

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт инженерный
Кафедра «Технология машиностроения и технологическое оборудование»

Утверждена распоряжением по
институту от _____ № _____
Выполнена по заявке организации
(предприятия) _____

Допущена к защите
« _____ » июня 2020 г.
Зав. кафедрой ТМиТО
к.т.н., доцент Н.Ю. Землянушнова

(подпись зав. кафедрой)

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К ВЫПУСКНОЙ
КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
(ДИПЛОМНОМУ ПРОЕКТУ) НА ТЕМУ:**

Наименование темы ВКР

Автор дипломного проекта _____ Козин Александр Юрьевич
подпись, дата

Направление подготовки 15.03.05 Конструкторско-технологическое
обеспечение машиностроительных производств

Направленность (профиль) Технология машиностроения

Группа КТМ-б-о-16-1

Руководитель проекта Гончаров В.М. _____ инициалы, фамилия

Консультанты по разделам:

безопасности и экологичности _____ Гончаров В.М.
подпись инициалы, фамилия

организационно-экономическому _____ Гончаров В.М.
подпись инициалы, фамилия

Нормоконтролер: _____ Колганова Е.Н.
подпись инициалы, фамилия

Ставрополь, 2020 г.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт инженерный

Кафедра «Технология машиностроения и технологическое оборудование»

Направление 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств

Направленность (профиль) Технология машиностроения

«УТВЕРЖДАЮ»

Зав. кафедрой

Н.Ю. Землянушнова

подпись, инициалы, фамилия

«23» апреля 2020г

**ЗАДАНИЕ НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
(ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ)**

Студент Козинов Александр Юрьевич группа КТМ-б-о-16-1
фамилия, имя, отчество

1. Тема «Исследование процесса удаления заусенца при вибрационной
обработке в среде свободных абразивов»

Утверждена распоряжением по институту от "22" апреля 2020 г. № 83-р/14 -03

2. Срок представления работы к защите " 24 " июня 2020г.

3. Исходные данные для проектирования: _

Постановка задачи исследования

Материалы преддипломной практики.

4. Содержание пояснительной записки:

Аннотация. Содержание. Введение

4.1. Анализ и обобщение исходной информации. Цель и задачи исследования.

4.2. Исследование формы сечения заусенца на продолжительность его удаления при ВиО

4.3 Методика исследований.

4.4. Результаты исследования.

4.5 еТхничко-экономическая эффективность внедрения ВиО при отделочно- зачистной обработке
деталей РЭА

Заключение. Список использованных источников. Приложения

5 Перечень графического материала

Особенности деталей приборов радиоэлектронной аппаратуры – 0,5 л. фА1;

Заусенцы, как научная и производственная проблема –0,5л. фА1;

Виды и классификация рабочих сред, применяемых при ВиО –1 л. фА1;

Математическая модель –1 л. фА1;

Оборудование, приборы и рабочие среды для экспериментальных исследований –0,5л. фА1

Влияние технологических факторов на время–0,5л. фА1;

Экономические показатели, выводы–1 л. фА1;

Дата выдачи задания 23 апреля 2020 г.

Руководитель работы _____ Гончаров В.М.
подпись инициалы, фамилия

Консультанты по:

разделу безопасности и экологичности _____ Гончаров В.М.
подпись инициалы, фамилия

разделу организационно-экономическому _____ Гончаров В.М.
подпись инициалы, фамилия

Задание к исполнению принял _____ " 23 " апреля 2020 г. Козинов А.Ю.
подпись

Аннотация

Выпускная квалификационная работа (ВКР) на тему «Исследование процесса удаления заусенца при вибрационной обработке в среде свободных абразивов» выполнена в следующем объёме:

- пояснительная записка на 58 страницах, содержит 21 рисунок и 15 таблиц;

- графическая часть на 7 листах формата А1.

В данной ВКР были проанализированы параметры, влияющие на качество поверхности обработки при ВиО.

Смоделирован процесс удаления заусенца, сформированного в результате механической обработки.

Разработана методика исследований.

Были получены результаты исследований.

Произведён расчёт технико-экономических показателей.

					ВКР-СКФУ-15.03.05-161142-20			
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				
Разраб.	Козин				Записка пояснительная	Лит.	Лист	Листов
Пров.	Гончаров						3	
Н.контр.	Колганова						СКФУ	
Утв.	Землянушно						гр. КТМ-б-о-16-1	

Оглавление

Введение	5
1 Анализ и обобщение исходной информации. Цель и задачи исследования. 6	6
1.1 Основные параметры, влияющие на качество поверхности при обработке заготовок.	6
1.2 Механизмы образования заусенцев, сформированных в результате механической обработки	6
1.3 Анализ исследований в области удаления заусенцев свободным абразивом.....	9
1.4 Классификация гранул обрабатывающей среды.....	13
1.5 Цели и задачи исследования	15
2 Исследование формы сечения заусенца на продолжительность его удаления при ВиО	16
2.1 Разработка обобщённой модели заусенца, образовавшегося при механической обработке	16
2.2 Особенности контактного взаимодействия гранулы с обрабатываемой поверхностью	18
2.3 Теоретическая модель съёма заусенца при ВиО	23
3 Методика исследований	31
3.1 Технологическое оборудование	31
3.2 Приборы и приспособления для экспериментальных исследований	32
3.3 Выбор материалов для образцов.....	34
3.4 Методика для исследования макро геометрии поверхности деталей	37
3.5 Методика исследований влияния режимов виброобработки на производительность и качество процесса.....	37
4 Результаты исследования	39
5 Техничко-экономическая эффективность внедрения ВиО при отделочно-зачистной обработке деталей РЭА	45
Заключение	58
Список использованной литературы.....	59

Введение

На сегодняшний день возросла потребность в высокоточной и высокопроизводительной обработке деталей. Наиболее актуальным этот вопрос остаётся в приборостроительной отрасли, где выпускаются сотни тысяч штук деталей в год.

Наиболее важным при изготовлении радиоэлектронного оборудования являются затраты на их отделочно-зачистную обработку.

Целью данной выпускной квалификационной работы является повышение эффективности ВиО на основе уточнения математической модели, определения продолжительности удаления заусенца гранулированными средами, а так же разработкой методики проведения исследования.

					ВКР-СКФУ-15.03.05-161142-19	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		5

1 Анализ и обобщение исходной информации. Цель и задачи исследования.

1.1 Основные параметры, влияющие на качество поверхности при обработке заготовок.

Точность и качество – одни из ключевых факторов в изготовлении изделий. Вследствие этого возросло внимание к проблеме появления заусенцев.

Заусенец – это излишек материала, выступающий на кромках и углах поверхности в виде рваного края. Заусенец является пластически деформируемым материалом, который образовался в результате обработки резанием или вырубкой. Данный дефект является нежелательным следствием технологического процесса и негативно влияет на всех этапах, включая базирование. Заусенцы препятствуют в контроле размеров, в сборке, могут быть причиной повреждения сопрягаемых поверхностей. Не стоит забывать о том, что наличие заусенцев может привести к травматизму. Из-за обломанных заусенцев, например, может произойти короткое замыкание. Вследствие этого в технологический процесс добавляют операцию по удалению заусенцев. Так как это добавочная операция, соответственно, возрастают затраты на реализацию и могут составлять до 30% от стоимости изготовления детали в зависимости от сложности. Поэтому зачастую на многих предприятиях заусенцы удаляют вручную, что приводит к большому времени на выполнение зачистки изделия.

1.2 Механизмы образования заусенцев, сформированных в результате механической обработки

Заусенец – это пластически деформируемый материал, образованный на кромке детали в результате обработки резанием или вырубкой. Заусенцем является весь материал, который находится за пределами теоретического пересечения двух поверхностей, образующих кромку детали.

Основные параметры заусенцев:

					ВКР-СКФУ-15.03.05-161142-19	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		6

1. размеры (высота, длина, толщина);
2. твёрдость;
3. местонахождение;
4. конфигурация в продольном направлении;
5. форма поперечного сечения.

Заусенцы, образованные при вырубке имеют форму напоминающую треугольник. У таких заусенцев нет слабых мест они достаточно крепки. Основные параметры заусенца (рисунок 1.2.1)

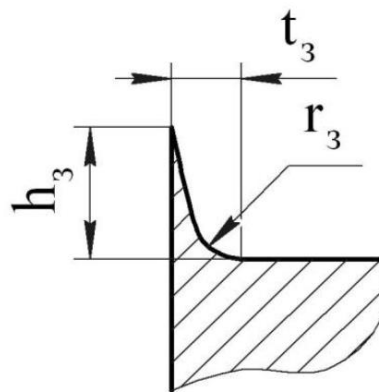


Рисунок 1.2.1 –Основные параметры заусенца

Заусенец делят на основание (корень) и вершину. Толщина заусенца t_3 является толщиной корня, которая прилегает к необработанной поверхности. Высотой заусенца h_3 называют размер, определяемый от теоретической линии кромки до наиболее удалённой вершины заусенца. Радиус заусенца r_3 определяется в его поперечном сечении у основания заусенца со стороны необрабатываемой поверхности. Длинной заусенца L_3 называется размер, который определяет протяжённость заусенца вдоль кромки вырубленного изделия.

Основным методом формообразования деталей многих деталей является обработка резанием [3]. Вследствие чего процессы резания сопровождаются образованием дефектов, то есть заусенцев на кромках и поверхностях. Даже не смотря на современные технологии обработки избежать этого невозможно, поскольку они являются результатом механики сплошных сред.

Заусенец – это излишек материала, выступающий на кромках и углах

					ВКР-СКФУ-15.03.05-161142-19	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		7

поверхности в виде рваного края. Заусенец является пластически деформируемым материалом, который образовался в результате обработки резанием или вырубкой. Заусенцем является весь металл, который выступает за теоретическое пересечение двух поверхностей, которые прилегают к заусенцу. Заусенец бывает рваным, острым, прочно закрепленным или свободно висящим выступом.

Результаты исследований показали, что заусенцы образуются в результате пластической деформации впереди зоны резания обычно в двух направлениях одновременно – в направлении главного движения и в направлении подачи [7].

Формирование заусенцев (Рисунок 1.2.2) является сложным процессом, при этом тип заусенцев зависит от вида обработки, инструмента, режимов резания, материала заготовки, геометрии инструмента.

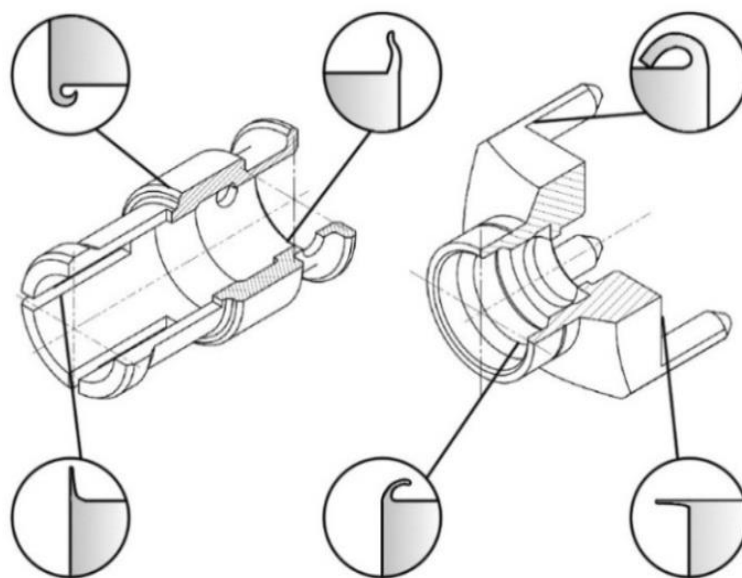


Рисунок 1.2.2– Виды заусенцев

При штамповке заусенцы имеют пило-образную форму, при фрезеровании напоминают спиральный клубок, а при сверлении имеют форму отогнутых пластин (Рисунок 1.2.3). При точении и шлифовании они располагаются по краю детали напоминающие пилообразную гребенку. При обработке мягкого материала заусенцы имеют длинный, но тонкий вид.

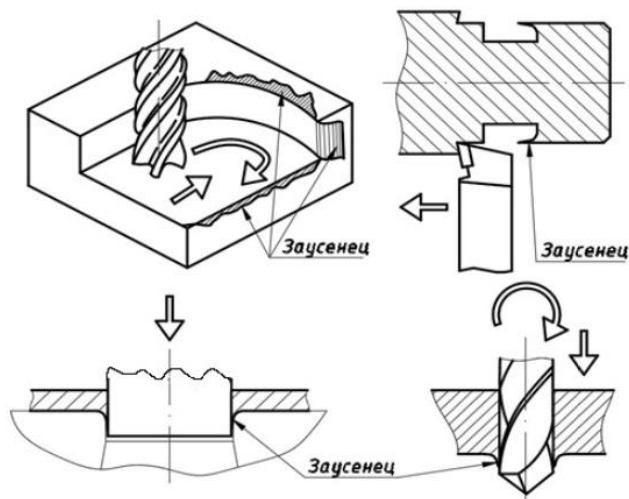


Рисунок 1.2.3 – Схема образования заусенца при механической обработки

1.3 Анализ исследований в области удаления заусенцев свободным абразивом

Для использования отделочно-зачистных операций был разработан большой спектр методов, использующих абразивные материалы и среды, гибкие металлические инструменты, методы поверхностного пластического деформирования, химические и электро-химические методы, ультразвуковую обработку и др.

Распространенными методами абразивной финишной обработки в гранулированных средах являются: вибрационная обработка (ВиО), струйно-абразивная, центробежно-ротационная обработка (ЦРО) и другие [2].

Принцип объемной обработки состоит в деформации поверхностного слоя материала детали при ее движении относительно гранулированных тел рабочей среды.

Существует множество станков для данной обработки, которые успешно используют в производстве.

При виброшпиндельной обработке (Рисунок 1.3.1) в рабочую зону помещается шпиндель, который сообщает дополнительное вращение рабочей среде, в результате повышается производительность процесса.

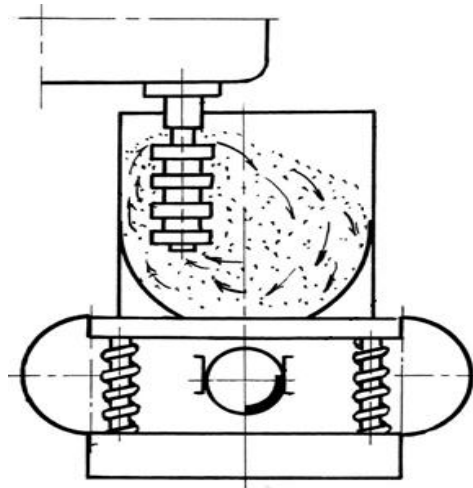


Рисунок 1.3.1 – Схема станка для виброшпиндельной обработки

Вибромагнитная обработка заключается в том, что рабочая зона помещается в магнитное поле, создаваемое электромагнитами (**Error! Reference source not found.**) Обрабатываемые детали состоят из ферромагнитных материалов. Наложение магнитного поля повышает производительность процесса за счёт торможения деталей, передачи дополнительных колебаний деталям, термоэлектрического эффекта.

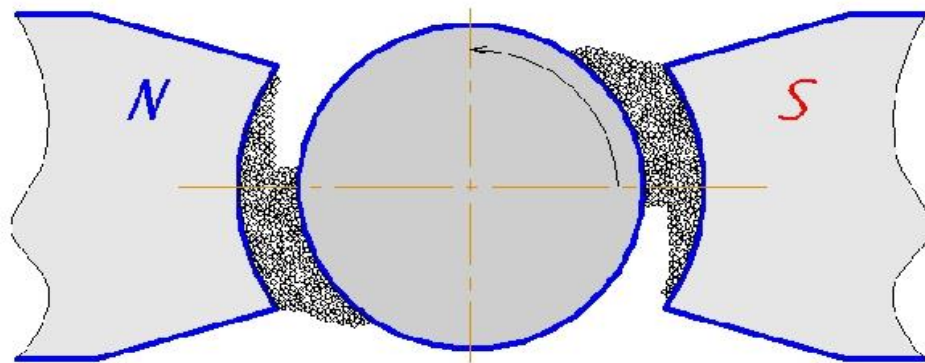


Рисунок 1.3.2 – Схема станка магнитоабразивной обработки

Обработка в псевдокипящем абразивном слое состоит в том, что абразивная среда приводится во взвешенное состояние, детали же могут находиться свободно или закрепляются. При центробежно-ротационной обработке источником вращения является ротор (Рисунок 1.3.3)

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

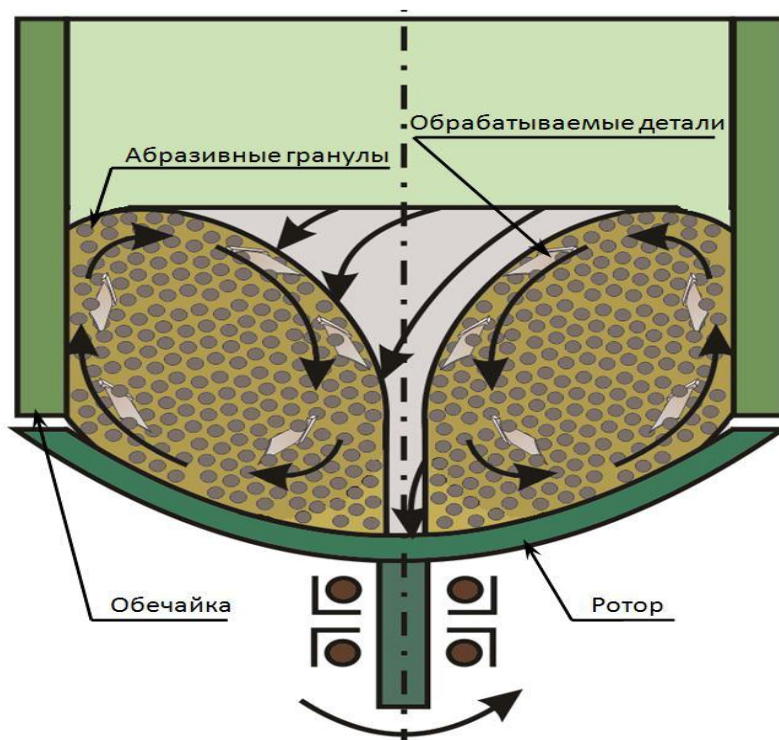


Рисунок 1.3.3 – Схема центробежно-ротационной установки

При струйной обработке (Рисунок 1.3.4) абразивные частицы с воздухом или жидкостью в виде струи, с большой скоростью сталкиваются с обрабатываемой поверхностью. Струя создается механическими, пневматическими или гидравлическими средствами.

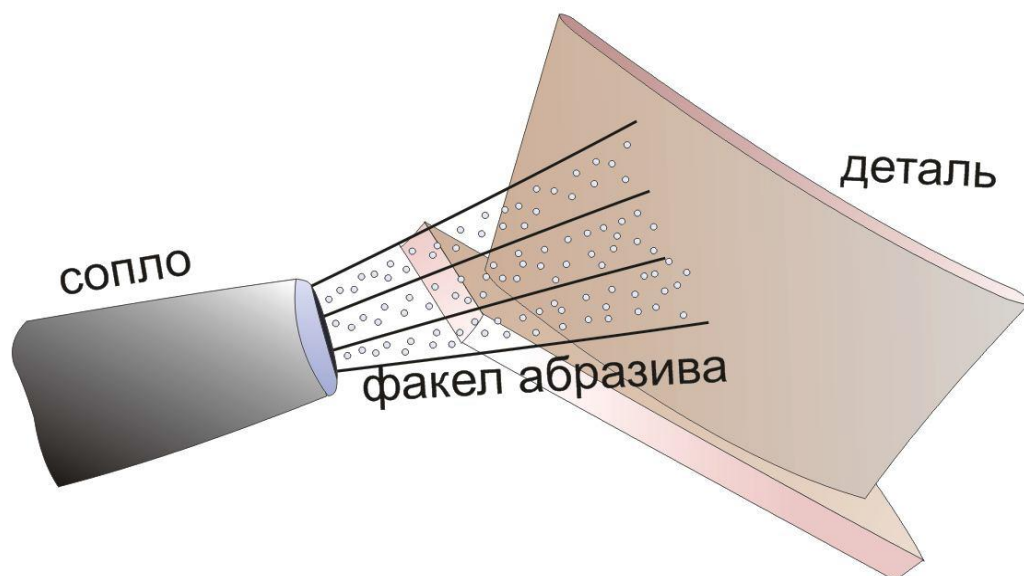


Рисунок 1.3.4 – Схема струйной обработки

					ВКР-СКФУ-15.03.05-161142-19	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		11

Обработка в слое свободного абразива. Рабочая среда может быть в свободном или уплотненном состоянии. В магнитно-абразивной обработке (Рисунок 1.3.5) пространство между полюсами магнитного индуктора заполняют абразивным порошком, которое удерживается полем. В рабочее пространство помещают деталь, которой сообщают движения, в результате происходит процесс обработки.

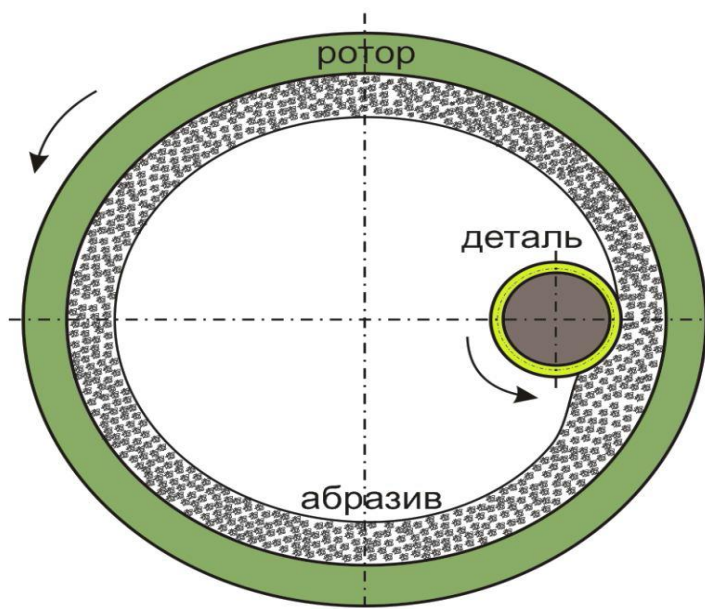


Рисунок 1.3.5 – Схема обработки в уплотнённом слое абразива

Анализируя данные методы и способы их применения для отделочно-зачистной обработки, возникают следующие выводы:

1. Вибрационная обработка применяется в производстве, так как технологическое оборудование имеет низкую себестоимость, легко в использовании и надежно.

2. Применение ВиО в приборостроении, где преобладает массовое и крупносерийное производство, целесообразно, так как позволяет обрабатывать большое количество деталей из-за объёма рабочей камеры.

3. Детали типа РЭА представляют из себя сложные конструкционные формы с отверстиями, пазами, с глухими, глубокими, с резьбой отверстиями, и во время обработки возникают затруднения при их обработки.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

1.4 Классификация гранул обрабатывающей среды

Важным условием для осуществления процесса обработки детали в гранулированных средах является обрабатывающая среда. Обрабатывающая среда влияет на качество поверхности и производительности процесса.

При выборе рабочих сред нужно учитывать требования по качеству, обеспечить оптимальную себестоимость процесса.

В состав рабочей среды входят твердые и жидкие наполнители. Твердый наполнитель играет роль режущего инструмента, а также разделяет детали, предотвращая слипание [6].

Жидкий наполнитель, в свою очередь, обеспечивает удаление продуктов износа с поверхности обрабатываемой детали, смачивает детали и наполнители, помогает равномерному распределению внутри камеры и охлаждает рабочую среду и деталь.

Также жидкий наполнитель позволяет добавлять химические вещества, с помощью которых происходит увеличение съема металла.

Классификация рабочих сред (Рисунок 1.4.1) осуществляется по форме, виду материала, происхождению, размерам, способу получения (производства).

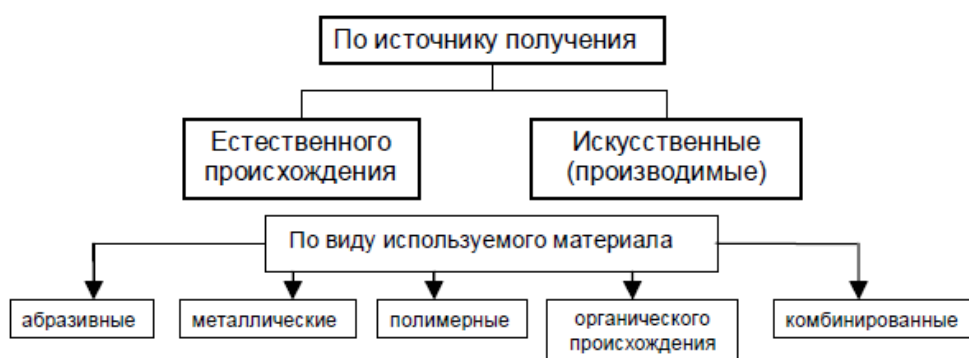


Рисунок 1.4.1 – Общая классификация гранулированных сред

Наиболее распространенными средами являются абразивные среды. Они классифицируются по нескольким признакам: по размерам гранул, по твердости, по материалу абразива, по структуре пористости (Рисунок 1.4.2).

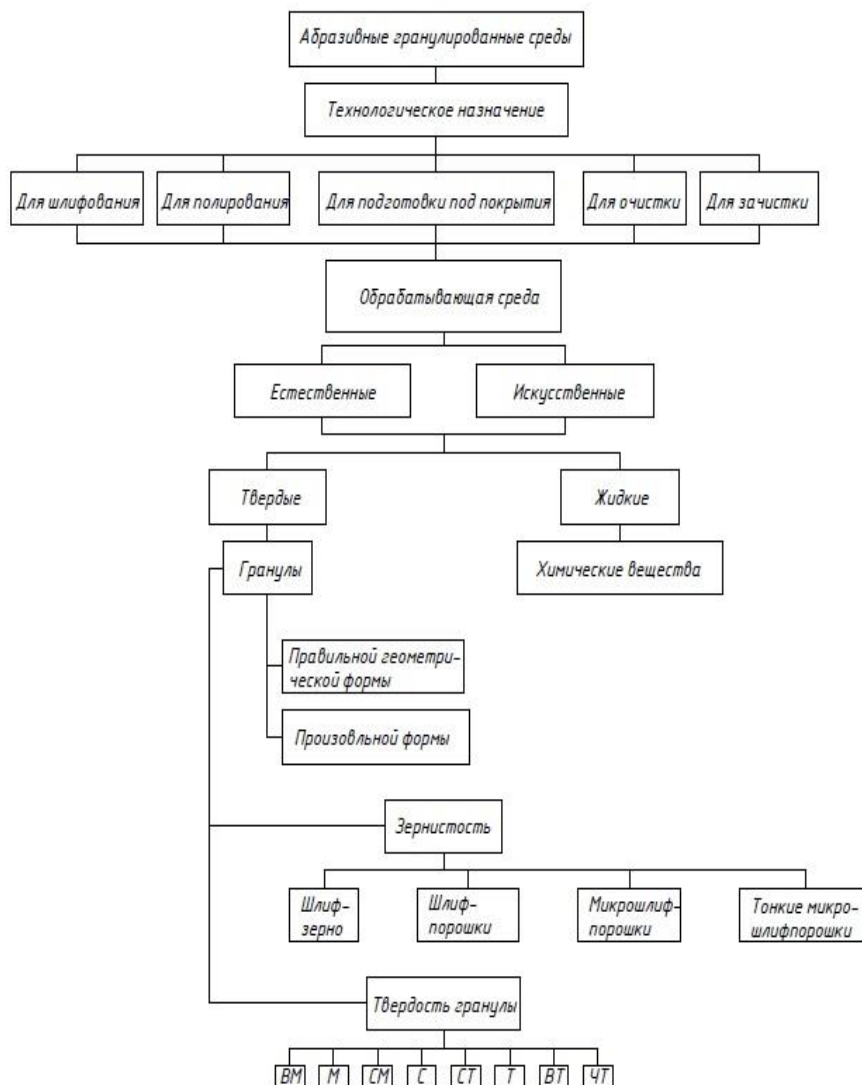


Рисунок 1.4.2 – Классификация абразивных гранул

Комбинированные гранулированные среды могут быть представлены в виде сочетаний абразивных, металлических и неметаллических гранул. Состав определяется опытным путём и часто является индивидуальным для каждого предприятия.

Гранулы металлические: стальные шары, твердосплавные шары, стальная и чугунная дробь, рубленая проволока, игольчатые ролики.

Гранулы из неметаллических материалов: гранулы из древесины, войлочные, кожаные, косточковые материалы (вишня, абрикос), ореховая скорлупа, гранулы из резины, пластмассы.

Искусственные абразивные материалы имеют наибольшее применение. Их можно разделить на следующие группы:

- электрокорундовые материалы, получаемые методом плавления;
- материалы карбонитридной группы;
- спеченные абразивные материалы.

Искусственные абразивные среды отличаются большей стабильностью физико-механическими и технологическими свойствами по сравнению с природными.

1.5 Цели и задачи исследования

Вибрационная обработка наиболее актуальна на производстве. Она позволяет добиться высокого качества поверхности деталей, как простых форм, так и сложных при высоком показателе производительности процесса.

Немало важный факт, что заусенцы могут загнуться внутрь пазов и отверстий, что негативно влияет на качество. Именно поэтому успешные результаты будут иметь важное научное значение.

Данная тема является востребованной, так как она только развивается, но вопрос об обработке деталей с малыми пазами и отверстиями остается главной задачей для производства.

Целью данной выпускной квалификационной работы является повышение эффективности ВиО на основе уточнения математической модели определения продолжительности удаления заусенца гранулированными средами.

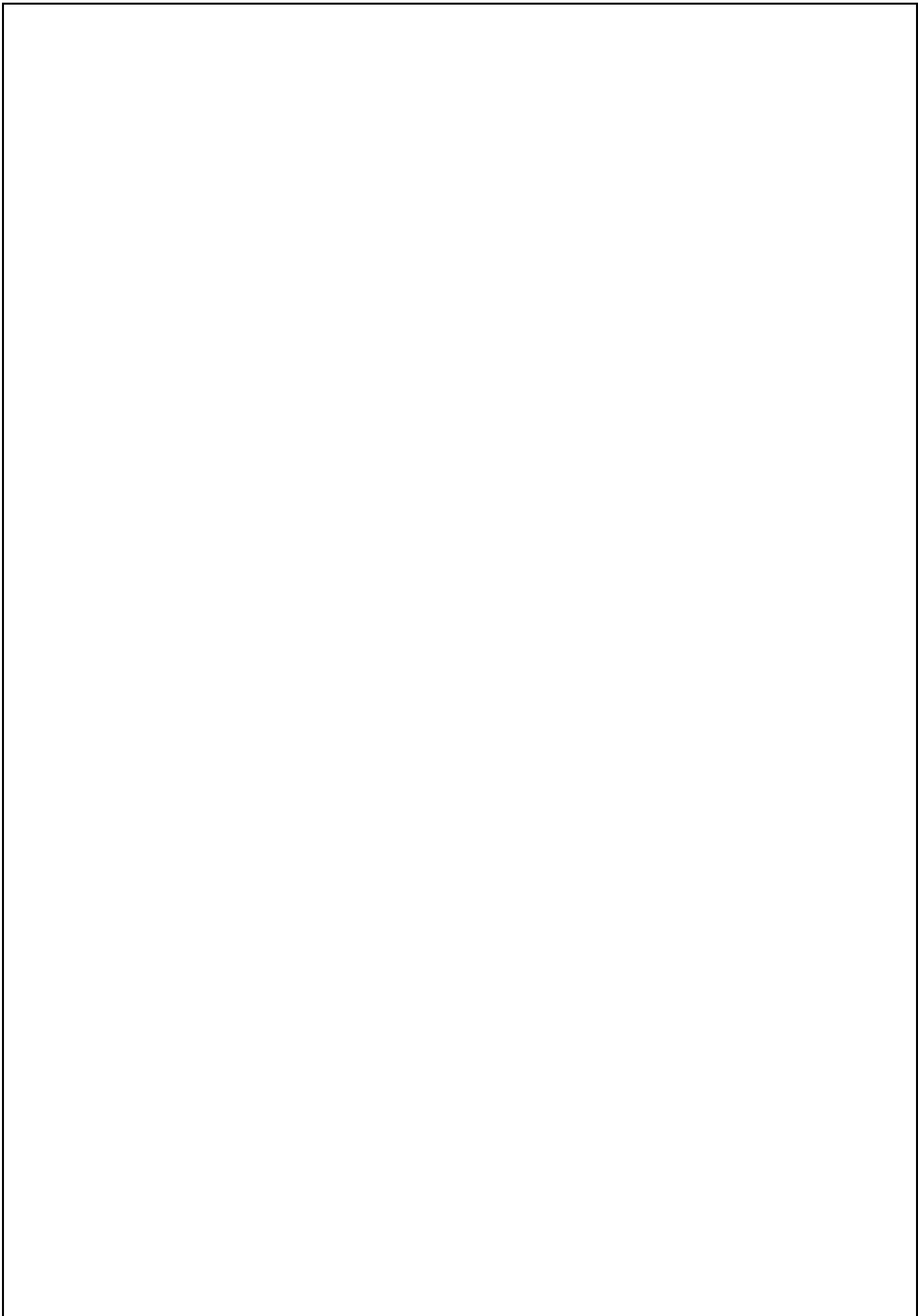
Задачи исследования:

1. Теоретические исследования процессов удаления заусенцев в малых пазах и отверстиях деталей.

2. Анализ формы и геометрических размеров заусенцев на типовых представителях деталей приборов РЭА и разработка на этой основе общей модели заусенца

3. Разработка модели процесса удаления заусенцев при ВиО свободным абразивом и экспериментальная проверка ее адекватности.

					ВКР-СКФУ-15.03.05-161142-19	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		15



					ВКР-СКФУ-15.03.05-161142-19	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		16

2 Исследование формы сечения заусенца на продолжительность его удаления при ВиО

2.1 Разработка обобщённой модели заусенца, образовавшегося при механической обработке

Формы заусенцев исследовались на микрошлифах. Группы деталей разрезались с помощью электроэрозионной резки. Обработанные кромки и размеры заусенцев замерялись на микрошлифах с помощью металлографического и микроскопа МЕИПМ 7200. Виды заусенцев исследуемых образцов (Рисунок 2.1.1)

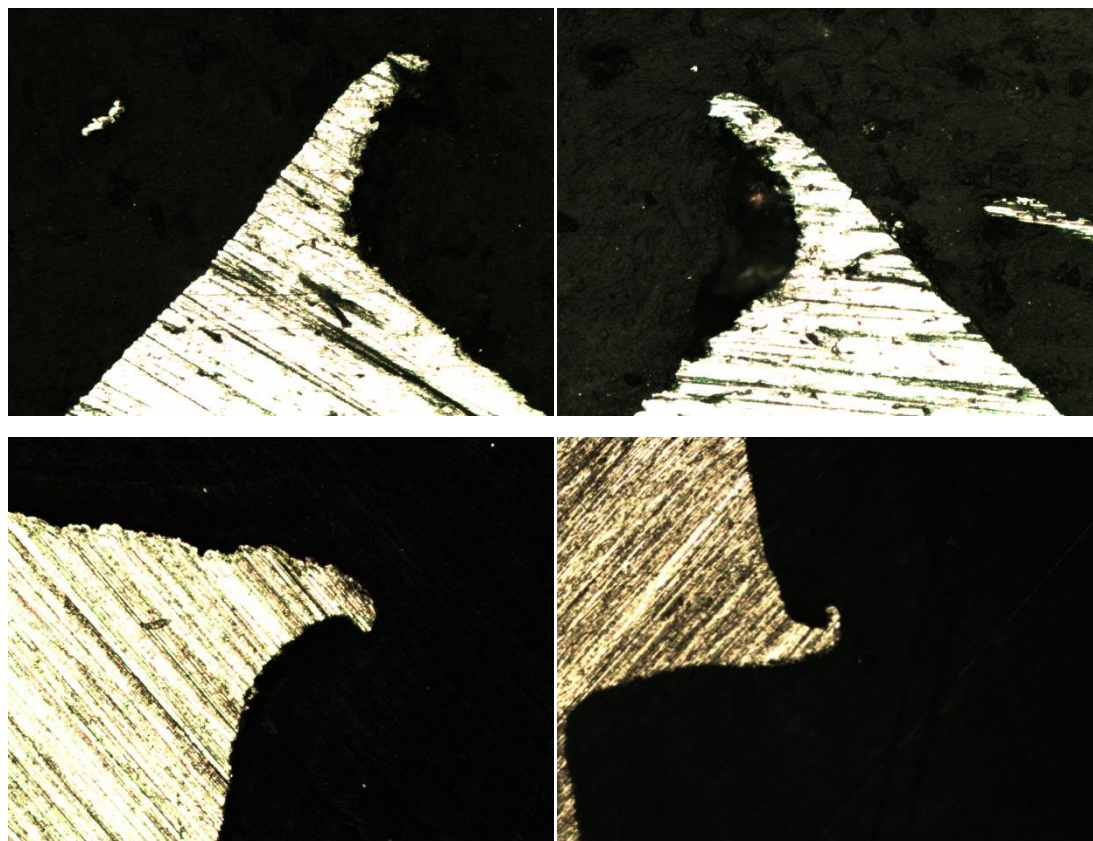


Рисунок 2.1.1 – Сечение заусенцев у исследуемых образцов

Из исследований микрошлифов стало понятно, что поперечное сечение заусенцев обладают треугольной формой. Высота заусенца деталей РЭО превышает значение толщины заусенцев у основания в 2-3 раза и толщина заусенца у основания не выходит за 0,3 мм.

					ВКР-СКФУ-15.03.05-161142-19	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		17

Чтобы обобщить различные виды заусенцев, необходимо исходить из характеристик измеряемых величин заусенца. Заусенец может характеризоваться своим продольным профилем и профилем поперечного сечения. В отношении профиля поперечного сечения важно измерить следующие величины: толщину основания заусенца и высоту заусенца.

Для оценки экспериментов, измерения заусенцев проводили для 5-ти образцов. Во время обработки данных использовалось среднееарифметическое значение выходного параметра. Результаты представлены (Таблица 2.1)

Характеристики выбранных металлов:

- сталь 30, в т.ч. со специальными свойствами 29НК ($\sigma_s = 450$ МПа);
- алюминиевый сплав АМг6 ($\sigma_s = 155$ МПа)
- медные сплавы: Бронзовый сплав БрОЦ4-3, Латунь ЛС-59 ($\sigma_s = 300$ МПа).

Таблица 2.1 – Размеры заусенцев в разных металлах

Предел текучести материала образца σ_T , МПа	Основание заусенца L_0 , мм	Высота заусенца $h_{заус}$, мм	Соотношение высоты заусенца к его основанию h/L
155	0,068	0,18	2,64
	0,094	0,232	2,47
	0,13	0,3	2,31
	0,18	0,513	2,85
	0,26	0,72	2,77
300	0,086	0,235	2,73
	0,14	0,301	2,15
	0,19	0,426	2,24

Продолжение таблица 2.1

Предел текучести материалообразца σ_T , МПа	Основание заусенца L_0 , мм	Высота заусенца $h_{\text{заус}}$, мм	Соотношение высоты заусенца к его основанию h/L
	0,22	0,585	2,66
	0,28	0,718	2,57
450	0,073	0,171	2,34
	0,081	0,199	2,46
	0,15	0,417	2,78
	0,21	0,565	2,69
	0,25	0,716	2,87

Из таблицы ясно, что значение высоты треугольного заусенца в 2,5-3 раза больше, чем основание (Рисунок 2.1.2).

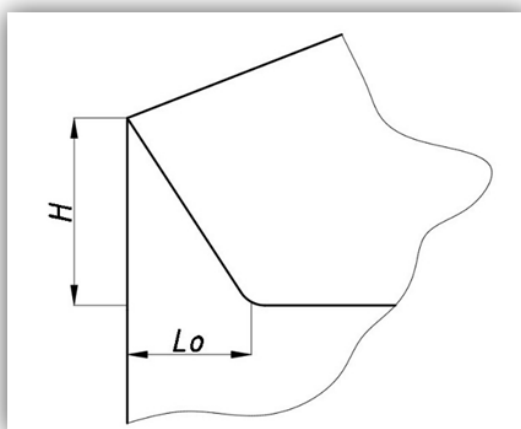


Рисунок 2.1.2 – Обобщенная модель заусенца

2.2 Особенности контактного взаимодействия гранулы с обрабатываемой поверхностью

При исследовании обработки деталей свободными абразивами одним из основных вопросов является определение съема металла с поверхности детали за время обработки.

Целесообразным вариантом расчета представляется метод, заключающийся в определении съёма металла при единичном взаимодействии абразивной частицы с поверхностью детали, с последующим умножением на количество таких взаимодействий за время обработки. Но необходимо учитывать, что не все взаимодействия приводят к удалению металла, часть из них приводит к пластическому и упругому деформированию.

В процессе обработки поверхность детали непрерывно подвергается динамическому воздействию абразивных частиц. При этом количество взаимодействий, приходящийся на единицу поверхности детали в единицу времени, носит случайный характер и его невозможно функционально связать с технологическими параметрами процесса. Протекание подобных процессов можно описать методами теории вероятностей, которые разработал Тамаркин М.А. [5].

Общее количество взаимодействий на площади квадрата упаковки, приводящих к микрорезанию, можно определить по формуле(2.1)

$$n_p = P_1 P_2 f_s t, \quad (2.1.)$$

где P_1 - геометрическая вероятность события, заключающегося в том, что любая точка квадрата упаковки покрывается пятном контакта за один цикл воздействия массы абразивных частиц;

P_2 - вероятность события, заключающегося в том, что взаимодействие абразивной частицы с поверхностью детали приведет к микрорезанию;

f_s - частота циклов воздействия массы абразивных частиц на поверхность детали;

t - время обработки.

Большинство взаимодействий абразивных частиц с поверхностью детали происходит под острым углом, следовательно, пятно контакта при единичном взаимодействии представляет эллипс (Рисунок 2.2.1).

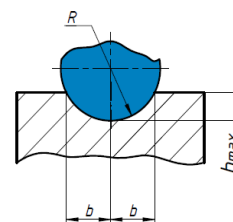
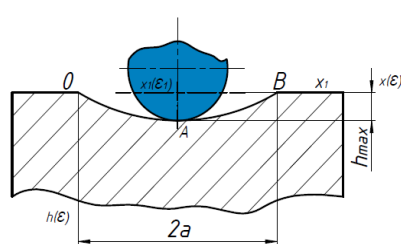


Рисунок 2.2.1 – Геометрическая схема внедрения абразивной частицы в поверхность детали

Чтобы определить количество взаимодействий, которые приходится на единицу площади в единицу времени, нужно провести дальнейшие допущения условий протекания процесса обработки:

1. Обработка плоской детали ведется шарами схожего диаметра $D(D=2R)$;
2. Набор шаров на обрабатываемой поверхности это набор по квадрату со стороной, которая равняется диаметру шара.
3. Точкой контакта выступают эллипсы с плоскими полуосями a и b ($a > b$).
4. Все соударения частицы с поверхностью детали образуют пятно контакта.
5. Данная единица площади детали вся перекрывается рабочей средой при каждом цикле действия.

Обработка осуществляется следующим образом: на квадрат упаковки в случайном порядке образуются эллиптические пятна; большое количество точек квадрата упаковки, которые покрыты одним или большим числом эллипсов, являются неопределённым множеством [2].

Вопрос заключается в том, чтобы определить вероятность того, что каждая точка внутри квадрата упаковки может быть покрыта одним эллипсом. Однако ввиду того, что в реальном процессе обработки взаимодействие абразивной частицы с поверхностью детали имеет более сложный характер, дадим оценку вероятности по формуле (2.2)

$$P_1 = \frac{\pi ab}{\pi a^2 + 4Da + D^2}, \quad (2.2)$$

где a и b – большая и малая полуоси эллипсов контакта;

D – диаметр абразивной частицы.

В обычном случае, когда площадь поверхности детали больше квадрата упаковки, общее число взаимодействий, приводящих к микрорезанию, определяется по формуле(2.3)

$$N_p = n_p \frac{S_{дет}}{S_{кв.уп.}}, \quad (2.3)$$

где $S_{дет}$ – площадь поверхности детали;

$S_{кв.уп.}$ – площадь упаковки.

Приняв $S_{кв.уп.} = D^2 = 4R^2$, получим формулу(2.4)

$$N_p = P_1 P_2 f_v t \frac{S_{дет}}{4R^2}. \quad (2.4)$$

Следует учитывать, что в случае обработки очень малых деталей, либо их отдельных участков, когда площадь детали меньше площади квадрата упаковки, значение вероятности P_1 изменится по формуле(2.5)

$$P_1 = \frac{\pi ab}{S_{дет}}. \quad (2.5)$$

Формула для определения общего числа взаимодействий, примет вид по формуле **Error! Reference source not found.**)

$$N_1 = P_1 P_2 f_v t. \quad (2.6)$$

Для проведения расчетов необходимо определить величину полуосей эллиптического пятна контакта a и b . Величину малой полуоси b можно найти, воспользовавшись геометрической схемой внедрения абразивной частицы в поверхность детали (**Error! Reference source not found.****Error! Reference source not found.**).

Малая полуось эллиптического пятна контакта равна половине длины хорды, проведённой в окружности радиуса R на расстоянии $(R - h_{max})$ от центра по формуле (2.7)

$$b = \sqrt{R^2 - (R - h_{max})^2}. \quad (2.7)$$

Учитывая длину траектории следа, а также тот факт, что при внедрении на

					ВКР-СКФУ-15.03.05-161142-19	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		22

глубину h_{\max} частица оставляет отпечаток шириной $2b$, можно найти величину большой полуоси.

Вычислив величину a и b можно рассчитать площадь следа абразивной частицы на поверхности детали $S_{сл} = \pi ab$, следовательно, вероятность того, что любая точка квадрата упаковки покроеся пятном контакта – P_1 можно определить общее количество воздействий частиц на обрабатываемую поверхность.

Необходимость разработки методики расчёта удаления металла с поверхности детали объясняется следующими причинами:

- 1) Одной из задач является удаление слоя после литья, штамповки и.т.д, для этого нужно определить время для обработки;
- 2) Если задачей является удаление заусенцев и облоя, то вычислив объём удаленного металла можно применить методику для определения времени обработки;
- 3) Для расчёта времени достижения шероховатости также нужна методика, которая позволяет определить удаление объёма металла в течении какого-то промежутка времени.

Следовательно, при расчёте съёма металла достаточно учитывать только число взаимодействий N_p , приводящих к микрорезанию по формуле(2.9)

$$Q = N_p q, \quad (2.9)$$

где Q - съём металла с поверхности детали.

Однако, при расчётах следует учитывать, что сложная форма деталей может затруднить доступ абразивных частиц к обрабатываемой поверхности и уменьшать количество взаимодействий. В таких случаях необходимо вводить коэффициент формы детали - k_f .

В общем случае, зависимость для определения съёма металла с поверхности детали будет иметь следующий вид и рассчитывается по формуле (2.10)

$$Q = k_f k_{т.ж} P_1 P_2 f_v t q \frac{S_{дет}}{4R^2} \text{ при } S_{дет} > 4R^2. \quad (2.10)$$

					ВКР-СКФУ-15.03.05-161142-19	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		23

2.3 Теоретическая модель съёма заусенца при ВиО

При анализе геометрических форм был смоделирован профиль поперечного сечения заусенца, который выглядит, как прямоугольный треугольник.

В работах Бабичева и Мишнякова [1] говорится о том, что заусенец, имея треугольную форму, удаляется от вершины к основанию с помощью микрорезания-царапания. В первые секунды обработки, когда длина следа обработки превосходит показатель толщины заусенца в месте соударения зёрен, абразивные частицы режут всё тело под разными углами. Соответственно, вначале происходит наибольшая интенсивность съёма.

Если увеличить радиус кромки заусенцев до длины следа интенсивность начинает убывать. При достижении толщины заусенца при вершине, превышающей длину следа, интенсивность с течением времени изменятся незначительно. В случае прямоугольного сечения заусенца интенсивность обработки будет величиной постоянной.

Исследование следов обработки говорит о том, что цикл обработки не изменяется, даже если использовать в обработке другие материалы. Могут измениться только размеры следов обработки. Твёрдость материала образцов влияет на быстроту ВиО.

Процесс удаления заусенца можно разложить на три этапа.

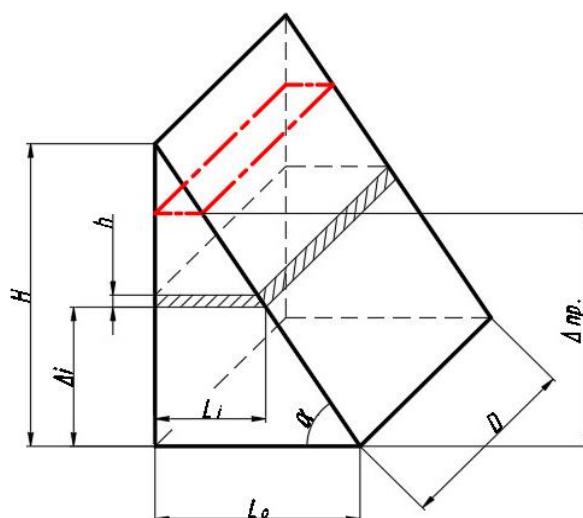


Рисунок 2.3.1 – Схема заусенца

Толщина заусенца у основания принималась равной L_0 . Объем металла, который необходимо удалить на участке, длина которого равна диаметру абразивной частицы $2R$, определяли по формуле

$$W = 2RL_0^2, \quad (2.11)$$

где R – радиус абразивной частицы.

После преобразований была получена зависимость для определения времени удаления заусенца

$$t_3 = k_3 \frac{4L_0^2 R^2}{\pi ab P_2 f_B V} \quad (2.12)$$

Данная модель позволила рассчитывать время удаления заусенцев и облоя, причем это время прямо пропорционально кубу толщины заусенца у основания.

Так как, от геометрической формы поперечного сечения заусенца зависит объем удаленного металла, и как следствие, время и производительность обработки, то на основании выше приведенной зависимости необходимо разработать методику уточненного расчёта времени удаления заусенца.

С учётом того, что с увеличением толщины заусенца в его основании геометрическая вероятность P_1 изменяется по пропорциональному закону может возникнуть два случая расчёта времени заусенца:

1. Когда заусенец удаляется с геометрической вероятностью $P_1=1$, т.е. наблюдается наибольшая интенсивность съема материала заусенца и выполняется условие для соотношения диаметра гранулы к величине заусенца у основания более чем в 2 раза;

2. Когда время удаления заусенца рассчитывается в несколько этапов: первый этап – этап высокой интенсивности, второй – переходная интенсивность и третий этап – установившейся интенсивности обработки. В данном случае соотношение диаметра гранулы к величине заусенца у основания менее 222 и расчет проводится с учетом диапазона изменения соотношения диаметра гранулы к величине основания заусенца.

Определение времени удаления заусенца при соотношении диаметра гранулы к толщине заусенца у основания более 222 раза.

Геометрическая форма сечения заусенца в данном случае представляет

					ВКР-СКФУ-15.03.05-161142-19	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		25

собой треугольник (рисунок 2.3.1), где толщина заусенца у основания равна L_0 и высота H , отсюда площадь поверхности поперечного сечения заусенца определяется по формуле (2.13)

$$S = \frac{1}{2} L_0 h_{\text{заус}} \quad (2.13)$$

Объём металла, который необходимо удалить на участке, длина которого равна диаметру абразивной гранулы $2R$

$$W_3 = RL_0 h_{\text{заус}} \quad (2.14)$$

Так как согласно зависимости объём металла, который удаляется за время t_3 :

$$W_3 = P_1 P_2 f_{\theta} t_3 V, \quad (2.17)$$

можно записать в следующем виде:

$$RL_0 h_{\text{заус}} = P_1 P_2 f_{\theta} t_{\text{заус}} V, \quad (2.16)$$

Геометрическая вероятность P_1 для данной стадии расчета равна единице.

Введя коэффициент k_3 , учитывающий особое расположение заусенца на детали и специфические условия взаимодействия абразивной частицы с его поверхностью, после преобразований получим зависимость для определения времени удаления заусенца:

$$t_{\text{заус}1} = k_3 \frac{h_{\text{заус}} \cdot L_0 \cdot R}{P_2 \cdot f_{\theta} \cdot V}, \quad (2.17)$$

$k_{\text{заус}}$ – коэффициент, определяющий расположение заусенца.

Определение времени удаления заусенца при соотношении диаметра гранулы к толщине заусенца у основания менее 222.

При соотношении диаметра гранулы к величине заусенца у основания менее 222 необходимо проводить расчет времени съёма заусенца с учетом диапазона изменения данного соотношения в несколько этапов.

Для этого условно разобьем площадь треугольника заусенца на три элементарные геометрические формы: треугольник и две трапеции, как показано на Рисунок 2.3.2.

Разбиение высоты заусенца на большее количество участков допускается, но в данном случае нецелесообразно из-за незначительной степени увеличения

					ВКР-СКФУ-15.03.05-161142-19	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		26

точности получаемых результатов.

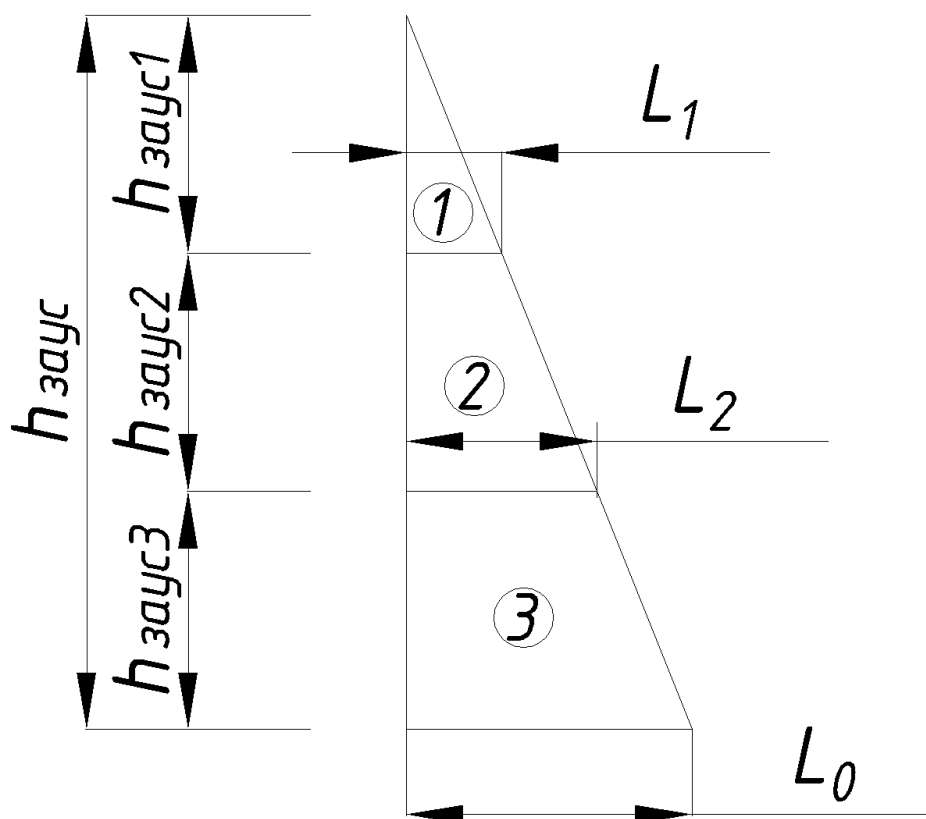


Рисунок 2.3.2 – Геометрические преобразования площади сечения заусенца

На первом этапе проводим расчет времени удаления заусенца при величине основания L_1 , для которого верно неравенство

$$k_{\text{геом1}} = \frac{d_{\text{гр}}}{L_1} \geq 222, \quad (2.18)$$

т.е. геометрическая вероятность того, что любая точка круга с радиусом равным R при одном колебании рабочей камеры станка покрывается пятном контакта $P_1 = 1$. Геометрическая форма участка заусенца представляет собой прямоугольный треугольник с высотой $h_{\text{заус1}}$.

На втором этапе проводим расчёт времени удаления заусенца при величине основания L_2 , для которого верно следующее равенство:

$$k_{\text{геом2}} = \frac{k_{\text{геом1}} - k_{\text{геом3}}}{2} + k_{\text{геом3}}, \quad (2.19)$$

при котором геометрическая вероятность того, что любая точка круга R

при одном колебании рабочей камеры станка покрывается пятном контакта $P_{12} < 1$.

Геометрическая форма второго участка поперечного сечения заусенца – трапеция с высотой $h_{заус2}$.

На третьем этапе проводим расчёт времени удаления заусенца при величине основания заусенца L_0 , для которого верно $k_{геом3} < 222$, при котором геометрическая вероятность того, что любая точка круга R при одном колебании рабочей камеры станка покрывается пятном контакта $P_{13} < 1$. Геометрическая форма участка заусенца – трапеция с высотой $h_{заус3}$.

Расчетные формулы определения времени удаления заусенца для первого этапа.

Толщина заусенца у основания равна L_1 .

Площадь поверхности заусенца

$$S = \frac{1}{2} L_1 h_{заус1}, \quad (2.20)$$

Тогда объем металла, который необходимо удалить на участке, длина которого равна диаметру абразивной частицы $2R$

$$W_3 = RL_1 h_{заус1}, \quad (2.21)$$

Так как согласно за время удаляется объем металла

$$W_3 = P_1 P_2 f_6 t_3 V, \quad (2.21)$$

можно записать следующее равенство

$$RL_1 h_{заус1} = P_1 P_2 f_6 t_{заус1} V, \quad (2.22)$$

Величина на участке длиной $2R$ определится следующим образом:

$$P_{11} = \frac{\pi ab}{2RL_0} = 1, \quad (2.23)$$

это следует из следующего неравенства

$$\frac{d_{гр}}{L_1} \geq 222, \quad (2.24)$$

После преобразований получим искомую зависимость для определения времени удаления заусенца на первом этапе

					ВКР-СКФУ-15.03.05-161142-19	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		28

$$t_{\text{заус1}} = k_{\text{заус}} \frac{h_{\text{заус1}} \cdot L_1 \cdot R}{P_2 \cdot f_B \cdot V}. \quad (2.25)$$

Расчетные формулы определения времени удаления заусенца для второго этапа.

Толщина заусенца у основания равна L_2 .

Площадь сечения поверхности заусенца, представленная в виде трапеции

$$S = \frac{L_2 + L_1}{2} h_{\text{заус2}}, \quad (2.26)$$

Тогда объем металла, который необходимо удалить на участке, длина которого равна диаметру абразивной частицы $2R$

$$W_3 = R(L_1 + L_2)h_{\text{заус2}}, \quad (2.27)$$

Так как согласно (2.21) за время, необходимое для удаления объема металла равного W_3 , находим

$$W_3 = P_1 P_2 f_6 t_3 V, \quad (2.28)$$

можно записать следующим образом

$$R(L_1 + L_2)h_{\text{заус2}} = P_1 P_2 f_6 t_{\text{заус2}} V, \quad (2.29)$$

Величина геометрической вероятности P_{12} на участке длиной $2R$ определится отношением

$$P_{12} = \frac{\pi ab}{2RL_2}, \quad (2.30)$$

после преобразований получим зависимость, позволяющую определить время удаления заусенца на втором этапе:

$$t_{\text{заус2}} = k_{\text{заус}} \frac{2 \cdot L_2 \cdot h_{\text{заус2}} \cdot (L_1 + L_2) \cdot R^2}{P_2 \cdot f_B \cdot V}, \quad (2.31)$$

Расчетные формулы определения времени удаления заусенца для третьего этапа.

Толщина заусенца у основания равна L_0 .

Площадь поверхности заусенца, как и во втором этапе, представлена в виде площади трапеции

$$S = \frac{L_2 + L_0}{2} h_{\text{заус3}}, \quad (2.32)$$

где $h_{\text{заус3}}$ – высота трапеции третьего участка (рисунок 2.3.2).

Отсюда объем металла, который необходимо удалить на участке, длина которого равна диаметру абразивной частицы $2R$

$$W_3 = R(L_0 + L_2)h_{\text{заус3}}, \quad (2.33)$$

Так как согласно за время удаляется объем металла, который равен

$$W_3 = P_1 P_2 f_B t_3 V, \quad (2.34)$$

можно представить в следующем виде

$$R(L_0 + L_2)h_{\text{заус3}} = P_1 P_2 f_B t_{\text{заус3}} V, \quad (2.35)$$

Величина геометрической вероятности P_{13} на участке длиной $2R$ определится следующим образом

$$P_{13} = \frac{\pi ab}{2RL_0}, \quad (2.36)$$

после преобразований получим зависимость для определения времени удаления заусенца на третьем этапе:

$$t_{\text{заус3}} = k_{\text{заус}} \frac{2 \cdot L_0 \cdot h_{\text{заус3}} \cdot (L_0 + L_2) \cdot R^2}{P_2 \cdot f_B \cdot V}, \quad (2.37)$$

Руководствуясь опытными данными принимаем

$$h_{\text{заус}} = 2.5 \cdot L_0, \quad (2.38)$$

тогда согласно теореме подобия треугольников получаем следующие преобразования

$$h_{\text{заус1}} = 2.5 \cdot L_1, \quad (2.39)$$

$$h_{\text{заус2}} = \frac{L_1 \cdot h_{\text{заус1}}}{L_1} - h_{\text{заус1}}, \quad (2.40)$$

$$h_{\text{заус3}} = \frac{L_0 \cdot h_{\text{заус1}}}{L_1} - h_{\text{заус2}} - h_{\text{заус1}}, \quad (2.50)$$

$$t_{\text{заус.1}} = t_{31} + t_{32} + t_{33}, \quad (2.51)$$

Итоговое время удаления заусенца будет являться суммой времени, необходимого для удаления всех трех участков заусенца

$$t_{\text{заус}} = k_{\text{заус}}(t_{\text{заус1}} + t_{\text{заус2}} + t_{\text{заус3}}),$$

(2.52)

					ВКР-СКФУ-15.03.05-161142-19	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		31

3 Методика исследований

3.1 Технологическое оборудование

Экспериментальные исследования процесса ВиО проводились в дробленной скорлупе грецкого ореха на вибрационном станке СВТ-5. Преимуществом данного оборудования является: простота конструкции, универсальность, удобство в эксплуатации. Финишная обработка при помощи вибрационных станков успешно осуществляется на многих предприятиях. Наиболее полное описание оборудования представлено в работах [2, 3]. Техническая характеристика оборудования приведена (таблица 3.1), внешний вид оборудования представлен (рисунок 3.1.1)

Таблица 3.1 Технические характеристики станка для виброобработки

Наименование	Единицы измерения	Модель станка
		СВТ-5
Объем рабочей камеры	дм ³	5
Количество рабочих камер	шт	1
Привод колебаний		дебалансный
Расположение вибратора		горизонтальное
Мощность электродвигателя	кВт	1.7
Амплитуда колебаний	мм	0.5-5
Частота колебаний	Гц	16,26,33,40
Габаритные размеры	м	1.76x1.0x1.05

Продолжение таблица 3.1

Наименование	Единицы измерения	Модель станка
		СВТ-5
Масса	кг	1012
Объем бака отстойника	дм ³	200



Рисунок 3.1.1 – Станок СВТ-5

3.2 Приборы и приспособления для экспериментальных исследований

Для измерения и контроля различных параметров работы оборудования, характеризующих протекание процесса виброабразивной обработки, применялись следующие приборы и приспособления.

					ВКР-СКФУ-15.03.05-161142-19	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		33

Взвешивание образцов для определения величины съема металла выполнялось на аналитических весах модели АД-200 с точностью измерения до 0.2 мг (Рисунок 3.2.1)



Рисунок 3.2.1 – Аналитические весы АД – 200.

Скругление острых кромок исследовалось на двойном микроскопе Линника МИС-11 (рисунок 3.2.2) по специальной методике.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ВКР-СКФУ-15.03.05-161142-19

Лист

34

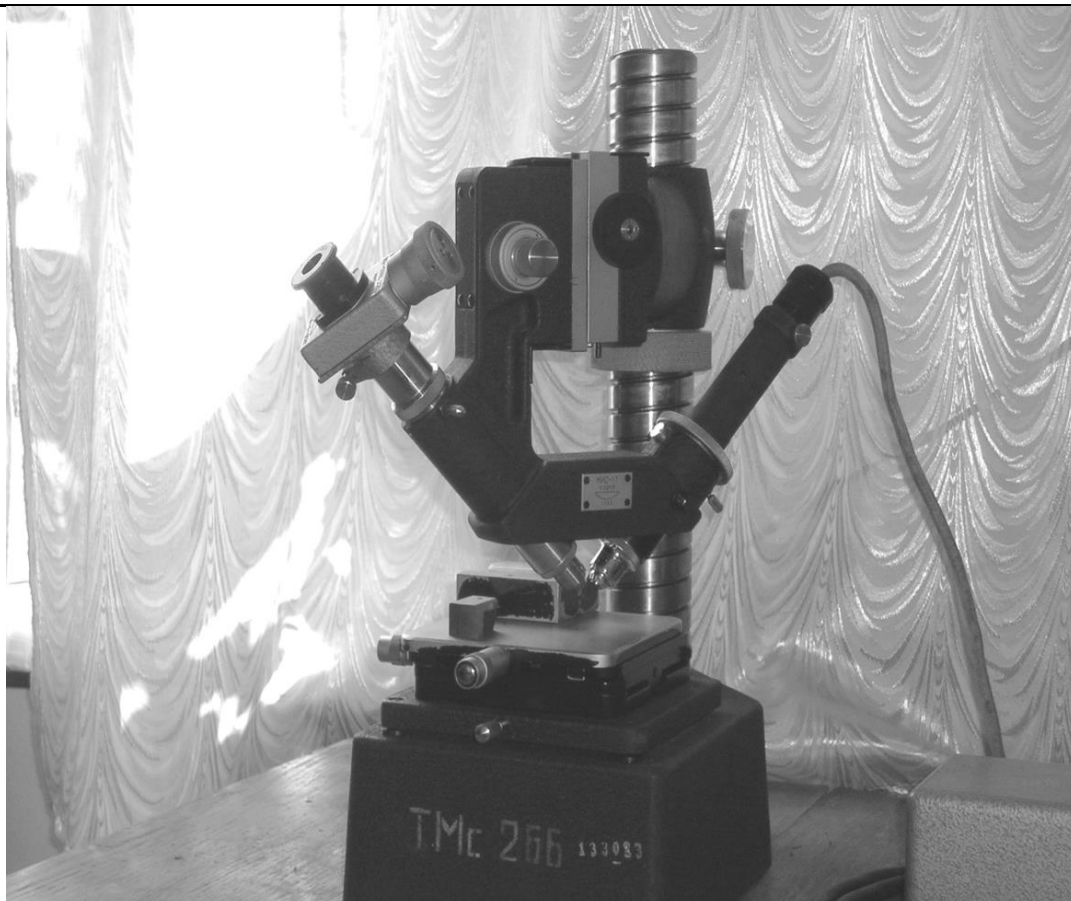


Рисунок 3.2.2 – Микроскоп ЛинникаМИС-11

Контроль процесса удаления заусенцев осуществлялся путем осмотра и сравнения с эталоном, проверки предельными калибрами соответствующих размеров, замера размеров заусенцев штангенциркулем с точностью измерения 0,02 мм, а также с помощью инструментального микроскопа, для чего обрабатываемые образцы проходили специальную обработку (разрез и подготовка шлифа - в измеряемом сечении). В отдельных случаях интенсивность процесса дополнительно проверялась по съему металла путем взвешивания образцов до и после обработки.

3.3 Выбор материалов для образцов

При выборе материалов образцов для экспериментальных исследований принимались во внимание проверка универсальности теоретических моделей и возможности широкого применения результатов исследований для обработки деталей из машиностроительных материалов, которые наиболее часто

используются в промышленности, а также материалов, используемых в авиастроении.





В качестве объектов исследований использовались детали - представители одного из приборостроительных предприятий. Основная продукция данного предприятия включает в себя большую номенклатуру мелкогабаритных деталей, у многих из которых присутствуют сложно-доступные поверхности (малые пазы и отверстия). Номенклатура включает в себя порядка сорока наименований деталей. Выбранные для исследования детали были разбиты на группы, исходя из их схожести по габаритным размерам, материалу, а также по конструктивным и технологическим признакам, в каждой группе были выделены наиболее типичные детали-представители [9].

Химический состав и физико-механические свойства исследуемых деталей - представителей представлены в таблице Таблица 3.2

Таблица 3.2 – Химические свойства

Химические свойства АМг6								
Fe	Si	Mn	Ti	Al	Cu	Be	Mg	Zn
0,4	0,4	0,5-0,8	0,02	91,1	0,1	0,0002	5,8	0,2
Химические свойства ЛС59								
Fe	P	Sb	Pb	Sn	Cu	Bi	Mg	Zn
0,5	0.02	0.01	0.8	0.3	57	0.03	1.2	37.05
Химические свойства Бр-оц4-3								
Fe	Si	Ni	P	Al	Cu	Pb	Sn	Zn
0,05	0.002	0.3	0.03	0.002	92.2	0.02	3.5	2.7

Таблица 3.3 – Классификация изделий приборов радиоэлектронной аппаратуры

Код группы	Конструктивная форма	Детали представителя группы			
1	Плоские детали из листового материала				
2	Тела вращения				
3	Тела вращения с пересеченным плоским телом				
4	Тела вращения в сочетании с фасонным телом				

3.4 Методика для исследования макро геометрии поверхности деталей

Изучение шероховатости производилось по ГОСТ 27964-88 с применением профилометров. Шероховатость поверхности получали из среднеарифметического значения Ra.

Для проведения анализа формы заусенцев использовались оптические и электронные устройства. Для фотографий заусенцев использовалась камера модели DCM510. Таким образом, производилось измерение заусенцев в 12,5 кратном увеличении. Вывод строился по среднему значению пяти образцов.

Средняя высота заусенца вычислялась по 10 точкам (пять минимальных и пять максимальных значений) и вычислялась по формуле (3.24)

$$h_{cp} = \frac{\sum_{j=1}^5 h_j^{min} + \sum_{j=1}^5 h_j^{max}}{10}, \quad (3.24)$$

где $\sum_{j=1}^5 h_j^{min}$ – значение суммы высот заусенцев для 5 максимальных точек, мм;

$\sum_{j=1}^5 h_j^{max}$ – значение суммы высот заусенцев для 5 минимальных точек, мм;

После определяется среднее значение высоты заусенцев пяти образцов по формуле (3.25)

$$h = \frac{\sum_{i=1}^5 h_i^{cp}}{5}, \quad (3.25)$$

где i – номер образца.

3.5 Методика исследований влияния режимов виброобработки на производительность и качество процесса

Чтобы удостовериться в адекватности расчётных зависимостей, которые обеспечивают выгодные условия ВиО. Например, продолжительность, количество обрабатываемых деталей вместе. Для этого существует методика проверки.

Сперва требуется подготовить образцы, на примере деталей РЭА. Их делят на 4 группы (по 5 штук в каждой), исходя из конструктивных особенностей. На

					ВКР-СКФУ-15.03.05-161142-19	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		38

каждой из них делается насечка напротив заусенца, для получения оценки у каждого образца определялись геометрические размеры заусенцев и шероховатость.

Время определялось на основе периодического контроля процесса, который производился в отрезки времени кратные 5-10 минут. Если же неполное снятия заусенца, образцы опять помещались в камеру и обработка продолжалась.

В завершении, когда заусенец полностью удалялся, проводился контроль шероховатости по среднеарифметическому отклонению профиля Ra и на соответствие требования, которое устанавливал чертеж. Затем определялась оценка качества поверхности.

Полученные результаты заполняются в таблицы. Затем анализируется степень расхождения и делалось заключение об адекватности продолжительности обработки.

					ВКР-СКФУ-15.03.05-161142-19	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		39

4 Результаты исследования

На основании проведенных теоретических исследований по данной теме была запланирована и проведена серия экспериментальных исследований, целью которых ставилось определение влияния технологических параметров, особого расположения заусенцев деталей на изменение времени удаления заусенца. Время удаления заусенца зависит от механических свойств обрабатываемого материала, толщины заусенца у основания, а также от характеристик рабочей среды.

Для проверки приведенных выше зависимостей времени обработки деталей при ВиО было проведено несколько серий экспериментов с использованием образцов из различных материалов.

Целью экспериментов ставилось установление влияния технологических режимов виброабразивной обработки на время съема заусенцах [9].

Зависимость определения времени построены с помощью программы MATH CAD.

					ВКР-СКФУ-15.03.05-161142-19	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		40

Таблица 4.1 – Технологические параметры деталей РЭА в гранулах скорлупы грецкого ореха.

№ опыта	Материал образцов	Кол-во образцов	Технологические параметры			Результаты обработки				
			$D_{гр}$, мм	A , мм	f , Гц	R_a , мк м	Диап а-зон $T_э$	$T_{экс.с}$ р., мин	$T_{расч}$, мин	δ , %
От размера гранул. Средний размер заусенца $L_o = 0,1$ мм										
1	АМг6	5	3	2	33	+	60-80	80	70,3	12
2	АМг6	5	4	2	33	+	45-50	49	47,6	2
3	АМг6	5	5	2	33	+	45-60	51	50,3	1
4	АМг6	5	6	2	33	+	25-40	32	35,1	9
5	ЛС-59-1	5	3	2	33	+	120-135	130	120,1	6
6	ЛС-59-1	5	4	2	33	+	65-90	74	74,3	2
7	ЛС-59-1	5	5	2	33	+	50-35	57	57,2	3
8	ЛС-59-1	5	6	2	33	+	40-55	45	45,7	1
9	БрОЦ4-3	5	3	2	33	-	135-150	144	151,4	5
10	БрОЦ4-3	5	4	2	33	+	90-115	97	97,1	1
11	БрОЦ4-3	5	5	2	33	+	60-70	66	65,2	1
12	БрОЦ4-3	5	6	2	33	+	50-65	58	55,7	3
От частоты. Средний размер заусенца $L_o = 0,1$ мм										
13	АМг6	5	4	2	25	+	75-90	84	78,4	7
14	АМг6	5	4	2	33	-	40-50	42	44,6	6
15	АМг6	5	4	2	40	+	40-45	42	45,1	7
16	АМг6	5	4	2	45	+	35-40	34	38,1	12
17	ЛС-59-1	5	4	2	25	+	85-100	90	93,2	3
18	ЛС-59-1	5	4	2	33	+	70-85	77	72,1	14
19	ЛС-59-1	5	4	2	40	+	50-65	58	64,6	11
20	ЛС-59-1	5	4	2	45	+	45-60	51	58,5	18
21	БрОЦ4-3	5	4	2	25	+	120-135	130	115,2	12
22	БрОЦ4-3	5	4	2	33	+	90-115	96	95,8	2

Продолжение

таблица

№ опыта	Материал образцов	Кол-во образцов	Технологические параметры			Результаты обработки				
			$D_{гр}$, мм	A , мм	f , Гц	R_a , мкм	Диап а-зон T_s	$T_{экс.с}$, р., мин	$T_{расч}$, мин	δ , %
23	БрОЦ4-3	5	4	2	40	+	80-95	92	85,1	7
24	БрОЦ4-3	5	4	2	45	+	70-85	77	74,4	5

Примечание.
 + - значение шероховатости R_a в пределах технических требований
 - - значение шероховатости R_a выходит за пределы технических требований

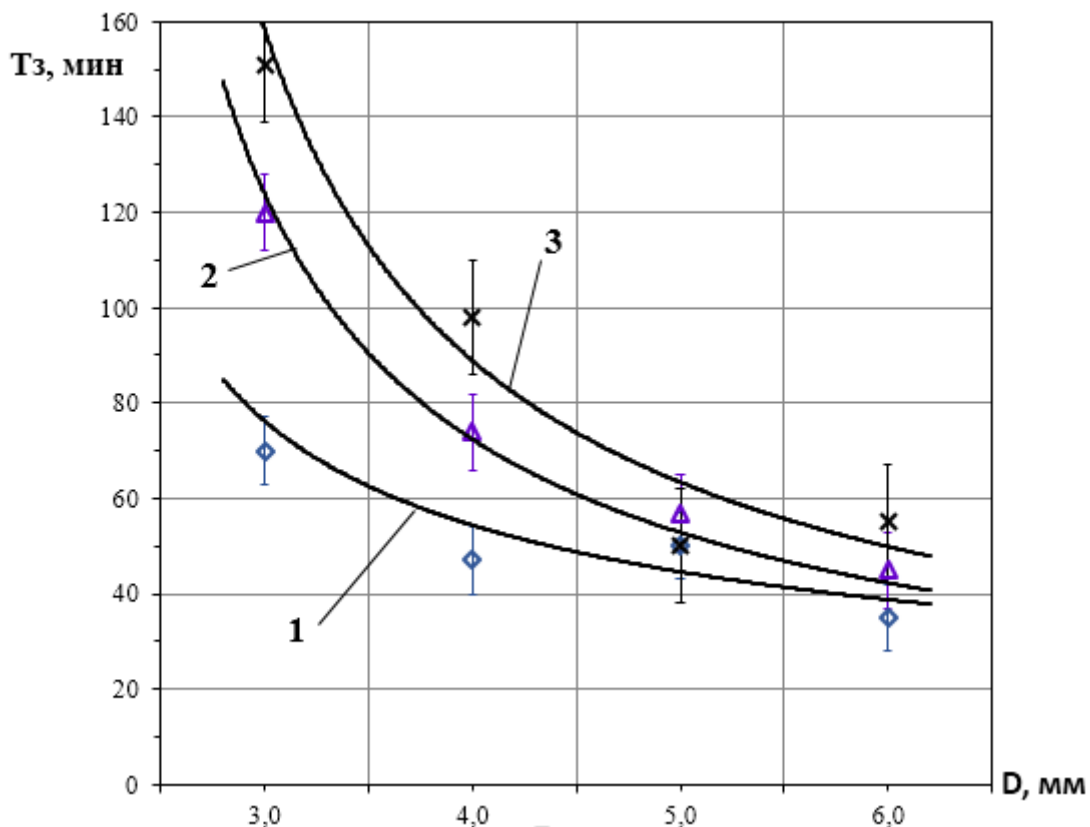


Рисунок 3.5 – График времени по отношению к диаметру гранул грецкого ореха

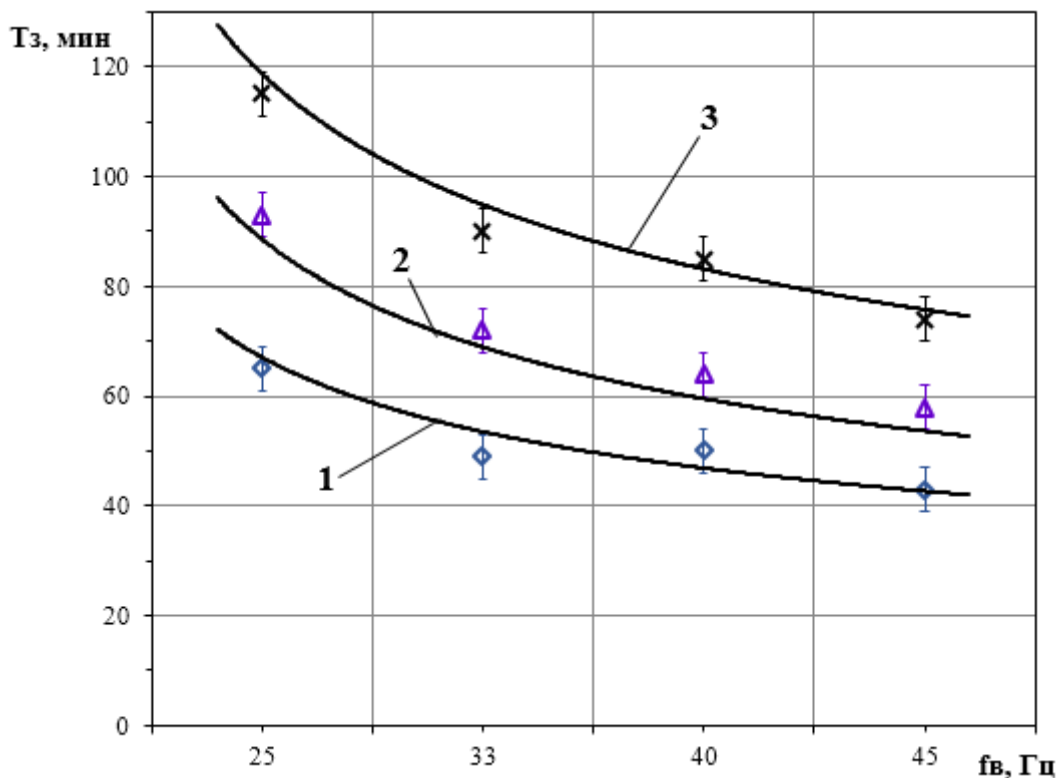


Рисунок 4.2 – График времени по отношению к частоте

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

Таблица 4.2 – Результаты от размеров гранул грецкого ореха

№ опыта	Размер заусенца L_0 , мм	Кол-во образцов	Технологические параметры			Результаты обработки				
			$D_{гр}$, мм	A , мм	f , Гц	R_a , мкм	Диапазон $T_э$	$T_{экс.с}$ р., мин	$T_{расч}$, мин	δ , %
Материал детали: АМг6										
1	0,05	5	4	2	33	+	25-40	30	32,1	7
2	0,1					+	40-50	48	44,2	8
3	0,2					+	65-80	68	70,3	3
4	0,3					+	85-100	92	90,3	2
Материал детали: ЛС-59-1										
5	0,05	5	4	2	33	+	60-70	64	67,2	5
6	0,1					-	65-90	82	74,1	9
7	0,2					+	75-90	80	81,2	2

Продолжение таблица

№ опыта	Размер заусенца L_0 , мм	Кол-во образцов	Технологические параметры			Результаты обработки				
			$D_{гр}$, мм	A , мм	f , Гц	R_a , мкм	Диапазон $T_э$	$T_{экс.с}$ р., мин	$T_{расч}$, мин	δ , %
8	0,3					+	120-135	126	122,4	3
Материал детали: БрОЦ4-3										
9	0,05	5	4	2	33	+	85-100	95	90,2	5
10	0,1					+	85-110	96	97,5	2
11	0,2					+	115-130	126	120,4	8
12	0,3					+	135-150	146	150,2	3

Примечание.

+ - значение шероховатости R_a в пределах технических требований

- - значение шероховатости R_a выходит за пределы технических требований

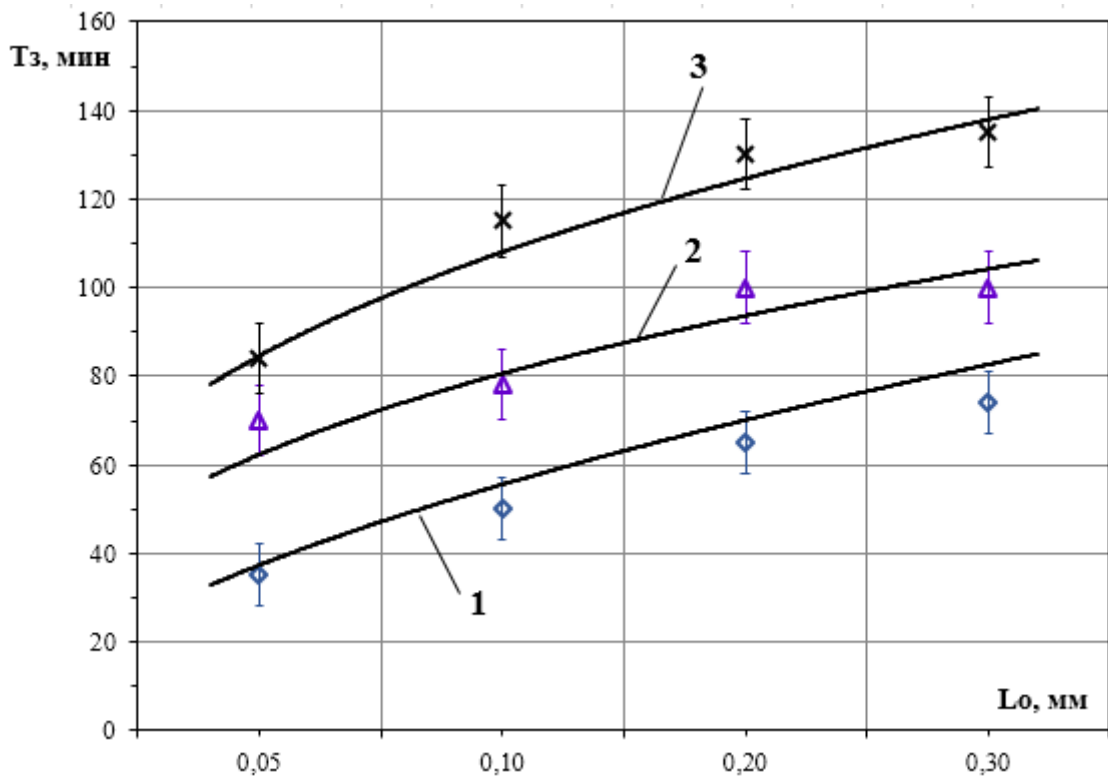


Рисунок 4.2 – График времени от размера основания заусенца

Из исследований становится ясно, что теоретические и экспериментальные данные находятся в пределах 20% погрешности друг от друга, следовательно, адекватность данных зависимостей подтверждается.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

5 Технико-экономическая эффективность внедрения ВиО при отделочно- зачистной обработке деталей РЭА

В рамках экономического обоснования предложенного технического решения данной проблемы предлагается произвести экономическую оценку его эффективности путем сравнения базового и проектируемого вариантов технологического процесса по критерию технологической себестоимости, включающей в себя затраты, меняющиеся в разных вариантах технологического процесса, с учетом приведенных капитальных вложений. В зависимости от изменений, внесенных в технологический процесс, обоснованию подлежит соответственно сам технологический процесс в целом, выбранное оборудование по операциям, предлагаемый для обработки инструмент и приспособления. Экономическое обоснование проектируемого технологического процесса производства деталей приборостроительного предприятия ПАО «Завод Атлант» заключается в подтверждении целесообразности его применения.

Технологический процесс был спроектирован на базе заводского технологического процесса путем его оптимизации. В базовом технологическом процессе отделочная операция детали производится в ручную, на которую затрачивается большое количество времени по сравнению с другими операциями, а по проектируемому технологическому процессу эта операция будет выполняться на виброгалтовочном станке Rotar-VBU-C-30L, что значительно сокращает время изготовления и тем самым снижает себестоимость изготовления детали.

Изменение операций позволяет значительно повысить производительность за счет совмещения. Необходимые для расчета данные по операциям базового и проектируемого технологических процессов представлены.

Таблица 5.1 – Значения по базовому и проектируемому процессу

Базовый техпроцесс				
№ операции	Наименование операции	Наименование и модель оборудования	Время, мин	
			t_0	$t_{шт}$

					ВКР-СКФУ-15.03.05-161142-19	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		46

и				
015	Токарная	Haas TL-1 Токарный станок	0,21	0,28
020	Токарная	Haas TL-1 Токарный станок	0,15	0,20

Продолжение Таблица 5.1

Базовый техпроцесс				
№ операции	Наименование операции	Наименование и модель оборудования	Время, мин	
			t ₀	t _{шт}
025	Токарная	Haas TL-1 Токарный станок	0,06	0,08
030	Токарная	Haas TL-1 Токарный станок	0,53	0,72
035	Фрезерная	HaasVF-1 Вертикально-фрезерный станок	0,48	0,65
040	Фрезерная	HaasVF-1 Вертикально-фрезерный станок	0,43	0,58
045	Фрезерная	HaasVF-1 Вертикально-фрезерный станок	0,21	0,27
050	Токарная	Haas TL-1 Токарный станок	0,07	0,09
055	Отделочная	В ручную	6	8,1
			t _{шт.о}	11
Проектируемый техпроцесс				
015	Токарная	Haas TL-1 Токарный станок	0,21	0,28
020	Токарная	Haas TL-1 Токарный станок	0,15	0,20
025	Токарная	Haas TL-1 Токарный станок	0,06	0,08
030	Токарная	Haas TL-1 Токарный станок	0,53	0,72
035	Фрезерная	HaasVF-1 Вертикально-фрезерный станок	0,48	0,65
040	Фрезерная	HaasVF-1 Вертикально-фрезерный станок	0,43	0,58
045	Фрезерная	HaasVF-1 Вертикально-фрезерный станок	0,21	0,27
050	Токарная	Haas TL-1 Токарный станок	0,07	0,09
055	Отделочная	Rotar-VBU-C-30L Виброгалтовочный станок	0,6	0,81
			t _{шт.о}	3,7

Информация об оборудовании представлены в Таблица 5.2

Таблица 5.2 – Информация об оборудовании

Наименование и модель оборудования	Оптовая цена оборудования Ц, руб	Норма амортизации по оборудованию $N_{a.об.}$	Суммарная мощность электродвигателей N, кВт	Действительный фонд времени работы единицы	Категория рем. Сложности оборудования

		%		оборудован ия F_d , час	Рм	Рэ
--	--	---	--	------------------------------	----	----

Продолжение Таблица 5.2

Наименование и модель оборудования	Оптовая цена оборудования Ц, руб	Норма амортизации по оборудованию $H_{a.об}$, %	Суммарная мощность электродвигателей N, кВт	Действительный фонд времени работы единицы оборудования F_d , час	Категория рем. Сложности оборудования	
					Рм	Рэ
Haas TL-1 Токарный станок	2600000	12	9	3890	35	48
Наименование и модель оборудования	Оптовая цена оборудования Ц, руб	Норма амортизации по оборудованию $H_{a.об}$, %	Суммарная мощность электродвигателей N, кВт	Действительный фонд времени работы единицы оборудования F_d , час	Рм	Рэ
HaasVF-1 Вертикально – фрезерный станок	4400000	12	28	3890	40	44
Rotar-VBU-C-30L Виброгалтовочный станок	300000	12	0,75	3890	6	10

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ВКР-СКФУ-15.03.05-161142-19

Лист

48

Информация об оснастке представлена в

Таблица 5.3

Таблица 5.3 – Информация об оснастке

Наименование приспособления	Цена приспособления <i>Цпр</i> , руб	Срок службы приспособления <i>T_{сл}</i> , год	Среднегодовые затраты на текущий ремонт приспособлений, руб. (10% от <i>Цпр</i>)
Патрон токарный трёхкулачковый	5600	4	560

Информация рабочих представлена в Таблица 5.4

Таблица 5.4 – Информация о рабочих

	Норма обслуживания оборудования, шт.:	Разряд работы:	Часовая тарифная ставка, руб./час:
Оператор ЧПУ	3	4	260
Станочник	2	3	210
Рабочий	-	-	160

Исходные данные представлены в Таблица 5.5

Наименование показателя	Величина
Годовой объем выпуска деталей <i>N_д</i> , шт.	20000
Годовые затраты на техническое обслуживание и ремонт оборудования, руб./рем.ед.:	794
- механической части <i>Зр.м.</i>	
- электрической части <i>Зр.э</i>	206,6
Цена 1 Квт/ч электроэнергии <i>Цэ</i> , руб.	4,7
Количество смен	2

Наименование показателя	Величина
Коэффициент загрузки двигателей по мощности, K_w	0,6
Коэффициент, учитывающий потери электроэнергии в сети, K_n	1,05-1,1
Коэффициент, учитывающий дополнительные затраты электроэнергии во время холостого хода, K_d	1,05-1,1
Км и Ктр – затраты на монтаж и транспортировку, %	10
Коэффициент, учитывающий дополнительную заработную плату, α	1,4

Продолжение Исходные данные представлены в Таблица 5.5

Наименование показателя	Величина
Коэффициент, учитывающий страховые взносы, β	1,3
Фонд времени работы рабочего при 40-час. раб.неделе F_p , ч.	1981

Расчёт технологической себестоимости происходит с применением формул, представленных в Таблица 5.6

Таблица 5.6 – Расчёт себестоимости

Показатели	Расчетная формула	Условные обозначения
Заработная плата основных производственных рабочих Z_o	$Z_o = t_{шт} \cdot \frac{Ч_c}{60} \cdot K_{mn} \cdot \alpha \cdot \beta,$	$t_{шт}$ – норма штучного времени на выполнение операции, мин; $Ч_c$ – часовая тарифная ставка станочника соответствующего разряда, руб.; K_{mn} – коэффициент, учитывающий оплату основного рабочего при многостаночном обслуживании; α – коэффициент, учитывающий дополнительную заработную плату; β – коэффициент, учитывающий отчисления на социальные нужды.

Показатели	Расчетная формула	Условные обозначения
Заработная плата вспомогательных рабочих $З_{вн}$	$З_{с} = Ч_{н} \cdot P \cdot F_{p} \cdot \alpha \cdot \beta,$ $З_{вн} = \frac{З_{с} \cdot t_{ум} \cdot n_{см}}{60 \cdot H_{он} \cdot F_{д}},$	$Ч_{н}$ – часовая тарифная ставка наладчика соответствующего разряда, руб.; P – количество вспомогательных рабочих соответствующего разряда; F_{p} – фонд времени работы рабочего, ч. $n_{см}$ – число смен работы станка ($n_{см} = 2$); $H_{он}$ – число станков, обслуживаемых наладчиком в смену.

Продолжение Таблица 5.6

Показатели	Расчетная формула	Условные обозначения
Затраты на технологическую энергию $S_{э}$	$S_{э} = \frac{Ц_{э} \cdot k_{N} \cdot k_{W}}{\eta_{э}} N \cdot \frac{t_{ум}}{60} \cdot k_{x},$	$Ц_{э}$ – цена 1кВт/ч электроэнергии, руб/кВт/ч; k_{N} – коэффициент загрузки электродвигателя по мощности; k_{W} – коэффициент, учитывающий потери электроэнергии в сети; $\eta_{э}$ – КПД электродвигателей оборудования; N – суммарная установленная мощность электродвигателей оборудования, кВт; k_{x} – коэффициент, учитывающий дополнительные затраты электроэнергии во время холостого хода.
Расчет затрат на эксплуатацию приспособлений $S_{пр}$	$S_{пр} = \frac{(Ц_{пр} + P_{пр}) \cdot t_{ум}}{60 \cdot F_{д} \cdot k_{3} \cdot T_{сл}},$	$Ц_{пр}$ – цена приспособления в руб.; $P_{пр}$ – среднегодовые затраты на текущий ремонт приспособлений, руб.; $T_{сл}$ – срок службы приспособления в годах; k_{3} – коэффициент загрузки оборудования.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

Продолжение Таблица 5.6

Показатели	Расчетная формула	Условные обозначения
Затраты на обслуживание и ремонт оборудования S_p	$S_p = \frac{(Z_{pm} \cdot P_m + Z_{pz} \cdot P_z) \cdot t_{ум}}{60 \cdot F_d \cdot k_z}$	Z_{pm} и Z_{pz} – годовые затраты на техническое обслуживание и ремонт оборудования на единицу ремонтной сложности механической и, соответственно, электрической части, руб./год; P^m и P^z – категория ремонтной сложности механической и электрической части оборудования.

Продолжение Таблица 5.7

Показатели	Расчетная формула	Условные обозначения
Амортизационные отчисления по оборудованию $A_{об}$	$A_{об} = \frac{Ц_{н.об} \cdot H_{а.об} \cdot t_o}{100 \cdot F_d \cdot 60}$ $Ц_{н.об} = Ц \left(1 + \frac{K_m + K_{mp}}{100} \right)$	$Ц_{н.об}$ – первоначальная стоимость оборудования, руб.; $H_{а.об}$ – годовая норма амортизационных отчислений на оборудование, %; $Ц$ – оптовая цена единицы оборудования руб., K_m и K_{mp} – затраты на монтаж и транспортировку, %

Расчёты себестоимости внесены в Таблица 5.7

Таблица 5.7 – Расчеты затрат себестоимости

Формула	Показатели для расчёта							Результат
	№	$t_{ум}$	$Ц_c$	K_{mn}	α	β		
$Z_o = t_{ум} \cdot \frac{Ц_c}{60} \cdot K_{mn} \cdot \alpha \cdot \beta$								Z_o
	015	0,28	250	1	1,4	1,3		2,15
	020	0,20	250	1	1,4	1,3		1,54

	025	0,08	250	1	1,4	1,3		0,61
	030	0,72	250	1	1,4	1,3		5,43
	035	0,65	250	1	1,4	1,3		4,91
	040	0,58	250	1	1,4	1,3		4,4
	045	0,27	250	1	1,4	1,3		2,15
	050	0,09	250	1	1,4	1,3		0,72
$Z_6 = Q_n \cdot P \cdot F_p \cdot \alpha \cdot \beta$		Q_n	P	F_p	α	β		Z_6
		250	1	1981	1,4	1,3		901355

Продолжение Таблица 5.7

Формула	Показатели для расчёта							Результат г
	№	Z_6	$t_{ум}$	$n_{см}$	$H_{он}$	$F_{д}$	$Z_{6н}$	
$Z_{6н} = \frac{Z_6 \cdot t_{ум} \cdot n_{см}}{60 \cdot H_{он} \cdot F_{д}}$								
	01	9013	0,2	2	3	389		0,73
	5	55	8			0		
	02	9013	0,2	2	3	389		0,52
	0	55	0			0		
	02	9013	0,0	2	3	389		0,21
	5	55	8			0		
	03	9013	0,7	2	3	389		1,84
	0	55	2			0		
	03	9013	0,6	2	3	389		1,67
	5	55	5			0		
	04	9013	0,5	2	3	389		1,49

	0	55	8			0			
	04	9013	0,2	2	3	389			0,73
	5	55	7			0			
	05	9013	0,0	2	3	389			0,24
	0	55	9			0			
$S_{\text{э}} = \frac{Ц_{\text{э}} \cdot k_N \cdot k_W}{\eta_{\text{э}}} N \cdot \frac{t_{\text{ум}}}{60} \cdot k_x$	№	$Ц_{\text{э}}$	k_N	k_W	$\eta_{\text{э}}$	N	$t_{\text{ум}}$	k_x	$S_{\text{э}}$
	01	4,5	0,6	1	0,8	9	0,2	1	
	5						8		
	02	4,5	0,6	1	0,8	9	0,2	1	
	0						0		
	02	4,5	0,6	1	0,8	9	0,0	1	
	5						8		
03	4,5	0,6	1	0,8	9	0,7	1		
0						2			
03	4,5	0,6	1	0,8	9	0,6	1		
5						5			

Продолжение Таблица 5.7

Формула	Показатели для расчёта								Результат	
	04	4,5	0,6	1	0,8	9	0,5	1		
	0						8			
	04	4,5	0,6	1	0,8	9	0,2	1		
	5						7			
	05	4,5	0,6	1	0,8	9	0,0	1		
	0						9			
$S_{\text{нр}} = \frac{(Ц_{\text{нр}} + P_{\text{нр}}) \cdot t_{\text{ум}}}{60 \cdot F_{\text{д}} \cdot k_3 \cdot T_{\text{сл}}}$	№	$Ц_{\text{нр}}$	$P_{\text{нр}}$	$t_{\text{ум}}$	$F_{\text{д}}$	k_3	$T_{\text{сл}}$		$S_{\text{нр}}$	
	Σ	560	56	2,8	389	0,	4		0,021	
		0	0	9	0	8				
$S_{\text{р}} = \frac{(З_{\text{рм}} \cdot P_{\text{м}} + З_{\text{рз}} \cdot P_{\text{з}}) \cdot t_{\text{ум}}}{60 \cdot F_{\text{д}} \cdot k_3}$	№	$З_{\text{рм}}$	$P_{\text{м}}$	$З_{\text{рз}}$	$P_{\text{з}}$	$t_{\text{ум}}$	$F_{\text{д}}$	k_3	$S_{\text{р}}$	
	01	789	35	206,	48	0,	38	0,	0,06	
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ВКР-СКФУ-15.03.05-161142-19					Лист
										54

	5			6		28	90	8	
	02 0	789	35	206, 6	48	0, 20	38 90	0, 8	0,04
	02 5	789	35	206, 6	48	0, 08	38 90	0, 8	0,02
	03 0	789	35	206, 6	48	0, 72	38 90	0, 8	0,14
	03 5	789	40	206, 6	48	0, 65	38 90	0, 8	0,14
	04 0	789	40	206, 6	48	0, 58	38 90	0, 8	0,13
	04 5	789	40	206, 6	48	0, 27	38 90	0, 8	0,06
	05 0	789	35	206, 6	48	0, 09	38 90	0, 8	0,02

Продолжение Таблица 5.7

Формула	Показатели для расчёта						Результат
	№	Ц	K_m	K_{mp}			
$Ц_{n.об} = Ц \left(1 + \frac{K_m + K_{mp}}{100} \right)$	015	2700000	5	5			2970000
	020	2700000	5	5			2970000
	025	2700000	5	5			2970000
	030	2700000	5	5			2970000
	035	2700000	5	5			2970000
	040	2700000	5	5			2970000

	045	5000000	5	5			500000
	050	5000000	5	5			500000
$A_{об} = \frac{Ц_{н.об} \cdot H_{а.об} \cdot t_o}{100 \cdot F_D \cdot 60}$	№	$Ц_{н.об}$	$H_{а.об}$	t_o	F_D	$A_{об}$	
	015	2970000	12	0,21	3890	0,32	
	020	2970000	12	0,15	3890	0,21	
	025	2970000	12	0,06	3890	0,08	
	030	2970000	12	0,53	3890	0,8	
	035	2970000	12	0,48	3890	1,13	
	040	2970000	12	0,43	3890	1,1	
	045	2970000	12	0,21	3890	0,52	
	050	2970000	12	0,07	3890	0,18	

Результаты расчётов вносим в Таблица 5.7

Таблица 5.8 – Результаты затрат

№	Элементы технологической себестоимости	Затраты по вариантам, руб.	
		Базовый	Проектируемый
1.	Заработная плата основных производственных рабочих Z_0	60,42	29,02
2.	Заработная плата вспомогательных рабочих (наладчиков) $Z_в$	12,21	8,26
3.	Затраты на технологическую энергию $S_э$	1,84	1,93
4.	Расчет затрат на эксплуатацию приспособлений $S_{пр}$	0,026	0,026
5.	Затраты на обслуживание и ремонт оборудования S_p	0,7	0,72
6.	Амортизационные отчисления по оборудованию $A_{об}$	4,23	4,32
7.	Технологическая себестоимость S_T	80,75	43,94

Таблица 5.9 – Капитальные вложения в оборудование

Базовый технологический процесс					
Расчётные показатели					
	$C_{n.об}$	$t_{шт}$	F_D	k_3	K
015	2970000	0,28	3890	0,8	4,4
020	2970000	0,2	3890	0,8	3,2
025	2970000	0,08	3890	0,8	1,32
230	2970000	0,72	3890	0,8	11,54
035	2970000	0,65	3890	0,8	17,2
040	2970000	0,58	3890	0,8	15,23
045	5000000	0,27	3890	0,8	8,3
050	5000000	0,09	3890	0,8	2,14
055					

Продолжение Таблица 5.9

Базовый технологический процесс					
Расчётные показатели					
$K_{общ.б}$					63,33
$Z_{пр.б}$					90,2
Проектируемый технологический процесс					
Расчётные показатели					
	$C_{n.об}$	$t_{шт}$	F_D	k_3	K
015	2970000	0,28	3890	0,8	4,4
020	2970000	0,2	3890	0,8	3,2
025	2970000	0,08	3890	0,8	1,32
230	2970000	0,72	3890	0,8	11,54

035	2970000	0,65	3890	0,8	17,2
040	2970000	0,58	3890	0,8	15,23
045	5000000	0,27	3890	0,8	8,3
050	5000000	0,09	3890	0,8	2,14
055	300000	0,81	3890	0,8	2,3
	$K_{\text{общ.б}}$				65,63
	$Z_{\text{пр.б}}$				57,3

После проведенных расчётов можно посчитать годовой экономический эффект по формуле (5.1)

$$\mathcal{E}_z = (Z_{\text{пр.б}} - Z_{\text{пр.н}}) \cdot N_{\text{д}}, \quad (5.1)$$

где $Z_{\text{пр.б}}$ и $Z_{\text{пр.н}}$ – приведенные затраты, соответственно, по базовому и проектируемому технологическим процессам, руб.; $N_{\text{д}}$ – годовой объем выпуска деталей, шт.

$$\mathcal{E}_r = (90,2 - 57,3) \cdot 20000 = 658000$$

Таким образом, расчёт показал, что внедрение нового технологического процесса привело к снижению себестоимости изготовления детали. Годовая экономия составила 658000 руб. Соответственно, проектируемый технологический процесс является рентабельным.

Заключение

В ходе выполнения данной квалификационной работы были получены уточнённые формулы для расчёта продолжительности обработки. Так же были рассмотрены методы обработки в среде свободного абразива, получены теоретические модели, необходимые для экспериментального исследования процесса удаления заусенцев и скругление кромок. Была экспериментально подтверждена адекватность полученных моделей.

В результате проведенных исследований можно сделать вывод о том, что процесс вибрационной обработки является эффективным методом для удаления заусенцев и скругления кромок деталей РЭА.

					ВКР-СКФУ-15.03.05-161142-19	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		59

Список использованной литературы

1. Бабичев А.П. Вибрационная обработка деталей. - М.: Машиностроение, 1974.- 134 с.
2. Бабичев А.П., Бабичев И.А. Основы вибрационной технологии. Ростов-на-Дону: Изд. Центр ДГТУ, 1998г. - 624 с.
3. Бабичев А.П., Мотренко П.Д. Применение вибрационных технологий на операциях отделочно-зачистной обработки деталей. Ростов-на-Дону: 2010г. - 243 с.
4. Димов Ю.В. Обработка деталей эластичным инструментом. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2007г. - 352с.
5. Тамаркин М.А. Теоретические основы оптимизации процессов обработки деталей свободными абразивами. Дис. докт. техн. наук. Ростов-на-Дону, 1995г.
6. Тамаркин М.А., Смоленцев Е.В., Колганова Е.Н. Анализ современного состояния финишных методов обработки в среде свободных абразивов деталей, имеющих малые пазы и отверстия. //Вестник Воронежского государственного технического университета. 2019. Т. 15. №1. С. 122-129.
7. Stein, J.M. Burr Formation in Precision Drilling of Stainless Steel: Ph.D. Dissertation /, J.M. Stein. The University of California at Berkeley, 1995.
8. STD-01. WBTC.1996, draft. – DeburringTechnologyInternational, Inc., KansasCity, MO.
9. Kolganova, E.N., Goncharov V. M., Fedorov A. V. (2019). Investigation of deburring process at vibro-abrasive treatment of parts having small grooves and holes. Materials today: Proceedings, 19 (5), 2368-2373, [Электронный ресурс] / URL: <https://www.sciencedirect.com/science>
10. Тамаркин М.А. , Колганова Е.Н. , Бачманова О.А. , Козинов А.Ю. Технологические аспекты выбора характеристик рабочей среды для обра-ботки деталей с малыми пазами и отверстиями. // С. 130-135.

					ВКР-СКФУ-15.03.05-161142-19	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		60