

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 конической шестерни привода токарного
станка UT-600

Обучающийся	<u>А.В. Беспалов</u> (Инициалы Фамилия)	<u>_____</u> (личная подпись)
Руководитель	<u>канд. техн. наук, доцент А.А. Козлов</u> (ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)	<u>_____</u>
Консультанты	<u>канд. экон. наук, доцент Е.Г. Смышляева</u> (ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)	<u>_____</u>
	<u>канд. геогр. наук В.В. Будко</u> (ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)	<u>_____</u>

Тольятти 2025

Аннотация

Данная выпускная квалификационная работа посвящена решению актуальной задачи по разработке усовершенствованного технологического процесса изготовления конической шестерни привода токарного станка УТ-600. Актуальность исследования обусловлена возрастающими требованиями к компонентам металлообрабатывающего оборудования, а также необходимостью импортозамещения в области станкостроения.

В работе проведен комплексный анализ служебного назначения детали и условий ее эксплуатации, на основе которого были сформулированы технические требования к материалу, параметрам точности и характеристикам готовой продукции. Разработанный технологический процесс адаптирован к условиям среднесерийного производства и предусматривает использование современного оборудования, что обеспечивает высокую производительность и стабильность качества выпускаемой продукции. В работе спроектирована специализированная технологическая оснастка, включающая трехкулачковый патрон с гидравлическим приводом для токарных операций и специализированный режущий инструмент для операций зубонарезания. Конструкция оснастки обеспечивает точное базирование и надежное закрепление заготовки. Особое внимание уделено вопросам обеспечения производственной безопасности и экологичности технологического процесса. «Разработан комплекс организационно-технических мероприятий, направленных на минимизацию профессиональных рисков» [5] и снижение негативного воздействия на окружающую среду. Технико-экономическое обоснование разработанного технологического процесса подтверждает его эффективность и конкурентоспособность.

Работа включает 54 страниц пояснительной записки и графическую часть в количестве 7 листов формата А1.

Содержание

Введение.....	4
1 Определение задач работы на базе анализа исходных данных.....	5
1.1 Анализ функционального назначения детали и условий эксплуатации .	5
1.2 Анализ технологических показателей детали.....	8
1.3 Анализ типа производства	12
1.4 Задачи работы.....	13
2 Разработка технологии изготовления	14
2.1 Обоснование выбора и разработка заготовки	14
2.2 Разработка плана изготовления детали.....	23
2.3 Выбор оборудования и технологической оснастки.....	25
2.4 Проектирование операций технологического процесса	28
3 Разработка технологической оснастки и режущего инструмента	32
3.1 Разработка токарного патрона	32
3.2 Разработка зубострогального резца	38
4 Безопасность и экологичность технического объекта	42
4.1 Конструктивно-технологическая характеристика технического объекта.....	42
4.2 Идентификация профессиональных рисков.....	42
4.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков.....	43
4.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта	43
4.5 Обеспечение экологической безопасности технического объекта.....	44
5 Экономическая эффективность работы	45
Заключение	49
Список используемых источников.....	51
Приложение А Технологическая документация.....	55
Приложение Б Спецификации к сборочным чертежам	65

Введение

«Развитие современного машиностроения характеризуется постоянно растущими требованиями к точности, надежности и долговечности компонентов промышленного оборудования» [5]. Особое место в конструкции различных машин и механизмов занимают зубчатые передачи, которые остаются основным способом передачи и преобразования крутящего момента. Конические шестерни используются в тех случаях, когда необходимо изменить направление потока мощности между пересекающимися осями. Именно такие передачи являются неотъемлемой частью приводов главного движения и подач в металлорежущих станках, от качества и точности которых напрямую зависят производительность и конечные параметры обрабатываемых деталей.

Актуальность темы данной выпускной квалификационной работы обусловлена комплексом факторов, связанных как с особенностями самой детали, так и с потребностями отечественного станкостроения. Коническая шестерня привода токарного станка УТ-600 является важным элементом кинематической цепи. Ее отказ приводит к простоям всего станка и дорогостоящему ремонту. Кроме того, в условиях текущей экономической ситуации, ориентированной на импортозамещение и повышение технологической самостоятельности, разработка эффективных технологических процессов производства ключевых комплектующих для оборудования приобретает стратегическое значение. Таким образом, проектирование и оптимизация технологического процесса изготовления конической шестерни направлено не только на решение конкретной производственной задачи, но и на укрепление технологического потенциала предприятия. Целью работы является разработка технологического процесса изготовления конической шестерни привода токарного станка УТ-600, обеспечивающего требуемое качество детали, ее эксплуатационную надежность и экономическую эффективность производства.

1 Определение задач работы на базе анализа исходных данных

1.1 Анализ функционального назначения детали и условий эксплуатации

«Коническая шестерня привода токарного станка УТ-600 является ключевым элементом кинематической цепи, преобразующим направление потока мощности и обеспечивающим передачу крутящего момента» [17] от привода к исполнительному механизму.

Основная задача данной шестерни заключается в изменении направления вращательного движения. Вал электродвигателя в данном станке имеет ось вращения, не совпадающую с осью шпинделя станка. Для передачи крутящего момента под углом, равным 90 градусам, и применяется коническая зубчатая пара. Без этого механизма потребовались бы сложные и громоздкие конструкции с использованием целого ряда промежуточных валов и передач, что привело бы к снижению коэффициента полезного действия, увеличению габаритов и снижению жесткости привода.

Помимо своей основной функции по изменению направления оси вращения, коническая шестерня является силовым элементом, рассчитанным на работу в условиях значительных переменных нагрузок. В процессе резания, особенно при обработке заготовок большого диаметра или из труднообрабатываемых материалов, на инструмент и на весь привод действуют значительные усилия. Конструкция и материал шестерни должны обеспечивать не только прочность на изгиб и смятие рабочих поверхностей зубьев, но и высокую сопротивляемость ударным нагрузкам, возникающим в момент врезания инструмента или при обработке прерывистых поверхностей.

Еще одной важной функцией является обеспечение плавности и кинематической точности хода. Геометрия зубьев конической шестерни гарантирует постоянное передаточное отношение и минимальный мертвый

ход. Это напрямую влияет на качество обрабатываемой поверхности, предотвращая возникновение вибраций и позволяя получать детали с низкой шероховатостью и высокой геометрической точностью. Любая погрешность в форме или расположении зубьев проявится в виде повышенного шума и биения, передающегося на шпиндель и заготовку.

Таким образом, коническая шестерня привода токарного станка UT-600 является звеном кинематической цепи станка, от которого зависят силовые возможности, точность, виброакустические характеристики и общая надежность станка.

Коническая шестерня привода токарного станка UT-600 функционирует в условиях сложного экстремального нагружения, которое определяет требования к ее материалу, термообработке и точности изготовления.

Основным фактором, воздействующим на шестерню, являются значительные механические нагрузки. Они носят циклический и ударный характер. Циклические нагрузки возникают из-за непрерывного зацепления зубьев, при котором каждый зуб периодически входит в контакт, воспринимает полную нагрузку и выходит из зацепления. Это приводит к возникновению напряжений изгиба у основания зуба и контактных напряжений на его рабочей поверхности. Ударные нагрузки возникают в момент пуска привода, резкого торможения или изменения режимов резания, а также при обработке материалов с неравномерной твердостью или при прерывистом резании. Эти удары создают пиковые нагрузки, многократно превышающие номинальные, и являются наиболее опасными с точки зрения хрупкого разрушения или образования задиров на рабочих поверхностях зубьев.

Важнейшим условием работы является трение и износ. Несмотря на наличие системы смазки, в зоне контакта зубьев присутствует смешанное трение. Микроскопические неровности на поверхностях зубьев взаимодействуют друг с другом, что приводит к абразивному изнашиванию.

Кроме того, в условиях высоких контактных давлений и скоростей скольжения может возникать усталостное выкрашивание рабочей поверхности, которое начинается с микротрещин и постепенно развивается, приводя к потере геометрии зуба.

Температурный режим также относится к ключевым эксплуатационным условиям. В процессе продолжительной работы станка под нагрузкой, температура в зубчатом зацеплении существенно повышается. Это вызвано как внутренним трением в материале при циклическом нагружении, так и трением скольжения между сопряженными профилями зубьев. Повышение температуры приводит к снижению вязкости масла, ухудшению условий смазки и, как следствие, интенсификации износа. Для самой детали нагрев может вызывать отпуск закаленного слоя, то есть снижение его твердости и несущей способности.

Шестерня работает в условиях переменных скоростей и режимов. Токарный станок UT-600 предназначен для выполнения различных операций точения, каждая из которых требует разных частот вращения шпинделя и величин подачи. Следовательно, шестерня функционирует в широком диапазоне скоростей, от сравнительно низких до высоких, что влияет на формирование масляной пленки и динамику нагружения.

Кроме того, на деталь воздействует окружающая производственная среда. В воздухе рабочей зоны могут присутствовать абразивные частицы металлической пыли и стружки, которые, проникая в масло, действуют как абразив, ускоряя износ. Нельзя исключать и риск попадания охлаждающей жидкости (эмульсии) в картер коробки скоростей, что приводит к старению и потере свойств масла, коррозии деталей и резкому ухудшению условий смазки.

Существенное влияние оказывает человеческий фактор. Режимы резания могут не всегда строго соответствовать паспортным данным станка. Перегрузки, связанные с чрезмерной глубиной резания или подачей, создают критические нагрузки на зубчатое зацепление.

Таким образом, коническая шестерня работает в агрессивной среде под воздействием комплекса механических, тепловых и динамических факторов. Ресурс и надежность шестерни напрямую зависят от того, насколько успешно конструкция и технология ее изготовления позволяют противостоять циклическим и ударным нагрузкам, трению износа, повышенной температуре и абразивному воздействию внешней среды.

1.2 Анализ технологических показателей детали

Оценка технологичности конической шестерни – это комплексный анализ, характеризующий насколько конструкция детали оптимальна с точки зрения ее производства. Показатели технологичности делятся на несколько ключевых групп [17].

Конструктивно-технологические показатели оценивают саму конструкцию детали с точки зрения удобства ее изготовления [4].

Коэффициент унификации конструктивных элементов оценивает, насколько широко в детали применяются стандартные и унифицированные элементы. Для рассматриваемой детали данный показатель имеет высокие значения, так как в конструкции используется стандартный модуль зубьев, углы исходного контура, радиусы закруглений, шлицы стандартного размера. Высокий показатель данного коэффициента упрощает подбор инструмента и оснастки.

Коэффициент точности обработки показывает средний качество точности размеров детали. Посадочные отверстия и базы конической шестерни имеют точность 6, 7 качества, а менее ответственные поверхности более грубые. В данном случае наблюдается рациональное распределение качеств, без неоправданного завышения точности, что является признаком технологичности.

Коэффициент шероховатости показывает среднюю шероховатость поверхностей. Аналогично точности, требования к шероховатости должны

быть обоснованы. Высокая чистота в данной детали применена только для рабочих поверхностей зубьев, шлиц и посадочных мест под подшипники, остальные поверхности имеют более грубую обработку, что снижает трудоемкость.

Конструкция шестерни позволяет применять высокопроизводительные методы обработки, так как геометрические формы рациональны. Имеются места свободного выхода для режущего инструмента, фаски для снятия заусенцев после термообработки, отсутствуют труднодоступные места для обработки и контроля.

Производственно-технологические показатели оценивают трудоемкость и экономическую эффективность процесса изготовления.

Коэффициент использования материала определяется как отношение массы готовой детали к массе затраченной заготовки. Для конической шестерни, изготавливаемой из поковки или проката, этот показатель особенно важен. Высокий коэффициент использования материала свидетельствует о рациональном выборе заготовки и методах ее получения таких как, горячая штамповка и ковка. Данный показатель будет определен после проектирования заготовки.

Коэффициент оснащенности процесса показывает, насколько процесс насыщен специальной оснасткой. Высокий коэффициент оснащенности в условиях поточной формы организации производства, как правило, говорит о высокой технологичности, так как применение кондукторов, специального режущего инструмента и калибров повышает производительность и стабильность обработки. В условиях непоточной формы организации производства высокие показатели данного коэффициента говорят о низкой технологичности.

Уровень механизации и автоматизации показывает, насколько деталь пригодна для получения на станках с числовым программным управлением и в автоматических линиях. В данном случае конструкция шестерни, допускает ее надежное базирование и обработку за минимальное число переустановок,

что обеспечивает высокий уровень механизации и автоматизации. Следовательно, конструкция является высокотехнологичной.

Для конической шестерни также следует учесть специальные критерии, связанные с ее основным функциональным назначением и техническими требованиями.

«Основным вопросом в данном случае является количество ответственных поверхностей в конструкции детали» [5]. «Для оценки данного показателя на рисунке 1 приведен эскиз шестерни» [5].

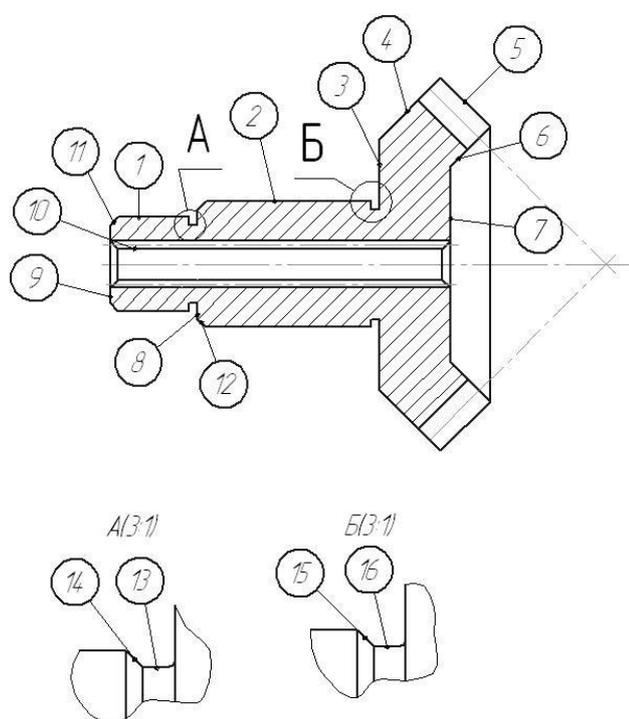


Рисунок 1 – Эскиз шестерни

«Наиболее ответственными поверхностями являются основные конструкторские базы 2, 3, вспомогательные конструкторские базы 1, 8, 9 и исполнительные поверхности 5, 10» [5]. Требуемая точность рассматриваемых поверхностей предполагает использование точных методов обработки, но на практике достигается стандартными операциями чистовой обработки. Учитывая ограниченное количество данных поверхностей в конструкции детали, их вклад в усложнение технологического процесса и

снижение технологичности является незначительным.

Технологичность термической обработки оценивает склонность конструкции к деформациям и образованию трещин при закалке. Наличие резких перепадов сечений, острых углов является негативным фактором. Технологичной считается конструкция, позволяющая применять методы упрочнения, выполнение которых не требует создания специальных условий, что в данном случае возможно.

Конструкция шестерни обеспечивает беспрепятственный доступ измерительного инструмента ко всем контролируемым параметрам: диаметрам, торцам, шлицам и к зубьям. Отсутствие конструктивных элементов, мешающих установке детали на зубомерный прибор, повышает технологичность.

Технологичность получения заготовки оценивается исходя из того, насколько форма и материал шестерни подходят для выбранного способа получения заготовки. В данном случае «шестерня изготавливается из конструкционной легированной стали 40Х ГОСТ 4543-71» [19], который позволяет получать заготовку такими методами как поковка, штамповка и прокат. Такой широкий выбор методов получения заготовки обеспечит минимизацию припусков на механическую обработку и упрощение конфигурации заготовки. Это является показателем технологичности конструкции.

Таким образом, технологичная коническая шестерня привода токарного станка УТ-600 имеет рациональную форму с минимальным количеством нестандартных элементов, обладает обоснованно назначенными допусками и шероховатостями. Изготавливается из заготовки с высоким коэффициентом использования материала, что позволяет построить высокопроизводительный маршрут обработки с широким использованием станков с числовым программным управлением. Материал детали минимально деформируется при термообработке. Конструкция детали легко поддается последующему контролю.

1.3 Анализ типа производства

Тип производства представляет собой комплексную характеристику организационно-технологического уровня предприятия, определяемую составом и «объемом выпускаемой продукции, а также постоянством и повторяемостью номенклатуры» [9]. «Классификация типа производства является важным показателем для проектирования эффективного технологического процесса, организации труда и планирования производственных мощностей» [9]. «В машиностроении традиционно выделяют три основных типа производства: единичное, серийное и массовое» [9].

Проанализировав программу выпуска, составляющую 7000 штук и конструктивные особенности конической шестерни, с учетом ее массы 1,2 кг [9], можно сделать вывод, что ее изготовление целесообразно организовать в условиях среднесерийного производства.

Для среднесерийного типа производства характерна устойчивая повторяемость выпуска продукции ограниченной номенклатуры, что обуславливает специфическую организацию технологических процессов.

Данный тип производства обеспечивает баланс между гибкостью единичного и высокой эффективностью массового производства, сочетая их ключевые особенности.

Технологическая подготовка носит детализированный и стабильный характер, при этом сохраняется возможность периодической переналадки оборудования для смены выпускаемой продукции партиями.

Широко применяются универсально-сборные и специализированные приспособления, а также станки с числовым программным управлением, что позволяет достигать высокой производительности при сохранении определенной гибкости.

Структура производства чаще всего строится по предметно-замкнутому принципу, где цехи и участки специализируются на выпуске определенных

групп изделий.

Квалификация персонала, занятого в основном на обслуживании и переналадке оборудования, остается высокой, в то время как операторы могут иметь более узкую специализацию по сравнению с единичным производством.

Таким образом, среднесерийное производство представляет собой сбалансированную систему, ориентированную на выпуск значительных объемов продукции при сохранении способности к периодическому обновлению номенклатуры.

1.4 Задачи работы

Исходя из проведенного анализа и цели, в ходе выполнения работы предстоит решить ряд взаимосвязанных задач. На основе анализа служебного назначения детали и условий ее работы требуется выбрать и обосновать тип заготовки и метод ее получения. При этом необходимо учитывать критерии минимизации отходов и трудоемкости последующей механической обработки. Разработать подробный маршрутный технологический процесс изготовления детали, включающий подготовительные, токарные, зубонарезные, термические и отделочные операции, с обоснованием последовательности их выполнения. «Особое внимание следует уделить выбору режимов резания и оборудования для формирования зубчатого венца» [5]. «Важным вопросом работы является проектирование средств технологического оснащения, в частности, режущего инструмента и приспособлений» [5], обеспечивающих точную установку и базирование детали на различных операциях. Завершающими станут задачи, связанные с обеспечением экологической безопасности и экономической эффективности работы. Выполнение данного раздела позволило сформировать комплекс взаимосвязанных и логически последовательных задач выпускной квалификационной работы.

2 Разработка технологии изготовления

2.1 Обоснование выбора и разработка заготовки

«Выбор рационального метода получения заготовки является во многом определяющим этапом» [2] в проектировании технологического процесса, поскольку он в значительной степени определяет трудоемкость последующей механической обработки, расход материала и, в конечном счете, себестоимость готового изделия. Данный выбор осуществляется на основе комплексного анализа ряда взаимосвязанных технико-экономических факторов.

Основным фактором является анализ конструктивных особенностей детали и условий ее эксплуатации. Для рассматриваемой детали, испытывающей значительные циклические и ударные нагрузки, ключевое значение имеют требования к механическим свойствам материала и однородности его структуры. Это обуславливает выбор методов получения заготовки, которые формируют структуру металла, обеспечивающую высокую прочность и усталостную выносливость. В данном случае это объемная штамповка.

Далее необходимо учесть годовой объем производства. В условиях среднесерийного типа производства экономическая целесообразность смещается в сторону методов с более высокой первоначальной стоимостью оснастки, но меньшей трудоемкостью и расходом материала на одну деталь. Это делает оправданным применение методов штамповки, которые при значительных партиях выпуска позволяют компенсировать высокие затраты на инструмент за счет резкого снижения механической обработки.

Следующим фактором является технологичность формы и материала заготовки. Оценивается возможность получения формы, максимально приближенной к конфигурации готовой детали, что минимизирует объем механической обработки. Одновременно рассматривается способность

материала детали воспринимать методы формообразования пластической деформацией, литьем или резкой.

Ключевым показателем выступает технико-экономический расчет, в результате которого производится сравнительная оценка различных вариантов получения заготовки по ключевым критериям: коэффициенту использования материала, «удельной трудоемкости механической обработки и суммарной себестоимости» [14]. «Метод, обеспечивающий оптимальное соотношение этих показателей для заданного объема производства, признается наиболее рациональным» [14].

Таким образом, выбор метода получения заготовки представляет собой системное решение, базирующееся на всестороннем учете служебного назначения детали, масштабов производства, технологических возможностей и экономической эффективности, рассчитываемой по данным [14].

«Стоимость заготовки рассчитывается по формуле:

$$S_{\text{ЗАГ}} = (C_i \cdot Q \cdot k_T \cdot k_C \cdot k_B \cdot k_M \cdot k_{\Pi}) - S_{\text{ОТХ}} \cdot (Q - q), \quad (1)$$

где C_i – базовая стоимость получения заготовок, руб.;

Q – масса заготовки, кг;

k_T – коэффициент точности;

k_C – коэффициент сложности;

k_B – коэффициент марки материала;

k_M – коэффициент массы заготовки;

k_{Π} – коэффициент объема производства;

$S_{\text{ОТХ}}$ – стоимость отходов механической обработки в виде стружки, руб.;

q – масса детали, кг» [14].

«Масса заготовки:

$$Q = q \cdot K_P, \quad (2)$$

где K_p – коэффициент метода получения заготовки» [14].

«Масса штампованной заготовки равна.

$$Q = 1,5 \cdot 1,2 = 1,8 \text{ кг.}» [14]$$

«Масса литой заготовки равна.

$$Q = 1,67 \cdot 1,2 = 2,0 \text{ кг.}» [14]$$

Все исходные данные для расчета по формуле (1), включая значения коэффициентов, базовую стоимость заготовок и стоимость стружки, определяются по источнику [14].

«Стоимость штампованной заготовки равна.

$$S_{\text{ЗАГ}} = (56,11 \cdot 1,8 \cdot 1,0 \cdot 0,84 \cdot 1,14 \cdot 1,0 \cdot 0,8) - 1,82 \cdot (1,8 - 1,2) = \\ = 76,28 \text{ р.}» [14]$$

«Стоимость литой заготовки равна.

$$S_{\text{ЗАГ}} = (70,3 \cdot 2,0 \cdot 1,0 \cdot 0,84 \cdot 1,14 \cdot 1,0 \cdot 0,8) - 1,82 \cdot (2,0 - 1,2) = \\ = 95,85 \text{ р.}» [14]$$

На основании проведенного сравнительного анализа было установлено, что изготовление заготовки методом штамповки обладает лучшей экономической эффективностью. Выбор в пользу технологии получения поковки на горизонтально-ковочной машине, был окончательно определен после анализа специализированной литературы [2] и комплексного учета таких факторов, как марка стали, геометрическая форма поверхностей детали и типа производства.

В соответствии с принятой методикой алгоритм проектирования заготовки реализуется в следующей последовательности. Первоначально разрабатываются технологические маршруты обработки для каждой из поверхностей детали. «На следующем этапе устанавливаются значения припусков на механическую обработку указанных поверхностей, после чего определяются основные характеристики проектируемой заготовки, включая технологические напуски и допуски на размеры» [5].

«Разработка маршрутов обработки поверхностей осуществляется в

соответствии с методикой, изложенной в источнике» [12]. Результаты проведенных расчетов систематизированы в таблице 1.

Таблица 1 – Маршруты обработки поверхностей

Номера поверхностей	Точность обработки	Шероховатость, мкм	Маршрут обработки
1, 2	6	1,25	точение черновое и чистовое, закалка, шлифование черновое и чистовое
10	8	3,2	сверление, протягивание, закалка
13, 14, 15, 16	14	12,5	расточивание, закалка
11, 12, 4	14	12,5	точение, закалка
8,9,3	8	3,2	точение черновое и чистовое, закалка, шлифование
7	14	3,2	точение, закалка
6	14	3,2	точение, закалка
5	6	1,25	точение черновое и чистовое, закалка, шлифование черновое и чистовое

Выбор методики определения припусков на механическую обработку является важным этапом технологического проектирования, непосредственно влияющим на экономическую эффективность и качество процесса обработки. Обоснованный выбор осуществляется через последовательный анализ следующих факторов.

В первую очередь необходимо охарактеризовать тип производства. Для единичного производства характерно применение укрупненных нормативов, в то время как для серийного и массового требуются более точные, экономически оптимизированные методы. Далее следует оценить технологические возможности предприятия, в частности, наличие и состояние оборудования, которое определяет потенциальную точность выполняемых операций и, как следствие, минимально достижимые припуски.

Кроме этого важны характеристики материала заготовки, включая его обрабатываемость и склонность к деформациям. Сложность конфигурации и точность исходной заготовки также диктуют выбор методики. Для ответственных поверхностей, подвергающихся последующей

термообработке, необходимо применять методы, учитывающие возможные коробления и обезуглероживание слоя.

На практике применяется несколько основных подходов.

Расчетно-аналитический метод предполагает определение припусков для каждой технологической операции на основе анализа факторов, влияющих на качество поверхности [8]. Этот метод отличается высокой точностью, но требует значительных временных затрат и глубоких знаний в области технологии машиностроения. Его применение наиболее оправдано в серийном и массовом производстве для критически важных деталей.

Справочно-табличный метод основывается на использовании нормативных данных, систематизированных в отраслевых и заводских справочниках [13]. Метод характеризуется высокой скоростью принятия решений, однако может не в полной мере учитывать специфику конкретного производства. Он широко применяется в единичном и мелкосерийном производстве, а также на этапе технико-экономического обоснования.

Опытно-статистический метод базируется на обобщении ранее полученных практических данных на аналогичных производствах. Его надежность напрямую зависит от накопленного опыта [21].

Окончательный выбор методики требует проведения технико-экономического обоснования. Следует сопоставить точность и трудоемкость различных методов с масштабами производства. Для крупных серий даже незначительная оптимизация припуска дает существенную экономию материала и снижение трудоемкости, что оправдывает применение более сложных операционно-расчетных методов.

Таким образом, выбор методики представляет собой компромисс между требуемой точностью, доступными ресурсами и экономической эффективностью. Для среднесерийного производства конической шестерни рациональным является комбинированный подход. Использование справочно-табличного метода для предварительной оценки с последующей корректировкой расчетно-аналитическим методом для наиболее

ответственных поверхностей. Проведем такой расчет на примере поверхности 2.

«Определение минимального припуска:

$$z_{imin} = a_{i-1} + \sqrt{\Delta_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}, \quad (3)$$

где a – величина дефектного слоя, мм;

Δ – величина суммарных пространственных отклонений, мм;

ε – величина погрешности установки заготовки, мм;

i – индекс текущего перехода;

$i - 1$ – индекс предыдущего перехода» [8].

«Величина дефектного слоя:

$$a = Rz + h, \quad (4)$$

где Rz – среднеарифметическая величина микронеровностей профиля поверхностного слоя, мм;

h – глубина дефектного слоя образовавшегося от предыдущей обработки, мм» [8].

«Величина суммарных пространственных отклонений:

$$\Delta = 0,25 \cdot Td, \quad (5)$$

где Td – поле допуска выполняемого размера, мм» [8].

«Определение максимального припуска:

$$z_{i \max} = z_{i \min} + 0,5 \cdot (Td_{i-1} + Td_i), \quad (6)$$

где Td_i – поле допуска выполняемого размера, мм;

Td_{i-1} – поле допуска выполняемого размера на предыдущем

переходе, мм» [8].

«Определение среднего припуска:

$$z_{cpi} = 0,5 \cdot (z_{i \max} + z_{i \min}). \quad (7)$$

Проводим расчеты минимального, максимального и среднего припуска для каждого перехода» [8].

$$z_{1 \min} = a_0 + \sqrt{\Delta_0^2 + \varepsilon_1^2} = 0,400 + \sqrt{0,400^2 + 0,025^2} = 0,801 \text{ мм.}$$

$$z_{2 \min} = a_1 + \sqrt{\Delta_1^2 + \varepsilon_2^2} = 0,200 + \sqrt{0,063^2 + 0,025^2} = 0,268 \text{ мм.}$$

$$z_{3 \min} = a_{T0} + \sqrt{\Delta_{T0}^2 + \varepsilon_3^2} = 0,025 + \sqrt{0,040^2 + 0,012^2} = 0,292 \text{ мм.}$$

$$z_{4 \min} = a_3 + \sqrt{\Delta_3^2 + \varepsilon_4^2} = 0,050 + \sqrt{0,010^2 + 0,012^2} = 0,066 \text{ мм.}$$

$$z_{1 \max} = z_{1 \min} + 0,5 \cdot (Td_0 + Td_1) = 0,801 + 0,5 \cdot (1,6 + 0,25) = 1,714 \text{ мм.}$$

$$z_{2 \max} = z_{2 \min} + 0,5 \cdot (Td_1 + Td_2) = 0,268 + 0,5 \cdot (0,25 + 0,10) = 0,443 \text{ мм.}$$

$$z_{3 \max} = z_{3 \min} + 0,5 \cdot (Td_{T0} + Td_3) = 0,292 + 0,5 \cdot (0,16 + 0,10) = 0,422 \text{ мм.}$$

$$z_{4 \max} = z_{4 \min} + 0,5 \cdot (Td_3 + Td_4) = 0,066 + 0,5 \cdot (0,039 + 0,016) = 0,094 \text{ мм.}$$

$$z_{cp1} = 0,5 \cdot (z_{1 \max} + z_{1 \min}) = 0,5 \cdot (1,714 + 0,801) = 1,258 \text{ мм.}$$

$$z_{cp2} = 0,5 \cdot (z_{2 \max} + z_{2 \min}) = 0,5 \cdot (0,443 + 0,268) = 0,356 \text{ мм.}$$

$$z_{cp3} = 0,5 \cdot (z_{3 \max} + z_{3 \min}) = 0,5 \cdot (0,422 + 0,292) = 0,357 \text{ мм.}$$

$$z_{cp4} = 0,5 \cdot (z_{4 \max} + z_{4 \min}) = 0,5 \cdot (0,094 + 0,066) = 0,080 \text{ мм} \gg [8].$$

«Минимальный диаметр определяется по формуле:

$$d_{(i-1) \min} = d_{i \min} + 2 \cdot z_{i \min}. \quad (8) \gg [8]$$

«Для перехода предшествующего термическому переходу

минимальный диаметр определяется по формуле:

$$d_{(i-1)min} = d_{(i-1)min} \cdot 0,999. \quad (9) \gg [8]$$

«Максимальный диаметр:

$$d_{(i-1)max} = d_{(i-1)min} + Td_{i-1}. \quad (10) \gg [8]$$

«Средний диаметр:

$$d_{i\text{ ср}} = 0,5 \cdot (d_{i\text{ max}} + d_{i\text{ min}}). \quad (11) \gg [8]$$

«Выполняем расчеты.

$$d_{4min} = 32,002 \text{ мм.}$$

$$d_{4max} = 32,018 \text{ мм.}$$

$$d_{4\text{ ср}} = 0,5 \cdot (d_{4max} + d_{4min}) = 0,5 \cdot (32,018 + 32,002) = 32,100 \text{ мм.}$$

$$d_{3min} = d_{4min} + 2 \cdot z_{4min} = 32,002 + 2 \cdot 0,066 = 32,150 \text{ мм.}$$

$$d_{3max} = d_{3min} + Td_3 = 32,150 + 0,039 = 32,189 \text{ мм.}$$

$$d_{3\text{ ср}} = 0,5 \cdot (d_{3max} + d_{3min}) = 0,5 \cdot (32,189 + 32,150) = 32,170 \text{ мм.}$$

$$d_{\text{то} min} = d_{3min} + 2 \cdot z_{3min} = 32,189 + 2 \cdot 0,292 = 33,229 \text{ мм.}$$

$$d_{\text{то} max} = d_{\text{то} min} + Td_{\text{то}} = 33,229 + 0,160 = 33,389 \text{ мм.}$$

$$d_{\text{то} \text{ ср}} = 0,5 \cdot (d_{\text{то} max} + d_{\text{то} min}) = 0,5 \cdot (33,389 + 33,229) = \\ = 33,309 \text{ мм.}$$

$$d_{2min} = d_{\text{то} min} \cdot 0,999 = 33,229 \cdot 0,999 = 33,188 \text{ мм.}$$

$$d_{2max} = d_{2min} + Td_2 = 33,188 + 0,100 = 33,288 \text{ мм.}$$

$$d_{2\text{ ср}} = 0,5 \cdot (d_{2max} + d_{2min}) = 0,5 \cdot (33,288 + 33,188) = 33,238 \text{ мм.}$$

$$d_{1min} = d_{2min} + 2 \cdot z_{2min} = 33,288 + 2 \cdot 0,268 = 33,824 \text{ мм.}$$

$$d_{1max} = d_{1min} + Td_1 = 33,824 + 0,250 = 34,074 \text{ мм.}$$

$$d_{1\text{ ср}} = 0,5 \cdot (d_{1max} + d_{1min}) = 0,5 \cdot (33,074 + 34,824) = 33,949 \text{ мм.}$$

$$d_{0min} = d_{1min} + 2 \cdot z_{1min} = 33,074 + 2 \cdot 0,801 = 34,676 \text{ мм.}$$

$$d_{0max} = d_{0min} + Td_0 = 34,676 + 1,600 = 36,276 \text{ мм.}$$

$$d_{0cp} = 0,5(d_{0max} + d_{0min}) = 0,5(36,276 + 34,676) = 35,476 \text{ мм} \gg [8].$$

«Общий минимальный припуск:

$$2z_{min} = d_{0min} - d_{4max}. \quad (12) \gg [8]$$

$$2z_{min} = 34,676 - 32,018 = 3,658 \text{ мм.}$$

«Общий максимальный припуск:

$$2z_{max} = 2z_{min} + Td_0 + Td_4. \quad (13) \gg [8]$$

$$2z_{max} = 3,658 + 1,600 + 0,016 = 5,274 \text{ мм.}$$

«Общий средний припуск:

$$2z_{cp} = 0,5 \cdot (2z_{min} + 2z_{max}). \quad (14) \gg [8]$$

$$2z_{cp} = 0,5 \cdot (3,658 + 5,724) = 4,466 \text{ мм.}$$

«Для установления значений припусков на обработку остальных поверхностей использовался справочно-табличный метод, в соответствии с источником» [13]. Последующий расчет параметров заготовки базировался на полученных значениях припусков. Итоговые результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Припуски и номинальные размеры заготовки

Номинальный размер, мм	Суммарный припуск на обработку, мм	Расчетный размер заготовки, мм
24	0,9	25,8
32	0,9	33,8
99,2	0,9	101
22	0,9	22,9
46	0,9	46,9
28	0,9	28,9

«Параметры заготовки: смещение по поверхности разъёма штампов 0,2 мм, изогнутость и отклонения от плоскостности и прямолинейности 0,4 мм, минимальная величина радиусов скруглений 2,5 мм, величина остаточного облоя 0,7 мм, отклонения от соосности 0,01 мм» [14].

2.2 Разработка плана изготовления детали

Разработка маршрута изготовления детали в условиях среднесерийного производства требует системного подхода, отражающего особенности экономической эффективности массового выпуска и гибкости единичного производства.

Первоначально осуществляется анализ конструкторской документации на деталь, в ходе которого устанавливаются: материал, термическая и термохимическая обработка, определяющие последовательность операций; качества точности и параметры шероховатости поверхностей, что задает требования к финишным операциям; конфигурация и габаритные размеры, влияющие на выбор оборудования и схем базирования.

Методология проектирования технологического процесса для среднесерийного выпуска предполагает разработку маршрутов изготовления, в основу которых положены типовые технологические решения, регламентированные в научно-технической литературе [15], [17]. Маршрут обработки поверхностей шестерни приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Маршрут обработки поверхностей

Номер поверхности	Точность	Шероховатость, мкм	Маршрут обработки
1	6	1,25	точение черновое, точение чистовое, закалка, шлифование черновое, шлифование чистовое
2	6	1,25	точение черновое, точение чистовое, закалка, шлифование черновое, шлифование чистовое
3	8	3,2	точение черновое, точение чистовое, закалка, шлифование черновое

Продолжение таблицы 3

Номер поверхности	Точность	Шероховатость, мкм	Маршрут обработки
4	14	12,5	точение черновое, закалка
5	8	2,5	зубонарезание черновое, зубонарезание чистовое, закалка
6	14	12,5	точение черновое, закалка
7	14	12,5	точение черновое, закалка
8	8	3,2	точение черновое, точение чистовое, закалка, шлифование черновое
9	8	3,2	точение черновое, точение чистовое, закалка, шлифование черновое
10	8	2,5	сверление, протягивание, закалка
11	14	12,5	точение черновое, закалка
12	14	12,5	точение черновое, закалка
13	14	12,5	точение черновое, закалка
14	14	12,5	точение черновое, закалка
15	14	12,5	точение черновое, закалка
16	14	12,5	точение черновое, закалка

Сформированный маршрут обработки детали является основой для создания плана ее изготовления, в котором технологические переходы с «однородными требованиями к точности и шероховатости объединяются в одну операцию» [12]. «Технологическая документация для каждой операции включает эскиз с указанием обрабатываемых поверхностей, схемы базирования и операционных размеров» [12]. «Допуски на эти размеры, а также на форму и расположение поверхностей, назначаются на основании методических и справочных материалов» [12].

Выбор технологических баз является одним из наиболее ответственных этапов проектирования технологического процесса, так как он определяет точность взаимного расположения обрабатываемых поверхностей, производительность обработки и себестоимость изготовления детали.

Первоначально необходимо идентифицировать конструкторские базы, то есть поверхности, от которых заданы размеры и допуски на чертеже, определяющие положение детали в сборочной единице. Идеальным случаем является совмещение технологических и конструкторских баз, что позволяет

минимизировать погрешность установки.

Для обеспечения высокой точности обработки на всех этапах технологического процесса следует стремиться к использованию одних и тех же поверхностей в качестве технологических баз. Если это невозможно, необходимо применять принцип единства баз, при котором для обработки взаимосвязанных поверхностей используется одна и та же базовая система.

Черновая технологическая база выбирается наименее точная, но обеспечивающая достаточную надежность и устойчивость заготовки при первом закреплении. Часто это необработанные поверхности, которые позволяют снять первый равномерный припуск. Чистовая технологическая база используется для последующих переходов. Эти базы должны обладать высокой точностью формы и расположения.

Вся информация, касающаяся выбранных технологических баз на плане изготовления, документируется согласно установленным правилам [5]. Технологический маршрут подлежит оформлению в виде маршрутной карты, которая представлена в приложении А.

2.3 Выбор оборудования и технологической оснастки

Выбор технологического оборудования, режущего инструмента и оснастки представляет собой комплексную задачу, требующую системного подхода и учета взаимосвязанных технико-экономических показателей. Процесс выбора основан на принципе технологической иерархии, то есть каждый последующий выбор логически вытекает из предыдущего.

Выбор металлорежущего станка определяется анализом технологических возможностей оборудования исходя из разработанного маршрута обработки. Ключевыми критериями служат габаритные размеры и масса заготовки, точность и класс шероховатости обрабатываемых поверхностей, а также производительность, необходимая для обеспечения заданной программы выпуска. В условиях среднесерийного производства

предпочтение отдается универсальным станкам с числовым программным управлением, способным выполнять комплекс операций при минимальных переустановках заготовки, что сокращает время обработки и накопленные погрешности [3], [10].

С учетом принятых станков осуществляется подбор режущего инструмента. Его выбор определяется комплексом факторов, включающим физико-механические свойства обрабатываемого материала, характер операций (черновая, чистовая), требуемые режимы резания и геометрические параметры создаваемых поверхностей. Конструкция и материал инструмента должны гарантировать его стойкость и производительность, согласованные с экономической целесообразностью его применения. Для ответственных операций и серийного выпуска предпочтение отдается стандартному и специализированному инструменту из твердых сплавов и быстрорежущей стали, обеспечивающему стабильность качества в течение всего периода стойкости [13], [20].

Завершающим этапом является проектирование и выбор технологической оснастки, главным образом приспособлений для закрепления и базирования. Конструкция оснастки зависит от выбранных схем базирования, характеристик станка и режущего инструмента. Она должна обеспечивать надежное и точное позиционирование заготовки, минимальное время на ее установку и съем, а также безопасность работы. В среднесерийном производстве находит применение компромиссный подход, сочетающий использование универсально-сборочных приспособлений для гибкости и специализированной оснастки для критически важных операций, где требуется высокая точность и повторяемость [7], [11].

Таким образом, весь процесс выбора представляет собой не последовательность независимых решений, а итеративную оптимизацию единой технологической системы «станок – инструмент – оснастка», где каждый элемент взаимно обуславливает другие, а конечным критерием оптимальности служит достижение требуемого качества детали при

минимальной себестоимости ее изготовления.

Результаты выбора оборудования и технологической оснастки представим в виде таблицы 4.

Таблица 4 – Результаты выбора оборудования и технологической оснастки

Операции	Оборудование	Оснастка	Инструменты	Контрольные средства
005	SAMAT 400XC	трехкулачковый патрон	резец проходной ГОСТ 18868-73, резец подрезной ГОСТ 26611-85	штангенциркуль ШЦ–Ш ГОСТ 166-80
010	SAMAT 400XC	трехкулачковый патрон	резец проходной отогнутый правый ГОСТ 18868-73	глубиномер ГОСТ 166-80
015	Knuth KSB40	тиски	сверло спиральное ГОСТ 10902-77	штангенциркуль ШЦ–Ш ГОСТ 166-80
020	SAMAT 400XC	трехкулачковый патрон	резец проходной ГОСТ 8868-73	штангенциркуль ШЦ–Ш ГОСТ 166-80
025	SAMAT 400XC	трехкулачковый патрон	резец расточной ГОСТ 18879-73	штангенциркуль ШЦ–Ш ГОСТ 166-80
030	7Б64	опора шаровая	протяжка ГОСТ 25161-82	калибры
035	5С276ПФ3	специальное приспособление	резец зубострогальный	прибор ШМ-1
040	5С276ПФ3	специальное приспособление	резец зубострогальный	прибор ШМ-1
045	печь			
050	RSM 750	специальное зажимное приспособление	шлифовальный круг плоский	микрометр МК–50 ГОСТ 6507–90
055	RSM 750	специальное зажимное приспособление	шлифовальный круг плоский	микрометр МК–50 ГОСТ 6507–90
060	RIG 150	специальное зажимное приспособление	шлифовальный круг плоский	микрометр МК–50 ГОСТ 6507–90
065	RSM 750	специальное зажимное приспособление	шлифовальный круг плоский	микрометр МК–50 ГОСТ 6507–90
070	RSM 750	специальное зажимное приспособление	шлифовальный круг плоский	микрометр МК–50 ГОСТ 6507–90

Продолжение таблицы 4

Операции	Оборудование	Оснастка	Инструменты	Контрольные средства
075	моечная машина	–	–	–
080	контрольный стол	–	–	–

Полученные результаты являются основой для совершенствования технологического маршрута обработки детали. Все принятые решения фиксируются в установленной технологической документации – маршрутной и операционных картах (приложение А «Технологическая документация»). «Использование данных о выбранном оборудовании, оснастке и режущем инструменте на последующих стадиях проектирования обеспечивает целостность технологического процесса» [5]. Выявление неспособности любого компонента технологической системы обеспечить требуемые параметры качества или режимы обработки является основанием для их замены или модернизации.

2.4 Проектирование операций технологического процесса

Определение режимов резания и нормирование технологических операций основаны на системном подходе к оптимизации производственных затрат и обеспечению требуемого качества обработки.

Определение режимов резания осуществляется путем решения многофакторной задачи, в ходе решения которой необходимо найти баланс между максимальной производительностью, минимальной себестоимостью и гарантированным качеством поверхности. Исходными данными служат физико-механические свойства обрабатываемого материала, геометрия и материал режущей части инструмента, а также мощность и жесткость станка. Расчет ведется от глубины резания, которая определяется припуском, к подаче и скорости резания, при этом значения устанавливаются с учетом

стойкости инструмента и допустимых сил резания. Для условий среднесерийного типа производства обязательным является использование, как аналитических расчетных методов [13], так и справочных нормативов [17], с последующей экспериментальной или производственной апробацией.

Нормирование технологических операций заключается в установлении научно обоснованных временных затрат на выполнение каждого элемента операции [17]. Норма штучного времени складывается из основного времени, рассчитанного непосредственно по режимам резания, вспомогательного времени на установку и снятие заготовки, управление станком и контрольные замеры, а также времени на обслуживание рабочего места и регламентированные перерывы. В условиях среднесерийного производства особое внимание уделяется сокращению вспомогательного времени за счет применения высокопроизводительной оснастки и частичной автоматизации. Полученные нормы времени являются не только основой для планирования загрузки оборудования и расчета себестоимости, но и ключевым показателем для оценки экономической эффективности разработанного технологического процесса.

«Скорость резания определяется по формуле:

$$V = V_T \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (15)$$

где V_T – нормативная скорость резания, м/мин;

K_1 – коэффициент, зависящий от характеристик обрабатываемого материала;

K_2 – коэффициент, зависящий от характеристик инструментального материала;

K_3 – коэффициент, зависящий от вида обработки» [17].

«Далее определяется частота вращения шпинделя по формуле:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d}, \quad (16)$$

где d – диаметр обрабатываемой поверхности или режущего инструмента, мм» [17].

«Нормирование начинается с определения длины рабочего хода инструмента по формуле:

$$L_{\text{р.х.}} = l_1 + l_{\text{рез}} + l_2, \quad (17)$$

где l_1 – длина врезания, мм.;

$l_{\text{рез}}$ – длина резания, мм.;

l_2 – длина перебега, мм» [17].

«Затем, определяется основное время на обработку по формуле:

$$T_0 = \frac{L_{\text{р.х.}}}{S \cdot n}, \quad (18)$$

где S – подача, мм/об» [17].

Полученные результаты приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Проектирование технологических операций

Операция	Номер перехода	Глубина резания, мм	Скорость резания, м/мин	Подача, мм/об	Частота вращения, об/мин	Основное время, мин
005	1	2	94,2	0,5	1250	0,022
	2	3	98,1	0,5	315	0,57
	3	1,5	98,1	0,5	315	0,57
010	1	3	98,1	0,5	315	0,337
	2	3	98,1	0,5	315	0,337
	3	0,5	124,6	0,5	400	0,175
	4	3	98,9	0,5	630	0,048
015	1	8	31,7	0,23	630	0,64
	2	1	12,6	0,7	200	0,07
020	1	0,2	160,8	0,42	800	0,268
025	1	2	99,04	0,42	400	0,119
030	1	5	4,5	0,1	-	0,44

Продолжение таблицы 5

Операция	Номер перехода	Глубина резания, мм	Скорость резания, м/мин	Подача, мм/об	Частота вращения, об/мин	Основное время, мин
035	1	3	2,6	0,4	-	8
040	1	1	4,95	0,4	-	4
050	1	0,025	20	12,5	310	0,015
055	1	0,025	25	25	310	0,015
060	1	0,015	30	0,005	400	0,012
065	1	0,01	20	5	310	0,003
070	1	0,01	20	10	200	0,005

Рассчитанные режимы резания служат основой для нормирования. Анализ норм времени может выявить необходимость корректировки режимов в целях повышения общей производительности технологической системы.

«Результаты, полученные в ходе определения режимов резания и нормирования операций, фиксируются в маршрутной и операционных картах (приложение А «Технологическая документация»). Также выполняется проектирование технологических наладок, отраженное в графической части работы» [5].

«В рамках данного раздела была решена комплексная задача разработки технологии изготовления детали, включающая проектирование заготовки, формирование плана ее изготовления, выбор технологического оборудования и оснастки, а также проектирование операций. Таким образом, поставленная задача по созданию технологического процесса на базе типового может считаться достигнутой» [5].

3 Разработка технологической оснастки и режущего инструмента

3.1 Разработка токарного патрона

Необходимости проектирования трехкулачкового токарного патрона требует системного анализа технологических, экономических и конструктивных факторов.

Для деталей типа «тела вращения», к которым относится рассматриваемая шестерня трехкулачковый самоцентрирующийся патрон гарантирует строгую соосность обрабатываемых поверхностей, минимизируя радиальное биение. Это критически важно для соблюдения допусков формы и расположения поверхностей таких как соосность и перпендикулярность. Патрон позволяет обрабатывать наружные и внутренние поверхности за одну установку, сокращая количество перезакреплений и, как следствие, накопленную погрешность обработки. Универсальность патрона обеспечивает быструю переналадку для обработки партий деталей с разными геометрическими параметрами в условиях среднесерийного производства.

Рассматриваемая заготовка имеет комбинацию ступенчатых поверхностей и отверстий, стандартные патроны могут не обеспечить надежного закрепления без деформации. Проектирование специализированного патрона позволит учесть особенности детали. Кроме того, равномерное распределение усилия зажима предотвращает вибрации, что увеличивает ресурс режущего инструмента и качество поверхности.

Существующие патроны не соответствуют типоразмерам деталей в программе выпуска, проектирование специализированного варианта исключает необходимость частых переналадок или приобретения дорогостоящих серийных аналогов.

Проектирование патрона с механизированным приводом произведем по данным [16], [18].

Эскиз операции приведен на рисунке 2.

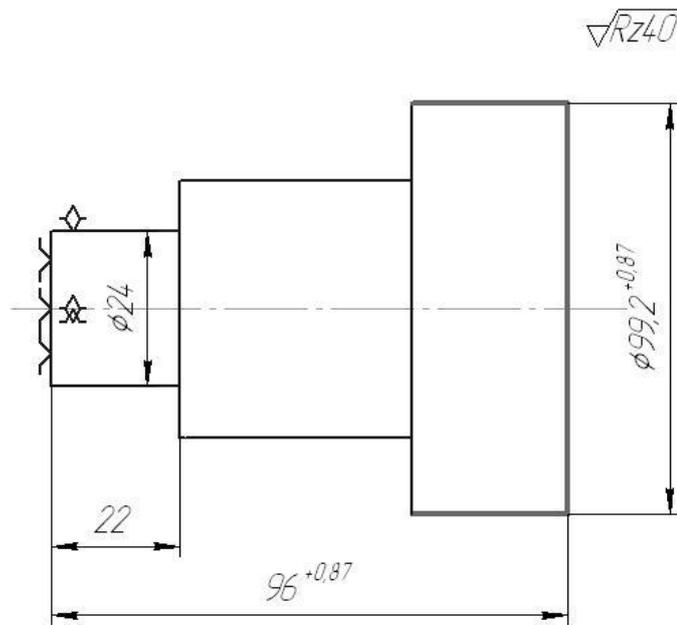


Рисунок 2 – Эскиз операции

Выбор схемы базирования начинается с определения конфигурации закрепления заготовки. На основании анализа операционного эскиза установлена необходимость применения консольной схемы. Критерием корректности выбранной схемы служит отношение среднего диаметра детали к её длине. Полученное значение менее 2,5 является достаточным основанием для подтверждения надежности базирования.

«Момент от основной составляющей силы резания P_Z :

$$M_{P_Z} = P_Z \cdot \frac{d_o}{2}, \quad (19)$$

где d_o – диаметр обрабатываемой поверхности, мм» [16].

«Уравновешивающий момент от силы закрепления:

$$M_{3P_Z} = \frac{3 \cdot W \cdot f \cdot d_3}{2}, \quad (20)$$

где W – расчетное усилие зажима, Н;

f – коэффициент;

d_3 – диаметр закрепления, мм» [16].

«Из условия обеспечения равновесия системы получаем расчетное усилие зажима:

$$W = \frac{P_Z \cdot d_0}{3 \cdot f \cdot d_3} \cdot K, \quad (21)$$

где K – коэффициент условий выполнения операции» [16].

«Коэффициента условий выполнения операции:

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5, \quad (22)$$

где: K_0 – гарантированный коэффициент запаса;

K_1 – коэффициент, учитывающий влияние неровностей обрабатываемой поверхности;

K_2 – коэффициент, учитывающий состояние режущего инструмента;

K_3 – коэффициент, учитывающий непостоянство сил резания;

K_4 – коэффициент, учитывающий колебания усилия на приводе;

K_5 – коэффициент, учитывающий эргономические характеристики зажимного механизма» [16].

Рассчитываем усилие зажима.

$$K = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,5.$$

$$W = \frac{4210 \cdot 99,2}{3 \cdot 0,4 \cdot 24} \cdot 1,5 = 14501 \text{ Н.}$$

«Усилие зажима на постоянных кулачках можно рассчитать по формуле:

$$W_1 = \frac{W}{1 - \frac{3 \cdot l}{H} \cdot f_1}, \quad (23)$$

где l – вылет кулачка, мм;

H – длина направляющей постоянного кулачка, мм;

f_1 – коэффициент трения в направляющих» [16].

$$W_1 = \frac{14501}{1 - \frac{3 \cdot 51}{80} \cdot 0,1} = 17924 \text{ Н.}$$

«Усилие, создаваемое клиновым зажимным механизмом, рассчитывается по формуле:

$$Q = \frac{W_1}{i_c}, \quad (24)$$

где i_c – передаточное отношение зажимного механизма» [16].

«Передаточное отношение зажимного механизма:

$$i_c = \frac{1}{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi) + \operatorname{tg}\varphi_1}, \quad (25)$$

где α – угол клина, град;

φ – угол трения наклонной поверхности клина, град;

φ_1 – угол трения плоской поверхности клина, град» [16].

Производим расчет.

$$i_c = \frac{1}{\operatorname{tg}(20^\circ + 6^\circ) + \operatorname{tg}6^\circ} = 1,1.$$

$$Q = \frac{17924}{1,1} = 16295 \text{ Н.}$$

«Механизация закрепления заготовки с созданием необходимого усилия обеспечивается применением гидроцилиндра, диаметр поршня которого рассчитывается по формуле:

$$D = \sqrt{\frac{1,27 \cdot Q}{P} + d^2}, \quad (26)$$

где d – диаметр штока поршня, мм;

P – давление в гидросистеме, МПа» [18].

$$D = \sqrt{\frac{1,27 \cdot 16295}{2,5} + 25^2} = 88 \text{ мм.}$$

«Округление расчетного диаметра до ближайшего большего стандартного значения является технологически и экономически обоснованным, поскольку применение нестандартного параметра обусловит необходимость проектирования специализированного привода и существенно повысит стоимость конструкции» [18]. «В результате выполненных расчетов диаметр поршня привода принимается равным 90 мм» [18].

«Расчет точности патрона производится на основе, приведенной на рисунке 3 схемы» [18].

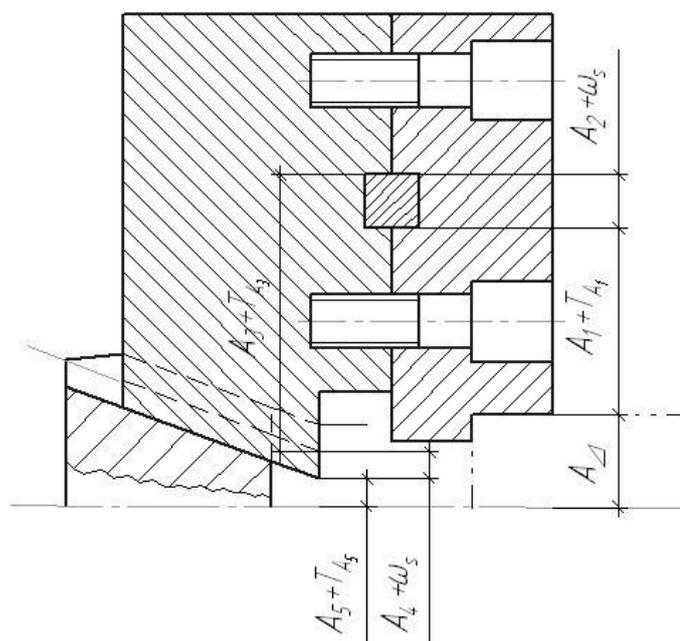


Рисунок 3 – Расчетная схема определения точности

«Уравнение для определения погрешности:

$$\varepsilon_y = \frac{1}{2} \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \Delta_4^2 + \Delta_5^2}, \quad (27)$$

где Δ_1 – погрешность изготовления размера A_1 , мм;

Δ_2 – колебание зазора в сопряжении A_2 , мм;

Δ_3 – погрешность изготовления размера A_3 , мм;

Δ_4 – колебание зазора в сопряжении A_4 , мм;

Δ_5 – погрешность изготовления размера A_5 , мм» [18].

Расчет проводим из условия точности составляющих звеньев по 7 качеству.

$$\varepsilon_y = \frac{1}{2} \sqrt{0,025^2 + 0,030^2 + 0,015^2 + 0,010^2 + 0,010^2} = 0,021 \text{ мм.}$$

Как установлено расчетным путем, допустимое отклонение для данного технологического приспособления соответствует технологическому минимуму припуска на чистовую обработку равному 0,296 мм. Результаты проведенного анализа точности свидетельствуют о соответствии проектных характеристик патрона установленным требованиям с определенным запасом по точности.

Конструкция патрона включает следующие основные элементы: корпус, монтируемый на шпинделе станка; клиновой зажимной механизм; силовой привод гидравлического типа; систему кулачков, состоящую из постоянных и сменных элементов. Сменные кулачки, предназначенные для непосредственного контакта с заготовкой, фиксируются на постоянных кулачках посредством шпонок и винтов. «Постоянные кулачки кинематически связаны с клиновым механизмом, который преобразует поступательное движение в радиальное перемещение кулачков» [18].

Функционирование устройства осуществляется в следующем порядке: при подаче рабочей жидкости в правую полость гидроцилиндра происходит перемещение поршня со штоком в левом направлении. «Через тягу и центральную втулку это движение передается на клиновой механизм, что вызывает радиальное смещение постоянных и сменных кулачков к центру

патрона и обеспечение надежного закрепления заготовки» [18]. «Для раскрепления заготовки рабочая жидкость подается в левую полость гидроцилиндра, возвращая систему в исходное положение» [18].

«Конструкция приведена в графической части работы и в Приложении Б «Спецификации к сборочным чертежам»» [18].

«Применение спроектированного патрона сокращает вспомогательное время на установку заготовки» [18]. «Точное центрирование и жесткое крепление снижают риск погрешностей обработки, что ведет к сокращению затрат на доработку деталей» [18]. «Спроектированное приспособление обеспечивает механизацию закрепления и отвечает требованиям точности, то есть цель его проектирования можно считать достигнутой» [18].

Расчет патрона на прочность и жесткость исключает риск разрушения оснастки под нагрузкой, что особенно актуально при обработке заготовок с большими припусками.

3.2 Разработка зубострогального резца

Необходимость проектирования зубострогального резца возникает при невозможности применения стандартного инструмента в условиях специфических требований к обработке зубчатого венца. Ключевым критерием является соответствие геометрии резца точным параметрам впадины между зубьями обрабатываемой шестерни, особенно при наличии модификаций профиля или специальных требований к форме зубьев. Кроме этого необходимо обеспечить заданную точность формы и расположения зубьев, требуемые параметры шероховатости рабочих поверхностей. Также необходимо учесть особенности конкретного зубострогального станка и требования к производительности процесса. Экономическая целесообразность проектирования специального инструмента проявляется при серийном производстве, когда первоначальные затраты на разработку окупаются за счет стабильного качества обработки и повышенной стойкости

инструмента. Проведем проектирование зубострогального резца с использованием методики [20].

«Геометрические характеристики зубострогальных резцов типа 4 представлены на рисунке 4» [20].

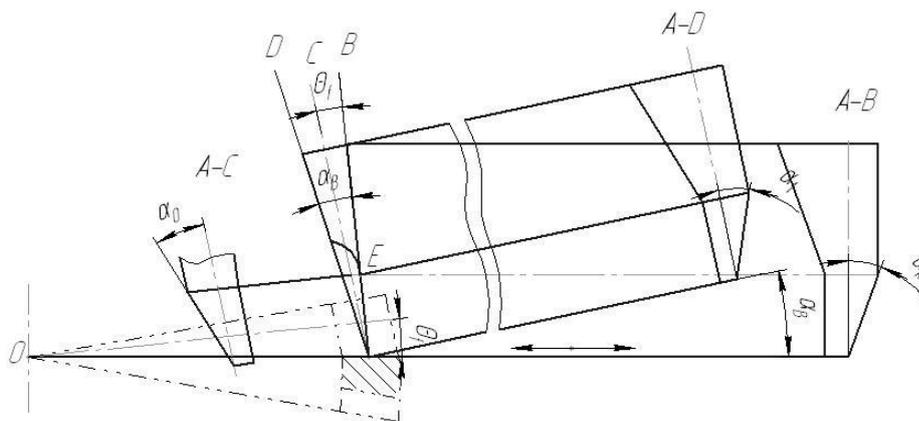


Рисунок 4 – Геометрия зубострогального резца

«Кинематический угол в плоскости АВ:

$$\operatorname{tg} \alpha_k = \operatorname{tg} \alpha_0 \cdot \cos \theta_f, \quad (28)$$

где α_k – кинематический угол, град;

α_0 – теоретический угол зацепления в сечении АС, перпендикулярном образующей начального конуса ОО шестерни, град;

θ_f – угол наклона образующей начального конуса ОО шестерни к внутреннему конусу, град» [20].

Производим расчеты.

$$\operatorname{tg} \alpha_k = \operatorname{tg} 20^\circ \cdot \cos 6^\circ = 0,3235.$$

$$\alpha_k = 19^\circ 54' 16''.$$

«Аналогично производим расчеты для следующего угла:

$$tg \alpha_1 = \frac{tg \alpha_0 \cdot \cos \theta_f}{\cos \alpha_B}. \quad (29) \gg [20]$$

Производим расчеты.

$$tg \alpha_1 = \frac{tg 20^\circ \cdot \cos 6^\circ}{\cos 12^\circ} = 0,3293.$$

$$\alpha_1 = 20^\circ 21' 58''.$$

«Следующий угол рассчитываем по формуле:

$$tg \alpha_{0\phi} = \frac{tg \alpha_k}{\cos \theta_f}. \quad (30) \gg [20]$$

Производим расчеты.

$$tg \alpha_{0\phi} = \frac{tg 20^\circ}{\cos 6^\circ} = 0,3264.$$

$$\alpha_{0\phi} = 20^\circ 2' 48''.$$

«Далее определим разницу углов по формуле:

$$\Delta \alpha = \alpha_{0\phi} - \alpha_0. \quad (31) \gg [20]$$

Производим расчеты.

$$\Delta \alpha = 20^\circ 2' 48'' - 20^\circ = 2' 48''.$$

«Расчеты показали, что разница в углах не значительная, поэтому принимаем $\alpha_0 = \alpha_1 = \alpha_k = 20^\circ$ » [20].

Проектирование индивидуального резца позволило оптимизировать его геометрические параметры под конкретный материал заготовки, что обеспечивает оптимальное стружкообразование и минимальные силовые нагрузки на технологическую систему. Конструкция зубодолбежного резца представлена в графической части работы.

В рамках выполнения данного раздела проведена работа по разработке и внедрению комплекса технических мероприятий, направленных на повышение эффективности базового технологического процесса

изготовления детали. Основной акцент был сделан на определении и последующей оптимизации технологических операций, характеризующихся недостаточным уровнем технического совершенства.

На первом этапе был проведен детальный анализ существующего технологического процесса с применением методов сравнительной оценки производственных недостатков. В результате была выявлена группа операций, лимитирующих общие показатели производительности и качества изготовления детали.

Для устранения выявленных технологических ограничений было проведено проектирование специализированного технологического оснащения. В качестве ключевого решения проблемы точности базирования на токарных операциях спроектирован трехкулачковый самоцентрирующийся патрон с гидравлическим приводом. Конструкция патрона включает клиновой механизм, обеспечивающий синхронное радиальное перемещение кулачков, и систему сменных кулачков, позволяющую адаптировать оснастку для обработки деталей различной номенклатуры. Применение гидравлического привода обеспечивает стабильное усилие зажима и возможность интеграции в автоматизированные технологические комплексы.

Также был разработан специализированный резец для долбежной операции, геометрические параметры которого оптимизированы с учетом физико-механических свойств обрабатываемого материала и кинематических особенностей формирования профиля. Конструкция резца включает модифицированную геометрию передней и задней поверхностей, что позволило оптимизировать процесс стружкообразования и повысить температурную стабильность инструмента в процессе резания. Материал режущей части выбран исходя из критериев обеспечения максимальной сопротивляемости абразивному износу и пластической деформации.

4 Безопасность и экологичность технического объекта

4.1 Конструктивно-технологическая характеристика технического объекта

Объектом исследований выступает технологический процесс изготовления конической шестерни привода токарного станка УТ-600. Технологический процесс характеризуется многооперационностью и включает следующие основные этапы: подготовительные операции, токарная обработка, зубонарезание, термическая обработка и отделочные операции. Особенностью процесса является использование специализированного режущего инструмента, термических установок и контрольного оборудования.

Технологический цикл предполагает работу с заготовками из легированной стали, применение смазочно-охлаждающих жидкостей и термических сред, что формирует специфические условия с точки зрения безопасности и экологичности.

4.2 Идентификация профессиональных рисков

«Проведем идентификацию профессиональных рисков для фрезеровщиков, шлифовщиков и операторов станков с числовым программным управлением в соответствии с требованиями ГОСТ 12.0.003-2015» [1].

Анализ технологического процесса выявил наличие потенциально опасных факторов на различных стадиях производства. На этапах механической обработки основными рисками являются травмирование движущимися частями оборудования и режущим инструментом, образование металлической стружки, воздействие шума и вибрации.

При термической обработке значительную опасность представляют

термические ожоги и воздействие высоких температур, а также возможное выделение газообразных продуктов.

Особого внимания требуют операции с применением химически активных веществ в составе смазочно-охлаждающих жидкостей и технологических сред для термообработки.

Психофизиологические риски обусловлены необходимостью постоянного визуального контроля и высокой ответственностью за соблюдение технологических параметров.

4.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Рассмотрим методы и средства снижения профессиональных рисков [1].

Обеспечение безопасности технологического процесса достигается за счет реализации комплекса технических и организационных мероприятий.

На этапах механической обработки применяются средства ограждения и блокировки, системы местной вытяжной вентиляции для удаления металлической пыли и аэрозолей.

Для операций термической обработки предусматривается использование теплоизолирующих экранов и средств индивидуальной защиты от термического воздействия.

Важным элементом системы безопасности является автоматизация наиболее опасных технологических переходов и внедрение дистанционного контроля параметров.

Особое внимание уделяется обеспечению эргономичности рабочих мест и оптимальной организации технологического пространства.

4.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта

Пожарная опасность технологического процесса обусловлена

использованием горючих смазочно-охлаждающих жидкостей, возможностью образования взрывоопасных концентраций пыли при механической обработке и наличием высокотемпературного оборудования.

Профилактические мероприятия включают систематический контроль состояния электрооборудования, организацию регулярной уборки производственных помещений от горючих отходов и поддержание нормативного состояния вентиляционных систем.

Для помещений термической обработки предусматривается устройство автоматических систем пожаротушения и оснащение средствами противопожарной защиты в соответствии с категорией пожарной опасности.

4.5 Обеспечение экологической безопасности технического объекта

Экологическая безопасность технологического процесса обеспечивается через внедрение ресурсосберегающих технологий и организацию системы управления отходами. На этапе проектирования технологического процесса предусмотрены мероприятия по минимизации образования отходов через оптимизацию режимов резания и рациональное использование вспомогательных материалов. Для отработанных смазочно-охлаждающих жидкостей и технологических сред организована система сбора и утилизации с привлечением специализированных предприятий. Металлосодержащие отходы направляются на переработку для вторичного использования. Энергосберегающий подход реализуется через рекуперацию тепла от термических установок и применение энергоэффективного технологического оборудования.

Проведенный в данном разделе анализ позволил разработать комплексную систему обеспечения безопасности и экологичности технологического процесса изготовления конической шестерни.

5 Экономическая эффективность работы

«Целью данного раздела является определение технико-экономических параметров разрабатываемого технологического процесса» [6]. «Предполагается проведение сопоставительного анализа с параметрами базовой технологии и вычисление экономического эффекта, обусловленного предложенными в работе техническими решениями» [6].

Для достижения поставленной цели необходимы сведения, полученные в предыдущих частях работы. Обобщенное представление производственного процесса приведено на рисунке 5.

Предложения по корректировке производственного процесса:

Операция 030 - технологическое оснащение горизонтально-протяжного процесса

Операции 035 и 040 - станки, применяемые для зубострогальных процессов

Операции 050, 055, 065 и 070 - оборудование, используемое при торцешлифовальных процессах

Операция 060 - параметры обработки для внутришлифовального процесса

Рисунок 5 – 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 [6]. «Наглядное представление технологической себестоимости и определяющих ее факторов представлено на рисунке 6» [6]. «Данное визуальное представление раскрывает ключевые аспекты формирования себестоимости, делая анализ доступным и понятным» [6].

Анализ рисунка 6 демонстрирует, что технологическая себестоимость в значительной мере определяется базовой заработной платой. Занимаемая ей

доля составляет 43,6 % и 48,01 %, 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 13,17 % и 14,5 % соответственно.



Рисунок 6 – 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» [6]. «Оценка размера вложений будет базироваться на полном и всестороннем анализе затрат» [6]. «В них войдут: затраты на технологическое оборудование с учетом его доставки ($K_{ОБ}$), затраты на транспортные средства ($K_{ТР}$) и затраты на проектирование ($K_{ПР}$), оснастку и инструмент ($K_{ОИ}$) и затраты на производственную площадь ($K_{Э.ПЛ}$)» [6]. На рисунке 7 представлены значения, которые раскрывают важнейшие параметры и общий масштаб требуемых вложений.



Рисунок 7 – Параметры и общий масштаб требуемых вложений, руб.

Изучение информации, представленной на рисунке 7, демонстрирует, что значительная доля инвестиций, а именно 85,0 %, направлена на технологическое оборудование. Это подчеркивает инновационную направленность технологии и повышение эффективности. В то же время, расходы, связанные с оснасткой и инструментом, составляют минимальные 1,71 % 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» [6]. Результаты этого анализа отображены на рисунке 8, что позволяет наглядно отразить экономический потенциал выполняемой работы.

**Показатели
экономической
эффективности**

- Чистая прибыль - 644056 руб.;
- Срок окупаемости - 4 года;
- Интегральный экономический эффект - 509393,32 руб.

Рисунок 8 – 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 509393,32 рублей.

Технико-экономическое обоснование разработанного технологического процесса, проведенное в данном разделе, подтвердило его эффективность и конкурентоспособность. Расчеты показывают существенное снижение трудоемкости операций и расхода материалов по сравнению с базовым вариантом. Внедрение предложенных решений позволит повысить производительность труда и качество выпускаемой продукции.

Заключение

Выпускная квалификационная работа посвящена решению актуальной научно-технической задачи по разработке технологического процесса изготовления конической шестерни привода токарного станка УТ-600. Проведенное исследование позволило достичь поставленной цели и получить научно обоснованные результаты, имеющие практическую значимость для машиностроительных предприятий.

В ходе выполнения работы был реализован системный подход к проектированию технологического процесса, основанный на комплексном анализе служебного назначения детали и условий ее эксплуатации. Особое внимание уделено исследованию рабочих характеристик конической шестерни как ответственного элемента кинематической цепи, определяющего надежность и долговечность всего станка. Анализ условий работы позволил сформулировать обоснованные требования к материалу, точности и свойствам готовой детали.

Проведено обоснование выбора метода получения заготовки. Сравнительный анализ различных технологических вариантов показал экономическую и технологическую целесообразность применения горячей объемной штамповки на горизонтально-ковочной машине. Разработанная заготовка обеспечивает рациональное использование материала и минимальные припуски на механическую обработку.

Особенностью разработанного технологического процесса является его адаптация к условиям среднесерийного производства. Маршрут обработки построен с учетом принципов концентрации операций и максимального использования возможностей современного оборудования. Значительное внимание уделено проектированию специализированной технологической оснастки, включающей трехкулачковый патрон с гидравлическим приводом и специализированный режущий инструмент.

Важным результатом работы стало исследование вопросов обеспечения безопасности и экологичности технологического процесса. Разработан комплекс организационно-технических мероприятий, направленных на минимизацию профессиональных рисков и снижение воздействия на окружающую среду. Предложенные решения учитывают специфику оборудования и материалов, используемых на различных этапах производства.

Технико-экономическое обоснование разработанного технологического процесса подтвердило его эффективность и конкурентоспособность. Расчеты показывают существенное снижение трудоемкости операций и расхода материалов по сравнению с базовым вариантом. Внедрение предложенных решений позволит повысить производительность труда и качество выпускаемой продукции.

Результаты проектирования данного технологического процесса продемонстрировали возможность существенного повышения эффективности производства конических шестерен за счет оптимизации технологического процесса и применения современных методов обработки. Полученные результаты могут быть использованы не только для конкретной детали токарного станка УТ-600, но и адаптированы для других аналогичных изделий в общем машиностроении.

В целом, выполненная работа вносит вклад в решение важной задачи по повышению технологического уровня отечественного станкостроения и может служить основой для дальнейшего совершенствования процессов изготовления деталей зубчатых передач. Разработанный технологический процесс соответствует современным требованиям качества, экономичности и экологической безопасности, что определяет практическую ценность проведенного исследования и возможность его успешного внедрения в производство.

Список используемых источников

1. 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.
2. 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: 15.09.2025).
3. Иванов В.П. Оборудование и оснастка промышленного предприятия: учеб. для студентов вузов по специальности "Оборудование и технологии высокоэффектив. процессов обработки материалов" / В.П. Иванов, А.В. Крыленко. – Минск. : Новое знание, 2016. – 234 с.
4. 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).
5. Копылов Ю. Р. Технология машиностроения : учебное пособие для вузов / Ю. Р. Копылов. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2024. – 252 с. – ISBN 978-5-507-49336-4. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/387341> (дата обращения: 01.10.2025).
6. 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: 30.11.2025).
7. Кудряшов Е. А. Приспособления для производства изделий

машиностроения : учебник / Е. А. Кудряшов, И. М. Смирнов, Е. И. Яцун ; под редакцией Е. А. Кудряшова. – 2-е изд., испр. – Москва : Машиностроение, 2023. – 220 с. – ISBN 978-5-907523-50-0. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/387524> (дата обращения: 25.10.2025).

8. 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: 18.10.2025).

9. Маталин А. А. Технология машиностроения : учебник для вузов / А. А. Маталин. – 6-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2024. – 512 с. – ISBN 978-5-507-47642-8. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/399728> (дата обращения: 25.09.2025).

10. Мещерякова В.Б. Металлорежущие станки с ЧПУ: учеб. пособие / В.Б. Мещерякова, В.С. Стародубов. – Москва. : ИНФРА-М, 2017. – 336 с. [Электронный ресурс]. – URL: <http://znanium.com/catalog/product/881108> (дата обращения: 08.10.2025).

11. Пелевин В.Ф. Метрология и средства измерений: учеб. пособие / В.Ф. Пелевин. – Москва. : ИНФРА-М, 2017. – 273 с. [Электронный ресурс]. – URL: <http://znanium.com/catalog/product/774201> (дата обращения: 09.11.2025).

12. Расторгуев Д.А. Проектирование технологических операций: электрон. учеб.-метод. пособие / Д.А. Расторгуев. – Тольятти. : ТГУ, 2015. – 140 с. [Электронный ресурс] – URL: <http://hdl.handle.net/123456789/76> (дата обращения: 12.11.2025).

13. 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: 18.10.2025).

14. 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: 23.09.2025).

15. Сысоев С. К. Технология машиностроения. Проектирование технологических процессов : учебное пособие для вузов / С. К. Сысоев, А. С. Сысоев, В. А. Левко. – 5-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2025. – 352 с. – ISBN 978-5-507-53016-8. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/464225> (дата обращения: 10.11.2025).

16. 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: 19.10.2025).

17. Технология машиностроения в курсовом проектировании и в выпускной квалификационной работе : учебное пособие / И. Д. Белоновская, Н. Ю. Глинская, А. Н. Гончаров, К. В. Марусич. – 2-е изд., перераб. и доп. – Оренбург : ОГУ, 2024. – 208 с. – ISBN 978-5-7410-3249-7. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/437753> (дата обращения: 29.09.2025).

18. Унянин А. Н. Технологическая оснастка : учебное пособие / А. Н. Унянин, В. Ф. Гурьянихин, Е. М. Булыжев. – Ульяновск : УлГТУ, 2022. – 173 с. – ISBN 978-5-9795-2192-3. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/259712> (дата обращения: 28.10.2025).

19. Химический состав и физико-механические свойства стали 40X [Электронный ресурс]. – URL: http://metallicheckiy-portal.ru/marki_metallov/stj/40X (дата обращения: 10.09.2025).

20. Шаламов В. Г. Режущий инструмент в машиностроении : учебное пособие / В. Г. Шаламов. – Вологда : Инфра-Инженерия, 2024. – 132 с. – ISBN 978-5-9729-2078-5. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/428507> (дата обращения: 23.10.2025).

21. Ямников А. С. Расчет припусков и проектирование заготовок : учебник / А. С. Ямников, Е. Ю. Кузнецов, М. Н. Бобков. – 2-е изд. – Вологда : Инфра-Инженерия, 2024. – 328 с. – ISBN 978-5-9729-2012-9. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/428501> (дата обращения: 23.10.2025).

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1

А	Цех	Уч	РМ	Опер	Код, наименование операции	Обозначение документа										
						СМ	проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт	Тноз	Тшт
Б	Код, наименование оборудования					СМ	проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт	Тноз	Тшт
А 19	XX XX XX	015	4120	Сверлильная												
Б 20	38121X	Сверлильный Knuth KSB 40	3	17335	12	1P	1	1	1	331	1	14	17			
Т 21	396131 Тиски станочные с эксцентриковым зажимом; 391210 Сверло спиральное ГОСТ 10902-77, Р18;															
Т 22	393311 Штангенциркуль ШЦ-Ш-400-0.1 ГОСТ 166-89;															
23																
А 24	XX XX XX	020	4110	Токарная	ИОТ 687-98											
Б 25	381114	Токарно-винторезный САМАТ400ХС	3	18217	12	1P	1	1	1	331	1	215	0,89			
Т 26	392190 Патрон 3-х кулачковый ГОСТ 2675-63; 392190 Резец проходной отогнутый правый															
Т 27	ГОСТ18886-73 Т5К10; 393311 Штангенциркуль ШЦ-Ш-400-0.1 ГОСТ 166-89;															
28																
А 29	XX XX XX	025	4110	Токарная	ИОТ 687-98											
Б 30	381114	Токарно-винторезный САМАТ400ХС	3	18217	12	1P	1	1	1	331	1	215	0,72			
Т 31	392190 Патрон 3-х кулачковый ГОСТ 2675-63; 392190 Резец проходной отогнутый правый															
Т 32	ГОСТ18886-73 Т5К10; 393311 Штангенциркуль ШЦ-Ш-400-0.1 ГОСТ 166-89;															
33																
А 34	XX XX XX	030	4180	Протяжная												
Б 35	381751	Вертикально-протяжной 7Б64	3	17845	12	1P	1	1	1	331	1	9	1,95			
Т 36	396171 специальное приспособление; 392350 Протяжка для шлицевых отверстий ГОСТ25161-82;															
Т 37	394630 биенамер Б10М															
38																
А 39	XX XX XX	035	Эцбонарезание													
Б 40	381313	Эцбострогальный 5С276ПФЗ	3	12287	12	1P	1	1	1	331	1	22	8,29			
Т 41	392190 Патрон 3-х кулачковый ГОСТ 2675-63; 381114 Резец эцбострогальный ГОСТ 5392-80;															
МК																

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1

А	Цех	Уч	РМ	Опер	Код, наименование операции	Обозначение документа										
						СМ	проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт	Тноз	Тшт
Б	Код, наименование оборудования					СМ	проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт	Тноз	Тшт
А 44	<i>393311 Прибор ШМ1 для контроля шагов</i>															
45																
А 46	<i>XX XX XX 040 Эцбонарезание</i>															
Б 47	<i>381313</i>	<i>Зубоотрагальный</i>	<i>5С276ПФЗ</i>	<i>3</i>	<i>12287</i>	<i>12</i>	<i>1Р</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>331</i>	<i>1</i>	<i>22</i>	<i>4,285</i>		
Т 48	<i>392190 Патрон 3-х кулачковый ГОСТ 2675-63; 381114 Резец зубоотрагальный ГОСТ 5392-80;</i>															
Т 49	<i>393311 Прибор ШМ1 для контроля любых шагов</i>															
50																
А 51	<i>045 Термическая</i>															
Б 52	<i>Закалка и отпуск всех поверхностей до твердости HRC 40±2</i>															
53																
А 54	<i>XX XX XX 050 Шлифовальная 4131</i>															
Б 55	<i>381313</i>	<i>Торцевкругло шлифовальный</i>	<i>3Т153Е</i>	<i>3</i>	<i>18873</i>	<i>12</i>	<i>1Р</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>331</i>	<i>1</i>	<i>11</i>	<i>0,905</i>		
Т 56	<i>396110 Патрон 3-х кулачковый ГОСТ2675-80; 397130 Шлифовальный круг ПВД100×40×22 ГОСТ3882-74</i>															
Т 57	<i>393410 микрометр 0,1</i>															
58																
А 59	<i>XX XX XX 055 Шлифовальная 4131</i>															
Б 60	<i>381313</i>	<i>Торцевкругло шлифовальный</i>	<i>RSM 750</i>	<i>3</i>	<i>18873</i>	<i>12</i>	<i>1Р</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>331</i>	<i>1</i>	<i>11</i>	<i>0,905</i>		
Т 61	<i>396110 Патрон 3-х кулачковый ГОСТ2675-80; 397130 Шлифовальный круг ПВД200×40×76</i>															
Т 62	<i>ГОСТ3882-74; 393410 микрометр 0,1</i>															
63																
А 64	<i>XX XX XX 060 Внутришлифовальная 4132</i>															
Б 65	<i>381312</i>	<i>Внутришлифовальный</i>	<i>RIG150</i>	<i>2</i>	<i>18873</i>	<i>12</i>	<i>1Р</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>331</i>	<i>1</i>	<i>7</i>	<i>0,913</i>		
Т 66	<i>396110 Патрон 3-х кулачковый ГОСТ2675-80; 397130 Шлифовальный круг ПВД32×40×10 ГОСТ3882-74</i>															
МК																

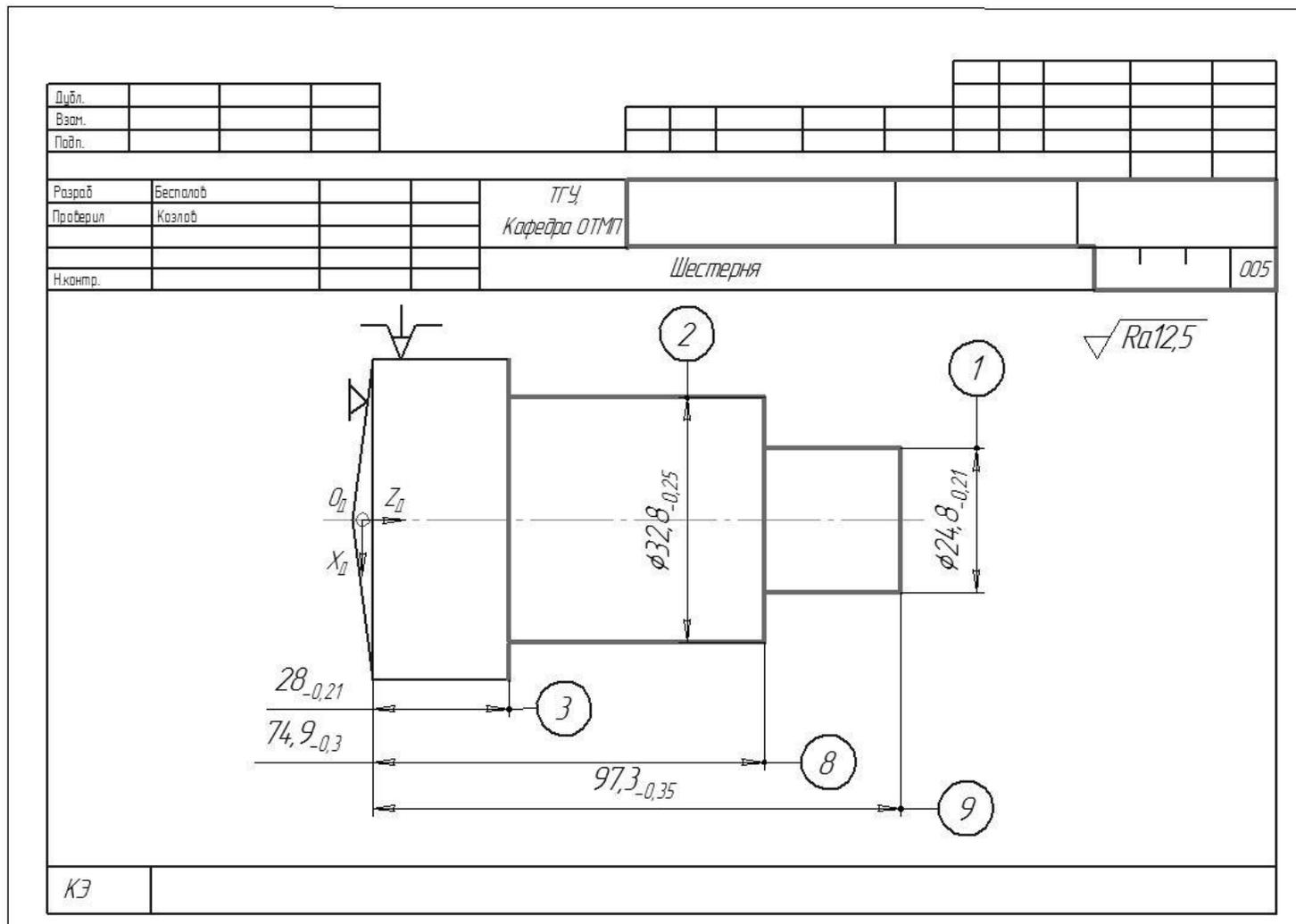
Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1

А	Цех	Уч	РМ	Опер	Код, наименование операции	Обозначение документа										
						СМ	проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт	Тпоз	Тшт
Б	Код, наименование оборудования					СМ	проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт	Тпоз	Тшт
А 69	<i>XX XX XX 065 Шлифовальная 4131</i>															
Б 70	<i>381313 Торцевое кругло шлифовальный RSM 750 3</i>					<i>18873</i>	<i>12</i>	<i>1Р</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>331</i>	<i>1</i>	<i>11</i>	<i>0,9</i>	
Т 71	<i>396110 Патрон 3-х кулачковый ГОСТ2675-80; 397130 Шлифовальный круг ПВД100×40×22 ГОСТ3882-74</i>															
Т 72	<i>393410 микрометр 0,1</i>															
73																
А 74	<i>XX XX XX 070 Шлифовальная 4131</i>															
Б 75	<i>381313 Торцевое кругло шлифовальный RSM 750 3</i>					<i>18873</i>	<i>12</i>	<i>1Р</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>331</i>	<i>1</i>	<i>11</i>	<i>0,902</i>	
Т 76	<i>396110 Патрон 3-х кулачковый ГОСТ2675-80; 397130 Шлифовальный круг ПВД100×40×22 ГОСТ3882-74</i>															
Т 77	<i>393410 микрометр 0,1</i>															
78																
А 79	<i>075 Моечная</i>															
Б 80	<i>Моечная машина</i>															
81																
А 82	<i>080 Контрольная</i>															
83	<i>Стал контрольный. Калибр ИЧ02 ГОСТ 577-75</i>															
84																
85																
86																
87																
88																
89																
90																
91																
МК																

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1



КЭ

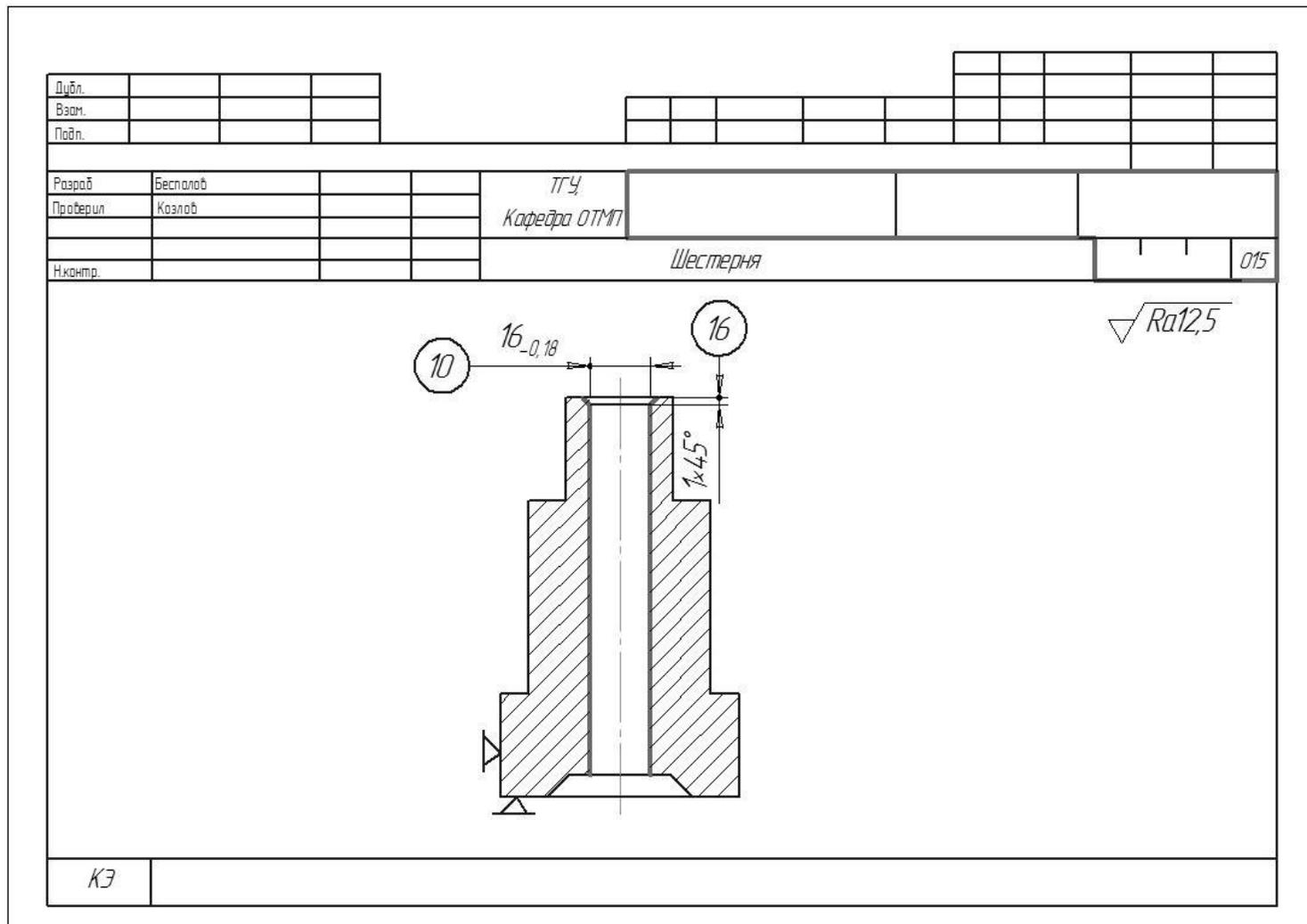
Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1

ГОСТ 3118-82										Форм 1		
Дубл.												
Взам.												
Подл.												
Разраб	Беспалов											
Проверил	Козлов											
<i>Кафедра ОТМП</i>												
<i>Шестерня</i>										Цех	Уч. Р.М.	Опер. 005
Наименование операции		Материал		Твердость	ЕВ	МД	Профиль и размеры			МЗ	КОИД	
4110 Токарная с ЧПУ		Сталь 40Х ГОСТ 14543-71		НРС 40	166	12	#99,2х96			18	1	
Оборудование, Токарно-винторезный с ЧПУ		Обозначение программы		Т ₀	Т ₁	Т ₂	Т _{шт}	СОЖ				
SAMAT 400ХС		—		136	0,359	19	2,045	Укромол-1				
P		пи	Д или В	L	t	i	s	п	v			
O ₀₁					мм		мм/об	об/мин	м/мин			
T ₀₁	1. Установить заготовку											
T ₀₂	392190 Патрон 3-х кулачковый ГОСТ 2675-63; 392190 Резец проходной отогнутый правый											
O ₀₄	ГОСТ 18886-73 Т5К10; 392190 Резец подрезной ГОСТ 9795-73 Т5К10 ГОСТ 3882-74;											
O ₀₅	2. Подрезать торец, ^① согласно эскиза											
O ₀₆		1			2	1	0,5	1250	94,2			
P ₀₇	3. Точить, выдерживая размеры ^① , ^② , ^③ , ^④ согласно эскиза											
O ₀₈		1			3	1	0,5	315	98,1			
O ₀₉	4. Открепить, снять деталь с приспособления, уложить на тележку.											
T ₁₀												
T ₁₁												
T ₁₂												
КЭ												

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1



КЭ

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1

ГОСТ 2116-82										Форм 1							
Дубл.																	
Взам.																	
Подл.																	
Разраб	Беспалов																
Проверил	Козлов																
Н.контр.																	
Шестерня										Цех	Уч.	Р.М.	Опер.				
Наименование операции										Материал		Твердость	ЕВ	МД	Профиль и размеры	МЗ	КОИД
431 Сверлильная										Сталь 40 ГОСТ 14543-71		HRC 40	166	12	#99,2x96	18	1
Оборудование										Обозначение программы		Тв	Ть	Тпа	Тшт	СОЖ	
Клинт KSB 40												0,71	0,874	14	1692	Укромол-1	
P			пи		О или В	L	t	i	s	п	v						
O ₀₁	1. Установить заготовку											мм	мм/об	об/мин	м/мин		
T ₀₂	396131 Тиски станочные с эксцентриковым зажимом; 391210 Сверло спиральное ГОСТ 10902-77, Р18;																
T ₀₃	2.Сверлить , выдерживая размеры ⁽¹⁰⁾ согласно эскиза																
O ₀₄			1				8	1	0,23	630	31,7						
P ₀₅	3. Зенкеровать , выдерживая размеры ⁽¹⁶⁾ согласно эскиза																
O ₀₆			1				1	1	0,7	200	12,6						
P ₀₇	4. Открепить, снять деталь с приспособления, уложить на тележку.																
O ₀₈																	
O ₀₉																	
O ₁₀																	
O ₁₁																	
КЗ																	

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1

ГОСТ 3 118-82										Форм 1			
Дубл.													
Взам.													
Подл.													
Разраб	Беспалов												
Проверил	Казлов												
Н.контр.													
Шестерня										Цех	Уч.	Р.М.	Опер.
Наименование операции										МЗ		КОИД	
431 Шлифовальная		Материал			Твердость	ЕВ	МД	Профиль и размеры			1,8	1	
		Сталь 40Х ГОСТ 14543-71			НРС 40	166	12	#99,2x96					
Оборудование		Обозначение программы			Т ₀	Т ₁	Т ₂	Т _{шт}	СОЖ				
RSM 750					0,015	0,84	11	0,905	Укромал-1				
P		пи	Д или В	L	t	i	s	п	v				
0 01	1. Установить заготовку												
T 02	396110 Патрон 3-х ккцлачковый ГОСТ2675-80; Шлифовальный круг 25A40НСМ29К26 ГОСТ3882-74;												
T 03	393410 Шаблон ГОСТ 2534-74												
0 04	2. Шлифовать, выдерживая размеры ^① , ^② , согласно эскиза												
P 05		1			0,25	1	12,5	310	20				
0 06	3. Открепить, снять деталь с приспособления, уложить на тележку.												
P 07													
0 08													
0 09													
10													
11													
КЗ													

