

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

Школа ИШНПТ

Направление подготовки 15.04.01. «Машиностроение»

Отделение школы (НОЦ) Материаловедения

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование применения промышленных роботов для центробежно-ротационной обработки в свободном абразиве

УДК 621.865.8-049.8:621.923.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ71	Семёнов Артём		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Алфёрова Е.А.	к.ф.-м..н		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Конотопский В.Ю.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Романова С.В.			

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Арляпов А.Ю.	к.т.н.		

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа ИШНПТ

Направление подготовки (специальность) 15.04.01. «Машиностроение»

Отделение школы (НОЦ) Материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП

\_\_\_\_\_  
(Подпись)      (Дата)      (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
8ЛМ71	Семёнов Артём

Тема работы:

Исследование применения промышленных роботов для центробежно-ротационной обработки в свободном абразиве
---

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<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 особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Объект исследования: процесс сухой финишной центробежно-ротационной технологии обработки в свободном абразиве с применением промышленного робота-манипулятора. Техническое задание в рамках хоздогоора № 15.05-91/2019 от инструментального предприятия ООО «ПК «МИОН» на финишную обработку осевого режущего инструмента.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	Анализ современного состояния вопроса финишных абразивных технологий для обработки деталей из стандартных конструкционных материалов, применяемых для отрасли общего машиностроения. Составление сравнительной таблицы всех абразивных финишных технологий по технологическим параметрам. Описание и выявление достоинств экспериментальной установки.

	<p>Исследование трех основных вопросов обработки:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Влияние центробежной силы на смещение поверхностного абразивного слоя к стенкам контейнера.</li> <li>2. Пробная обработка алюминиевых цилиндров для выявления особенностей процесса обработки.</li> <li>3. Обработка стальных образцов для формирования рациональной технологии для обработки осевых режущих инструментов с СМП из твердого сплава.</li> </ol> <p>Формирование выводов по проделанной работе. Описание перспектив дальнейшего исследования данной технологии.</p>
--	---

<b>Перечень графического материала</b>	Презентация в Microsoft Power Point
--	-------------------------------------

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Конотопский В.Ю.
Социальная ответственность	Романова С.В.
Раздел ВКР на иностранном языке	Ажель Ю.П.
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Обзор литературы	

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Алфёрова Е.А.	к.ф.-м..н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ71	Семёнов Артём		

**Планируемые результаты обучения по ООП 15.04.01 Машиностроение  
(магистратура)**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P1	Способность применять глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания при создании новых конкурентоспособных технологий изготовления деталей и сборки машин
P2	Способность выполнять и обосновывать инженерные проекты для создания сложных конкурентоспособных изделий машиностроения и технологий их производства, в том числе с использованием современных CAD/CAM/CAE продуктов.
P3	Способность ставить и решать инновационные инженерные задачи с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов машиностроения
P4	Способность разрабатывать методики и организовывать проведение теоретических и экспериментальных исследований в области технологии машиностроения с использованием новейших достижений науки и техники
P5	Готовность обеспечивать прогрессивную эксплуатацию оборудования и других средств технологического оснащения автоматизированного производства изделий машиностроения, осваивать и совершенствовать технологические процессы изготовления новых конкурентоспособных изделий, обеспечивать их технологичность
P6	Способность проводить маркетинговые исследования, используя знания проектного менеджмента, участвовать в

	создании или совершенствовании системы менеджмента в качестве предприятия
Универсальные компетенции	
P7	Готовность следовать кодексу профессиональной этики и социальным нормам ведения инженерной деятельности
P8	Готовность к непрерывному самосовершенствованию в инженерной педагогической и исследовательской деятельности и способность критически переосмысливать накопленный опыт
P9	Способность организовывать и эффективно управлять работой коллектива, состоящего из специалистов различных направлений и квалификаций, а также готовность нести ответственность за результаты выполненной работы
P10	Способность осуществлять коммуникации в профессиональной среде, презентовать и защищать результаты инженерной и исследовательской деятельности, в том числе и на иностранном языке

## Содержание

Введение .....	8
ГЛАВА 1. Современное состояние вопроса финишных абразивных технологий для обработки деталей из стандартных конструкционных материалов, применяемых для отрасли общего машиностроения в современном производстве .....	11
1.1 Обработка жесткозакрепленным абразивом .....	13
1.2 Обработка ориентированным абразивом .....	23
1.3 Обработка в среде свободного абразива .....	26
1.4 Сравнение абразивных методов обработки .....	39
1.5 Рекомендации по использованию сухой центробежно-ротационной обработки для обработки деталей тел вращения на примере типовых конструкционных материалов .....	42
ГЛАВА 2. Исследование технологических возможностей экспериментального оборудования для сухой центробежно-ротационной обработки .....	45
2.1. Материально-техническая база и методы экспериментальных работ... 45	45
2.2 Исследование влияния центробежной силы при вращении контейнера, заполненного свободной абразивной средой. ....	46
2.3 Пробная обработка алюминиевых цилиндров и выявление особенностей процесса .....	49
2.4 Обработка стальных цилиндров для формирования технологии обработки корпусов сверл .....	67
ГЛАВА 3. Финансовый менеджмент .....	78
3.1 Организация и планирование работ .....	79
3.2 Продолжительность этапов работ .....	80
3.3 Расчет сметы затрат на выполнение проекта.....	86
3.3.1 Расчет затрат на материалы .....	86
3.3.2 Расчет заработной платы .....	88
3.3.3 Расчет затрат на социальный налог .....	88
3.3.4 Расчет затрат на электроэнергию .....	89
3.3.5 Расчет амортизационных расходов .....	90

3.3.6 Расчет расходов, учитываемых непосредственно на основе .....	92
платежных (расчетных) документов (кроме суточных).....	92
3.3.7 Расчет прочих расходов .....	92
3.4 Расчет общей себестоимости разработки .....	93
3.5 Расчет прибыли .....	93
3.6 Расчет НДС .....	94
3.7 Цена разработки НИР .....	94
3.8 Оценка экономической эффективности проекта .....	94
ГЛАВА 4. Социальная ответственность .....	95
4.1 Повышенный уровень шума на рабочем месте .....	105
4.2 Недостаточная освещенность рабочей зоны .....	106
4.3 Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.....	107
4.4. Экологическая безопасность .....	109
Список литературы .....	115
Приложения.....	118

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит из 136 с., 57 рис., 14 табл., 31 источников, 3 прил.

Ключевые слова: финишная обработка, шлифование, полирование, режущая кромка, центробежно-ротационная обработка.

Объектом исследования является: процесс сухой финишной центробежно-ротационной обработки на примере цилиндров стандартных конструкционных металлов, таких как сталь 40Х и Д16Т.

Цель работы – доказать эффективность технологии центробежно-ротационной обработки в среде свободных абразивных частиц и разработать рекомендации по процессу обработки на примере типовых конструкционных материалов.

В процессе исследования решались следующие задачи: выявление влияния времени обработки на съем материала, выявление влияния окружной скорости на съем материала, выявление влияния глубины погружения на интенсивность съема материала.

В результате исследования было установлено, что при сухой центробежно-ротационной обработке изменение диаметра обрабатываемых цилиндров по длине зависит от глубины погружения в абразивную среду и частоты вращения приводов. Изменение шероховатости в сторону ее уменьшения наблюдается до отметки по времени обработки в 11 минут. Дальнейшее изменение шероховатости не происходит.

Область применения: общее машиностроение, авиационно-космическая промышленность, нефтегазовая промышленность, инструментальное производство.

Результаты исследования внедрены на предприятии ООО «ПК МИОН».

## Введение

Одной из основных проблем современного машиностроительного производства является повышение его эффективности, автоматизации и механизации трудоемких операций без существенных издержек. Примером таких операций является финишная обработка деталей, которая выполняется в основном вручную и представляет значительные трудности, так как требует увеличения штата сотрудников, производственных помещений, множество слесарных и вспомогательных инструментов и оборудования. В следствии мы имеем низкую производительность и большие сложности при организации финишных работ. Также для современных машиностроительных изделий предъявляют всё более жесткие требования к качеству поверхностного слоя и характеристикам, таким как надежность, усталостная прочность, износостойкость, высокие показатели которых можно успешно достичь с помощью применения высокоэффективной и качественной финишной обработки. Поэтому развитие автоматизированного оборудования для финишных и отделочных операций является одной из главных задач современного машиностроительного производства.

Анализ машиностроительных производств показал, что технология финишной обработки тел вращения для создания высокого качества поверхностного слоя, благоприятных остаточных напряжений и эстетического внешнего вида должна включать в себя: [1]

- 1) Использование в качестве заготовок круглый холодный или горячекатаный прокат исходной шероховатостью  $Rz < 300 \text{ мкм}$ ;
- 2) Полный цикл токарной, реже фрезерной обработки, а именно:
  - черновая токарная обработка – достижение шероховатости  $Ra 12 \text{ мкм}$ ;
  - получистовая токарная обработка – достижение шероховатости  $Ra 3,2 \text{ мкм}$ ;
  - чистовая токарная операция – достижение шероховатости  $Ra 1,25 \text{ мкм}$ .

Полный цикл токарной обработки может осуществляться как на станках с ЧПУ, так и на универсальных токарных станках типа 16К20.

3) Если того требует техническое задание или рабочий чертеж модели на отдельных шейках валов или отверстий втулок необходима шлифовальная операция или операция тонкого точения. Полный цикл шлифовальных операций подобен полному циклу токарных:

- черновое шлифование – достижение шероховатости  $Ra\ 0,8$  мкм;
- получистовое шлифование – достижение шероховатости  $Ra\ 0,63$  мкм;
- чистовое шлифование – достижение шероховатости  $Ra\ 0,32$  мкм.

Полный цикл шлифования может осуществляться как на станках с ЧПУ, так и на универсальных токарных станках типа 3М151.

4) В особых случаях к деталям предъявляют повышенные требования к эксплуатационным характеристикам, высоте неровностей или эстетической привлекательности, которые за собой ведут введение дополнительных механических финишных операций, либо применение гальванических покрытий. Финишные операции характеризуются высокой трудоемкостью и выполняются в основном вручную или механизированным методом. К таким операциям относится доводка, полирование, хонингование, притирка, суперфиниширование и различные методы поверхностного пластического деформирования. На таких операциях достигается высота неровностей до  $Ra\ 0.01$  мкм, благоприятные остаточные напряжения растяжения и высокая отражательная способность. Эффективность таких операций достигается применением дорогостоящего единичного, реже серийного узкоспециализированного оборудования под управлением высококвалифицированного персонала.

В рамках данной магистерской диссертации будут рассмотрены следующие задачи:

- выявить влияние времени обработки на съём материала;
- выявить влияние окружной скорости на съём материала;

- выявить влияние глубины погружения на интенсивность съема материала.

Данные задачи будут решаться экспериментальным методом и при помощи средств и инструментов математической статистики.

В результате проделанной работы предполагается разработать эффективную технологию центробежно-ротационной обработки, дать рекомендации по особенностям обработки. Данная технология позволит уйти от трудоемких ручных финишных операций для тел вращения в сторону их частичной или даже полной автоматизации, что значительно увеличит их производительность и снизит себестоимость выпускаемой продукции на машиностроительном предприятии.

## **ГЛАВА 1. Современное состояние вопроса финишных абразивных технологий для обработки деталей из стандартных конструкционных материалов, применяемых для отрасли общего машиностроения в современном производстве**

Финишные операции принято разделять на обработку с применением абразива (круг, бумага, лента, бруски, в среде свободного абразива и т.п) и методами поверхностного пластического деформирования ППД. Применение той или иной финишной операции определяется из требований, предъявляемых к изделию, его форме и габаритам.

В рамках данной работы будут рассмотрены абразивные методы обработки на примере стандартных конструкционных материалов, а именно: Д16Т и сталь 40Х. Также будут проанализированы эффективность этих методов, достигаемое качество поверхностного слоя и другие технологические характеристики.

Обработку материалов с применением абразивного зерна можно в общем классифицировать на 3 основных направления: обработку жесткозакрепленным абразивом, обработку ориентированным абразивом и в среде свободного абразива (Рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Схема абразивных финишных технологий

## 1.1 Обработка жесткозакрепленным абразивом.

### Круглое и плоское шлифование

Шлифование – механический процесс обработки тел вращения и плоских изделий за счет вращения абразивных инструментов (кругов), состоящих из абразивного материала и материала связки [2]. Абразивные частицы в круге располагаются хаотично. Вовремя вращательного движения в зоне обработки абразивные зерна срезают тонкий слой материала в виде огромного числа мелких стружек (достигает 10000000 в минуту). Микрорезание каждым зерном происходит мгновенно. Поверхность после обработки состоит из микроследов абразивных частиц, что предопределяет на поверхности детали низкую высоту неровностей. Шлифование в основном применяют как финишную обработку значительной массы машиностроительных изделий, к которым предъявляются жесткие требования к точности размеров, формы, расположения поверхностей и шероховатости поверхности.

Плоское шлифование происходит следующим образом: на магнитный стол устанавливается ферромагнитная деталь, далее запускается вращение абразивного круга  $V_{кр}$ . Деталь при помощи подвижного суппорта перемещается в трех взаимно перпендикулярных направлениях подачи  $S_{пр}$ ,  $S_{п}$ . Глубина резания  $t$  регулируется вертикальным перемещением стола (Рисунок 1.2, а). При круглом шлифовании (рисунок, б) продольная подача происходит возвратно-поступательным перемещением детали. Подача  $S_{пр}$  синхронизирована с осевым перемещением заготовки за один её полный оборот. Вращение заготовки задается отдельным приводом станка скорости в два порядка ниже чем скорость вращения абразивного круга. Подача  $S_{п}$  на глубину резания происходит при крайних положениях детали.

Подача и направление скорости круга и заготовки при внутреннем круглом шлифовании показаны на Рисунке 1.2, в.

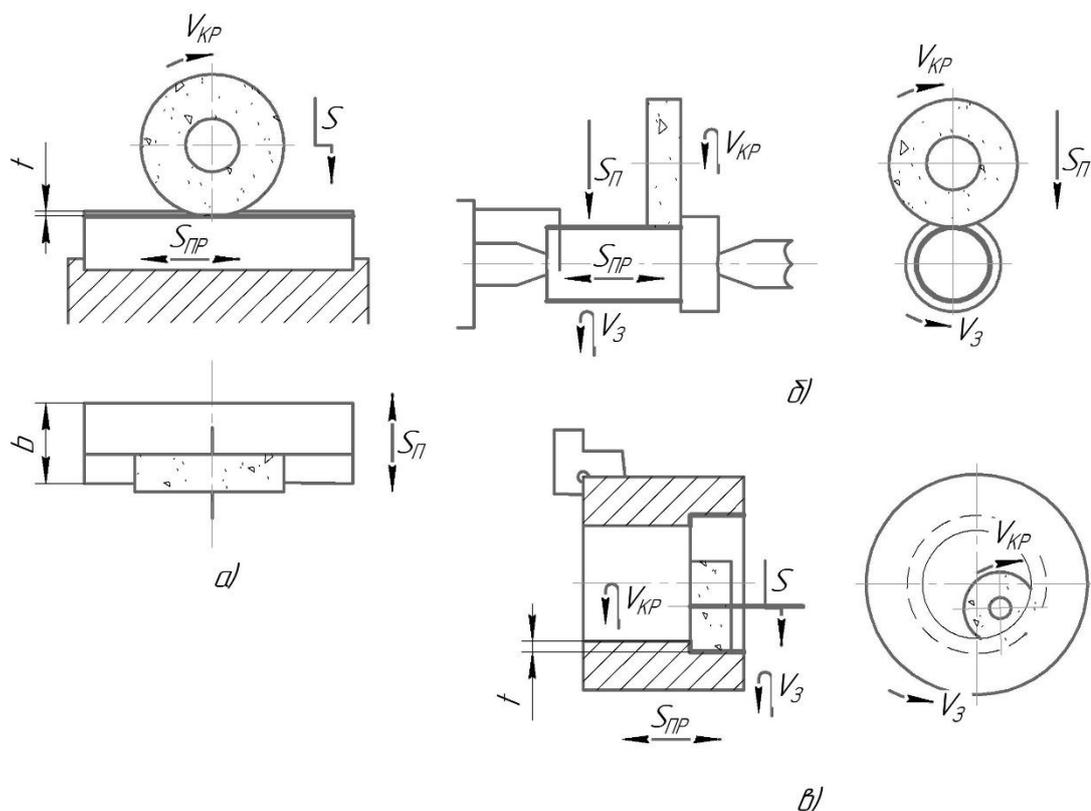


Рисунок 1.2 – Схема обработки шлифованием: а) плоское шлифование; б) круглое шлифование; в) внутреннее круглое шлифование.

### Бесцентровое круглое шлифование

Бесцентровое шлифование применяют, в основном, для обработки деталей, не имеющих центровых отверстий и большой длины.

В зависимости от режимов резания и характеристики круга точность обработки на бесцентрово-шлифовальных станках может достигать 7 качества, а шероховатость поверхности  $Ra = 1,25 \dots 0,16$  мкм [1].

При бесцентровом шлифовании обрабатываемая деталь (2) (рис. 1.19) находится в контакте с опорным ножом (3), обрабатывающим (1) и направляющим (4) кругами. Круги вращаются в разных направлениях навстречу друг к другу с разными окружными скоростями. Скорость направляющей круга около 25...30 м/мин, а обрабатывающего – 30...35 м/с, то есть в 60...100 раз больше, чем направляющего.

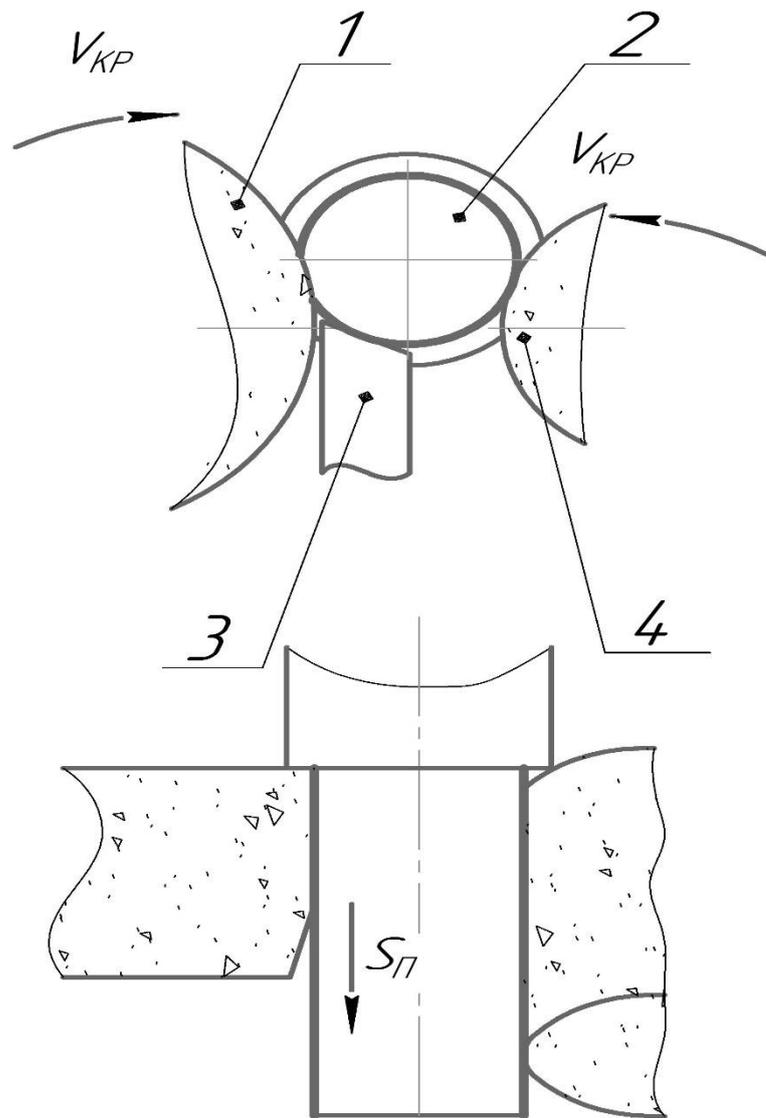


Рисунок 1.3 – Схема бесцентрового наружного шлифования

Шлифуемый вал, который находится между кругами, лежит на плоскости ножа и вращается со скоростью равной скорости направляющего круга благодаря силе трения между заготовкой и кругом. Из-за большой разницы в скоростях вращения кругов трение между деталью и направляющим кругом больше, чем между деталью и обрабатывающим кругом. Для обеспечения такого эффекта направляющий круг на бесцентрово-шлифовальных станках выбирается на вулканитовой связке и коэффициент трения между ним и деталью выше, чем между обрабатывающим и деталью. При обработке стальных деталей может достигать 0,6...0,8 [3].

Вследствие такого эффекта разности скоростей вращения обрабатываемого круга и детали и осуществляется процесс обработки шлифованием.

### **Ленточное шлифование**

В качестве инструмента используется шлифовальная лента, состоящая из тканевого основания, шлифующих зёрен, нанесённых на одну сторону тканевого основания и закреплённых клеем-связкой (мездровый, синтетический). Выпускаются также бесшовные ленты на гибком металлическом основании. Здесь зёрна закрепляются путём осаждения никеля в электролитической ванне при непрерывном и равномерном движении ленты.

Шлифование абразивной лентой является одним из прогрессивных способов абразивной обработки. Такой гибкий абразивный инструмент находит широкое применение для шлифования фасонных деталей, внутренних и наружных поверхностей различных деталей машиностроения, крупногабаритных листов проката, длинномерных труб, обдирочного шлифования и удаления дефектного слоя толщиной до 15 мм.

Абразивные, эльборовые и алмазные шлифовальные ленты применяют для формообразования машиностроительных изделий при плоском, круглом (наружном, внутреннем, бесцентровом) и профильном шлифовании, для снятия заусенцев, полирования, подготовки деталей под гальваническое покрытие и обработки покрытий с целью снижения шероховатости, заточки и доводки сложнопрофильного режущего инструмента.

Этот вид обработки при условии, что режимы подобраны корректно и оптимально, обеспечивает высокоточные фасонные поверхности деталей с высотой неровностей по параметру Ra 0,08...0,16 мкм [1]. Поэтому обработка шлифовальными лентами имеет достаточно широкое применение в качестве способа шлифования и полирования для окончательной обработки деталей в шарикоподшипниковой, авиационно-космической, автомобильной и нефтегазовой отраслей промышленности.

Такой широкий диапазон финишных операций ленточного шлифования (Рисунок 1.4) предопределило расширенные, по сравнению жестким плоским или круглым шлифованием, возможности гибкого управления процессом резания путём изменения натяжения абразивной ленты и жёсткости прижимного ролика, возможность глубокой модернизации и автоматизации процесса, конструктивные, функциональные и эксплуатационные особенности.

К недостаткам данного метода можно отнести низкую производительность процесса шлифования по сравнению с бесцентровым шлифованием и относительно низкую стойкость шлифовальной ленты, что приводит к частой замене этого инструмента на станке.

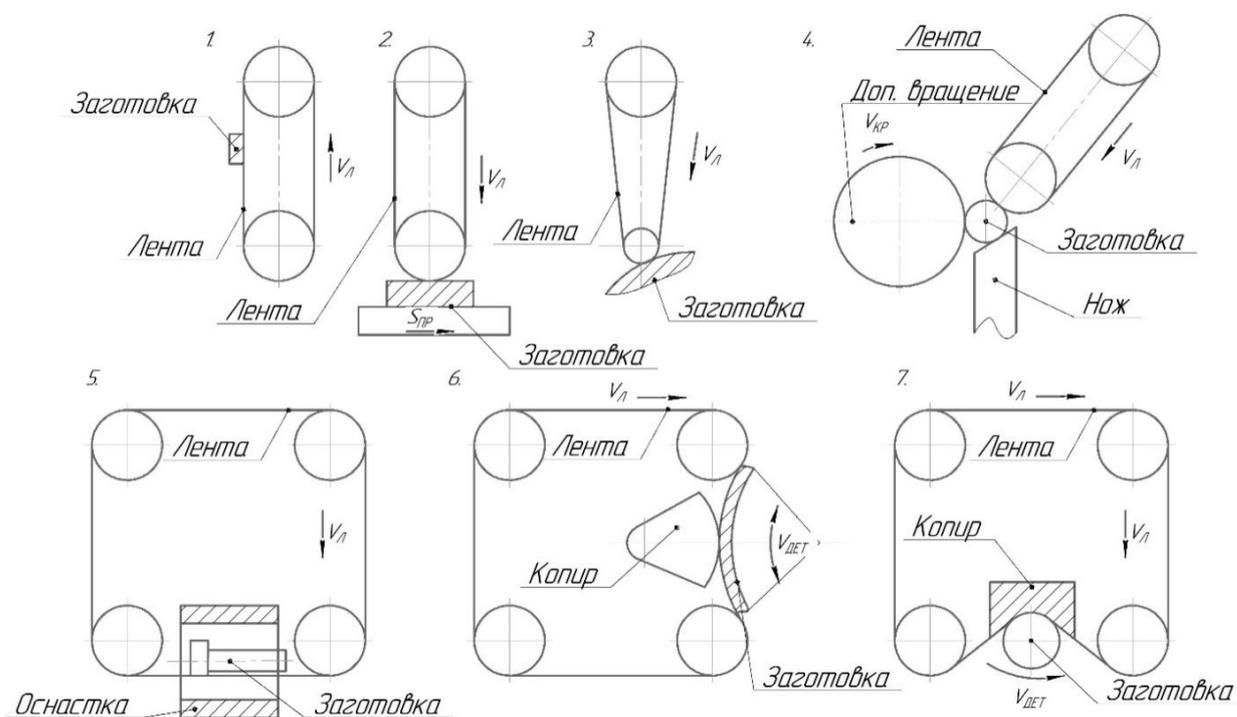


Рисунок 1.4 – Схема ленточного шлифования.

## Притирка и доводка

Притирка – слесарная операция по удалению с поверхности обрабатываемой детали тончайшего слоя материала (до 0,005 мм) для получения высокого качества ее поверхности (плоскостности, прямолинейности, малой шероховатости, остаточных напряжений) и для

обеспечения статичного герметичного или разъемного (подвижного) соединения. Режущим инструментом для притирки является особая абразивная жидкая смесь, острые ребра мельчайших абразивных зерен которой осуществляют процесс микрорезания (Рисунок 1.3)

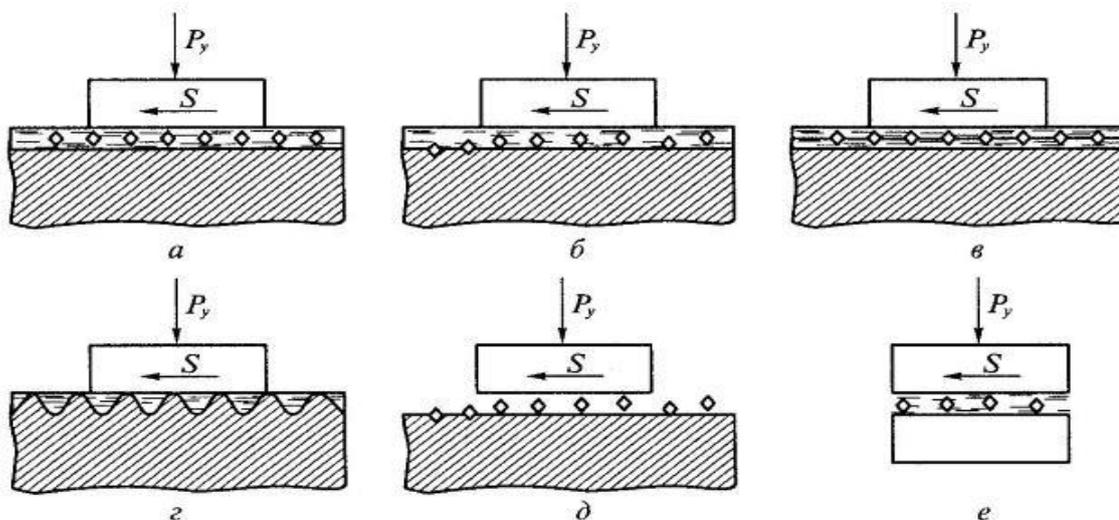


Рисунок 1.3 – Схема притирки-доводки плоской поверхности детали.

Часто применяемые виды притирки поверхностей деталей: плоские (широкие и узкие), цилиндрические, конические, а также криволинейные поверхности различной конфигурации. Также существует особый вид притирки – притирка затворов кранов с коническими пробками и гидроклапанов в целях достижения их герметичности, когда абразивным материалом обрабатываются обе поверхности – затвора крана, клапана и их гнезд (седел) для посадки.

Исходная шероховатость под притирку поверхности не должны превышать  $Ra\ 0,63$ . Припуск на операцию притирки следует оставлять не более  $0,05$  мм. Притирку назначают как для термически обработанных, так и термически необработанных заготовок. Притиркой достигается точность геометрических размеров до  $0,005$  мм и шероховатость поверхности  $Ra\ 0,008$ .

Доводка – это чистовая отделочная слесарная операция, позволяющая с помощью притирки обрабатывать детали до высокой точности линейных и диаметральных размеров (по 5... 6 квалитетам) и геометрической формы, а

также с очень низкой высотой микронеровностей. С помощью доводки обрабатываются режущие, измерительные и калибрующие инструменты, матрицы и пуансоны вырубных штампов и другие детали, к которым предъявляются высокие требования по параметрам точности размеров допускам формы и расположения поверхностей, а также шероховатости поверхности. [5]

Подготовка поверхностей под доводку производится аналогичными методами и требованиями, как и подготовка поверхностей под операцию притирки. Параметры, достигаемые при доводке, а именно точность размеров и шероховатость поверхности также не отличаются от параметров, достижимых при притирке.

### **Хонингование**

Этот метод отделочной абразивной обработки, в котором используется для обработки отверстий от 8 до 500 мм и длиной от 10 до 25000 мм. Метод находит применение для обработки отверстий цилиндров гидравлических и пневматических агрегатов, двигателей внутреннего сгорания, а также компрессоров. Сущность процесса хонингования заключается в комбинированном поступательном и вращательном движении хона относительно оси цилиндра, при котором происходит снятие припуска от 0,1 до 0,3 мм. Скорость вращения при этом составляет 30...60 м/мин, а скорость поступательного движения 5...40 м/мин. Обработка хонингованием осуществляется с обильной подачей СОЖ. Для лучшего вымывания стружки из зоны резания добавляют керосин. Обычно хон закрепляется на шарнире. Особенностью процесса является низкая скорость резания по сравнению со шлифованием, большая площадь контакта, низкое давление на поверхности контакта, низкая температура резания (не более 100 С). Технологические параметры: шероховатость поверхности по параметру  $Ra=0,08...0,16$  мкм, точность размерной обработки по IT6- IT7.

Из-за низкой скорости и температуры образуются благоприятные напряжения сжатия. Наклеп поверхностного слоя около 40%. Глубина наклепанного слоя составляет 20...30 мкм. Процесс хонингования исправляет отклонение от круглости и прямолинейности отверстий. Также стоит отметить, что из-за особенности сложного движения инструмента после обработки на поверхности отверстий цилиндров остается сетчатая микроструктура, так называемые мазеудерживающие карманы, которые положительно сказываются на долговечности эксплуатации изделий [6].

Главным недостатком данного метода обработки является малая производительность, для повышения которой применяют комбинирование процесса хонингования с электрохимическим полированием (Рисунок 1.6).

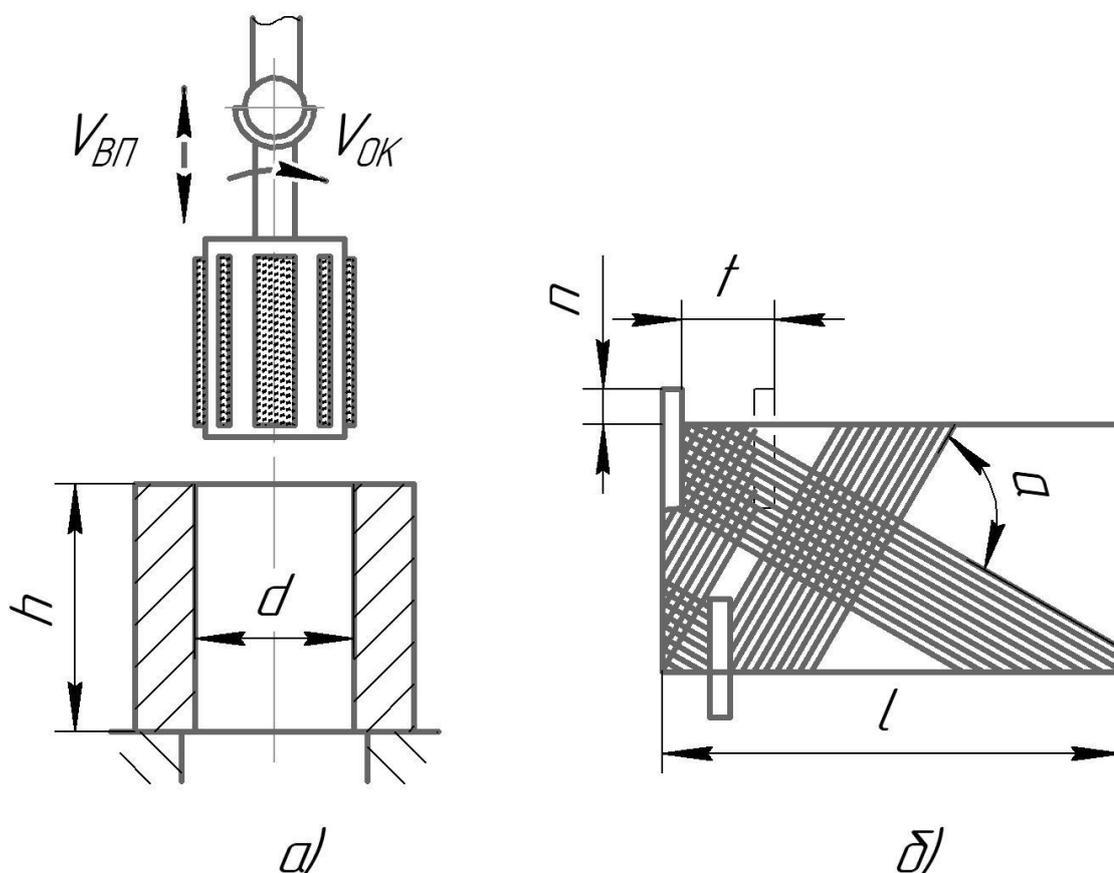


Рисунок 1.6 – Схема хонингования: а) – схема процесса; б) – формирование микрорельефа.

Где  $h$  – высота обрабатываемой детали;

$d$  – диаметр обрабатываемого отверстия;

$V_{ок}$  – окружная скорость (скорость главного движения, скорость резания), м/мин;

$V_{вп}$  – скорость возвратно-поступательного движения, м/мин;

$p$  – величина перебега (около  $1/3$  высоты хонинговальной головки), мм;

$t$  – величина перекрытия следов бруска;

$\alpha$  – угол перекрытия сетки.

## Суперфиниширование

Метод абразивной обработки, который применяется для окончательной обработки наружных и внутренних поверхностей плоских тел и тел вращения (чаще всего для тел вращения). Технологические параметры: уменьшение шероховатости после шлифования или тонкого точения до  $Ra\ 0,02...0,08$  мкм, уменьшение волнистости до  $Wz\ 0,1...0,3$  мкм, незначительное исправление отклонения формы и повышение точности размеров до IT5- IT6. После процесса суперфиниширования образуются остаточные напряжения сжатия [7]. Сущность метода заключается в обработке брусками из электрокорунда, алмаза и эльбора по жесткой и нежесткой схеме обработки. (Рисунок 1.7). Снимаемый припуск при этом составляет  $10...30$  мкм. Метод применяется для в основном для обработки дорожек колец подшипников.

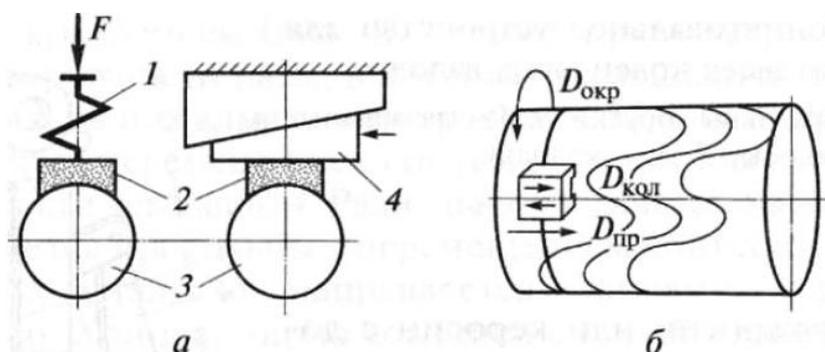


Рисунок 1.7 – Схема суперфиниширования (а) и основные движения (б):  
1 – пружина; 2 – брусок; 3 – деталь; 4 – промежуточный жесткий элемент.

## Полирование

Полирование – это финишная операция механической, химической, электро-ионной обработки деталей, предназначенная для уменьшения шероховатости поверхности ( $Ra\ 0,16\dots 0,02\ \mu\text{m}$ ) и для создания высокой отражательной способности. Различают полирование кругами; полирование лентами; абразивно-жидкостную обработку; виброабразивную обработку; магнитно-абразивную обработку, химическое (гальваническое) и электро-ионное полирование.

Полирование мягкими абразивными кругами применяют при обработке деталей, к которым предъявляются особые требования по шероховатости, декоративной окончательной отделке деталей или при подготовке поверхности под гальваническое покрытие. Такую обработку выполняют на относительно не сложном по конструкции оборудовании, универсальных станках или с помощью ручных полировальных машин. Инструментом служат лепестковые, эластичные, войлочные, тканевые, бумажные, фетровые, хлопчатобумажные, гибкие полировальные и другие круги.

Полирование лентами отличается постоянством скорости резания, возможностью обработки больших и фасонных поверхностей, отсутствием необходимости в балансировке и правке инструмента, безопасностью работы. Абразивные зерна могут работать в условиях жесткого закрепления (абразивная лента) или режиме податливости (лента с нанесенной на нее абразивной пастой) [8].

Недостатком ленточного полирования является снижение производительности обработки из-за растягивания ленты под воздействием нагрузок. Поэтому, кроме высокой прочности на разрыв, лента характеризуется относительным удлинением и эластичностью. Высокоэластичные ленты (на мездровой основе) применяют для обработки труднодоступных мест и узких пазов.

Процесс полирования лентами аналогичен процессу ленточному шлифованию, поэтому различные схемы процесса ленточного шлифования также применимы к полированию (Рисунок 1.4).

## **1.2 Обработка ориентированным абразивом**

### **Магнитно-абразивное полирование**

Сущность метода магнитно-абразивного полирования (МАП) [9], при обработке по схеме с механическим приводом, заключается в том, что обрабатываемой поверхности детали или порошку с магнитными и абразивными свойствами, помещенным в магнитное поле, сообщают принудительное движение относительно друг друга. Съем металла осуществляется в результате силового воздействия порошка на поверхность детали и указанных относительных движений. Принципиальная схема МАП представлена на Рисунке 1.8.

Особенность способа – это применение пульсирующего магнитного поля, радиально относительно оси расположение полюсов и осцилляция детали вдоль оси. Обрабатываемая деталь помещается между полюсными наконечниками электромагнита с некоторыми зазорами, в которые подается порошок, обладающий магнитными и абразивными свойствами. Механическим приводом сообщается детали вращательное и осциллирующее вдоль оси движение. Силами магнитного поля зерна порошка удерживаются в рабочих зазорах, прижимаются к поверхности детали и производят ее обработку. В рабочие зазоры подается ТЖ (эмульсия, керосин и т.п.).

Вращение магнитной системы относительно детали, совершающей только осциллирующее движение, не изменяет характера действующих на порошок магнитостатических сил, поэтому применяется не постоянное, а вращающееся поле.

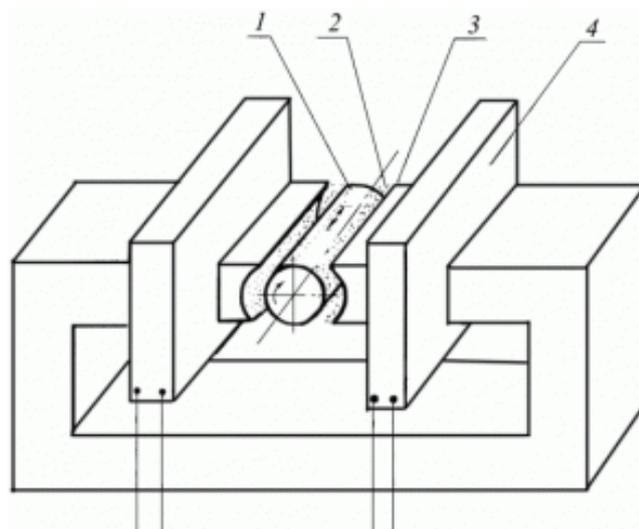


Рисунок 1.8. Схема магнитно-абразивного полирования наружных поверхностей тел вращения: 1 – обрабатываемая деталь; 2 – магнитно-абразивный порошок; 3 – полюсные наконечники электромагнита; 4 – электромагнит.

На результаты процесса обработки оказывают влияние следующие технологические факторы: величина магнитной индукции, материалы магнитно-абразивного порошка и обрабатываемой детали, величина рабочего зазора, скорость относительного движения порошка и детали, наличие вспомогательного рабочего движения (движения осцилляции), состояние исходной поверхности (физико-механические свойства и микрогеометрические характеристики), наличие и вид ТЖ, величина зерен порошка. Метод также относится к типу «безразмерных».

Достоинства МАП – возможность обработки деталей малых и средних размеров и исправления погрешности геометрической формы детали.

Недостатки МАП – поштучная обработка деталей, преимущественно тел вращения, необходимость закрепления и вращения детали.

### **Потоковая абразивная обработка**

Абразивная потоковое шлифование, также известная как абразивная потоковая обработка (AFM) или extrudehoning [10], является технологией

точной обработки, используемой в различных отраслях промышленности. Некоторые приложения этого процесса включают в себя:

- Удаление заусенцев;
- Скругление острых кромок;
- Улучшение качества поверхностного слоя (полировка);
- Зачистка окалины после термических и химико-термических операций;
- Полировка фасонных поверхностей до зеркального блеска;
- Создание, улучшение пути потока газа, жидкости внутри клапанов и фитингов.

Механическая обработка абразивным потоком осуществляется при помощи возвратно-поступательного движения потока под давлением толкающего поршня, вязкоупругий компаунд с абразивной средой перемещается через удерживающее приспособление и по поверхности детали, тем самым совершая микрорезание. В стандартном двухстороннем поточном процессе два вертикально-противоположных цилиндра выдавливают абразивную среду вверх и вниз через проходы, образованные заготовкой и инструментом. В односторонней системе абразивная среда течет только в одном направлении, что позволяет среде выходить из детали для быстрой обработки, легкой очистки или простой быстрой замены инструмента.

Процесс включает в себя три основных элемента: приспособление, станок и абразив Рисунок (1.9).

Зажимное устройство предназначено для увеличения скорости абразивного потока в зоне обработки. Увеличение скорости интенсифицирует съем материала в определенных частях заготовки. Зажим может быть изготовлен из недорогого конструкционного пластика – нейлона, который обеспечивает более адекватное соотношение прочности и веса, и могут иметь различные формы в зависимости от технического задания для конкретной детали. Высокопроизводительные зажимы изготавливаются из стали или алюминия и используют вставки с полиуретановым покрытием для защиты

заготовки от абразивных царапин или канавок. В зависимости от размера детали и размера машины зажимное устройство может вместить от 1 до 50 и более.

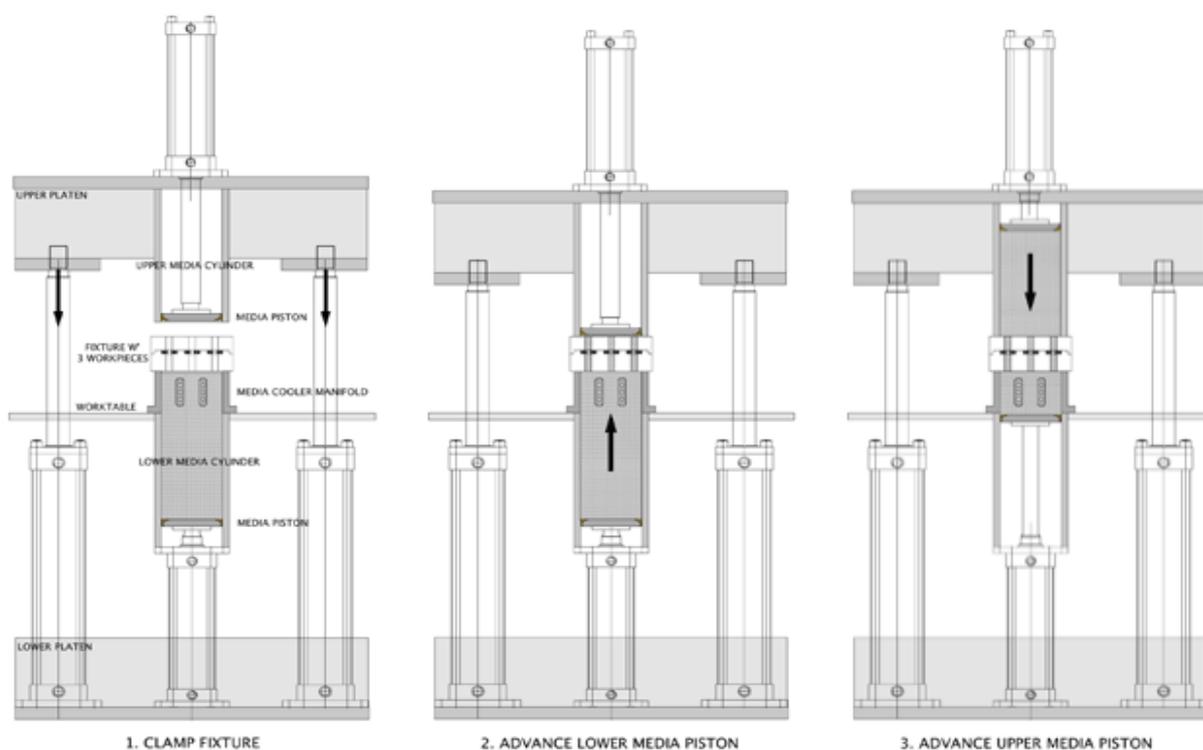


Рисунок 1.9 – Схема потоковой абразивной обработки.

Неоспоримым преимуществом данного вида обработки – это обработка труднодоступных участков дорогих изделий в машиностроении и других отраслях.

Недостатками метода являются дороговизна данного станка и расходных материалов, так как в основном это единичное и индивидуальное оборудование, а также ограничения по габаритам обрабатываемых деталей.

### 1.3 Обработка в среде свободного абразива.

#### Обработка во вращающихся барабанах.

Галтовка – способ обработки деталей в среде свободных абразивных частиц, помещенного в камеру, приведенную в движение вращения электроприводом. Методы обработки очень разнообразны, но общими чертами процесса являются вращение барабана вокруг своей оси вертикально или под наклоном к вертикальной оси, в котором вращается обрабатываемое

абразивное зерно и детали, создавая при этом тороидально-винтовой поток (Рисунок 1.10) [10].

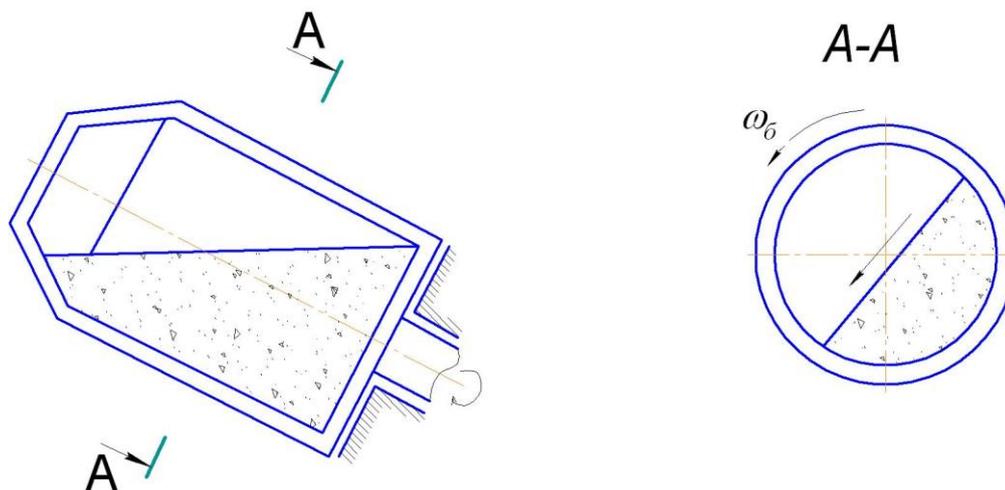


Рисунок 1.10 – Схема галтовки «в навал»

Основными технологическими параметрами является скорость вращения барабана, его размеры, характеристика и размеры обрабатываемой среды, состав СОЖ и абразивный материал. Главными достоинствами обработки являются:

- простота оборудования;
- совместная обработка большого количества деталей;
- доступность и массовость абразивных материалов;
- автоматическое протекание процесса обработки.

Несмотря на очевидные плюсы обработки галтовочным методом, ей присущи следующие недостатки:

- низкая производительность из-за небольших скоростей вращения барабана;
- сильный шум и вибрации;
- большие потери времени на обслуживание оборудования, разделения рабочей среды от деталей после завершения операции;
- невозможность обработки нежестких и хрупких деталей;
- невозможность одновременной обработки деталей разных форм и габаритов;

- неравномерность съема материала с различных участков поверхности деталей сложной формы.

### **Виброабразивная обработка.**

Метод предназначен для обработки деталей различных габаритов и формы. В большинстве случаев его применяют для очистки литых заготовок, удаления облоя, очистки от окалины, скругления острых кромок, подготовки поверхности для дальнейших химико-термических операций, создания упрочняющего слоя на поверхности, перенаправление и изменения остаточных напряжений, зачистка поверхностей деталей после их эксплуатации для дальнейших ремонтных и обслуживающих операций [11].

Сущность обработки заключается в большой концентрации микроударов по поверхности детали абразивными частицами в единицу времени под действием направленного вибрационного усилия, сообщаемого рабочей камере. После соударения твердое абразивное срезает своей режущей кромкой микростружку и уносит материал из зоны резания. Схема обработки приведена на Рисунке 1.11.

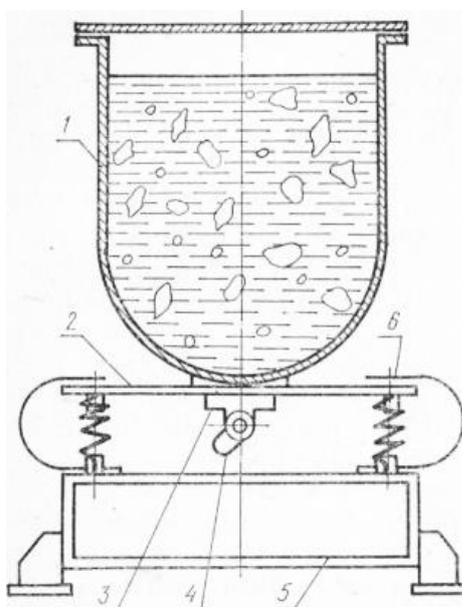


Рисунок 1.11 – Схема обработки виброгалтовкой

1-Галтовочный барабан; 2-виброплатформа; 3-вибромотор; 4-эксцентрик;

5-станина; 6-подпружиненные вибропластины.

Преимуществами данного метода обработки является:

- возможность обработки деталей практически любых размеров и форм;
- равномерный съем материала и высокое качество поверхности после обработки;
- комбинирование абразивов с химическими реагентами обеспечивает наилучшее механизированное полирование поверхности в самых труднодоступных местах изделия по сравнению с другими методами обработки.

Недостатки метода:

- низкая производительность по сравнению с другими методами обработки в среде свободных абразивов;
- относительная дороговизна оборудования и расходных материалов.

### **Ультразвуковая абразивная обработка (УЗО)**

УЗО основана на разрушении обрабатываемого материала абразивными зернами под ударами инструмента, колеблющегося с ультразвуковой частотой.

Ультразвуковая обработка (УЗО) является частным случаем механического вибрационного воздействия, которое может быть низкочастотным и высокочастотным. Частота колебаний инструмента при УЗО превышает звуковой диапазон и составляет 16 –30 кГц.

Механическое вибрационное воздействие инструмента на заготовку, как правило, сочетается с равномерным механическим воздействием (давлением) того же инструмента. При ультразвуковой абразивной обработке в зону обработки подается абразивная среда (суспензия).

В основе получения ультразвуковых колебаний лежит явление магнитострикции – изменения линейных размеров ряда материалов в магнитном поле. Эффектом магнитострикции обладают никель,

железоникелевые сплавы (пермендюр), железоалюминиевые сплавы (альфер), ферриты.

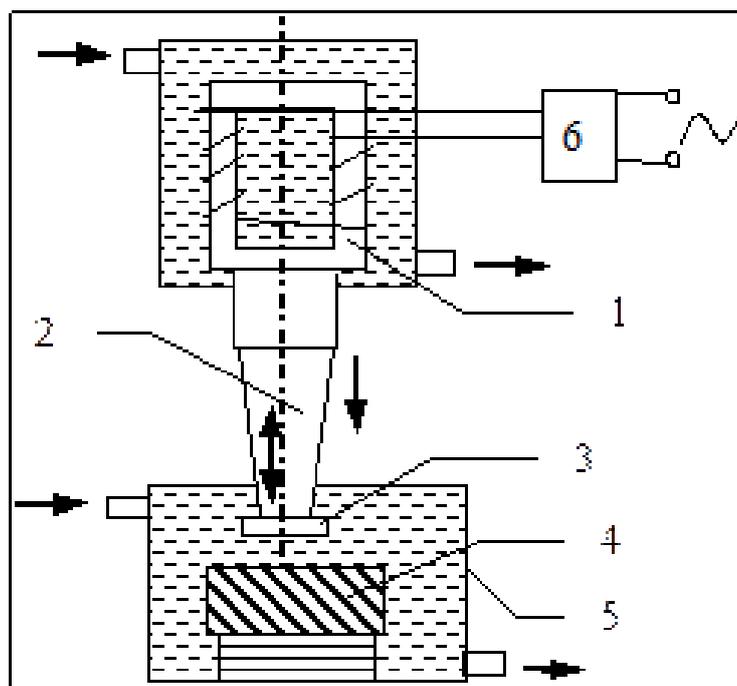


Рисунок 1.12 – Принципиальная схема ультразвуковой обработки

Магнитострикционный сердечник 1 (Рисунок 1.12) периодически изменяет свою длину (на 2...10 мкм) при наличии переменного электромагнитного поля, которое наводится при помощи генератора 6. Резонансный волновод 2 припаивают к торцу сердечника для увеличения амплитуды колебаний (до 10-60 мкм) и концентрации энергии. Через сердечник 1 прокачивают воду для охлаждения (нагрев на гистерезис, вихревые токи). Под пуансоном 3 помещают заготовку 4. Обработка ведется в ванне 5, заполненной абразивной суспензией (взвесь абразивных зерен в воде).

Припуск с поверхности заготовки снимают абразивные зерна, получающие энергию от удара пуансоном (Рисунок 1.13).

Инструмент, колеблющийся с ультразвуковой частотой, ударяет по зернам абразива, лежащим на обрабатываемой поверхности заготовки, которые скалывают частицы материала заготовки.

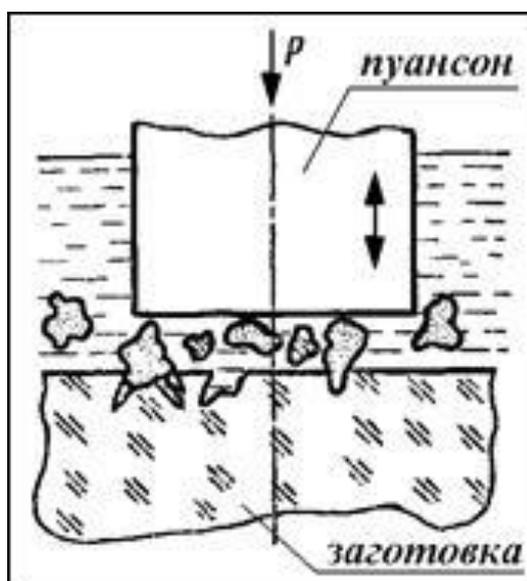


Рисунок 1.13 – Разрушение материала пуансона под воздействием УЗО.

В жидкости происходят кавитационные процессы (образование пузырьков при разрежении, их ликвидация и удар при сжатии), которые способствуют перемешиванию абразивных зерен под инструментом и более интенсивному разрушению материала заготовки. Инструмент поджимают к заготовке с небольшим усилием  $P$  (до 60 Н) [12].

Ультразвуковым методом обрабатывают хрупкие твердые материалы: стекло, керамику, ферриты, кремний, кварц, драгоценные минералы, в том числе алмазы, твердые сплавы, титановые сплавы, вольфрам. Вязкие материалы (незакаленная сталь, латунь) плохо обрабатываются УЗО, так как в этом случае не происходит сколов.

Ультразвуковым методом получают сквозные и глухие отверстия любой формы поперечного сечения, фасонные полости, разрезают заготовки на части, профилируют наружные поверхности, гравировуют, прошивают отверстия с криволинейными осями, нарезают резьбы.

### **Турбоабразивная обработка**

Турбоабразивная обработка является заключительным процессом производства изделий и применяется для интенсификации слесарных операций, таких как зачистка заусенцев, скругления острых кромок, снятие

окалины, отделка поверхности для дальнейших гальванических операций [13]. Принцип работы основан на технике псевдооживления сыпучего материала, создавая тем самым кипящий слой, в который опускают приведенную в движение деталь. Траектория движения детали зависит от требований к обработке, и при возможности может быть как простым вращательным так и планетарным. Интенсивность съема при таком комбинированном движении может достигать 1,5-2 мкм/мин и более, что значительно превышает показатели, например, виброабразивной обработки. Обработка может производиться параллельно вертикальной оси камеры и перпендикулярно. При турбоабразивной обработке рекомендуется использовать зерно абразивных материалов, обладающих повышенной прочностью и ударной вязкостью, например, легированные электрокорунды: хромотитанистый и циркониевый электрокорунд.

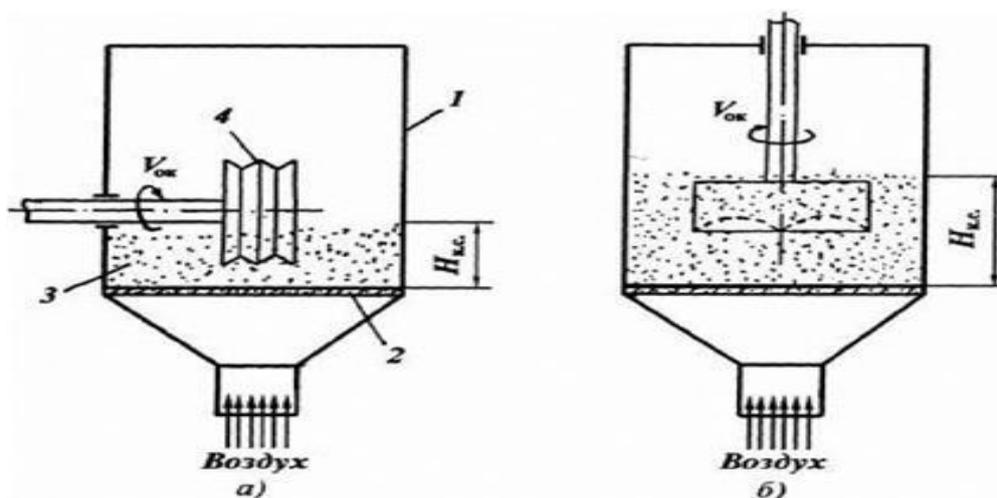


Рисунок 1.14. – Схема турбоабразивной обработки.

1 – рабочая камера; 2 – воздухораспределительная решетка; 3 – абразивный материал; 4 – обрабатываемая деталь.

Главным достоинством данного метода является возможность обработки нежестких и мягких материалов. Но интенсивность обработки мала, вследствие небольших контактных давлений. Также ограничена скорость движения детали относительно обрабатывающей среды, так как при

увеличении скорости свыше 20 м/с происходит образование у поверхности детали воздушной подушки, препятствующей контакту абразивных зерен с деталью. Поэтому данный метод обработки применяется только в исключительных случаях, когда деталям предъявляются высокие требования по качеству поверхностного слоя. Схема обработки приведена на Рисунке 1.14.

### **Финишная обработка уплотненным абразивом**

Повышение контактного давления шлифовального материала на обрабатываемые поверхности можно достигнуть путем трансформации свободных абразивных частиц, находящихся в суспензии, в плотный слой, копирующий форму профиля деталей, под действием инерционных сил, возникающих при вращении барабана. При относительном перемещении поверхностей деталей и уплотненного реологического инструмента обеспечиваются условия для обработки деталей [14].

Принципиальная схема устройства, реализующая подобный способ обработки наружных поверхностей вращения, приведена на рисунке 17.8. Полый барабан 1 установлен с возможностью принудительного вращения вокруг собственной оси со скоростью  $\omega_B$ . Обрабатываемая деталь 2 закрепляется на оправке и устанавливается в шпиндель 3 и получает вращение со скоростью  $\omega$  вокруг собственной оси от автономного приводного двигателя, вместе с которым она может перемещаться в поперечном и продольном направлениях. За счет продольного перемещения обрабатываемая деталь вводится в барабан, а при поперечном перемещении производится частичное погружение детали в абразивный слой. При помощи эжектора 4 абразивная суспензия, состоящая из шлифовальных зерен и водной эмульсии, подается из бака 5 во вращающийся барабан 1. Под действием инерционных сил твердая фракция суспензии трансформируется в плотное кольцо 6, покрывающее внутреннюю поверхность барабана. Реологические свойства уплотненного

абразивного слоя позволяют копировать сложную форму профиля обрабатываемой поверхности детали.

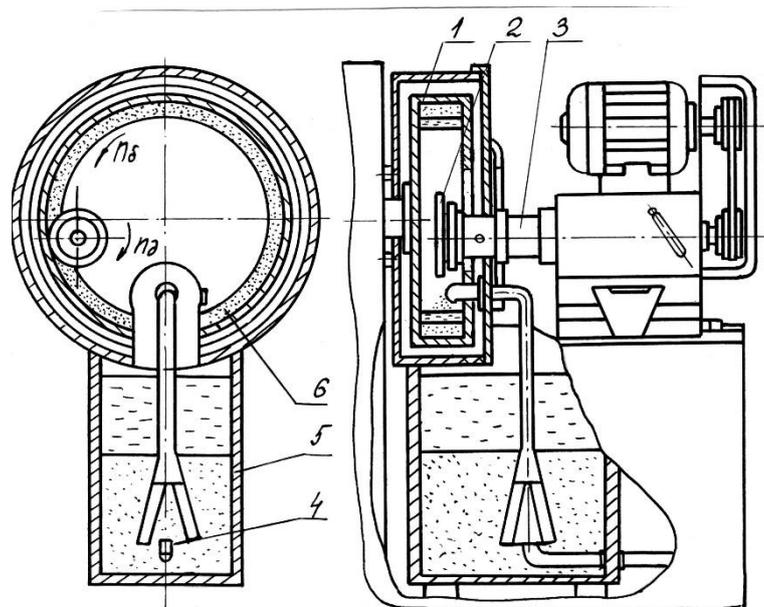


Рисунок 1.15 – Схема обработки уплотненным абразивом наружных поверхностей колец

Однако глубина фасонного профиля детали не должна превышать 2...5 мм. При обработке деталей с глубоким профилем наблюдается искажение формы вследствие неравномерного съема металла с обрабатываемой поверхности, так как уплотненное абразивное кольцо, непрерывно набега на поверхность обрабатываемой детали, создает высокое контактное давление. При этом наиболее интенсивно будут обрабатываться выступающие участки профиля.

Вращение обрабатываемой детали выполняет роль круговой подачи и обеспечивает контактирование всех участков обрабатываемой поверхности с уплотненным слоем абразива.

Для устранения этих недостатков разработан новый способ обработки, в котором деталям, закрепленным на оправках, сообщают планетарное вращение относительно плотного абразивного кольца.

При планетарном вращении оправок с деталями можно регулировать ударное воздействие уплотненного слоя на обрабатываемую поверхность и предотвращать искажение фасонного профиля деталей. Для обновления

режущих зерен в зоне контакта поверхностей деталей с абразивным слоем барабану с абразивом сообщают вращение со скоростью, отличной от скорости переносного вращения оправок с деталями. Это позволяет обеспечить стабильную производительность в течение всего цикла обработки. Разность угловых скоростей в 1..2 рад/с позволяет избежать ударного воздействия уплотненного абразивного слоя на обрабатываемую поверхность. Обработку осуществляют при непрерывной циркуляции через барабан технологической жидкости [15].

Режимы обработки определяют в зависимости от габаритных размеров барабана и требований к поверхностям деталей, преимущественно экспериментальным путем.

Частота вращения барабана при центробежно-шпиндельной обработке составляет 25...400 мин<sup>-1</sup>, а частота вращения детали 6...25 мин<sup>-1</sup>. Продолжительность обработки – 0,25 ... 5 минут. При использовании второго перехода со сменой зернистости шлифовального материала возможно снижение шероховатости с Ra3,2...1,6 мкм до Ra0,2...0,1 мкм.

Центробежно-шпиндельная обработка позволяет обрабатывать детали высокого качества, когда не допускается загрузка навалом. Кроме удаления заусенцев и скругления острых кромок достигается значительное снижение шероховатости поверхности.

Этот метод наиболее перспективен для полирования термообработанных деталей. При обработке нежестких деталей с глубиной профиля свыше 20 мм возможно искажение профиля и появление непрошлифованных участков при несовпадении осей вращения шпинделя и детали вследствие радиального биения оправок. Особенно это проявляется при финишной обработке деталей, полученных листовой штамповкой, когда сложно обеспечить точное центрирование заготовок на оправках. При смещении оси вращения обрабатываемой детали наблюдается неравномерный съем металла с различных участков поверхности.

Для обработки фасонных поверхностей деталей с глубоким профилем цилиндрическую часть барабана 1 (Рисунок 1.16) выполняют в виде пакета колец 2, свободно посаженных на осях 3 и поджимаемых роликом 4, имеющем профиль обратный профилю обрабатываемой детали 5, закреплённой на валу 6.

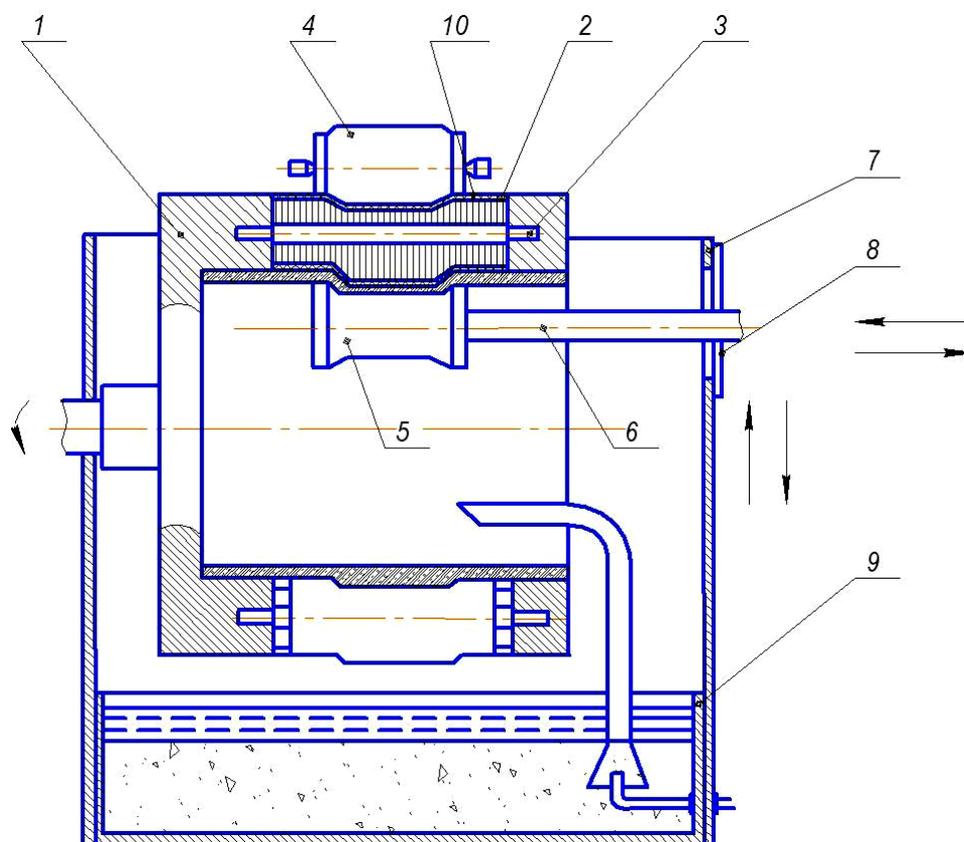


Рисунок 1.16 – Устройство для полирования наружных поверхностей деталей с глубоким профилем

В кожухе 7, передняя стенка которого снабжена отверстием, закрытым лепестковой диафрагмой 8, помещен бак 9, заполненной абразивной средой. Отверстие в кожухе 7 предназначено для ввода обрабатываемой детали 5 в барабан 1.

Деталь 5, закреплённую на валу 6, продавливают через диафрагму 8 и вводят в полость барабана 1, которому сообщают вращение. При вращении барабана абразивные частицы под действием центробежных сил прижимаются к его цилиндрической поверхности, образуя концентрическое кольцо. Ролик 4 через внешнее резиновое кольцо 10 воздействует на пакет металлических

колец 3. Кольца 3, смещаясь относительно друг друга продавливают внутреннее резиновое кольцо 10, воздействуя на уплотненный абразивный слой, который принимает форму, близкую к профилю обрабатываемой детали 5. Деталь 5 перемещают до соприкосновения с абразивным слоем и производят обработку.

При повышении скоростей вращения барабана со шлифовальным материалом и оправок с деталями возрастают динамические нагрузки, обусловленные несбалансированностью вращающейся системы.

Для обработки наружных поверхностей тел вращения применяют также шпиндельную обработку в абразивной среде со статическим уплотнением под действием внешних сил, которая получила название камерной обработки.

Сущность процесса обработки заключается в следующем. Обрабатываемую деталь, (например, вал) помещают в массу сухого шлифовального порошка (24А6), загруженного в специальную камеру. Дно и крышка камеры выполнены подвижными и позволяют создавать давление абразивных частиц на обрабатываемые поверхности в диапазоне 0,08..0,1 МПа. Детали сообщают вращение с угловой скоростью 80 рад/с от привода станка. На цилиндрическом участке вала диаметром 35 мм в течение 8 с шероховатость снижается с Ra 0,9...0,6 мкм до Ra 0,13...0,15 мкм. Материал вала – сталь 45, закаленная до 52-54 HRC.

К недостаткам этого метода абразивной обработки относится возможность возникновения прижогов вследствие выделения большого количества тепла при абразивном резании, что снижает качество обработанной поверхности и ограничивает режимы обработки. Кроме того шпиндельный узел должен обладать высокой точностью и жесткостью, так как погрешности вращения шпинделя приводят к неравномерной обработке. Детали, подлежащие обработке, должны обладать достаточной жесткостью.

## Центробежно-ротационная обработка

Центробежно-ротационная обработка основана на формировании тороидального потока шлифовального материала на цилиндрической поверхности неподвижной камеры при вращении ротора в виде тарели с коническими стенками [16].

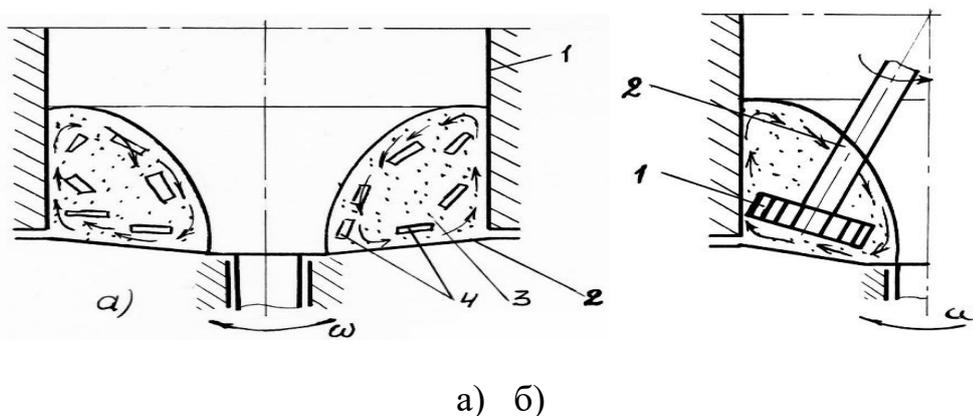


Рисунок 1.17 – Схема центробежно-ротационной обработки деталей.

А) в свободном состоянии; б) шпиндельная обработка

В рабочую камеру 1 (рисунок 1.17,а) с коническим дном 2, выполненным в виде ротора с возможностью вращения вокруг собственной оси на подшипниковых опорах, загружают шлифовальный материал 3 и обрабатываемые детали 4. При вращении ротора рабочая загрузка уплотняется и приводится во вращательное движение вокруг вертикальной оси таким образом, что, поднимаясь по неподвижной стенке цилиндрической камеры 1 приобретает форму тора. При этом элементы рабочей загрузки будут перемещаться с высокой скоростью по спиральным траекториям. Скорость перемещения деталей и шлифовального материала у стенки уменьшается и вся масса рабочей загрузки падает вновь к центру ротора, после чего процесс движения повторяется. Обработка осуществляется за счет относительного перемещения поверхностей деталей и прижатых к ним гранул шлифовального материала, так как детали и гранулы шлифовального материала находятся в непрерывном движении с различными относительными скоростями. Давление

рабочей среды на детали у стенок камеры, возникающее под действием центробежных сил, в 7...10 раз больше давления, возникающего при вибрационной обработке. Соответственно возрастает и производительность обработки. Обработка происходит при непрерывной промывке обрабатываемой среды технологической жидкостью.

Данный метод обработки видно выделяется среди других методов обработки в свободном абразиве большим набором преимуществ: [17]

- высокая производительность (по сравнению с галтовкой выше в 10...30 раз, вибрационной обработкой в 10...12,5 раз)
- простая конструкция оборудования;
- возможность быстрого перехода от черновой к чистовой обработке за счет варьирования режимов резания и изменения материала абразивного зерна;
- возможность глубокой модернизации и автоматизации процесса обработки.

Также этому методу присущи и недостатки:

- несмотря на свою простоту конструкции, возникают сложности с проектированием и реализацией минимального зазора в приводе вращения камеры, так как абразивная пыль не должна попадать в подшипниковый узел;
- существуют ограничения по габаритам обрабатываемых деталей;
- при обработке деталей вращения при помощи шпинделя присутствует неравномерность съема материала по мере погружения детали в абразивную среду.

#### **1.4 Сравнение абразивных методов обработки**

Сравнительные характеристики методов абразивных технологий, качественные и количественные параметры показаны в *Таблице 1.1*. Данные таблицы взяты из источников [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16].

Таблица 1.1

Метод обработки	Достиг. шероховатость поверхн. слоя, мкм	Достиг. Точность обработки, мм	Дороговизна оборудования и инструмента	Возможность обработки фасонных поверхностей	Применение для серийного пр-ва	Возможность автоматиз. и роботиз. обработки	Возможность полирования
Круглое и плоское шлифование	Ra 0,16	0,002	+	-	++	-	-
Бесцентровое шлифование	Ra 0,16	0,001	+	-	++	-	-
Ленточное шлифование	Ra 0,08	0,01	+	+	+	++	++
Хонингование	Ra 0,08	0,0005	+	-	+	-	-
Притирка и доводка	Ra 0,01	0,001	+/-	++	-	-	+
Полирование	Ra 0,005	+/-	-	++	+	++	++
Суперфиниширование	Ra 0,02	0,001	+	-	+/-	-	-

Магнитно-абразивное полирование	Ra 0,005	+/-	+	-	++	+	++
Абразивно-потоковая обработка	+/-	+/-	++	++	++	-	+
Галтовка	+/-	+/-	-	++	++	+	++
Виброгалтовка	+/-	+/-	++	++	++	+	++
Ультразвуковая обработка	+/-	+/-	++	++	+	-	+
Турбоабразивная обработка	Ra 0,02	+/-	++	++	++	-	+
Обработка уплотненным абразивом	Ra 0,13	+/-	+	++	++	-	+
Центробежно-ротационная обработка	Ra 0,02	+/-	-	+	++	++	++

Примечания:(++) – безусловно подходит; (+) – подходит с ограничениями; (-) – не подходит; (+/-) – нет данных.

## **1.5 Рекомендации по использованию сухой центробежно-ротационной обработки для обработки деталей тел вращения на примере типовых конструкционных материалов**

В данном разделе будут рассмотрены особенности финишной сухой центробежно-ротационной обработки деталей в свободном абразиве на примере экспериментального оборудования.

Для исследования режимов и возможностей центробежно-ротационной обработки было разработано оборудование более простой конфигурации без подвода компаунда в зону резания (Рисунок 1.18). Оборудование состоит из круглого герметичного контейнера с плоским дном (1) диаметром 600 мм и высотой 300 мм, который может вращаться с различной скоростью за счет привода с регулируемой частотой вращения, а также привода для вращения и закрепления заготовки (2), (3) и подвода заготовки в зону тороидально-винтового потока абразива внутри контейнера [18]. Контейнер заполняется свободной абразивной средой примерно на 2/3 объема, так как при меньшем заполнении создается не достаточное рабочее давление в зоне обработки, а при большем заполнении абразив за счет центробежной силы начнет покидать область контейнера. Заготовка, закрепленная в зажимное приспособление, чаще всего это трехкулачковый патрон, подается в зону потока абразива под прямым углом, либо под наклоном к вертикальной оси контейнера, в зависимости от технического задания и формы заготовки. Также есть возможность модернизации станка за счет добавления привода вращения для шпинделя вращения заготовки, что может привести к интенсификации процесса резания и увеличит производительность и качество поверхности. Процесс обработки может длиться в зависимости от режимов, материала заготовки, материала абразива, формы и технического задания от 1 до 30 минут. Дальнейшая обработка может сильно сказаться на неравномерных габаритных размерах заготовки, так как при такой схеме давление резания на

поверхность части детали более погруженной в абразив больше, чем у ее поверхности.

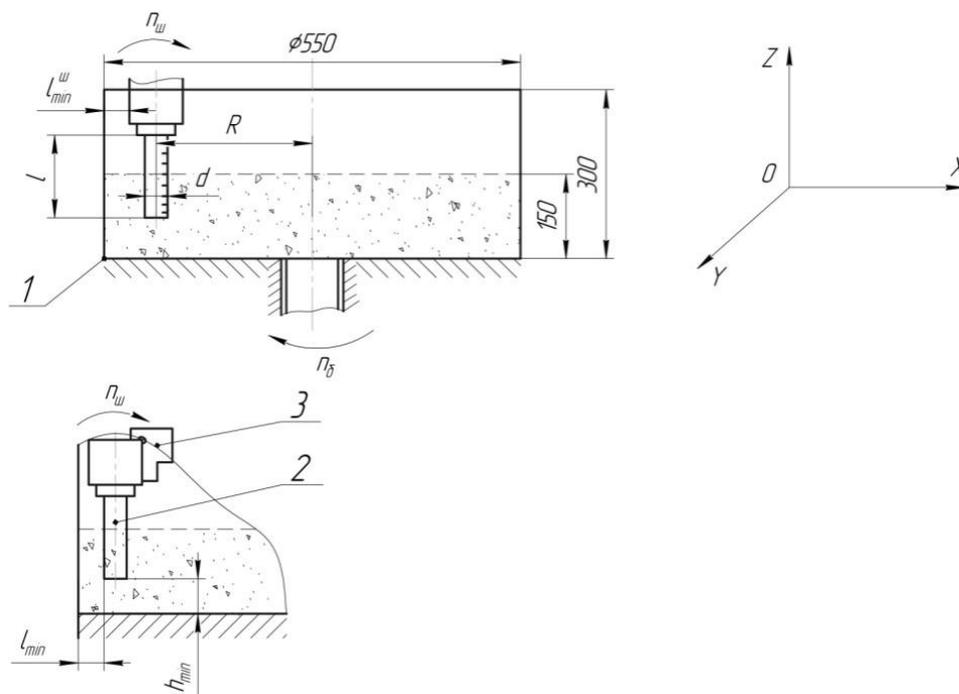


Рисунок 1.18 – Принципиальная схема обработки

В результате исследований были выявлены следующие преимущества данного метода:

- простота и технологичность оборудования;
- возможность глубокой модернизации и переналадки под конкретную задачу;
- возможность автоматизации и роботизации процесса;
- возможность обработки любых конструкционных материалов и широкого спектра форм заготовки.
- достижение полировального эффекта за счет смены абразивного материала.

В процессе исследования также были выявлены и недостатки данного метода:

- неравномерность съема материала по длине заготовки параллельно вертикальной оси контейнера;
- большое выделение пыли в процессе из-за сухого принципа работы.

Исходя из преимуществ данного метода шпиндельной обработки и конкретно данной экспериментальной установки, можно сказать, что по технологическим и экономическим параметрам такой способ обработки является более оптимальным для применения на сверлах с СМП из твердого сплава, А также такая технология может решить многие финишные задачи для тел вращения в области общего машиностроения, космическо-авиационной отрасли и нефтегазового сектора.

## ГЛАВА 2. Исследование технологических возможностей экспериментального оборудования для сухой центробежно-ротационной обработки.

### 2.1. Материально-техническая база и методы экспериментальных работ

В рамках научно-исследовательской работы от промышленного инструментального предприятия было сформировано техническое задание на обработку сверла со сменными многогранными пластинами из твердого сплава и корпусом из закаленной и «сырой» стали 40X (Рисунок 2.1).



а)

б)

Рисунок 2.1 – Сверло с пластинами из твердого сплава и корпусом из закаленной стали 40X (а) и «сырой» (б)

Для этих целей спроектировано и реализовано экспериментальное оборудование, схема которого представлена на Рисунке 1.18. Техническое задание показано в Приложении А. На промышленных предприятиях в частности и на инструментальных в исследованиях не редко применяют метод аналогов. Суть метода аналогов заключается в замене дорогостоящих деталей или инструментов на простые и относительно недорогие аналоги для проведения научных исследований. Этот метод значительно снижает издержки предприятий и повышает эффективность научных работ. Для данной работы дорогостоящие корпуса сверл были заменены на стальные цилиндры.

Экспериментальная часть диссертации разделена на три основные части. В первой части исследовалось влияние центробежной силы на абразивные частицы в процессе вращения контейнера, во второй части были исследованы все режимы и особенности обработки на примере алюминиевых цилиндров и в последней части уже происходили исследования по обработке стальных валов. В результате исследований были построены графики зависимостей изменения диаметра валов и шероховатости поверхностей от глубины погружения в абразив, а также графики изменения конусности от времени обработки. Сформулированы общие выводы и получены практические результаты обработки корпусов осевых режущих инструментов с СМП из твердого сплава.

## **2.2 Исследование влияния центробежной силы при вращении контейнера, заполненного свободной абразивной средой.**

Для проведения опыта на металлических цилиндрах необходимо было понимание как абразивная среда при тороидально-винтовом потоке будет влиять на их обрабатываемость. С целью получения этой информации был произведен следующий опыт, в котором были проведены исследования зависимости влияния центробежной силы на смещение абразива к стенке контейнера от скорости вращения контейнера и с какого момента при повышении скорости начиналось движение абразивной среды. Для данного опыта был использован контейнер диаметром 650 мм и высотой 300 мм, который засыпается свободным абразивом на высоту около  $\frac{2}{3}$  контейнера. Для отслеживания перемещения абразива на стенке контейнера выше поверхности покоя абразивной среды были нанесены метки с помощью стальной линейки и тонкого маркера, соответствующие высоте 5 мм каждая (Рисунок 2.2).

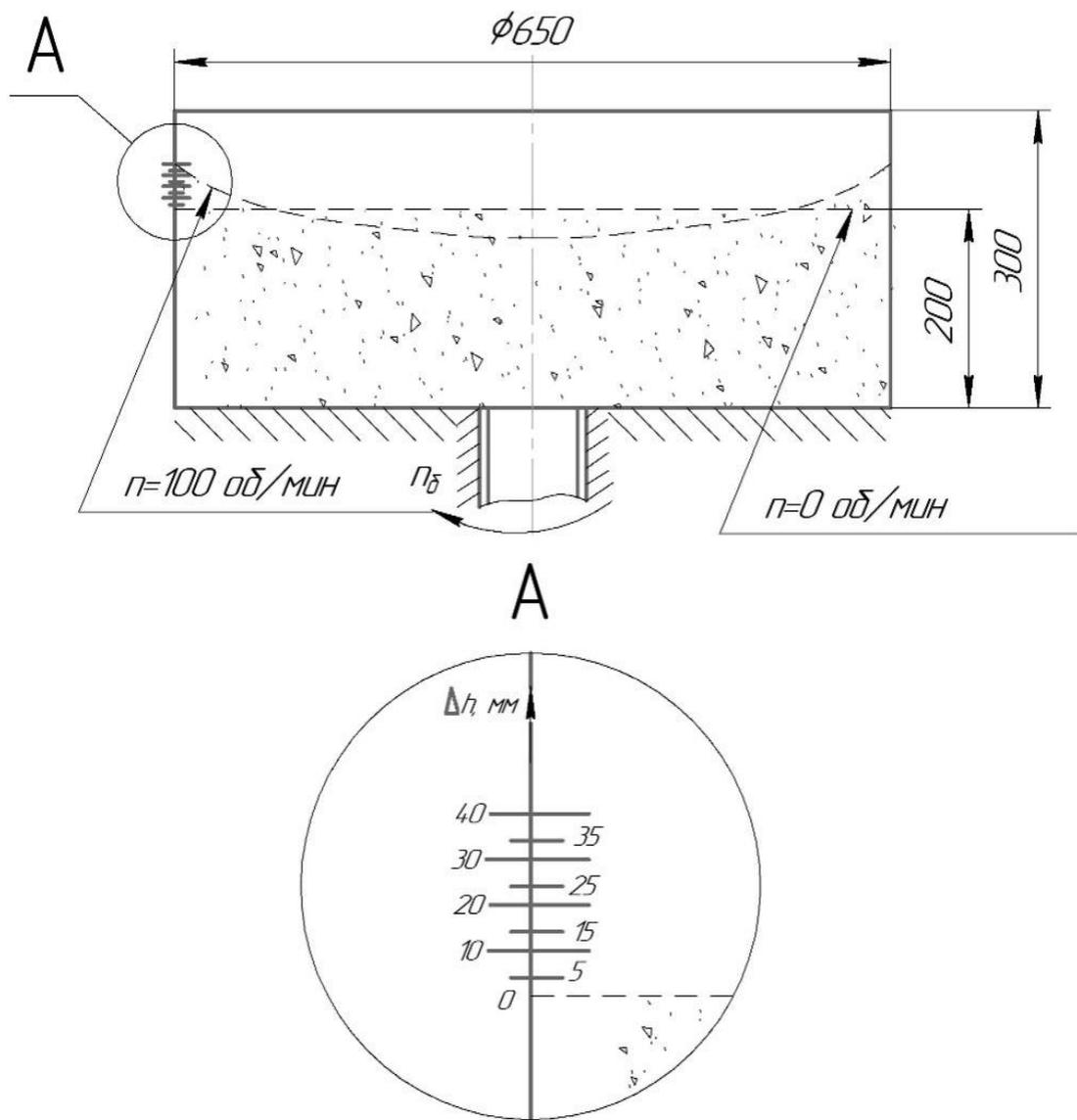
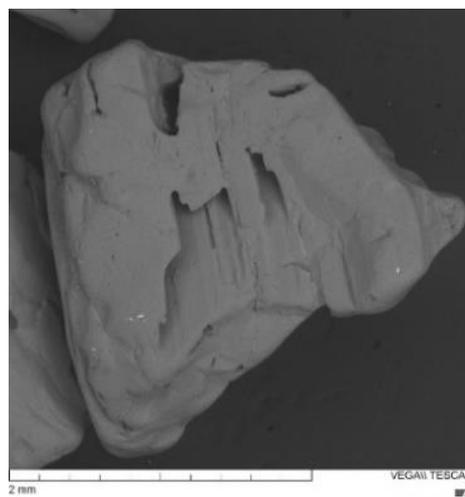
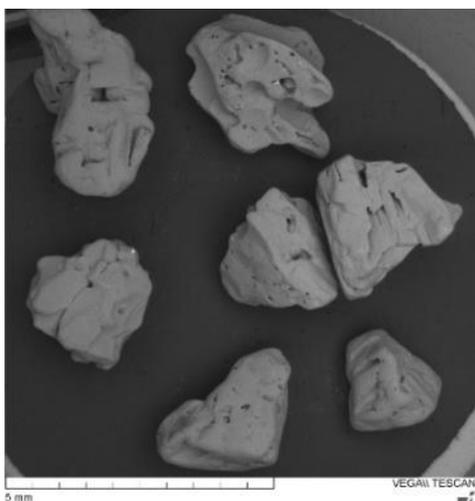
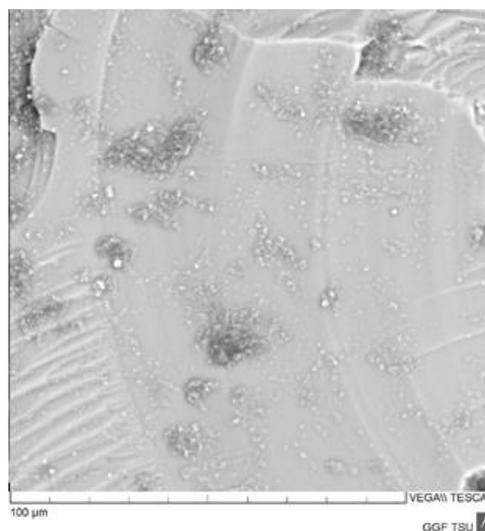
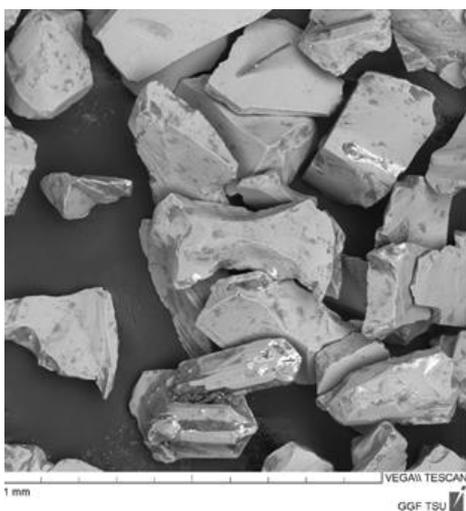


Рисунок 2.2 – Схема проведения эксперимента

В качестве экспериментальных абразивных материалов были использованы смесь белого и нормального электрокорунда А25, фракции F16 в соотношении по массе 1:1 (Рисунок 2.2), карбид кремния фракции F16 (Рисунок 2.3), смесь гранулята грецкого ореха фракции P100 и карбида кремния фракции F16 (Рисунок) и гранулята грецкого ореха фракции P100 (Рисунок).



а)



б)

Рисунок 2.3 – Зёрна абразивного материала:

а) электрокорунд; б) карбид кремния; в) гранулят скорлупы грецкого ореха.

Так как для проведения опыта было необходимо вращение контейнера с различной частотой, то для этой цели привод вращения контейнера приводился в движение с помощью частотного двигателя постоянного тока.

### Результаты эксперимента

Результатом данного эксперимента послужил график зависимости высоты подъема насыпки у стенки контейнера от частоты его вращения

(Рисунок 2.4). По графику можно увидеть, что движение абразива к стенке начинается только после придания частоты вращения контейнеру более 68 об/мин. А такие абразивы как электрокорунд и HSC100 и вовсе начинают движение только после 80 об/мин. Это обуславливается тем, что плотность и соответственно масса у частиц этих абразивов наибольшая.

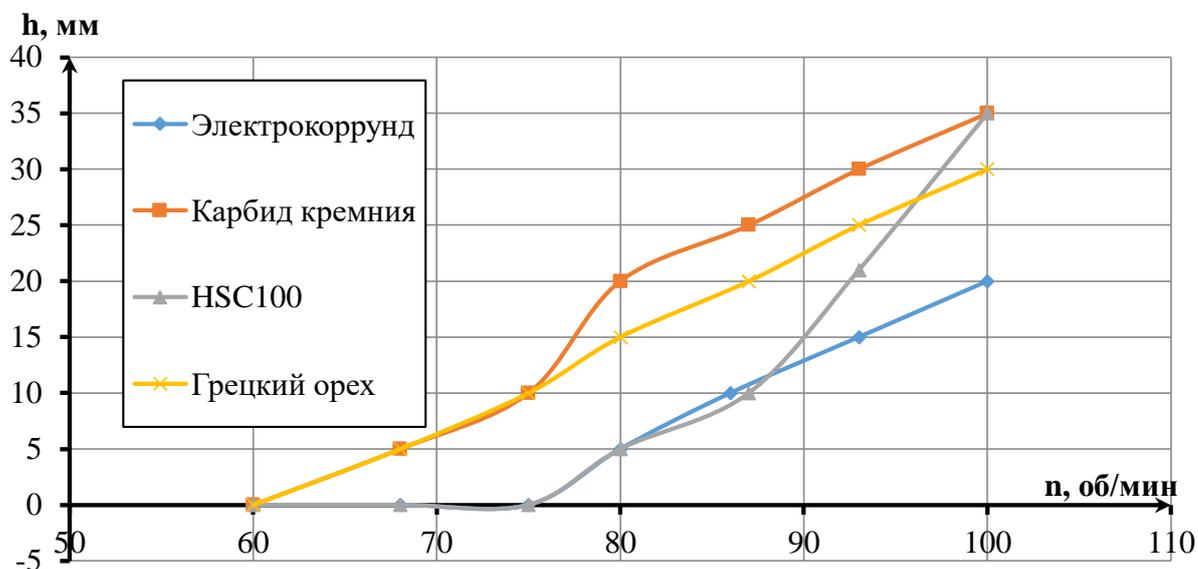


Рисунок 2.4 – График зависимости высоты засыпки у стенки контейнера от частоты его вращения

Из вышеперечисленного следует, что для проведения и интенсификации дальнейших исследований шпиндельной обработки металлических образцов следует выбрать в качестве абразивного материала электрокорунд, а для снижения влияния неравномерности абразивной среды необходимо выбрать диапазон частот вращения от 0-80 об/мин.

### 2.3 Пробная обработка алюминиевых цилиндров и выявление особенностей процесса.

В качестве образцов использовались цилиндры из алюминия марки Д16Т твердостью 130-150 НВ и исходной шероховатостью  $Ra=0,4...0,5$  мкм. Габаритные размеры: диаметр  $35^{+0,02}$  мм, длина  $100\pm 0,1$  мм. Фото представлено на Рисунке 2.5.



Рисунок 2.5 – Алюминиевый образец для исследования

Выбранная пара «электрокорунд/Д16Т» использовалась для сокращения времени экспериментальных работ, а также сбора данных по величине интенсивности износа и отслеживания изменения размеров/шероховатости.

Работа выполнялась в Научно-образовательной лаборатории промышленной робототехники. В эксперименте использовался робот марки «КУКА» (Германия) модели KR 120 R2700 (Рисунок 2.6). Робот оснащён высокоскоростным фрезерным шпинделем, что позволило обеспечивать точное позиционирование образца в абразиве и придание ему вращения вокруг собственной оси.



Рисунок 2.6 – Промышленный робот фирмы Кука модели KR120 R2700  
 Технические характеристики представлены в *Таблице 2.1*.

*Таблица 2.1*

Максимальная полезная нагрузка, кг	Число осей	Повторяемость линейных перемещений, мм	Тип защиты	Максимальное число оборотов шпинделя, об/мин
120	6	±0,06	IP 65	24000

Кинематическая схема робота представлена на Рисунке 2.1.

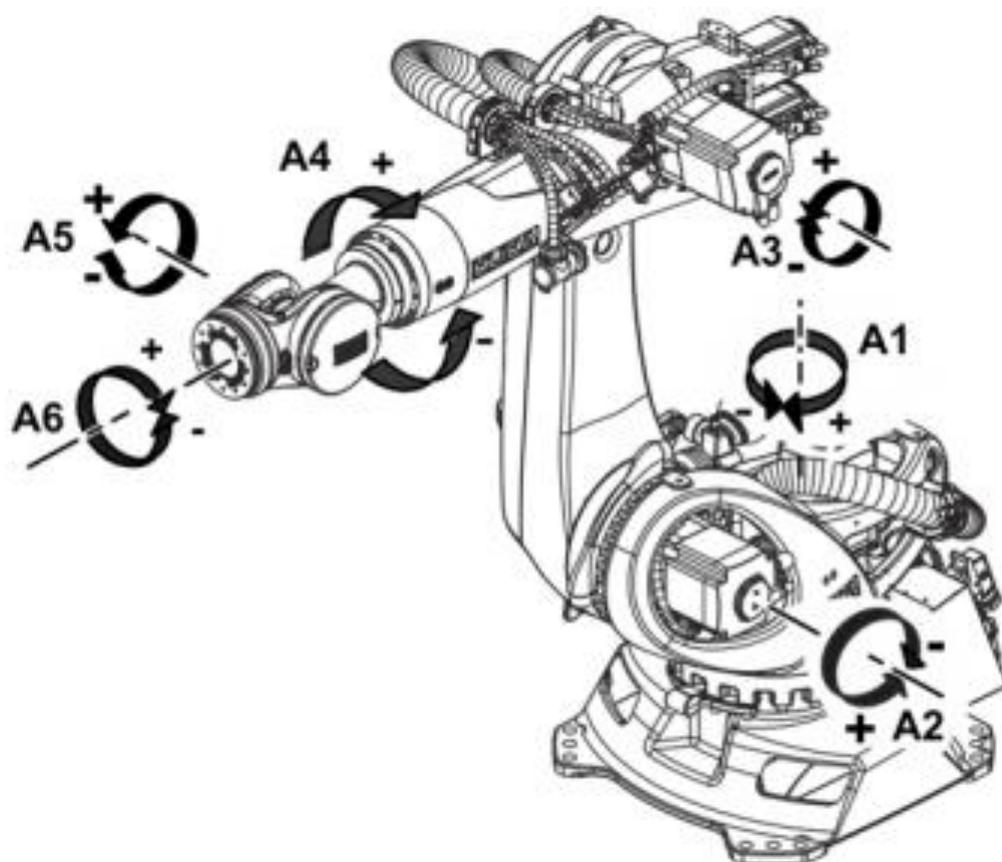


Рисунок 2.7 – Кинематическая схема промышленного робота KR 120 фирмы Kuka

Для predания вращения и закрепления заготовки в абразивной среде контейнера был использован шпиндель модели HSDES 929A (Рисунок 2.8) и трехкулачковый патрон наружным диаметром 100 мм.



Рисунок 2.8 – Высокочастотный шпиндель модели HSDES 929A

Технические характеристики приведены в *Таблице 2.2.*

*Таблица 2.2*

Мощность , кВт	9
Диапазон частот вращения, об/мин	0-24000
Класс защиты	IP 65

Для задания кинетической энергии абразивной среде она была помещена в цилиндрический контейнер 550x300 мм, который устанавливался на поворотный стол и непрерывно вращался вокруг общей оси «стол-контейнер» с постоянной скоростью.

Работа была разделена на два эксперимента. Обработка образцов осуществлялась параллельно и под углом к вертикальной оси OZ барабана в трех положениях удаления от оси до стенок и на различной частоте вращения (Рисунок 1.18).

Варьируемые параметры эксперимента приведены в *Таблице 2.3*

*Таблица 2.3*

№ эксперимента	Радиус R, мм	Угол наклона $\alpha$ , °	Обороты шпинделя n, об/мин
1	100	0	3000
	135		
	170		
2	100	20	3000-4000.
	135		
	170		

Обработка осуществлялась следующим образом: барабан (1) (Рисунок 1.18), засыпанный абразивом на высоту 210 мм приводится во вращательное движение частотой 18 об/мин с помощью электропривода. Затем деталь (2), закрепленная в шпинделе робота посредством трехкулачкового патрона (3), также приводится во вращательное движение и опускалась в барабан с абразивом. Для отслеживания изменений размеров и шероховатости были выбраны отрезки времени обработки в 1; 2; 4; 7; 11 минут, после которых осуществлялся контроль параметров согласно схеме (Рисунок 2.11). Диаметральные размеры контролировали при помощи рычажной скобы с ценой деления 1 мкм (Рисунок 2.9), а шероховатость поверхности – с использованием профилометр SJ-210 Mitutoyo (Япония) (Рисунок 2.10).



Рисунок 2.9 – Рычажная скоба – пассаметр с ценой деления 0,002 мм



Рисунок 2.10 – Профилометр фирмы Mitutoyo модели SJ-210

Технические характеристики профилометра фирмы Mitutoyo модели SJ-210:

- Минимальный диапазон/дискретность (25 мкм / 0.002 мкм)
- Параметры Ra, Rq, Rz, Ry, Rv, Rt, R3z, Rsk, Rku, Rc, RPs, RSm, Rmax\*1 Rz1max, S, HSC, RzJIS\*2, Rppi, R?a, R?q, Rlr, Rmr, Rmr(c ), Rc, Rk, Rpk, Rvk, Mr1, Mr2, A1, A2, Vo, Rpm, tp, Htp, R, Rx, AR
- Длина трассы 0.08, 0.25, 0.8, 2.5 мм
- Число измерений x1, x2, x3, x4, x5, x6, x7, x8, x9, x10
- Автовключение 10-600 с при работе от аккумуляторной батареи
- Разъемы USB, SPC, RS-232C, для удаленного управления, MicroSD
- Стандарты JIS'82, JIS'94, JIS'01, ISO, ANSI, VDA
- Результаты измерения: цифровые значения, кривая, график
- Питание: (Ni-MH) аккумуляторная батарея, до 4 ч

Диапазон измерения профилометра:

- X-ось (17.5мм)
- Z-ось 360 мкм (-200 мкм~+160 мкм)

Скорость трассировки:

- При измерении 0.25, 0.5, 0.75 мм/с

- При возврате 1 мм/с

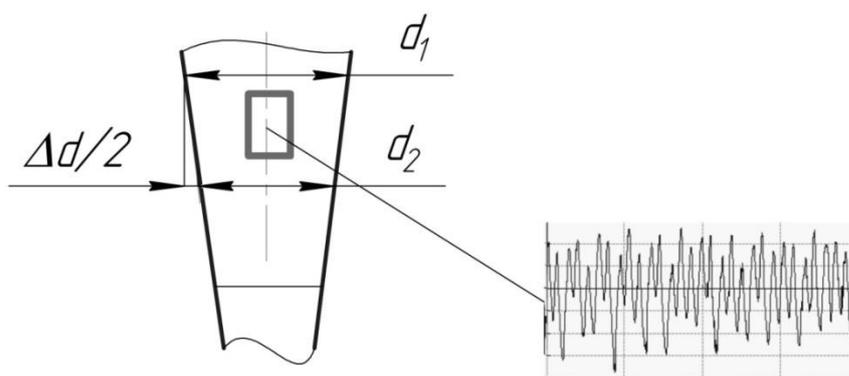


Рисунок 2.11 – Схема контроля изменения диаметра и шероховатости поверхности

### Результаты эксперимента

В результате проделанной работы по первому эксперименту, были построены графики зависимости изменения диаметра детали от длины погружения в абразив и зависимости конусности от времени обработки. Из графиков можно увидеть, что изменение диаметра детали по длине неравномерно и возрастает по мере длины погружения ее в абразивную среду, о чем свидетельствует один из характерных графиков конусности детали после обработки. На Рисунке 2.12 представлен график зависимости изменения диаметра от глубины погружения детали с течением времени на радиусе R100 мм от оси контейнера.

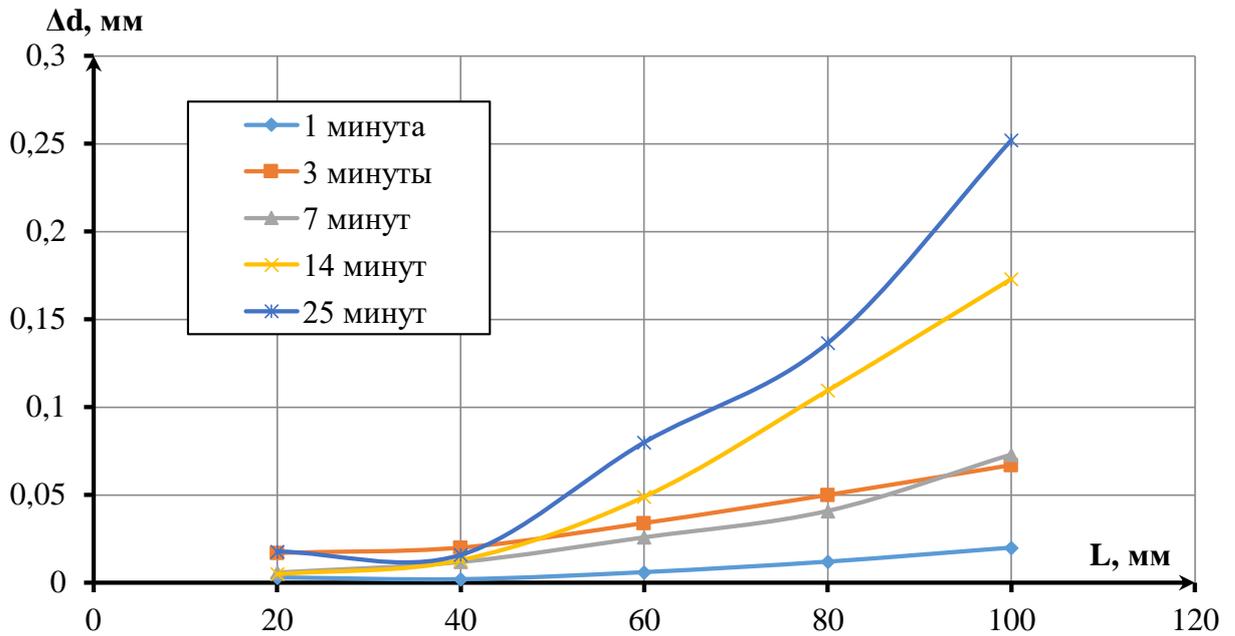


Рисунок 2.12 – График зависимости на R100 изменения диаметра от глубины погружения

График изменения конусности от времени обработки представлен на Рисунке 2.13.

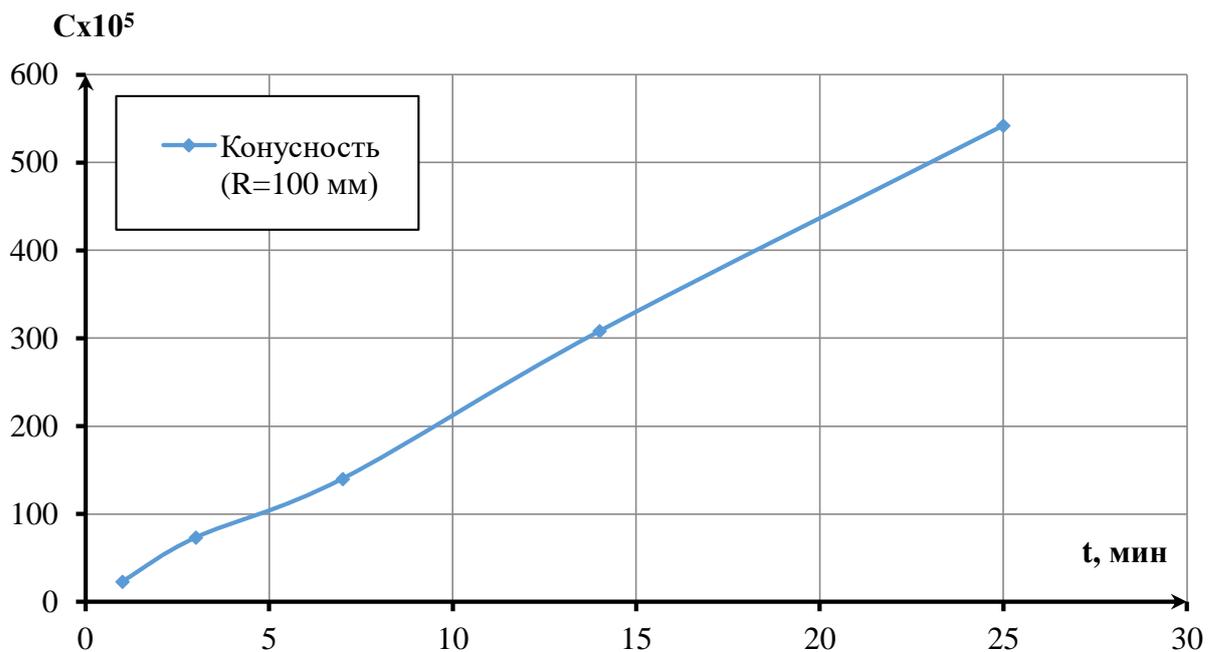


Рисунок 2.13 – График зависимости на R135 конусности от времени обработки

График зависимости изменения шероховатости от погружения в абразивную среду представлен на Рисунке 2.14. По графику можно увидеть уменьшение шероховатости с погружением, но увеличение шероховатости относительно времени обработки.

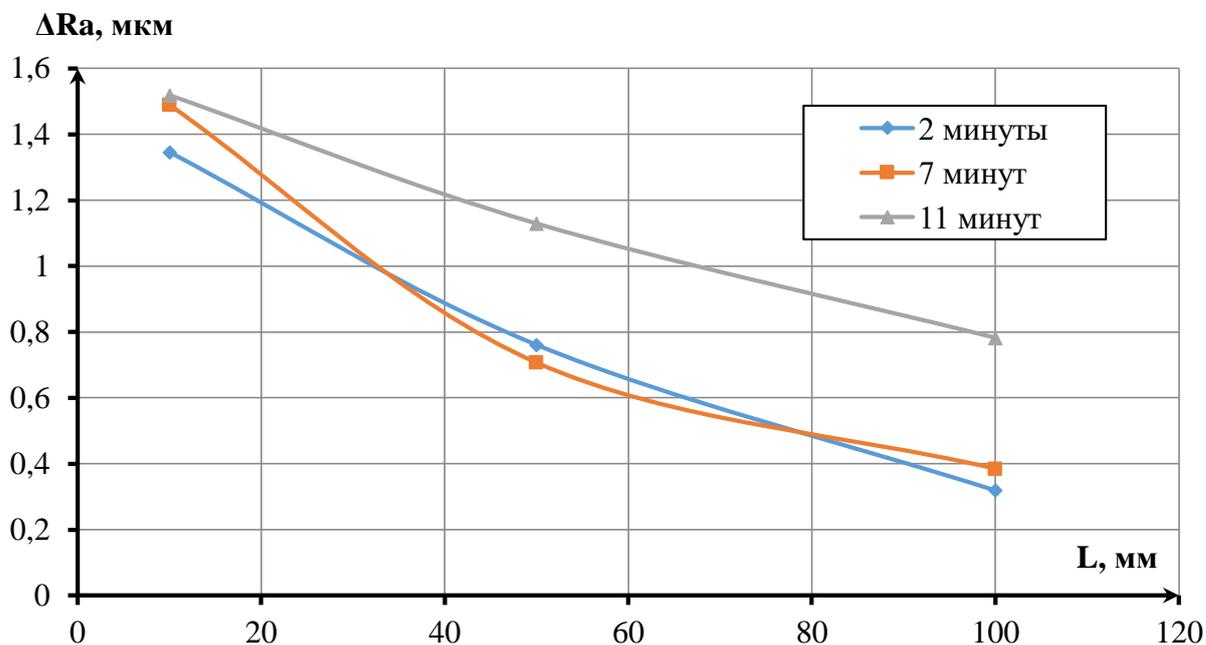


Рисунок 2.14 – График зависимости изменения шероховатости на R100 от погружения в абразивную среду

В дальнейшем обработка происходила на радиусе R135 мм от вертикальной оси контейнера. По графикам на этом радиусе (Рисунок 2.15) можно увидеть двукратное увеличение съема материала и незначительное увеличение конусности (Рисунок 2.16) и (Рисунок 2.17).

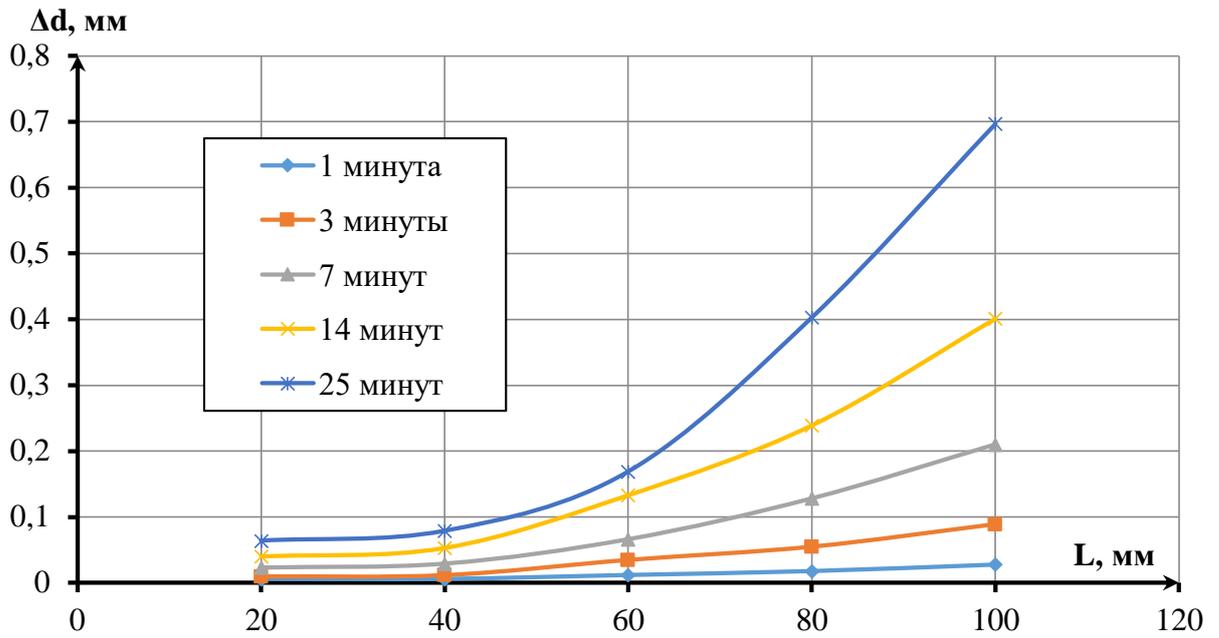


Рисунок 2.15 – График зависимости на R135 мм изменения диаметра от глубины погружения

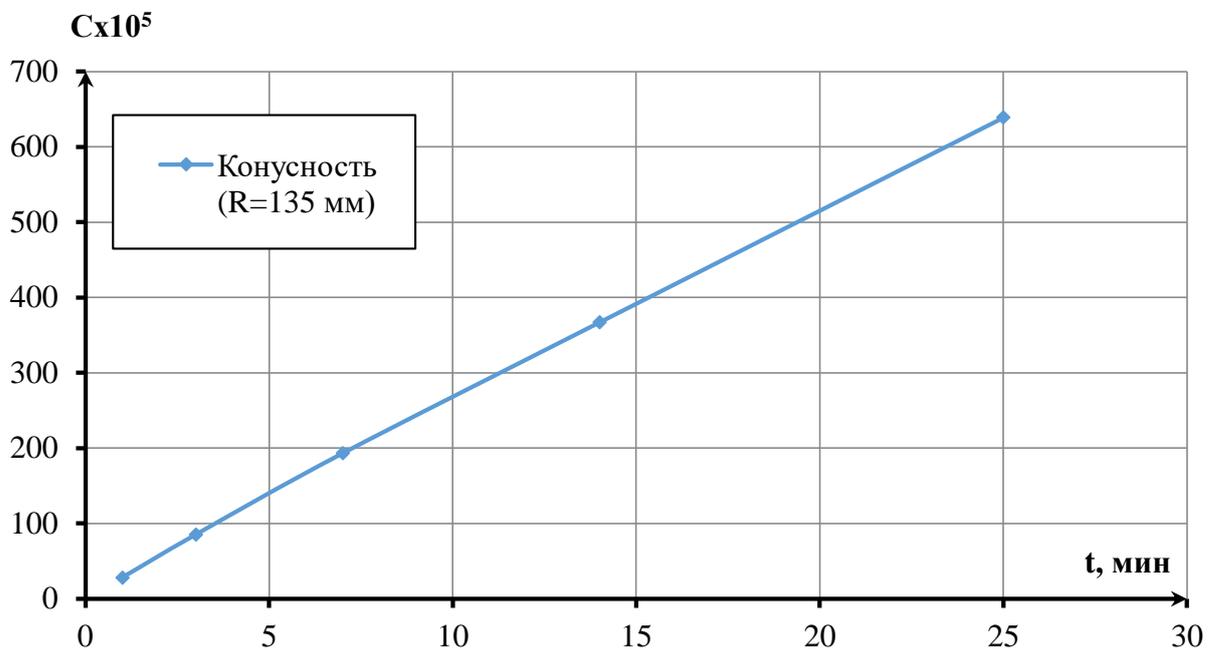


Рисунок 2.16 – График зависимости на R135 конусности от времени обработки

График зависимости изменения шероховатости от погружения в абразивную среду представлен на Рисунке 2.2.

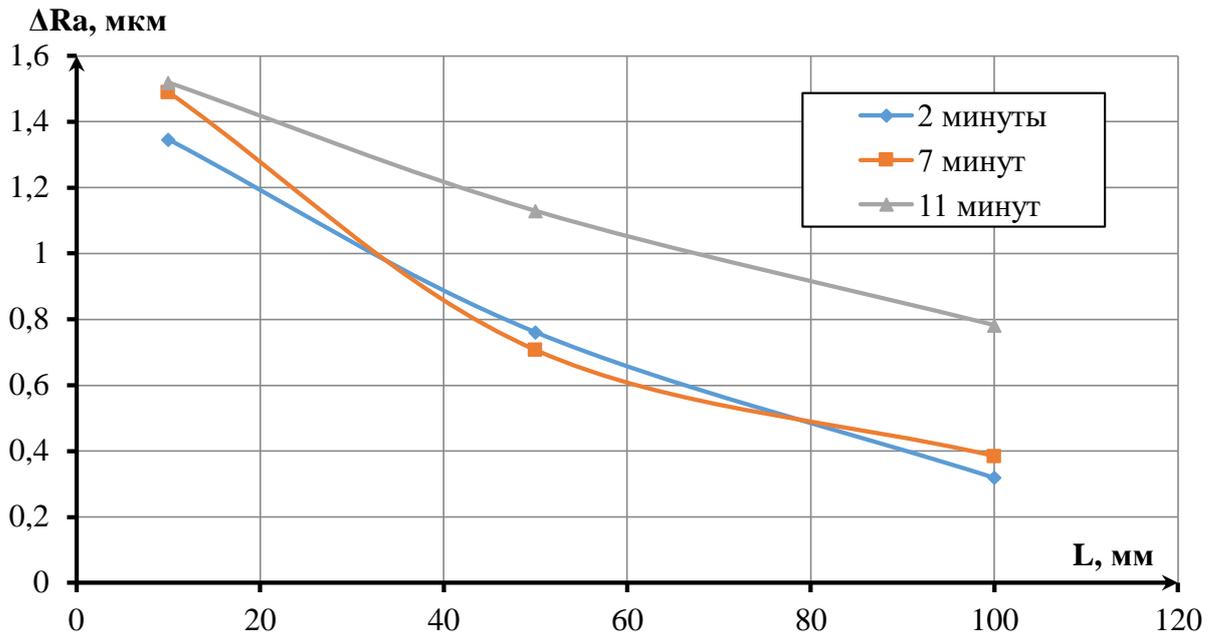


Рисунок 2.17 – График зависимости изменения шероховатости на R135 от погружения в абразивную среду

Далее алюминиевая заготовка обрабатывалась на радиусе R170 мм от вертикальной оси контейнера. На графиках можно увидеть уменьшение съема материала относительно обработки на радиусе R135 мм (Рисунок 2.18). Также это можно увидеть и на графике конусности (Рисунок 2.19).

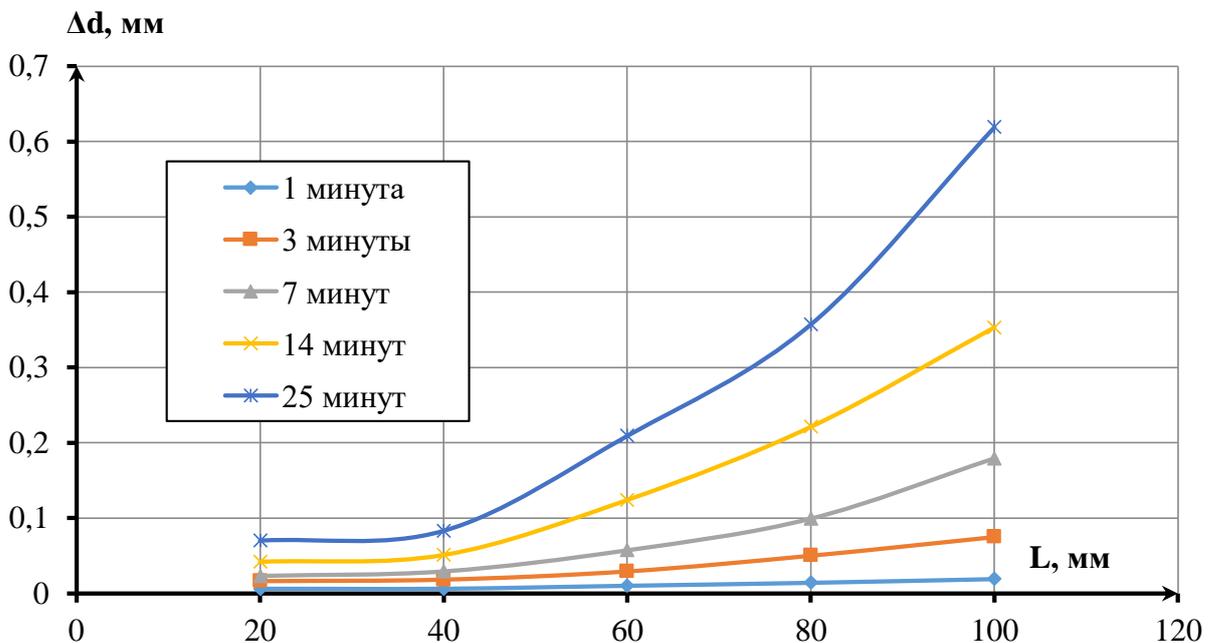


Рисунок 2.18 – График зависимости на R170 мм изменения диаметра от глубины погружения

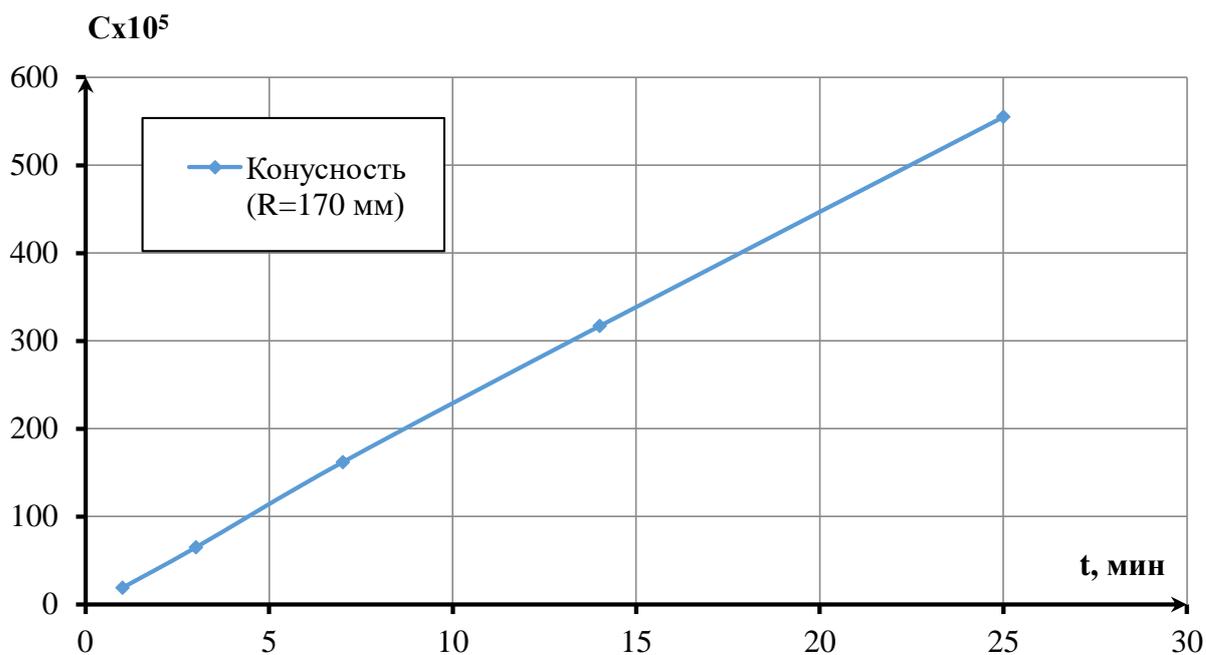


Рисунок 2.19 – График зависимости на R170 конусности от времени обработки

График зависимости изменения шероховатости от погружения в абразивную среду представлен на Рисунке 2.20.

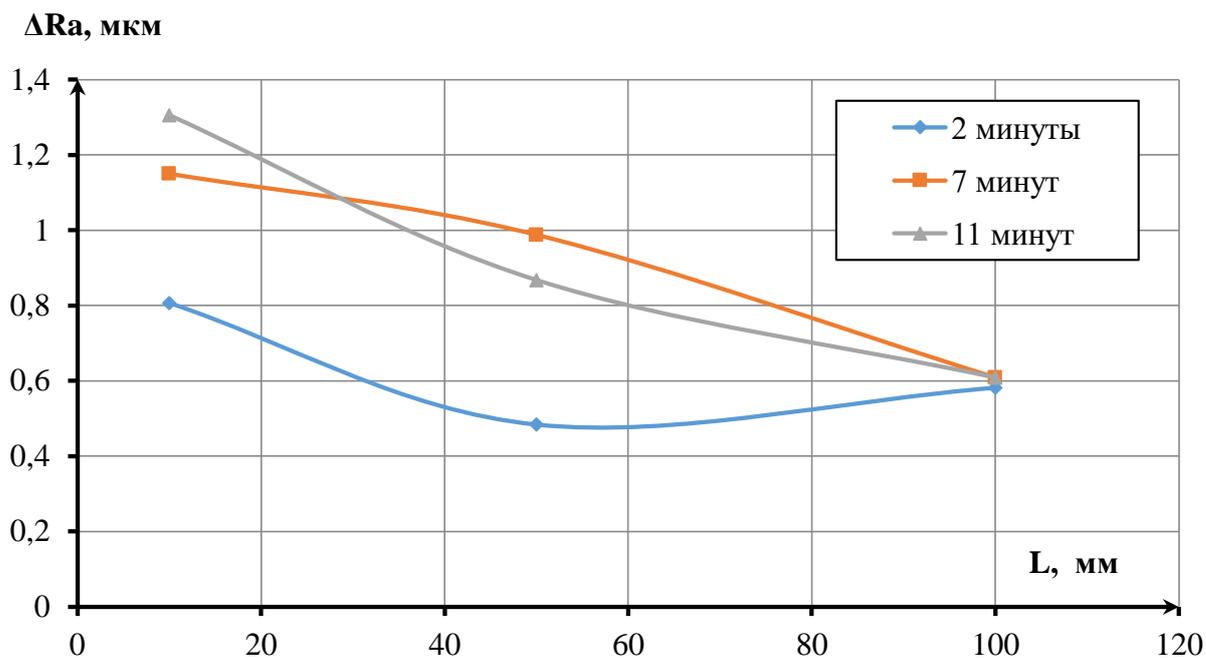


Рисунок 2.20 – График зависимости изменения шероховатости на R135

## Результаты эксперимента под углом к оси ОХ

Результатами второго эксперимента, где обработка заготовки происходила под углом  $20^\circ$  к вертикальной оси контейнера, стали графики, значения которых незначительно отличаются от графиков вертикальной обработки.

График зависимости на R100 изменения диаметра от глубины погружения представлен на Рисунке 2.21.

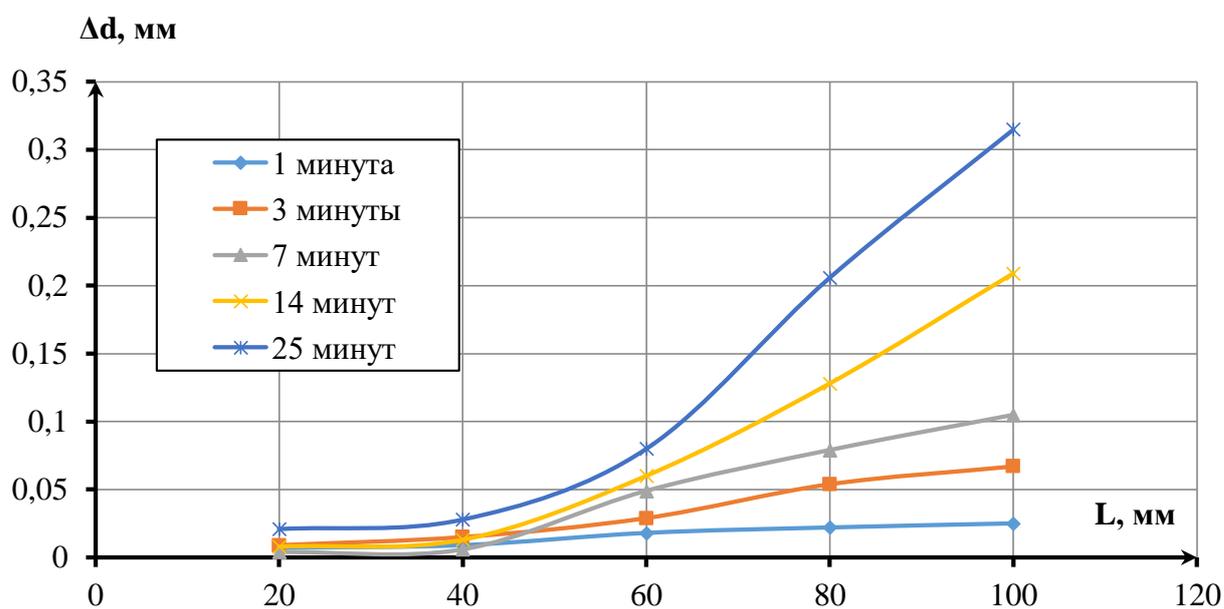


Рисунок 2.21 – График зависимости на R100 мм изменения диаметра от глубины погружения

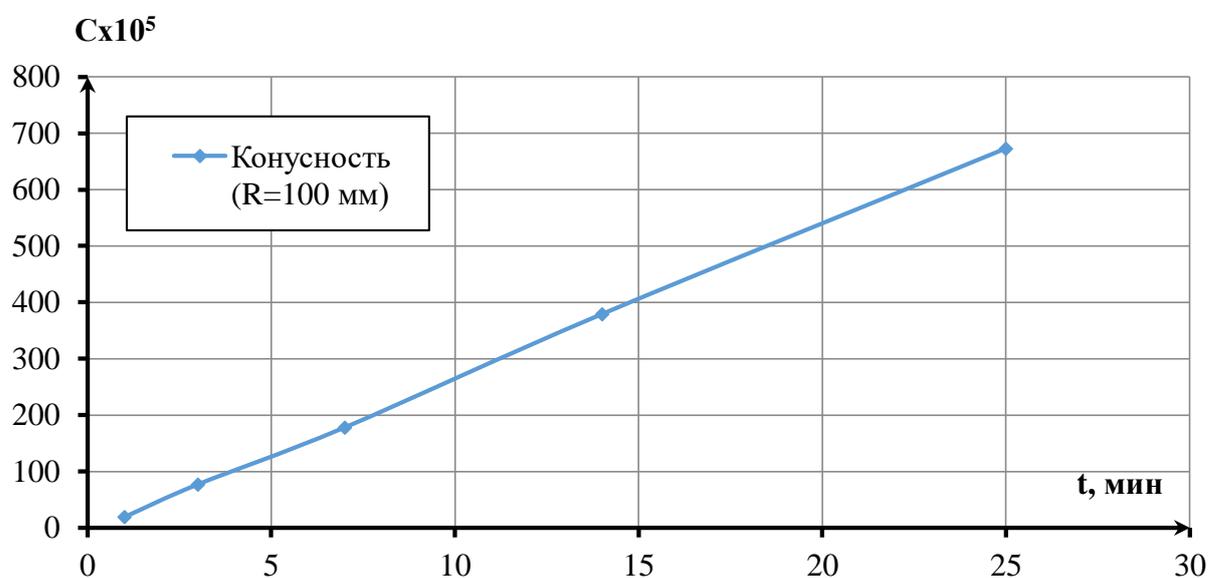


Рисунок 2.22 – График зависимости на R100 конусности от времени обработки

График зависимости изменения шероховатости от погружения в абразивную среду представлен на Рисунке 2.23.

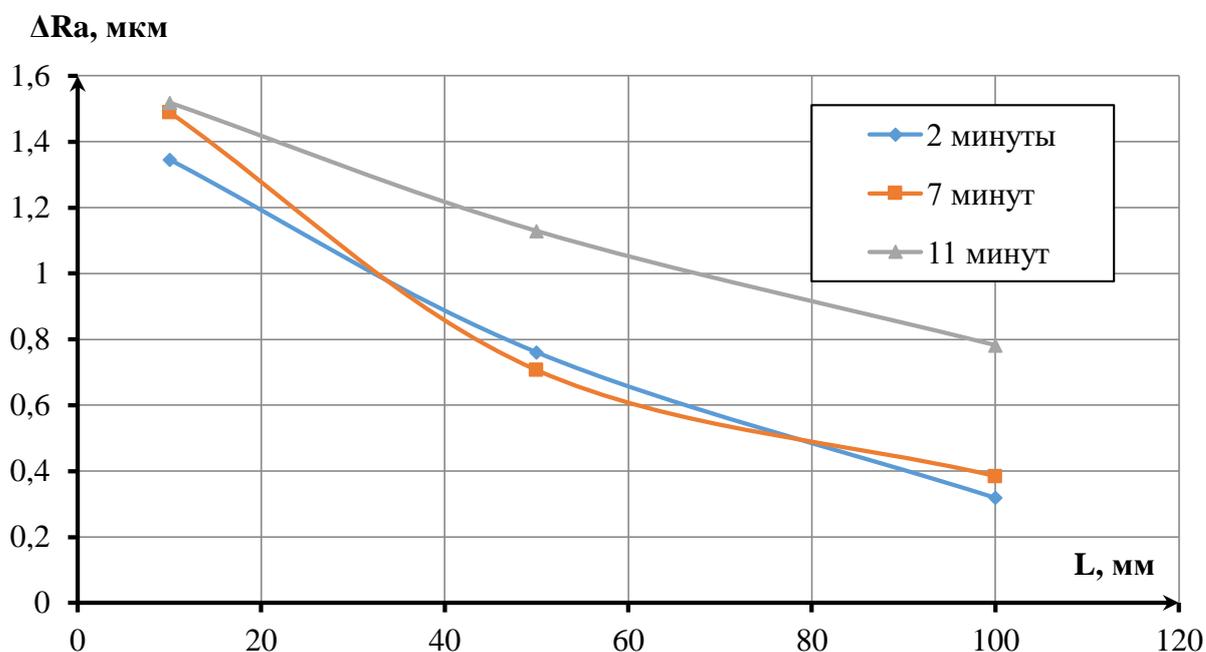


Рисунок 2.23 – График зависимости изменения шероховатости на R100 от погружения в абразивную среду

Далее графики на R135 под наклоном. График зависимости изменения диаметра от глубины погружения на Рисунке 2.24. Здесь на это графике также можем наблюдать ситуацию увеличения разницы диаметров в 2 раза по сравнению с обработкой на R100 мм.

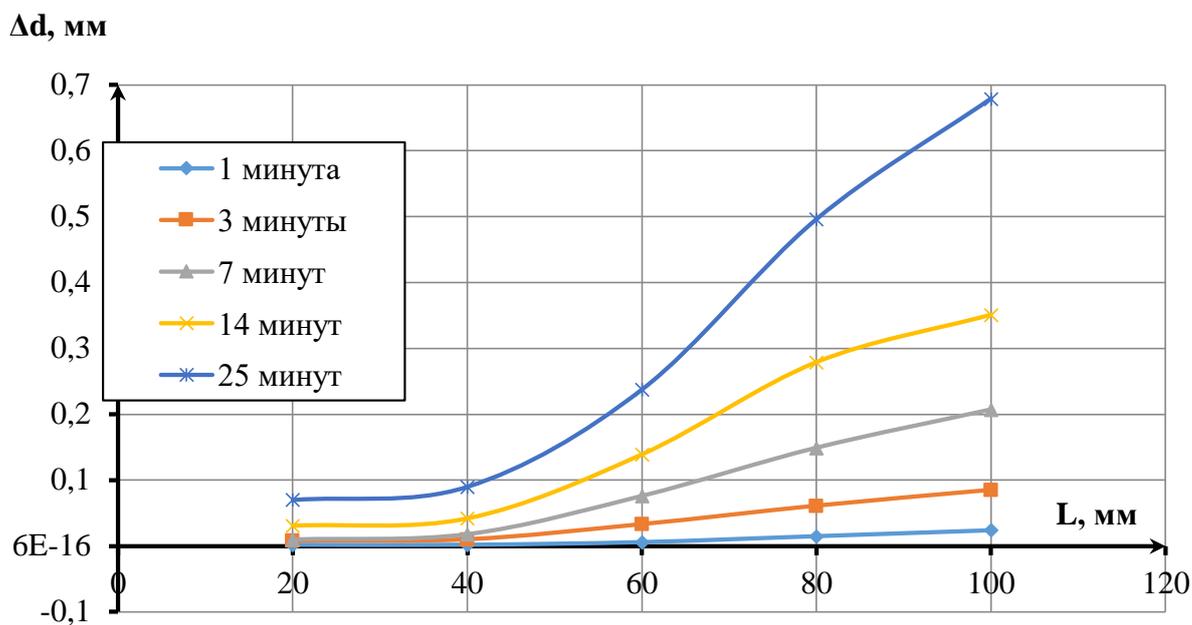


Рисунок 2.24 – График зависимости на R135 мм изменения диаметра от глубины погружения

График зависимости конусности от времени на Рисунке 2.25.

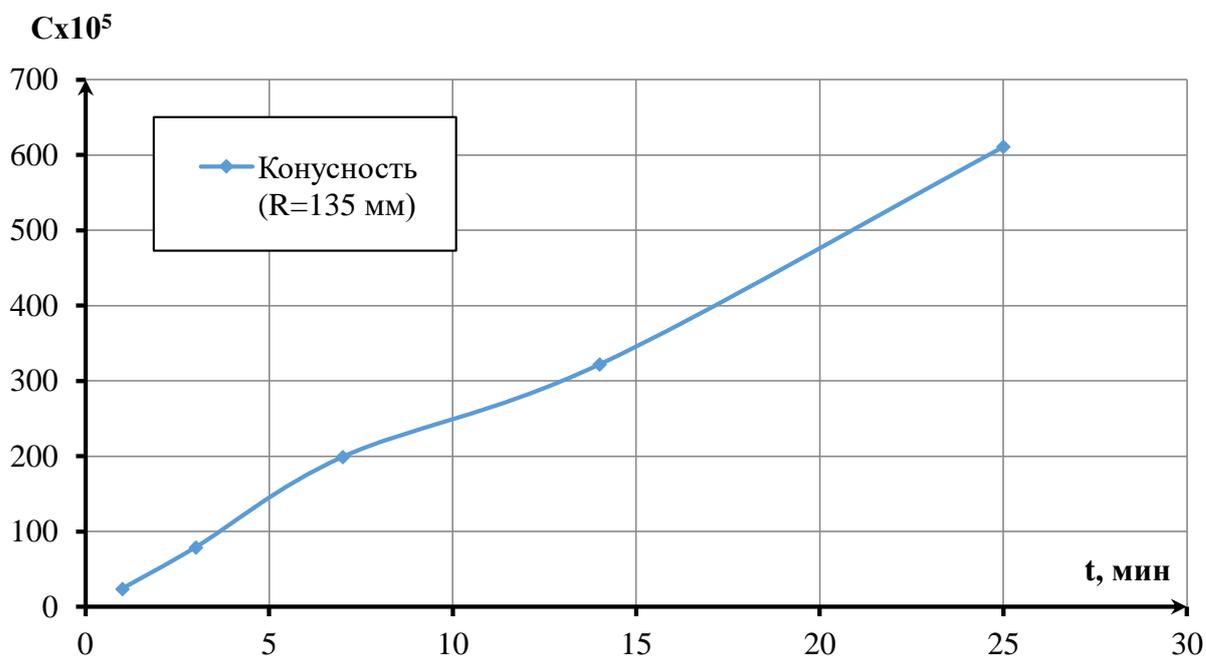


Рисунок 2.25 – График зависимости на R135 конусности от времени обработки

График зависимости изменения шероховатости от погружения в абразивную среду представлен на Рисунке 2.26.

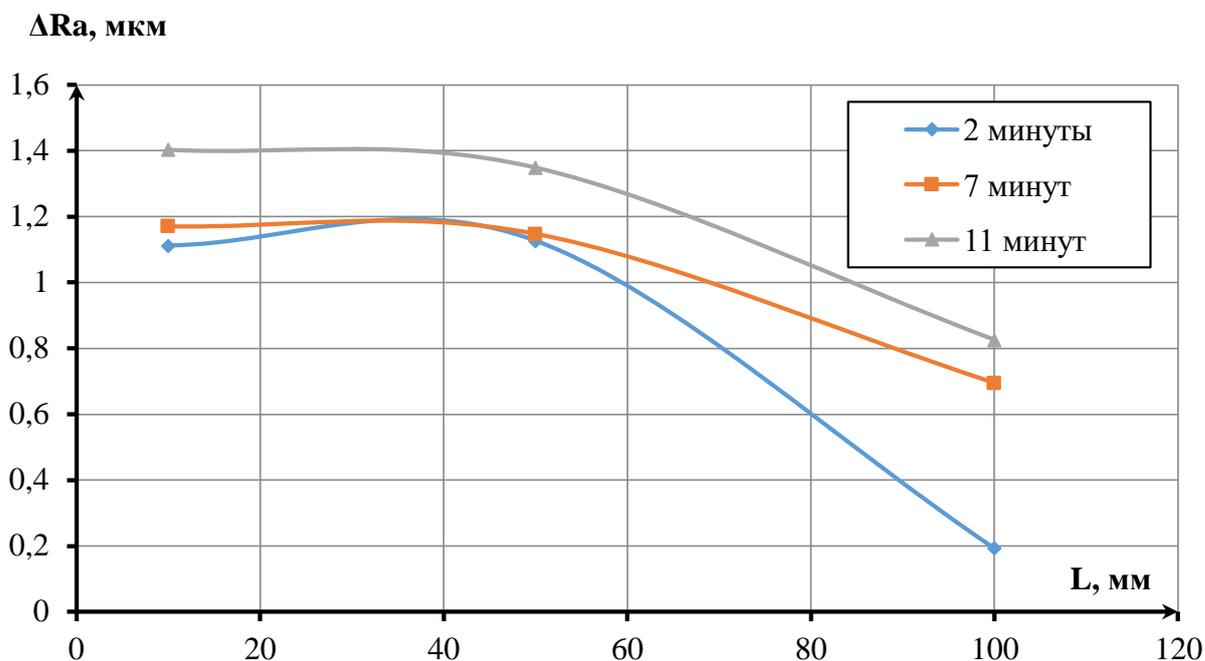


Рисунок 2.26 – График зависимости изменения шероховатости на R135 от погружения в абразивную среду

Далее графики на R170 мм под углом от вертикальной оси контейнера. График зависимости изменения диаметра от глубины погружения на Рисунке 2.27. Изменение диаметра незначительно снизилось по сравнению с обработкой на R135 мм.

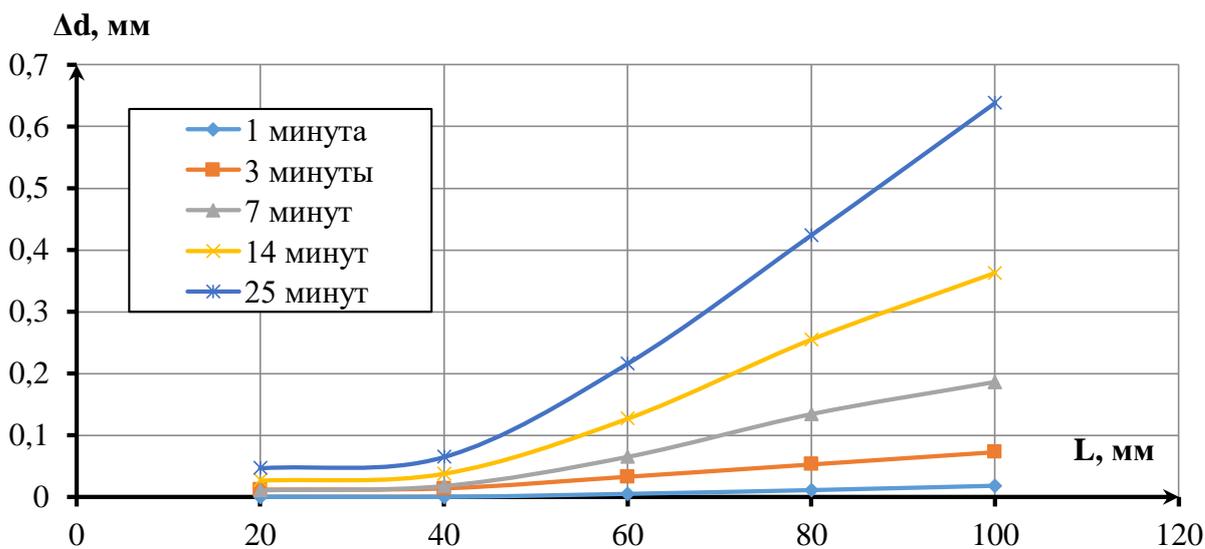


Рисунок 2.27 – График зависимости на R170 мм изменения диаметра от глубины погружения

График зависимости конусности от времени на Рисунке 2.28.

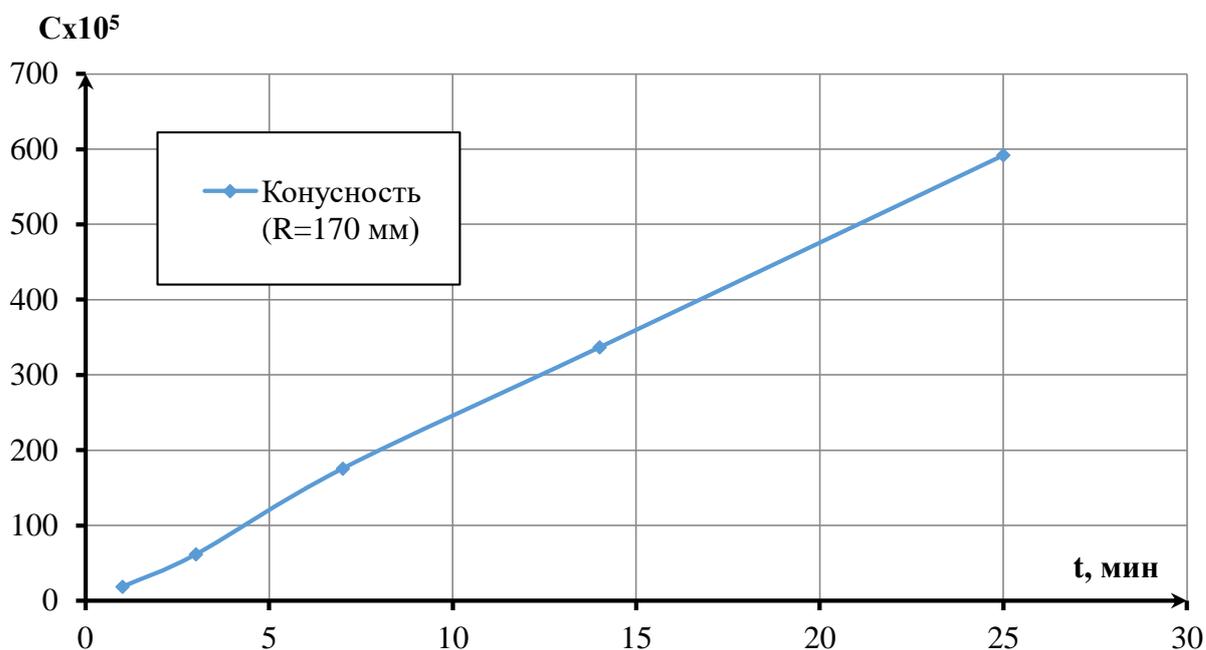


Рисунок 2.28 – График зависимости на R170 конусности от времени обработки

График зависимости изменения шероховатости от погружения в абразивную среду представлен на Рисунке 2.29.

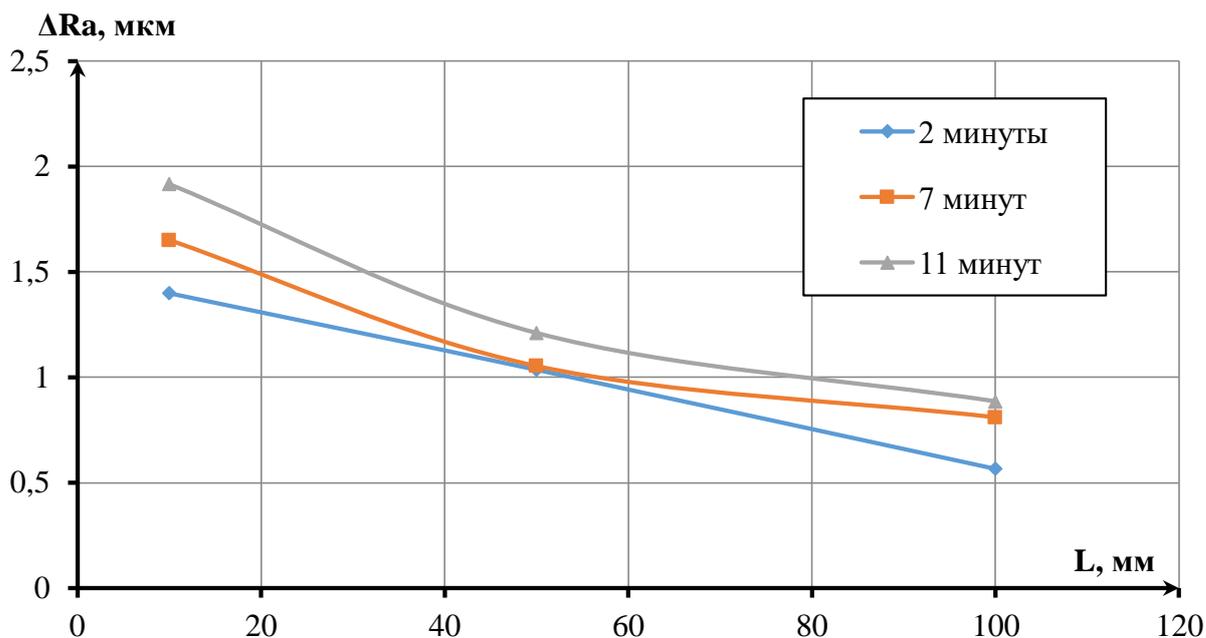


Рисунок 2.29 – График зависимости изменения шероховатости на R170 от погружения в абразивную среду

Результаты обработки на скорости 4000 об/мин дали результаты близкие к результатам, полученным при вращении заготовки на скорости 3000 об/мин.

## 2.4 Обработка стальных цилиндров для формирования технологии обработки корпусов сверл

В качестве образцов для данного опыта использовались цилиндры из стали марки 40Х твердостью 174-217 НВ и исходной шероховатостью  $Ra=1...1.2$  мкм. Габаритные размеры: диаметр  $16^{+0.02}$  мм, длина  $105\pm 0,1$  мм. Фото образца представлена на Рисунке 2.30.



Рисунок 2.30 – Образец для исследования из стали 40Х

Выбранная пара «электрокорунд/Сталь 40Х» была взята для сравнения параметров обрабатываемости по сравнению с алюминиевым сплавом Д16Т, также происходил сбор данных по величине интенсивности износа и отслеживания изменения размеров/шероховатости. Обработка стальных образцов происходила строго вертикально, так как опыт на алюминиевых цилиндрах показал, что обработка под углом к вертикальной оси контейнера с абразивом дает численно очень близкие показатели по изменению диаметра и шероховатости поверхности. Варьируемые параметры опыта №3 показаны в *Таблице 2.4.*

Таблица 2.4

Радиус R, мм	Обороты шпинделя n, об/мин
100	4500
135	
170	

Схема обработки, оборудование, инструменты для измерений и схема контроля полностью аналогичны параметрам опыта № 2.

### **Результаты эксперимента со стальными цилиндрами**

В результате проделанной работы по опыту №3, были построены графики зависимости изменения диаметра детали от длины погружения в абразив, зависимости конусности от времени обработки и зависимость шероховатости поверхности. Из графиков можно увидеть, что изменение диаметра детали по длине, также как и на алюминиевых цилиндрах, неравномерно и возрастает по мере длины погружения ее в абразивную среду, о чем свидетельствует характерные графики конусности деталей после обработки. Но так как сталь по обрабатываемости хуже, то значения изменений диаметра и шероховатости поверхности значительно ниже. На Рисунке 2.30 представлен график зависимости изменения диаметра от глубины погружения детали с течением времени на радиусе R100 мм от оси контейнера.

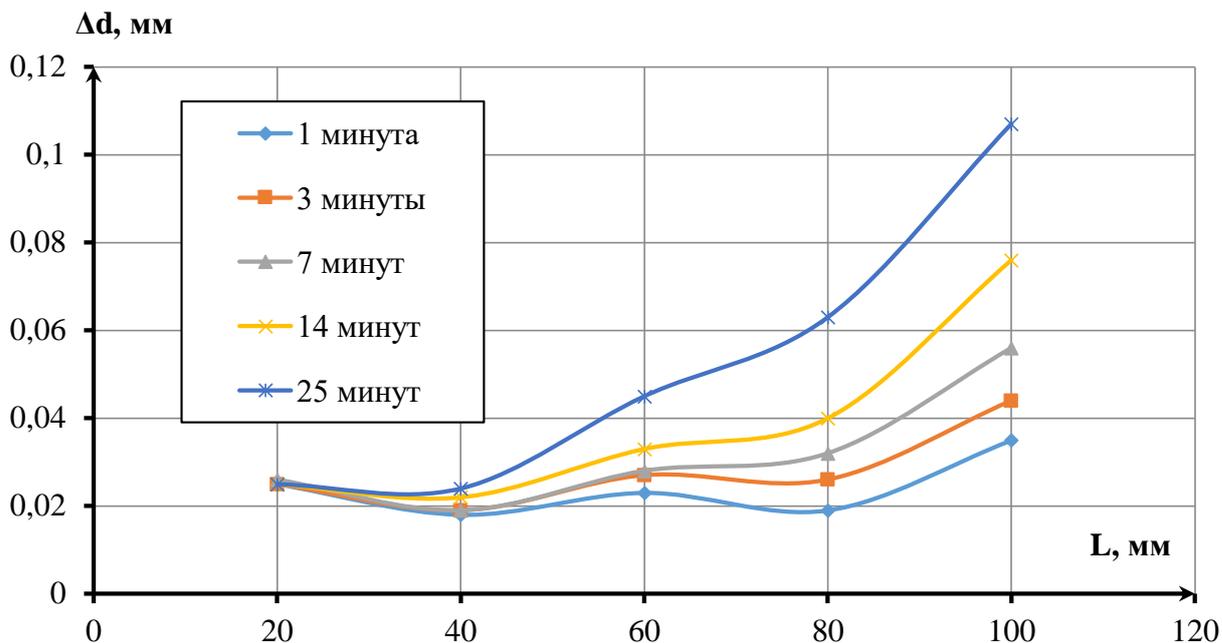


Рисунок 2.30 – График зависимости на R100 мм изменения диаметра от глубины погружения

График зависимости конусности от времени на Рисунке 2.31.

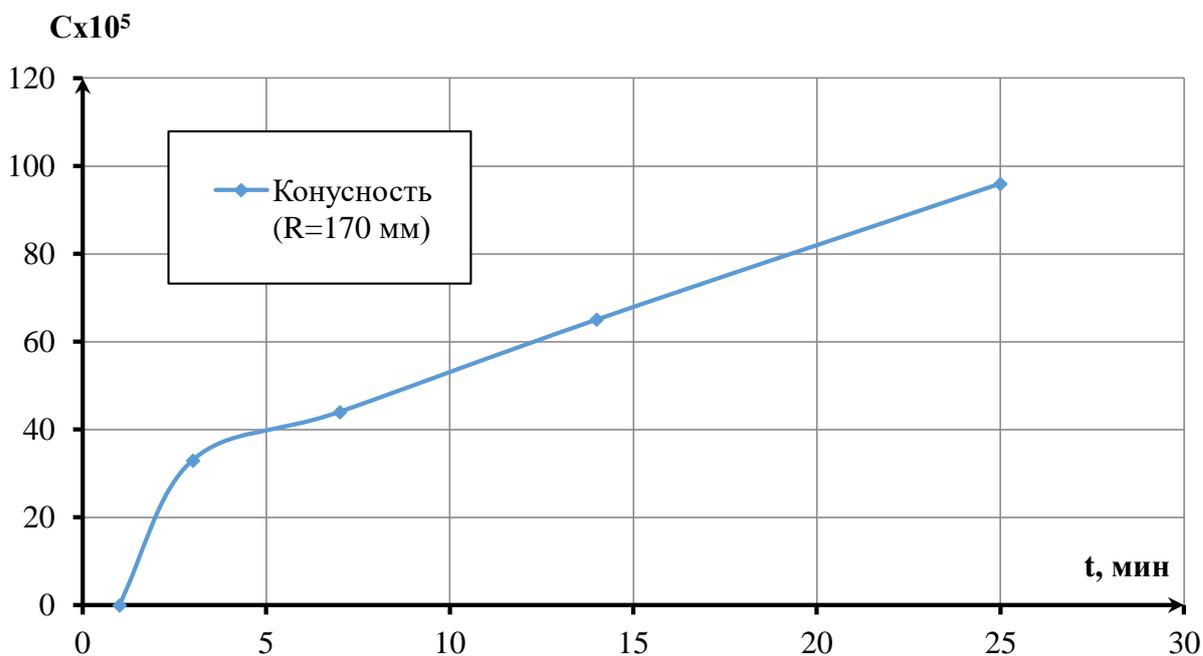


Рисунок 2.31 – График зависимости на R100 конусности от времени обработки

График зависимости изменения шероховатости на R100 от погружения в абразивную среду представлен на Рисунке 2.32.

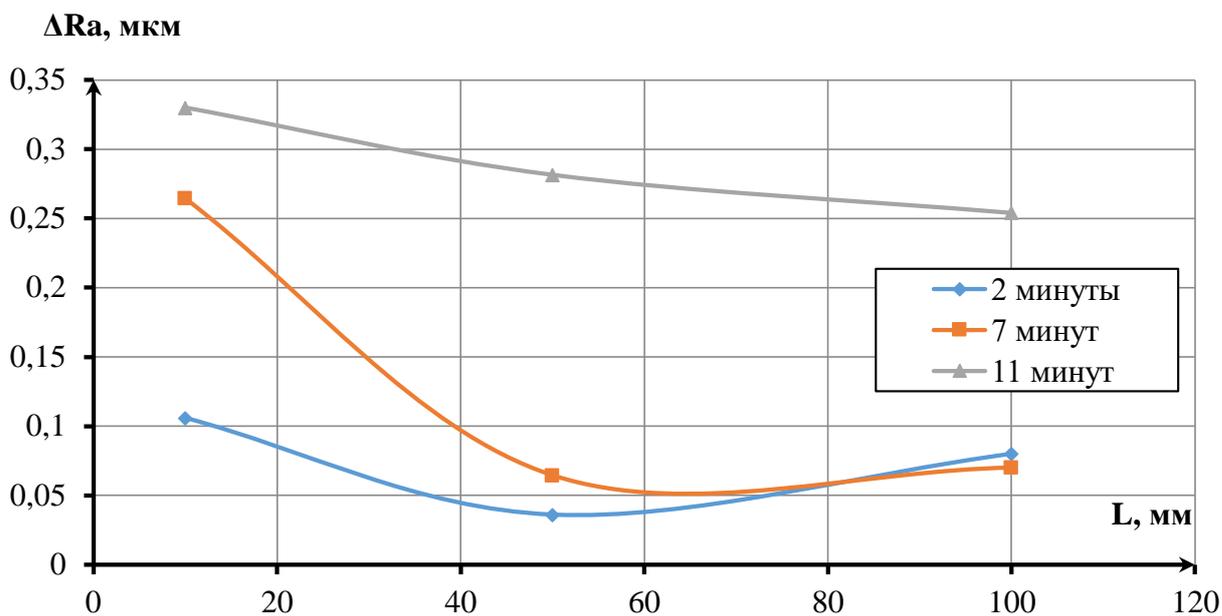


Рисунок 2.32 – График зависимости изменения шероховатости на R100 от погружения в абразивную среду

Далее графики на R135 для стального образца. График зависимости изменения диаметра от глубины погружения на Рисунке 2.33.

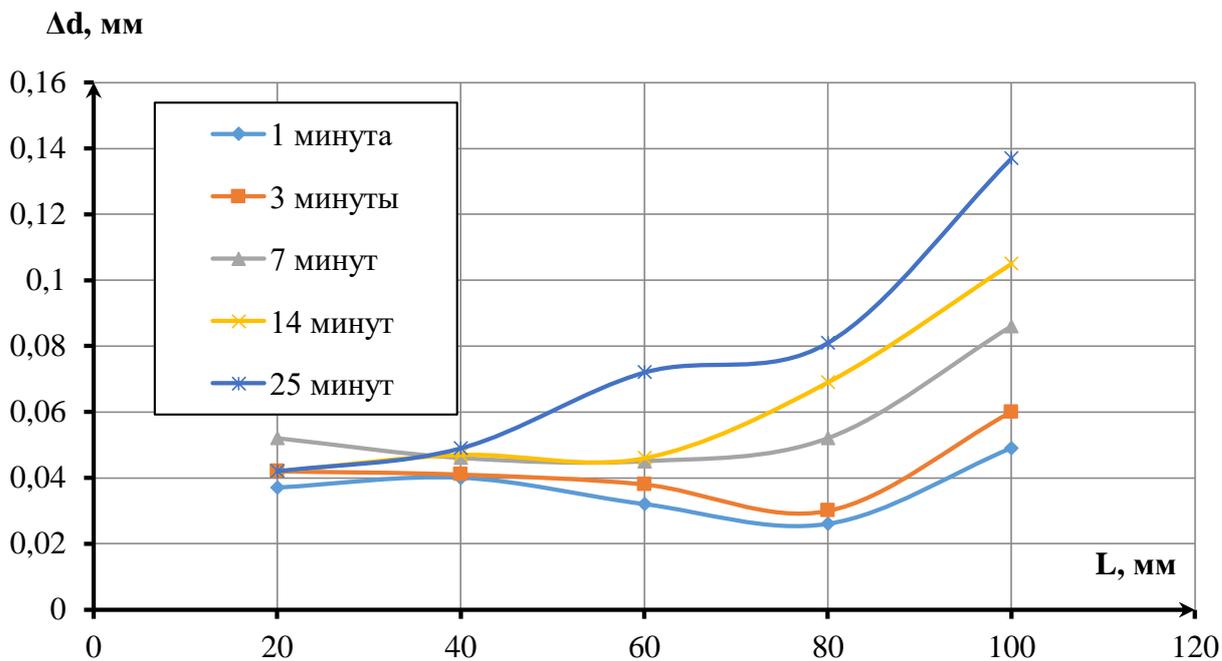


Рисунок 2.33 – График зависимости на R100 мм изменения диаметра от глубины погружения

График зависимости конусности на R135 мм от времени на Рисунке 2.1.

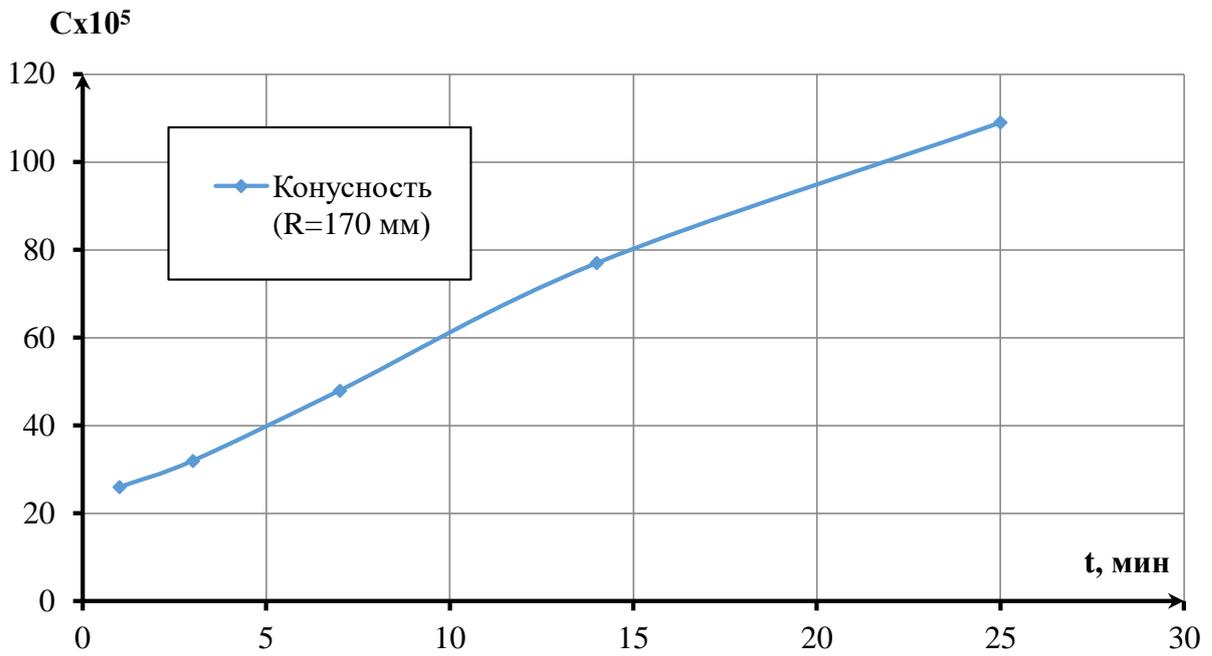


Рисунок 2.34 – График зависимости на R135 конусности от времени обработки

График зависимости изменения шероховатости на R135 от погружения в абразивную среду представлен на Рисунке 2.35.

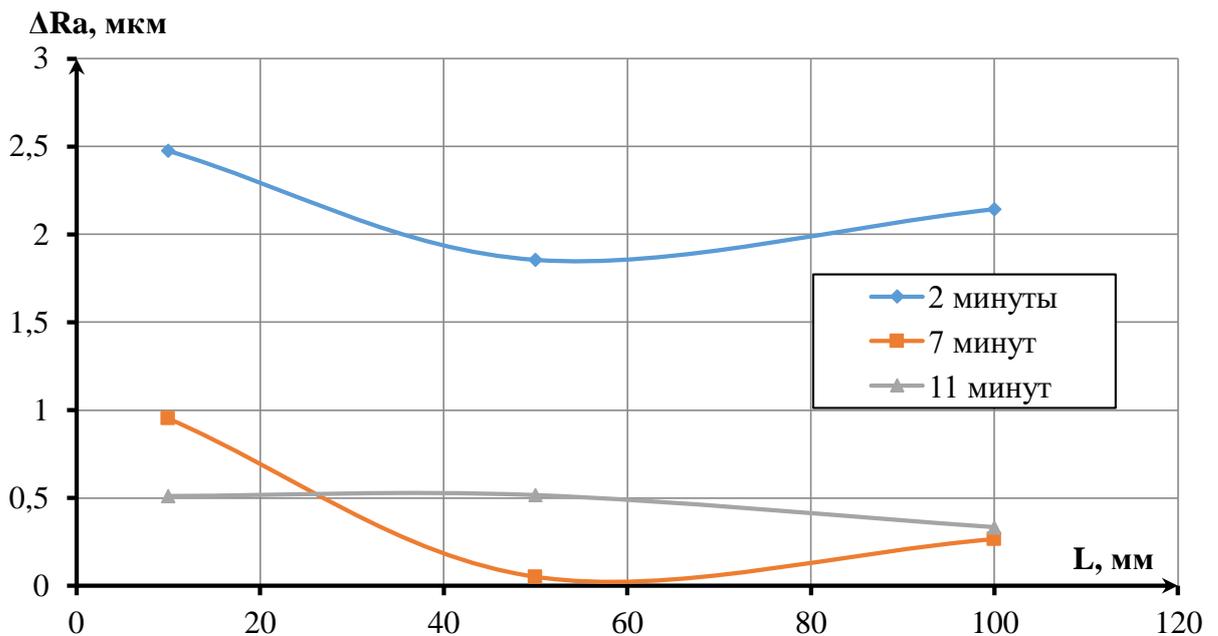


Рисунок 2.35 – График зависимости изменения шероховатости на R135 от погружения в абразивную среду

Далее графики на R170 для стального образца. График зависимости изменения диаметра от глубины погружения на Рисунке 2.36.

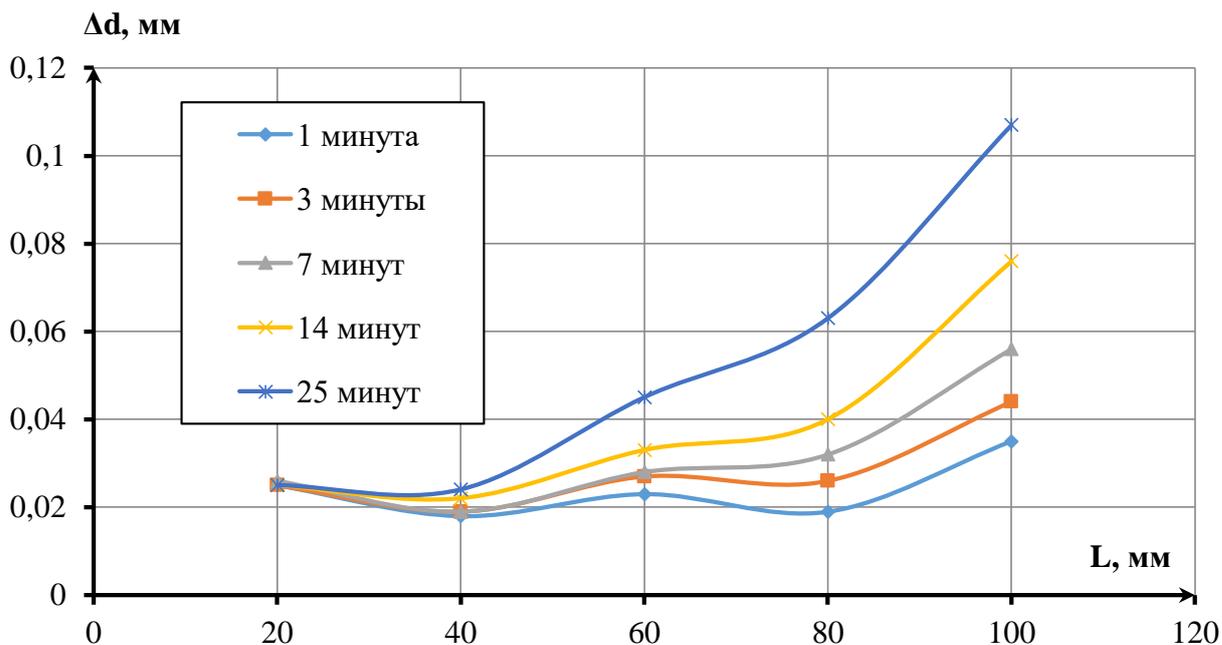


Рисунок 2.36 – График зависимости на R170 мм изменения диаметра от глубины погружения

График зависимости конусности на R170 мм от времени на Рисунке 2.37.

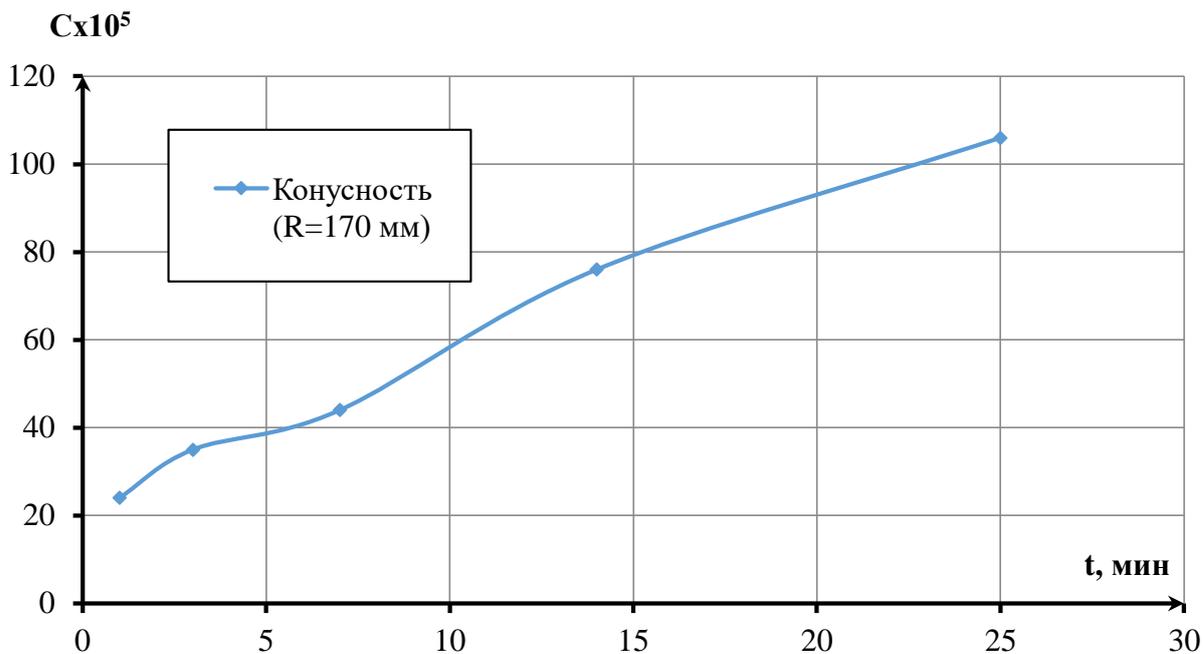


Рисунок 2.37 – График зависимости на R135 конусности от времени обработки

График зависимости изменения шероховатости на R170 от погружения в абразивную среду представлен на Рисунке 2.38.

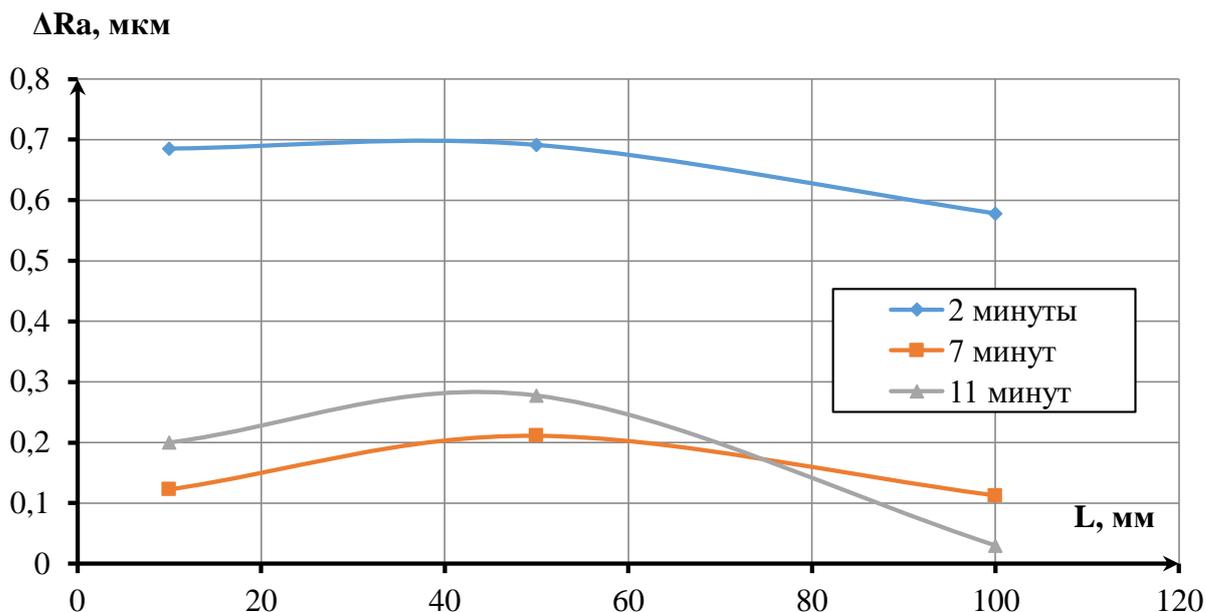


Рисунок 2.38 – График зависимости изменения шероховатости на R170 от погружения в абразивную среду

### Выводы по проделанной работе

В результате проделанной работы:

1. установлено влияние глубины погружения образцов типа тела вращения на неравномерность съема материала во время обработки по центробежно-ротационной кинематике. Первый подготовительный эксперимент показал, что для проведения основных экспериментов с конструкционными материалами на различных радиусах отдаления от вертикальной оси контейнера с абразивом необходимо выбрать частоту вращения менее 80 об/мин, так как при оборотах свыше 80 об/мин происходит смещение, образованного абразивными зернами поверхностного слоя к стенкам контейнера за счет центробежной силы. Это явление создает недостаточное давление в зоне обработки вблизи оси вращающегося контейнера, в то время как у стенок будет избыточное давление, которое начнет выбрасывать абразив за его пределы. Для смеси HSC100 и карбида кремния допустимая скорость составила 110 об/мин вращения контейнера,

для гранулята грецкого ореха 120 об/мин. По результатам эксперимента построен график зависимости высоты подъема у стенки контейнера от частоты вращения контейнера, по которому можно заключить о том, что чем легче абразивные частицы, тем больше они смещаются к стенкам. Поэтому, чтобы исключить влияние смещения абразивных частиц во время обработки и интенсифицировать процесс обработки цилиндров в качестве абразива была выбрана смесь электрокорунда белого и нормального в соотношении по массе 1:1. Плотность такой смеси составляет 3900 кг/м<sup>3</sup>.

2. при обработке и измерении алюминиевых цилиндров были выявлены зависимости изменения диаметра от глубины погружения в абразив, изменения конусности от времени обработки и изменения шероховатости по параметру Ra от глубины погружения. Изменение диаметра по мере погружения в абразивную среду увеличивается и на максимальной глубине принимает максимальные значения. На длине 100 мм от верхнего уровня погружения изменение размера составило от 0,6 до 0,8 мм. Об этом также свидетельствуют графики, по которым определяется конусность. Это можно объяснить тем, что давление зерна, действующее на поверхность цилиндра, распределяется неравномерно относительно глубины погружения по осям Z и X

3. по второй части эксперимента, где обработка осуществлялась при угле наклона  $\alpha=20^\circ$  по оси OY, результаты численно очень близкие как по конусности, так и по изменению диаметра образцов и имеют значения  $0,7\pm 0,05$  мм.

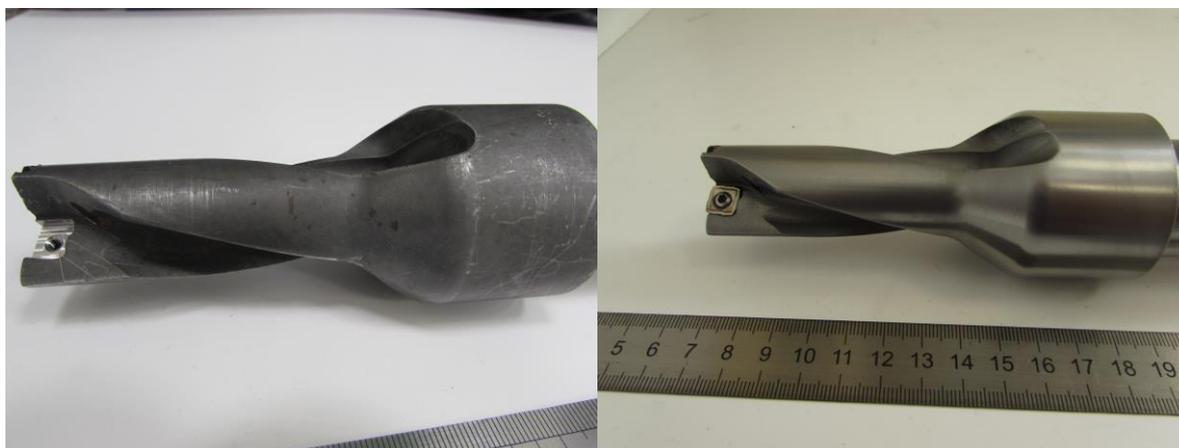
4. что касается изменения радиуса обработки относительно вертикальной оси контейнера, то здесь наблюдаем увеличение изменения диаметра примерно в 2 раза R100 от R135 мм и незначительное снижение изменения диаметра на R170 от R135 мм.

5. значения параметра Ra по мере погружения в абразив непропорционально уменьшаются, но по отношению к исходной шероховатости увеличиваются в 2 раза до значений 0,8...0,9 мкм. Это может

быть объяснено высокой зернистостью абразива. После 11 минут обработки изменения значений шероховатости происходит только в пределах 0,05...0,1 мкм.

6. показано, что закономерности обработки при одинаковых условиях для конструкционной стали 40Х и алюминиевого сплава Д16Т одинаковы. Изменение диаметра и конусности для стали 40Х идет менее интенсивно, чем для алюминия. Изменение шероховатости происходит для алюминиевых и стальных образцов аналогичным образом.

7. предложена рациональная технология обработки осевых режущих инструментов с СМП из твердого сплава, корпус которых сделан из конструкционной закаленной и «сырой» стали 40Х. Для интенсификации процесса и уменьшения времени предлагается вести обработку на радиусе R170 мм от вертикальной оси контейнера. Для максимального снижения шероховатости необходимое время обработки должно составлять не более 10-11 минут(см. Рисунок 2.38). Дальнейшая обработка не приводит к изменению шероховатости. Результаты обработки корпусов сверл из закаленной (а) и «сырой»(б) конструкционной стали 40Х показаны на Рисунке 2.39. Изменения диаметра на корпусах сверл находится в допуске, который составляет 0,02 мм.



ДО

а)

ПОСЛЕ



ДО

б)

ПОСЛЕ

Рисунок 2.39 – Результаты обработки корпусов сверл ДО и ПОСЛЕ для закаленной стали 40Х (а) и «сырой» (б)

Технология обработки в среде свободного абразивного зерна на высоких скоростях и по предложенной схеме мало изучена, но в условиях современного машиностроительного производства может обеспечить автоматизацию и увеличить производительность процесса обработки изделий на финишных операциях. Особое внимание необходимо уделять корректному выбору технологической среды для обработки изделий, а также режимов. Данная технология финишной обработки имеет возможности высокой гибкости и при необходимости может выполнять различные производственные задачи, такие как слесарные операции (удаление заусенцев, зачистка и снятие дефектного слоя), размерная обработка с контролируемым съёмом, доводка, получение нужных параметров качества поверхностного слоя и др. Это поможет значительно снизить производственные площади обрабатывающих цехов, штат сотрудников слесарного участка, затраты на оборудование и операции. Перспективность и дальнейшее развитие данной роботизированной технологии заключается в последовательном решении спектра задач: 1) изучение процесса обработки с применением различных режимов и пар «обрабатываемый/абразивный материалы», подбор зернистости и обеспечение влажной обработки; 2) введение в роботизированную финишную обработку различных траекторий движения заготовки для обеспечения равномерности съёма материала и формирования

требуемой шероховатости; 3) создание математических моделей динамического воздействия абразивной среды на поверхность детали для возможности прогнозирования и управления процессом обработки [18].

### Глава 3. Финансовый менеджмент

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8ЛМ71	Семёнов Артём

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

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	...
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	...
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	...

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

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	...
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	...
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	...
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	...

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

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ
2. Сегментирование рынка
3. Оценка конкурентоспособности технических решений
4. Диаграмма FAST
5. Матрица SWOT
6. График проведения и бюджет НТИ
7. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ

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

#### Задание выдал консультант:

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Конотопский Юрий Владимирович	К.Э.Н.		

#### Задание принял к исполнению студент:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
8ЛМ71	Семёнов Артём		

### 3.1 Организация и планирование работ

Цель раздела – комплексное описание и анализ финансово-экономических аспектов выполненной работы.

При организации процесса реализации конкретного проекта необходимо рационально планировать занятость каждого из его участников и сроки проведения отдельных работ. В данном пункте составлен полный перечень проводимых работ по исследованию сухой центробежно-ротационной обработки в среде свободного абразива с применением промышленного робота-манипулятора [19].

Перечень работ и продолжительность их выполнения приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1.

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	НР – 100%
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	НР – 100% И – 20%
Поиск и анализ литературы по тематике	НР, И	НР – 20% И – 100%
Обсуждение литературы	НР, И	НР – 30% И – 100%
Планирование экспериментов	НР, И	НР – 100% И – 40%
Подготовка к экспериментам	НР, И	НР – 40%

		И – 100%
Проведение предварительных экспериментов	И	НР – 10% И – 100%
Анализ полученных данных	НР, И	НР – 80% И – 100%
Проведение основных экспериментов	НР, И	НР – 20% И – 100%
Анализ полученных данных	НР, И	НР – 80% И – 100%
Вывод по проведенной работе	НР, И	НР – 60% И – 100%
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	И – 100%
Оформление графического материала	И	И – 100%
Подведение итогов	НР, И	НР – 60% И – 100%

### 3.2 Продолжительность этапов работ

Определения вероятных (ожидаемых) значений продолжительности работ:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5},$$

где  $t_{min}$  – минимальная продолжительность работы, дн.;

$t_{max}$  – максимальная продолжительность работы, дн.;

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести ее в календарные дни. Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ( $T_{РД}$ ) ведется по формуле:

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д},$$

где  $t_{ож}$  – продолжительность работы, дн.;

$K_{ВН}$  – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей, в частности, возможно  $K_{ВН} = 1$ ;

$K_{Д}$  – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ ( $K_{Д} = 1-1,2$ ; в этих границах конкретное значение принимает сам исполнитель).

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{КД} = T_{РД} \cdot T_{К},$$

где  $T_{КД}$  – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

$T_{К}$  – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях, и рассчитываемый по формуле:

$$T_{К} = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}},$$

где  $T_{КАЛ}$  – календарные дни ( $T_{КАЛ} = 365$ );

$T_{ВД}$  – выходные дни ( $T_{ВД} = 52$ );

$T_{ПД}$  – праздничные дни ( $T_{ПД} = 10$ ).

$$T_k = \frac{365}{365 - 52 - 10} = 1,205$$

Таблица 3.2

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Труд-сть работ по исполнителям чел.-дн.			
		t <sub>min</sub>	t <sub>max</sub>	t <sub>ож</sub>	T <sub>рд</sub>		T <sub>кд</sub>	
					НР	И	НР	И
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	2	4	2,8	3,36	-	4,05	-
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	1	3	2,8	1,8	0,36	2,6	0,52
Поиск и анализ литературы по тематике	НР, И	10	15	12	2,88	14,4	3,47	17,35
Обсуждение литературы	НР, И	2	5	3,2	1,15	3,85	1,39	4,63
Планирование экспериментов	НР, И	5	10	7	8,4	3,36	10,12	4,05

Подготовка к эксперименту	НР, И	3	5	3,8	1,82	4,56	2,2	5,5
Проведение предварительных экспериментов	НР, И	2	4	2,8	0,336	3,36	0,4	4,05
Анализ полученных данных	НР, И	2	5	3,2	3,07	3,84	3,7	4,63
Проведение основных экспериментов	НР, И	3	6	4,2	1	5,04	1,2	6,07
Анализ полученных данных	НР, И	2	5	3,2	3,07	3,84	3,7	4,63
Вывод по проведенной работе	НР, И	5	10	7	5,04	8,4	6,07	10,12
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	15	22	17,8	-	21,36	-	25,74

Оформление графического материала	И	15	22	17,8	-	21,36	-	25,74
Подведение итогов	НР, И	5	10	7	5,04	8,4	6,07	10,12
Итого:					<b>36,97</b>	<b>102,13</b>	<b>44,97</b>	<b>123,15</b>

Таблица 3.3. Линейный график работ.

Этап	НР	И	Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь	
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
1	4,05	-	■													
2	2,6	0,52	■													
3	3,47	17,35		■	■											
4	1,39	4,63			■											
5	10,1	4,05				■	■									
6	2,2	5,5					■									
7	0,4	4,05						■								
8	3,7	4,63							■							
9	1,2	6,07								■						
10	3,7	4,63									■					
11	6,07	10,12										■	■			
12	-	25,74												■	■	■
13	-	25,74														■
14	6,07	10,12														■

НР - ■

И - ■

### **3.3 Расчет сметы затрат на выполнение проекта**

В состав затрат на создание проекта включается величина всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости ее выполнения производится по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию (без освещения);
- амортизационные отчисления;
- командировочные расходы;
- оплата услуг связи;
- арендная плата за пользование имуществом;
- прочие услуги (сторонних организаций);
- прочие (накладные расходы) расходы.

#### **3.3.1 Расчет затрат на материалы**

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ над объектом проектирования. Сюда же относятся специально приобретенное оборудование, инструменты и прочие объекты, относимые к основным средствам, стоимостью до 40 000 руб. включительно. Цена материальных ресурсов определяется по соответствующим ценникам или договорам поставки. Кроме того статья включает так называемые транспортно-заготовительные расходы, связанные с транспортировкой от поставщика к потребителю, хранением и прочими процессами, обеспечивающими движение (доставку) материальных ресурсов

от поставщиков к потребителю. Сюда же включаются расходы на совершение сделки купли-продажи (т.н. транзакции). Приблизительно они оцениваются в процентах к отпускной цене закупаемых материалов, как правило, это 5 - 20 %.

Таблица 3.4

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
Смесь электрокорунда	3600	1	3600
Трехкулачковый патрон 100 мм	6550	1	6550
Алюминиевые образцы	285	6	1710
Стальные образцы	238	6	1428
Бумага для принтера формата А4	190	1 уп.	190
Итого:			13478

Допустим, что ТЗР составляют 5% от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТЗР равны

$$C_{\text{мат}} = 13478 \cdot 1,05 = 14152.$$

### 3.3.2 Расчет заработной платы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера (в его роли выступает исполнитель проекта), а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя.

Среднедневная тарифная заработная плата ( $ЗП_{дн-т}$ ) рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{дн-т} = \frac{МО}{25,083}$$

Таблица 3.5

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./раб.день	Затраты времени, раб.дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	33 664	1342,09	37	1,699	84367,80
И	15 470	616,75	102	1,699	106881,54
Итого:					191249,34

### 3.3.3 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту, т.е.  $C_{соц} = C_{зп} \cdot 0,3$ .

$$C_{\text{соц}} = 231496,06 \cdot 0,3 = 57374,80 \text{ руб.}$$

### 3.3.4 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле:

$$C_{\text{эл. об.}} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \cdot Ц_{\text{Э}},$$

где  $P_{\text{об}}$  – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$Ц_{\text{Э}}$  – тариф на 1 кВт·час;

$t_{\text{об}}$  – время работы оборудования, час.

Для ТПУ  $Ц_{\text{Э}} = 5,748 \text{ руб./кВт·час}$  (с НДС).

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы 5.2 для инженера/оператора станка ( $T_{\text{рд}}$ ) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

$$t_{\text{об}} = T_{\text{рд}} \cdot K_t,$$

где  $K_t \leq 1$  – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к  $T_{\text{рд}}$ , определяется исполнителем самостоятельно. В ряде случаев возможно определение  $t_{\text{об}}$  путем прямого учета, особенно при ограниченном использовании соответствующего оборудования. Для станка с ЧПУ во время проведения экспериментов примем  $K_t = 0,8$ ; для микроскопа  $K_t = 0,3$ .

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{\text{об}} = P_{\text{ном.}} \cdot K_c,$$

где  $P_{\text{ном.}}$  – номинальная мощность оборудования, кВт;

$K_c \leq 1$  – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности. Для технологического оборудования малой мощности  $K_c = 1$ .

Таблица 3.6

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{об}$ , час	Потребляемая мощность $P_{об}$ , кВт	Затраты на электроэнергию $C_{эл. об.}$ , руб.
ПК	616	1	3540,77
Промышленный робот KukaKR120 2500R	12,8	4,5	331,10
Профилометр Mitutoyo SJ 210	8	0,05	2,30
Итого:			3873,40

### 3.3.5 Расчет амортизационных расходов

В статье «Амортизационные отчисления» рассчитывается амортизация используемого оборудования за время выполнения проекта.

Используется формула:

$$C_{ам} = \frac{N_A \cdot C_{об} \cdot t_{рф} \cdot n}{F_D},$$

где  $N_A$  – годовая норма амортизации единицы оборудования;

$C_{об}$  – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР. При невозможности получить соответствующие данные из бухгалтерии она может

быть заменена действующей ценой, содержащейся в ценниках, прейскурантах и т.п.;

$F_D$  – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования, берется из специальных справочников или фактического режима его использования в текущем календарном году. При этом второй вариант позволяет получить более объективную оценку  $C_{ам}$ . Например, для ПК в 2019 г. (298 рабочих дней при шестидневной рабочей неделе) можно принять  $C_{ам} = 298 \cdot 8 = 2384$  часа;

$t_{рф}$  – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, учитывается исполнителем проекта;

$n$  – число задействованных однотипных единиц оборудования.

Таблица 3.7

Наименование оборудования	Стоимость $C_{об}$ , руб.	Время работы оборудования $t_{рф}$ , час	$H_A$	$F_D$	Амортизационные расходы $C_{ам}$ , руб.
ПК	30 000	616	0,4	2384	3100,67
Промышленный робот KukaKR120 2500R	4918800	12,8	0,1	1976	3186,27
Профилометр Mitutoyo SJ 210	234000	8	0,2	1976	189,47
Итого:					6476,41

### 3.3.6 Расчет расходов, учитываемых непосредственно на основе платежных (расчетных) документов (кроме суточных)

Сюда относятся:

- командировочные расходы, в т.ч. расходы по оплате суточных, транспортные расходы, компенсация стоимости жилья;
- арендная плата за пользование имуществом;
- оплата услуг связи;
- услуги сторонних организаций.

Норма оплаты суточных – 100 руб./день.

Участие в международной конференции «Актуальные проблемы в машиностроении 2018» в городе Новосибирск.

Таблица 3.8

Проезд на автобусе туда и обратно	1400 рублей
Суточные (1 сут.)	100 рублей
Итого	1500 рублей

### 3.3.7 Расчет прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов, т.е.

$$C_{\text{проч}} = (C_{\text{мат}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{эл.об}} + C_{\text{ам}} + C_{\text{нр}}) \cdot 0,1$$

Для данной работы это:

$$\begin{aligned} C_{\text{проч}} &= (14152 + 191249,34 + 57374,80 + 3873,40 + 6476,41 + 1500) \cdot 0,1 \\ &= 27462,60 \text{ руб.} \end{aligned}$$

### 3.4 Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта.

Таблица 3.9

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{mat}$	14152
Основная заработная плата	$C_{зн}$	191249,34
Отчисления в социальные фонды	$C_{соц}$	57374,80
Расходы на электроэнергию	$C_{эл.об}$	3873,40
Амортизационные отчисления	$C_{ам}$	6476,41
Непосредственно учитываемые расходы	$C_{нр}$	1500
Прочие расходы	$C_{проч}$	27462,60
Итого:		302088,54

Таким образом, затраты на исследование составили  $C = 302088,54$  руб.

### 3.5 Расчет прибыли

Прибыль от реализации проекта в зависимости от конкретной ситуации (масштаб и характер получаемого результата, степень его определенности и коммерциализации, специфика целевого сегмента рынка и т.д.) может определяться различными способами. Если исполнитель работы не располагает данными для применения «сложных» методов, то прибыль

следует принять в размере 5 - 20% от полной себестоимости проекта. В данной работе она составляет 30208,85 руб. (10%) от расходов на разработку проекта.

### **3.6 Расчет НДС**

НДС составляет 20% от суммы затрат на разработку и прибыли. В нашем случае это:

$$\text{НДС} = (302088,54 + 30208,85) \cdot 0,2 = 66459,48 \text{ руб.}$$

### **3.7 Цена разработки НИР**

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС:

$$C_{\text{НИР}} = 302088,54 + 30208,85 + 66459,48 = 398756,87 \text{ руб.}$$

### **3.8 Оценка экономической эффективности проекта**

Актуальным аспектом качества выполненного проекта является экономическая эффективность его реализации, т.е. соотношение обусловленного ей экономического результата (эффекта) и затрат на разработку проекта.

Качественный анализ позволяет радикально ограничить круг перспективных проектов, но зачастую его недостаточно для формирования окончательного множества, подлежащего реализации. В этом случае он дополняется количественным анализом, предполагающим использование ряда расчетных показателей, позволяющих в итоге проранжировать оставшиеся проекты с точки зрения их экономической эффективности.

Каждый из таких показателей, представляет собой количественную модель соотнесения величины инвестиций в проект с адекватным им экономическим результатом (эффектом), при этом и те и другие могут носить распределенный в календарном времени характер.

Так как на текущий момент расчет затрат на научно-исследовательскую работу носит чисто научный характер, то оценка экономической эффективности проекта невозможна.

## ГЛАВА 4. Социальная ответственность

### ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8ЛМ71	Семёнов Артём

<b>Школа</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделение</b>	<b>Материаловедения</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	15.04.01. «Машиностроение»

Тема ВКР:

Исследование применения промышленных роботов для центробежно-ротационной обработки в свободном абразиве	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования: Роботизированная центробежно-ротационная обработка. Рабочее место: Лаборатория промышленной робототехники НИ ТПУ. Область применения: общее машиностроение
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> - специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	1. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019) 2. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. 3. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
<b>2. Производственная безопасность</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	1. Отклонение показателей микроклимата 2. Превышение уровня шума 3. Недостаточная освещенность рабочей зоны 4. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	Анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы) и литосферу (отходы).

<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Возможное ЧС на рабочей зоне в данном случае, может быть возникновение пожара.
--	--

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Старший преподаватель	Романова С.В.			

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
8ЛМ71	Семёнов А.		

## Введение

Для современного машиностроения все чаще возникает потребность в высокоэффективных финишных операциях без применения живой рабочей силы. Такие операции применяются для удаления заусенцев после механических операций, снижения высоты неровностей поверхностей деталей и для создания благоприятных остаточных напряжений сжатия.

В настоящий момент, к сожалению, ручная финишная обработка преобладает на машиностроительных операциях. Но, так как прогресс не стоит на месте, для интенсификации и автоматизации процесса разработана масса решений, позволяющих решить многие производственные задачи. Такие решения не подходят всех производств и в большинстве своем имеют индивидуальный, реже серийный характер, так как являются дорогостоящими и подходят не для всех форм и материалов машиностроительных изделий. Например, для тел вращения наиболее перспективными направлениями финишной обработки с возможностью автоматизации процесса являются: круглое шлифование с ЧПУ, ленточное шлифование и полирование с применением промышленных манипуляторов, различные виды галтовки, обработка уплотненным абразивом, центробежно-ротационная обработка в среде свободного абразива и др.

При выполнении выпускной квалификационной работы проводились исследования по шпиндельной центробежной кинематике, которая обладает следующими преимуществами: простота и дешевизна оборудования, высокая технологичность и эффективность, возможность глубокой модернизации и автоматизации.

Работа инженера-технолога связана с большими нагрузками как умственными, так и психологическими. Длительная работа в плохо-вентилируемом помещении, с высоким уровнем шума, нестабильной температурой и влажностью воздуха, а также недостаточным уровнем освещения неблагоприятно сказывается на самочувствии инженера, следствием чего может явиться снижение производительности труда.

Основным рабочим местом при написании ВКР служила Лаборатория промышленной робототехники НИ ТПУ. В ходе выполнения ВКР основная часть работы производилась за компьютерной техникой и во фрезерной ячейке лаборатории, что влечет за собой ряд вредных и опасных факторов. Данный раздел ВКР посвящается анализу факторов, негативно влияющих на инженера. На основе действующих нормативных документов будут приведены рекомендации по минимизации данного вредного влияния.

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

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

Согласно статье 91 Трудового кодекса Российской Федерации от 30 декабря 2001 г. N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019) рабочее время рассматривается, как время, в течение которого работник в соответствии с правилами внутреннего трудового распорядка и условиями трудового договора должен исполнять трудовые обязанности. Нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю [1].

Защита персональных данных работника регламентируется статьями 86-90 Трудового кодекса Российской Федерации от 30 декабря 2001 г. N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019).

Сведения об оплате и нормировании труда приведены в разделе VI (ст.ст. 129 - 163) Трудового кодекса Российской Федерации от 30 декабря 2001 г. N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019). Оплата труда работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, устанавливается в повышенном размере. Минимальный размер повышения оплаты труда работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, составляет 4 процента тарифной ставки (оклада), установленной для

различных видов работ с нормальными условиями труда (статья 147 ТК РФ).

## **1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя**

Одним из факторов комфортности рабочей среды является организация рабочего места. Рабочее место должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78 [2]. Каждый день в помещениях, в которых располагаются ПК, должна проводиться влажная уборка, а также систематическое проветривание помещения.

Для интерьера помещений рекомендуется использовать материалы пастельных тонов. Окраска ПК и прилегающий к нему техники должны иметь темные цвета с высококонтрастными органами управления и надписями к ним. Аудитория, в которой проводилась работа над ВКР, имеет следующую окраску:

- потолок - белый;
- стены - сплошные, бежевого цвета;
- пол - бежевый.

Для отделки полов наиболее приемлемыми считаются гладкие, нескользящие материалы, которые имеют антисептические свойства.

При организации рабочих мест необходимо учитывать, что расстояние между боковыми поверхностями мониторов должно составлять не менее 1,2 метров, между экраном монитора и тыльной частью другого – не менее 2 метров. Высота рабочей поверхности стола для взрослых пользователей должна регулироваться в пределах 680 – 800 мм, при отсутствии такой возможности высота рабочей поверхности стола должна составлять 725 мм.

Эргономические требования к рабочим местам при выполнении работ в положении сидя приведены в [2]. Рабочее место должно быть

организовано в соответствии с требованиями стандартов, технических условий и (или) методических указаний по безопасности труда.

Работа над проектом предполагает использование компьютерной техники и промышленного робота манипулятора. Рабочие места с использованием ПЭВМ должны соответствовать требованиям СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [3].

## 2. Производственная безопасность

В данном пункте рассматриваются вредные и опасные факторы, которые могут возникать при проведении исследований.

Таблица 1 – Опасные и вредные факторы рабочей зоны.

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Подготовка	Проведение	Анализ данных	
1. Повышенная запыленность воздуха рабочей зоны	+	+		ГН 2.2.5.13-13-03
2. Отклонение показателей микроклимата	+	+		СанПиН 2.2.4-548-96
3. Превышение уровня шума	+	+		СН 2.2.4/2.1.8.562–96
4. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+			СП 52.13330.2016
5. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ

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

Вредность и опасность технологии финишной обработки в среде свободных абразивов определяется работой с мощным промышленным роботом-манипулятором и свободным абразивным зерном. При работе с промышленными манипуляторами необходимо соблюдать требования безопасной наладки и эксплуатации, прописанные в ГОСТ 12.2.072-98. При обработке в среде свободных абразивов возникает запыленность рабочей зоны, частицы которой состоят из смеси отработанных абразивных частиц и частиц обрабатываемого материала и его оксидов.

Физическим опасным фактором на рабочем месте оператора ПК и оператора промышленного робота-манипулятора является опасность поражения электрическим током и опасность удара человека от подвижных частей робота-манипулятора.

К физическим вредным факторам относятся: отклонение показателей микроклимата в помещении, повышенный уровень шума на рабочем месте, недостаточная освещенность рабочей зоны.

## **2.2 Повышенная запыленность воздуха рабочей зоны**

Так работа в лаборатории сопровождается участием робота-манипулятора и подвижных абразивных сред, которые создают повышенную запыленность, то рабочая зона должна быть специально подготовлена для проведения экспериментов. Робот-манипулятор должен находиться в специальном вентилируемом ограждении, защищающим от физического ударного воздействия на человека от подвижных частей и выделения абразивной пыли. Также зона охвата манипулятора должна быть хорошо просматриваема. Это достигается применением высокопрочных стеклопакетов либо оснащением зоны средствами видеонаблюдения. Работа по управлению робота оператором должна осуществляться за пределами ограждения посредством управляющего пульта. Также снаружи

роботизированной ячейки должна находиться красная кнопка экстренного отключения работы манипулятора [11].

Предельно допустимая концентрация пыли в воздухе рабочей зоны производственных помещений по ГН 2.2.5.13-13-03 приведены в таблице 6.

Помещение должно быть оборудовано приточно-вытяжной вентиляцией с кратность воздухообмена 5 объемов в час. Система вентиляции производственных, складских и вспомогательных помещений должна отвечать требованиям ГОСТ 12.4.021-75.

Вентиляция должна обеспечивать концентрацию пыли в воздухе рабочей зоны производственных помещений, не превышающую ПДК по ГН 2.2.5.13-13-03.

### **2.3 Отклонение показателей микроклимата в помещении**

Во время работы в помещении на человека оказывает влияние климат внутренней среды этого помещения – микроклимат.

Оптимальные микроклиматические условия установлены по критериям оптимального теплового и функционального состояния человека. Они обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей смены при минимальном напряжении механизмов терморегуляции, не вызывают отклонений в состоянии здоровья, создают предпосылки для высокого уровня работоспособности и являются предпочтительными на рабочих местах.

Допустимые микроклиматические условия установлены по критериям допустимого теплового и функционального состояния человека на период 8-часовой рабочей смены. Они не вызывают повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности.

Допустимые величины показателей микроклимата устанавливаются в случаях, когда по технологическим требованиям, техническим и экономически обоснованным причинам не могут быть обеспечены оптимальные величины.

В помещениях, предназначенных для работы с компьютерной техникой, должны соблюдаться определенные параметры микроклимата. Основными факторами, характеризующими микроклимат производственной среды, являются температура, подвижность и влажность воздуха. Для поддержания нормальных параметров микроклимата в рабочей зоне применяются устройства систем приточно-вытяжной вентиляции, кондиционирование воздуха и отопление. При нормировании метеорологических условий в производственных помещениях учитывается время года и количество избыточного тепла в помещении. На рабочих местах пользователей персональных компьютеров должны обеспечиваться оптимальные параметры микроклимата в соответствии с СанПин 2.2.4.548-96. Эти нормы устанавливаются в зависимости от времени года, характера трудового процесса и характера производственного помещения [4].

Необходимые условия микроклимата различаются для теплого и холодного времени года. Они делятся на оптимальные, обеспечивающие полный тепловой комфорт, и допустимые, которые могут приводить к некоторому дискомфорту, но находятся в пределах адаптивных возможностей человека.

Работа над ВКР проводилась в лабораторных условиях, по энергозатратам ее следует отнести к категории Ia – работа легкая физическая, производимая сидя или связанная с ходьбой, но не требующая систематического физического напряжения или поднятия и переноса тяжестей. Оптимальные и допустимые параметры микроклимата для категорий Ia на рабочем месте приведены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах помещений для категорий Ia.

Период года	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, не более, м/с
Холодный	22...24	60...40	0,1
Теплый	23...25	60...40	0,1

Таблица 3 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах помещений для категорий Ia

Период года	Температура воздуха, °С		Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
	Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин		Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин
Холодный	20...21,9	24,1...25	15...75	0,1	0,1
Теплый	21...22,9	25,1...28	15...75	0,1	0,2

Отопление корпуса водяное с применением радиаторов, что обеспечивает постоянное и равномерное нагревание воздуха в холодное время года. Для обеспечения оптимальных и допустимых показателей микроклимата в холодный период года следует применять средства защиты рабочих мест от остекленных поверхностей оконных проемов, чтобы не было охлаждения. В теплый период года необходимо предусмотреть защиту от попадания прямых солнечных лучей.

Нормы подачи свежего воздуха в помещения, где расположены компьютеры, приведены в таблице 4 [4].

Таблица 4 – Нормы подачи свежего воздуха в помещения, где расположены компьютеры

Объем помещения, м <sup>3</sup>	Объемный расход подаваемого в помещение свежего воздуха, м <sup>3</sup> /на одного человека в час
до 20	Не менее 30
20–40	Не менее 20
Более 40	Естественная вентиляция

Согласно паспорта лаборатории в помещении обеспечиваются следующие параметры: поддержание температуры на уровне 22 – 24°С; относительная влажность в помещении 40-60 %; скорость движения воздуха 0,1 м/с; данные значения поддерживаются автоматической системой кондиционирования.

#### 2.4 Повышенный уровень шума на рабочем месте

Длительное воздействие шума на организм человека приводит к неблагоприятным последствиям: снижается острота зрения и слуха, повышается кровяное давление, притупляется внимание.

Здание, в котором расположена лаборатория, удалено от сильных источников шума, таких как центральные улицы, автомобильные и железные дороги и т.д.

Шум на рабочем месте создается внутренними источниками, такими как устройства кондиционирования воздуха и другим техническим оборудованием. Уровень шума на рабочем месте пользователя персонального компьютера и оператора промышленного оператора не должен превышать значений, установленных СанПиН 2.2.4/2.1.8.562-96 (для пользователя ПК не должен превышать 50 дБ; для оператора манипулятора не более 75 дБ) [5].

Для снижения уровня шума следует применять рациональное расположение оборудования, а также средства для ослабления шума самих источников, в частности, необходимо предусмотреть применение в их конструкциях акустических экранов, звукоизолирующих кожухов. Для снижения уровня шума стены и потолок помещений, где установлено оборудование, должны быть облицованы звукопоглощающими материалами. Для стен и потолка коэффициент звукопоглощения таких материалов определяется в области частот 63-8000 Гц.

В лаборатории уровень внутренних шумов не превышает предельно допустимого значения, установленного в ГОСТ 12.1.003-2014 [6].

## **2.5 Недостаточная освещенность рабочей зоны**

К освещенности рабочего места инженера технолога предъявляются следующие требования:

- освещенность должна соответствовать характеру зрительной работы;
- величина освещенности должна быть постоянна во времени;
- должны отсутствовать пульсации светового потока ИС.

В помещениях, в которых установлены компьютеры, должно быть предусмотрено как искусственное, так и естественное освещение.

Требования, предъявляемые к освещенности, при выполнении работ высокой точности:

- общая освещенность должна составлять 300 лк,
- комбинированная освещенность – 750 лк [7].

При выполнении работ средней точности:

- общая освещенность должна составлять 200 лк,
- комбинированная освещенность – 300 лк [7].

Для обеспечения нормативных значений освещенности в помещениях следует проводить чистку стекол, оконных проемов и светильников не реже двух раз в год и проводить своевременную замену перегоревших ламп.

## **2.6 Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.**

Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока. В зависимости от индивидуальных показателей человека (масса, рост, строение тела, пол, род занятий), его физического состояния (болезнь, наличие состояния алкогольного опьянения), параметров протекающего тока (сила тока и его частота), состояния окружающей среды зависит поражающее воздействие на организм. Одним из наиболее опасных параметров являются переменный ток с частотой от 10 до 120 Гц. Наиболее безопасным напряжением для человека является до 12 В, условно безопасным до 36 В. Опасной величиной считается ток, более 1 мА, а смертельным более 100 мА [8].

Опасность поражения человека электрическим током существует во всех случаях, когда используются электрические установки и оборудование.

Для предотвращения поражения электрическим током необходимо по возможности исключить причины поражения, к которым относятся:

- случайные прикосновения к задней панели системного блока, а также переключение разъемов периферийных устройств работающего компьютера;
- появление напряжения на механических частях электрооборудования (корпусах, кожухах и т.д.) в результате повреждения изоляции или других причин;
- возникновения «шагового» напряжения на поверхности земли или опорной поверхности;

- множества сетевых фильтров и удлинителей превышают уровень электромагнитных полей токов частоты 50 Гц.

Согласно требованиям «Правил устройства электроустановок», утвержденных Госэнергонадзором от 12.04.2003, кабинет, где производится проектирование, должен быть оборудован следующим образом:

- на распределительном щитке имеется рубильник для отключения общей сети электропитания;
- во всех приборах имеются предохранители для защиты от перегрузок в общей сети питания и защиты сети при неисправности прибора.

Эксплуатация приборов должна соответствовать «Правилам технической эксплуатации» электроустановок промышленных предприятий. Согласно этим правилам необходимо исключить возможность прикосновения человека к токоведущим частям приборов. Для этого проводятся следующие мероприятия:

- Наличие изоляции на всех токоведущих проводниках;
- Для подключения приборов должны использоваться только стандартные электрические разъемы;
- При проведении работ с включенными в сеть приборами строго соблюдается инструкция по технике безопасности;
- Запрещено использование в работе неисправных приборов.

Лаборатория промышленной робототехники НИ ТПУ удовлетворяет приведенным выше требованиям, что позволяет отнести ее к помещениям без повышенной опасности поражения людей электрическим током. Это сухое помещение, пол покрыт изоляционным материалом. Влажность воздуха не превышает 75%, отсутствует токопроводящая пыль, температура не превышает 35°C.

Основными техническими средствами защиты человека от поражения электрическим током, используемыми отдельно или в сочетании друг с

другом, являются: защитное заземление, защитное зануление, защитное отключение, электрическое разделение сети, малое напряжение, электрозащитные средства, уравнивание потенциалов, двойная изоляция, предупредительная сигнализация, блокировка, знаки безопасности.

### **3. Экологическая безопасность**

В данном подразделе рассматривается характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду.

Экологическая безопасность – это допустимый уровень негативного воздействия со стороны природных и антропогенных факторов экологической опасности на окружающую среду и человека.

Образование отходов является неотъемлемой частью производственных процессов. Отходы загрязняют окружающую среду и образуют высокие концентрации токсичных веществ. Наименования и характеристика твердых отходов, образующихся в процессе разработки технологии роботизированной центробежно-ротационной обработки и при дальнейшем её использовании на производственных изделиях указаны в Таблице 5 [12]. Складирование и утилизация происходит согласно ГОСТ Р 57677-2017.

Таблица 5 – Наименование и характеристика твердых отходов, образующихся в производственном процессе

Наименование отходов	Куда складываются, транспорт, тара	Кол-во отходов, г/кг	Периодичность образования отходов	Характеристика твердых отходов	
				Химич. состав	Физич. показатели
Отработанные абразивные частицы	Собираются в бумажные мешки и отправляются на пункт сбора отходов для дальнейшей утилизации	30	Ежедневно	Электрорунд	Плотность 3,9 г/см <sup>3</sup>
				Сталь 40Х	Плотность 7,5 г/см <sup>3</sup>  Отходы нетоксичны, не взрывоопасны, не сгораемы.

Соответственно, негативное влияние на атмосферу будет заключаться только в скоплении пыли на рабочем месте, а воздействие на литосферу будет характеризоваться утилизацией твердых бытовых отходов (смесь электрокорунда и обрабатываемого материала). Пожароопасные и токсичные свойства отходов производства указаны в таблице 6.

Таблица 6 – Пожароопасные и токсические свойства сырья, полупродуктов, готового изделия и отходов производства

Наименование сырья, готового продукта, отходов производства	Температура, °С			Область воспламенения, %, объемн.		Характеристика токсичности	ПДК в воздухе рабочей зоны произв. помещений, мг/м <sup>3</sup>
	Вспышки	Воспламенение	Самовоспламенения	Нижний предел	Верхний предел		
Электрокорунд	не горюча	не воспламеняема				пыль электрокорунда обладает фиброгенным действием	-/6
Сталь 40Х						не токсична	
Отходы производства						не токсичны	

Решения по обеспечению экологической безопасности:

1. для литосферы – вывоз твердых бытовых отходов, с последующей переработкой;
2. для атмосферы – проведение ежедневной влажной уборки на рабочем месте и проветривание помещения.

В лаборатории промышленной робототехники, где проводилась основная работа над ВКР, источником загрязнения окружающей среды являются люминесцентные лампы, с помощью которых реализовано освещение. В трубках люминесцентных ламп содержится от 3 до 5 мг ртути. ЛЛ относятся к первому классу токсичных отходов и являются чрезвычайно опасными, они требуют специальной утилизации.

#### 4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В процессе разработки может возникнуть чрезвычайная ситуация техногенного характера. ЧС техногенного характера — это ситуации, которые возникают в результате производственных аварий и катастроф на объектах, пожаров, взрывов на объектах. Аварии и катастрофы на объектах характеризуются внезапным обрушением зданий, сооружений, авариями на энергетических сетях, авариями в коммунальном жизнеобеспечении, авариями на очистных сооружениях, технологических линиях и т.д. [9].

В чрезвычайной обстановке особенно важное значение имеют сроки эвакуации людей за пределы зон разрушений. Очень важны действия аварийно-технических формирований, которые немедленно должны отключить еще не поврежденные энергетические и коммунально-технические сети для локализации аварии.

В помещении, в котором проводилась работа над ВКР, возможной ЧС может быть возникновение пожара.

Пожарная безопасность предусматривает обеспечение безопасности людей и сохранения материальных ценностей предприятия на всех стадиях его жизненного цикла. Основными системами пожарной безопасности являются системы предотвращения пожара и противопожарной защиты, включая организационно-технические мероприятия. Ответственность за обеспечение мер пожарной безопасности при проведении пожароопасных работ возлагается на руководителя подразделения, на территории которого проводятся работы.

Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения. Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды. Углекислотные (ОУ-2) и порошковые огнетушители предназначены для тушения электроустановок, находящихся под напряжением до 1000 В. Кроме того, порошковые применяют для тушения документов. Для тушения

токоведущих частей и электроустановок применяется переносной порошковый огнетушитель, например, ОП-5.

В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м. Здание должно соответствовать требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, порошковых огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к эвакуационному выходу.

Необходимые меры для обеспечения тушения пожаров:

1. Обеспечение подъездов к зданию
2. Обесточивание электрических кабелей
3. Наличие пожарных щитков, ящиков с песком в коридорах и гидрантов с пожарными рукавами
4. Наличие тепловой сигнализации
5. Наличие телефонной связи с пожарной охраной
6. Наличие огнетушителей

Предусмотренные средства пожаротушения (согласно требованиям противопожарной безопасности, СНиП 2.01.02-85 [10]): огнетушитель ручной углекислотный ОУ-5, пожарный кран с рукавом и ящик с песком (в коридоре). Кроме того, каждое помещение оборудовано системой противопожарной сигнализации.

### **Выводы по ГЛАВЕ «Социальная ответственность»**

В данном разделе ВКР были рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, изучены трудовые нормы трудового законодательства, а также организационные мероприятия при компоновки рабочей зоны.

Во втором подразделе изучены вопросы производственной безопасности, рассмотрены вредные и опасные факторы, которые могут

возникать при проведении исследования. Проанализировав данные факторы применительно к рабочему месту можно сделать вывод о соответствии требованиям параметров микроклимата в помещении и уровня шума на рабочем месте. По электробезопасности лаборатория промышленной роботехники может быть отнесена к помещениям без повышенной опасности поражения людей электрическим током, так как это сухое помещение, пол покрыт изоляционным материалом, влажность воздуха не превышает 75%, отсутствует токопроводящая пыль, температура не превышает 35°C.

В подразделе экологическая безопасность рассмотрен характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду, а также определены методы решения по обеспечению экологической безопасности.

В подразделе безопасность в чрезвычайных ситуациях приведены возможные ЧС на рабочем месте, а также методы их предотвращения.

## Список литературы

1. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 2 /Под ред. А. М. Дальский.— М.: Машиностроение, 2003. 943с.
2. Наерман М. С. Справочник молодого шлифовщика. – М.: Высш. шк., 1985. — 207 с, ил.— (Профтехобразование).
3. Муцянюк В.И., Братчиков А.Я. Бесцентровое шлифование. – Под ред. И. Кремня. - 3-е изд. - Л.: Машиностроение, 1986. - 92 с. 25
4. Кащук В. А., Верещагин А. Б. Справочник шлифовщика. – М.: Машиностроение, 1988.— 480 с: ил.
5. Космачев И.Г., Дугин В.Н., Немцев Б.А. Отделочные операции в машиностроении. – Л.: Лениздат, 1985.—248 с. с ил. 121-122 стр.
6. Космачев И.Г., Дугин В.Н., Немцев Б.А. Отделочные операции в машиностроении. – Л.: Лениздат, 1985.—248 с. с ил. 40–44 стр.
7. Космачев И.Г., Дугин В.Н., Немцев Б.А. Отделочные операции в машиностроении. – Л.: Лениздат, 1985.—248 с. с ил. 81–85 стр.
8. Космачев И.Г., Дугин В.Н., Немцев Б.А. Отделочные операции в машиностроении. – Л.: Лениздат, 1985.—248 с. с ил. 174–194 стр.
9. Rhoades L.J., Abrasive flow machining, Manufacturing Engineering, (1988), pp. 22-32.
10. Кулаков Ю.М., Хрульков В.А. Отделочно-зачистная обработка деталей.– М., Машиностроение, 1979, 216 с.
11. Бабичев А.П. Основы вибрационной технологии: Учебное пособие. Ч.1 Ростов-на-Дону. ДГТУ. 1993. 98 с.
12. Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н. Ультразвуковая размерная обработка материалов: Научная монография/ Алт. гос. Техн. Ун-т. Им. И.И. Ползунова. – Барнаул: из. АлтГТУ, 1997. 1997. – 120 с.
13. Кремень З.И. Турбоабразивная обработка деталей – новый способ финишной обработки / З.И. Кремень, М.Л. Масарский // Вестник машиностроения. – 1977. – №28. – С. 68-70.

14. Скрыбин, В.А. Обеспечение качества обработки сложнопрофильных деталей технологических машин уплотненными мелкодисперсными средами: монография / В.А. Скрыбин, Ю.В. Рыбаков, О.Ф. Пшеничный [и др.]. – Пенза: Изд-во ПГТА, 2005.- 186с.
15. Зверовщиков А.В. Совершенствование технологии шпиндельной обработки деталей при уплотнении шлифовального материала внешним давлением: : дис... канд. техн. наук: 05.02.08 / Зверовщиков Анатолий Владимирович; Пензенский гос.ун-т. – Пенза, 2004. – 270 с.
16. Чирков О.И. Совершенствование технологии шпиндельной центробежно-ротационной обработки деталей: дис... канд. техн. наук: 05.02.08 / Чирков Олег Игоревич; Пензенский гос.ун-т. – Пенза, 2005. – 197 с.
17. Нечай Е.В, Пичугин Н.И. Анализ финишных методов обработки деталей в среде свободных абразивов. / Нечай Е.В, Пичугин Н.И. // Вибрации в технике и технологии . – 2010г. – №2 (58).– С. 152 – 166. Режим доступа: [econjournal.vsau.org/files/pdfa/1519.pdf](http://econjournal.vsau.org/files/pdfa/1519.pdf) (19.05.2019).
18. Бабаев А. С. , Лаптев Н. В. , Столов Е. В. , Семёнов А.Р. -. Применение роботизированной финишной обработки в свободном абразиве для алюминиевых цилиндров // Актуальные проблемы в машиностроении. - 2018 - Т. 5 - №. 1-2. - С. 31-35.
19. Методические указания к выполнению раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» для всех специальностей/ сост. В.Ю. Коно-топский; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политех-нического университета, 2015. – 29 с.
20. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019).
21. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
22. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
23. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату

производственных помещений.

24. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.

25. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.

26. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\*

27. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.

28. ГОСТ Р 22.0.07-95. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Источники техногенных чрезвычайных ситуаций. Классификация и номенклатура поражающих факторов и их параметров.

29. СНиП 2.01.02-85\* Противопожарные нормы.

30. ГОСТ 12.2.072-98. Роботы промышленные. Роботизированные технологические комплексы. Требования безопасности и методы испытаний.

31. ГОСТ Р 57677-2017. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Ликвидация отходов недропользования.

# Приложения

## Приложение А

УТВЕРЖДАЮ



Директор ООО «ПК «МИОН»

Волков Ю.В.

» февраля 2019 г.

### Техническое задание на финишную обработку

Разработать рациональную финишную технологию обработки осевого режущего инструмента с СМП из твердого сплава.

Критерии результата обработки:

1. Чистая металлическая поверхность без окалины после ТО;
2. Придание матирующего эффекта поверхности корпусов и стружечной канавки осевых инструментов;
3. Не допускается забивание канала подвода СОЖ абразивными материалами;
4. Не допускается выход осевых и диаметральных размеров инструментов за поле допуска, указанных на чертеже.

Первые 4 инструмента обработать и выдать в ООО «ПК «МИОН» не позднее чем 17.05.2019.

Технический директор ООО «ПК «МИОН»

Г.И. Коровин

## Приложение Б

### **The current state of the issue of finishing abrasive technologies for machining parts from typical structural materials which used for general mechanical engineering**

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ71	Семёнов Артём		

Консультант школы отделения Материаловедения, школы ИШНПТ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание		Подпись	Дата
доцент	Алфёрова Е.А.	к. ф.-м.н.			

Консультант – лингвист отделения (НОЦ) ОИЯ, школы ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Ажель Ю.П.			

## **Introduction**

One of the main problems of modern machine-building production is to increase its efficiency and mechanization of labor-intensive operations without significant costs. An example of such operations is the finishing of parts, which is performed mainly manually and presents considerable difficulties, since it requires a lot of metalworking and auxiliary tools and equipment. As a consequence, we have low productivity and great difficulties in organizing the final works. Also, for modern machine-building products, there are increasingly stringent requirements for the quality of the surface layer and performance characteristics, such as reliability, fatigue strength, wear resistance, which can be successfully achieved with the use of high-performance finishing. Therefore, the development of automated equipment for finishing and finishing operations is one of the main tasks of modern machine-building production.

Finishing operations are usually divided into processing using abrasive (circle, paper, tape, bars, in a free abrasive medium, etc.) and methods for surface plastic deformation of PPD. The application of this or that finish operation is determined from the requirements imposed on the product, its shape and dimensions.

To remove the burrs, improve the surface quality and create favorable residual stresses after blade processing, finishing operations such as free abrasive treatment, electrochemical and ultrasonic treatment are applied.

### **Machining of the parts using abrasive**

The processing of materials using the abrasive grains can be secretly classified for processing with the hardened abrasive and in the free abrasive medium.

#### **Processing with a hard-abrasive**

##### **Round and flat grinding**

Grinding - the process of processing blanks using cutting with tools (circles), consisting of abrasive material. Abrasive grains are located randomly. When rotating

in the area of contact with the workpiece, a part of the grains cuts the material in the form of a very large number of fine chips (up to 100,000,000 per minute). The process of cutting each grain is instantaneous. The treated surface is a set of micro-traces of abrasive grains and has a small roughness. Grinding is used for finishing and finishing parts with high accuracy.

In the case of circular grinding, the motion of the longitudinal feed is carried out by the reciprocating movement of the workpiece. The feed of  $S_{pr}$  corresponds to the axial movement of the workpiece in one turn. Rotating the workpiece is a circular motion. The feeding of  $S_n$  into the depth of cutting occurs at the extreme positions of the workpiece. [1]

### **Lapping and debugging**

Lapping is a metalwork operation to remove the finest layer of metal from the surface of the workpiece (up to 0.02 mm) in order to obtain a high quality of its surface (flatness, straightness, small roughness) to ensure a tight (sealed) or detachable (mobile) connection. The cutting tool for grinding is the sharp edges of the smallest grains of abrasive material. The following types of the grinding surfaces are the most common in metalworking: flat (wide and narrow), cylindrical, conical, as well as curvilinear different configurations. A special kind of grinding is the lapping of tapered stop valves and valves in order to achieve their tightness, when both surfaces are treated with abrasive material - stoppers of the crane, valve and their seats (saddles).

Lapping is a final operation, which is more accurate than scraping. Processing is carried out after machining - grinding, fine turning, milling, deployment or scraping. The roughness of the prepared surface should not exceed  $R_a 0.63$ . Allowance for grinding should be very small and not more than 0.05 mm. Lapping can be used for treating both thermally processed and thermally untreated workpieces. Lapping gives accuracy of geometric dimensions up to 0.005 mm and surface roughness  $R_a 0.008$ .

Finishing means a finishing operation, which, with the help of grinding, allows machining the parts with high accuracy of linear dimensions (5 ... 6 grades) and geometric shape, as well as with a very small degree of roughness. Die and punches of dies and other details are processed by finishing, cutting and measuring and testing tools, to which high demands are made concerning the parameters of the dimensions accuracy and geometric shape as well as the roughness of the treated surfaces.

The preparation of the surfaces for finishing is carried out using the same methods and according to the same requirements, as the preparation of surfaces for grinding. The parameters obtained during debugging also do not differ from the parameters of accuracy and roughness achieved when lapping. [2]

### **Belt grinding**

A sanding belt consisting of the fabric base, grinding grains applied to one side of the fabric base and secured with glue-ligament (medullary, synthetic) is used as a tool. Also seamless tape is produced on a flexible metal base. Here grains are fixed by nickel deposition in the electrolytic bath with continuous and uniform tape movement.

Grinding with an abrasive belt is one of the progressive methods for abrasive processing. This flexible abrasive tool is widely used for grinding shaped parts, internal and external surfaces of various engineering parts, large-sized rolled steel sheets, long pipes, rough grinding and removal of the defective layer with a thickness of up to 15 mm.

Abrasive, elborovy and diamond grinding belts are used for shaping engineering products for flat, round (external, internal, centerless) and profile grinding, deburring, polishing, preparing parts for electroplated coating and coating processing to reduce roughness, sharpening and finishing complex profile cutting tool.

This type of processing, if the modes are chosen correctly and optimally, provides high-precision shaped surfaces of parts with a height of irregularities

according to the parameter  $Ra$  0.08 ... 0.16  $\mu\text{m}$ . Therefore, belt grinding is widely used as the method for grinding and polishing in the final surface treatment of the parts in the ball bearing, aviation, automotive industries.

Such a variety of belt grinding operations) has predetermined wider, compared to hard flat or round grinding, possibilities of flexible control of the cutting process by changing the tension of the abrasive belt and the stiffness of the pressure roller, structural, functional and operational features.

The disadvantages of this method include the low productivity of the grinding process, as compared to centerless grinding, and relatively low resistance of sanding belt, which leads to frequent replacement of this tool on the machine [13].

## **Honing**

This method for finishing abrasive processing is used to handle holes from 8 to 500 mm and the length from 10 to 25000 mm. The method finds application for finishing the holes of cylinders of hydraulic and pneumatic units, internal combustion engines, and also compressors. The essence of the honing process is the combined progressive and rotational motion of the hone relative to the axis of the cylinder, at which the allowance is removed from 0.1 to 0.3 mm (Fig.). The rotation speed is 30 ... 60 m / min, and the speed - 5 to 40 m / min. Processing by honing is carried out with abundant supply of coolant. For better flushing out the chips from the cutting zone, add kerosene. Usually, the hone is fixed on the hinge. A feature of the process is a low cutting speed in comparison with grinding, a large contact area, a low pressure on the contact surface, a low cutting temperature (not more than 100 C). Technological parameters are as follows: surface roughness in parameter  $Ra = 0.08 \dots 0.16 \mu\text{m}$ , precision of IT6-IT7 dimensional processing.

Due to low speed and temperature, favorable compressive stresses are formed. Hard work on the surface layer is about 40%. The depth of the riveted layer is 20 ... 30  $\mu\text{m}$ . The honing process corrects the deviation from the roundness and straightness of the holes. It is also worth noting that, due to the peculiarity of the

complex movement of the tool after processing on the surface of the cylinder holes, there is a reticular microstructure, so-called ointment pockets having a positive effect on the service life of the products. The main disadvantage of this processing method is low productivity, for the increase of which the combination of the honing process with electrochemical polishing is used. [3]

### **Superfinishing**

The method for abrasive processing is used for the final treatment of the outer and inner surfaces of flat bodies and bodies of revolution (most often for bodies of revolution). Technological parameters are as follows: a decrease in roughness after grinding or fine turning to  $Ra\ 0.02 \dots 0.08\ \mu\text{m}$ , waviness to  $Wz\ 0.1 \dots 0.3\ \mu\text{m}$ , a slight correction of the shape deflection and an increase in the dimensional accuracy up to IT5-IT6. After the superfinishing process, residual compressive stresses are formed. The essence of the method consists in processing with bars of electrocorundum, diamond and boron according to a rigid and non-rigid treatment scheme. (Fig.?). Removed allowance at the same time is 10 ... 30 microns. The method is used mainly for processing tracks of bearing rings. [4]

### **Polishing**

Polishing is the final machining operation of the workpiece, performed to reduce the surface roughness ( $Ra\ 0,16 \dots 0,02\ \mu\text{m}$ ), which gives it a mirror shine. It is carried out using mechanical, chemical, electromechanical and other methods. Polishing circles; polishing with ribbons; abrasive-liquid treatment; vibroabrasive treatment; magnetic abrasion treatment are distinguished.

Polishing with soft abrasive wheels is used for decorative finishing of the parts or in the preparation of the surface for galvanic coating. It is carried out on simple machines, universal machines or with the help of manual polishing machines. The instrument is petal, elastic, felt, fabric, paper, felt, cotton, flexible polishing and other circles.

Polishing with belts is characterized by a constant cutting speed, the ability to handle large and shaped surfaces, no need for balancing and tool straightening, safety of work. Abrasive grains can work in the conditions of rigid fastening (abrasive tape) or compliance mode (tape with abrasive paste applied on it).

The disadvantage of belt polishing is a decrease in the processing capacity due to the stretching of the tape under the influence of loads. Therefore, in addition to high tensile strength, the tape is characterized by a relative elongation and elasticity. Highly elastic tapes are used for processing of hard-to-reach places and narrow grooves. [5]

## **Treatment in a free abrasive medium**

### **Processing in rotating drums**

Tumbling is a method for processing parts in the medium of free abrasive particles placed in a chamber, which is driven by an electric drive. The processing methods are very diverse, but the common features of the process are the rotation of the drum about its axis vertically or inclined to the vertical axis, in which the processing abrasive grain and parts rotate, creating a toroidal-helical flow. The main technological parameters are the rotational speed of the drum, its dimensions, characteristics and dimensions of the processing medium, the composition of the coolant and the abrasive material. The main advantages of processing are:

- simplicity of the equipment;
- joint processing of a large number of parts;
- availability and massiveness of abrasive materials;
- automatic processing process.

Despite the obvious advantages of processing using the tumbling method, it has the following drawbacks:

- low productivity due to small rotation speeds of the drum;

- strong noise and vibration;
- large losses of time for maintenance of equipment, separation of the working environment from parts after completion of the operation;
- impossibility of processing non-rigid and brittle parts;
- impossibility of simultaneous processing of details of different shapes and dimensions;
- unevenness of the removal of material from various parts of the surface of parts of complex shapes [6]/

### **Magnetic abrasive polishing (MAP)**

The essence of the method of magnetic abrasive polishing (MAP) [14], when machined according to a mechanically driven scheme, is that the surface of the part or powder with magnetic and abrasive properties, placed in a magnetic field, imparts a forced movement relative to each other. The removal of the metal is carried out as a result of the force action of the powder on the surface of the part and the indicated relative movements.

The peculiarity of this method is the use of a pulsating magnetic field, the location of the poles radially relative to the axis and the part oscillating along the axis. The workpiece is placed between the pole tips of the electromagnet with some gaps, into which powder with magnetic and abrasive properties is fed. Rotational motion and oscillating along the axis of the movement are mechanically driven. The magnetic fields of the powder grain are held in the working gaps, pressed against the surface of the part and produce its processing. TG (emulsion, kerosene, etc.) is fed into the working gaps.

The rotation of the magnetic system with respect to a part performing only an oscillating motion does not change the nature of the magnetostatic forces acting on the powder; therefore, a rotating field is used, not a constant one.

The results of the processing are influenced by the following technological factors: the magnitude of the magnetic induction, the materials of the magnetically abrasive powder and the workpiece, the size of the working gap, the speed of the relative motion of the powder and the parts, the presence of an auxiliary working movement (oscillation movement), the state of the initial surface (physic-mechanical properties and micro-geometric characteristics), the presence and type of TJ, the size of the powder grains. The method also refers to the type of "dimensionless".

Advantages of MAP include the ability to process the parts of small and medium sizes and correct the error of the geometric shape of the part.

Disadvantages MAP are: piece processing of the parts, mainly bodies of revolution, the need for fixing and rotation of the part.

### **Stream abrasive treatment**

Abrasive stream grinding, also known as abrasive stream processing (AFM) or extrude honing, is a precision machining technology used in various industries. Some applications of this process include:

- Deburring;
- Rounding sharp edges;
- Improving the quality of the surface layer (polishing);
- Descaling after thermal and chemical-thermal operations;
- Polished shaped surfaces to a mirror shine;
- Creating, improving the flow path of gas, fluid inside the valves and fittings.

Abrasive flow machining is carried out using a reciprocating flow of pressure under the pressure of the pushing piston, the viscoelastic compound with an abrasive medium moves through the holding device and along the surface of the part, thereby performing micro-cutting. In a standard two-way flow process, two vertically opposite cylinders squeeze the abrasive medium up and down through the passages

formed by the workpiece and the tool. In a one-sided system, the abrasive medium flows only in one direction, which allows the medium to exit the part for quick processing, easy cleaning or simple quick tool change.

The process includes three main elements: fixture, machine tool and abrasive. The clamping device is designed to increase the speed of abrasive flow in the treatment area. The increase in speed intensifies the removal of material in certain parts of the workpiece. The clamp can be made of inexpensive structural plastic - nylon, which provides a more adequate ratio of strength and weight, and can have different shapes depending on the technical specifications for a particular part. High-performance clamps are made of steel or aluminum and use inserts with a polyurethane coating to protect the workpiece from abrasive scratches or grooves. Depending on the size of the part and the size of the machine, the clamping device can hold from 1 to 50 or more.

The indisputable advantage of this type of processing is the processing of hard-to-reach areas of expensive products in mechanical engineering and other industries.

The disadvantages of the method are the high cost of this machine and consumables, since basically it is single and individual equipment, as well as restrictions on the dimensions of the workpiece.

### **Vibrating abrasion**

The method is designed for processing the parts of various sizes and shapes. In most cases, it is used for cleaning cast blanks, removing stripping, scaling, rounding sharp edges, preparing the surface for further chemical-thermal operations, creating a hardening layer on the surface, redirecting and changing residual stresses, cleaning the surfaces of parts after their use for further repair and maintenance operations.

The essence of the treatment lies in the high concentration of micro-impacts on the surface of the part by abrasive particles per unit time under the action of a directed vibrational force imparted to the working chamber. After the collision, the

hard abrasive cuts the micro-cutter with its cutting edge and carries the material out of the cutting zone. [7]

### **Turboabrasive treatment**

Turboabrasive processing is the final product manufacturing process and is used to intensify locksmith operations such as deburring, rounding of sharp edges, descaling, surface finishing for further galvanic operations. The principle of the operation is based on the technique of bulk material fluidization, thereby creating a fluidized bed, in which the driven part is lowered. The trajectory of the movement of the part depends on the processing requirements, and, if possible, can be either simple rotational or planetary. Processing can be performed parallel to the vertical axis of the camera and perpendicular. The main advantage of this method is the possibility of processing non-rigid and soft materials, but the intensity of treatment is small due to small contact pressures. Also, the speed of the part movement relative to the processing medium is limited, since with an increase in speed over 20 m / s, an air cushion is created at the surface of the part preventing the contact of the abrasive grains with the workpiece. Therefore, this method for processing is used only in exceptional cases, when the parts are to meet high demands for the quality of the surface layer. [8]

### **Centrifugally-rotary treatment**

This treatment method is prominent among other processing methods in free abrasive due to a wide range of advantages:

- High productivity (in comparison with tumbling higher in 10 ... 30 times, vibration treatment in 10 ... 12.5 times)
- Primitive equipment design;
- Possibility of a rapid transition from roughing to finishing due to varying modes of cutting modes;

- Possibility of deep modernization and automation of the processing process.

The essence of the process of centrifugal-rotary processing is processing of the parts in the chamber, in which the abrasive is previously filled. The mixture is rotated around a vertical axis, thereby forming a toroidal-helical flow. The toroidal-helical flow is provided by the design of the chamber consisting of a fixed shell (fixed walls), in which the conical bottom (rotor) rotates. Processing is provided by means of relative movement of the workpieces in the working environment. There is also a spindle machining method, which borrows the machining structure "into the ground", but in this case the workpiece is fixed to the spindle of the rotation drive and rotating with a constant angular speed is lowered into the working chamber of the centrifugal rotary plant. Technological parameters are as follows: achievable roughness  $R_a = 0.28 \dots 0.35 \mu\text{m}$  depending on the processed material at the initial  $R_a = 0.8 \dots 1.2 \mu\text{m}$ . [9]

### **Processing in a compacted abrasive medium**

The essence of the method is the spindle processing of the parts in the working chamber, the elastic walls of which are compressed under pressure. The top of the camera is covered with a curly cover. The abrasive is compacted under the action and strongly pressed against the surface of the parts. Due to the possibility of changing the pressure applied to the walls of the chamber and the speed of rotation of the part, it is possible to regulate the force action of the abrasive, but not the part, thereby controlling the material removal and the quality of the surface layer. As a result, the productivity of the machining process is increased and it becomes possible to find optimal cutting conditions for different types of processed material. [10]

### **Conclusion**

Analyzing the finishing operations with the use of free abrasive, we can say that to increase the productivity, the possibility of automation, as well as to avoid damaging easily deformable parts, special tools are required. In general, the processing in free abrasive is reduced to spindle processing, since the time for the

modernization of the processing plant is minimal, due to the introduction in it to ensure the rotation of parts of various radial drilling or machine tools as a drive. Such kinematics of parts and abrasive grain offers the widest range of processing opportunities for complex and dimensional parts. [11] The examples of processing are the exact rings of rolling bearings, gear wheels, screws, pulleys, various cutting tools, airplane turbine blades, implants in medicine and others. Advantages of spindle machining are obvious - it is the removal of burrs from hard-to-reach places, rounding of sharp edges, polishing and finishing of high-quality parts after blade cutting in minimum time and without danger of damage to blanks. Also, there is equipment for multi-spindle processing, which increases productivity several times. The prospectivity and further development of spindle machining are in solving a range of tasks, such as: studying the processing process using different modes and pairs of "processed material / abrasive material"; selection of graininess and provision of wet processing; the introduction into the finish processing of various trajectories of the billet movement to ensure uniformity of material removal and formation of the required roughness; creation of mathematical models of the dynamic impact of abrasive media on the surface of a part for the possibility of predicting and controlling the processing process. [12]

## **Bibliography**

1. Naerman M.S. Handbook of the young grinder .- M .: Higher School, 1985. - 207 with silt.- (vocational education).
2. Kosmachev I.G., Dugin V.N., Nemtsev B.A. Finishing operations in mechanical engineering. - Leningrad: Lenizdat, 1985.-248 p. with silt. 121-122 pp.
3. Kosmachev I.G., Dugin V.N., Nemtsev B.A. Finishing operations in mechanical engineering. - Leningrad: Lenizdat, 1985.-248 p. with silt. 40-44 pp.
4. Kosmachev I.G., Dugin V.N., Nemtsev B.A. Finishing operations in mechanical engineering. - Leningrad: Lenizdat, 1985.-248 p. with silt. 81-85 p.
5. Kosmachev I.G., Dugin V.N., Nemtsev BA Finishing operations in mechanical engineering. - Leningrad: Lenizdat, 1985.-248 p. with silt. 174-175 p.
6. Kulakov Yu.M., Khrulkov V.A. Finishing and cleaning of parts. -M., Mechanical Engineering, 1979, 216 p.
7. Babichev A.P. Fundamentals of Vibration Technology: A Training Manual. Part 1 Rostov-on-Don. DSTU. 1993. 98 p.
8. Kremen Z.I. Turboabrasive machining of parts - a new way of finish processing / Z.I. Kremen, M.L. Masarsky // Bulletin of Machine Building. - 1977. - № 28. - P. 68-70.
9. O. Chirkov. Perfection of the technology of spindle centrifugal-rotary machining of parts: dis ... cand. tech. Sciences: 05.02.08 / Chirkov Oleg Igorevich; Penza State University. - Penza, 2005. - 197 p.
10. Zverovshchikov A.V. Perfection of the technology of spindle machining of parts when sealing the grinding material with external pressure:: dis ... cand. tech. Sciences: 05.02.08 / Zverovshchikov Anatoly Vladimirovich; Penza State University. - Penza, 2004. - 270 with.

11. Nechay E.V., Pichugin N.I. ANALYSIS OF FINISH METHODS OF PROCESSING OF DETAILS IN THE MEDIUM OF FREE ABRASIVES. Publisher: Vibration in engineering and technology (Lugansk) 2010, pp. 152 - 166. ISSN: 621.9.048.
12. Babaev A.S., Laptev N.V., Stolov E.V., Semyonov A.R. -. Application of robotic finishing in free abrasive for aluminum cylinders // Actual problems in mechanical engineering. - 2018 - T. 5 - No. 1-2. - p. 31-35
13. Loskutov V.V. Grinding of metals. 4th ed. recycled. Moscow - Sverdlovsk, Mashgiz, 1962. p. 23-31 with illustrations.
14. Baron Y.M. Magnetic abrasive and magnetic processing of products and cutting tools. H. : Vishcha school, 1977. - 168 p.

## Приложение В

УТВЕРЖДАЮ



Директор ООО «ПК «МИОН»

Волков Ю.В.

«\_\_» мая 2019 г.

### АКТ

о внедрении результатов магистерской работы

Настоящий акт подтверждает внедрение результатов научно-исследовательской работы магистранта 2-го года обучения Семёнова А. на тему «Исследование применения промышленных роботов для центробежно-ротационной обработки в свободном абразиве». Работа проводилась в рамках договора № 15.05-91/2019. Результаты работы внедрены на ООО «ПК «МИОН» (г. Томск).

Основные результаты работы: 1) Разработана конструкторская документация на специальную оснастку для обработки; 2) Исследованы и подобраны режимы оптимальной технологии роботизированной центробежно-ротационной обработки для корпусов сверл. Применение данной оснастки в сочетании с оптимальными режимами технологии позволили безразмерно обработать корпуса сверл после термической операции и придать матирующий эстетический внешний вид, согласно техническому заданию.

Технический директор ООО «ПК «МИОН»

Г.И. Коровин

От НИ ТПУ:

Доцент Отделения материаловедения ИШНПТ

Е.А. Алфёрова

Инженер-исследователь НОЛ ПР

А.С. Бабаев

Магистрант ИШНПТ

А. Семёнов