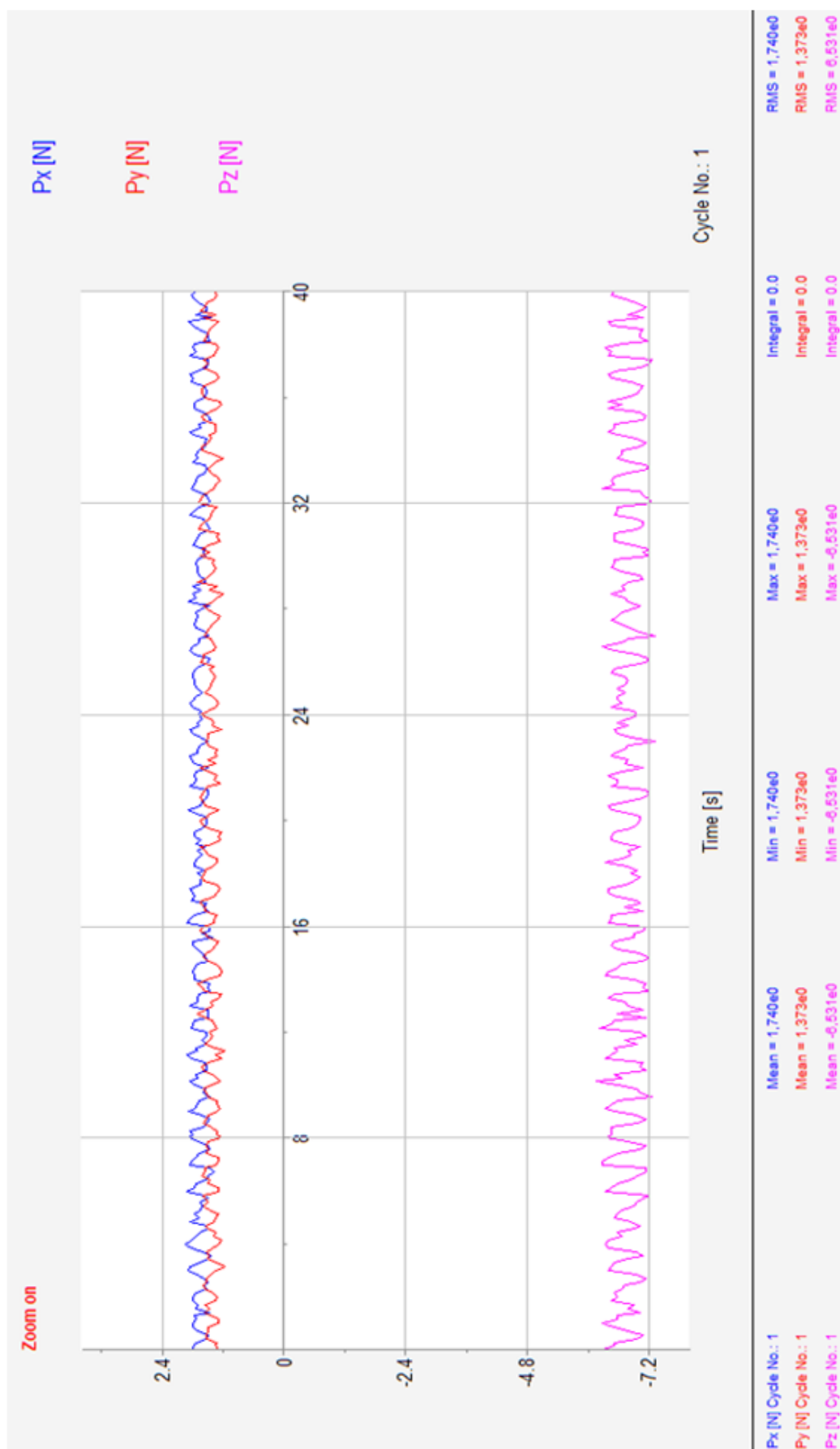


Рисунок 3.8 - Дрейф нуля

### 3.2 Пневматическа оправка на 4 плоских пружинах

Для стабилизации силы выглаживания РУ для высокоскоростного выглаживания необходимо полностью исключить возвратно-поступательные и вращательные пары трения, а также пары трения качения в конструкции оправки. В качестве силового элемента используем систему сиффон-ресивер с регулируемым давлением.

Индентор должен установлен так чтобы исключить перемещения по ортогональным направлениям «x» и «z» под действием сил  $P_x$  и  $P_z$ , но свободно по направлению «y». С учетом выше сказанного нам подойдет разработанная оправка пневматическая с ресивером и параллелограммной установкой индентора на 4-х плоских стойках рисунок 3.9, а также для сравнения используем оправку с плоской симметричной пружиной рисунок 3.10.



Рисунок 3.9 - Пневматическая оправка на 4 плоских пружинах



Рисунок 3.10 - Оправка с плоской симметричной пружиной

### 3.3 Тарировка оправки

Перед выглаживанием необходимо провести тарировку. Тарировку производили с помощью трёхкомпонентного динамометра модели 5233A1 «KISLER». За счет увеличения давления в сиффоне интервал составил 20 кПа.

Таблица 3.1 – Показания, полученные при тарировки

Давление в сиффоне (кПа)	Усилие по трёхкомпонентному динамометру (Н)
20	35
40	52
60	69
80	87
100	101
120	114
140	134

Продолжение таблица 3.1

160	148
180	165
200	182
220	197
240	214
260	228
280	245
300	259
320	275

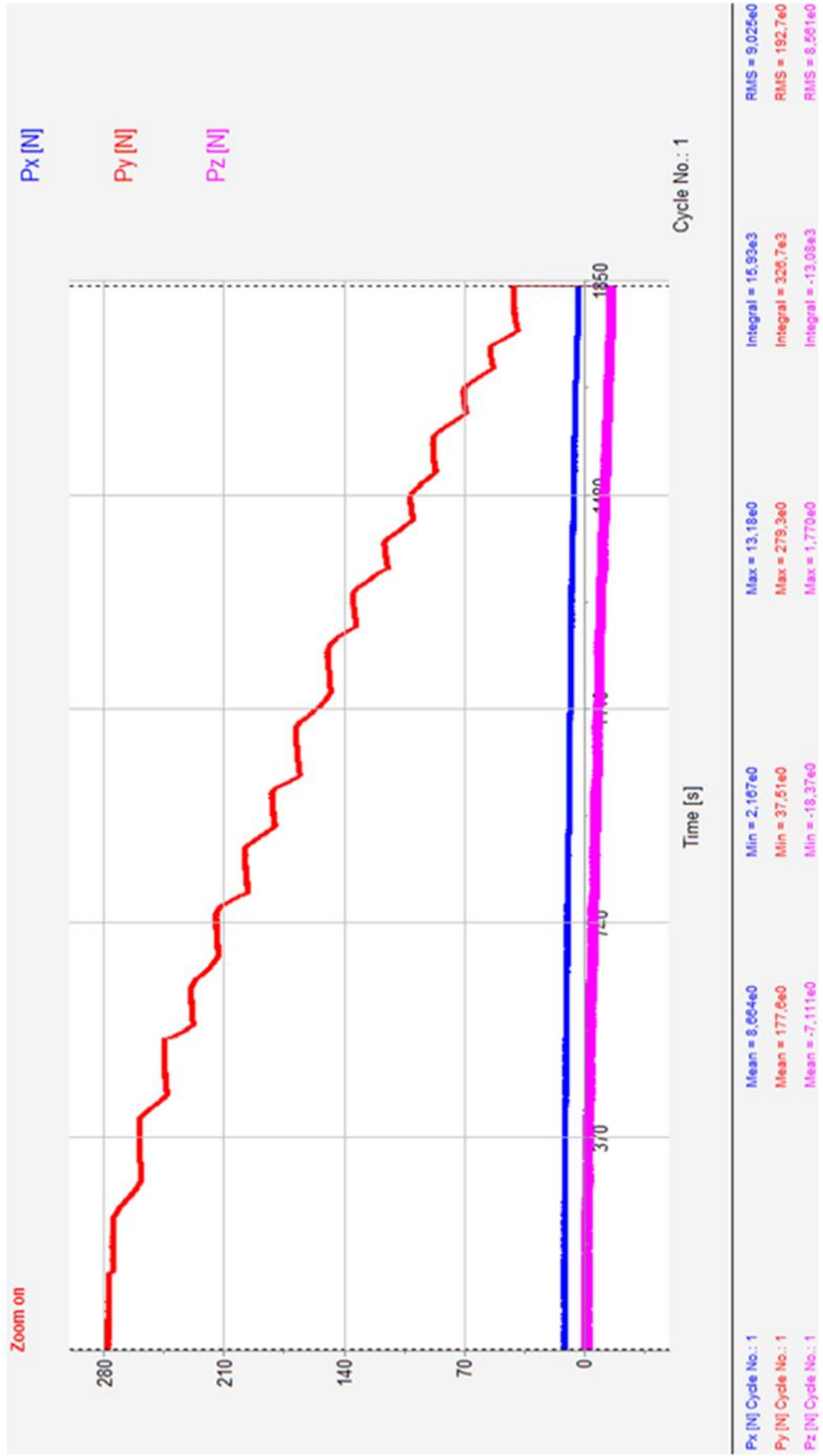


Рисунок 3.1.1 - Графік при гаріровке

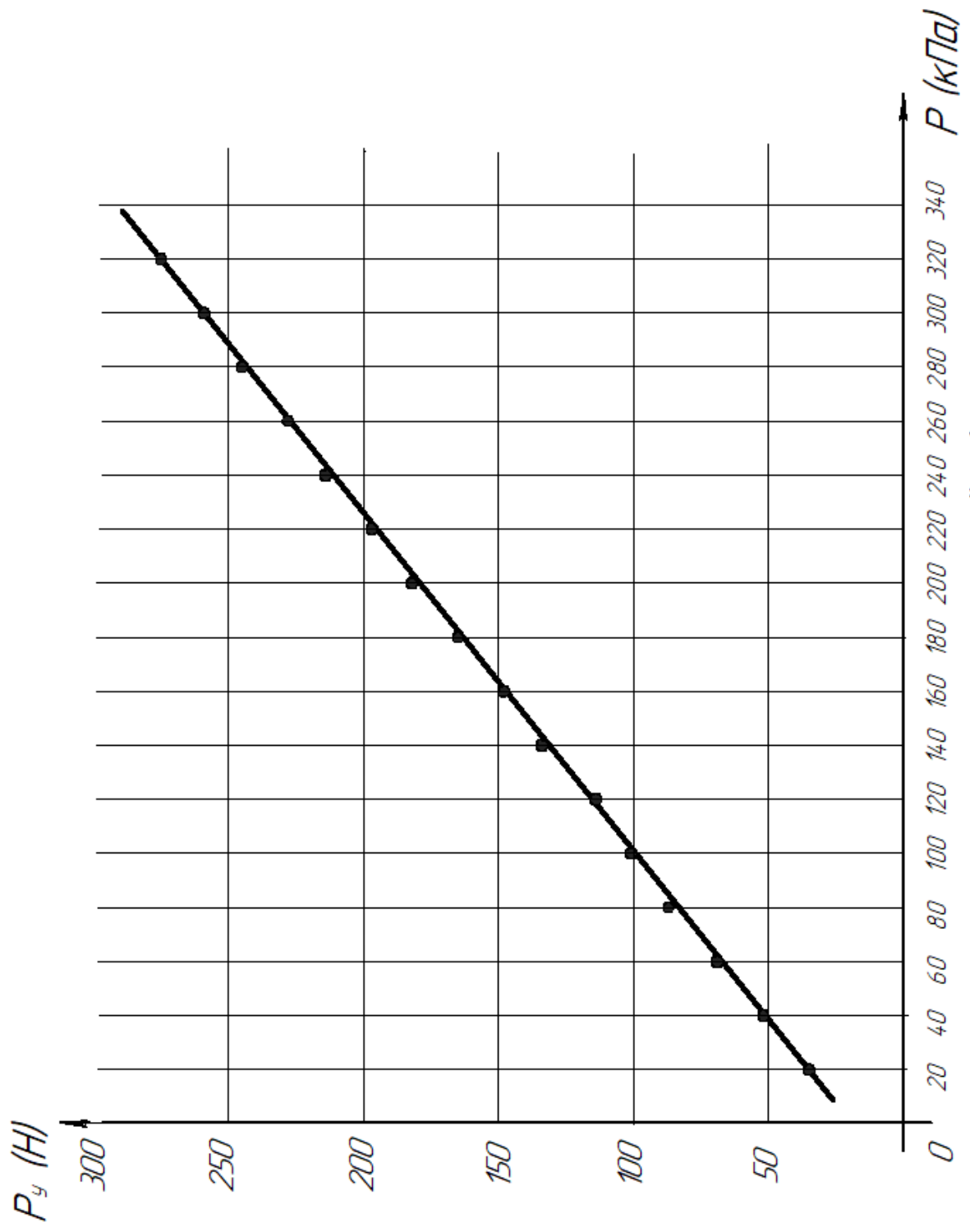


Рисунок 3.12 - Тарировочный график

### 3.4 Соотношение сил выглаживания при увеличении скорости

Для исследования влияния увеличения скорости при выглаживании проведем ряд экспериментов. Нам не обходимо будет подготовить образцы для этого проточим заготовки в центрах. С цель исключения погрешности при базировании заготовку не снимаем.

Производим замену резцедержателя на установку динамометра. С последующей установкой на него оправки. При этом необходимо все поверхности прилегания тщательно очистить и выставить индентор на уровень линии центров станка рисунок 3.13.

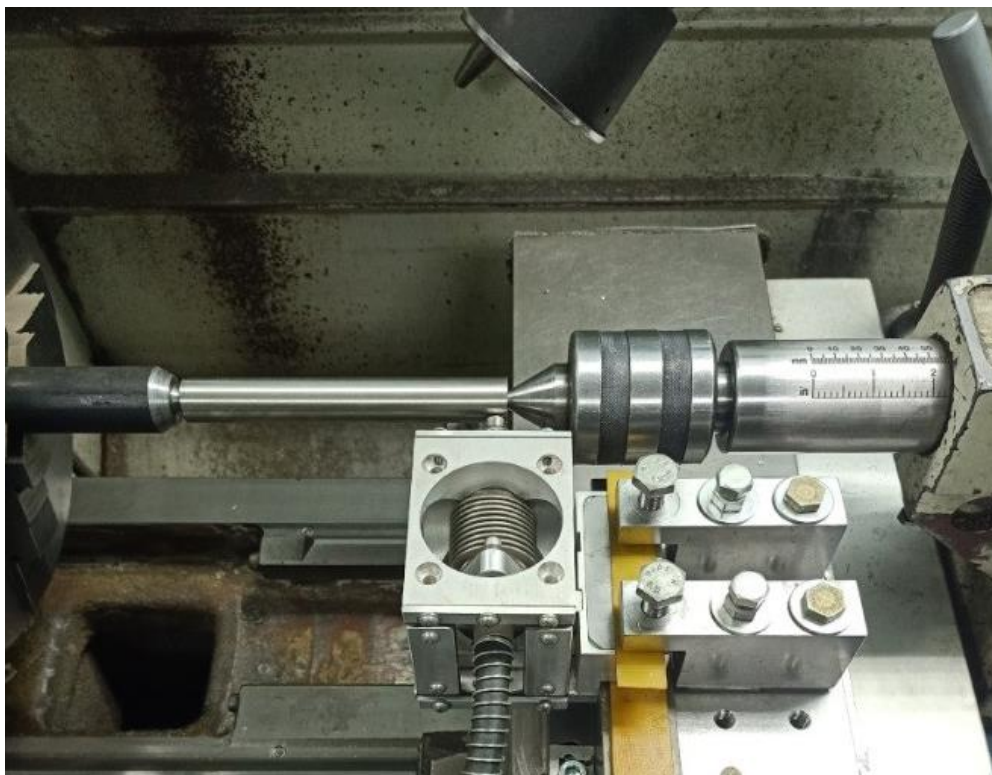


Рисунок 3.13 – Подготовлен образец и выставлен динамометр

Первый образец имеет диаметр 20,2 мм из материала 12X18H10T. Радиус алмазного индентора равен 3,5 мм. Подачу выставим на 0,05 мм/об. Интервал замеров соотношения сил выглаживания примем 50 об/мин. Давление в ресивере 200 кПа. Графики сил выглаживания приложим в приложения А. Для наглядности составим таблицу 3.2.

Таблица 3.2 - Образец № 1 соотношение сил выглаживания (материал 12Х18Н10Т; диаметр 20,2 мм) с учетом погрешности

Обороты, об/мин	$P_x$ , Н	$P_y$ , Н	$P_z$ , Н	$V$ , м/мин
50	1,3	170	44	3,1
100	1,2	179	40	6,3
150	1	175	35	9,4
200	1	172	36	12,6
250	1	178	36	15,7
300	1	170	32	18,9
350	1	178	32,5	22
400	1	173	30	25,2
450	1	172	30	28,4
500	1	170	30	31,5
550	-3	180	29	34,7
600	-2	174	25	37,8
650	-2	180	24	41
700	-3	174	24	44,1
750	3	170	18	47,3
800	-2	180	21	50,4
900	-3	175	18	56,8



Продолжение таблицы 3.2

1000	-2	174	16	63,1
1500	-2	176	16	94,6

Исходя из таблицы можно сделать вывод что сила  $R_x$  практически не изменялась,  $R_y$  варьировалось в диапазоне от 170Н до 180Н,  $R_z$  с увеличением скорости стал уменьшаться. При 1500 об/мин., началась вибрация силы при выглаживании стали не стабильными сравним два графика при 100 об/мин., рисунок 3.14 и 1500 об/мин., рисунок 3.15.

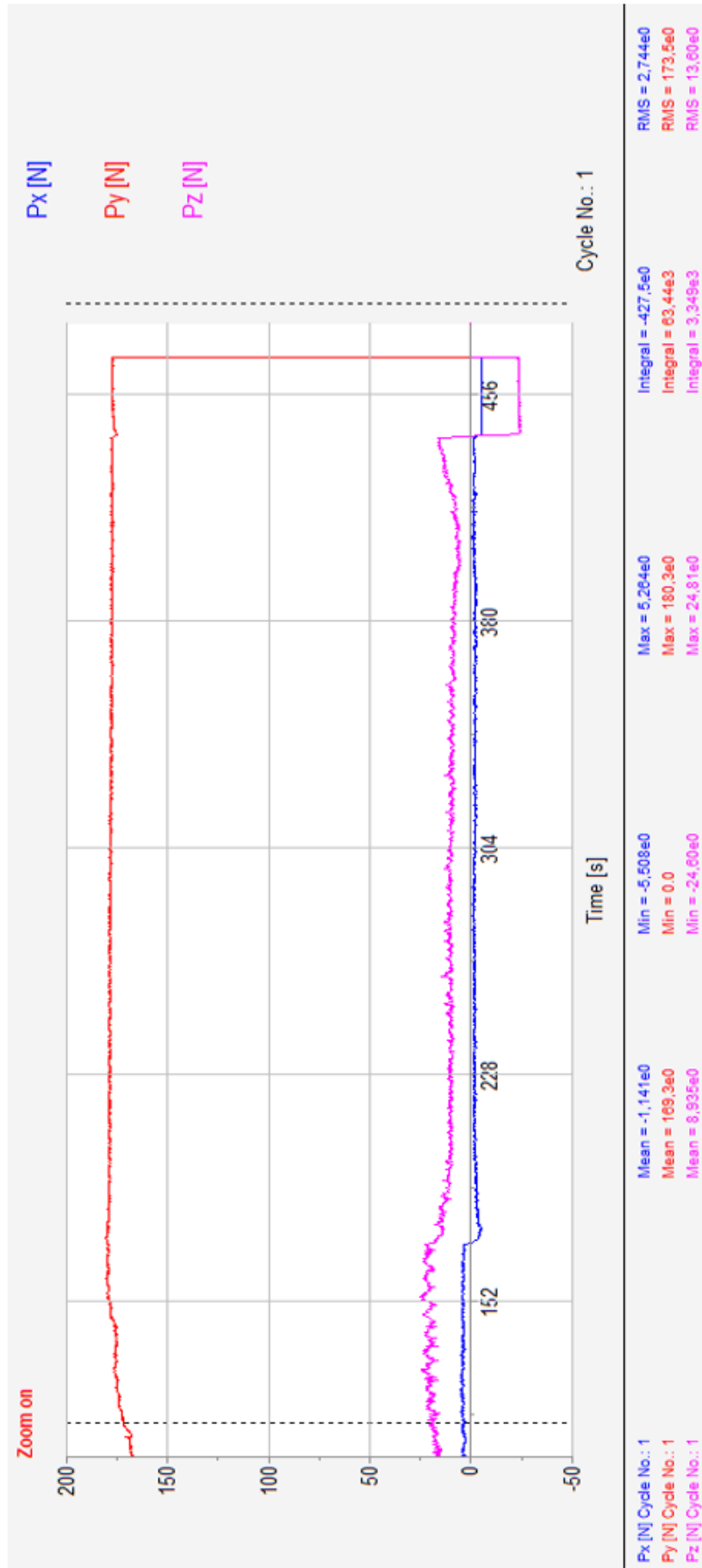


Рисунок 3.14 - Выглаживание образца №1 материал 12X18H10T: D = 20,1мм, r = 3,5мм, n = 1000об/мин, v=6,3 м/мин, колебании  $\Delta P_{\text{py}} \approx 3 \text{ Н}$

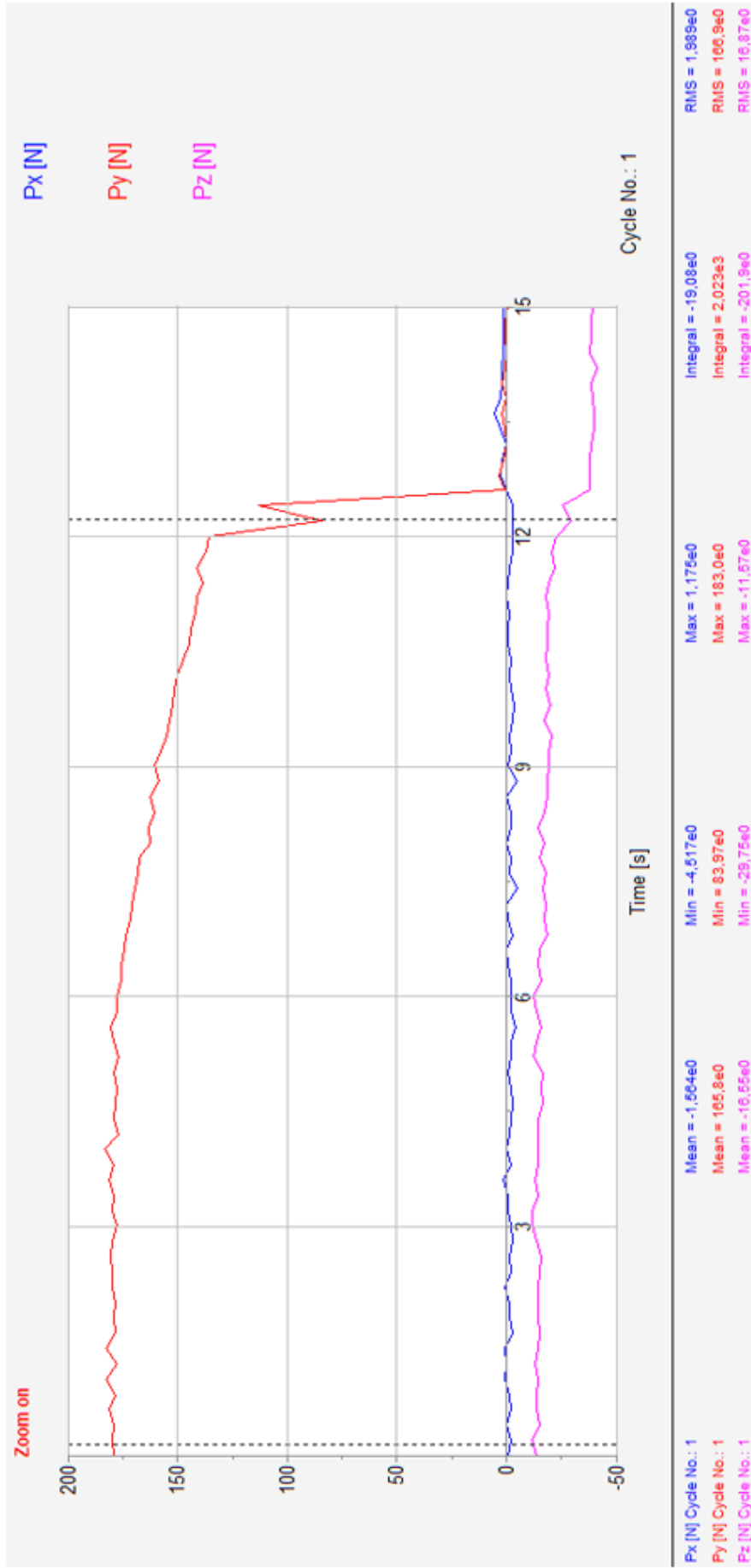


Рисунок 3.15 – Выглаживание образца №1 материал 12X18H10T: D = 20,1мм, r = 3,5мм, n = 1500об/мин, v=94,6 м/мин,  $\Delta P_y \approx 12$  Н



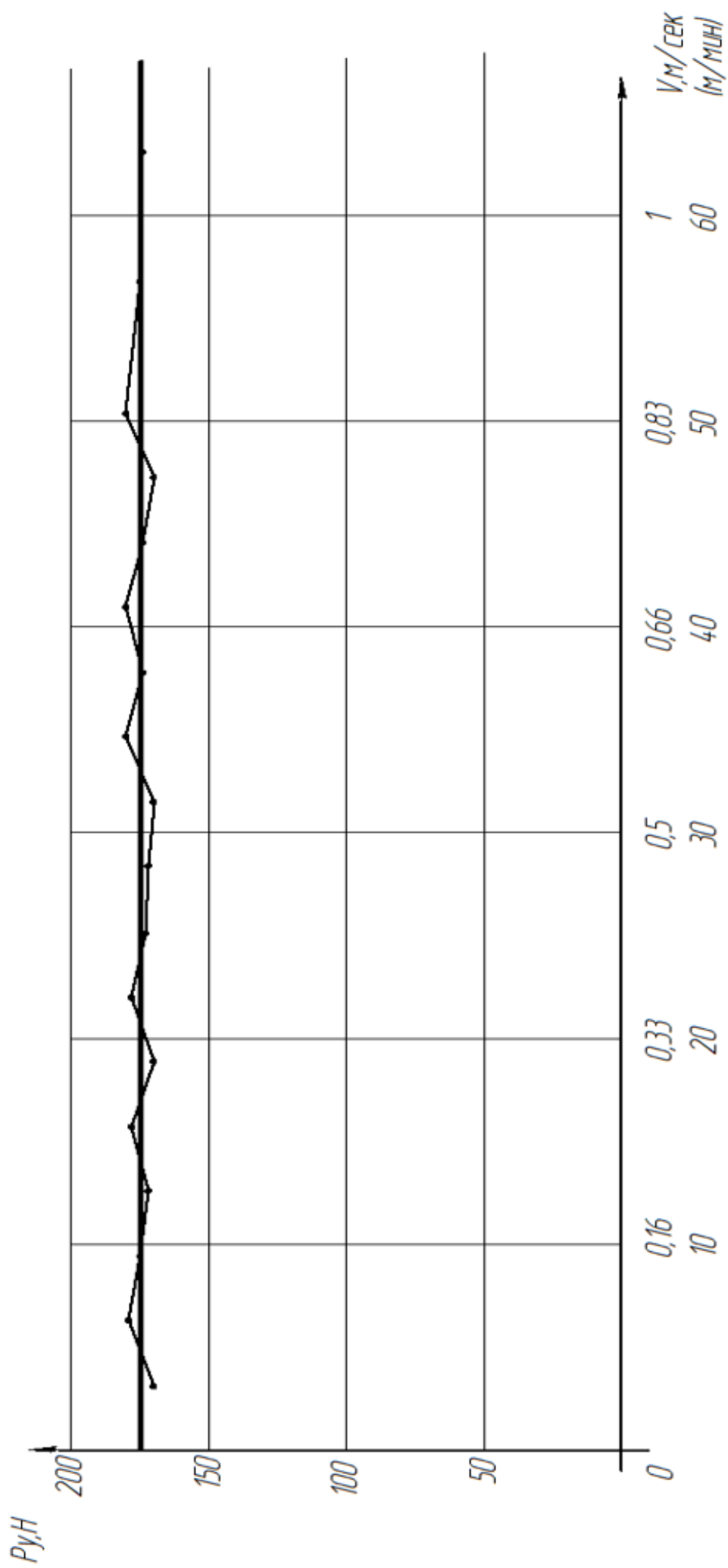


Рисунок 3.17 – График зависимости силы  $R_y$  от скорости при выглаживании образца № 1 из материала 12X18H10T

Второй образец имеет диаметр 27,6 мм из материала Л63. Радиус алмазного индентора равен 3,5 мм. Подачу выставим на 0,05 мм/об. Интервал замеров соотношения сил выглаживания примем 50 об/мин. Давление в ресивере 150 кПа. Графики сил выглаживания приложим в приложения Б. Для наглядности составим таблицу 3.3.

Таблица 3.3 - Образец № 2 соотношение сил выглаживания (материал Л63; диаметр 27,6 мм) с учетом погрешности

Обороты, об/мин	Rx, Н	Ry, Н	Rz, Н	V, м/мин
50	-7	147	27	4,3
100	- 6,9	145	26	8,6
150	-7	144	27	12,9
200	-7,1	144	25	17,3
250	-7	143	24	21,6
300	-6	145	23	25,9
350	-5	144	22,5	30,3
400	-4	143	25	34,6
450	-3	130	22	38,9

По приведённым данным из таблицы можно сделать вывод что сила Rx практически не изменялась, Ry варьировалось в диапазоне от 143Н до 147Н. При 450 об/мин., началась вибрация силы при выглаживания стали не стабильными сравним два графика при 100 об/мин., рисунок 3.18 и 450об/мин., рисунок 3.19.



Рисунок 3.18 - Выглаживание образца №2 материал Л63: D = 27,6мм, r = 3,5мм, n = 1000об/мин, v=8,6 м/мин, колебании ΔPy ≈ 3 Н

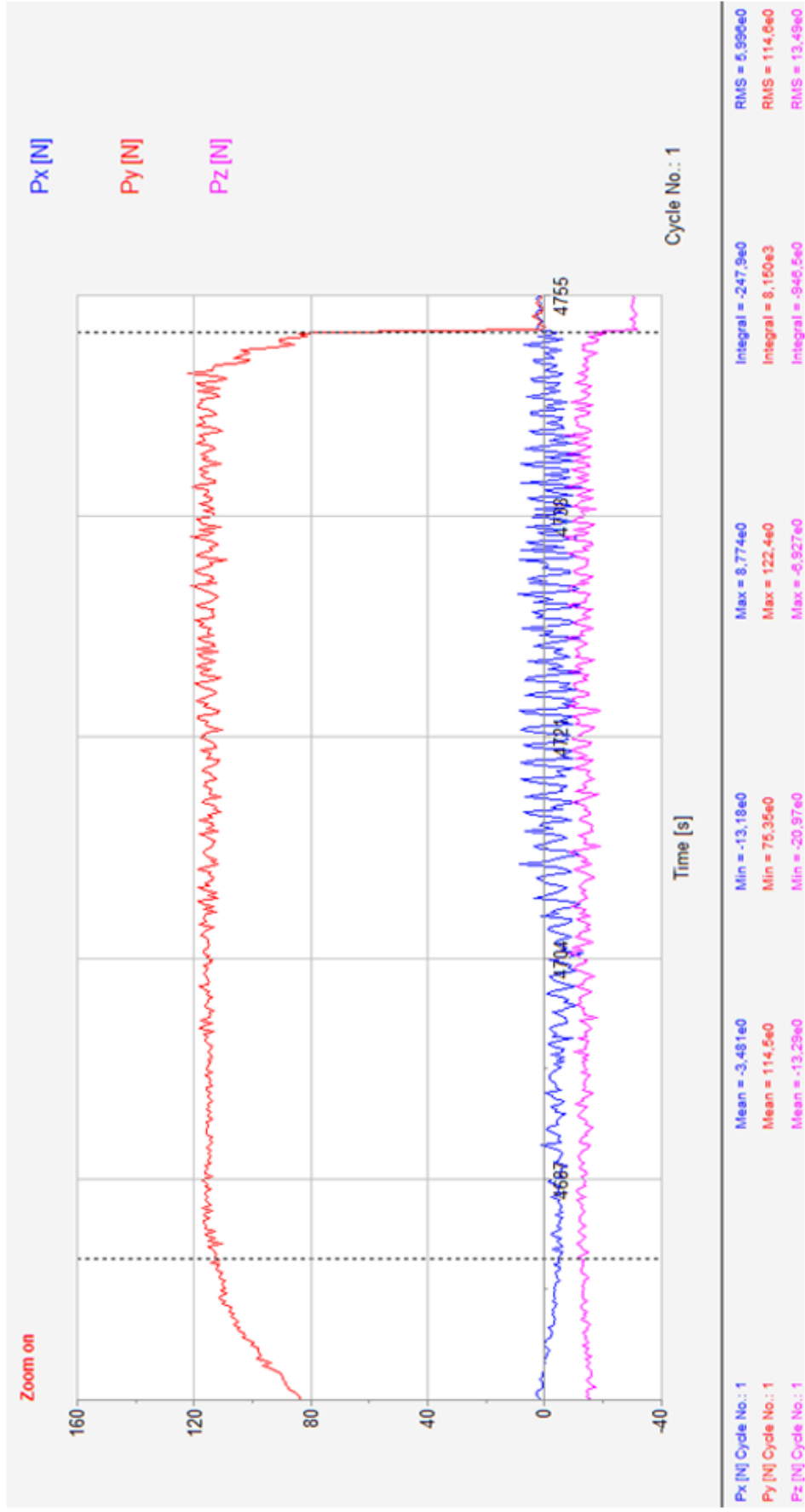
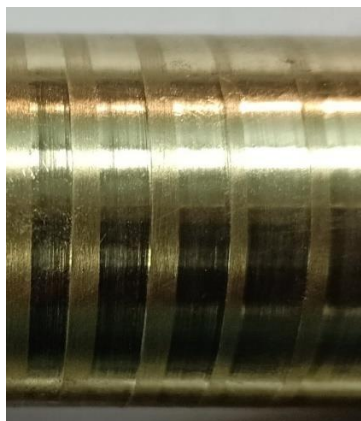


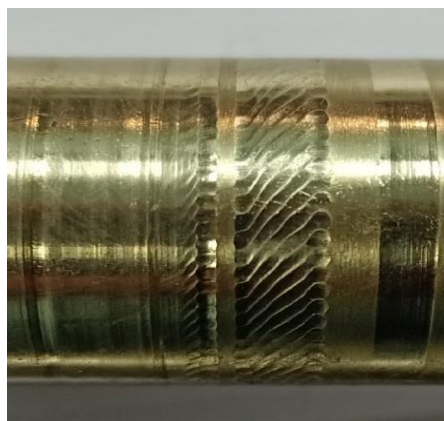
Рисунок 3.19 - Выглаживание образца №2 материал Л63: D = 27,6мм, r = 3,5мм, n = 450об/мин, v=38,9 м/мин, колебание  $\Delta P_y \approx 11 \text{ Н}$



Исходя из рисунка 3.19 видны скачки сил при выглаживании и на поверхности образца появились характерные следы рисунок 3.20



а)



б)

Рисунок 3.20 – Поверхности после алмазного выглаживания

а) – Стабильные силы при выглаживании 100 об/мин

б) – С нестабильными силами, вибрациями 450 об/мин

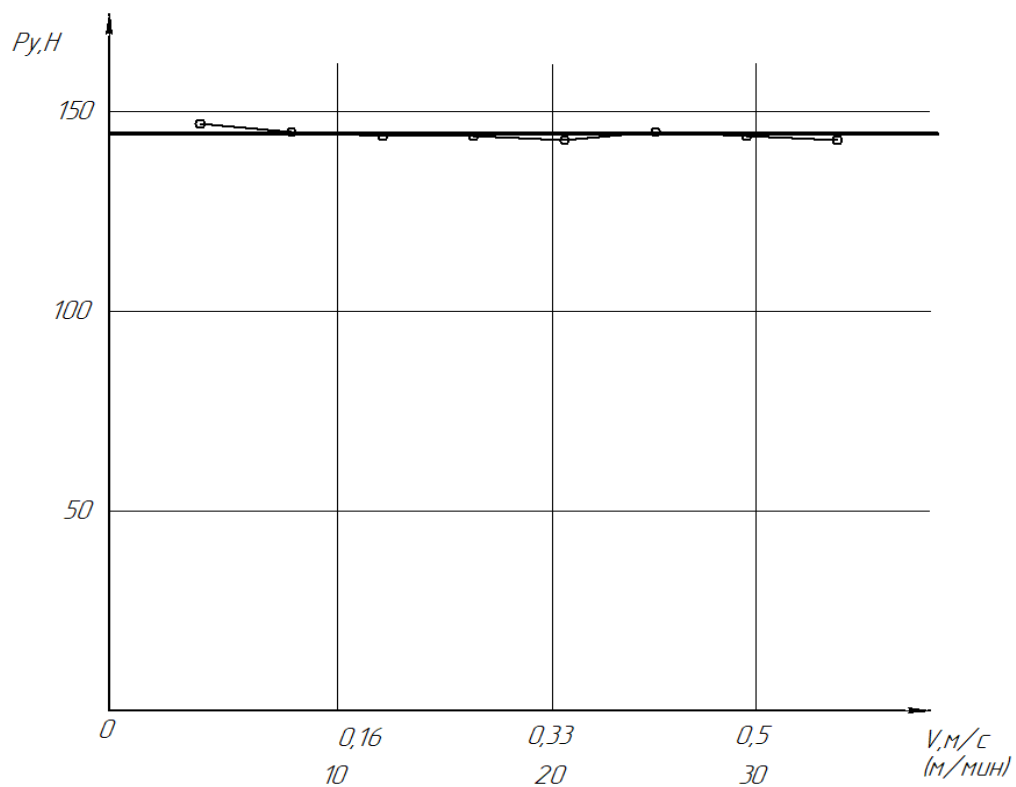


Рисунок 3.21 – График зависимости силы  $P_y$  от скорости при выглаживании образца № 2 из материала Л63

Согласно данным, полученным из эксперимента, можно сделать вывод что силы при высокоскоростном выглаживании практически не меняются (стабильные) на обоих образцах. Но при выглаживании образца из латуни началась вибрации на скорости 38,9 м/мин, а при выглаживании образца №1 из материала 12Х18Н10Т на скорости 94,6 м/мин.

### **Заключение**

Исходя из полученных данных в проделанной работы можно сделать вывод что силы при высокоскоростном выглаживании практически не меняются (стабильные) на обоих образцах. При выглаживании образца №1 из материала 12Х18Н10Т на пневматической оправке на 4 плоских пружинах удалось добиться скорости выглаживания 63,1 м/мин, а на образце №2 из латуни 34,6 м/мин с сохранением стабильных сил  $P_y$ .  $\Delta P_y$  по латуни Л63 составила 3Н, а на образце из материала 12Х18Н10Т 10Н, что значительно меньше чем на других оправках.

В результате проделанной работе можно предположить, что при выглаживании мало пластичных материалов вибрации в следствии увеличения деформируемого объёма материала и отжима заготовки от индентора, происходят на более высоких скоростях по сравнению с пластичными материалами. Так как при выглаживании мало пластичных материалов глубина внедрения индентора и объём деформируемого материала практически постоянный, из-за этого автоколебания происходят на более высоких скоростях.

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4АМ11	Гонтов Алексей Васильевич

<b>Школа</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>ОМШ</b>
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	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>Оценена эффективность проекта</i>

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

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

**Дата выдачи задания для раздела по линейному графику**

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Профессор	Гасанов М.А	д-р экон. наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
4АМ11	Гонтов Алексей Васильевич		

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

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 исследование высокоскоростного алмазного выглаживания.

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

В данной работе исследуется процесс высокоскоростного алмазного выглаживания на различных по конструкции оправках. Ориентирован на машиностроительный рынок. Продукцию машиностроения можно разделить на такие сегменты как на продукцию для гражданского, военного и государственного назначения.

В рассматриваемой работе мы будем ориентироваться на продукцию гражданского назначения. Так же в будущем для нас привлекательны будут такие сегменты рынка как военного и государственного назначения.

Таблица 4.1 - Карта сегментирования

		Продукция машиностроения		
		Гражданская	Военная	Государственная
Вид производства	Единичное	Все виды оправок	Все виды оправок	Все виды оправок
	Серийное	Все виды оправок	Все виды оправок	Все виды оправок
	Массовое	-	-	-

### 4.1.1 Анализ конкурентных технических решений

При проведении данного анализа была выбрана оправка пневматическая на 4 плоских пружинах. В ходе исследования были рассмотрены различные виды оправок для алмазного выглаживания:

- 1) Оправка для выглаживания динамометрическая [1];
- 2) Оправка с винтовой пружинной [2];
- 3) Оправка с жёстким закреплением индентором [3].

Детальный анализ необходим, т.к. каждый вид оправок 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 (исследовательских работ)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы				Конкурентоспособность			
		Бф	БК1	БК2	БК3	Кф	КК1	КК2	КК3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>									
1. Повышение производительности труда Пользователь	0,2	5	3	3	2	1	0,6	0,6	0,4
2. Энергоэффективность	0,2	3	2	2	1	0,6	0,4	0,4	0,2
3. Удобство монтажа	0,05	3	3	3	4	0,15	0,15	0,15	0,2
4. Безопасность	0,05	4	4	4	4	0,2	0,2	0,2	0,2
5. Надёжность	0,25	4	3	3	3	1	0,75	0,75	0,75
6. Компактность	0,05	3	4	4	5	0,15	0,2	0,2	0,25
7. Устойчивость к внешним воздействиям	0,1	4	4	4	4	0,4	0,4	0,4	0,4
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>									
1. Цена на расходы	0,05	3	4	4	5	0,15	0,2	0,2	0,25
2. Конкурентоспособность продукта	0,05	5	3	3	2	0,25	0,15	0,15	0,1
3. Финансирование научного исследования	0,05	3	4	4	5	0,15	0,2	0,2	0,25
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>37</b>	<b>31</b>	<b>32</b>	<b>33</b>	<b>4,05</b>	<b>2,96</b>	<b>2,96</b>	<b>3</b>

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле (4.1):

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (4.1)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$V_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

$$K_{\phi} = \sum V_i \cdot B_i = 37 \cdot 4,05 = 149,85$$

$$K_1 = \sum V_i \cdot B_i = 31 \cdot 2,96 = 91,76$$

$$K_2 = \sum V_i \cdot B_i = 32 \cdot 2,96 = 94,72$$

$$K_3 = \sum V_i \cdot B_i = 33 \cdot 3 = 99$$

Итог анализа проекта показывает, что данная работа конкурентноспособная.

Оправка на пневматическая на 4 плоских пружинах является удобной в эксплуатации, а также повышает производительность труда.

#### 4.1.2 SWOT-анализ

Для исследования внешней и внутренней среды проекта, в этой работе проведен SWOT-анализ с детальной оценкой сильных и слабых сторон исследовательского проекта, а также его возможностей и угроз.

Первый этап, составляется матрица SWOT, в которую описаны слабые и сильные стороны проекта и выявленные возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде, приведены в таблице 4.2:

Таблица 4.2 – Матрица SWOT-анализа

<b>Сильные стороны</b>	<b>Слабые стороны</b>
С1. Не требуется специализированное оборудование, обработка возможно на универсальных станках.	Сл1. Средство алмаза исключает возможность обработки некоторых материалов.
С2. Более точные результаты исследования по сравнению с другими технологиями.	Сл2. Дорогостоящее оборудования для контроля сил выглаживания.
С3. Мобильность работа	Сл3. Квалифицированный персонал.
С4. Дешевизна разработки	Сл4. Не большой опыт в данной сфере
С5. Высокая производительность	Сл5. Отсутствие финансирования на первых этапах
<b>Возможности</b>	<b>Угрозы</b>
В1. Освоение новых материалов индентора	У1. Срыв проекта из-за отсутствия исполнителей
В2. Повышение стоимости конкурентных разработок	У2. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок.
В3. Создание оснастки, обеспечивающей постоянство качество поверхности.	У3. Существенное изменение технического процесса
В4. Продажа технологии более крупному производителю	У4. Отсутствие спроса на новые результаты исследования в частных предприятиях.
В5. Привлечение новых исполнителей для выполнения всего комплекса работ	У5. Потеря актуальности в связи с длительной разработкой

На втором этапе на основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надёжность его реализации. Соотношения параметров представлены в таблицах 4.3–4.6:



Таблица 4.3 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

<b>Сильные стороны проекта</b>						
<b>Возможности проекта</b>		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	0	0	+	+
	B2	+	+	+	+	+
	B3	+	0	+	-	+
	B4	0	+	+	+	0
	B5	0	0	-	+	+

Таблица 4.4 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

<b>Слабые стороны проекта</b>						
<b>Возможности проекта</b>		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	B1	+	0	0	-	-
	B2	+	+	+	0	+
	B3	0	0	+	-	-
	B4	+	+	+	0	-
	B5	0	0	0	0	0

Таблица 4.5 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

<b>Сильные стороны проекта</b>						
<b>Угрозы проекта</b>		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	0	0	0	0	0
	У2	+	+	+	+	+
	У3	0	0	-	-	+
	У4	0	+	0	0	0
	У5	0	+	0	0	0

Таблица 4.6 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

<b>Слабые стороны проекта</b>						
<b>Угрозы проекта</b>		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	0	0	0	0	+
	У2	+	+	+	+	+
	У3	-	0	+	+	0
	У4	+	0	0	+	+
	У5	+	0	0	+	+

В рамках третьего этапа составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая представлена в таблице 4.7.

Таблица 4.7 SWOT-анализ

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b>  С1. Не требуется специализированное оборудование, обработка возможно на универсальных станках.  С2. Более точные результаты исследования по сравнению с другими технологиями.  С3. Мобильность робота.  С4. Дешевизна разработки.  С5. Высокая производительность.</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b>  Сл1. Сродство алмаза исключает возможность обработки некоторых материалов.  Сл2. Дорогостоящие оборудования для контроля сил выглаживания.  Сл3. Квалифицированный персонал.  Сл4. Не большой опыт в данной сфере.  Сл5. Отсутствие финансирования на первых этапах.</p>
<p><b>Возможности :</b>  В1. Освоение новых материалов индентора  В2. Повышение стоимости конкурентных разработок  В3. Создание оснастки, обеспечивающей постоянство качество поверхности.  В4. Продажа технологии более крупному производителю  В5. Привлечение новых исполнителей для выполнения всего комплекса работ</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Использование сильных сторон для максимизации возможностей» показали следующие сильно зависящие взаимосвязи  В1С1С4С5; В2С1С2С3С4С5; В3С1С3С5; В4С1С2С3; В5С4С5  Наилучший исход событий — это получение нового материала для индентора и создание новой оправки для увеличения производительности и обработки других материалов</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности» показали следующие сильно зависящие взаимосвязи:  В1Сл1; В2Сл1Сл2Сл3; В3Сл3; В4Сл1Сл2Сл3  Главная проблема это отсутствие кадров и недостаточного финансирования для дальнейшей разработки. Возможность создание индентора из другого материала даст возможность обработки некоторых материалов. Высокая производительность поможет покрыть расходы на дорогостоящие оборудование для сил выглаживания.</p>
<p><b>Угрозы:</b>  У1. Срыв проекта из-за отсутствия исполнителей  У2. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок.  У3. Существенное изменение технического процесса  У4. Отсутствие спроса на новые результаты исследования в частных предприятиях.  У5. Потеря актуальности в связи с длительной разработкой</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы» показали следующие сильно зависящие взаимосвязи:  У2С1С2С3С4С5; У3С5; У4С2; У5С2  Все сильные стороны проекта, а также специфика работы компенсируют угрозы, которые существуют из вне. Так как работа является студенческим проектом и не носит большого коммерческого характера.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы» показали следующие сильно зависящие взаимосвязи:  У1Сл5; У2Сл1Сл2Сл3Сл4Сл5; У3Сл3Сл4; У4Сл1Сл4Сл5; У2Сл1Сл4Сл5  Появление более ранних аналогов и отсутствие финансирования на первых этапах могут усугубить положение проекта.</p>

## 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;

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 темы диссертации	1	Составление и утверждение тем диссертации, утверждение плана-графика.	Научный руководитель
	2	Календарное планирование выполнения диссертации.	Инженер, Научный руководитель
Теоретические исследования	3	Изучение академической литературы и конкурентных решений в данной сфере	Инженер
	4	Изучение программного обеспечения для расчетов	Инженер
Экспериментальные исследования	5	Планирование эксперимента	Инженер, Научный руководитель
	6	Подготовка образцов для выглаживания	Инженер
	7	Выбор оптимальных режимов (тарировка)	Инженер, Научный руководитель
	8	Проведение эксперимента	Инженер, Научный руководитель
	9	Обработка результатов	Инженер
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 (4.2):

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} \quad (4.2)$$

где  $t_{ожі}$  - ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, человеко-дни;

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

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

Определим продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_{pi}$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями по формуле (4.3):

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} \quad (4.3)$$

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

$t_{ожі}$  - 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 (4.4):

$$T_{ki} = T_{pi} * k \quad (4.4)$$

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

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

$k$  - календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле (4.5):

$$k = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} \quad (4.5)$$

$$k = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48$$

где  $T_{\text{кал}}$  - общее количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$  - общее количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$  - 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 работ	Трудоемкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$	Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$
	$t_{mini}$ чел-дни		$t_{maxi}$ чел-дни		$t_{ожи.}$ чел-дни			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение тема диссертации, утверждение плана-графика.	1	-	2	-	1,4	-	1,4	2
2. Календарное планирование выполнения диссертации.	1	2	2	3	1,4	2	2	3
3. Изучение академической литературы и конкурентных решений в данной сфере	-	40	-	60	-	48	48	71
4. Изучение программного обеспечения для расчетов	-	30	-	40	-	34	34	50
5. Планирование эксперимента	1	1	2	2	1,4	1,4	1,4	2
6. Подготовка образцов для выглаживания	2	2	3	3	2,4	2,4	2,4	3
7. Выбор оптимальных режимов (тарировка)	1	1	2	2	1,4	1,4	1,4	2
8. Проведение эксперимента	3	5	4	6	3,4	5,4	4,4	6,5
9. Обработка результатов	-	10	-	15	-	12	12	18
10. Составление пояснительной записки.	-	10	-	15	-	12	12	18
Итого:	9	121	15	173	11,4	142,6	119	175

*Примечание:* Исп. 1 – научный руководитель, Исп. 2 – инженер.

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (таблица 4.10).

Таблица 4.10 – Диаграмма Ганта

Вид работ	Исп.	$T_{ki}$	Продолжительность работ																	
			Декабрь			Январь			Февраль			Март			Апрель			Май		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
Составление и утверждение темы диссертации, утверждение плана-графика.	Исп. 1	2	■																	
Календарное планирование выполнения диссертации.	Исп. 1 Исп. 2	3	■	■																
Изучение академической литературы и конкурентных решений в данной сфере	Исп. 2	71			■	■	■	■	■	■	■									
Изучение программного обеспечения для расчетов	Исп. 2	50							■	■	■	■	■							
Планирование эксперимента	Исп. 1 Исп. 2	2											■	■						
Подготовка образцов для выглаживания	Исп. 1 Исп. 2	3											■	■	■					
Выбор оптимальных режимов (тарировка)	Исп. 1 Исп. 2	2											■	■						
Проведение эксперимента	Исп. 1 Исп. 2	6,5												■	■	■				
Обработка результатов	Исп. 2	18													■	■	■			
Составление пояснительной записки	Исп. 2	18															■	■	■	

Примечание: ■ - Исп. 1    ■ - Исп. 2

### 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 для процесса выглаживания.

Результаты расчета затрат представлены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Сумма, руб.
Пруток Л63	кг	1	1623	1623
Круг нержавеющей 12х18н10г	кг	1	400	400
Масло И-20	л	1	100	100
Пластина ССМТ09Т302-ММ ІА70М	-	1	1	550
Резец SCACL1212F09	-	1	1500	1850
Итого:				4523



### 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:

$$H_A = \frac{1}{n} \quad (4.6)$$

где n-срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле 4.7:

$$A = \frac{H_A * И}{12} * m \quad (4.7)$$
$$A = \frac{0,1 * 3500000}{12} * 1 = 29166 \text{руб}$$

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

Таблица 4.12 – Затраты на оборудование

№	Наименование	Кол-во ед.	Срок полезного использования	Время использования, мес.	Цена оборудования, руб.	Амортизация, руб.
1	Динамометр Kistler	1	10	1	3 500 000	29166
2	Компьютер	1	8	3	50 000	1562
Итого:						30 728

### 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 (4.8):

$$Z_{осн} = Z_{дн} * T_p \quad (4.8)$$

где  $Z_{осн}$  - среднедневная заработная плата, руб.;

$T_p$  - продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн.  
(таблица 4.9).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле 4.9:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{дн} = \frac{Z_M * M}{F_d} \quad (4.9)$$

$$Z_{дн} = \frac{51285 * 10,3}{246} = 2147,3 \text{ руб.,}$$

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):

$$Z_{дн} = \frac{33150 * 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.,}$$

Должностной оклад работника за месяц по формуле 4.10:

– для руководителя:

$$Z_M = Z_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_d) \cdot k_p \quad (4.10)$$

$$Z_M = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб}$$

– для инженера:

$$Z_M = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб}$$

где  $Z_{mc}$  – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.;

$k_{np}$  – премиальный коэффициент, равен 0,3;

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2;

$k_p$  – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Основная заработная плата руководителя рассчитывается по формуле 4.8:

$$Z_{осн1} = Z_{дн1} * T_{p1} = 2147,3 * 119 = 255528,7 \text{ руб}$$

Основная заработная плата инженера рассчитывается по формуле 4.8:

$$Z_{осн2} = Z_{дн2} * T_{p2} = 1743,1 * 175 = 305042,5 \text{ руб}$$

Таблица 4.14 – Расчеты основной заработной платы исполнителей

Исполнители	$Z_{mc}$ руб.	$k_{np}$	$k_d$	$k_p$	$Z_M$ , руб	$Z_{дн}$ , руб	$T_p$ , дн	$Z_{осн}$ , дн
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2147	119	255 528
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743	175	305 042
Итого:								560 570

#### 4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Дополнительная заработная плата определяется по формуле 4.11:

$$Z_{\text{доп}} = K_{\text{доп}} * Z_{\text{осн}} \quad (4.11)$$

где  $Z_{\text{доп}}$  - дополнительная заработная плата;

$Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата;

$K_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15).

По формуле 4.11 определяется дополнительная заработная плата для руководителя:

$$Z_{\text{доп1}} = K_{\text{доп}} * Z_{\text{осн}} = 0,15 * 255\,528 = 38329 \text{ руб}$$

По формуле 4.11 определяется дополнительная заработная плата для инженера:

$$Z_{\text{доп2}} = K_{\text{доп}} * Z_{\text{осн}} = 0,15 * 305042 = 45756 \text{ руб}$$

Таким образом, общая дополнительная заработная плата составляет:

$$Z_{\text{доп общ}} = 45756 + 38329 = 84085 \text{ руб}$$

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

Отчисления во внебюджетные фонды определяются по формуле 4.12:

$$З_{внеб1} = K_{внеб} * (З_{осч1} + З_{доп1}) \quad (4.12)$$

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 НК РФ).

Отчисления во внебюджетные фонды для руководителя определяются по формуле 4.12:

$$З_{внеб1} = K_{внеб} * (З_{осч1} + З_{доп1}) = 0,3 * (255528 + 38329) = 88157 \text{руб}$$

Отчисления во внебюджетные фонды для инженера определяются по формуле 4.12:

$$З_{внеб2} = K_{внеб} * (З_{осч2} + З_{доп2}) = 0,3 * (305042 + 84085) = 116738 \text{руб}$$

Таким образом, общие затраты на составляется отчисления во внебюджетные фонды:

$$З_{внеб общ} = 88157 + 116738 = 204895 \text{руб}$$

### 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.

А так же в статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др.

Величина накладных расходов определяется по формуле 4.13:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{пр}} \quad (4.13)$$

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

Величина коэффициента принимается равной 0,16.

$$Z_{\text{накл}} = 884801 * 0,16 = 141568 \text{ руб}$$

### 4.3.7 Бюджетная стоимость НИР

Таблица 4.15 – Группировка затрат по статьям

Статьи							
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных рас ходов	Накладные расходы	Стоимость бюджета
30 728	4 523	560 570	84 085	204 895	884 801	141 568	1 026 369

#### 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:

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

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

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

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

$$\Phi_{\text{тек.проекта}} = 1026369 \text{ руб,}$$

$$\Phi_{\text{исп.1}} = 1200400 \text{ руб,}$$

$$\Phi_{\text{исп.2}} = 1400805 \text{ руб,}$$

$$\Phi_{\text{исп.3}} = 1512012 \text{ руб,}$$

$$\Phi_{\text{max}} = 1512012 \text{ руб,}$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{тек.проекта}} = \frac{1026369}{1512012} = 0,67$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}} = \frac{1200400}{1512012} = 0,79$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{1400805}{1512012} = 0,92$$

В результате расчетов интегральных финансовых показателей по трем вариантам разработки текущий проект с меньшим перевесом признан считается более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

Интегральные показатели ресурсоэффективности всех вариантов определяются путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 4.16).

Таблица 4.17 – Сравнительная оценка характеристик всех вариантов

Объекты исследования Критерии	Весовой коэффици- циент параметра	Текущий проект	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1.Технические характеристики	0,3	5	3	3	2
2.Удобство в эксплуатации	0,2	3	4	4	4
3. Надежность	0,2	4	4	4	4
4. Безопасность	0,15	4	4	4	4
5.Материалоемкость	0,15	5	2	2	2
Итого	1	4,25	3,4	3,4	3,4

Интегральные показатели эффективности всех вариантов вычисляются на основании показателей ресурсоэффективности и интегральных финансовых показателей по формуле 4.15:

$$I_{\text{эф.}i} = \frac{I_p^{\text{исп.}i}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}} \quad (4.15)$$



где:  $I_{эф.i}$  – интегральный показатель эффективности  $i$ -ого варианта разработки;

$I_p^{исп.i}$  – интегральный показатель ресурсной эффективности  $i$ -ого варианта разработки;

$I_{финр}^{исп.i}$  – интегральный финансовый показатель  $i$ -ого варианта разработки;

По формуле 4.15 определяется интегральный показатель эффективности для текущего проекта:

$$I_{эф.тек.проект} = \frac{4,25}{0,67} = 6,34$$

$$I_{эф.исп1} = \frac{3,4}{0,79} = 4,3$$

$$I_{эф.исп2} = \frac{3,4}{0,92} = 3,69$$

$$I_{эф.исп3} = \frac{3,4}{1} = 3,4$$

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансовым и ресурсным эффективным вариантом является текущий проект. Наш проект является более эффективным по сравнению с конкурентами.

## **Вывод**

В ходе работы был проведен экономический анализ проекта, посчитаны разного рода затраты, зарплатные отчисления, составлен SWOT анализ, выявлены сильные и слабые стороны проекта, выявлены конкуренты и произведено сравнение с похожими конкурирующими разработками, составлен календарный рейтинг план с расчетом трудозатрат, а так же построена диаграмма Ганта на основе этих данных.

В результате 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 175 дней.

3. Стоимость бюджета НИР составила 1 026 369 руб;

4. Результат оценки эффективности ИР показывает следующие выводы:

1) значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,67 что является показателем того, что ИР является финансово выгодной по сравнению с аналогами;

2) значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,25, по сравнению с 3,4, 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> 4AM11		<b>ФИО</b> Гонтов Алексей Васильевич	
<b>Школа</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>ОШМ</b>
<b>Уровень образования</b>	магистратура	<b>Направление/специальность</b>	150401/Машиностроение

Тема ВКР:

<b>Исследование процесса высокоскоростного алмазного выглаживания</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<p><b>Введение</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.</li> <li>– Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации</li> </ul>	<p><i>Объект исследования:</i> оправки различных конструкций для исследования процесса высокоскоростного алмазного выглаживания  <i>Область применения:</i> машиностроение  <i>Рабочая зона:</i> производственное помещение  <i>Размеры:</i> 6*10м  <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> станок KNUTH Turnado 230/1000 V Lathe, блок управления Kislser 5233A1  <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> Контроль параметров сил выглаживания при высоких скоростях.</p>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N197-ФЗ. (ред. от 19.12.2022);          ПОТ РМ-006-97 «Межотраслевые правила по охране труда при холодной обработке металлов»;          РД 153-34.0-03.289-00 «Типовая инструкция по охране труда при работе на токарно-винторезных станках»;          ГОСТ 12.2.009-99 «Станки металлообрабатывающие. Общие требования безопасности»;          ГОСТ 12.2.033-78 Рабочее место при выполнении работ стоя          ГОСТ 22269-76 Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места.</p>
<p><b>2. Производственная безопасность при разработке при эксплуатации:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов</li> <li>– Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора</li> </ul>	<p><b>Вредные факторы:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны</li> <li>2. Недостаточная освещенность рабочей зоны</li> <li>3. Перенапряжение анализаторов, в том числе вызванное информационной нагрузкой.</li> </ol> <p><b>Опасные факторы:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Подвижные части производственного оборудования</li> <li>2. Опасность поражения электрическим током</li> </ol> <p><b>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов:</b> костюм для защиты от общих производственных загрязнений и механических воздействий, виброизолирующая обувь очки защитные, беруши, фартук из полимерных материалов с нагрудником, защитные ограждения.</p> <p><b>Расчет:</b> расчет системы искусственного освещения</p>
<p><b>3. Экологическая безопасность при эксплуатации.</b></p>	<p>Воздействие на литосферу: твердые отходы          Воздействие на гидросферу: попадание в сточные воды органических растворителей, СОЖ.          Воздействие на атмосферу; выбросы порошков металлов</p>

<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях <u>при эксплуатации.</u></b>	Возможные ЧС: ураганы, лесные пожары, возгорания ГСМ, нефтегазоводопроявления на скважине и т.п Наиболее типичная ЧС: сильный мороз
<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Антоневич Ольга Алексеевна	к.б.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ11	Гонтов Алексей Васильевич		

## **5 Социальная ответственность**

### **Введение**

Объектом исследования является процесс высокоскоростное алмазное выглаживание на различных по конструкции оправках. Данная работа проводилась в учебном корпусе № 16А г. Томск, площадь мастерской 60 м<sup>2</sup>. В ходе экспериментальных исследований использовался токарный станок фирмы KNUTH Turnado 230/1000 V и динамометр Kistler 9257B. Полученные результаты эксперимента обрабатывались на ПК.

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.

Целью раздела является принятие проектных решений, исключающих несчастные случаи на производстве, и снижение вредных воздействий на окружающую среду.

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

Общие требования к проектированию рабочих мест регулируются Трудовым кодексом, санитарно-эпидемиологическими правилами и нормативами (СанПиН), а также другими правовыми документами. Государственным гарантом трудовых прав и свобод граждан, создания благоприятных условий труда, защиты прав и интересов работников и работодателей является "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 19.12.2022).

В данном разделе рассмотрим рабочее место токаря, занимающегося алмазным выглаживанием которое должно соответствовать следующим требованиям, а именно:

1) Режим рабочего времени должен предусматривать продолжительность рабочую неделю пятидневная с двумя выходными днями, и нормальная продолжительность рабочего времени не должна превышать 40 часов в неделю. "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 19.12.2022) статья №91, №100.

2) В производственном процессе холодной обработки металлов должны применяться материалы и вещества, на которые имеются нормативные акты (ГОСТ, ОСТ, ТУ, паспорт и т.п.). Материалы, применяемые для приготовления СОЖ, и другие химические вещества должны храниться в специально предназначенной для их хранения таре в специально отведенных и оборудованных местах. ПОТ РМ-006-97 «Межотраслевые правила по охране труда при холодной обработке металлов»

3) К самостоятельной работе на токарных станках допускается обученный персонал, прошедший медицинский осмотр, инструктаж по охране труда на рабочем месте, ознакомленный с правилами пожарной безопасности и усвоивший безопасные приемы работы. Запрещается работать при

отсутствии на полу под ногами деревянной решетки по длине станка, исключающей попадание обуви между рейками и обеспечивающей свободное прохождение стружки; работать на станке с оборванным заземляющим проводом, а также при отсутствии или неисправности блокировочных устройств. РД 153-34.0-03.289-00 «Типовая инструкция по охране труда при работе на токарно-винторезных станках»;

4) Рабочий стол должен быть устойчивым, иметь однотонное неметаллическое покрытие, не обладающее способностью накапливать статическое электричество (ГОСТ 12.2.032-78).

5) Рабочий стул должен иметь дизайн, исключающий онемение тела из-за нарушения кровообращения при продолжительной работе на рабочем месте (ГОСТ 12.2.032-78).

6) Станки, а также все узлы и элементы станков должны быть устойчивы. При работе станков преднамеренное опрокидывание, падение или смещение станков и их узлов не допускаются. Конструкцией станков должна быть устранена возможность возникновения опасных ситуаций для работающих при эксплуатации станка в условиях, отличающихся от рекомендованных в эксплуатационных документах, которые можно предотвратить (например, применение станка не по назначению). ГОСТ 12.2.009-99 «Станки металлообрабатывающие. Общие требования безопасности».

7) Взаимное расположение элементов рабочего места должно обеспечивать возможность осуществления всех необходимых движений и перемещений для эксплуатации и технического обслуживания оборудования. При этом должны учитываться ограничения, налагаемые спецодеждой и снаряжением человека-оператора. ГОСТ 22269-76 Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места.

Для предупреждения заболеваний, связанных с работой на станке необходима, рациональная организация труда и отдыха, которая нормируется в соответствии с санитарными правилами.

## 5.2 Производственная безопасность

В процессе исследования алмазного выглаживания с точки зрения возникающих вредных или опасных факторов общий этап работ может быть разделен на три основных этапа:

1) Настройка динамометра и блока управления тип 5233A1 «KISLER» (работа с персональным компьютером);

2) Подготовка образцов для алмазного выглаживания (проточить образцы на токарном станке);

3) Эксплуатация образцов: проведение экспериментальных исследований при высокоскоростном алмазном выглаживании на различных по конструкции оправках с применением индустриального масла И-20А.

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

Таблица 5.1 - Возможные опасные и вредные производственные факторы на рабочем месте при алмазном выглаживании на токарном станке.

№	Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
1	Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов; ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты;



Продолжение Таблица 5.1

2	Производственные факторы, обладающие свойствами химического воздействия на организм работающего человека.	ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности
3	Производственный фактор, связанный с подвижными частями производственного оборудования	ГОСТ 12.2.009-99 «Станки металлообрабатывающие. Общие требования безопасности»
4	Производственные факторы, обладающие свойствами психофизиологического воздействия на организм человека (активное наблюдение за ходом производственного процесса, монотонность труда, перенапряжение анализаторов)	МР 2.2.9.2311 – 07 «Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности»
5	Производственные факторы, связанные с отсутствием или недостатком необходимого искусственного освещения;	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*; СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий;

## **5.2.2 Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий**

При изготовлении образцов для алмазного выглаживания возникает необходимость работы на электрооборудовании, таком как, токарный станок KNUTH Turnado 230/1000 V, вследствие чего возникает вероятность прохождения электрического тока через тело человека.

Опасное и вредное воздействия на людей электрического тока проявляются в виде электротравм (судороги, остановка сердца, остановка дыхания, ожоги и др.) и заболеваний. Результат воздействия тока на человека зависит от величины силы тока, его рода и частоты, продолжительности воздействия и множества других факторов.

Причиной поражения электрическим током в условиях лаборатории могут стать случайное прикосновение к токоведущим частям или появление напряжения на металлических частях оборудования. Напряжение прикосновения и токи при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки, не должны превышать 8 В и 1 мА, соответственно (постоянный ток) или 2 В, 0,3 мА (переменный ток частотой 50 Гц) согласно 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность.

Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. Для обеспечения защиты от прямого прикосновения необходимо применение таких технических способов и средств основной защиты, как: основная изоляция, защитное отключение, безопасное расположение токоведущих частей, средства индивидуальной защиты по ГОСТ 12.1.019- 2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

### 5.2.3 Производственные факторы, обладающие свойствами химического воздействия на организм работающего человека

В процессе эксперимента и подготовки образцов основными вредными производственными факторами являются: пары смазочно-охлаждающих жидкостей и технологических смазок, абразивная и металлическая пыль, выделяющиеся в процессе станочной обработки металлов резанием. Самыми опасными канцерогенами при применении на производстве масляных СОЖ соединения серы с кислородом и водородом ( $\text{SO}_2, \text{H}_2\text{S}$ ), а так же соединение трехвалентного хрома ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) образующиеся вследствие термоокислительной деструкции эмульсии. Они провоцируют развитие опухолей дыхательных путей, рака бронхов и легких.

Предельно допустимые концентрации в воздухе ГОСТ 12.1.005-88  
таблица 5.2.

Таблица 5.2 - Предельно допустимые концентрации в воздухе

Наименование вещества	Величина ПДК, мг/м <sup>3</sup>	Класс опасности
Сероводород в смеси с углеводородами	3	3
Хлористый водород	5 мг	3
Оксид трехвалентного хрома	0,5	3

Средствами защиты от вредных веществ могут служить: автоматизация и дистанционное управление технологическими процессами, механическая вентиляция помещения, герметизация оборудования, СИЗ (респираторы, спецодежда, перчатки, защитные очки и др.) ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ.

## **5.2.4 Подвижные части производственного оборудования**

Количество движущихся частей и движений, участвующих в процессе подготовки образцов и их эксплуатации на токарных станках, а также близость операторов во время настройки могут создавать особенно опасные ситуации.

Опасность для оператора и других сотрудников в зоне токарного станка возникают из-за самой природы процесса токарной обработки; многочисленные вращающиеся части могут создавать опасные области, затягивающие одежду, волосы или пальцы; стружка и детали могут вылететь во время производства, подвергая опасности зрение и создавая опасность нахождения вокруг машины. Наиболее распространенными у станочников являются травмы глаз. Глаза могут повреждаться отлетающей стружкой, осколками режущего инструмента.

Для снижения риска травм при обработке выдаётся СИЗ; очки защитные, костюм вискозно-лавсановый, ботинки, а так же выставляются на станке табличек с предупреждающими надписями иметь защитное ограждение отдельных вращающихся устройств. ГОСТ 12.2.009-99 «Станки металлообрабатывающие. Общие требования безопасности».

## **5.2.5 Производственные факторы, обладающие свойствами психофизиологического воздействия на организм человека (активное наблюдение за ходом производственного процесса, монотонность труда, перенапряжение анализаторов)**

При выглаживания необходим контроль процесса, который вызывает зрительную и умственную нагрузку на организм человека. При умственной нагрузке необходима длительность сосредоточенного внимания, выраженная ответственность, плотность сигналов и сообщений в единицу времени по МР 2.2.9.2311 – 07 «Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности».

Оказывает угнетающее влияние на психическую деятельность ухудшаются функции внимания (объем, концентрация, переключение), памяти (кратковременной и долговременной), восприятия (появляется большое число ошибок). При зрительной нагрузке необходима высокая координация сенсорных и моторных элементов зрительной системы. Вызывает головную боль, ухудшение зрения, астенопию – патологического состояния, связанного с быстрым переутомлением глаз.

Для устранения накопленной усталости и нагрузки на организм человека необходимо выполнять комплекс физических упражнений на координацию движений, концентрацию внимания, комплекс упражнений на глаз, использовать методику психической саморегуляции.

#### **5.2.6 Производственные факторы, связанные с отсутствием или недостатком необходимого искусственного освещения**

При длительной работе в условиях недостаточной освещенности или нарушении параметров световой среды, происходит негативное воздействие на организм человека, такое как: развитие близорукости, головная боль, ухудшение зрения и пр.

Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300-500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк согласно СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий.

Проведем расчет общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности методом коэффициента светового потока, учитывающего световой поток, отраженный от потолка и стен.

Дано помещение с размерами: длина  $A = 8$  м, ширина  $B = 7,5$  м, высота  $H = 4,5$  м. Высота рабочей поверхности  $h_{\text{рп}} = 0,8$  м.

Требуется создать освещенность  $E_{\text{н}} = 300$  лк

Коэффициент отражения стен  $R_c = 30$  %, потолка  $R_n = 50$  %.

Коэффициент запаса  $K_z = 1,5$ , коэффициент неравномерности  $Z = 1,1$ .

Рассчитываем систему общего люминесцентного освещения.

Выбираем светильники типа ОД,  $\lambda = 1,4$ . Приняв  $h_c = 0,5$  м, получаем  $h = 4,5 - 0,5 - 0,8 = 3,2$  м;  $L = 1,4 * 3,2 = 4,5$  м;  $L/3 = 1,5$  м.

Размещаем светильники в 2 ряда. В каждом ряду можно установить 3 светильника типа ОД мощностью 65 Вт (с длиной 1,5 м), при этом разрывы между светильниками в ряду составят 70 см.

Учитывая, что в каждом светильнике установлено 2 лампы, общее число ламп в помещении  $N_{\text{л}} = 12$ .

Находим индекс помещения:

$$i = \frac{s}{h \cdot (A + B)} = \frac{60}{4,5 \cdot 15,5} = 0,9$$

Коэффициент использования светового потока:  $\eta = 0,6$ .

Определяем потребный световой поток ламп в каждом из рядов:

$$\Phi = \frac{E_{\text{н}} \cdot S \cdot K_z \cdot Z}{N_{\text{л}} \cdot \eta} = 4125 \text{ лм};$$

Выбираем ближайшую стандартную лампу – ЛБ 65-7 с потоком 4600 лм.

Проверка полученных значений:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{л.станд}} - \Phi_{\text{л.расч}}}{\Phi_{\text{л.станд}}} \cdot 100\% \leq +20\%$$

Получаем:

$$-10\% \leq 10\% \leq +20\%$$

Электрическая мощность всей осветительной системы:

$$P = N_{\text{л}} \cdot p_{\text{л}} = 12 \cdot 65 = 780 \text{ Вт.}$$

План расположения светильников представлен на рисунке 5.1.

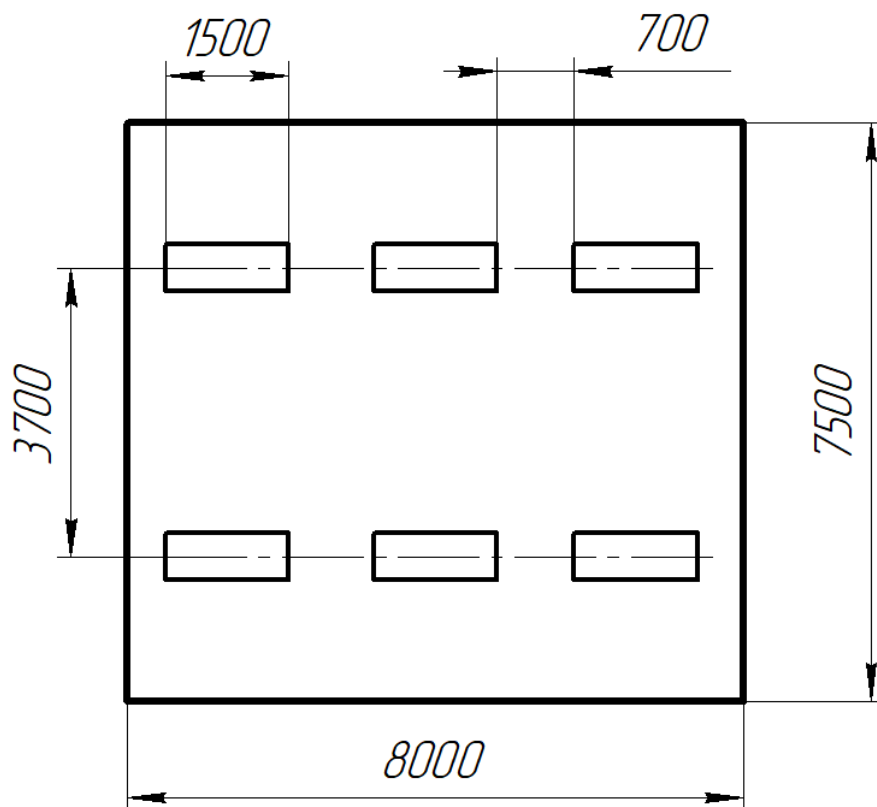


Рисунок 5.1 – План и размещение светильников с люминесцентными лампами

### 5.3 Экологическая безопасность

Данное исследование по алмазному выглаживанию 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. Смазочно-охлаждающую жидкость фильтровать и вернуть в цикл, взвеси собрать и сдать в строительную или дорожную промышленность в качестве инертного материала.

**Защита атмосферы.** При механической обработке материалов испарения от СОЖ, такие как соединения серы с кислородом ( $\text{SO}_2$  ПДК 3 мг/м<sup>3</sup> III класс опасности) и водородом ( $\text{H}_2\text{S}$  ПДК 5 мг/м<sup>3</sup> III класс опасности) которые выводятся наружу при помощи системы вентиляции, что отрицательно воздействует на атмосферу.

1. Для очистки газовой составляющей вентиляционных выбросов, нужно использовать специальные конденсаторы и фильтра, которые будут охлаждать воздушные смеси (ниже точки росы).

2. Перейти на использование экологически безопасных эмульсий: масляных – на основе растительных масел.

**Защита литосферы.** Основными источниками загрязнения являются промышленные отходы металлическая стружка согласно ФККО (Федеральный классификационный каталог отходов Приказ Росприроднадзора от 22.05.2017 №242 (с изменениями от от 29.03.2021 N 149), сама по себе металлическая стружка относится к 5 классу и не является опасным отходом. Но при обработке деталей на станках используют смазывающее-охлаждающую жидкость (СОЖ), которая пропитывает стружку и на выходе составляет свыше 15% её массы.

Смазочно-охлаждающие жидкости (или СОЖ) являются устойчивыми масляными эмульсиями и относятся к отходам третьего класса опасности



(умеренно опасные отходы). В Федеральных законах № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения», № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» и № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» отмечено, что на деятельность по сбору, перевозке, размещению и утилизации данных отходов имеют право только лицензированные предприятия.

После сбора отходы подвергаются переработке, утилизации и захоронению. Перерабатываются такие отходы, которые могут быть полезны.

Утилизация представляет собой переработку отходов, имеющую целью использование полезных свойств отходов или их компонентов. В этом случае отходы выступают в качестве вторичного сырья.

**Защита гидросферы.** Химическими загрязнителями являются индустриальное масло (ПДК 0,3 мл/л Класс опасности 4) СанПиН 2.1.5.980-00 в ходящие в состав СОЖ. Если сточные воды, подлежащие сбросу в канализационную сеть населенных пунктов, содержат вредные вещества в концентрациях, превышающих установленные нормы, то их следует подвергать предварительной очистке ГОСТ 17.1.3.13-86.

Для сведения к минимуму загрязнения сточных вод, все стоки оборудуют специальными фильтрами (задерживающими масла, кислоты и грязь). Очистка вод производится в отстойниках, шлаконакопителях. Воды, которые прошли очистку, используются в оборотном водоснабжении.

## **5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

### **5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект**

Исследования по алмазному выглаживанию не могут инициировать возникновение каких-либо ЧС, так как не производят поражающих факторов физического и химического характера. Данное рабочее место находится в

городе Томске. Наиболее вероятные ЧС на объекте, в данном случае, аварии на тепло и электросетях, пожар.

#### **5.4.2 Анализ возможных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований**

При проведении исследования возможно возникновение следующего вида возможного ЧС:

Техногенные аварии, связанные с возникновением пожара в помещении лаборатории, и авария электроэнергетических систем в помещении мастерской; причинами возникновения данного вида аварии в помещениях может быть обусловлено вследствие несоблюдения правил техники безопасности при эксплуатации электрооборудования.

При возникновении пожара необходимо незамедлительно обратиться в службу спасения. Затем оповестить персонал о возникновении пожара нажатием на кнопку сигнализации. При опасности поражения электротоком, помещение необходимо обесточить. После чего можно приступать к тушению пожара. При тушении пожара, вызванного указанными химическими веществами, применяют порошковые, пенные, и углекислотные огнетушители, а также песок. Для тушения электрооборудования применяют углекислотные огнетушители. На основании Федерального закона от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. От 30.04.2021) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" помещения лабораторий оборудованы следующими средствами пожаротушения: огнетушитель ручной углекислотный ОУ-5, пожарный кран с рукавом, также каждое помещение оборудовано системой противопожарной сигнализации. Помещение лаборатории категории помещения группы – А, возможный класс пожара – В.

Для Томска в зимнее время года характерны морозы. Достижение критически низких температур может привести к авариям систем

теплоснабжения и жизнеобеспечения, приостановке работы, обморожениям и даже жертвам среди рабочего персонала. В случае промерзания трубопроводов должны быть предусмотрены запасные обогреватели или подогревающий контур.

### **Вывод**

Целью данного раздела являлось выполнение требования, при проектировании рабочего места, обеспечивающего безопасные, комфортные условия для работы, предотвращение возникновения профессиональных заболеваний и несчастных случаев.

Значение всех производственных факторов на изучаемом рабочем месте соответствует нормам, которые также были продемонстрированы в данном разделе, за исключением фактора, обладающего свойствами психофизиологического воздействия на организм человека. Для минимизации влияния данного фактора на организм человека, достаточно соблюдать меры, приведенные в МР 2.2.9.2311 – 07 «Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности».

Категория помещения по электробезопасности, согласно ПУЭ, соответствует второму классу – «опасные помещения по электробезопасности».

Согласно правилам по охране труда при эксплуатации электроустановок персонал должен обладать 2 группой допуска по электробезопасности.

Присвоение группы 2 по электробезопасности производится путем проведения обучения не менее 72 часов, который должен завершаться проверкой знаний в форме аттестации.

Категория тяжести труда в лаборатории по СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" относится к категории

Иб (работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся физическим напряжением).

Категория помещения соответствует группе В-3, возможный класс пожара В.

А также выявлены предполагаемые источники загрязнения окружающей среды. Приведен краткий анализ возможных чрезвычайных ситуаций, выявивший вероятные ситуации на объекте, а именно: пожар, аварии на тепло и электросетях.

## Список используемых источников

1. Торбило В.М., Алмазное выглаживание. М., «Машиностроение», 1972, 105 с.
2. 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].
3. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием: справочник / Л. Г. Одинцов. — М.: Машиностроение, 1987, 328 с.
4. Дель Г.Д., Технологическая механика. М., «Машиностроение», 1978, 174 с.
5. Трение, изнашивание и смазка: Справочник. В 2-х кн. / И.В Крагельский, В.В. Алисин [и др.] М., «Машиностроение», 1978, 400 с.
6. Клепиков В.В. Технологические процессы алмазного выглаживания: учеб. для вузов / В.В. Клепиков, А.Н. Бодров. М.: Высшая школа, 2006. 320 с.
7. 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.
8. 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.
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. Пригченко – М.: Машиностроение, 1985. 232 с., ил.
12. 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.
13. 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.).
14. Техника безопасности в электроэнергетических установках: справочное пособие / под ред. П. А. Долина. — Москва: Энергоатомиздат, 1987. — 400 с.: ил.
15. Лесенко, Георгий Георгиевич. Безопасность труда в приборостроении / Г. Г. Лесенко, Ю. И. Борисенко. — Киев: Техника, 1988. — 128 с.: ил. — Техника безопасности. — Библиогр.: с. 127.
16. Федеральный закон "О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения" от 30.03.1999 N 52-ФЗ (последняя редакция) [Электронный ресурс] // «Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов» - Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901729631>
17. Федеральный закон "Об охране окружающей среды" от 10.01.2002 N 7-ФЗ (последняя редакция) 10 января 2002 года N 7-ФЗ // «Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов» - Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901808297>

18. Федеральный закон "Об отходах производства и потребления" от 24.06.1998 N 89-ФЗ (последняя редакция) 24 июня 1998 года N 89-ФЗ// «Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов» - Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901711591>

19. СанПиН 2.1.5.980-00 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод» [Электронный ресурс] // «Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов» - Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200006938>

20. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания"// «Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов» - Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573500115>

## Приложение А

### Investigation of high-speed diamond burnishing processes

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM11	Гонтов Алексей Васильевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Червач Юрий Борисович	канд. техн. наук		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гутарева Надежда Юрьевна	канд. пед. наук.		



## **1. Relevance of the topic**

In mechanical engineering, one of the main tasks is to ensure a long period of operation and reliability of the product. For these purposes, new manufacturing technologies, materials, efficient technological processes, product quality control and diagnostics, etc. are being improved and introduced.

One of the effective ways to improve the quality and product is the use of diamond burnishing. The quality of the product, the reliability of operation and the operational properties of the machines depend on the manufacturing technology and, to a greater extent, on the finishing treatment, which forms the surface layer. Smoothing is a finishing and strengthening treatment by surface plastic deformation (PPD). This method improves the surface quality of the product, increases its hardness, reduces roughness and wear resistance. This method does not leave the grains caricatured with abrasive fragments, which occurs during abrasive processing processes.

In accordance with GOST 18296-72, PPD methods can be divided into both percussive and non-percussive. In the case of non-impact interaction of the deformable material with the tool, working bodies or the medium with static PPD, the interaction in which inertial forces do not significantly affect the deformation characteristics is conventionally understood.

With impact methods, the tool, working bodies or medium repeatedly affect the entire treated surface or part of it, while the force in each cycle varies from zero or from a certain value to a maximum, and in the case of a local impact of the deformation focus, it can consistently and uniformly pass through the entire treated surface.

Tools for PPD can be a roller, a ball with or without a forced axis of rotation, a stroker, a mandrel with non-cutting rings, a firing pin, etc. Shot, balls made of steel, glass, plastic, etc. can be used as working bodies for PPD. The working medium for PPD can be liquids, gas and their suspensions with abrasive particles.

Unlike other methods (PPD), diamond is used as a deformable element. It has such properties as high hardness, high thermal conductivity, low coefficient of

friction on the metal. Due to its high hardness, almost all metals, both soft and hardened (up to HRC 60-65), can be processed with diamond. The radius of the smoothing tool is small and ranges from 0.75 to 4 mm, in this regard, the smoothing force has a small value from 5 to 25 kgf. Due to this, the use of diamond can be both on low-rigid parts and on thin-walled ones.

An important parameter of the smoothing process is the feed, which is usually taken in the range from 0.005 to 0.10 mm/rev. The smoothing speed practically does not affect the microrelief of the hardened surface. However, at high speeds, vibrations may occur that degrade the quality of processing and reduce the durability of the tool.

The relevance of the work lies in the fact that the process of high-speed diamond smoothing has not been studied enough, and the mandrel designs need to be refined, or a new design should be developed taking into account the shortcomings of existing ones.

The purpose of the work is to study the process of high-speed diamond smoothing.

## **2. The physical nature of PPD**

Surface plastic deformation (PPD) is a set of processes, the use of which makes it possible to increase the purity of the surface, strengthen the surface layer, create favorable residual stresses in it, compensating for the concentration effects of the stressed state, and apply artificial relief.

A metal layer that differs from the bulk of the part in structure, phase and chemical composition is called a surface layer. Under operating conditions, this layer is subjected to the strongest physical and chemical effects, which worsens the service properties of the surface (wear, erosion, cavitation, corrosion, fatigue cracks) and destruction occurs initially in the surface layer.

The real surface of the part is imperfect and has geometric deviations. Depending on the ratio of the step  $S$  to the height of the irregularities  $R_z$ :  $S/R_z < 50$

– surface roughness, at  $S/R_z = 50 \dots 1000$  undulation and at  $S/R_z > 1000$  – deviation from the correct geometric shape.

Surface roughness is regulated by GOST 2789-73, the standard establishes a list of parameters and types of directions of irregularities that should be used when establishing requirements and monitoring surface roughness, numerical values of parameters and general instructions for establishing requirements for surface roughness.

#### Roughness Parameters

$R_a$  - is the arithmetic mean deviation of the roughness profile from the median line within the base length

$R_z$  – the height of the roughness profile irregularities at ten points within the base length

$R_{max}$  – the maximum height of the roughness profile within the base length

$S_m$  - is the average value of the step of roughness profile irregularities along the midline within the base length

$S$  - is the average value of the pitch of the local protrusions of the roughness profile

$t_p$  - is the relative reference length of the profile, where  $p$  is the value of the profile section level

GOST 25142-82 already gives definitions, terms and calculation of surface roughness parameters.

Also, the roughness of the surface can be attributed to the undulation, which can occur as a result of vibrations in the AIDS system. To assess the undulation, three parameters were set by the CMEA recommendation (RS 3951 - 73).

$W_z$  is the height of the irregularities of the wave profile at ten points

$W_{max}$  – maximum height of the wave profile

$S_{mw}$  – the average value of the wave profile step along the midline

With overestimated power parameters of processing, over-sealing may occur, as a result of which dangerous microcracks appear in the surface layer, the surface roughness increases sharply.

The dependence between the hardness of the deformed metal and the intensity of stresses during plastic deformation is the basis of the method for determining the stress state in the plastic region by the hardness distribution, which is an ugly version of the loading method.

By studying the relationship between hardness measured by various methods and stress during compression testing of a wide range of materials, it was found that the hardness — stress intensity graphs constructed for different metals do not coincide. However, they all have an envelope common to this method of hardness measurement, corresponding to the relationship between hardness and yield strength of ideally plastic materials. This is explained by a decrease in the hardenability of metals with increasing deformation.

### **3. The main parameters of the diamond burnishing process**

The main parameters of smoothing can be considered in the work of Torbilo V.M. The surface quality is affected by the rate of deformation, which is the speed of movement of the tool relative to the part. The stress state in the contact zone is defined as the mechanical properties of the material, the depth of penetration and the size of the working part of the tool.

The multiplicity of the applied load or the number of loads of each point of the treated surface. Insider the deformation of the surface layer in the direction of movement of the smoother (Figure 1).

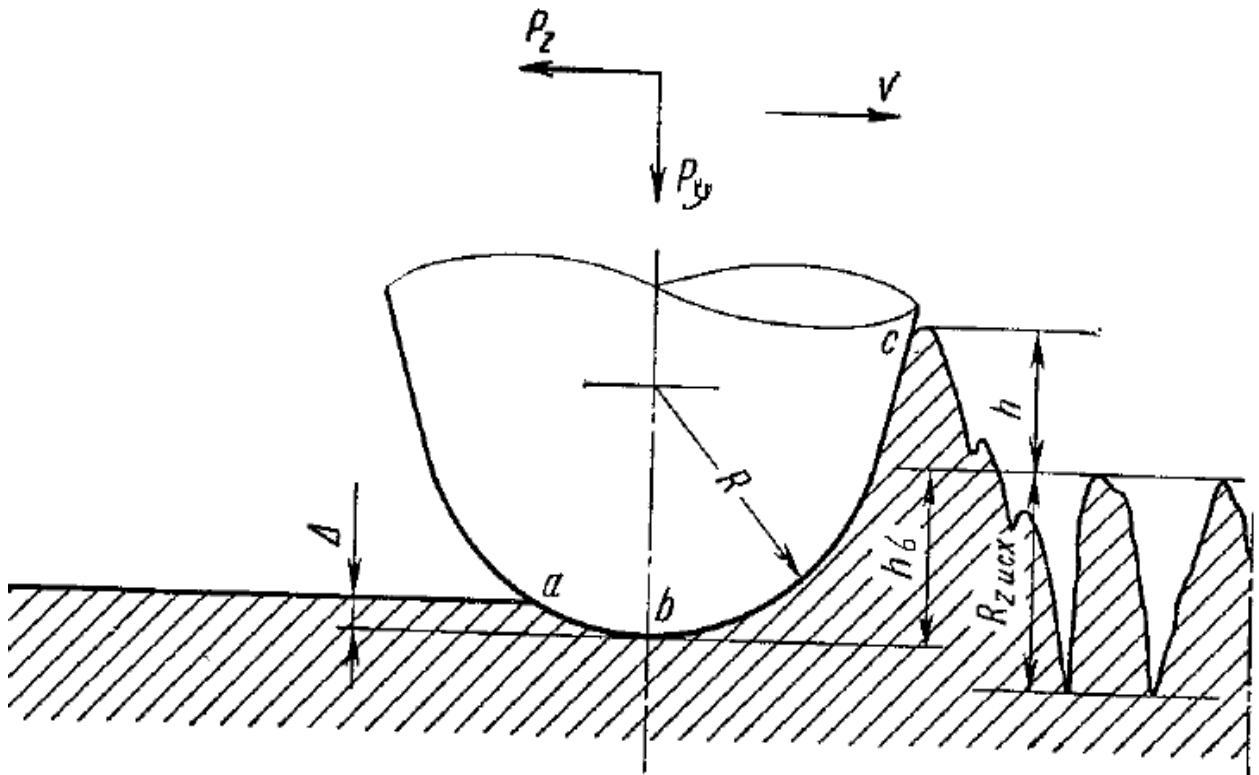


Figure 1 Diagram of deformation in the direction coinciding with the direction of velocity

The tool is embedded into the surface with a force of  $P_y$  to a depth of  $h_b$  and smoothes the surface irregularities when moving. After the passage of the tool, there is a partially elastic recovery of  $\Delta$ . The contact occurs in an arc (adc) in connection with this, a roller hd of a plastically deformable metal is formed. Because of this, the rear semi-surface (ab) is loaded less than the semi-surface (bc) for this reason, a tangential force  $P_z$  arises.

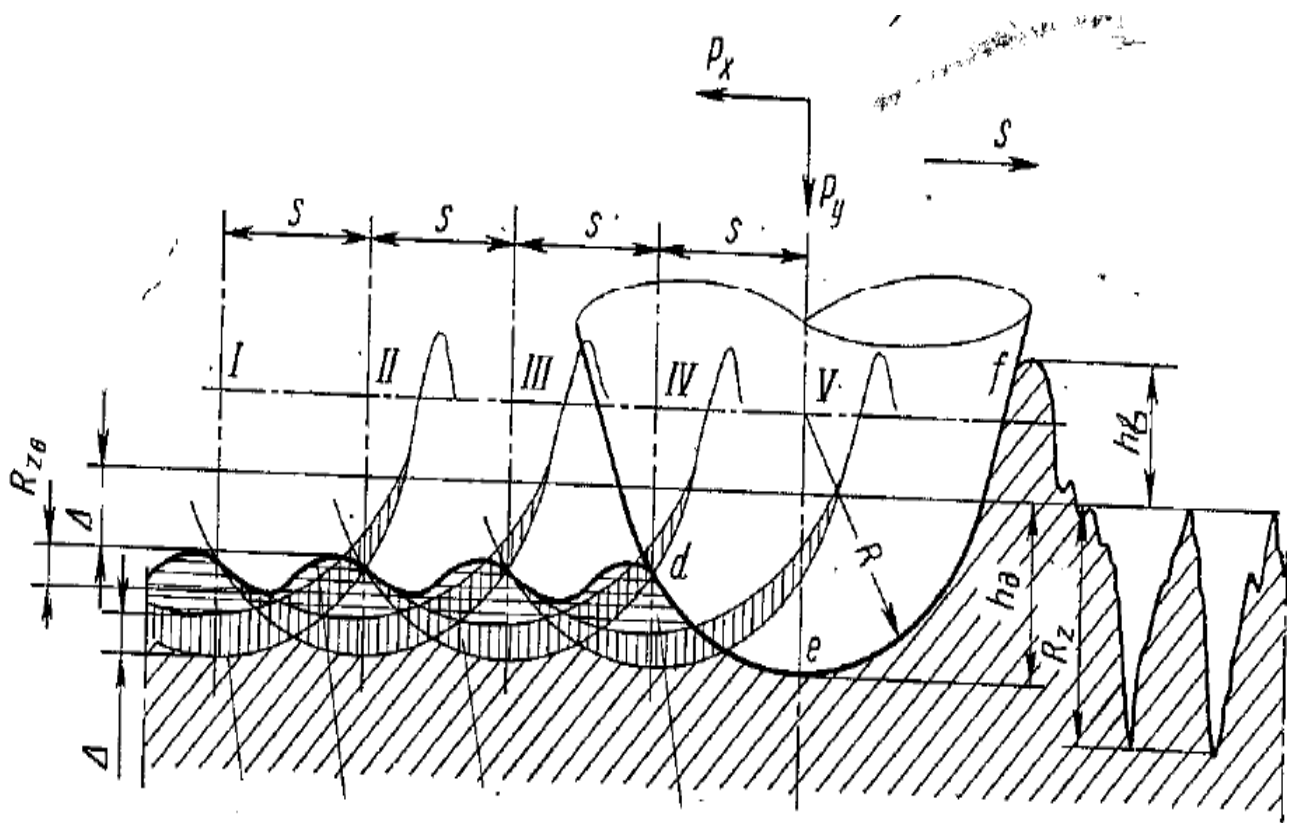


Figure 2 Diagram of deformation in the feed direction

Now consider the deformation in the feed direction (Figure 2). During the longitudinal movement, the smoothing device pushes the metal of the deformable surfaces apart. A roller of deformable metal  $h_b$  is formed, and from the side of the smoothed surface, the profile of the grooves formed during the previous revolutions of the part is distorted. With each revolution of the processed part, the groove of the smoother track moves in the axial direction by the amount of feed  $S$ . It is repeatedly overlapped at subsequent revolutions since the width of the groove is greater than the feed value. The arc contact ( $ef$ ) is greater than  $de$  as a result, a force  $P_x$  is formed.

The microrelief of the smoothing surface is determined by the main factors:

1. The value of the initial roughness of the surface of the part
2. The feed rate
3. The shape and size of the working part of the diamond
4. Kinematics of the process (direction of mutual movement of the tool and the workpiece)
5. The amount of diamond embedding

6. The amount of elastic recovery of the surface after smoothing
7. By vibrations of the SPID system
8. Plastic flow of the material is caused by the appearance of secondary roughness

Forces. When smoothing, the P force is decomposed into three components: normal  $R_y$ , tangential  $P_z$ , and feed force  $P_x$ . The smoothing force depends on the radius and shape of the diamond smoother, the plasticity and roughness of the treated surface, the depth of penetration, feed and some other factors. The main force creating pressure in the contact of the tool with the part is the normal component of  $R_y$ .  $P_z$ , and  $P_x$  is 10-20 times less. The maximum and minimum permissible values of the smoothing force are set based on the need to ensure the stability of the quality of the smoothed surface. By setting the values of the maximum minimum limits of the smoothing force, it is possible to determine the permissible values of the smoothing speed.

Friction and lubrication. In the process of smoothing, friction forces arise in the contact zone of the tool with the part, which affect the process of plastic deformation, heating of the tool and the part, and the quality of the surface to be treated. Friction occurs due to deformation of the thin surface layer of the material of the workpiece by the embedded tool and overcoming the adhesive bonds that arise between the tool and the treated surface.

It can be assumed that the adhesive component of the friction coefficient depends only on the type of material being processed and its roughness and does not depend on the smoothing modes. Changing the smoothing speed in the operating range (up to 250 m/min) practically does not affect the coefficient of friction when smoothing hardened steels, when smoothing soft materials aluminum, bronze, the coefficient of friction decreases significantly with increasing speed. Thus, when smoothing the aluminum alloy D16T, the coefficient of friction is halved with an increase in speed from 50 to 200 m/min. The quality of the smoothed surface and the durability of the tool is greatly influenced by the lubricant used. The selected liquid

should provide a reduction of friction and heat generation in the contact zone, withstand high pressures, should have stable properties when heated, be easily and conveniently applied to the treated surface, should be non-toxic.

Hesitation. When smoothing, longitudinal and transverse undulations may appear on the treated surface due to fluctuations in the AIDS technological system. At high processing speeds, intense vibrations begin, leading to a sharp deterioration of the treated surface. When smoothing, forced oscillations and self-oscillations are observed. Forced oscillations are caused by such reasons as the beating of the machine spindle, the beating of the workpiece, undulation and the presence of traces of vibration, etc. Self-oscillations during smoothing are due to phenomena inherent in the smoothing process itself.

When the tool moves along the treated surface, the volume of the deformed metal in front of it increases, which causes an increase in the forces of smoothing and pressing of the part and the tool; then the cycle repeats. In addition, due to the uneven roughness and hardness of the treated surface, the actual values of tool insertion, smoothing forces and friction are variable, which also causes the occurrence of self-oscillations.

The nature of the fluctuations of the AIDS technological system depends on its rigidity. Rigid smoothing at speeds of more than 170 m/min is impossible due to strong vibrations, while with the use of an elastic holder, it is possible to smooth surfaces over the entire range of the studied speeds.

#### **4. Thermal phenomenon and durability of the smoother**

The energy expended during the ironing process almost all goes into heat and heats the part and the tool accordingly. Heating affects both the quality of the processed upper layers and the tool. And due to its durability, since at a temperature exceeding  $850\text{ C}^{\circ}$ , the diamond burns. An experimental test of the temperatures in the contact zone of the ironer with the part showed the dependence of temperature with the smoothing speed. The highest smoothing speed on hardened steel SHX15,



limited by the heat resistance of the diamond, was 400-600m/min. At a speed of no more than 100 m/min, the temperature did not exceed 200-400 C<sup>0</sup>. The most intense wear is observed at speeds of 140-160 m/min, the lowest at 50-100 and 200-280 m/min. At speeds of 400 m /min, the diamond is heated to 700-750 C<sup>0</sup>, which leads to intense wear of the diamond.

## **5. The design of the mandrels used**

There are two smoothing schemes rigid and non-rigid. Figure 3 shows a rigid smoothing scheme. In this method, a rigid kinematic connection is carried out between the tool and the part. The roller 1, the ironer 2 are fixed with a screw in the holder, which is installed instead of the cutter in the tool holders of the lathe. And with this fixing of the mandrel, the hardness, shape accuracy and size of the machined surface of the part increases, due to the deformation of the metal, as well as its sealing.

A serious problem with hard smoothing is self-oscillations. Vibration, as well as fluctuations in the depth of penetration, adversely affect the strength of smoothing. As a consequence of the influence of these factors, when hard smoothing, an uneven frequency of roughness may come out, 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 exposed on a very precise machine. Most often, smoothing is carried out immediately after turning, without reinstalling the part.

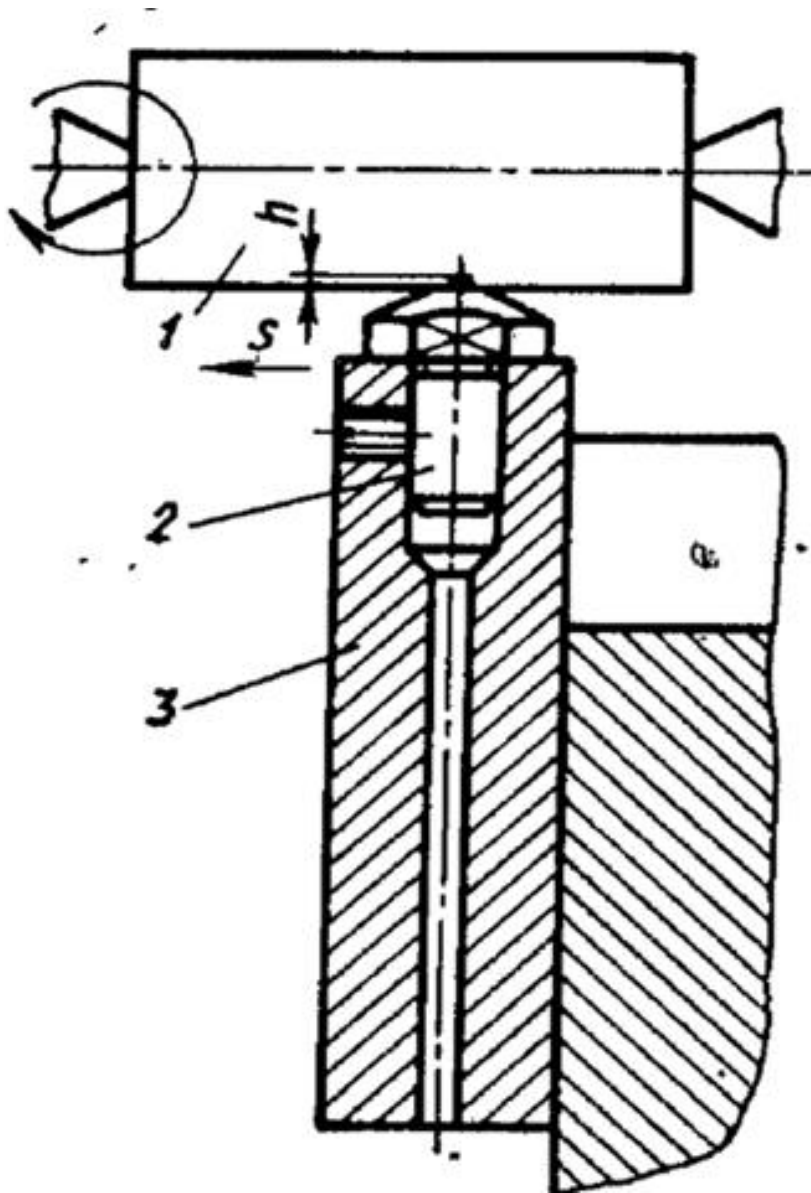


Figure 3 - Rigid smoothing scheme.

The mandrel for diamond smoothing with a power element in the form of a single-loop (Figure 4) flat spring is designed for processing the outer cylindrical surfaces of parts and their ends, taking into account the errors of the installation of the part and its shape.



Figure 4 - Mandrel with a single-loop flat spring element.

The mandrel is simple in design – a single-loop flat spring is a power element. There is a through hole in the case, through which the dipstick of the hour-type indicator passes. The force generated depends on the thickness of the working part, selected from 2 to 4 mm. This force is calibrated by a dynamometer, then its value is engraved on the mandrel body. The simplicity of the design allows the use of various lathes, and the compact size of the mandrel provides access of the indenter to the surfaces of complex parts.

The disadvantages of this design include a non-permanent contact spot due to deflection due to the impact of the  $P_z$  force and the occurrence of self-oscillations at high rotational speed of the part. Also, the disadvantage is that processing is possible with the exact installation of the part without radial runout, or directly after finishing turning without reinstalling, which requires considerable time.

Similar in design is a mandrel with a symmetrical flat spring. The mandrel is designed for processing external cylindrical surfaces and ends.



Figure 5 A mandrel with a symmetrical flat spring.

The design of the mandrel consists of a flat spring, a polyurethane foam damping gasket, a clock-type indicator and an indenter. The indenter is mounted on a spring support, which allows the indenter to move relative to the tool holder in which the mandrel is fixed. The spring support is also the main force element – the elastic deformation of the flat springs creates a smoothing force.

Force regulation is carried out by changing the distance to which the tool holder with the mandrel is brought after the contact of the indenter diamond with the surface of the workpiece being processed. The disadvantage of the spring support is the shift of the struts relative to each other under the action of  $P_x$  due to the low stiffness of the springs in this direction. This is a significant disadvantage of this support when used in mandrels for fixing a diamond indenter, as this leads to distortions of the indenter.

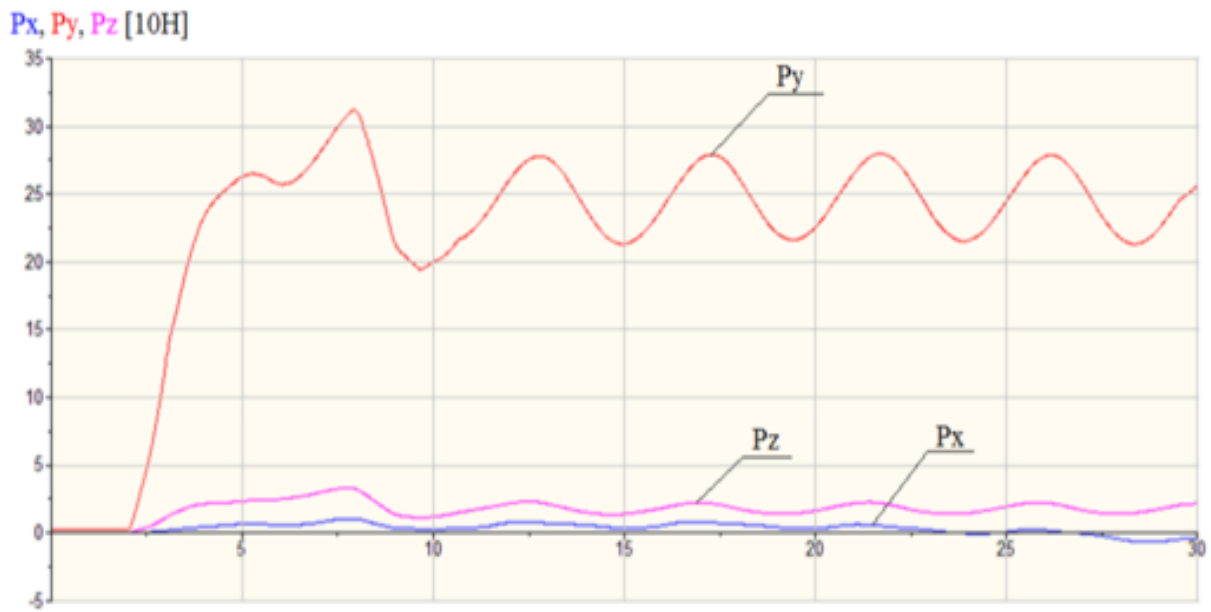


Figure 6 Dependence of the components of the smoothing force  $P_y$ ,  $P_x$  and  $P_z$  [H] on the time  $T$  [s] when smoothing with a mandrel with a symmetrical flat spring:  $R_{sf} = 2$  mm;  $S = 0.05$  mm/rev;  $V \approx 0.02$  m/s;  $\omega = 1.3$  s<sup>-1</sup>

The radial force  $P_y$  on the graph (Figure 6) obtained by processing a mandrel with a force element in the form of a symmetrical flat spring has a sinusoidal appearance. Studies have shown that the force fluctuations depend on the spring stiffness coefficient 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. The fluctuations of the radial force  $P_y$  in the area of the stable smoothing process amounted to about 67 N. The mandrel with a single-loop flat spring has the same smoothing character.

The pneumatic mandrel with a receiver with a parallelogram indenter installation on 4 flat racks was developed on the basis of a mandrel on flexible supports. Compared to the previous mandrel, the rigidity of the structure was significantly increased and the layout of some elements was changed. The case was made of a single piece of material, since the prefabricated structure has less rigidity. With the help of computer modeling systems, the necessary dimensions and thicknesses of the housing walls were calculated to exclude elastic deformations

under the influence of smoothing forces. The case is fixed on 4 flat racks on the base of the mandrel. The movement of the indenter is carried out by elastic deformation of flat racks. The power element is a bellows with compressed air with a receiver attached to it. The receiver is necessary to equalize the pressure and mitigate pulsations caused by the movement of the indenter.

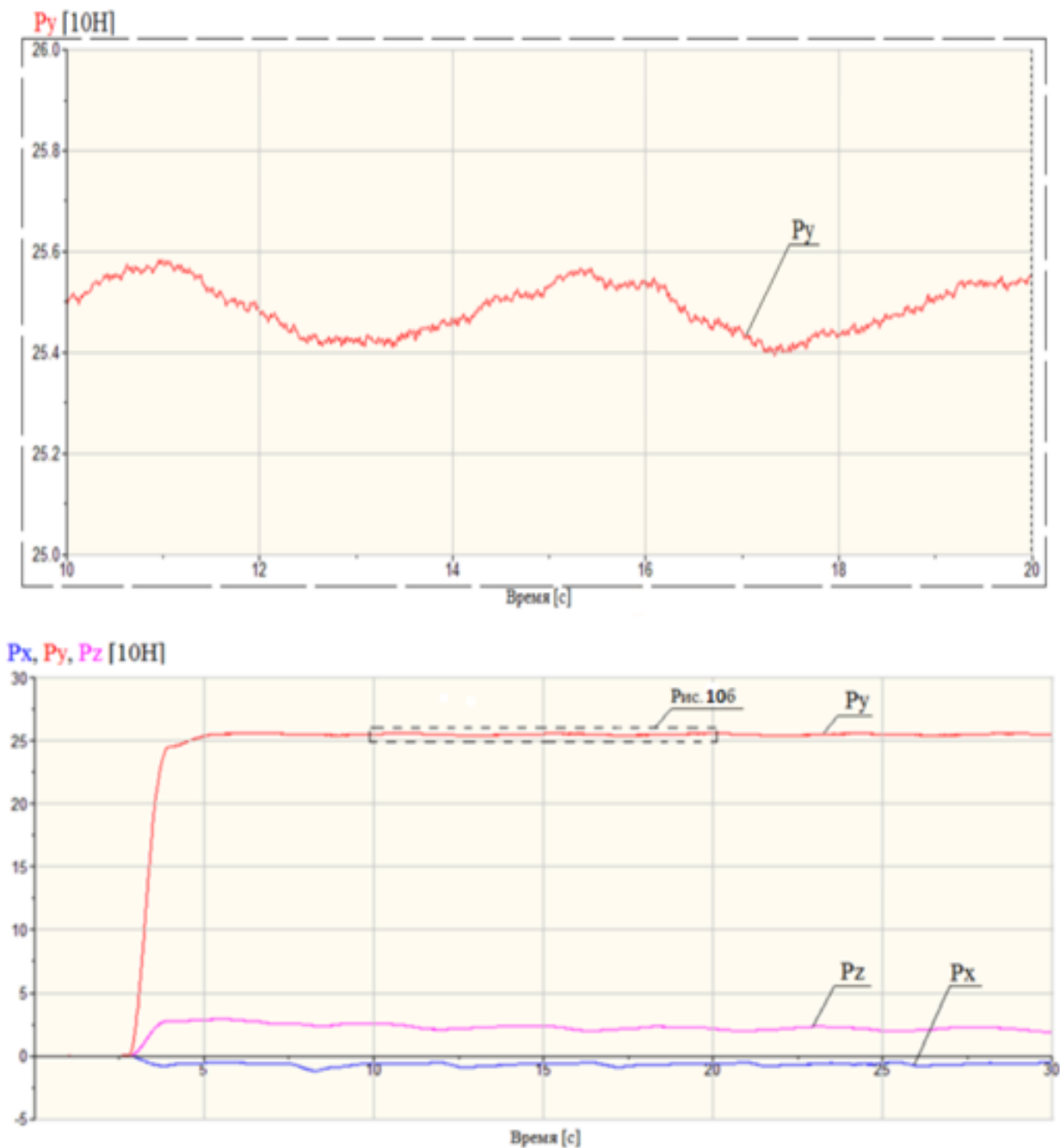


Figure 7 Dependence of the components of the smoothing force  $P_y$ ,  $P_x$  and  $P_z$  [H] on the time  $T$  [s] when smoothing with a pneumatic mandrel with a receiver with a

parallelogram indenter installation on 4 flat racks:  $R_{sf} = 2 \text{ mm}$ ;  $S = 0.05 \text{ mm/rev}$ ;

$$V \approx 0.02 \text{ m/s}; \omega = 1.3 \text{ s}^{-1}$$

When processing parts installed with radial runout, this mandrel showed an almost direct view of the dependence of the smoothing forces, as can be seen in Figure 7.

In the enlarged view of the dependence part, it can be seen that the fluctuations of the radial force  $P_y$  do not exceed 2 N. This small change in force is due, judging by the fact that they are similar to the dependences of spring mandrels, the stiffness coefficient of a flat bellows spring and elastic deformations of the struts.



Figure 8 Pneumatic smoothing mandrel with receiver (power element - bellows with compressed air) with parallelogram indenter installation on 4 flat racks

The presented mandrel with a parallelogram indenter installation on four flat racks provides the highest degree of stabilization of the  $P_y$  force during the processing of shaped surfaces and parts installed with radial runout. Diamond smoothing with this mandrel can be performed without prior precise installation of

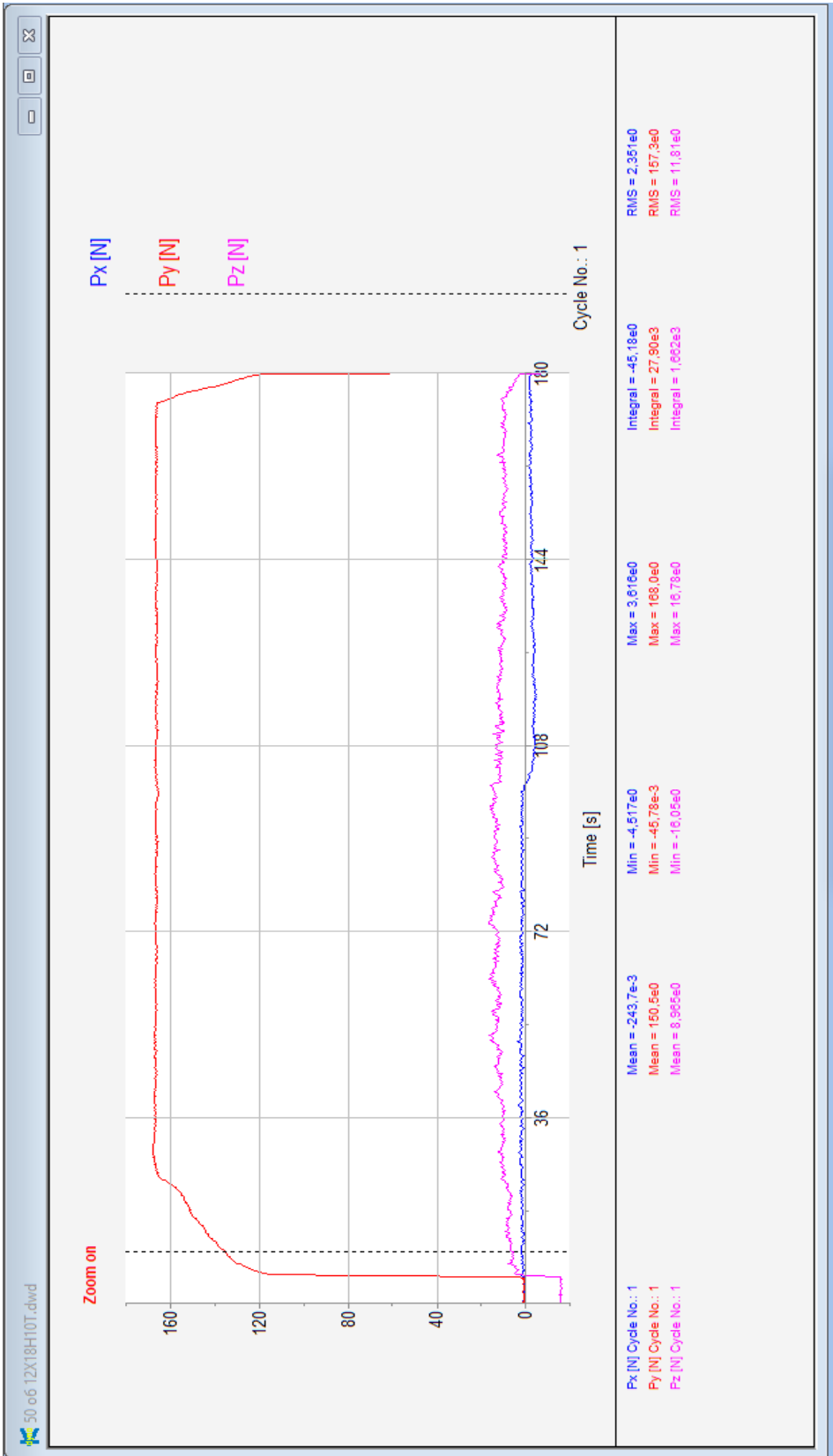
the part. The design does not have the disadvantages inherent in spring mandrels and mandrels with friction pairs.

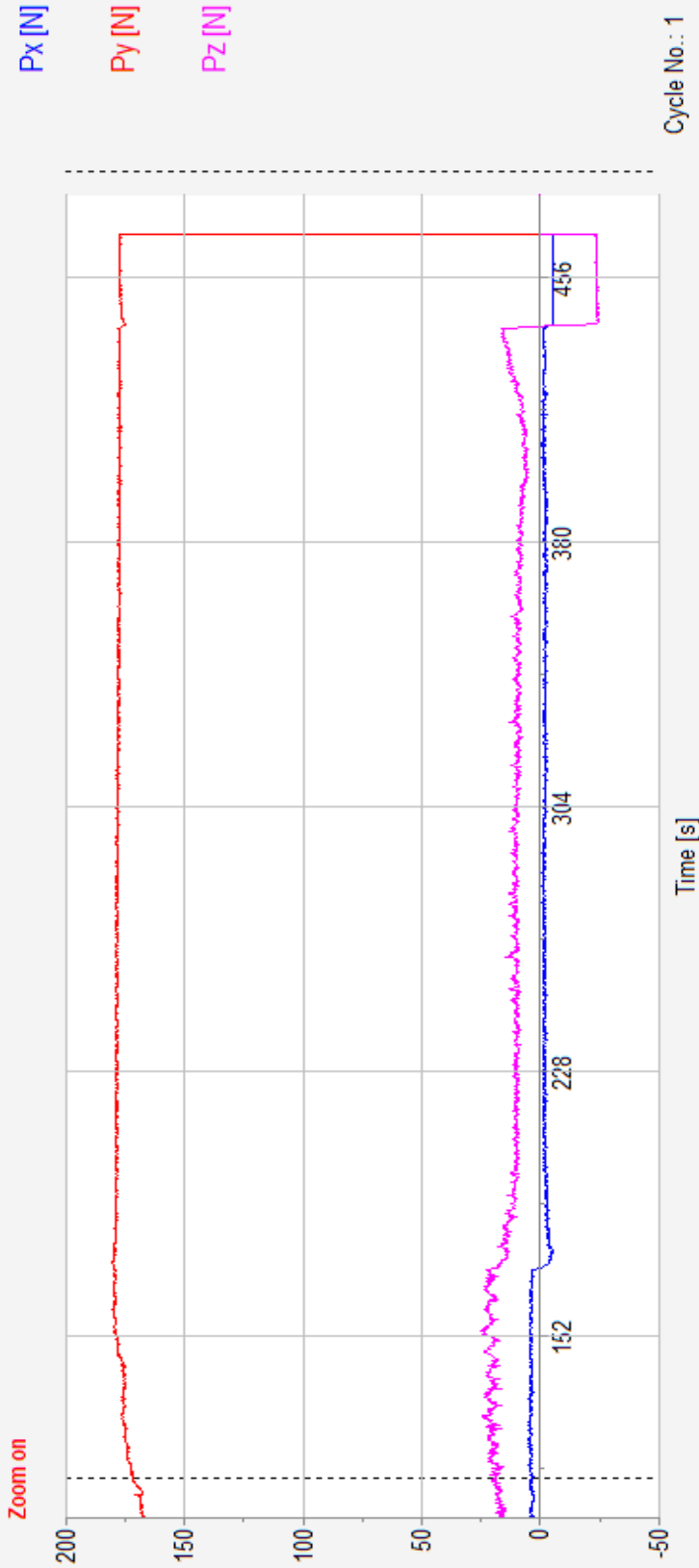
### **List of literature**

1. Torbilo V.M., Diamond burnishing processes. M., "Mechanical Engineering", 1972, 105 p.
2. Mikhin N.M. Friction under conditions of plastic contact M., Nauka, 1968, 240 p.
3. Klepikov V.V., The quality of products: A textbook. 3rd ed., supplemented and revised MGIU, 2008, 288 p.
4. Chervach, Yuri Borisovich. Choosing the optimal design of power elements of mandrels for smoothing = Selection of optimal design of burning tool actuators for diamond smoothing / Yu. B. Chervach, V. A. Mezentsev // Handbook. Engineering magazine with an appendix. - 2015. - No. 7— - [p. 11-15]. - Title from the screen. - [Bibliogr.: 4 titles]. - Access mode: under an agreement with the organization holding the resource.
5. Chervach, Yuri Borisovich. Diamond smoothing of shaped surfaces with a constant radial force  $R_u$  / Yu. B. Chervach // Modern problems of mechanical engineering: collection of scientific papers of the XII International Scientific and Technical Conference, Tomsk, October 28 - November 1, 2019 / National Research Tomsk Polytechnic University (TPU); edited by A. Y. Arlyapov [et al.]. - Tomsk: TPU Publishing House, 2019. - [pp. 173-177]. - Title from the screen. - [Bibliogr.: p. 177 (1 title)].
6. Gorgots V.G. Theoretical analysis of the dynamics of the process of diamond smoothing of surfaces of parts by the phase plane method / V.G. Gorgots, V.P. Kuznetsov // Technology of mechanical engineering. 2006. No. 11. pp. 18-21.
7. Likhobabina N.V., Korolev A.A., HARDENING OF SURFACES BY DIAMOND BURNISHING PROESSE.
8. Oleinik N.V., Kychin V.P., Lugovsky A.L. Surface dynamic hardening of machine parts / Kiev: Technika, 1984. 151 p.



## Приложение Б





Force Component	Min	Max	Mean	Integral	RMS
Px [N] Cycle No.: 1	-5,508e0	5,264e0	-1,141e0	-427,5e0	2,744e0
Py [N] Cycle No.: 1	0.0	180,3e0	169,3e0	63,44e3	173,5e0
Pz [N] Cycle No.: 1	-24,60e0	24,81e0	8,935e0	3,349e3	13,60e0

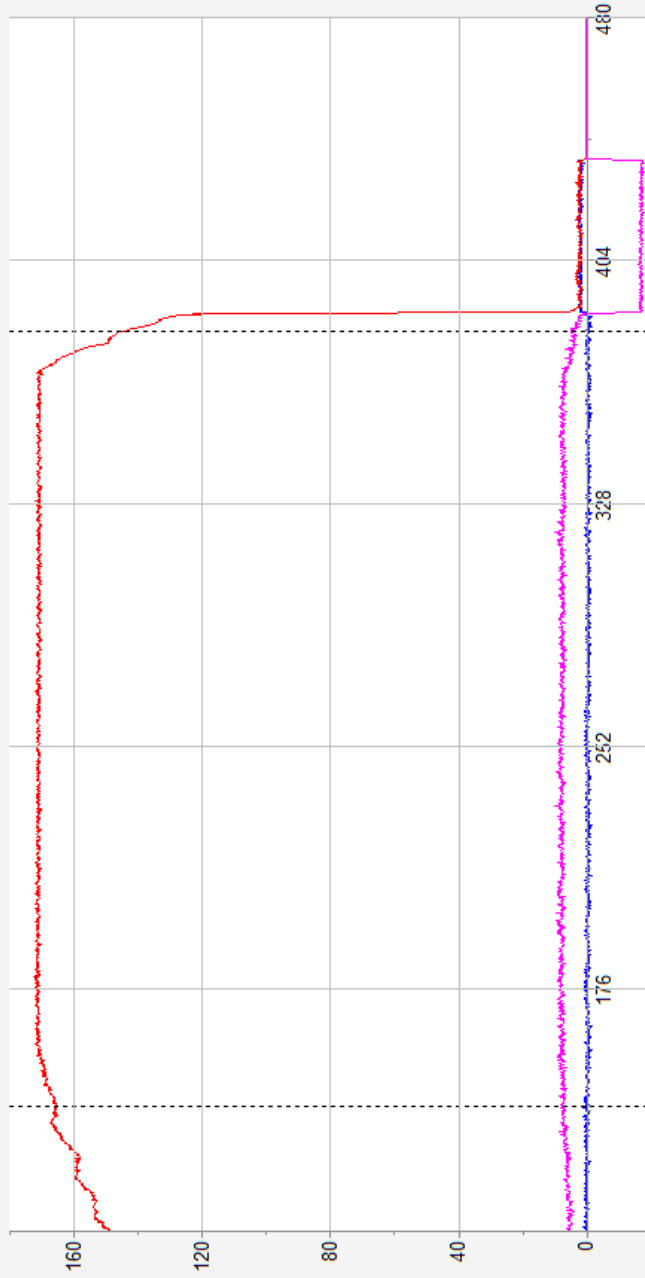


Px [N]

Py [N]

Pz [N]

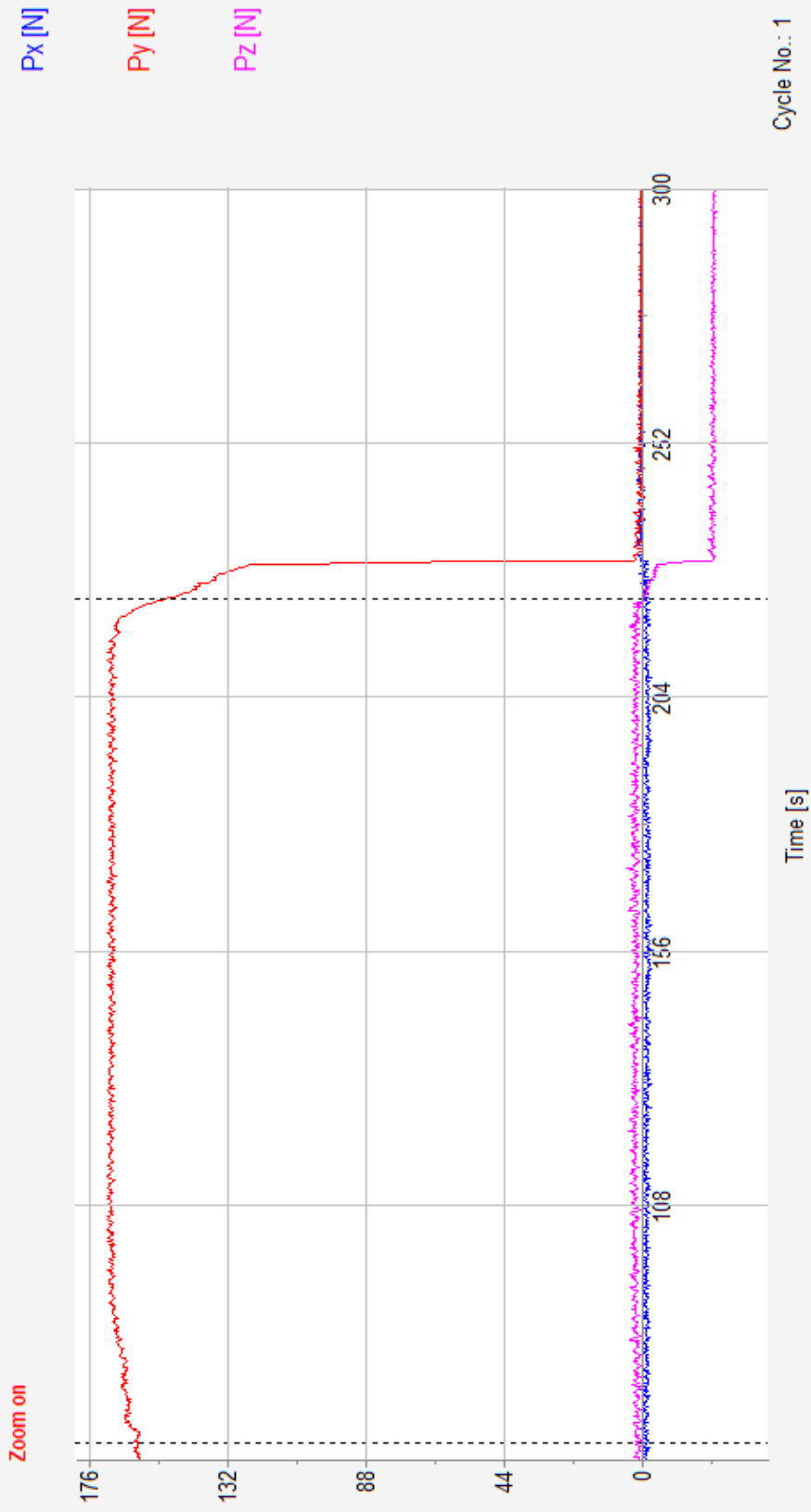
Zoom on



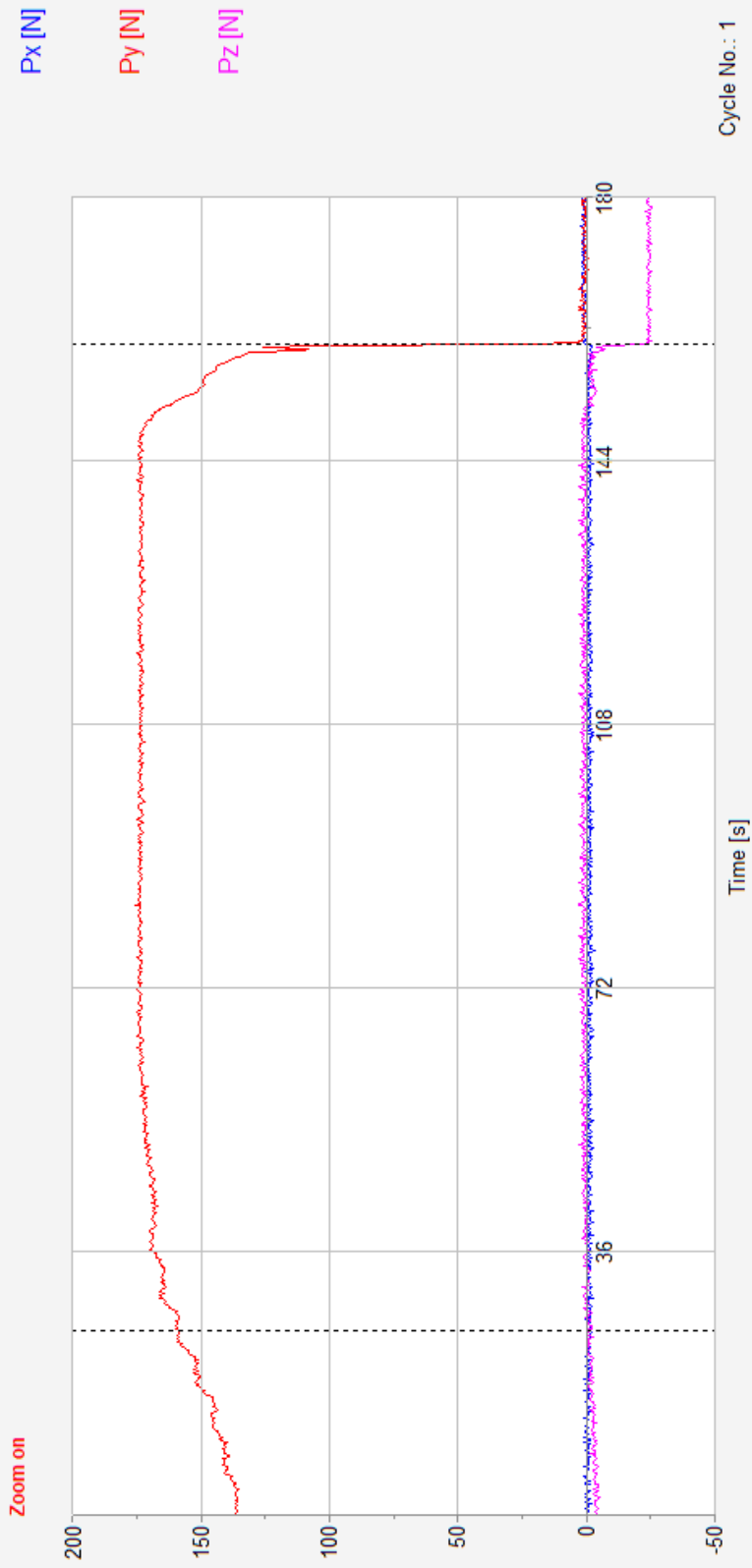
Cycle No.: 1

Time [s]

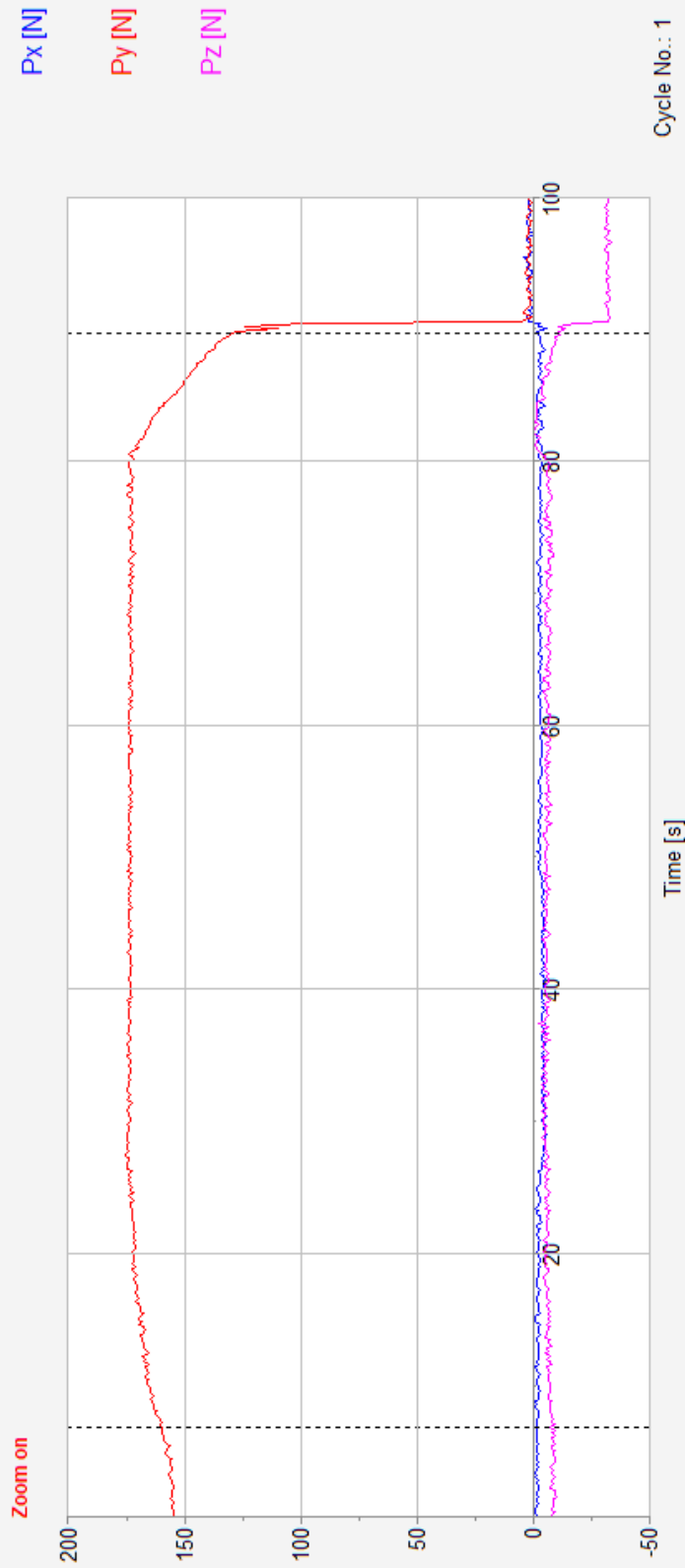
Force Component	Mean [N]	Min [N]	Max [N]	Integral [N·s]	RMS [N]
Px [N] Cycle No.: 1	-380.5e-3	-1.633e0	900.3e-3	-92.30e0	558.6e-3
Py [N] Cycle No.: 1	170.3e0	144.0e0	172.5e0	41.32e3	170.3e0
Pz [N] Cycle No.: 1	7.597e0	3.174e0	10.19e0	1.843e3	7.648e0



Force Component	Min	Max	Mean	RMS	Integral
Px [N] Cycle No.: 1	-2,609e0	534,1e-3	-1,228e0	1,345e0	-195,5e0
Py [N] Cycle No.: 1	152,2e0	170,3e0	168,0e0	168,0e0	26,74e3
Pz [N] Cycle No.: 1	-244,1e-3	4,974e0	2,400e0	2,512e0	382,0e0

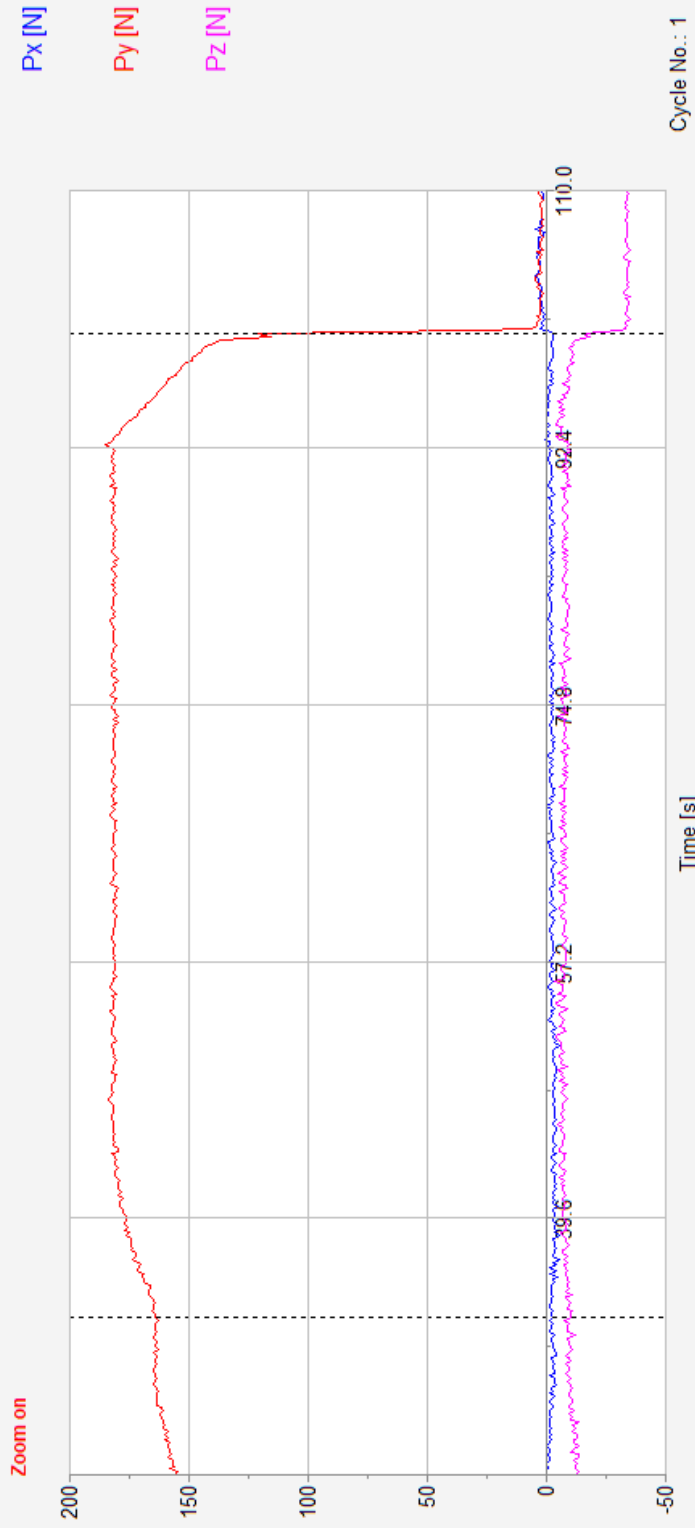


Force Component	Min	Max	Mean	Integral	RMS
Px [N] Cycle No.: 1	-3,113e0	1,144e0	-1,129e0	-152,0e0	1,303e0
Py [N] Cycle No.: 1	3,723e0	175,5e0	169,8e0	22,86e3	170,2e0
Pz [N] Cycle No.: 1	-24,23e0	3,143e0	644,4e-3	86,74e0	1,898e0



Force Component	Mean [N]	Min [N]	Max [N]	Integral [N·s]	RMS [N]
Px [N]	-3,331e0	-6,165e0	-930,8e-3	-275,8e0	3,476e0
Py [N]	170,0e0	127,8e0	175,2e0	14,08e3	170,2e0
Pz [N]	-6,004e0	-11,96e0	61,04e-3	-497,1e0	6,168e0





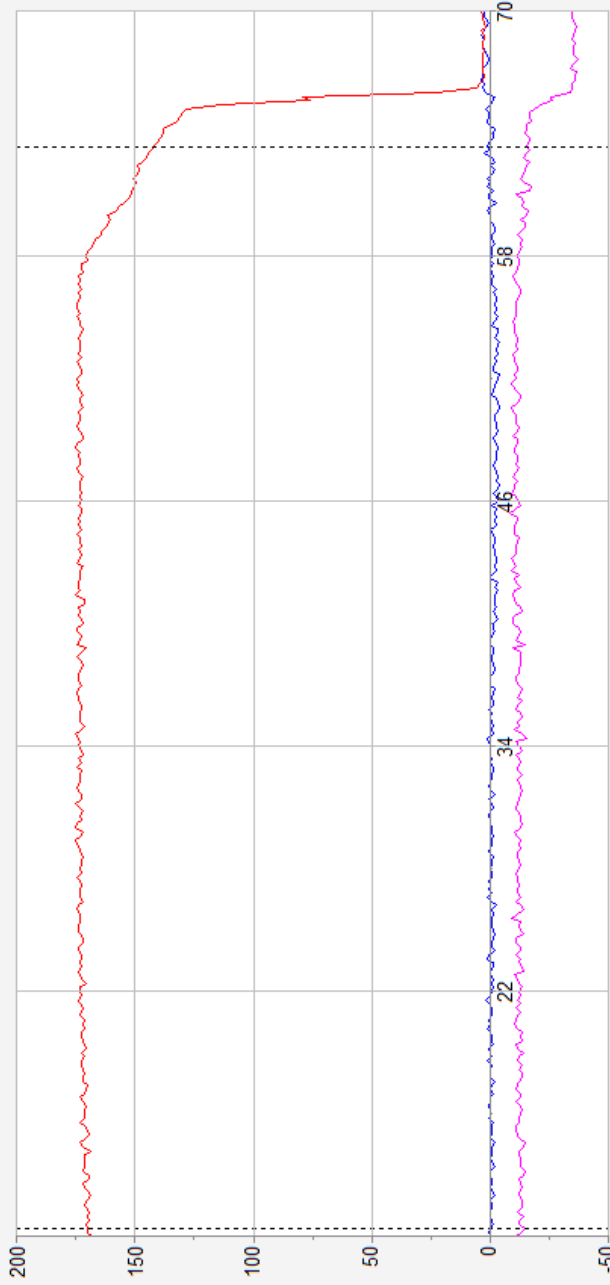
Force Component	Mean	Min	Max	Integral	RMS
Px [N] Cycle No.: 1	-2.493e0	-5.783e0	634.1e-3	-168.0e0	2.684e0
Py [N] Cycle No.: 1	177.3e0	31.23e0	185.2e0	11.95e3	177.7e0
Pz [N] Cycle No.: 1	-7.797e0	-30.64e0	-3.418e0	-625.5e0	8.049e0

Px [N]

Py [N]

Pz [N]

Zoom on



Cycle No.: 1

Px [N] Cycle No.: 1	Mean = -1,315e0	Min = -4,318e0	Max = 2,243e0	Integral = -89,68e0	RMS = 1,780e0
Py [N] Cycle No.: 1	Mean = 171,0e0	Min = 141,0e0	Max = 175,4e0	Integral = 9,064e3	RMS = 171,1e0
Pz [N] Cycle No.: 1	Mean = -12,35e0	Min = -17,40e0	Max = -8,789e0	Integral = -554,4e0	RMS = 12,44e0