

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения, химии и энергетики
(наименование института полностью)

Кафедра «Оборудование и технологии машиностроительного производства»
(наименование)

15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных
производств»

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Технология машиностроения
(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Технологический процесс изготовления полумуфты шлицевой «Gebo»

Обучающийся

В.П. Газеев

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

канд. техн. наук, доцент А.А. Козлов

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Консультанты

канд. экон. наук, доцент Е.Г. Смышляева

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

канд. геогр. наук В.В. Будко

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2025

Аннотация

Актуальность работы обусловлена необходимостью совершенствования технологических процессов в машиностроении для повышения эффективности производства и качества продукции. Полумуфты шлицевые являются важными компонентами приводных систем, от качества которых зависит надежность работы промышленного оборудования.

Цель работы – разработка рационального и экономически целесообразного технологического процесса изготовления полумуфты шлицевой «Gebo» для условий среднесерийного производства.

Работа содержит 9 рисунков, 13 таблиц, 22 использованных источника. Общий объем работы составляет 58 страниц.

В процессе проектирования были изучены различные варианты получения заготовки. Разработанный технологический маршрут обработки включает современные методы механической обработки на станках с числовым управлением, что гарантирует стабильность качества продукции.

Значительная часть работы посвящена проектированию специальной технологической оснастки. Была разработана клино-плунжерная оправка, обеспечивающая точное базирование и надежное закрепление заготовки в процессе шлифования. Еще одним важным результатом стала разработка специального шлифовального круга с прерывистой рабочей поверхностью. Конструктивные особенности круга позволяют существенно интенсифицировать процесс шлифования.

В работе представлен подробный анализ безопасности и экологичности разработанного технологического процесса. Разработаны мероприятия по обеспечению безопасных условий труда, противопожарной защиты и минимизации негативного воздействия на окружающую среду. Техно-экономическое обоснование разработанного технологического процесса подтвердило его высокую эффективность. Расчеты показали значительное снижение трудоемкости операций и повышение общей производительности.

Содержание

Введение.....	4
1 Определение задач работы на базе анализа исходных данных.....	6
1.1 Анализ функционального назначения детали и условий эксплуатации ..	6
1.2 Анализ технологических показателей детали	10
1.3 Анализ типа производства.....	14
1.4 Задачи работы	15
2 Разработка технологии изготовления	17
2.1 Обоснование выбора и разработка заготовки	17
2.2 Разработка плана изготовления детали.....	27
2.3 Выбор оборудования и технологической оснастки.....	28
2.4 Проектирование операций технологического процесса	32
3 Разработка специальной технологической оснастки	37
3.1 Разработка клино-плунжерной оправки	37
3.2 Разработка шлифовального круга.....	43
4 Безопасность и экологичность технического объекта	45
4.1 Конструктивно-технологическая характеристика технического объекта.....	45
4.2 Идентификация профессиональных рисков.....	45
4.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков.....	46
4.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта	47
4.5 Обеспечение экологической безопасности технического объекта	47
5 Экономическая эффективность работы	49
Заключение	53
Список используемых источников.....	55
Приложение А Технологическая документация.....	59
Приложение Б Спецификации к сборочным чертежам	70

Введение

Современное машиностроение характеризуется возрастающими требованиями к надежности, долговечности и эффективности механических систем. Ключевую роль в передаче крутящего момента между валами в самых разных отраслях промышленности – от тяжелого станкостроения и энергетики до транспортных средств и нефтегазового оборудования – играют муфты. Среди многообразия их конструкций особое место занимают шлицевые соединения и полумуфты, обеспечивающие компенсацию несоосностей, возможность осевого перемещения и высокую нагрузочную способность.

Полумуфта шлицевая «Gebo» является типичным и широко востребованным представителем данного класса деталей. Она используется в составе компенсирующих муфт, которые применяются для соединения валов двигателей, редукторов, насосов и других агрегатов.

Полумуфты типа «Gebo» являются серийными и массовыми компонентами, их стабильный выпуск необходим для обеспечения бесперебойной работы многих отечественных предприятий. Совершенствование технологии их производства напрямую способствует повышению надежности машин и механизмов.

В условиях импортозамещения и глобальной конкуренции отечественным производителям необходимо не только обеспечивать требуемое качество продукции, но и делать это с минимальными затратами. Оптимизация технологического процесса изготовления полумуфты позволяет снизить себестоимость, сократить производственный цикл и повысить эффективность использования оборудования и инструмента, что является ключевым фактором экономической устойчивости предприятия.

Современное оборудование предъявляет все более жесткие требования к кинематической точности передач. Погрешности в изготовлении шлицевого соединения – биение, отклонение шага, неточность профиля –

приводят к повышенному шуму, вибрациям, концентрации напряжений и, в конечном итоге, к преждевременному выходу узла из строя. Поэтому разработка технологического процесса, гарантирующего соблюдение всех заданных конструктором параметров, является технически актуальной задачей.

Актуальность работы также заключается в потенциале применения прогрессивных методов обработки, таких как использование станков с числовым управлением, современных режущих инструментов с износостойкими покрытиями и компьютерного моделирования технологических процессов. Это позволяет перейти от устаревших, эмпирических методов к научно обоснованному и автоматизированному проектированию технологии.

Анализ существующих подходов к изготовлению подобных деталей показывает, что на многих предприятиях используются устаревшие, неоптимизированные технологические процессы. Зачастую они характеризуются избыточным количеством операций, применением устаревшего оборудования и ручным трудом при контроле, что приводит к нестабильности качества и высоким издержкам.

Таким образом, существует очевидная проблема, заключающаяся в необходимости разработки экономически эффективного, технологически обоснованного и обеспечивающего высокое качество продукции технологического процесса изготовления полумуфты шлицевой «Gebo».

Исходя из вышеизложенного, целью данной выпускной квалификационной работы является разработка рационального и экономически целесообразного технологического процесса изготовления полумуфты шлицевой «Gebo».

1 Определение задач работы на базе анализа исходных данных

1.1 Анализ функционального назначения детали и условий эксплуатации

Конструкция полумуфты «Gebo» включает в себя точное шлицевое отверстие, наружную цилиндрическую поверхность с наружными шлицами и зубьями. Такая комбинация конструктивных элементов делает ее изготовление сложной технологической задачей, требующей высокого уровня точности обработки, особенно шлицевых и зубчатого профилей, от качества которого напрямую зависит работоспособность всего узла.

Полумуфта шлицевая участвует в создании разъемного, но надежного соединения валов и является частью системы, передающей крутящий момент.

Исходя из ее места в сборке, можно выделить следующие служебные функции полумуфты. Основная функция это передача крутящего момента. Через шлицевое соединение крутящий момент от вала передается на корпус полумуфты, а затем на вторую полумуфту и ответный вал. Деталь должна выдерживать номинальные и пиковые нагрузки без остаточных деформаций и разрушения.

В отличие от глухих муфт, муфта с шлицевой полумуфтой предназначена для компенсации несовпадения осей валов, перекоса осей валов, возможности перемещения валов вдоль их оси. Именно шлицевое соединение позволяет полумуфте перемещаться вдоль оси вала в определенных пределах, сохраняя при этом способность передавать момент.

Шлицевое соединение обеспечивает точное центрирование полумуфты на валу, что важно для балансировки и виброустойчивости всего узла.

Шлицевое соединение является критически важным элементом. Его изготовление требует применения высокоточного зубообрабатывающего оборудования (шлицефрезерных или шлицешлифовальных станков) и

качественного инструмента. Допуски на размеры, форму и расположение шлицев должны выдерживаться строго в соответствии с чертежом.

Необходимость обеспечения высокой прочности и износостойкости обуславливает обязательное включение в технологический процесс операции термической обработки для получения требуемой твердости и микроструктуры материала. При этом необходимо минимизировать деформации заготовки после термообработки.

Особое внимание должно уделяться контролю шлицевого соединения (шаг, толщина зуба, биение), твердости и отсутствию дефектов (трещин, раковин).

Таким образом, служебное назначение полумуфты шлицевой «Gebo» предъявляет комплекс высоких требований к точности, прочности и качеству ее изготовления, что и определяет сложность проектируемого технологического процесса.

Анализ условий работы детали позволяет определить характер и величину нагрузок, внешние воздействия и виды изнашивания, которые определяют ее долговечность и надежность. Для полумуфты шлицевой «Gebo» эти условия носят комплексный и зачастую экстремальный характер.

Полумуфта работает в условиях сложного напряженного состояния, вызванного статическими и динамическими видами нагрузок.

Постоянная составляющая определяется номинальной передаваемой мощностью, которая вызывает чистые напряжения кручения в теле детали и напряжения смятия и среза в шлицевом соединении.

Динамическая составляющая возникает из-за неравномерности хода двигателя, изменения сопротивления на исполнительном органе, люфтов в зацеплениях. Эти нагрузки приводят к усталостным явлениям. Материал испытывает знакопеременные напряжения, что может инициировать рост трещин в зонах концентраторов напряжений (впадины шлицев, галтели).

Ударные нагрузки, то есть кратковременные значительные превышения крутящего момента, например, при пуске электродвигателя,

заклинивании исполнительного механизма или резком торможении. Ударные нагрузки представляют наибольшую опасность, так как могут привести к хрупкому разрушению или значительным пластическим деформациям шлицов.

Осевая сила обусловлена тем, что шлицевое соединение допускает осевое перемещение. При работе возникают силы, стремящиеся сместить полумуфту вдоль оси вала, например, от температурных расширений или несоосности. Это вызывает износ боковых профилей шлицов.

Изгибающие моменты возникают как следствие несоосности соединяемых валов. Даже в компенсирующих муфтах некоторая остаточная несоосность присутствует, создавая переменный изгибающий момент, который дополнительно нагружает шлицевое соединение и тело полумуфты.

В процессе эксплуатации полумуфта подвергается нескольким видам износа.

Абразивный износ наиболее характерен для боковых поверхностей шлицов. Продукты износа самой пары, пыль, абразив из окружающей среды, попадая в зазор между шлицами вала и полумуфты, действуют как абразив, царапая и истирая поверхности. Этот вид износа приводит к увеличению бокового зазора, что вызывает ударные нагрузки и шум при реверсе.

На рабочих поверхностях шлицов под действием циклических контактных напряжений возникают и развиваются микротрещины. Со временем это приводит к выкрашиванию мелких частиц материала и образованию раковин. Это основной вид разрушения для высоконагруженных шлицевых соединений.

Контактно-механический износ возникает в прессовых или плотных посадках, а также в зонах контакта шлицов, где присутствуют микросмещения от вибраций и знакопеременных нагрузок. Происходит одновременное окисление трущихся поверхностей из-за доступа кислорода в микрозазоры и их механическое истирание. Проявляется в виде характерных рыжих окисных пятен и продуктов износа на поверхностях.

Адгезионный износ возникает при высоких давлениях и недостаточном смазывании. В результате происходит "сваривание" микровыступов контактирующих поверхностей шлицов с последующим их срывом. Это может привести к заеданию и задирам, особенно в условиях форсированных режимов работы.

Диапазон рабочих температур определяется условиями эксплуатации узла. Нагрев может происходить от подшипников, от самого процесса трения в шлицах, от работы двигателя. Повышенные температуры свыше 80-100°C могут приводить к снижению твердости материала, потере прочности и ухудшению свойств смазочного материала. Температурные деформации могут изменять посадочные зазоры и натяги.

Полумуфта часто работает в среде масла или контактирует с консистентной смазкой. С одной стороны, смазка снижает износ, с другой может способствовать коррозии при наличии агрессивных присадок или при попадании воды. Необходимость обеспечения эффективного смазывания шлицевого соединения предъявляет требования к качеству поверхности и наличию смазочных канавок.

В зависимости от применения (химическая промышленность, морская техника, сельское хозяйство) деталь может подвергаться воздействию солей, щелочей, кислот, высокой влажности, что провоцирует коррозионно-механический износ, значительно интенсифицирующий процесс разрушения.

Условия работы полумуфты шлицевой «Gebo» характеризуются комбинацией тяжелых механических циклических, ударных нагрузок и интенсивного изнашивания при возможном воздействии неблагоприятных внешних факторов. Это предъявляет жесткие, а зачастую и противоречивые требования к ее свойствам: материал должен обладать высокой прочностью и твердостью, но при этом достаточной вязкостью, а геометрия должна быть точной и стабильной.

Спроектированный технологический процесс должен быть направлен на формирование именно такого комплекса свойств. Это достигается за счет

выбора материала, применения оптимального режима термообработки для обеспечения высокой прочности и вязкости сердцевины, использования методов окончательной обработки, обеспечивающих высокую точность и низкую шероховатость рабочих поверхностей, строгого контроля на всех этапах изготовления для выявления дефектов, которые в условиях эксплуатации могут стать очагами разрушения.

1.2 Анализ технологических показателей детали

Выбор стали 18ХГТ для изготовления полумуфты шлицевой обусловлен необходимостью сочетания высокой прочности, износостойкости и достаточной вязкости при циклических и ударных нагрузках. Анализ ее технологических свойств позволяет спроектировать экономически целесообразный и технически обоснованный технологический процесс.

Согласно ГОСТ 4543-71, сталь 18ХГТ [22] относится к классу легированных цементируемых сталей. Ее химический состав (таблица 1) обеспечивает комплекс механических свойств, приведенных в таблице 2.

Таблица 1 – Химический состав

Элемент	Углерод	Хром	Марганец	Никель	Титан	Кремний
Содержание %	0,17-0,37	1,0-1,3	0,8-1,1	0,3	0,03-0,09	0,17-0,37

Таблица 2 – Физико-механические свойства

Предел текучести, МПа	Предел прочности при растяжении, МПа	Относительное удлинение после разрыва, %	Относительное сужение, %	Твердость по Бринеллю
980	880	9	50	240-250

Хром повышает прокаливаемость, способствует получению высокой и

однородной твердости по сечению. Увеличивает стойкость против отпуска и способствует формированию карбидов, повышающих износостойкость.

Марганец, как и хром, сильно повышает прокаливаемость, позволяя прокаливать изделия большего сечения в масле.

Титан является сильным карбидообразующим элементом. Его основная технологическая роль – предотвращение роста зерна аустенита при нагреве под закалку, особенно при цементации. Это позволяет получать мелкозернистую структуру, обеспечивающую высокую ударную вязкость и снижающую риск коробления.

Обрабатываемость резанием удовлетворительная в отожженном состоянии. После термической обработки обрабатываемость резко ухудшается из-за высокой твердости. Титановые карбиды оказывают абразивное действие на инструмент. В связи с этим основной объем механической обработки необходимо выполнять до окончательной термообработки. При этом требуется применение твердосплавного инструмента. Чистовое шлифование шлицов и ответственных поверхностей после термообработки для компенсации возможных деформаций и достижения точности.

Прокаливаемость высокая благодаря легированию хромом и марганцем критическая скорость заковки снижена. Это позволяет прокаливать детали сечением до 30 до 40 мм в масле, получая сквозную прокаливаемость и высокие механические свойства по всему сечению. Для полумуфты характерно переменное сечение, поэтому высокая прокаливаемость является положительным фактором, так как позволяет получить высокую и однородную твердость по всему контуру детали, включая впадины шлицев. Охлаждающей средой при закалке выбирается масло, что снижает коробление и риск трещин по сравнению с водой.

Склонность к деформациям и короблению при термообработке умеренная. Титан, препятствуя росту зерна, снижает склонность к короблению. Однако, как и для любой легированной стали, наличие

концентраторов напряжений и неравномерность сечения делают деталь склонной к деформации. Это делает необходимым введение обязательных финальных операций шлифования после термообработки для исправления геометрии, которая могла измениться из-за коробления. Необходимо применять рациональные способы укладки деталей в печи и закалочной машине для минимизации деформаций под собственным весом.

Для полумуфты шлицевой литье применяется редко, так как требуется высокая плотность и однородность материала. Сталь 18ХГТ не является литейной. Получение заготовки литьем не рекомендуется. Основные методы горячая объемная штамповка или использование проката.

Оценка технологичности конструкции проводится по нескольким ключевым критериям [21].

Сначала классифицируем поверхности детали по назначению [21]. Присвоим каждой поверхности свой номер (рисунок 1).

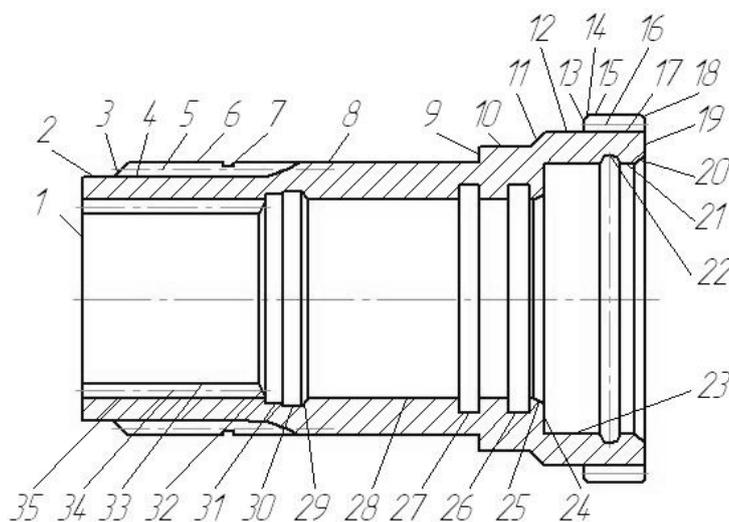


Рисунок 1 – Нумерация поверхностей

«Основными конструкторскими базами детали являются поверхности 8, 9, вспомогательными конструкторскими базами являются поверхности 4, 12, 28, 33, исполнительными поверхностями являются поверхности 5, 16, 34 все остальные поверхности являются свободными» [15].

Шлицевое соединение, как правило, выполняется по

соответствующему ГОСТу. Это означает, что для его изготовления и контроля существует стандартный, унифицированный инструмент и измерительные средства.

Основные посадочные поверхности также выполняются на основе системы допусков и посадок, что упрощает подбор оборудования и оснастки.

Таким образом, конструкция обладает высокой степенью стандартизации основных элементов, что является ее большим преимуществом.

Деталь имеет четкие и удобные конструкторские базы – торец и центральное отверстие. Это позволяет надежно и точно установить ее на станке для обработки наружных поверхностей и шлицев.

Конструкция в целом обладает достаточной жесткостью, что позволяет вести обработку на повышенных режимах резания без возникновения вибраций.

подавляющее большинство поверхностей (наружный диаметр, торец, шлицы) открыты для свободного подхода режущего инструмента.

Наличие шлицевого соединения требует применения специального зуборезного инструмента и окончательной операции механической обработки после термообработки. Данная операция имеет малую производительность и требует дорогостоящего оборудования.

На стыке торца и шлицевого отверстия, как правило, образуется острая кромка. Она является концентратором напряжений и может привести к образованию трещин при термообработке или под нагрузкой.

Высокие требования к шероховатости рабочих поверхностей и их точности ведут к применению дорогостоящих отделочных операций.

Основные размеры (диаметры, длина) контролируются стандартным мерительным инструментом (штангенциркуль, скоба, микрометр).

Контроль шлицевого соединения и зубчатого венца требует применения специальных средств измерения: шлицевые пробки, скобы, шаблоны для контроля профиля, а также возможно применение оптических

или пневматических приборов. Это увеличивает стоимость подготовки контроля.

Конструкция полумуфты шлицевой «Gebo» является в целом технологичной, но с элементами средней и пониженной технологичности.

Наличие высокоточного шлицевого соединения определяет применение сложных, малопроизводительных и дорогостоящих операций зубонарезания и, особенно, шлицешлифования.

Необходимость объемной термообработки (улучшения) – увеличивает цикл изготовления, энергозатраты и приводит к короблению, которое необходимо компенсировать шлифованием.

1.3 Анализ типа производства

Для определения типа производства используются количественные критерии, главным из которых является годовой объем выпуска и масса детали. Для изготовления полумуфты шлицевой массой 1,21 кг и годовой программой выпуска 6000 штук тип производства определяется как среднесерийное [12].

В этих условиях к технологическому процессу предъявляются следующие требования. Он должен быть гибким и легко переналаживаемым. Ориентирован на универсальное оборудование с числовым управлением и быстросменную оснастку. Допускается использование специализированных решений для самых трудоемких операций, но они должны быть экономически обоснованы для данного объема производства.

Это накладывает следующие особенности на организацию технологического процесса.

Преобладание универсального оборудования с числовым управлением, что обеспечивает необходимую гибкость для переналадки между разными партиями деталей. Для некоторых операций возможно применение специализированного оборудования, например, зубофрезерных станков, но

оно должно быть легко переналаживаемым.

Широкое применение универсально-сборных приспособлений и быстросменных патронов, что позволяет быстро перенастраивать станки при смене партии.

Использование стандартного режущего инструмента повышенной стойкости и производительности (твердосплавный, с покрытиями). Специальный инструмент (например, шлицевые фрезы) применяется, но его использование должно быть экономически оправдано для данного объема.

Для контроля, наряду с предельными калибрами, может применяться универсальный измерительный инструмент (штангенциркули, микрометры) и стационарные контрольные приспособления для выборочного контроля.

Производство организуется по предметно-замкнутым участкам. Детали обрабатываются партиями.

Количество переналадок оборудования значительно больше, чем в крупносерийном производстве, но меньше, чем в мелкосерийном. Необходим тщательный расчет оптимального размера партии.

Технологический процесс дифференцированный, но допускается объединение нескольких переходов в одну операцию на обрабатывающем центре.

Требуются рабочие-станочники широкого профиля и операторы станков с числовым управлением средней и высокой квалификации, способные выполнять переналадку.

1.4 Задачи работы

Для достижения поставленной цели в работе необходимо решить следующие задачи:

- выбрать и экономически обосновать метод получения заготовки, выполнив сравнительный расчет;
- разработать маршрутный технологический процесс механической

обработки, включая выбор технологических баз и последовательности операций;

- спроектировать операционные технологические процессы для ключевых операций, включая выбор технологического оборудования и обоснование его необходимости, проектирование и выбор технологической оснастки (станочные приспособления, режущий инструмент), расчет и назначение рациональных режимов резания для основных операций;
- выполнить расчет припусков на механическую обработку для поверхностей детали;
- рассчитать межоперационные размеры, их допуски и операционные припуски;
- провести нормирование технологического процесса;
- провести сравнительную оценку затрат на предлагаемый технологический процесс;
- проанализировать опасные и вредные производственные факторы на проектируемых операциях.

«В ходе выполнения раздела проведен комплексный анализ исходных данных, таких как служебное назначение, условия работы, технологичность конструкции, свойства материала и тип производства, который позволил сформировать четкие и структурированные задачи выпускной квалификационной работы» [15].

2 Разработка технологии изготовления

2.1 Обоснование выбора и разработка заготовки

Выбор заготовки для полумуфты шлицевой является критически важным технологическим решением, определяющим трудоемкость механической обработки, расход материала и, как следствие, себестоимость готового изделия. Для детали полумуфта шлицевая из стали 18ХГТ при среднесерийном типе производства выбор обоснован следующим комплексом факторов: материал детали и требования к механическим свойствам; «конструктивная форма и сложность детали; тип производства и экономическая эффективность» [9]. Как следствие в данном случае наиболее приемлема «штамповка на горизонтально-ковочной машине и штамповка на кривошипном горячештамповочном прессе. Выбор метода получения заготовки будем производить сравнением общих затрат» [9].

«Общие затраты:

$$C_i = C_{zi} + C_{обри}, \quad (1)$$

где C_{zi} – стоимость получения заготовки, руб.;

$C_{обри}$ – стоимость механической обработки заготовки, руб.;

i – номер варианта получения заготовки» [2].

«Стоимость получения заготовки:

$$C_{zi} = \frac{C_{mi} \cdot M_{zi}}{1000} \cdot K_{сп} \cdot K_T \cdot K_{сл}, \quad (2)$$

где C_{mi} – стоимость тонны материала заготовки, руб.;

M_{zi} – масса заготовки, кг;

$K_{сп}$ – коэффициент способа получения заготовки;

K_T – коэффициент точности заготовки;

$K_{сл}$ – коэффициент сложности заготовки» [2].

«Масса заготовки:

$$M_{zi} = M_d \cdot K_p, \quad (3)$$

где M_d – масса детали, кг;

K_p – коэффициент формы заготовки и способа ее получения» [2].

«Масса детали:

$$M_d = \frac{\pi}{4} \cdot (d_1^2 \cdot l_1 + d_2^2 \cdot l_2 + d_3^2 \cdot l_3 + d_4^2 \cdot l_4 - d_5^2 \cdot l_5 - d_6^2 \cdot l_6 - d_7^2 \cdot l_7) \times \rho, \quad (4)$$

где $d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6, d_7, d_8$ – диаметры поверхностей образующих контур детали, м;

$l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6, l_7, l_8$ – длины поверхностей образующих контур детали, мм;

ρ – плотность материала, кг/м³» [2].

$$M_d = \frac{\pi}{4} \cdot (0,055^2 \cdot 0,079 + 0,061^2 \cdot 0,010 + 0,067^2 \cdot 0,011 + 0,075^2 \times 0,012 - 0,036^2 \cdot 0,036 - 0,040^2 \cdot 0,056 - 0,055^2 \cdot 0,02) \cdot 7850 = 1,21 \text{ кг.}$$

«Рассчитываем массу заготовки и стоимость получения для каждого метода ее получения.

$$M_{з1} = 1,21 \cdot 1,5 = 1,82 \text{ кг.}$$

$$M_{з2} = 1,21 \cdot 1,6 = 1,94 \text{ кг.}$$

$$C_{з1} = \frac{38000 \cdot 1,82}{1000} \cdot 1,2 \cdot 0,9 \cdot 1,0 = 74,69 \text{ р.}$$

$$C_{з2} = \frac{38000 \cdot 1,94}{1000} \cdot 1,3 \cdot 0,9 \cdot 1,0 = 86,25 \text{ р.} \text{ » [2]}$$

«Стоимость механической обработки:

$$C_{\text{обр}i} = \frac{C_{\text{уд}} \cdot \left(\frac{1}{K_{\text{им}i}} - 1\right) \cdot M_d}{K_0}, \quad (5)$$

где $C_{\text{уд}}$ – стоимость снятия одного килограмма стружки, руб./кг;

$K_{\text{им}i}$ – коэффициент использования материала;

K_0 – коэффициент обрабатываемости материала» [2].

«Коэффициент использования материала:

$$K_{\text{им}i} = \frac{M_{di}}{M_{zi}}. \quad (6)» [2]$$

$$K_{\text{им}1} = \frac{1,21}{1,82} = 0,66.$$

$$K_{\text{им}2} = \frac{1,21}{1,94} = 0,62.$$

«Рассчитываем стоимость механической обработки.

$$C_{\text{обр}1} = \frac{45 \cdot \left(\frac{1}{0,74} - 1\right) \cdot 1,82}{0,8} = 52,74 \text{ р.}$$

$$C_{\text{обр}2} = \frac{45 \cdot \left(\frac{1}{0,62} - 1\right) \cdot 1,82}{0,8} = 62,75 \text{ р.}» [2]$$

«Определяем общие затраты на получение детали.

$$C_1 = 74,69 + 62,75 = 137,44 \text{ р.}$$

$$C_2 = 86,25 + 62,75 = 149,00 \text{ р.}» [2]$$

Результаты технико-экономического обоснования свидетельствуют в пользу применения для данной детали метода горячей штамповки на горизонтально-ковочной машине.

Далее необходимо сформировать маршруты обработки поверхностей.

Формирование маршрутов обработки поверхностей это систематизация последовательности технологических операций для достижения заданных точности и качества каждой поверхности детали [18]. Процесс выполняется с учетом критериев оптимизации маршрутов: минимизация количества операций; обеспечение технологического принципа «от черного к чистому»;

соблюдение требований к качеству поверхности; экономическая эффективность (минимум удельных затрат). Такой подход обеспечивает системное проектирование технологического процесса с обоснованием выбранной последовательности обработки.

«Результаты определения маршрутов обработки поверхностей представлены в виде таблицы 3» [8].

Таблица 3 – Маршруты обработки поверхностей

Номера поверхностей	Форма поверхности	Квалитет точности поверхности	Шероховатость поверхности Ra , мкм	Последовательность обработки
1	плоская	12	12,5	т-тч-то
2, 10	цилиндрическая	12	12,5	т-то
3, 11	коническая	12	12,5	т-то
4	цилиндрическая	7	3,2	ф-то-ш
5	плоская	9	3,2	ф-то-ш
6	цилиндрическая	11	12,5	т-тч-то
7	цилиндрическая	12	12,5	тч-то
8	цилиндрическая	6	1,25	т-тч-то-ш-шч
9	плоская	12	2,5	т-тч-то-ш-шч
12	цилиндрическая	11	0,4	т-тч-то-ш-шч-по
13, 18	плоская	12	12,5	т-то
14	коническая	12	12,5	тч-то
15	цилиндрическая	10	6,3	т-тч-то
16	эвольвента	9	2,5	ф-шв-то
17	цилиндрическая	17	1,25	т-то
19	плоская	12	12,5	т-тч-то-ш
20, 25, 29, 32	коническая внутренняя	12	12,5	р-то
21, 23, 26, 27, 30, 31	цилиндрическая внутренняя	12	12,5	р-то
28	цилиндрическая внутренняя	9	3,2	р-то-ш
33	цилиндрическая внутренняя	7	6,3	с-р-то
34	плоская внутренняя	9	3,2	пр-то
35	цилиндрическая внутренняя	12	12,5	пр-то

«Обозначения принятые в таблице: т – черновое точение, тч – чистовое точение, то – термическая обработка, ш – черновое шлифование, шч –

чистовое шлифование, по – полирование, ф – черновое фрезерование, фч – чистовое фрезерование, шв – шевингование, р – растачивание, с – сверление, пр – протягивание» [8].

«Определение припусков на механическую обработку осуществляется несколькими методами, выбор которых зависит от типа производства и требуемой точности расчетов» [15].

Расчетно-аналитический метод [14] основан на последовательном определении пространственных отклонений и дефектов поверхностного слоя. Данный подход предполагает вычисление минимального необходимого припуска через суммирование высоты микронеровностей предыдущего перехода, глубины дефектного слоя, погрешностей установки заготовки и пространственных отклонений формы. Этот метод обеспечивает высокую точность, но требует значительных вычислительных затрат.

Табличный метод [16] использует нормативные данные, установленные в отраслевых стандартах и ГОСТах. Величина припуска выбирается на основе анализа габаритных размеров детали, метода получения заготовки, материала и требуемого качества точности. Метод отличается простотой применения и рекомендуется для серийного производства.

Опытно-статистический метод [3] базируется на использовании данных, накопленных в ходе аналогичных производственных процессов. Припуски назначаются на основе успешного технологического опыта без выполнения сложных расчетов.

Метод минимума затрат ориентирован на экономическую эффективность [21] и предполагает определение таких значений припусков, которые обеспечивают минимальную совокупную стоимость изготовления детали с учетом затрат на материал и механическую обработку.

Расчет припусков выполняется поэтапно, начиная с анализа конструкторских требований и выбора расчетных поверхностей. Затем составляется маршрут обработки с назначением качественных точности для каждого технологического перехода. На завершающем этапе определяются

промежуточные припуски с учетом режимов обработки и характеристик оборудования.

На величину припусков влияют различные факторы: габаритные размеры детали, способ получения заготовки, точность оборудования, жесткость технологической системы, необходимость термической обработки и требуемая точность готового изделия. Оптимизация припусков позволяет существенно снизить расход материала, сократить время механической обработки и повысить общую производительность изготовления детали.

«В данном случае применение точного метода расчета припуска требуется для поверхности диаметром $55k6(+0,021/+0,002)$. Выполняем расчеты в соответствии с рекомендациями» [14].

«Минимальный припуск:

$$z_{imin} = a_{i-1} + \sqrt{\Delta_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}, \quad (7)$$

где a – глубина суммарного дефектного слоя, мм;

Δ – суммарные пространственные отклонения, мм;

ε – погрешности установки заготовки на операции, мм;

i – индекс текущего перехода;

$i - 1$ – индекс предыдущего перехода» [14].

$$\ll z_{1min} = a_0 + \sqrt{\Delta_0^2 + \varepsilon_1^2} = 0,300 + \sqrt{0,300^2 + 0,025^2} = 0,601 \text{ мм.}$$

$$z_{2min} = a_1 + \sqrt{\Delta_1^2 + \varepsilon_2^2} = 0,200 + \sqrt{0,075^2 + 0,025^2} = 0,438 \text{ мм.}$$

$$z_{3min} = a_{то} + \sqrt{\Delta_{то}^2 + \varepsilon_3^2} = 0,025 + \sqrt{0,030^2 + 0,012^2} = 0,282 \text{ мм.}$$

$$z_{4min} = a_3 + \sqrt{\Delta_3^2 + \varepsilon_4^2} = 0,150 + \sqrt{0,012^2 + 0,012^2} = 0,167 \text{ мм.} \gg [14]$$

«Максимальный припуск:

$$z_{i max} = z_{i min} + 0,5 \cdot (Td_{i-1} + Td_i), \quad (8)$$

где Td_i – допуски на выполнение размера на текущем переходе, мм;

Td_{i-1} – допуск на выполнение размера на предыдущем переходе, мм» [14].

$$\begin{aligned} \ll z_{1 \max} &= z_{1 \min} + 0,5 \cdot (Td_0 + Td_1) = 0,601 + 0,5 \cdot (1,2 + 0,30) = \\ &= 1,351 \text{ мм.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} z_{2 \max} &= z_{2 \min} + 0,5 \cdot (Td_1 + Td_2) = 0,438 + 0,5 \cdot (0,30 + 0,12) = \\ &= 0,648 \text{ мм.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} z_{3 \max} &= z_{3 \min} + 0,5 \cdot (Td_{\text{т0}} + Td_3) = 0,282 + 0,5 \cdot (0,160 + 0,046) = \\ &= 0,385 \text{ мм.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} z_{4 \max} &= z_{4 \min} + 0,5 \cdot (Td_3 + Td_4) = 0,167 + 0,5 \cdot (0,046 + 0,019) = \\ &= 0,200 \text{ мм} \gg [14]. \end{aligned}$$

«Средний припуск:

$$z_{\text{ср}i} = 0,5 \cdot (z_{i \max} + z_{i \min}). \quad (9) \gg [14]$$

$$\ll z_{\text{ср}1} = 0,5 \cdot (z_{1 \max} + z_{1 \min}) = 0,5 \cdot (1,351 + 0,601) = 0,976 \text{ мм.}$$

$$z_{\text{ср}2} = 0,5 \cdot (z_{2 \max} + z_{2 \min}) = 0,5 \cdot (0,648 + 0,438) = 0,543 \text{ мм.}$$

$$z_{\text{ср}3} = 0,5 \cdot (z_{3 \max} + z_{3 \min}) = 0,5 \cdot (0,385 + 0,282) = 0,334 \text{ мм.}$$

$$z_{\text{ср}4} = 0,5 \cdot (z_{4 \max} + z_{4 \min}) = 0,5 \cdot (0,200 + 0,167) = 0,184 \text{ мм.} \gg [14]$$

«Минимальный размер:

$$d_{(i-1)\min} = d_{i \min} + 2 \cdot z_{i \min}. \quad (10) \gg [14]$$

«Максимальный размер:

$$d_{(i-1)\max} = d_{(i-1)\min} + Td_{i-1}. \quad (11) \gg [14]$$

«Средний размер:

$$d_{i \text{ ср}} = 0,5 \cdot (d_{i \text{ max}} + d_{i \text{ min}}). \quad (12) \gg [14]$$

«Минимальный размер для перехода перед термической обработкой:

$$d_{(TO-1)min} = d_{(i-1)min} \cdot 0,999. \quad (13) \gg [14]$$

«Выполняем расчеты..

$$d_{4min} = 55,002 \text{ мм.}$$

$$d_{4max} = 55,021 \text{ мм.}$$

$$d_{4ср} = 0,5 \cdot (d_{4max} + d_{4min}) = 0,5 \cdot (55,021 + 55,002) = 55,012 \text{ мм.}$$

$$d_{3min} = d_{4min} + 2 \cdot z_{4min} = 55,002 + 2 \cdot 0,167 = 55,336 \text{ мм.}$$

$$d_{3max} = d_{3min} + Td_3 = 55,336 + 0,046 = 55,382 \text{ мм.}$$

$$d_{3ср} = 0,5 \cdot (d_{3max} + d_{3min}) = 0,5 \cdot (55,382 + 55,336) = 55,359 \text{ мм.}$$

$$d_{TO min} = d_{3min} + 2 \cdot z_{3min} = 55,336 + 2 \cdot 0,282 = 55,900 \text{ мм.}$$

$$d_{TO max} = d_{TO min} + Td_{TO} = 55,900 + 0,160 = 56,060 \text{ мм.}$$

$$d_{TO ср} = 0,5 \cdot (d_{TO max} + d_{TO min}) = 0,5 \cdot (56,060 + 55,900) = \\ = 55,980 \text{ мм.}$$

$$d_{2min} = d_{TO min} \cdot 0,999 = 56,060 \cdot 0,999 = 56,004 \text{ мм.}$$

$$d_{2max} = d_{2min} + Td_2 = 56,004 + 0,120 = 56,124 \text{ мм.}$$

$$d_{2ср} = 0,5 \cdot (d_{2max} + d_{2min}) = 0,5 \cdot (56,124 + 56,004) = 56,064 \text{ мм}$$

$$d_{1min} = d_{2min} + 2 \cdot z_{2min} = 56,004 + 2 \cdot 0,438 = 56,880 \text{ мм.}$$

$$d_{1max} = d_{1min} + Td_1 = 56,880 + 0,300 = 57,180 \text{ мм.}$$

$$d_{1ср} = 0,5 \cdot (d_{1max} + d_{1min}) = 0,5 \cdot (57,180 + 56,880) = 57,030 \text{ мм.}$$

$$d_{0min} = d_{1min} + 2 \cdot z_{1min} = 56,880 + 2 \cdot 0,601 = 58,082 \text{ мм.}$$

$$d_{0max} = d_{0min} + Td_0 = 58,082 + 1,200 = 59,282 \text{ мм.}$$

$$d_{0ср} = 0,5(d_{0max} + d_{0min}) = 0,5(59,282 + 58,082) = 58,682 \text{ мм.} \gg [14]$$

«На рисунке 2 приведена схема расчета припусков» [15].

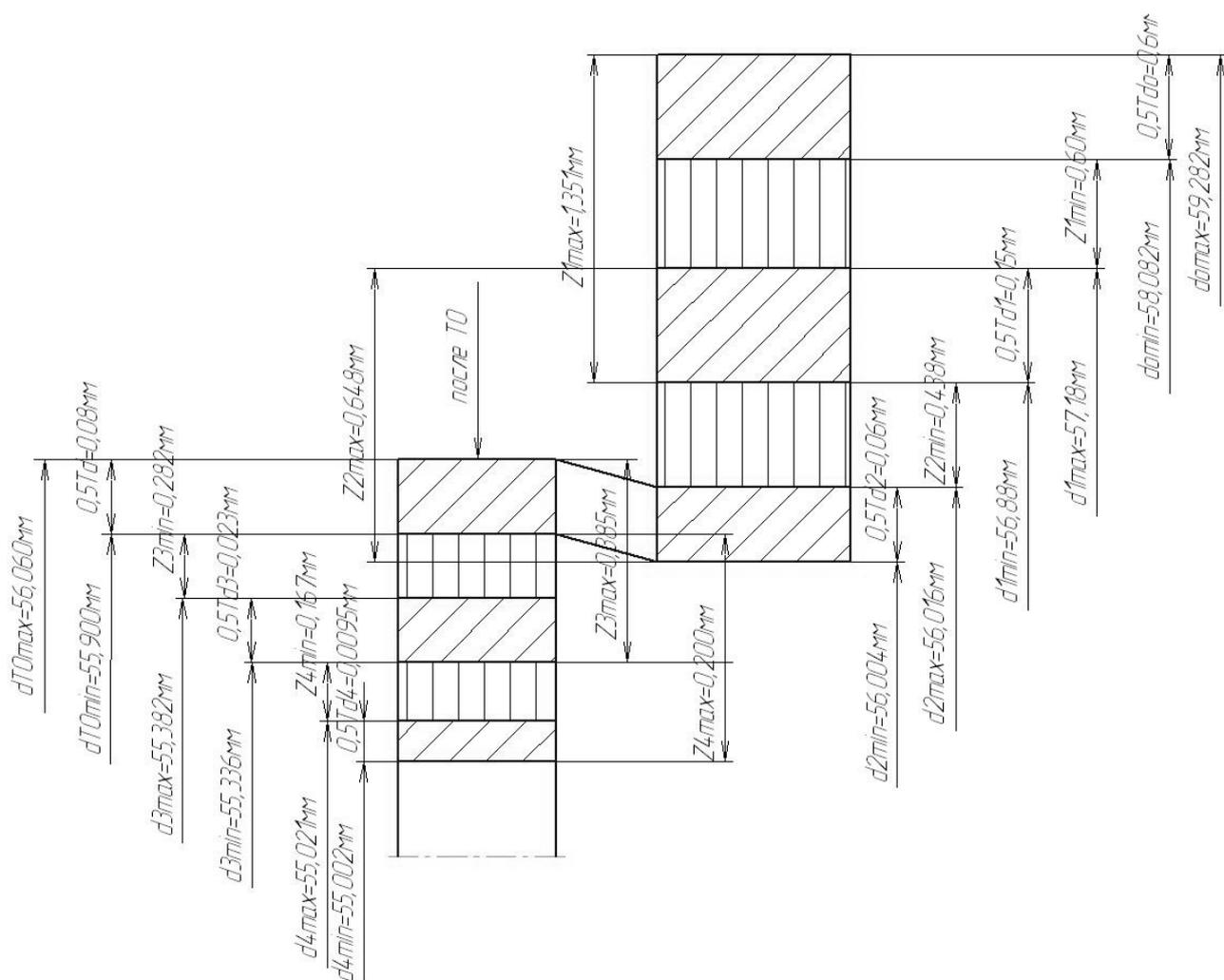


Рисунок 2 – Схема расчета припусков

Для оставшихся поверхностей припуски назначаются статистическим методом [16]. Результаты расчета операционных припусков систематизированы в таблице 4.

Таблица 4 – Операционные припуски

Поверхность	Методы обработки	Минимальный припуск, мм	Максимальный припуск, мм	Средний припуск, мм
1	точение черновое	1,9	3,175	2,538
	точение чистовое	1,1	1,345	1,223
4	шлифование	0,2	0,375	0,288
5	шлифование	0,2	0,239	0,22
6	точение черновое	2,0	3,15	2,57
	точение чистовое	0,3	0,51	0,405

Продолжение таблицы 4

Поверхность	Методы обработки	Минимальный припуск, мм	Максимальный припуск, мм	Средний припуск, мм
9	точение черновое	1,6	2,525	2,063
	точение чистовое	0,9	1,075	0,988
	шлифование	0,4	0,47	0,435
	шлифование чистовое	0,3	0,339	0,320
12	точение черновое	2,0	3,15	2,57
	точение чистовое	0,3	0,51	0,405
	шлифование	0,25	0,37	0,31
	шлифование чистовое	0,06	0,18	0,12
	полирование	0,005	0,128	0,067
15	точение черновое	2,0	3,15	2,575
	точение чистовое	0,3	0,51	0,405
16	шевингование	0,1	0,3	0,2
19	точение черновое	1,9	3,175	2,538
	точение чистовое	1,1	1,345	1,223
	шлифование	0,4	0,597	0,499
28	расточивание	1,0	1,175	1,088
	шлифование	0,4	0,47	0,435
33	расточивание	1,0	1,175	1,088

«Определение напусков и допусков для проектирования заготовки выполняется на основании исходного индекса, который в данном случае принят равным 11 исходя из группы материала детали, класса точности заготовки и степени ее сложности» [5].

«По значению индекса и геометрическим параметрам детали устанавливаются допуски на каждый размер заготовки, которые указаны на чертеже в графической части работы. Аналогично, на основе исходного индекса и параметров заготовки определяются напуски, необходимые для формирования ее контура с учетом технологических особенностей изготовления» [5].

«Согласно требованиям к штамповке установлены следующие параметры: штамповочные уклоны наружные 5°, внутренние 7°; радиусы закруглений: 2,5 мм; допустимая величина облоя не более 0,8 мм; смещение по поверхности разъема штампа 0,6 мм; concentричность отверстий не более 1,0 мм; плоскостность не более 1,2 мм» [5].

2.2 Разработка плана изготовления детали

Алгоритм проектирования плана изготовления детали [11]:

- аналитическая стадия;
- выбор и обоснование технологических баз;
- разработка структуры маршрута;
- формирование операционной последовательности;
- оптимизация маршрута;
- формализация результатов.

Аналитическая стадия включает детальный анализ чертежа детали с идентификацией всех поверхностей, классификацию поверхностей по точности обработки и шероховатости, определение критических параметров, анализ материала и требований к термообработке.

Выбор и обоснование технологических баз включает определение черновых технологических баз, выбор чистовых баз, формирование схем базирования для каждой операции, проверка постоянства и единства баз на протяжении процесса [11].

Разработка структуры маршрута включает соблюдение принципа «от черновой к чистовой обработке», группировка операций по технологической однородности, распределение операций до и после термообработки, включение операций технического контроля.

Формирование операционной последовательности на основе типовой структуры маршрута [11].

Оптимизация маршрута за счет минимизации количества переустановок, объединения операций на одном оборудовании, сбалансированности трудоемкости операций, учета пропускной способности оборудования.

Результаты формирования маршрута приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Маршрут изготовления

Операция	Методы обработки	Поверхности
005 Токарная	точение	1, 2, 3, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 19
010 Сверлильная	сверление	33
015 Токарная	точение	1, 6, 7, 8, 9, 14, 15, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33
020 Протяжная	протягивание	34, 35
025 Зубофрезерная	фрезерование	4, 5
030 Зубофрезерная	фрезерование	16, 17
035 Шевинговальная	шевингование	16
040 Зубофасочная	фрезерование	
045 Термическая	термическая обработка	все
050 Внутришлифовальная	шлифование	19, 28
055 Шлифовальная	шлифование	8, 9
060 Шлифовальная	шлифование	12
065 Шлифовальная	шлифование	8, 9
070 Шлифовальная	шлифование	12
075 Шлицешлифовальная	шлифование	5, 4
080 Полировальная	полирование	12
085 Моечная	мойка	все
090 Контрольная	контроль	все

«Требования к точности взаимного расположения поверхностей и их шероховатости устанавливаются на основе применяемых методов обработки и размеров поверхностей заготовки с использованием статистических таблиц» [15]. «Полученные значения фиксируются в плане изготовления в виде технических требований и соответствующих графических обозначений. Разработанный в соответствии с приведенными требованиями план изготовления представлен в графическом разделе работы» [15].

2.3 Выбор оборудования и технологической оснастки

Выбор металлорежущего оборудования определяется технологическими возможностями станков, соответствующих типу производства. Учитываются габаритные характеристики обрабатываемых

деталей, требуемая точность обработки и производственная программа. Для серийного производства предпочтение отдается универсальным станкам с числовым управлением, обеспечивающим гибкость переналадки и стабильность качества [17].

Подбор режущего инструмента осуществляется исходя из обрабатываемого материала и вида технологической операции. Ключевыми параметрами являются геометрия режущих кромок, стойкость инструмента и его совместимость с оборудованием. Экономическая эффективность определяется соотношением стоимости инструмента и его производительности [7], [10].

Выбор технологической оснастки основывается на обеспечении надежного базирования и закрепления заготовки. Конструкция приспособлений должна гарантировать требуемую точность обработки при минимальном времени на установку и съём детали. Особое внимание уделяется универсальности оснастки и возможности ее использования для различных операций [19], [20].

Подбор средств контроля определяется метрологическими характеристиками измерительных приборов, которые должны соответствовать допускам контролируемых параметров. Учитываются производительность измерений и возможность интеграции средств контроля в технологический процесс. Приоритет отдается средствам, обеспечивающим объективность и достоверность контроля качества [1].

Результаты выбора приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Средства оснащения техпроцесса

Операция	Оборудование	Инструменты	Средства контроля	Станочные приспособления
005 Токарная	токарный СКЕ 6136	резец контурный ГОСТ 18879-73	штангенциркуль ШЦ-1 ГОСТ166-89	патрон трехкулачковый ГОСТ 24351-80
010 Сверлильная	вертикально-сверлильный	сверло спиральное	нутромер НМ-50	оправка цанговая специальная

Продолжение таблицы 6

Операция	Оборудование	Инструменты	Средства контроля	Станочные приспособления
–	ZY5050A	диаметр 35 мм ГОСТ 10903-77	ГОСТ 10-88	–
015 Токарная	токарный СКЕ 6136	резец контурный ГОСТ 18879-73, резец канавочный ГОСТ 18879-73, резец расточной ГОСТ 18879-73, резец расточной канавочный ГОСТ 18879-73	микрометр МК-80 ГОСТ6507- 90, нутромер НМ-50 ГОСТ 10-88	патрон трехкулачковый ГОСТ 24351-80
020 Протяжная	протяжной 7A523	протяжка шлицевая ГОСТ 25969-83	шаблон	опора шаровая специальная
025 Зубофрезерная	зубофрезерный Y3120J	фреза червячная диаметр 100 мм ГОСТ 9324-80	шаблон	оправка цанговая специальная
030 Зубофрезерная	зубофрезерный Y3120J	фреза червячная диаметр 100 мм ГОСТ 9324-80	шаблон	патрон цанговый ГОСТ2877-80
035 Шевинговальная	шевинговальны й SSP250CNC	шевер дисковый диаметр 180 мм ГОСТ 8570-75	шаблон	патрон цанговый ГОСТ2877-80
040 Зубофасочная	зубофасочный BC-500	фреза специальная	шаблон	патрон цанговый ГОСТ 2877-80
045 Термическая	–	–	–	–
050 Внутришлифов альная	внутришлифов альный JAG- 3JAW-AAL1	круг шлифовальный 6- 50x13x32 24A80K7V 30м/с1А	скоба рычажная СР ГОСТ 11098-75	патрон цанговый ГОСТ 2877-80
055 Шлифовальная	торцекруглошл ифовальный JAG-CG2535	круг шлифовальный 3- 400x50x150 24A46M7V5 35м/с1А	скоба рычажная СР ГОСТ 11098-75	оправка клино- плунжерная
060 Шлифовальная	круглошлифова льный JAG- CG2550	круг шлифовальный 1- 400x50x150 24A46M7V5 35м/с1А	скоба рычажная СР ГОСТ 11098-75	оправка клино- плунжерная
065 Шлифовальная	торцекруглошл ифовальный JAG-CG2535	круг шлифовальный 3- 400x50x150 23A46M6V5	скоба рычажная СР ГОСТ 11098-75	оправка клино- плунжерная

Продолжение таблицы 6

Операция	Оборудование	Инструменты	Средства контроля	Станочные приспособления
070 Шлифовальная	круглошлифовальный JAG-CG2550	круг шлифовальный 1-400x50x150 25A90M7V 35м/с1А	скоба рычажная СР ГОСТ 11098-75	оправка клино-плунжерная
075 Шлицешлифовальная	шлицешлифовальный YK7332A	круг шлифовальный 12 80x13x10 23A46MV8 35м/с1А	шаблон	оправка клино-плунжерная
080 Полировальная	полировальный JAG-JIE-AAL	диск фибровый ГОСТ 8692-82	скоба рычажная СР ГОСТ 11098-75	патрон цанговый специальный
085 Контрольная	–	–	–	–
090 Моечная	–	–	–	–

«Результаты выбора оборудования и технологической оснастки систематизируются в маршрутной и операционных картах согласно приложению А «Технологическая документация». Выбранное оборудование также отображается на плане изготовления детали и технологических наладках, представленных в графической части работы» [15].

«Анализ предлагаемых средств технологического оснащения позволяет сделать следующие выводы. Преобладание стандартизированной оснастки способствует снижению производственных затрат. Для шлифовальных операций, с целью реализации теоретической схемы базирования и обеспечения требуемой точности обработки, предлагается применение клино-плунжерных оправок. Данное решение потребует разработки специализированных станочных приспособлений, поскольку в стандартном исполнении они отсутствуют» [15].

2.4 Проектирование операций технологического процесса

«Проектирование технологических операций начинается с анализа исходных данных, включающих чертеж детали, характеристики заготовки и требования к качеству обработки» [6]. На основе этого определяются технологические базы, последовательность обработки поверхностей и необходимые технологические переходы. Для каждой операции выбирается оборудование, оснастка и режущий инструмент с учетом обеспечения точности и производительности обработки.

Расчет режимов резания выполняется на основе свойств обрабатываемого материала, характеристик инструмента и возможностей оборудования. Определяются оптимальные значения скорости резания, подачи и глубины резания, обеспечивающие требуемое качество поверхности при минимальной себестоимости обработки. Расчеты проводятся с использованием нормативных данных и формул, учитывающих стойкость инструмента и мощность привода станка [6].

Нормирование технологического процесса осуществляется путем определения основного и вспомогательного времени для каждой операции. Расчет времени выполняется на основе принятых режимов резания и характеристик оборудования с учетом времени на установку и снятие заготовки, подвод и отвод инструмента. Дополнительно учитывается время на обслуживание рабочего места и организационные перерывы [6].

Результаты проектирования оформляются в виде технологической документации, включающей операционные карты с указанием последовательности переходов, режимов обработки и норм времени. Все расчеты должны быть взаимно увязаны и обеспечивать достижение заданных технико-экономических показателей процесса обработки.

«Определение расчетной скорости резания:

$$V = \frac{C_V \cdot K_V}{T^m \cdot t^x \cdot S^y}, \quad (14)$$

где C_V – постоянная определяемая видом обработки;

K_V – коэффициент, учитывающий фактические условия обработки;

T – период стойкости инструмента, мин;

t – глубина резания, мм.;

S – подача, мм/об;

m, x, y – показатели степеней, учитывающие условия резания» [6].

«Определение частоты вращения шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}, \quad (15)$$

где D – диаметр обработки, мм» [6].

«Определение фактической скорости резания:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}. \quad (16)» [6]$$

«Определение основного времени:

$$t_o = \sum t_{oi}, \quad (17)$$

где t_{oi} – основное время выполнения перехода обработки поверхности, мин» [6].

«Основное время определяется по формуле:

$$t_o = \frac{(L+l) \cdot i}{S \cdot n}, \quad (18)$$

где L – длина обрабатываемой поверхности, мм.;

l – длина перебега и врезания, мм.;

i – количество рабочих ходов» [6].

«Определение вспомогательного времени:

$$t_B = t_{c.y} + t_{m.B}, \quad (19)$$

где $t_{c.y}$ – время на установку и снятие заготовки, мин;

$t_{m.B}$ – машинно-вспомогательное время, мин» [6].

«Определение времени на обслуживание, и личные потребности:

$$t_{обс} + t_{п} = 0,1 \cdot t_{оп}, \quad (20)$$

где $t_{оп}$ – оперативное время, мин» [6].

«Оперативное время:

$$t_{оп} = t_o + t_B. \quad (21)» [6]$$

«Штучное время:

$$T_{шт} = t_o + t_B + t_{обс} + t_{п}. \quad (22)» [6]$$

«Определение подготовительно–заключительного времени:

$$T_{п-з} = T_{п-з1} + T_{п-з2} + T_{п-з3}, \quad (23)$$

где $T_{п-з1}$ – затраты учитывающие время на получение наряда, чертежа, технологической документации на рабочем месте, в начале работы и на сдачу в конце смены, мин;

$T_{п-з2}$ – затраты учитывающие дополнительные работы, мин;

$T_{п-з3}$ – затраты на пробную обработку детали, мин» [6].

«Определение штучно–калькуляционного времени:

$$T_{\text{шт.к.}} = T_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{п-з}}}{n_3}, \quad (24)$$

где n_3 – размер партии деталей» [6].

«Результаты расчетов приведены в таблице 7» [6].

Таблица 7 – Результаты расчета режимов резания и нормирования операций

Операция	Установ, номер перехода	Подача на оборот шпинделя, мм/об	Скорость резания, м/мин	Частота вращения шпинделя, об/мин	Основное время, мин	Штучное время, мин
005	установ А	0,5	118	500	0,68	1,5
	установ Б	0,5	118	500		
010	1	0,2	25	250	1,96	2,7
015	установ А	0,32	109	630	2,46	3,38
	1		107	630		
	2		83	630		
	установ Б	0,32	148	630		
	1		83	630		
	2		85	630		
	3		85	630		
020	1	–	3,5	–	0,45	1,37
025	1	2,5	40	250	0,47	1,39
030	1	2,5	45	250	0,39	1,31
035	1	–	–	600	0,43	1,35
040	1	1,2	60	160	0,48	1,4
050	1	0,0017	25	200	1,32	2,24
	2	0,0028	25	200		
055	1	0,005	26	200	1,46	2,38
060	1	3,7	25	200	2,3	3,14
065	1	0,003	26	200	1,37	2,29
070	1	2,4	26	200	1,98	2,8
075	1	0,018	30	200	2,12	3,01
080	1	50	20	150	1,5	2,42
085	–	–	–	–	0,87	1,69

Значения режимов резания и нормирования приводятся в приложении А «Технологическая документация».

Выполнение данного раздела выпускной квалификационной работы позволило комплексно решить поставленные технологические задачи, что

нашло отражение в разработанной технологической документации. В результате проведенных расчетов и проектных работ получены: чертеж заготовки с обоснованными припусками и допусками, план изготовления детали с маршрутом обработки и операционные карты с технологическими наладками.

Анализ разработанного технологического процесса, созданного на базе типовых решений, выявил два ключевых направления для оптимизации. Первое связано с необходимостью обеспечения точности базирования на шлифовальных операциях, где применение стандартной оснастки не позволяет реализовать теоретическую схему базирования. Решение данной проблемы требует разработки специального станочного приспособления, способного гарантировать требуемую точность позиционирования заготовки.

Второе направление оптимизации касается повышения производительности наружного шлифования, где отмечается значительная доля штучного времени в общем цикле обработки. Интенсификация режимов резания без изменения качества обработки на этих операциях представляет существенный резерв для сокращения технологического времени.

Указанные проблемы технологического процесса решаются в следующих разделах работы, где будут предложены конкретные технические решения и проведена оценка их эффективности. Разработка специальной оснастки и оптимизация режимов обработки за счет проектирования специального режущего инструмента позволят существенно повысить технико-экономические показатели спроектированного технологического процесса.

3 Разработка специальной технологической оснастки

3.1 Разработка клино-плунжерной оправки

Разработка специальной клино-плунжерной оправки для шлифовальной операции, представленной на рисунке 3, обусловлена комплексом технологических требований, которые не могут быть обеспечены стандартными средствами оснащения.

Основной проблемой при шлифовании прецизионных деталей типа полумуфты является обеспечение точного базирования и надежного закрепления заготовки без возникновения деформаций. Типовые оправки не позволяют достичь требуемой точности позиционирования из-за наличия зазоров в соединении и неравномерности приложения усилия зажима. Это приводит к возникновению погрешностей формы и размера, особенно критичных для шлицевых поверхностей.

Клино-плунжерный механизм обеспечивает одновременное центрирование и закрепление заготовки за счет синхронного радиального перемещения плунжеров. Принцип действия основан на преобразовании осевого усилия в радиальное перемещение плунжеров через конический элемент. Это позволяет достичь равномерного распределения нагрузки по всей контактной поверхности, исключая перекосы и деформации обрабатываемой детали.

Таким образом, разработка клино-плунжерной оправки является технически и экономически обоснованным решением, позволяющим обеспечить требования чертежа к точности обработки ответственных поверхностей полумуфты.

«Проектирование выполняется в соответствии с методикой и справочными данными» [19].

$$P_Z = \frac{1,9 \cdot 102 \cdot 60}{21} \cdot 1,25 = 693 \text{ Н.}$$

«Сила резания P_Y »

$$P_Y = (1,3 \dots 1,8) \cdot P_Z \cdot K_{PY}, \quad (27)$$

где K_{PY} – коэффициент, учитывающий фактические условия выполнения операции в направлении силы резания P_Y » [19].

$$P_Y = (1,3 \dots 1,8) \cdot 693 \cdot 1,25 = 1600 \text{ Н.}$$

«Определение необходимого усилия закрепления осуществляется из условия баланса моментов резания и зажима в технологической системе» [19]. «Исходные данные для расчета устанавливаются на основе схемы закрепления, приведенной на рисунке 4» [19].

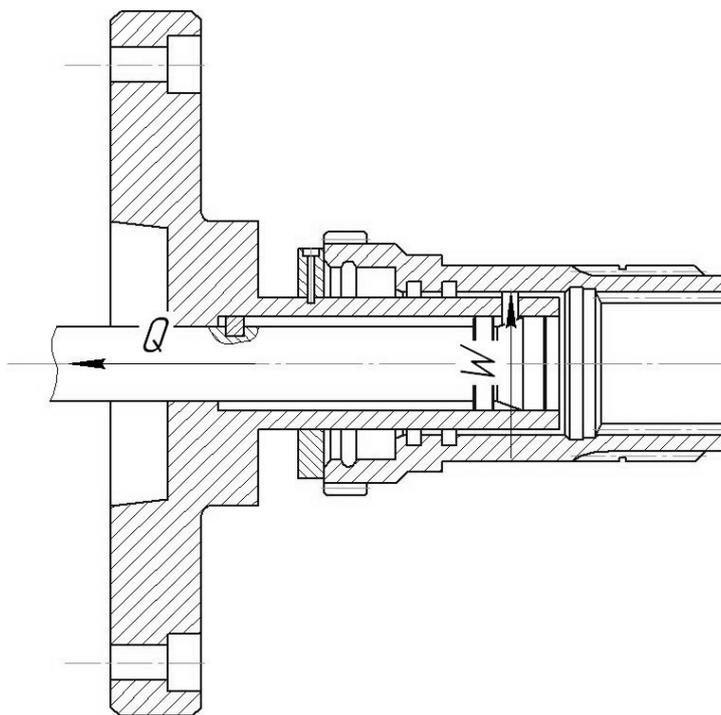


Рисунок 4 – Схема закрепления

«Момент от составляющей силы резания P_Z »

$$M_{P_{P_Z}} = P_Z \cdot \frac{d_0}{2}, \quad (28)$$

где d_0 – максимальный диаметр, мм» [19].

«Момент закрепления:

$$M_{3_{P_Z}} = \frac{3 \cdot W \cdot f \cdot d_3}{2}, \quad (29)$$

где W – усилие закрепления, Н;

f – коэффициент трения на поверхности контакта зажимных элементов приспособления и технологической базы;

d_3 – диаметр закрепления, мм» [19].

«Тогда усилие закрепления в клино-плунжерной оправке:

$$W = \frac{P_Z \cdot d_0}{3 \cdot f \cdot d_3} \cdot K, \quad (30)$$

где K – коэффициент, который учитывает фактические условия выполнения операции» [19].

«Коэффициента запаса:

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5, \quad (31)$$

где: K_0 – гарантированный коэффициент запаса;

K_1 – коэффициент влияния неровностей обрабатываемой поверхности;

K_2 – коэффициент состояния режущего инструмента;

K_3 – коэффициент изменения сил резания;

K_4 – коэффициент колебания усилия на приводе;

K_5 – коэффициент эргономических характеристик зажимного механизма» [19].

$$K = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,15 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 2,07.$$

Расчет усилия закрепления.

$$W = \frac{693 \cdot 55}{3 \cdot 0,2 \cdot 40} \cdot 2,5 = 3970 \text{ Н.}$$

«Усилие на силовом приводе определяется по формуле:

$$Q = W \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi), \quad (32)$$

где α – угол наклона рабочей поверхности плунжера, град;

φ – угол трения рабочей поверхности плунжера, град» [19].

Производим расчет.

$$Q = 3970 \cdot \operatorname{tg}(20^\circ + 6,5^\circ) = 1980 \text{ Н.}$$

«Диаметр поршня пневмоцилиндра:

$$D = \sqrt{\frac{1,27 \cdot Q}{P} + d^2}, \quad (33)$$

где d – диаметр штока, мм;

P – давление воздуха в системе, МПа» [19].

Производим расчет.

$$D = \sqrt{\frac{1,27 \cdot 1980}{0,4} + 30^2} = 84,77 \text{ мм.}$$

«Точность приспособления оценивается по расчетной схеме погрешностей конструктивных элементов, приведенной на рисунке 5» [19].

«Погрешность оправки:

$$\varepsilon_y = \frac{\omega \cdot A_\Delta}{2} = \frac{1}{2} \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2}, \quad (34)$$

где Δ_1 – погрешность изготовления посадочного отверстия, мм;

Δ_2 – колебание зазора в сопряжении корпуса и плунжера, мм;

Δ_3 – колебание зазора в сопряжении направляющей поверхности и корпуса, мм» [19].

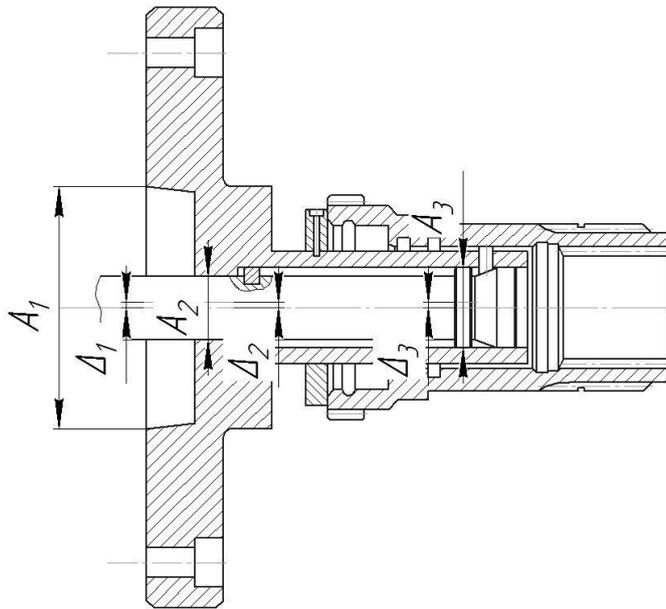


Рисунок 5 – Расчетная схема

Выполняем расчет.

$$\varepsilon_y = \frac{1}{2} \sqrt{0,010^2 + 0,010^2 + 0,006^2} = 0,007 \text{ мм.}$$

«Исходя из требуемой точности обработки, точность приспособления соответствует предъявляемым к нему требованиям» [19].

«Конструкция приспособления приведена в графической документации и спецификации (приложение Б «Спецификации к сборочным чертежам»). Основу устройства составляет корпус с размещенным плунжером, кинематически связанным штоком с силовым приводом. Приводная система включает корпус цилиндра с подвижным поршнем и штоком, герметизированным торцевыми крышками. К задней крышке присоединена вращающаяся муфта» [19].

Разработанная клино-плунжерная оправка обеспечивает точную реализацию теоретической схемы базирования при шлифовании, гарантируя соблюдение требований к точности обработки. Конструкция позволяет исключить погрешности установки и повысить стабильность размерных характеристик обрабатываемых деталей.

3.2 Разработка шлифовального круга

Разработка специального шлифовального круга для операции наружного шлифования обусловлена технологическими ограничениями стандартных абразивных инструментов при интенсификации режимов обработки. Основной проблемой при повышении параметров резания является возникновение термических дефектов на обрабатываемой поверхности, в частности прижогов, вызванных интенсивным тепловыделением в зоне резания.

Внедрение теплоотводящих элементов в конструкцию круга или применение специальных охлаждающих каналов способствует активному отводу тепла из зоны резания, что решит указанную проблему. «Проведем проектирование такого шлифовального круга» [10].

«Исходя из требуемых режимов резания и марки обрабатываемого материала, выбираем следующие характеристики шлифовального круга:

- материала белый электрокорунд 23А ГОСТ3647–80,
- зернистость 40мкм,
- твердость средняя 1,
- номер структуры 6,
- содержание режущих зерен 50%,
- связка керамическая К» [10].

«Рассчитаем предел прочности круга на разрыв под воздействием центробежных сил:

$$\sigma_{\text{в}} = \gamma \cdot V_p^2 \cdot \frac{3+\mu}{4} \cdot \left(1 + \frac{1-\mu}{3+\mu} \cdot \frac{d^2}{D^2}\right), \quad (35)$$

где γ – плотность материала круга, кг/м³;

V_p – максимально допустимая скорость круга, м/с;

μ – коэффициент поперечного сжатия;

d – диаметр посадочного отверстия круга, мм;

D – наружный диаметр круга, мм» [10].

Выполняем расчеты.

$$\sigma_B = 3950 \cdot 30^2 \cdot \frac{3+0,3}{4} \cdot \left(1 + \frac{1-0,3}{3+0,3} \cdot \frac{150^2}{400^2}\right) = 3,0 \text{ МПа.}$$

«Полученный предел прочности не превышает значения 15 МПа, что соответствует выбранным характеристикам круга» [10].

«Для предотвращения возникновения прижогов на обрабатываемой поверхности предлагается применение шлифовального круга с прерывистой рабочей поверхностью» [10].

«Прерывистость процесса шлифования достигается выполнением радиальных пазов в конструкции круга. В соответствии с рекомендациями для круга данных габаритов принято 24 паза шириной 10 мм. Для исключения ударных нагрузок в процессе резания пазы выполняются под углом 45° к плоскости обработки.» [10].

«Спроектированные в данном разделе работы средства технологической оснастки демонстрируют совместный эффект: клино-плунжерная оправка обеспечивает стабильность позиционирования заготовки, а специальный шлифовальный круг позволяет реализовать повышенные режимы резания» [15].

4 Безопасность и экологичность технического объекта

4.1 Конструктивно-технологическая характеристика технического объекта

«Технологический процесс изготовления полумуфты шлицевой характеризуется использованием металлорежущего оборудования (вертикально-сверлильный и токарный станки) и сопутствующих материалов. В таблице 8 представлен технологический паспорт, содержащий исчерпывающие сведения об оборудовании, оснастке и применяемых материалах» [4].

Таблица 8 – Технологический паспорт

Технологическая операция	Должность работника	Оборудование и оснастка	Материалы и вещества
сверлильная	сверловщик	вертикально-сверлильный станок ZY5050A, сверло спиральное Ø35 мм, оправка цанговая	сталь 18ХГТ, СОЖ, обтирочная ветошь
токарная	оператор станков с ЧПУ	токарный станок СКЕ 6136, резцы контурный, канавочный, расточной, патрон трехкулачковый	сталь 18ХГТ, СОЖ, обтирочная ветошь

«Разработанный технологический паспорт служит основой для формирования мероприятий по обеспечению безопасных условий труда, пожарной и экологической безопасности» [4].

4.2 Идентификация профессиональных рисков

«Анализ технологического процесса позволил выявить потенциально опасные и вредные производственные факторы» [4]. «В таблице 9 представлены результаты идентификации профессиональных рисков» [4].

Таблица 9 – Идентификация профессиональных рисков

Технологическая операция	Опасный и/или вредный производственный фактор	Источник фактора
сверлильная и токарная обработка	острые кромки, заусенцы, шероховатости	металлорежущий станок, оснастка, режущий инструмент
	повышенная/пониженная температура	заготовка, режущий инструмент
	вибрация	оборудование, оснастка, транспорт
	шум	металлорежущее оборудование и инструмент
	электрический ток	металлорежущий станок
	недостаточное освещение	рабочая зона станка
	токсичные вещества	смазочно-охлаждающая жидкость
	стереотипные движения	рабочий процесс

Выявленные риски характерны для механообрабатывающего производства, что позволяет применять типовые решения при разработке защитных мероприятий.

4.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Для каждого идентифицированного риск-фактора разработан комплекс защитных мероприятий (таблица 10) [4].

Таблица 10 – Мероприятия по снижению профессиональных рисков

Опасный фактор	Организационно-технические методы	Средства индивидуальной защиты
механические повреждения	инструктажи, защитные ограждения	нарукавники, перчатки
температурное воздействие	инструктажи, тепловые экраны	костюм защитный, перчатки
вибрация	виброгасящие устройства	специальная обувь
шум	звукопоглощающие конструкции	противошумные наушники
электрический ток	заземление, изоляция	диэлектрические перчатки
недостаточное освещение	местное освещение	-
токсичные вещества	вентиляция, ограждения	респиратор, защитный костюм
стереотипные движения	перерывы	-

Кроме приведенных мероприятий следует уделять внимание уделяется обеспечению эргономичности рабочих мест и оптимальной организации технологического пространства.

4.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта

«Для участка изготовления привода идентифицирован класс пожара В (горючие жидкости). В таблице 11 представлены опасные факторы пожара, а в таблице 12 технические средства пожарной безопасности» [4].

Таблица 11 – Опасные факторы пожара

Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы
металлорежущее оборудование	В	пламя, искры, тепловой поток, токсичные продукты горения

Таблица 12 – Технические средства пожарной безопасности

Первичные средства	Мобильные средства	Стационарные системы	Системы оповещения
огнетушители, ящики с песком	пожарные автомобили	автоматические системы	сигнализация, оповещатели

«Организационные мероприятия включают разработку инструкций, проведение инструктажей и обучение персонала» [4].

4.5 Обеспечение экологической безопасности технического объекта

«Технологический процесс оказывает воздействие на все компоненты окружающей среды (таблица 13)» [4].

Таблица 13 – Негативное воздействие на окружающую среду

Компонент среды	Источник воздействия	Характер воздействия
атмосфера	процесс механической обработки	аэрозоль смазочно-охлаждающей жидкости
гидросфера	технологические жидкости	загрязнение смазочно-охлаждающей жидкостью, стружкой
литосфера	производственные отходы	металлическая стружка, отработанная смазочно-охлаждающая жидкость

Для минимизации негативного воздействия предложены следующие мероприятия: системы фильтрации воздуха; очистные сооружения для сточных вод; отдельный сбор и переработка отходов [4].

Разработанный в результате выполнения данного раздела комплекс организационно-технических мероприятий обеспечивает: создание безопасных условий труда; снижение профессиональных рисков до приемлемого уровня; обеспечение пожарной безопасности; минимизацию негативного воздействия на окружающую среду.

Все предложенные решения соответствуют действующим нормативным требованиям и могут быть успешно внедрены в производственный процесс.

5 Экономическая эффективность работы

«Целью данного раздела является определение технико-экономических параметров разрабатываемого технологического процесса» [13]. «Предполагается проведение сопоставительного анализа с параметрами базовой технологии и вычисление экономического эффекта, обусловленного предложенными в работе техническими решениями» [13].

Для достижения поставленной цели необходимы сведения, полученные в предыдущих частях работы. Обобщенное представление производственного процесса приведено на рисунке 6.



Рисунок 6 – Обобщенное представление производственного процесса

Обобщенная схема акцентирует внимание на процессах, оказывающих наибольшее влияние на образование издержек. Определение числовых значений начинается с вычисления технологической себестоимости согласно методологии [13]. Наглядное представление технологической себестоимости и определяющих ее факторов представлено на рисунке 7. Этот визуальный материал раскрывает ключевые аспекты формирования себестоимости, делая анализ доступным и понятным.

Анализ рисунка 7 демонстрирует, что технологическая себестоимость в значительной мере определяется базовой заработной платой. Занимаемая ей доля составляет 49,46 % и 55,3 %, соответственно операции до и после изменений, от общей суммы расходов. В то же время, влияние отчислений в

социальные фонды на себестоимость крайне незначительно, поскольку они составляют лишь 14,94 % и 16,7 % соответственно.

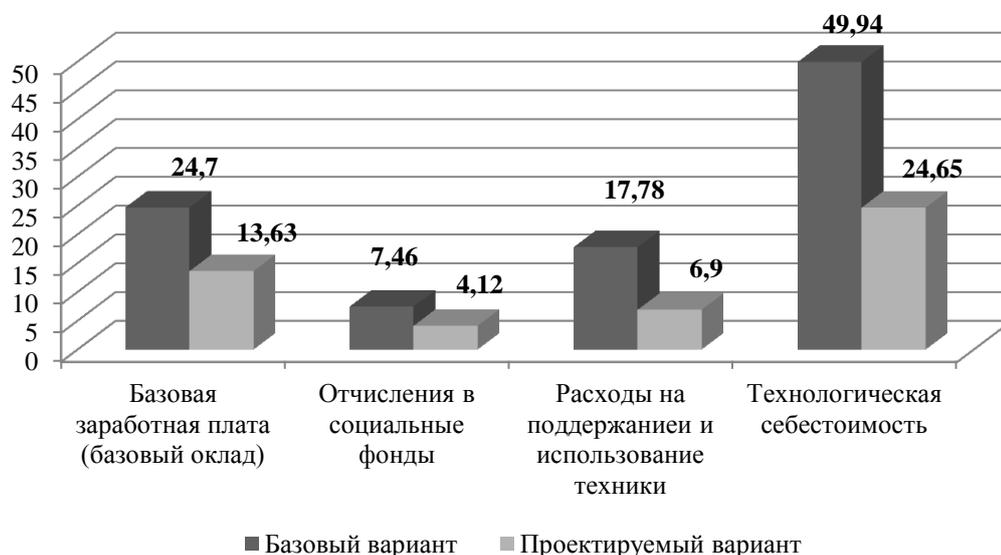


Рисунок 7 – Технологическая себестоимость и определяющие ее факторы, руб.

После завершения всех необходимых расчетов, следующей задачей становится определение объема капитальных вложений в производственный процесс, иными словами, требуется оценка необходимого инвестиционного масштаба. «Для этого мы используем методику расчета капитальных вложений (инвестиций) по сравниваемым вариантам технологического процесса» [13]. «Оценка размера вложений будет базироваться на полном и всестороннем анализе затрат» [13]. «В них войдут: затраты на технологическое оборудование с учетом его доставки (K_{OB}), затраты на транспортные средства (K_{TP}), затраты на проектирование (K_{IP}), оснастку и инструмент (K_{OI}) и затраты на производственную площадь ($K_{ЭПЛ}$) и затраты на демонтаж заменяемого оборудования с учетом выручки от его реализации ($K_{ДЕМ}$)» [13]. На рисунке 8 представлены значения, которые раскрывают важнейшие параметры и общий масштаб требуемых вложений.

Объем капитальных вложений (И) - 971736,24 руб.

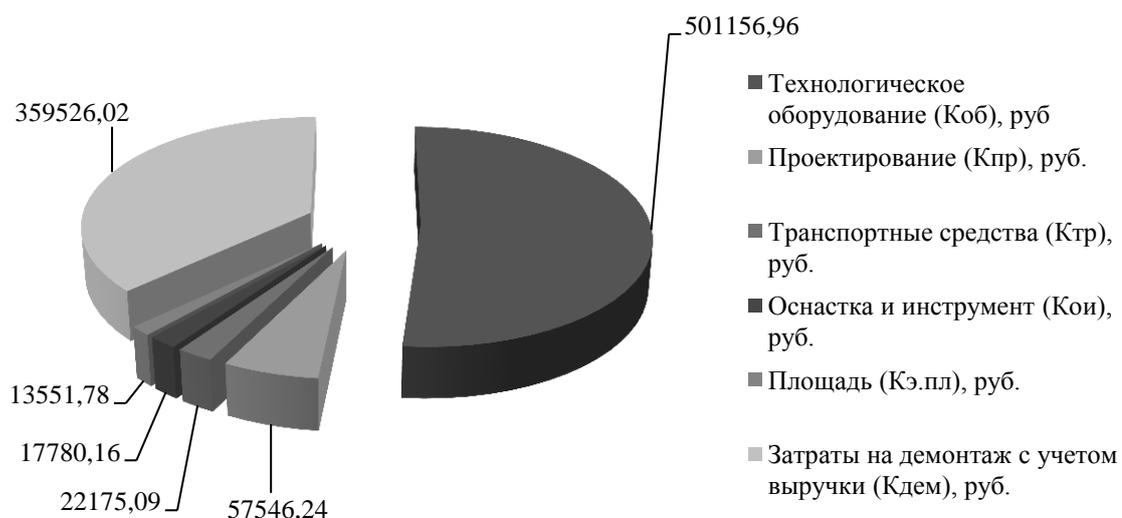


Рисунок 8 – Параметры и общий масштаб требуемых вложений, руб.

Изучение информации, представленной на рисунке 8, демонстрирует, что значительная доля инвестиций, а именно 51,57 %, направлена на технологическое оборудование. Это подчеркивает инновационную направленность технологии и повышение эффективности. В то же время, расходы, связанные с оснасткой и инструментом, составляют минимальные 1,83 % от совокупного объема инвестиций, что свидетельствует об оптимальном использовании ресурсов.

Далее следует этап определения ключевых финансовых показателей, таких как чистая прибыль, срок возврата инвестиций и общий экономический результат. Выполнение этих расчетов опирается на самые современные и проверенные «методики расчета показателей экономической эффективности проектируемого варианта технологического процесса» [13]. Результаты этого анализа отображены на рисунке 9, что позволяет наглядно отразить экономический потенциал выполняемой работы.

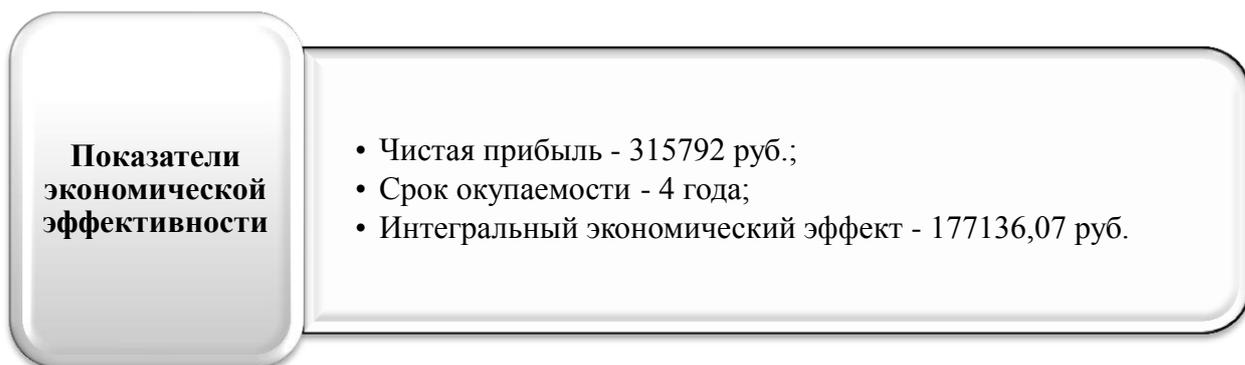


Рисунок 9 – Результаты анализа по расчету экономических показателей

Проведенный анализ позволяет утверждать о высокой эффективности предложенного технологического решения. Экономические расчеты свидетельствуют о его прибыльности, а внедрение гарантирует экономический эффект, достигающий 177136,07 рублей.

В данном разделе выполнен комплекс расчетов и исследований, подтвердивших экономическую эффективность разработанного технологического процесса и целесообразность его внедрения для условий среднесерийного производства.

Заключение

Выпускная квалификационная работа посвящена разработке технологического процесса изготовления полумуфты шлицевой «Gebo» для условий среднесерийного производства. В ходе выполнения работы был решен комплекс взаимосвязанных технологических, конструкторских и организационных задач, позволивших создать эффективный и конкурентоспособный производственный процесс.

Научно-техническая значимость работы заключается в разработке комплексного подхода к проектированию технологического процесса, включающего не только традиционные элементы технологической подготовки производства, но и оригинальные решения в области технологической оснастки. Проведенные исследования подтвердили возможность значительного повышения эффективности механической обработки за счет оптимизации всех составляющих технологической системы.

Разработан технологический процесс изготовления полумуфты шлицевой, включающий:

- обоснование выбора заготовки, получаемой методом горячей объемной штамповки;
- «проектирование маршрута механической обработки с использованием современного оборудования» [15];
- «нормирование технологических операций и расчет режимов резания» [15]; проектирование и обоснование специальных средств технологической оснастки клино-плунжерной оправки, обеспечивающей точное базирование и закрепление заготовки при шлифовании и специального шлифовального круга с прерывистой рабочей поверхностью, позволяющего интенсифицировать процесс обработки.

Выполнен комплекс расчетов и исследований, подтвердивших техническую реализуемость предложенных решений, экономическую эффективность разработанного технологического процесса, соответствие всех параметров обработки требованиям конструкторской документации.

Технико-экономическая эффективность разработанного технологического процесса подтверждена расчетами, показавшими снижение трудоемкости операции шлифования на 25-30%, увеличение производительности обработки на 20-25%, снижение себестоимости изготовления одной детали на 15-18%, повышение коэффициента использования материала до 0,75, сокращение количества операционного брака на 12-15%.

В результате выполнения выпускной квалификационной работы доказана целесообразность предложенных технических решений, подтверждена их эффективность и готовность к практической реализации. Разработанный технологический процесс соответствует современным тенденциям развития машиностроения и может быть успешно внедрен в производство.

Список используемых источников

1. Болтон У. Карманный справочник инженера-метролога / У Болтон. – М. : ДМК Пресс, 2010. – 380 с.
2. Бочкова Д. Е. Проектирование заготовок в машиностроении: практикум : учебное пособие / Д. Е. Бочкова, М. Н. Бобков. – Тула : ТулГУ, 2023. – 198 с. – ISBN 978-5-7679-5333-2. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/427247> (дата обращения: 11.09.2025).
3. Василевская С. И. Технология машиностроения. Точность механической обработки : учебное пособие / С. И. Василевская. – Новосибирск : НГТУ, 2023. – 164 с. – ISBN 978-5-7782-5053-6. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/404756> (дата обращения: 12.10.2025).
4. Горина Л.Н., Фесина М.И. Раздел бакалаврской работы «Безопасность и экологичность технического объекта». Уч.-методическое пособие (2-е изд. Доп.). – Тольятти: изд-во ТГУ, 2024. –22 с.
5. ГОСТ 7505–89. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски. – Введ. 1990 –01 –07. – М.: Изд –во стандартов, 1990. – 83 с.
6. Грубый С. В. Расчет режимов резания для операций механической обработки : методические указания / С. В. Грубый. – Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. – 200 с. – ISBN 978-5-9729-0665-9. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/192451> (дата обращения: 25.10.2025).
7. Жидяев А. Н. Режущий инструмент для станков с ЧПУ : учебное пособие / А. Н. Жидяев. – Самара : Самарский университет, 2023. – 80 с. – ISBN 978-5-7883-1980-3. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/406526> (дата обращения: 25.10.2025).

8. Забирова Г. Р. Технология машиностроения : учебно-методическое пособие / Г. Р. Забирова. – Ульяновск : УлГУ, 2022. – 272 с. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/314603> (дата обращения: 12.09.2025).

9. Зубарев Ю. М. Методы получения заготовок в машиностроении и расчет припусков на их обработку : учебное пособие для вузов / Ю. М. Зубарев. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 256 с. – ISBN 978-5-507-44101-3. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/215714> (дата обращения: 12.09.2025).

10. Зубарев Ю. М. Режущий инструмент : учебник для вузов / Ю. М. Зубарев, А. В. Вебер, М. А. Афанасенков ; Под общей редакцией Ю. М. Зубарева. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 432 с. – ISBN 978-5-8114-9510-8. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/254675> (дата обращения: 28.10.2025).

11. Зубарев Ю. М. Технология автоматизированного машиностроения. Проектирование и разработка технологических процессов / Ю. М. Зубарев, А. В. Приемышев, В. Г. Юрьев. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 312 с. – ISBN 978-5-8114-9826-0. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/199496> (дата обращения: 29.09.2025).

12. Ковшов А. Н. Технология машиностроения : учебник / А. Н. Ковшов. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 320 с. – ISBN 978-5-8114-0833-7. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/212438> (дата обращения: 26.09.2025).

13. Краснопевцева И.В. Экономика и управление машиностроительным производством: электрон. учеб. –метод. пособие / И.В. Краснопевцева, Н.В. Зубкова. – Тольятти.: ТГУ, 2014. – 183 с. [Электронный ресурс]. – URL: <http://hdl.handle.net/123456789/13> (дата обращения: 08.11.2025).

14. Максимов Ю. В. Расчет операционных припусков и определение операционных размеров : учебно-методическое пособие / Ю. В. Максимов, В. Н. Балашов. – Москва : РУТ (МИИТ), 2020. – 32 с. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/175818> (дата обращения: 24.10.2025).

15. Пухаренко Ю.В. Механическая обработка конструкционных материалов: курсовое и диплом. проектирование: учеб. пособие / Ю.В. Пухаренко, В.А. Норин. – Санкт-Петербург. : Лань, 2018. – 240 с. [Электронный ресурс]. – URL: <https://e.lanbook.com/book/99220> (дата обращения: 08.09.2025).

16. Справочник технолога : справочник / А. Г. Суслов, В. Ф. Безъязычный, Б. М. Базров [и др.] ; под общей редакцией А. Г. Суслова. – 2-е изд. – Москва : Машиностроение, 2023. – 800 с. – ISBN 978-5-907523-51-7. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/387530> (дата обращения: 18.10.2025).

17. Справочник технолога-машиностроителя в 2-х тт : справочник / В. И. Аверченков, А. В. Аверченков, Б. М. Базров [и др.] ; под редакцией А. С. Васильева, А. А. Кутина. – 7-е изд. испр. – Москва : Машиностроение, 2023. – 1574 с. – ISBN 978-5-907523-26-5. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/307325> (дата обращения: 15.10.2025).

18. Стародубов С. Ю. Проектирование заготовок в машиностроении : учебное пособие / С. Ю. Стародубов, С. Н. Кучма. – Вологда : Инфра-Инженерия, 2024. – 228 с. – ISBN 978-5-9729-1630-6. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/428483> (дата обращения: 21.09.2025).

19. Тарабарин О. И. Проектирование технологической оснастки в машиностроении : учебное пособие / О. И. Тарабарин, А. П. Абызов, В. Б. Ступко. – 2-е изд., испр. и доп. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 304 с. – ISBN 978-5-8114-1421-5. – Текст : электронный // Лань : электронно-

библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/211214> (дата обращения: 29.10.2025).

20. Технология автоматизированного машиностроения. Технологическая подготовка, оснастка, наладка и эксплуатация многооперационных станков с ЧПУ : учебник для вузов / А. М. Александров, Ю. М. Зубарев, А. В. Приемышев, В. Г. Юрьев. – Санкт-Петербург : Лань, 2021. – 264 с. – ISBN 978-5-8114-7288-8. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/174961> (дата обращения: 02.10.2025).

21. Технология машиностроения. Проектирование технологии изготовления деталей : учебное пособие / В. А. Лебедев, И. В. Давыдова, А. П. Шишкина, Е. Н. Колганова. – Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. – 176 с. – ISBN 978-5-9729-1298-8. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/346985> (дата обращения: 29.09.2025).

22. Химический состав и физико – механические свойства стали 18ХГТ [Электронный ресурс]. – URL: <https://tduralprokat.ru/shop/18khgt/?ysclid=mhpgi9j9zq821628015> (дата обращения: 10.09.2025).

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1

A	Цех	Уч	PM	Опер	Код, наименование операции	Обозначение документа										
						SM	проф	P	УТ	KP	КОИД	ЕН	ОП	Кшт	Тпоз	Тшт
B	Код, наименование оборудования					SM	проф	P	УТ	KP	КОИД	ЕН	ОП	Кшт	Тпоз	Тшт
T 19	396171 Приспособление специальное; 391290 Сверло спиральное $\phi 35$ ГОСТ10903-77 P6M5; 393311															
T 20	Микрометр ММ-50 ГОСТ10-88															
21																
A 22	XX XX XX 015 4110 Токарная															
B 23	381101 Токарный СКЕ 6136					3	18217	312	1P	1	1	1	1200	1		3,38
O 24	Точить последовательно поверхности: Установ А пов. 1, 6, 7, 8, 9, 28, 29, 30, 31, 32, 33 в размер															
O 25	$\phi 36_{-0,025}^{+0,1}$; $\phi 40_{-0,1}^{+0,1}$; $\phi 56_{-0,1}^{+0,1}$; $\phi 42,5_{-0,12}^{+0,12}$; $\phi 43_{-0,12}^{+0,12}$; $355_{-0,14}^{+0,14}$; $68,5_{-0,12}^{+0,12}$; $73,5_{-0,12}^{+0,12}$; $77_{-0,12}^{+0,12}$; $83,5_{-0,14}^{+0,14}$; $113,5_{-0,14}^{+0,14}$															
O 26	Установ Б $\phi 74,8_{-0,1}^{+0,1}$; $\phi 55_{-0,12}^{+0,12}$; $\phi 46_{-0,1}^{+0,1}$; $\phi 58_{-0,12}^{+0,12}$; $75_{-0,14}^{+0,14}$; $85_{-0,14}^{+0,14}$; $92_{-0,14}^{+0,14}$; $112,5_{-0,14}^{+0,14}$															
T 27	396110 Патрон 3-х кулачковый ГОСТ 2675-80; 392101 Резец контурный ГОСТ 18879-73 Т5К10;															
T 28	392135 Резец расточной ГОСТ18879-73 Т30К4; 392104 Резец канавочный ГОСТ 18879-73 Т30К4;															
T 29	392104 Резец канавочный ГОСТ 18879-73 Т30К4; 392104 Резец канавочный ГОСТ 18879-73 Т30К4;															
T 30	392104 Резец канавочный ГОСТ 18879-73 Т30К4; 394233 Микрометр МК-80 ГОСТ 6507-90; 394253															
T 31	Микрометр ММ-50 ГОСТ 10-88.															
32																
A 33	XX XX XX 020 4180 Протяжная															
B 34	381751 Протяжной 7А523					3	16458	312	1P	1	1	1	1200	1		1,37
O 35	Протянуть поверхности 34, 35 в размер $\phi 36_{-0,062}^{+0,062}$; $\phi 42_{-0,025}^{+0,025}$; $7_{-0,01}^{+0,01}$															
T 36	396171 Приспособление специальное; 392330 Протяжка шлицевая ГОСТ 25969-83 P18; 393400 Калибры.															
37																
A 38	XX XX XX 025 4153 Зубофрезерная															
B 39	381572 Зубофрезерный Y3120J 3					3	12287	312	1P	1	1	1	1200	1		1,39
O 40	Фрезеровать поверхности 4, 5 в размер $46_{-0,10}^{+0,10}$; $54_{-0,12}^{+0,12}$; $9_{-0,040}^{+0,040}$															
T 41	396171 Приспособление специальное; 391810 Фреза червячная $\phi 100$ ГОСТ9324-80 P9K5; 393180 Калибр.															
МК																

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1

А	Цех	Уч	РМ	Опер	Код, наименование операции	Обозначение документа											
						Код, наименование оборудования	СМ	проф	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт	Тпоз	Тшт
А 69	XX XX XX	030	4153	Зубофрезерная													
Б 70	381572	Зубофрезерный	Y3120J	3	12287	312	1P	1	1	1	1200	1					1,31
О 71	Фрезеровать поверхности 16, 17 в размер 10 степени точности.																
Т 72	396171 Приспособление специальное; 391810 Фреза червячная $\phi 100$ ГОСТ9324-80 Р9К5; 393180 Калибр.																
73																	
А 74	XX XX XX	035	4157	Шевинговальная													
Б 75	381574	Зубошевинговальный	SSP250CNC	3	12287	312	1P	1	1	1	1200	1					1,35
О 76	Шевинговать поверхность 16 в размер 8-й степени точности.																
Т 77	396171 Приспособление специальное; 391810 Шейвер дисковый Р9Ф5 ГОСТ8570-75; 393180 Калибр.																
78																	
А 79	XX XX XX	040	4162	Зубофасочная													
Б 80	381574	Зубофасочный	BC-500	3	12287	312	1P	1	1	1	1200	1					14
О 81	Фрезеровать фаски на торцовых поверхностях зубьев.																
Т 82	396171 Приспособление специальное; 391810 Фреза Р6М5 специальная; 393400 Калибр.																
83																	
А 84	XX XX XX	045		Термическая													
85																	
А 86	XX XX XX	050	4132	Внутришлифовальная													
Б 87	381312	Внутришлифовальный	JAG-3JAW-AAL13	3	18873	312	1P	1	1	1	1200	1					2,24
О 88	Шлифовать поверхности 19, 28 в размер $112^{+0,057}$; $\phi 40^{+0,049}$.																
Т 89	396171 Приспособление специальное; 39810Круг шлифовальный; 394300Скоба рычажная СРГОСТ11098-75.																
90																	
А 91	XX XX XX	055	4132	Шлифовальная													
МК																	

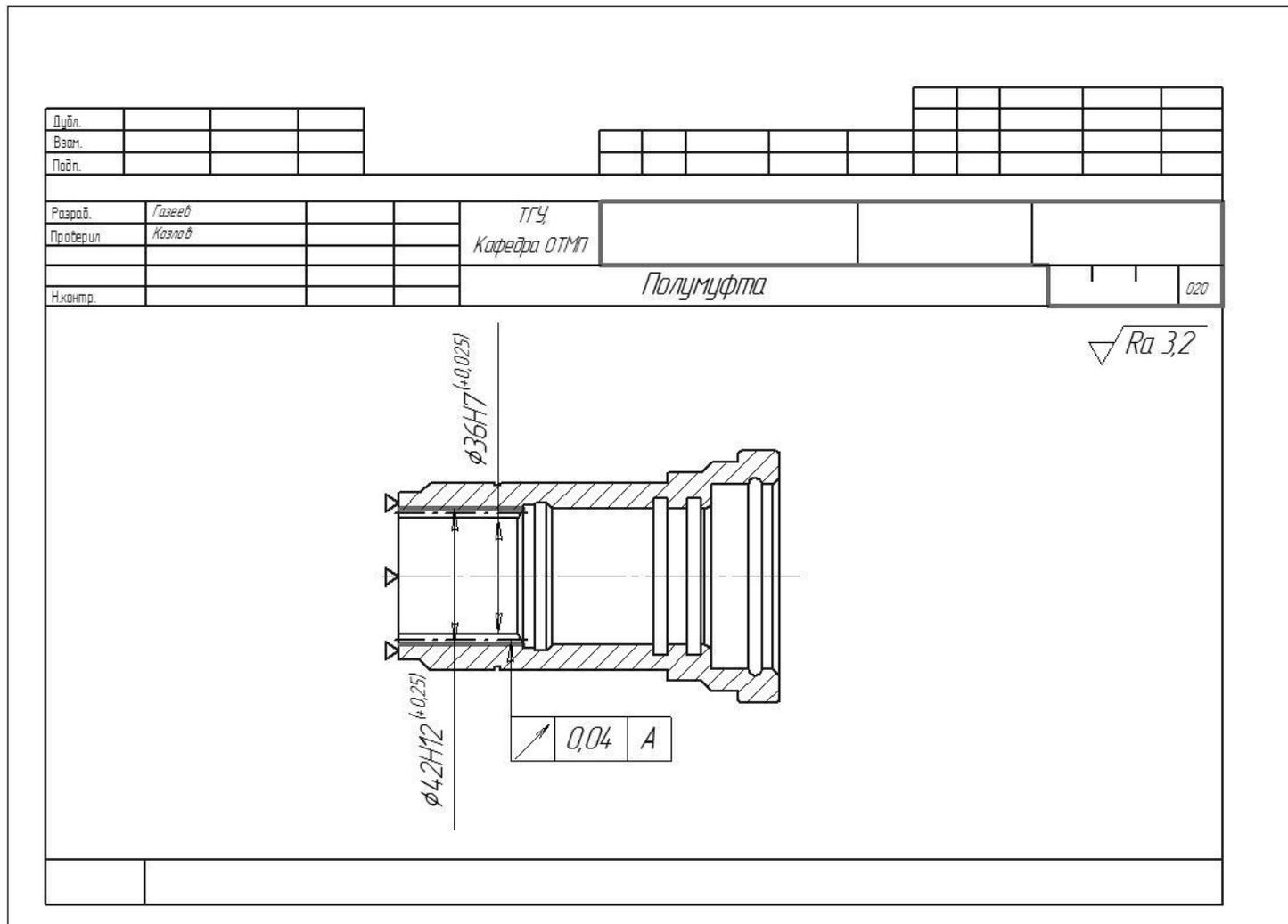
Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1

A	Цех	Уч	PM	Опер	Код, наименование операции	Обозначение документа									
						Код, наименование оборудования	СМ	проф	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт
Б 94	381312	Торцекруглошлифовальный	JAG-CG2535	3	18873	312	1P	1	1	1	1200	1	2,38		
О 95	Шлифовать поверхности 8, 9 в размер $\phi 56,004^{+0,040}$; $33,25^{+0,030}$.														
Т 96	396171 Приспособление специальное; 39810Круг шлифовальный; 394300Скоба рычажная СРГОСТ11098-75.														
97															
А 98	XX XX XX	060	4132	Шлифовальная											
Б 99	381312	Круглошлифовальный	JAG-CG2550	3	18873	312	1P	1	1	1	1200	1	3,14		
О 100	Шлифовать поверхность 8 в размер $\phi 67,3^{+0,12}$.														
Т 101	396171 Приспособление специальное; 39810Круг шлифовальный; 394300Скоба рычажная СРГОСТ11098-75.														
102															
А 103	XX XX XX	065	4132	Шлифовальная											
Б 104	381312	Торцекруглошлифовальный	JAG-CG2535	3	18873	312	1P	1	1	1	1200	1	2,29		
О 105	Шлифовать поверхности 8, 9 в размер $\phi 55,002^{+0,010}$; $33^{+0,030}$.														
Т 106	396171 Приспособление специальное; 39810Круг шлифовальный; 394300Скоба рычажная СРГОСТ11098-75.														
107															
А 108	XX XX XX	070	4132	Шлифовальная											
Б 109	381312	Круглошлифовальный	JAG-CG2550	3	18873	312	1P	1	1	1	1200	1	2,8		
О 110	Шлифовать поверхность 8 в размер $\phi 67,1^{+0,12}$.														
Т 111	396171 Приспособление специальное; 39810Круг шлифовальный; 394300Скоба рычажная СРГОСТ11098-75.														
112															
А 113	XX XX XX	075	4135	Шлицешлифовальная											
Б 114	381316	Шлицешлифовальный	УК7332А	3	18873	312	1P	1	1	1	1200	1	3,01		
О 115	Шлифовать поверхности 4, 5 в размер $46^{+0,25}$; $54^{+0,30}$; $9^{+0,03}$.														
Т 116	396171 Приспособление специальное; 39810 Круг шлифовальный; 393400 Калибры.														
МК															

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1



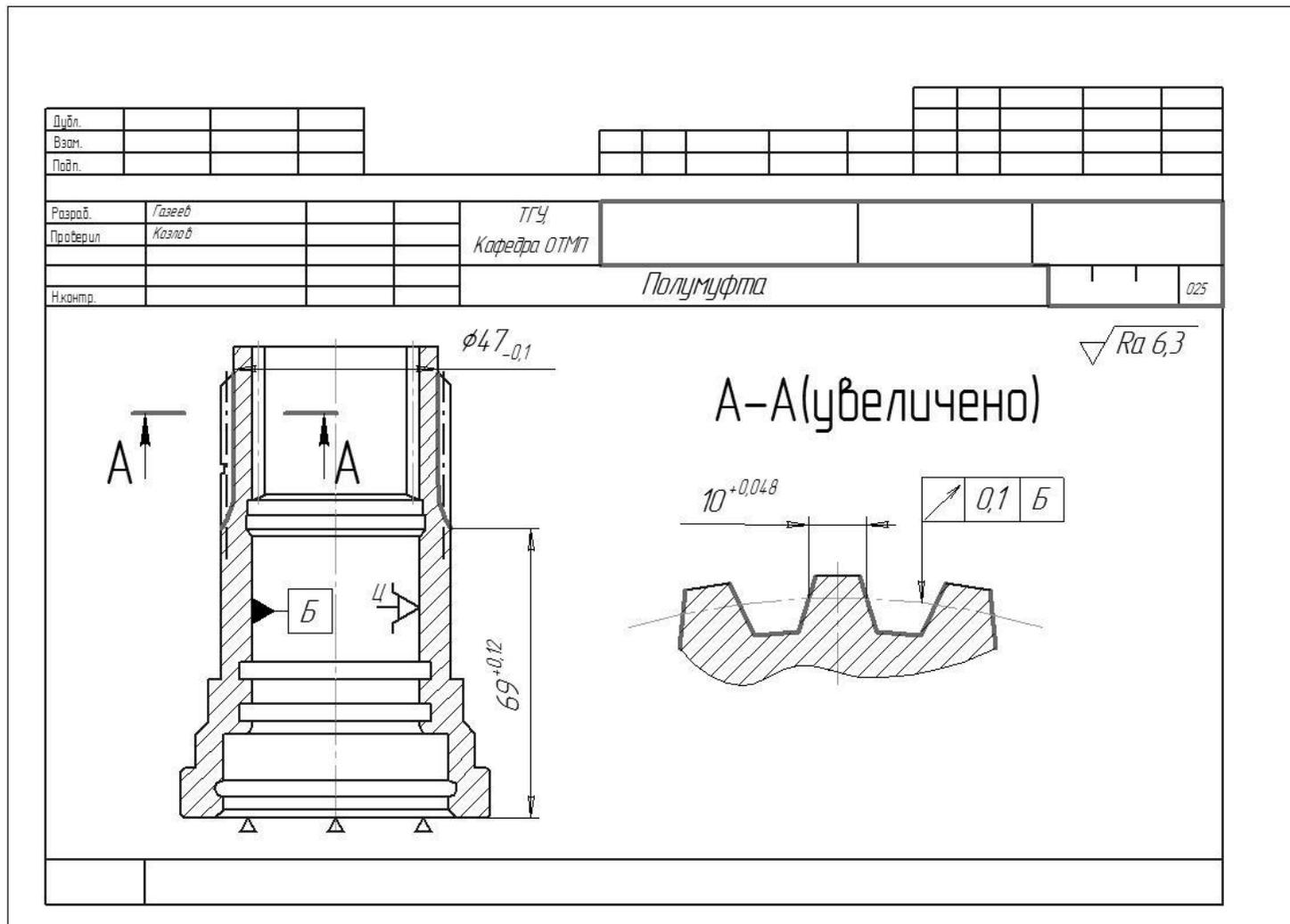
Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1

ГОСТ 3.118-82										Форм 1		
Дубл.												
Взам.												
Подп.												
Разраб.	<i>Газеев</i>			<i>ТГУ</i>								
Проверил	<i>Козлов</i>			<i>Кафедра ОТМП</i>								
Н.контр.				<i>Полумуфта</i>				Цех	Уч.	Р.М.	Опер.	<i>020</i>
Наименование операции		Материал		Твердость	EB	MD	Профиль и размеры		МЗ	КОИД		
<i>Протяжная</i>		<i>Сталь 12ХНЗА ГОСТ 4543-71</i>		<i>НВ 220</i>	<i>166</i>	<i>1,2 кг</i>	<i>φ77,2x114,8</i>		<i>182 кг</i>	<i>1</i>		
Оборудование, устройство ЧПУ		Обозначение программы		Тa	Тb	Тгв	Тшт	Сок				
<i>7A523</i>				<i>0,45</i>			<i>1,37</i>	<i>Blasocut</i>				
			пи	о или в	l	f	i	s	п	v		
<i>01</i>	<i>1. Установить заготовку</i>											
<i>02</i>	<i>396171 Приспособление специальное; 392330 Протяжка шлицевая ГОСТ 25969-83 Р18.</i>											
<i>03</i>	<i>2. Протянуть поверхности 34, 35 выдерживая размеры согласно эскиза.</i>											
<i>04</i>			<i>1</i>				<i>3</i>					<i>3,5</i>
<i>05</i>	<i>3. Открепить, снять деталь с приспособления, уложить на тележку.</i>											
<i>06</i>												
<i>07</i>												
<i>08</i>												
<i>09</i>												
<i>10</i>												

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1



Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1

ГОСТ 3.118-82										Форм 1		
Дубл.												
Взам.												
Подп.												
Разраб.	<i>Газеев</i>			<i>ТГУ</i>								
Проверил	<i>Козлов</i>			<i>Кафедра ОТМП</i>								
Н.контр.				<i>Полумуфта</i>				Цех	Уч.	Р.М.	Опер.	<i>025</i>
Наименование операции		Материал		Твердость	EB	MD	Профиль и размеры		МЗ	КОИД		
<i>Зубофрезерная</i>		<i>Сталь 18ХГТ ГОСТ 4543-71</i>		<i>НВ 220</i>	<i>166</i>	<i>1,2кг</i>	<i>φ77,2x114,8</i>		<i>182кг</i>	<i>1</i>		
Оборудование, устройство ЧПУ		Обозначение программы		Тa	Тb	Тгв	Тшт	СОЖ				
<i>У3120J</i>				<i>0,47</i>			<i>1,39</i>	<i>Blasocut</i>				
		пи	о или в	L	f	i	s	п	v			
<i>01</i>	<i>1. Установить заготовку</i>											
<i>Т.ин</i>	<i>396171 Приспособление специальное; 391810 Фреза червячная φ100 ГОСТ 9324-80 Р9К5.</i>											
<i>02</i>	<i>2. Фрезеровать пов. 6, 7 выдерживая размеры согласно эскиза.</i>											
<i>Р.ин</i>		<i>1</i>				<i>3,5</i>		<i>2,5</i>	<i>250</i>	<i>40</i>		
<i>03</i>	<i>3. Открепить, снять деталь с приспособления, уложить на тележку.</i>											
<i>04</i>												
<i>05</i>												
<i>06</i>												
<i>07</i>												
<i>08</i>												
<i>09</i>												
<i>10</i>												

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1

ГОСТ 3.118-82										Форм 1			
Дубл.													
Взам.													
Подп.													
Разраб.	Газеев			ТГУ									
Проверил	Козлов			Кафедра ОТМП									
Н.контр.				Полумуфта						Цех	Уч.	Р.М.	Опер.
Наименование операции		Материал		Твердость	ЕВ	МД	Профиль и размеры			МЗ	КОИД		
Шлифовальная				НВ 220	166	1,2кг	φ77,2х114,8			182кг	1		
Оборудование, устройство ЧПУ		Обозначение программы		та	тб	тв	тшт	сдж					
JAG-CG2535				137			2,29	Blasocut					
		пн	о или в	l	f	i	s	п	v				
01	1. Установить заготовку												
Т. 02	396171Приспособление специальное; 39810Круг шлифовальный.												
03	2. Шлифовать поверхности 8, 9 выдерживая размеры согласно эскиза.												
Р. 04		1				0,16	0,003	200	35				
05	3. Открепить, снять деталь с приспособления, уложить на тележку.												
06													
07													
08													
09													
10													

Приложение Б

Спецификации к сборочным чертежам

Таблица Б.1 – Спецификации к сборочным чертежам

Формат Зона	Лист	Обозначение	Наименование	Кол.	Приме- чание
<u>Документация</u>					
A1		25.БР.ОТМП.005.65.00.000СБ	Сборочный чертеж		
<u>Детали</u>					
A3	1	25.БР.ОТМП.005.65.00.001	Корпус	1	
A4	2	25.БР.ОТМП.005.65.00.002	Корпус муфты	1	
A4	3	25.БР.ОТМП.005.65.00.003	Корпус привода	1	
A4	4	25.БР.ОТМП.005.65.00.004	Плунжер	1	
A2	5	25.БР.ОТМП.005.65.00.005	Крышка привода	1	
A3	6	25.БР.ОТМП.005.65.00.006	Неподвижный корпус	1	
A3	7	25.БР.ОТМП.005.65.00.007	Поршень	1	
A4	8	25.БР.ОТМП.005.65.00.008	Стопор	1	
A3	9	25.БР.ОТМП.005.65.00.009	Шток	1	
A2	10	25.БР.ОТМП.005.65.00.010	Упор	1	
A3	11	25.БР.ОТМП.005.65.00.011	Шток	1	
<u>Стандартные изделия</u>					
	12		Винт М8х30 ГОСТ 17475-80	6	
	13		Винт М8х20 ГОСТ 17475-80	6	
	14		Гайка М14х1,5 ГОСТ 5927-70	2	
25.БР.ОТМП.005.65.00.000					
Изм. Лист		№ докум.		Дата	
Разработ. Газеев					
Проб. Козлов					
Н.контр. Козлов					
Утв. Логинов					
Оправка клиноплунжерная				Лист	Листов
				1	2
ТГУ, ИМХиЭ, гр. ТМбд-2001ас					
Копировал				Формат А4	

