

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

Институт машиностроения
(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 Разработка технологического процесса изготовления вала-шестерни редуктора

Обучающийся

Е.С. Костецкая

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

канд. техн. наук, доцент Д.А. Расторгуев

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

Тольятти 2024

Аннотация

В данной выпускной квалификационной работе произведены проектирования и производства детали вал-шестерня весом 3,43 килограмма и выпуском 2500 деталей в год, оформлен процесс изготовления детали от стадии выбора материала до итоговых показателей. Разработан режущий инструмент для точения заготовки, спроектировано станочное приспособление для фрезерования шпоночного паза. Так же проанализированы вопросы безопасности жизнедеятельности и проведён экономический подсчёт изготовления детали.

Разработанный технологический процесс обеспечит высокое качество и производительность изготовления детали. Выбор оптимальных методов обработки, режимов резания и конструкции приспособления позволит минимизировать затраты на производство и повысить эффективность технологического процесса.

Содержание

Введение	5
1. Анализ исходных данных	6
1.1 Описание служебного назначения и условий работы детали	6
1.2 Анализ материала детали	7
1.3 Систематизация поверхностей детали	9
1.4 Анализ технологичности конструкции детали	10
1.5 Формулировка задач работы	11
2 Технологическая часть	13
2.1 Выбор стратегии разработки техпроцесса	13
2.2 Выбор метода получения заготовки	13
2.3 Выбор методов обработки поверхностей	15
2.4 Определение припусков и проектирование заготовки	17
2.5 Разработка технологического маршрута и плана изготовления	27
2.5.1 Разработка технологического маршрута	27
2.5.2 План изготовления детали	28
2.5.3 Разработка схем базирования	28
2.6 Выбор средств технологического оснащения	30
2.6.1 Выбор оборудования	31
2.6.2 Выбор приспособлений	32
2.6.3 Выбор режущего инструмента	32
2.6.4 Выбор средств контроля	32
2.7 Проектирование технологических операций	34
2.7.1 Расчёт режимов резания	35
2.7.2 Нормирование технологического процесса	38
3 Проектирование станочного приспособления	41
4 Проектирование режущего инструмента	48
5 Безопасность и экологичность технического объекта	51
6 Экономическая эффективность работы	55

Заключение	59
Список используемых источников	60
Приложение А Таблица химического состава стали 40Х	63
Приложение Б Вал-шестерня исходный чертёж	64
Приложение В Данные для определения типа производства	65
Приложение Г Вал – шестерня(заготовка)	66
Приложение Д Расчётно-технологическая карта черновой операции	67
Приложение Е Расчётно-технологическая карта чистовой операции	68
Приложение Ж Маршрут обработки	69
Приложение З Фрезерование шпоночного паза.	70
Приложение И Спецификация	71

Введение

В процессе проектирования и производства деталей, таких как вал-шестерня, ключевую роль играет тщательный анализ информации, который служит основой для последующих этапов разработки. Важным аспектом является исследование различных методов получения заготовок и технологий обработки, что позволяет не только оценить их влияние на точность и качество, но и определить экономическую эффективность производства.

В частности, внимание уделяется выбору необходимого оборудования и специальных средств технологического оснащения, что является критически важным для достижения оптимальных результатов, может снизить стоимость изготовления и повысить производительность, однако важно учитывать возможные потери, возникающие в процессе, а также необходимость дополнительной механической обработки для достижения требуемых размеров.

Кроме того, в рамках работы будет рассмотрен принцип действия трехкулачкового патрона, который обеспечивает надёжную фиксацию инструмента и высокую точность центрирования, что в свою очередь способствует улучшению качества обработки деталей. Важным элементом технологического процесса также является использование острозаточенных резцов для продольного точения, что позволяет эффективно формировать нужные геометрические параметры в процессе токарной обработки.

Так же будет проведён анализ технического объекта на безопасность жизнедеятельности и уровень экологичности, готовность объекта к чрезвычайным ситуациям. Проведены экономические подсчёты изготовления детали и проведён анализ конкурентоспособности.

Таким образом, результаты проведённого анализа не только обеспечивают глубокое понимание технологических процессов, но и закладывают основу для успешной реализации проекта по созданию детали "вал-шестерня".

1 Анализ исходных данных

Основная цель аналитического раздела - сбор и анализ информации, необходимой для проектирования и изготовления вала-шестерни. Анализ информации обеспечивает полное понимание требований и стандартов к детали вал-шестерня, а также определяет ключевые характеристики, влияющие на точность проектирования и производства.

Результаты анализа являются основой для всех последующих этапов разработки и производства детали, обеспечивая точность проектирования и эффективность производственного процесса.

1.1 Описание служебного назначения и условий работы детали

Вал-шестерня, являясь ключевым элементом механизма, обеспечивает точное позиционирование и синхронизацию движения других элементов машины, испытывает нагрузки от вращения деталей, собственного веса, поэтому прочность вала является важнейшим фактором, влияющим на надёжность оборудования в целом.

В рабочих условиях вал-шестерня подвергается температурному воздействию, физическим нагрузкам и влиянию окружающей среды. Физические нагрузки обусловлены передачей крутящего момента, мощностью и режимами работы коробки передач, а также радиальными и осевыми нагрузками от зацепления. Во время работы коробки передач вал подвергается динамическим нагрузкам, приводящим к усталостному разрушению.

Деталь может работать в условиях переменных температур, что может привести к термическим напряжениям и деформации материала, из-за температурного расширения могут возникать дополнительные нагрузки на деталь, что может привести к потере точности посадки и работы механизма.

Деталь может работать в условиях повышенной влажности, что может привести к коррозии материала. Так же условия работы в контакте со смазочными маслами, которые оказывают влияние на износостойкость и характеристики трения детали.

Выбор смазочных материалов является критически важным фактором, определяющим износостойкость и фрикционные характеристики детали. Смазка необходима для снижения трения и износа рабочих поверхностей, что продлевает срок службы детали.

Комплексный подход к выбору материала, обработке, смазке и контролю качества детали вал-шестерня является ключевым фактором для обеспечения надёжной и долговечной работы редуктора.

1.2 Анализ материала детали

Выбор метода получения заготовки зависит от ряда факторов, такие как конструктивные формы и размеры готовой детали, марки материала, объёма выпуска изделий, типа производства, таким образом чтоб заготовка отвечала стандартам качества, при этом стоимость материала и метода изготовления, без потерь уровня прочности и долговечности, была минимальной.

Материал, используемый в машиностроительном производстве, должен быть недорогим, отвечать требованиям по физико-техническим свойствам, иметь достаточную прочность и долговечность в эксплуатации, так же легко поддаваться обработке и быть экономически выгодным в процессе термических и механических манипуляций. При соблюдении этих норм конструкцию детали можно будет считать технологичной.

Для машиностроительной промышленности высоким спросом пользуются отливки из низкоуглеродистой стали. Сталь 40Х обладает оптимальными показателями текучести и температуры плавления, а также устойчива к образованию трещин в горячей отливке.

В приложении А размещена таблица химического состава с количественным содержанием компонентов стали 40X [1, с.124].

Хотя деталь представляет собой сложный элемент, она требует использования специализированного оборудования, такого как круглошлифовальный станок для обработки посадочных поверхностей и специальный зубофрезерный станок для создания зубчатого венца.

Сталь 40X является легированной сталью, обладает высокой прочностью и твёрдостью (217 МПа) и способна к безотказности работы в условиях повышенных нагрузок, износа, или в агрессивной среде без разрушения. Добавление к углероду хрома (0,8-1,1%) в составе сплава придаёт ему устойчивость к коррозии, повышает показатели прочности, твёрдости, износостойкости, но требует более твёрдого инструмента для обработки резанием и специальных технологий сварки [2].

В таблице 1 указаны механические свойства стали 40X, предел текучести, временное сопротивление разрыву и прочие механические параметры материала [3].

Таблица 1 - Механические свойства

Тип образца	Образец	Предел текучести, $\sigma_{0,2}$, МПа	Временное сопротивление разрыву, σ_b , МПа	Относительное удлинение при разрыве, σ_s , %	Относительное сужение, ψ , %	Ударная вязкость КСЧ при 20°C, Дж/см ²
Продольный	Термический и обработанный	> 785	> 980	> 10	> 45	> 59

Сталь 40X - оптимальный выбор для изготовления вала-шестерни, так как она обеспечивает необходимую прочность, износостойкость и коррозионную стойкость в условиях работы редуктора. Ее повышенная стоимость оправдана её качественными характеристиками и способностью продлить срок службы детали. Выбор стали 40X для вал-шестерни является

оправданным решением, учитывая её эксплуатационные характеристики и условия работы.

1.3 Систематизация поверхностей детали

Все поверхности детали пронумерованы и систематизированы по их назначению, изображены на рисунке 1 и расшифрованы в таблице 2, общий эскиз детали представлен в приложении [Б].

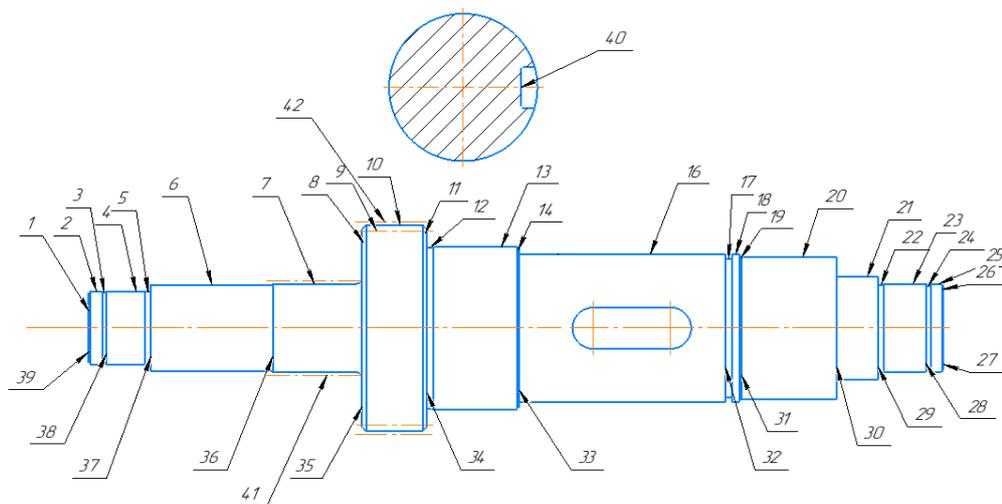


Рисунок 1 - Нумерация поверхностей детали

Таблица 2 – Систематизация поверхностей

Тип поверхности		№ поверхности
Исполнительные базы		40,42
Конструкторские базы		2, 4, 7, 13, 23, 25, 29, 37, 41
Вспомогательные конструкторские базы		16, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38
Технологические базы	Установочная база	35
	Двойная направляющая база	7
Свободные поверхности		1, 3, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 26, 27, 28, 39

Систематизация поверхностей детали позволяет понять, какие из них играют решающую роль в её последующем качественном выполнении своих служебных назначений. Анализируя поверхности, выявляются те, которые непосредственно влияют на качество и корректность выполнения масштабов детали.

1.4 Анализ технологичности конструкции детали

Для изготовления заготовки для детали вал-шестерня может использоваться горячекатаная сталь, штамповка. Для того чтобы выбрать более оптимальный вариант изготовления заготовки, а также для снижения стоимости детали, необходимо сравнить все способы получения такой заготовки.

Материалом для изготовления детали вал-шестерня служит сталь 40Х, которая сочетает в себе невысокую стоимость и хорошие физико-химические свойства, обладает достаточной прочностью, хорошо поддаётся резке и термообработке [3].

Деталь относительно проста в изготовлении, имеет удобную форму и большие размеры, что позволяет надёжно закрепить её и использовать стандартное оборудование, средства автоматизации и механизации. При обработке детали важно уделить особое внимание сложным посадочным поверхностям, цилиндрической поверхности под шестерню. Высокая точность обработки этих и других важных поверхностей необходима для обеспечения бесперебойной работы редуктора.

Конструктивные особенности данной детали позволяют надёжно закрепить её, не нарушая основных принципов единства и соосности баз. Внешние поверхности детали могут использоваться в качестве баз не только для обработки, но и для сборки и захвата роботом.

Механическая деталь вал-шестерня имеет подшипники с посадочными поверхностями диаметром 25 и 30 мм. Цилиндрические поверхности

диаметром 30 и 55 мм поддерживают шестерню. Кроме того, деталь имеет канавки диаметром 24,5; 54,5 и 29,5 мм, по которым выходит шлифовальный круг [4].

Она технологична, хотя и требует прецизионного оборудования, такого как круглошлифовальный станок для обработки посадочных шеек и специальный зуборезный станок для обработки зубчатого венца.

Положительным моментом является то, что деталь представляет собой ступенчатый вал, где размер ступеней уменьшается от центра к концам, что облегчает подведение режущего инструмента к обрабатываемым поверхностям.

Деталь находится в сложных условиях, которые могут привести к повышенному износу в местах контакта с подшипниками и износу зубьев шестерён. Важно обеспечить достаточную прочность и износостойкость детали в условиях высоких нагрузок.

1.5 Формулировка задач работы

В свете поставленной цели по разработке технологического процесса изготовления детали "вал-шестерня" мы приступаем к детальному анализу технических требований и формулируем ключевые задачи:

- Определить тип производства и разработать план технологического процесса с подбором оборудования и средств технического оснащения;
- Спроектировать технологический маршрут, и разработать схемы базирования заготовки;
- Спроектировать заготовку с учётом припусков;
- Провести расчёт операций, определить оптимальные режимы резания и рассчитать время обработки, учитывая все условия;
- Спроектировать подробную технологическую документацию и графические материалы;

- Произвести расчёт силы зажима приспособления, проведён анализ оптимальности выбора данного средства технического оснащения;

- Произвести проектирование режущего инструмента, расчёт силы резания;

- Проанализировать безопасность рабочего пространства, электроизоляции, пожаробезопасности, пути решения возникновения чрезвычайных ситуаций;

- Произвести экономическую оценку проекта, рассчитать стоимость производства детали и представление результатов в виде обоснованного бизнес-плана.

Выполнение этих задач позволит создать технологический процесс, который станет основой для высокоточного и экономически эффективного производства детали вал-шестерня.

2 Технологическая часть

2.1 Выбор стратегии разработки техпроцесса

Исходя из имеющихся данных выпуска деталей (N) 2500 штук в год, массы готовой детали 3,43 кг, коэффициента закрепления операции 10-20 ($K_{з.о.}$) выбираем тип производства по таблице определения типа производства.

От корректности выбора типа машиностроительного производства в последующем зависят все остальные этапы производства начиная от изготовления заготовки и заканчивая сборкой детали и сопутствующих элементов в узел.

В соответствии с таблицей из приложения В, основываясь на годовой программе выпуска 500-2500 деталей, производство относится к среднесерийному типу [5].

2.2 Выбор метода получения заготовки

В машиностроительной промышленности наиболее востребованны отливки из низкоуглеродистой стали. Для стали 40Х характерны оптимальные показатели текучести и температуры плавления, а также устойчивость к образованию трещин в горячей отливке.

Очередным моментом решения вопроса выбора метода получения заготовки является приближение геометрии заготовки к габаритам готовой детали, снижение количества отходов. Наиболее подходящей является штамповка на горизонтально ковочных машинах (ГКМ).

Горячая объёмная штамповка на горизонтально ковочных машинах представляет собой процесс механического прессования с горизонтальным направлением деформирующего давления. Данный вид воздействия применяется для различных видов поковок повышенной точности, характеризуется высокой производительностью, точностью размеров и

экономичностью за счёт минимальных припусков на обработку и, тем самым, экономии материала.

Произведём технико-экономический расчёт изготовления заготовки штамповкой на ГKM, при учёте данных: объём выпуска 2500 шт, масса детали 3,43 кг, материал - сталь 40X, тип производства – среднесерийный.

Расчётная масса поковки $M_{п.р.}$ указана в выражении 1[6].

$$M_{п.р.} = M_d \times K_p, \quad (1)$$

где M_d – масса детали;

K_p - расчётный коэффициент, устанавливаемый в соответствии с ГОСТ 7505 – 89, вычисляем по уравнению 1, кг:

$$M_{п.р.} = 3,43 \times 1,5 = 5,145.$$

Расчёт объёмов заготовки указан на рисунке 2.

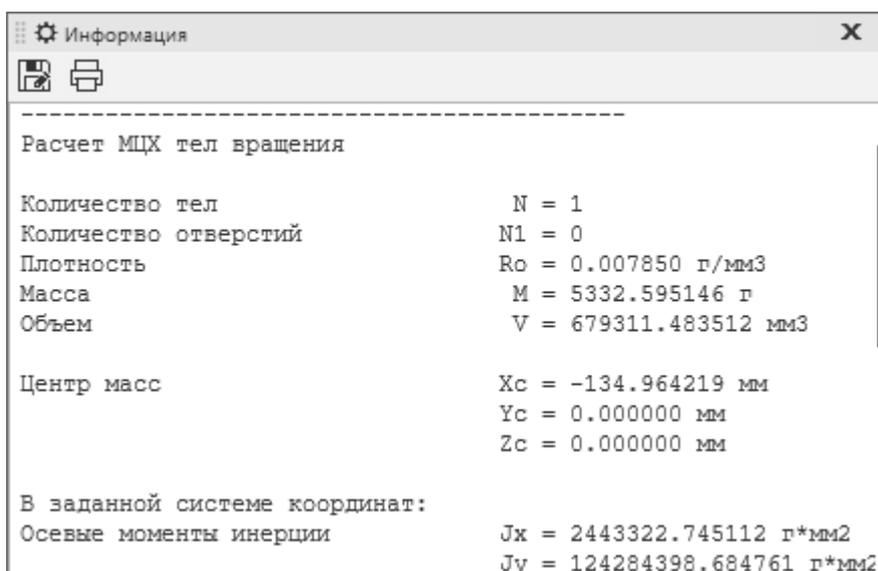


Рисунок 2 – Данные заготовки

Объем заготовки V_3 равен 680 см^3 ; масса штампованной заготовки ($m_{3.ш.}$) равна $5,3 \text{ кг}$. Учитывая вынужденные потери штамповки ($\Pi_{ш.}$) в размере 10% , рассчитаем расход материала ($G_{3.п.}$) на одну единицу продукции, в кг (2):

$$G_{3.п.} = \frac{m_{3.ш.} \times (100 + \Pi_{ш.})}{100}, \quad (2)$$

$$G_{3.п.} = \frac{5,3 \times (100 + 10)}{100} = 5,83.$$

Коэффициент использования материала ($K_{и.м.}$) на изготовление заготовки определяем по формуле 3:

$$K_{и.м.} = \frac{m_{д.}}{G_{3.п.}}, \quad (3)$$

$$K_{и.м.} = \frac{3,43}{5,83} = 0,59.$$

Стоимость штампованной заготовки ($C_{3.ш.}$) находим по формуле 4, руб:

$$C_{3.ш.} = C_M \times G_{3.п.} - (G_{3.п.} - G_{д.}) \times C_{отх.}, \quad (4)$$

$$C_{3.ш.} = 87,5 \times 5,83 - (5,83 - 3,43) \times 20 = 462,13.$$

Метод получения заготовки штамповкой на горизонтально ковочных машинах гарантирует высокую повторяемость форм и соответствия заданным параметрам, возможность получения более сложных форм, минимализацию потерь материала. Чертёж заготовки изображён в приложении [Б].

2.3 Выбор методов обработки поверхностей

Методы обработки поверхностей начинаются с нумеровки поверхностей детали изображённом на рисунке 1 и заполнения таблицы (3) обработки поверхностей [7].

Таблица 3 – Методы обработки поверхностей

№ поверхности	Вид поверхности	Квалитет точности	Шероховатость, Ra	Последовательность обработки
1, 27	Торцы вала, базовые центровые поверхности	14	6,3	Фрезерование черновое Зацентровка
6, 8, 11, 14, 18, 19, 20, 21, 26, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	Свободные поверхности	14	6,3	Токарная черновая Токарная чистовая
4, 23	Исполнительные поверхности, ступени для установки подшипников,	6	0,8	Токарная черновая Токарная чистовая Шлифовальная чистовая
2, 25	Свободные поверхности, внешняя поверхность вала	6	0,8	Токарная черновая Токарная чистовая Шлифовальная чистовая
7, 16	Исполнительные поверхности, ступени для установки подшипников	7	0,8	Токарная черновая Токарная чистовая Шлифовальная чистовая
10	Конструкторские поверхности, зубья шестерни	14	1,6	Токарная черновая Токарная чистовая Шлифовальная чистовая
13	Исполнительные поверхности, ступени для установки подшипников	7	0,8	Токарная черновая Токарная чистовая Шлифовальная чистовая Полирование обычное
42	Свободная поверхность, торцы зубьев шестерни	8	6,3	Зубофрезерная Термическая
40	Шпоночный паз	9	3,2	Шпоночнофрезерная
3, 17, 24	Канавки	13	6,3	Токарная чистовая
5, 12, 22	Канавки	14	6,3	Токарная чистовая
41	Конструкторские базы, зубья шестерни	14	0,8	Токарная черновая Токарная чистовая Термическая

Правильный выбор методов обработки поверхностей является ключевым фактором для обеспечения необходимой точности, качества и долговечности детали.

На нынешнем этапе развития технологий разумным будет использование станков с числовым программным управлением и роботизированных межоперационных систем для повышения точности и производительности.

2.4 Определение припусков и проектирование заготовки

Припуски являются дополнительным слоем материала для возможности проведения механических воздействий на заготовку, для достижения необходимых размеров и форм детали. Чем выше требуемая точность обработки, тем больше должен быть запас на припуск. Например, для торцевой поверхности припуск будет минимальный, а для диаметральной поверхности контактирующей с другими элементами сборки, для лучшего примыкания точность должна быть выше, а следовательно, и припуск делается больше. Немаловажную роль величины припуска имеет качество используемого сырья [7].

Объем заготовки определён в пункте 2.2 исходя из размеров, определённых при её конструировании. Модель заготовки условно разбивается на зоны, на которых указываются размеры с учётом плюсовых допусков, данная модель в облегчённом виде изображена на рисунке 3.

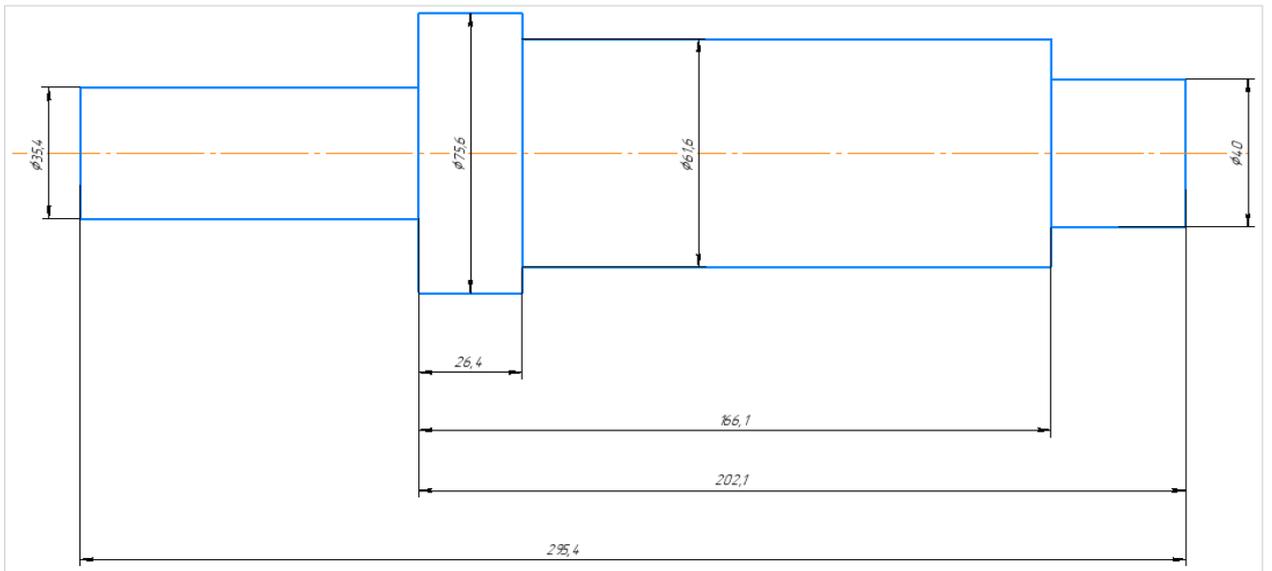


Рисунок 3 – Упрощённый вид заготовки

Правильный расчёт припусков для каждой зоны в отдельности позволяет обеспечить необходимую точность и качество поверхности каждой из поверхностей детали.

В таблице 4 указан расчёт допусков, припусков и операционных размеров при обработке поверхности диаметром 30h7 аналитическим методом.

Таблица 4 – Расчёт припусков на обработку размера диаметром 30h7

Переходы	Элементы припуска, мкм				Допуск, мм	Предельные припуски, мкм		Операционный размер
	Rz	h	Δ	ϵ		2z min	2z max	
Поковка	200	250	903	-	2,2	-	-	$33^{+1,4}_{-0,8}$
Черновое точение	50	50	54	237	0,62	2767	5357	$31_{-0,62}$
Чистовое точение	25	25	2	0	0,062	308	798	$30,3_{-0,062}$
Шлифование	5	5	0,88	0	0,021	104	229	$30_{-0,021}$

При выполнении черного этапа обработки [приложение В] пространственные отклонения детали Δ_1 , соответствуют пространственным отклонениям заготовки $\Delta_{\text{заг}}$, о чем свидетельствует формула 5 [8]:

$$\Delta_1 = \Delta_{\text{заг}} \quad (5)$$

Расчёт пространственных отклонений для штамповочной заготовки при черновой обработке вала вычисляется по формуле 6 [8]:

$$\Delta = \sqrt{\Delta_{\text{кр}}^2 + \Delta_{\text{см}}^2 + \Delta_{\text{ц}}^2}; \quad (6)$$

Для расчёта погрешности зацентровки вала с учётом допуска на размер поверхности ITD, равный 2,2, используем подход, основанный на геометрических и допусковых характеристиках деталей, указанный в формуле 7, мм:

$$\Delta_{\text{ц}} = 0,25(\text{ITD}^2 + 1)^{0,5} \quad (7)$$

$$\Delta_{\text{ц}} = 0,25(2,2^2 + 1)^{0,5} = 0,604$$

Изогнутость $\Delta_{\text{к}}$ при наибольшем размере поковки 293 мм, классе точности Т4 равна 0,6 мм [8].

Для расчёта величины смещения по поверхности разъёма штампа при заданных условиях необходимо учитывать вес поковки, равный 5,154 кг, класс точности Т4 и допустимые значения смещения $\Delta_{\text{см}}$ равной 0,3мм [8]. Подставляя данные в формулу 6 вычисляем, мкм:

$$\Delta = \sqrt{0,6^2 + 0,3^2 + 0,604^2} = 903;$$

После этапа черновой обработки пространственные отклонения будут соответствовать решению уравнения (8):

$$\Delta_{\text{черн}} = K_y \times \Delta_{\text{заг}}, \quad (8)$$

где K_y – коэффициент уточнения для чернового точения, равен 0,06, для чистового - 0,04 мм[8].

Вычисляем по формуле 8 величину пространственных отклонений после операции чернового точения, мкм:

$$\Delta_{\text{черн}} = 0,06 \times 0,903 = 54$$

В результате процедуры чистового точения пространственные отклонения будут соответствовать расчётам в уравнении 9: произведению пространственных отклонений черновой обработки $\Delta_{\text{черн}}$ на коэффициент уточнения при чистовой обработке K_y , мм:

$$\Delta_{\text{чист}} = K_y \times \Delta_{\text{черн}} \quad (9)$$

$$\Delta_{\text{чист}} = 0,04 \times 0,054 = 0,002$$

После перечисленных этапов точения производится термообработка, оставляющая пространственные отклонения, высчитываемые по формуле (10).

$$\Delta_{\text{терм}} = \frac{0,001n_k L}{0,1d+0,3}, \quad (10)$$

где n_k – закалка ТВЧ, равная 0,5,

d - диаметр обрабатываемой поверхности,

Рассчитываем величину пространственных отклонений после термообработки, по формуле 10:

$$\Delta_{\text{терм}} = \frac{0,001 \times 0,5 \times 288}{0,1 \times 30 + 0,3} = 0,044$$

Пространственные отклонения перед процедурой шлифования $\Delta_{\text{ш}}$ (11) складываются из пространственных отклонений после чистового точения $\Delta_{\text{чист}}$ и пространственных отклонений после термообработки $\Delta_{\text{терм}}$, мкм [9]:

$$\Delta_{\text{ш}} = (\Delta_{\text{чист}}^2 + \Delta_{\text{терм}}^2)^{0,5} \quad (11)$$

$$\Delta_{\text{ш}} = (0,002^2 + 0,044^2)^{0,5} = 44$$

Пространственные отклонения с учётом коэффициента уточнения после этапа шлифования высчитываются по формуле 12, мм:

$$\Delta_{\text{ш.о}} = K_y \Delta_{\text{ш}} \quad (12)$$

$$\Delta_{\text{ш.о}} = 0,02 \times 0,044 = 0,00088.$$

Погрешность установки ε_y заготовки вычисляется с учётом погрешности базирования ε_6 и погрешности закрепления ε_3 по уравнению 13:

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2}, \quad (13)$$

Погрешность закрепления ε_3 складывается из погрешностей: радиальной $\varepsilon_{\text{рад}}$, равной 0,3 мм и осевой $\varepsilon_{\text{ос}}$, равной 0,1 мм [10] и определяется по формуле 14:

$$\varepsilon_3 = \sqrt{\varepsilon_{\text{рад}}^2 + \varepsilon_{\text{ос}}^2}. \quad (14)$$

Тогда вычисляется погрешность закрепления и установки по формуле 13 и 14, мм:

$$\varepsilon_3 = \sqrt{0,3^2 + 0,1^2} = 0,316,$$

$$\varepsilon_y = \sqrt{1^2 + 0,316^2} = 1.$$

К таблице есть примечание, учитывая его уровень погрешности уменьшается на 20-40%, тогда мы получаем ε_1 равную 0,237 мм или 237 мкм[10].

Минимальный припуск на процедуру шлифования определяется по формуле 15 [9]:

$$2Z_{3min} = 2(Rz_2 + h_2) + 2\sqrt{\Delta_2^2 + \varepsilon_3^2}, \quad (15)$$

где Rz_2 -высота микронеровностей, полученная на предыдущем переходе, равная 0,025мм;

h_2 – нижнее отклонение обработки.

H_2 высота микронеровностей, полученная на чистовом точении, равная 0,025мм.

По уравнению 15 получаем минимальный припуск на шлифование, мкм [11].:

$$2Z_{3min} = 2(Rz_2 + h_2) + 2\sqrt{0,002^2 + 0^2}, = 104.$$

Минимальный припуск на чистовое точение $2Z_{2min}$ вычисляется в расчётах формулы 16, мкм:

$$2Z_{2min} = 2(Rz_1 + h_1) + 2\sqrt{\Delta_1^2 + \varepsilon_2^2}, \quad (16)$$

$$2Z_{2min} = 2(0,05 + 0,05) + 2\sqrt{0,903^2 + 0,237^2} = 2067.$$

Минимальный припуск на переход черного точения вычисляется по формуле 17, мкм:

$$2Z_{1min} = 2(Rz_3 + h_3) + 2\sqrt{\Delta_3^2 + \varepsilon_1^2}, \quad (17)$$

$$2Z_{1min} = 2(0,2 + 0,250) + 2(0,903^2 + 0,237^2)^{0,5} = 2767$$

Максимальный припуск на черновое точение $2Z_{imax}$ вычисляется (18) сложением минимального припуска на черновое точение $2Z_{imin}$, поле допуска на размер обрабатываемой поверхности предшествующего перехода ITD_{i-1} и текущего перехода ITD_i :

$$2Z_{imax} = 2Z_{imin} + ITD_{i-1} + ITD_i, \quad (18)$$

Максимальный припуск на процедуру шлифования вычисляется аналогичным образом, по формуле 19, мм:

$$2Z_{3max} = 2Z_{3min} + ITD_2 + ITD_3, \quad (19)$$

$$2Z_{3max} = 0,104 + 0,1 + 0,025 = 0,229.$$

Максимальный промежуточный припуск на чистовое точение находим по формуле 20, мкм:

$$2Z_{2max} = 2Z_{2min} + ITD_1 + ITD_2, \quad (20)$$

$$2Z_{2max} = 0,308 + 0,390 + 0,1 = 0,798.$$

Максимальный промежуточный припуск на черновое точение вычисляем по аналогичной схеме, формуле 21, мм:

$$2Z_{1max} = 2Z_{1min} + ITD_3 + ITD_1, \quad (21)$$

$$2Z_{1max} = 2,767 + 2,2 + 0,390 = 5,357.$$

Номинальные припуски между переходами составляют: для шлифования формула 22, для чистового точения формула 23, для чернового точения формула 24:

$$2Z_3 = 2Z_{3min} + es_d + es_2, \quad (22)$$

$$2Z_2 = 2Z_{2min} + es_2 + es_1, \quad (23)$$

$$2Z_1 = 2Z_{1min} + es_1 + es_3. \quad (24)$$

Производим расчёт припусков для шлифования, чистового и чернового точения соответственно, мм:

$$2Z_3 = 0,104 + 0 + 0,1 = 0,204;$$

$$2Z_2 = 0,308 + 0 + 0,39 = 0,698;$$

$$2Z_1 = 2,767 + 0 - 0,8 = 1,967.$$

Операционные размеры детали на шлифование указаны в уравнении 25, мм:

$$D_3 = D_d = 30_{-0,021}; \quad (25)$$

Операционные размеры на операции чистового точения, исходя из данных детали (26) и номинального промежуточного припуска на шлифование (23), указаны в уравнение 26, мм [10]:

$$D_2 = D_d + 2Z_3 \quad (26)$$

$$D_2 = 30 + 0,204 = 30,204 = 30,3_{-0,062}$$

На операции чернового точения с учётом припуска 24, выражено в уравнение 27, мм:

$$D_1 = D_2 + 2Z_2 \quad (27)$$
$$D_1 = 30,2 + 0,698 = 30,898 = 31_{-0,62}.$$

В результате окончательный размер заготовки $D_{\text{заг}}$ узнаем из уравнения 28, где складываем диаметр заготовки D_1 и номинальный припуск на черновое точение Z_1 , мм:

$$D_{\text{заг}} = D_1 + 2Z_1 \quad (28)$$
$$D_{\text{заг}} = 31 + 1,967 = 32,967 \approx 33.$$

Получаем окончательный размер заготовки по поверхности $D = 30h7$:

$$D_{\text{заг}} = 33_{-0,8}^{+1,4}$$

После токарной обработки размер поверхности должен соответствовать требованиям качества $h7(+0,025)$ и быть в диапазоне 30-30,025 миллиметров. Подробное описание чистовой обработки, с указанием размеров и шероховатостей, указаны в приложении Г.

Для определения общих припусков на механическую и термическую обработки, напусков, допусков размеров, пространственных отклонений, шероховатостей поверхностей используем ГОСТ 7505-89 «Поковки стальные штампованные».

Ниже представлены припуски, промежуточные размеры и допуски при обработке диаметральных поверхностей в виде таблицы 5 и других поверхностей в таблице 6.

Таблица 5 - Расчёт припусков и промежуточных размеров и допусков при обработке диаметральных поверхностей табличным методом

Размер	Переходы	Элементы припуска, мкм		Допуск, мм	Предельные припуски, мкм		Операционный размер
		Rz	h		2z min	2z max	
		Ø55h7	Поковка	200	250	2,2	-
	Черновое точение	50	50	0,46	1000	3660	56 _{-0,46}
	Чистовое точение	25	25	0,12	200	780	55,2 _{-0,12}
	Шлифование	5	5	0,03	70	220	55 _{-0,03}
Ø 50h7	Поковка	200	250	2,2	-	-	54,2 ^{+1,6} _{-0,9}
	Черновое точение	50	50	0,46	1000	3660	51 _{-0,46}
	Чистовое точение	25	25	0,12	200	780	50,2 _{-0,12}
	Шлифование	5	5	0,025	70	220	50 _{-0,025}
Ø 30k6	Поковка	200	250	2,2	-	-	33,8 ^{+1,4} _{-0,8}
	Черновое точение	50	50	0,39	800	3390	31 _{-0,39}
	Чистовое точение	25	25	0,1	150	640	30,2 _{-0,1}
	Шлифование	5	5	0,017	40	156	30 ^{+0,015} _{+0,002}
Ø 35	Поковка	200	250	2,2	-	-	38 ^{+1,4} _{-0,8}
	Черновое точение	50	50	0,39	800	3390	35 _{-0,39}
Ø 48	Поковка	200	250	2,2	-	-	51 ^{+1,6} _{-0,9}
	Черновое точение	50	50	0,39	800	3390	48 _{-0,39}
Ø 29,5	Поковка	200	250	2,2	-	-	32,5 ^{+1,4} _{-0,8}
	Черновое точение	50	50	0,33	800	3390	29,5 _{-0,33}
Ø 25	Поковка	200	250	2,2	-	-	28 ^{+1,4} _{-0,8}
	Черновое точение	50	50	0,52	2767	5297	25,8 _{-0,52}
	Чистовое точение	25	25	0,052	308	722	25 _{-0,052}
	Шлифование	5	5	0,013	104	201	25 ^{+0,015} _{+0,002}

Таблица 6 - Расчёт поверхностей припусков, межпереходных размеров и размеров заготовки табличным методом.

Размер, мм	Переходы	Элементы припуска, мм		Допуск	Предельные припуски, мкм		Операционный размер с отклонением, мкм
		$2Z_{\min}$	$2Z_{\max}$		A_{\min}	A_{\max}	
174	Заготовительная	–	–	4,5	180,0	184,5	$180,0 \begin{pmatrix} +3,0 \\ -1,2 \end{pmatrix}$
	Черновое точение с первого установа	0,5	4,5	1,0	175,5	176,5	$175,5_{-1,0}$
	Черновое точение со второго установа	0,5	1,0	1,0	173,0	174,0	$174_{-1,0}$
21	Заготовительная	–	–	1,3	23,94	25,24	$23,94 \begin{pmatrix} +0,9 \\ -0,4 \end{pmatrix}$
	Черновое точение с первого установа	0,5	1,92	0,52	22,02	22,54	$22,02_{-0,87}$
	Черновое точение со второго установа	0,5	1,02	0,52	20,48	21,0	$21_{-0,52}$

В реальных условиях расчёты припусков, допусков, межпереходных размеров и размеров заготовки могут быть более сложными и требовать уточнения с учётом всех факторов, влияющих на точность и качество обработки.

2.5 Разработка технологического маршрута и плана изготовления

Разработка маршрута позволяет упростить процесс изготовления, снизить стоимость и сократить сроки производства. Правильно разработанный маршрут обеспечивает получение деталей одинакового качества при всем процессе изготовления. В приложении [Д] указан маршрут обработки детали по переходам.

2.5.1 Разработка технологического маршрута

Маршрут обработки детали описан в таблице 7.

Таблица 7 – Маршрут обработки детали

№ опер.	Метод обработки	Обрабатываемые поверхности	Наименование операции
005	Фрезерование	Наружная поверхность вала и торец	Фрезерно-центровальная
010	Черновое точение	Наружная поверхность вала и центровые отверстия	Токарная черновая с ЧПУ
020	Чистовое точение	Наружная поверхность вала и центровые отверстия	Токарная чистовая с ЧПУ
030	Фрезерование	Наружная поверхность вала и торец	Фрезерная
035	Зубонарезание	Наружная поверхность вала и торец	Зубофрезерная
040	Шлифование	Наружная поверхность вала и центровые отверстия	Шлифовальная

Правильный технологический маршрут гарантирует, что деталь будет изготовлена с необходимой точностью, предотвращают потери материала при обработке.

2.5.2 План изготовления детали

План изготовления детали описывает все необходимые действия по изготовлению детали от получения заготовки до этапа сборки в готовый продукт, является важным документом, который обеспечивает координацию всех работ по изготовлению детали и позволяет контролировать качество и сроки производства. Корректно составленный план увеличивает производительность, даёт возможность контроля стоимости производства и повышает качество изделия.

2.5.3 Разработка схем базирования

При фрезеровании паза под шпонку координация следует принципу совмещения технологических и конструкторских баз. Для этого используется стандартная схема базирования вала, где конструкторская база, являющаяся

опорными шейками вала, устанавливается на две призмы. Профиль паза под шпонку фрезеруется в вертикальной плоскости, проходящей через линию центров призмы [11]. Для дальнейшего проектирования станочного приспособления необходимо рассмотреть оптимальную схему базирования (рисунок 4).

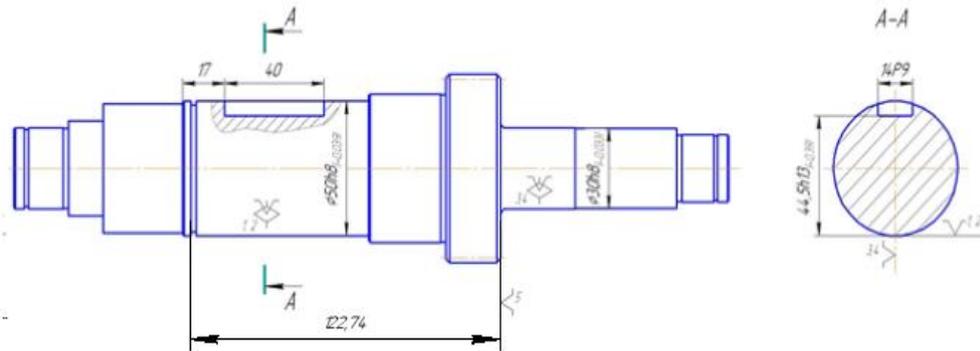


Рисунок 4 - Схема базирования при фрезеровании шпоночного паза

Погрешность базирования заготовки в направлении размера 17 мм равна допуску на размер $92_{-0,87}$ мм (расстояние от левого торца детали до точки 5), т.е. $\epsilon_B(17)$ равна 0,87. Погрешность базирования $\epsilon_B(44,5)$ заготовки для достижения $44,5h13$, определяется точностью расстояния между линией центров призм и верхней образующей поверхности цилиндра $\varnothing 50h8$ мм(измерительной базой), формулой 29:

$$\epsilon_B(44,5) = \frac{Td}{2} \left(\frac{1}{\sin \alpha} - 1 \right), \quad (29)$$

где Td – допуск диаметра опорной шейки, равный 0,039 мм;
 α – угол призмы.

При использовании прямых призм ($\alpha=90^0$) погрешность базирования $\varepsilon_B(44,5)$ будет равна 0,008 мм. По операционному размеру $44,5h13_{(-0,39)}$ определим погрешность базирования ε_B , допускаемую точностью выбранного метода обработки по формуле 30, мм:

$$\begin{aligned}\varepsilon_B(44,5h13_{(-0,39)}) &= T(44,5) - \omega(44,5), \\ \varepsilon_B(44,5h13_{(-0,39)}) &= 0,39 - 0,09 = 0,3.\end{aligned}\tag{30}$$

То есть $\varepsilon_B(44,5) > \varepsilon_B(44,5h13_{(-0,39)})$.

Для снижения неравномерности, рекомендуется предусмотреть допуск на смещение, $T(0)$, равный двум допускам на ширину шпоночного паза[11], мм:

$$T(0) = 2 \times 0,018 = 0,036.$$

Тогда требуемая расчётная точность $\omega(0)$ метода обработки составит:

$$\omega(0) = 0,036 - 0,08 = 0,044 \text{ мм.}$$

Погрешность базирования заготовки относительно плоскости симметрии шпоночного паза $\varepsilon_B(0)$, оказывает влияние на симметричность этого паза по отношению к оси цилиндрической поверхности вала диаметром 50 мм. Значение указанной погрешности базирования соответствует совпадению общей оси вала с осью цилиндрической поверхности вала диаметром 50мм, то есть ε_B равно 0,0195 мм[12].

2.6 Выбор средств технологического оснащения

Средства технического оснащения - это совокупность оборудования, инструментов, приспособлений и других средств, необходимых для

производства деталей и сборки изделий. Основные виды средств технического оснащения: станки (токарные, фрезерные, шлифовальные и др.), инструменты (режущие, измерительные, монтажные), приспособления (станочные, сборочные контрольно-измерительные), другое оборудование (подъёмно транспортное, оборудование для истки и подготовки поверхностей и др.)

Выбор и применение средств технического оснащения зависит от типа производства, характеристик изделий, требований к точности и качеству обработки. Правильный подбор оборудования, инструментов и приспособлений обеспечивает эффективность и качество производства.

2.6.1 Выбор оборудования

Для обработки вала-шестерни важно учитывать какие размеры будет иметь заготовка, например максимальный диаметр и длина заготовки непосредственно влияют на выбор станка с подходящими характеристиками.

Для детали вал-шестерня, требуется высокая точность и минимальная шероховатость поверхности (Ra). Важно выбрать станок, который соответствует этим требованиям. Например, токарные станки с высокой жёсткостью и точностью могут обеспечить необходимую шероховатость.

Необходимо учитывать частоту вращения шпинделя, которая должна соответствовать материалу заготовки и необходимым режимам резания. Также важно учитывать скорость перемещения стола для достижения оптимальной производительности.

Мощность станка должна быть достаточной для обработки выбранного материала и геометрии детали.

Для серийного производства важно выбирать оборудование, которое сможет обеспечить нужный, объем выпуска в заданные сроки. Это включает использование автоматизированных станков и наладочных устройств для повышения производительности.

Оборудование должно соответствовать стандартам безопасности, обеспечивать удобство работы для операторов и минимизировать негативное воздействие на окружающую среду. Например, наличие систем пыле- и шумоподавления, а также автоматизированных систем безопасности [13].

Наименования и модели выбранного оборудования представлены в графе 2 таблицы 8.

Так как производство серийное, приоритетным выбором будет варианты станков с числовым программным обеспечением (ЧПУ). Такие станки должны быть оснащены специальными наладочными устройствами и инструментами для повышения точности.

2.6.2 Выбор приспособлений

Принцип работы с приспособлением заключается в установлении детали в приспособление, фиксацией детали зажимными устройствами. Наименование приспособлений занесено в графу 4 таблицы 8.

2.6.3 Выбор режущего инструмента

В графе 3 таблицы 8 указан подбор режущего инструмента для каждой операции с учётом всех факторов, влияющих на процесс.

Правильно подобранный инструмент гарантирует высокое качество, производительность и экономичность процесса изготовления вал-шестерни.

2.6.4 Выбор средств контроля

Наименование, обозначение и стандарт выбранных измерительных средств занесены в графу 5 таблицы 8. Данные по выбору СТО заносим в таблицу 8 [14].

Таблица 8 – Выбор СТО

№ опер.	Наименование операции, модель оборудования	Наименование режущего инструмента	Наименование станочного приспособления	Наименование и типоразмер измерительного средства
005	Фрезерно-центровальная, фрезерно-центровальный станок мод. МР71	Фреза торцовая; Сверло центровочное	Оправка	-
010	Токарная с ЧПУ, токарный полуавтомат с ЧПУ 16К20Ф3	Резец проходной PCLNR 2525 M12 SANDVIK; пластина CNMG 120408 –PM (4035) SANDVIK	Трехкулачковый патрон; адаптер для токарного инструмента ASHN-VDI 40-25 HP SANDVIK	Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,05 ГОСТ 166-89 и калибр-скобы ГОСТ 18360-93
020	Токарная с ЧПУ, токарный полуавтомат с ЧПУ 16К20Ф3	Резец проходной PCLNR 2525 M12; пластина CNMG 120404 –PM (4035) SANDVIK; резец для обработки канавок DGHR 2525MS SANDVIK; Пластина DGM20CT VP20MF SANDVIK	Адаптер для токарного инструмента ASHN-VDI 40-25 HP SANDVIK	Штангенциркуль ШЦ-I-300-0,01 ГОСТ 166-89 и калибр-скобы ГОСТ 18360-93
030	Фрезерная с ЧПУ, вертикально-фрезерный станок с ЧПУ 6P13Ф3	фреза шпоночная твердосплавная 2P340-1400-PA (DC=14,0, LF=63,0 мм, z=4) SANDVIK	Упор на призмы с упором в торец; патрон CoroChuck 930-I50-S-20-089 2) Цанга 393.15-20 08 ER20SANDVIK	Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,05 ГОСТ 166-89
035	Зубофрезерная, зубофрезерный полуавтомат 53A30	Фреза червячная 2510-4071 (m=2, z=14) ГОСТ 9324-80	Оправка	Штангенциркуль ШЦ-I-300-0,01 ГОСТ 166-89 и калибр-скобы ГОСТ 18360-93
040	Шлифовальная, круглошлифовальный полуавтомат 3M153ВФ2	Круг ПП 24А 25 СТ2 К7 ПК	Оправка	Микрометр МК Ц100-1 ГОСТ 6507-90

Выбор средств контроля при изготовлении вал-шестерни зависит от требований к точности и качеству готового изделия. Необходимо

контролировать как геометрические параметры (размеры, формы, расположение поверхностей), так и качество поверхности. В процессе изготовления используются различные средства контроля, точность измерения зависит от класса точности измерительного инструмента.

Выбор средств технического оснащения для производства основывается на анализе требований к качеству, объемам производства и характеристиках используемых материалов. Учитывается возможность универсальности средств технического оснащения, модернизации и его внедрения в существующие производственные процессы [14].

2.7 Проектирование технологических операций

Рассмотрим проектирование технологических процессов токарной операции «010» для детали "вал-шестерня" и выбор инструментов контроля.

На рисунке 5 изображены технологические базы для операции 010 и обрабатываемые поверхности.

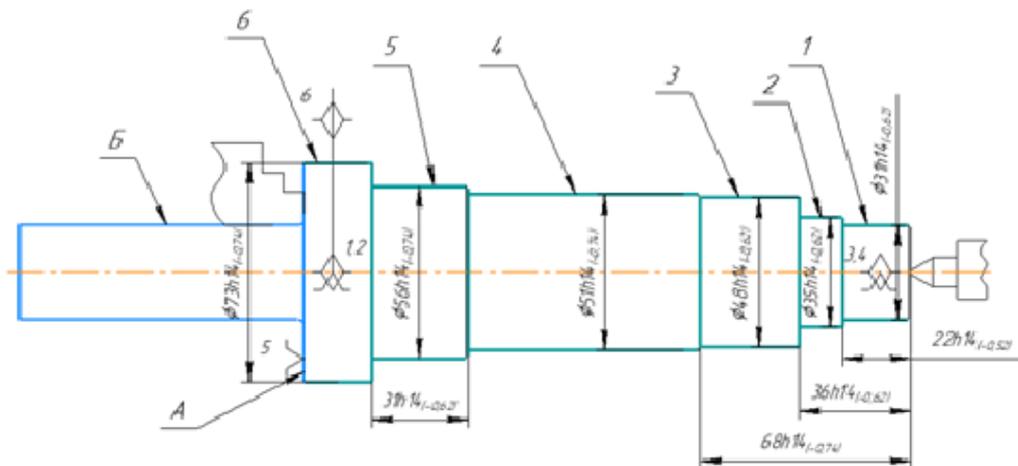


Рисунок 5 Базы операции 010 и обрабатываемые поверхности

Схема базирования на операции 010 достигнута установкой заготовки трехкулачковом патроне. Здесь производится подрезка торцов и черновое

точение поверхности заготовки. В таблице 9 указаны режущий и вспомогательный инструмент для операции 010.

Таблица 9 - Режущий и вспомогательный инструмент для обработки на операции 010

№ поверхности	Способ обработки	Режущий инструмент	Вспомогательный инструмент
1,2,3,4,5,6	черновое точение Ø30k6, Ø29,5, Ø35, Ø48, Ø50h7, Ø55h7, Ø70; подрезка торцов	Резец проходной PCLNR 2525 M12 [SANDVIK]; пластина CNMG 120408 -PM (4035) [SANDVIK]	Адаптер для токарного инструмента ASHN-VDI 40-25 HP [SANDVIK]

В качестве мерительного инструмента применяю штангенциркуль ШЦ- I-125-0,05 ГОСТ 166-89 и калибр-скобы ГОСТ 18360-93.

2.7.1 Расчёт режимов резания

Рекомендуемые значения глубин резания и подач для точения [15]. Режимы резания указаны в таблице 10.

Таблица 10 - Режимы резания

Пластины	Глубина резания, a_p , мм			Подача, f_p , мм/об		
	рек.	Min	Max	рек.	Min	Max
CNMG 120408-PM	3,00	0,50	5,50	0,30	0,15	0,50
CNMG 120408-PF	0,40	0,30	1,50	0,20	0,10	0,40
CCMT 120408-PM	0,96	0,60	3,60	0,24	0,12	0,36

Целесообразно использование таблицы и рекомендации производителей инструмента, которые могут предоставить информацию о рекомендуемых режимах для конкретных материалов и инструментов [12].

Операция 010 Токарная с ЧПУ

Точение и подрезка поверхности диаметром 70 и подрезка торца.

Длина рабочего хода резца выражена суммой длины обработки $L_{обр}$, равной 30 мм и длиной врезания резца в заготовку $L_{врез}$, равным 2 мм, в уравнении 31, мм:

$$\begin{aligned}L_{рх} &= L_{обр} + L_{врез}, \\L_{рх1} &= 30 + 2 = 32.\end{aligned}\tag{31}$$

Рекомендуемая скорость резания V_p равна 110 м/мин [12]:

Частота вращения шпинделя $n=1000$ об/мин, вычисляем n_1 по формуле, об/мин:

$$n_1 = \frac{1000 \cdot 110}{3,14 \cdot 70,0} = 500.$$

Минутная подача S_m показана произведением рекомендуемой подачи резания f_z , равной 0,4 мм/об [12] на частоту вращения шпинделя n_1 , в уравнении 32, мм/мин:

$$\begin{aligned}S_m &= f_z \times n \\S_m &= 0,4 \times 500 = 200.\end{aligned}\tag{32}$$

Проверка по мощности P_c выражена в уравнении 33:

$$P_c = \frac{V_c \times a_p \times f_n \times k_c}{60 \times 10^3},\tag{33}$$

где a_p – глубина резания, равная 2,5 мм.

Удельная сила резания k_c выражена в формуле 34.

$$k_c = k_{c1} \times h_m^{-m_c} \times \left(1 - \frac{\gamma_0}{100}\right),\tag{34}$$

где k_{c1} – удельная сила резания действительная для $h_m = 1$ мм, равная 1750 Н/мм²;

m_c – коэффициент поправочный для фактической h_m , равный 0,25;

h_m – средняя толщина стружки, равная $f_n \sin 95^\circ$, равная 0,49;

γ_0 – передний угол пластины, равный 17 [12].

Удельная сила резания, вычисляем по формуле 34, Н/мм³:

$$k_c = 1750 \times 0,49^{-1,25} \times \left(1 - \frac{17}{100}\right) = 173.$$

Проверка по мощности, вычисляем по формуле 33, кВт:

$$P_c = \frac{110 \cdot 2,5 \cdot 0,4 \cdot 1736}{60 \cdot 10^3} = 3,31.$$

Вычисляем основное машинное время T_{01} выражено в формуле 35, мин:

$$T_{01} = \frac{L_{p.x.}}{S_m}. \quad (35)$$

$$T_{01} = \frac{32}{200} = 0,16,$$

Для остальных переходов расчёты длины рабочего хода резца, глубины резания, частоты вращения шпинделя, подачи, силы резания и основного машинного времени проводится аналогичным образом, результаты расчётов представлены в таблице 11 [12], [16].

Таблица 11 - Режимы резания на операцию 010

Операция	Длина врезания резца, $L_{\text{врез}}$, мм	Глубина резания, a_p , мм	Средняя толщина стружки, мм	Подача резания f_z , мм/об	Рекомендуемая скорость резания V_p м/мин	Основное машинное время, T_{01} , мин
Черновое точение $\varnothing 29,5$	41,0	2,5	1	0,4	110	0,10
Черновое точение $\varnothing 30h7$	30,0	2,5	1	0,4	110	0,06
Подрезка торца $\varnothing 70$	22,0	2,5	1	0,4	110	0,10

2.7.2 Нормирование технологического процесса

Операция 010 Токарная с ЧПУ, основное машинное время T_0 равно 1,25 минуты. Вспомогательное время на операцию T_B выражено в уравнении 36.

$$T_B = t_{\text{вр}} + K_{\text{тв}} + t_{\text{в.а}} + T_{\text{изм}}, \quad (36)$$

где $K_{\text{тв}}$ – коэффициент поправочный на ручное вспомогательное время, равный 1, [13]

$t_{\text{уст}}$ - время установки, равное 0,28 мин [13].

Вспомогательное ручное время $t_{\text{в.оп}}$ управления станком состоит из: времени запуска станка, равным 0,04 мин; времени наладки заградительного щитка, равным 0,03 мин; времени установки координат, равным 0,15 мин. Имея эти данные [13, с.72] находим вспомогательное ручное время на приёмы управления станком, мин:

$$t_{\text{в.оп}} = 0,04 + 0,03 + 0,15 = 0,22,$$

$$t_{\text{вр}} = 0,28 + 0,22 = 0,5.$$

Вспомогательное автоматическое время $t_{\text{в.а}}$ составит из: ускоренного перемещения рабочих органов станка равное 0,03 мин; одновременное

установочное перемещение рабочих органов станка равно 0,08 мин; установочное перемещение в зоне резания равно 0,05 мин; поворот резцедержателя равный 0,07 мин. Имея данные находим вспомогательное автоматическое время на каждый переход $t_{в.а}$, мин:

$$t_{в.а} = 0,03 + 0,08 + 0,05 + 0,07 = 0,23$$

$$T_{изм} = 0,16$$

$$T_{в} = 0,5 + 0,23 \times 3 + 0,16 = 1,35$$

Оперативное время $T_{опер.}$, узнаем сложением времени операции T_o и вспомогательного $T_{в}$, по формуле 37, мин:

$$T_{опер.} = T_{в} + T_o \quad (37)$$

$$T_{опер.} = 1,35 + 1,25 = 2,6$$

Время на обслуживание $T_{обсл.}$ в соответствии с картой [13, с. 223], это 10% от времени операции, следовательно 0,26 минуты.

Штучное время $T_{шт.}$, рассчитываем по формуле 38, берём в расчёт количество одновременно обрабатываемых деталей q равно 1, мин:

$$T_{шт.} = \frac{T_{оп.}}{q} \left(1 + \frac{T_{обсл.}}{100}\right) \quad (38)$$

$$T_{шт.} = 2,6 \left(1 + \frac{10}{100}\right) = 2,88$$

Штучно-калькуляционное время $T_{шк}$ выражено с учётом подготовительно – заключительного времени $T_{п.з.}$, равного 16 минутам [13], в формуле 39, мин:

$$T_{шк} = T_{шт.} + \frac{T_{п.з.}}{n} \quad (39)$$

$$T_{\text{шк}} = 2,88 + \frac{16}{54} = 3,18.$$

В таблице 12 указаны нормы времени по всем операциям.

Таблица 12 - Нормы времени по операциям

№ опер.	Наименование операции	To, мин	Tв, мин	Tпз, мин	tшт, мин	tшк, мин
005	Фрезерно-центровальная	0,41	1,11	25	1,7	2,53
010	Токарная с ЧПУ	1,25	1,35	16	2,88	3,18
020	Токарная с ЧПУ	2,46	3,19	16	6,22	6,60
030	Фрезерная с ЧПУ	0,17	1,20	21	1,5	2,0
035	Зубофрезерная	32,3	0,79	16	35,9	36,28
040	Шлифовальная	2,02	1,39	24	3,72	4,16

Установленные нормы времени могут корректироваться в зависимости от условий производства (серийность, квалификация рабочего, использование передовых методов и приёмов труда и т. д.). Коэффициенты корректировки берутся из справочников или устанавливаются на основании анализа фактических трудозатрат. Нормативы времени используются для планирования и учёта производства, а также для разработки систем оплаты труда.

3 Расчёт и проектирование станочного приспособления

Станочное приспособление призма — это специализированное оборудование, используемое в машиностроении для фиксации и обработки деталей на станках. Основная функция призмы заключается в обеспечении надёжного и точного крепления заготовок, а также в создании необходимых углов и ориентации деталей во время обработки.

Призма имеет форму параллелепипеда с наклонными гранями, что позволяет устанавливать заготовку под необходимым углом к плоскости обработки.

На рисунке 6 изображена схемы приспособления.

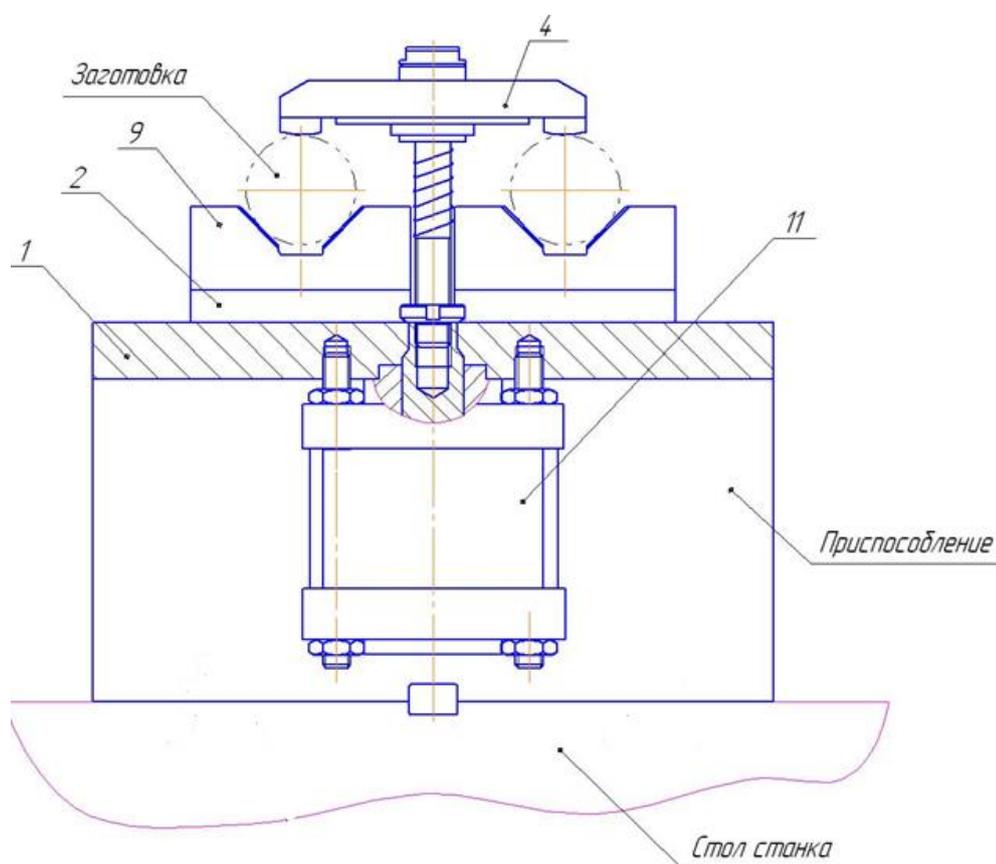


Рисунок 6 - Конструктивная схема приспособления

Приспособление состоит из корпуса 1, с вмонтированным пневмозажимом. Обрабатываемый компонент размещается на основные установочные элементы - призмы 9 до упора в шейку вала диаметром 70 мм. Торце поверхности диаметра 70 мм является технологической базой в отношении размера 17 мм. Закрепление производится зажимным устройством, усилие зажима передаётся прихвату 4 от пневмоцилиндра 11 через регулируемый болт 15. На нижнем основании опорной плиты имеется шпоночный паз со шпонками 8 для ориентации приспособления на столе станка. Для корректировки точности положения призм в пространстве используется контрольная оправка [19]. Подробное описание приспособления призма в приложении [Е].

По уравнению 40 определяем главную составляющую силы резания P_z при фрезеровании.

$$P_z = \frac{10C_p t^x S_z^y B^{u_z}}{D^q n^w} K_{MP}, \quad (40)$$

где z - число зубьев фрезы, равное 5;

C_p - коэффициент, равный 68,20;

x, y, u, q, w - показатели степени, равные 0,86; 0,72; 1,0; 0,86,1; 0;

S_z - величина подачи на один зуб, равная 0,08 мм;

n - частота вращения фрезы выражена в уравнении 41[14].

$$n = \frac{1000 \cdot V_u}{\pi D}, \quad (41)$$

Рассчитаем скорость резания V по формуле 42:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^{u \cdot z^p}} \cdot K_v, \quad (42)$$

где C_v , q , x , y , u , p , m - показатели степени, равные 46,7; 0,45; 0,5; 0,5; 0,10; 0,1; 0,33 [14, с.261].

Вычисляем скорость резания по формуле 42, м/мин:

$$V = \frac{46,7 \cdot 14^{0,45}}{80^{0,33} \cdot 3,0^{0,5} \cdot 0,08^{0,5} \cdot 16^{0,1} \cdot 50,1} \times 0,78 = 40.$$

Рассчитываем частоту вращения фрезы n по уравнению 41, об/мин:

$$n = \frac{1000 \cdot 40}{3,14 \cdot 14,0} = 900.$$

K_{MP} – поправочный коэффициент, учитывающий влияние качества обрабатываемого материала на силовые зависимости [14, с.264].;

$$K_{MV} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n = \left(\frac{598}{750}\right)^{0,3} = 0,93.$$

Вычисляем главную составляющую силы резания по формуле 3.1, Н:

$$P_z = \frac{10 \times 68,20 \times 3,0^{0,86} \times 0,08^{0,72} \times 14,0^{1,0} \times 5}{16^{0,86} \times 796^0} \times 0,93 = 1923.$$

Определяем крутящий момент по формуле 43, Н×м:

$$M = \frac{P_z \times D}{2 \times 100}, \quad (43)$$

$$M = \frac{1923 \times 50}{2 \times 100} = 480,8.$$

Основное время T_o выражено формулой 44:

$$T_o = \frac{Lp.x}{S_M}, \quad (44)$$

$$L = I + y + \Delta. \quad (45)$$

Где Δ – погрешность равная $1 \div 5$ мм, принимаем $\Delta = 2$ мм. Тогда:

$$L = 40 + 2 = 42 \text{ мм.}$$

Рассчитываем основное время по формуле 3.5 мин:

$$T_o = \frac{42}{900 \times 0,08 \times 5} \times 2 = 0,23 = 0,23.$$

Режимы обработки резанием в процессе фрезерования [14] сведены в таблицу 13.

Таблица 13 - Режимы резания в процессе фрезерования

Содержание перехода	Режимы обработки				
	t, мм	S _z , мм/зуб	v, м/мин	n, об/мин	T ₀ , мин
Фрезерование	3	0,08	40	900	0,23

Правильный выбор скорости резания, подачи, глубины резания и других параметров позволяет оптимизировать процесс, улучшить качество детали и продлить срок службы инструмента.

Расчётная схема усилий зажима действующих на заготовку сил приведена на рисунке 7.

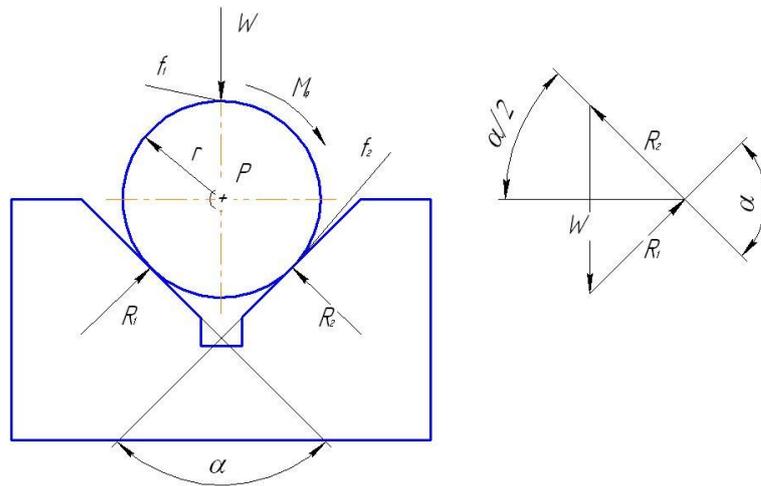


Рисунок 7 - Расчётная схема действующих на заготовку сил

Расчёт из условия действия крутящего момента M_p начинается с уравнение равновесия под действием силы обработки (без учёта веса заготовки), рассчитывается по формуле 463.7:

$$kM_p = M_{тр1} + M_{тр2} = W/f_1 + W/f_{пр}. \quad (46)$$

Расчётная формула указана в 47:

$$W = \frac{kM_p}{r(f_1 + f_{пр})}, \quad (47)$$

где: M_p – крутящий момент, равный 134,6 Нм;

r – радиус заготовки, равный 0,015 м;

k - коэффициент, высчитываемый по формуле 48:

$$k = k_0 \times k_1 \times k_2 \times k_3 \times k_4 \times k_6, \quad (48)$$

где: k_0 – гарантированный коэффициент запаса, равен 1,5;

k_1 – коэффициент, учитывающий возрастание затрачиваемых сил вследствие затупления инструмента, соответствует коэффициенту, отвечающему за неравномерность сил резания k_2 , равен 1,2;

k_3 – коэффициент непостоянства развиваемых сил фиксации, равен 1,3;

k_4 – коэффициент непостоянства сил зажимных устройств равен 1,0;

k_5 – коэффициент погрешности непостоянности положения мест контакта заготовки с установочными элементами, равен 1 [20].

$$k = 1,5 \times 1,2 \times 1,2 \times 1,3 \times 1,0 \times 1,0 = 2,8;$$

$$W = \frac{2,8 \times 134,6}{0,015 \times (0,16 + 0,23)} = 64423,9 \text{ Н};$$

$$2,8 \times 134,6 = (64423,9 \times 0,16 \times 0,015) + (64423,9 \times 0,23 \times 0,015 \times 377) = 377.$$

Принимаем большее усилие на штоке W , равное 64423,9 Н.

Необходимый диаметр пневмоцилиндра находим в формуле 49.

$$D = 2 \times \sqrt{\frac{W}{\rho \times \pi \times \eta}}, \quad (49)$$

где ρ – давление в пневмопроводе, равное 0,63 МПа,

η – КПД пневмоцилиндра, равное 0,95.

Рассчитываем диаметр пневмоцилиндра основываясь на уравнение 49, мм:

$$D = 2 \times \sqrt{\frac{12691,8}{0,63 \times 3,14 \times 0,95}} = 159.$$

По найденному диаметру D согласно ГОСТ 15608-81 подбираем цилиндр $D = 160$ мм.

При расчёте зажимного механизма для начала, зная массу (m) детали, равную 3,43 кг и ускорение свободного падения (g) равное $9,81 \text{ м/с}^2$, рассчитаем нормальную силу, по формуле 50:

$$F_n = m \times g, \quad (50)$$

$$F_n = 3.43 \times 9.81 \approx 33.7 \text{ Н.}$$

С учётом коэффициента закрепления K равное 15, сила зажима F_z будет рассчитываться следующим образом по формуле 51, Н:

$$F_z = F_n \times K, \quad (51)$$

$$F_z = 33,7 \times 15 = 505,5.$$

Производится расчёт силы пневмоцилиндра. Площадь поршня пневмоцилиндра A , учитывая диаметра поршня d равный $0,159\text{м}^2$, рассчитывается по формуле 52, м^2 :

$$A = (\pi \times d^2)/4 \quad (52)$$

$$A = (\pi \times (0,159^2))/4 \approx 0,0197$$

Сила $F_{\text{пневмо}}$ пневмоцилиндра рассчитывается произведением площади пневмоцилиндра A на усилие P , равное 630000 Па , по формуле [21]:

$$F_{\text{пневмо}} = P \times A, \quad (53)$$

$$F_{\text{пневмо}} = 630000 \times 0,0197 \approx 12462.$$

Учитывая КПД пневмоцилиндра, фактическая сила будет:

$$F_{\text{фактическая}} = F_{\text{пневмо}} \times \text{КПД} = 12462 \times 0,95 \approx 11839 \text{ Н.}$$

$$F_{\text{фактическая}} = 11839 \text{ Н} > F_z = 505,5 \text{ Н.}$$

Станочное приспособление призма с пневматическим зажимом может эффективно удерживать детали с весом $3,43 \text{ кг}$ и диаметром $5,5 \text{ мм}$.

4 Расчёт и проектирование режущего инструмента

Рассмотрим подробнее острозаточенный резец продольного точения для токарной обработки цилиндрической поверхности вала. В процессе работы деталь крепится между центрами станка, вращается, а резец перемещается вдоль либо поперёк детали, удаляя излишки материала и формируя спроектированную форму детали.

Острозаточенный резец с круглой вершиной представляет собой специализированный режущий инструмент, который используется в различных процессах обработки металлов и других материалов. В данной главе подробнее рассмотрим его конструкцию, параметры и характеристики.

Геометрия токарного резца изображена на рисунке 8.

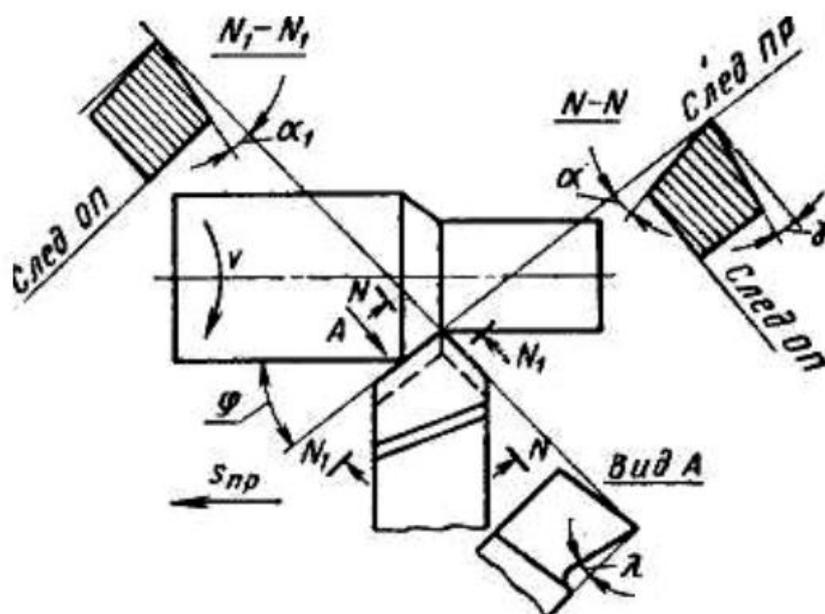


Рисунок 8 – Геометрия токарного резца

Геометрические параметры резца, то есть углы, которые образуют его рабочие элементы относительно координатных плоскостей и друг друга,

играют ключевую роль в процессе резания и определяют качество обработки. Эти углы называют углами резца в статике.

Рассмотрим острозаточенный резец с круглой вершиной. Острая заточка обеспечивает высокое качество обработки, круглая вершина снижает вероятность вибраций при обработке, образования заусенцев и неровностей на обрабатываемой поверхности. Данные характеристики позволяют достичь высокой точности при обработке, получение гладкой, ровной поверхности. Профилированная режущая кромка оптимизирует процесс обработки и позволяет добиться наилучшего результата. Резец должен иметь острозаточенную режущую кромку с радиусом скругления, что позволяет избежать заусенцев и улучшить качество обработки.

При продольном точении заготовки типа вал применяют острозаточенный резец с главным углом в плане φ равным 50° и вспомогательным углом в плане φ_1 равным 15° , который работает с глубиной резания t , равной 4мм и подачей S_{0r} . Скруглённая вершина данного резца имеет радиус r и период стойкости $T_{\text{мин}}$, равный 70мин [16].

Учитывая заданные углы и глубину резания, необходимо произвести расчёты для определения оптимальных значений подачи и скорости резания.

Расчёты подачи приведены в уравнении 54, мм\об:

$$S_{0r} = \sqrt{8 \times r_B \times R_z} = \sqrt{8 \times 0,7 \times 0,132} = 0,86, \quad (54)$$

где r_B – радиус вершины.

Высота микронеровностей обработанной поверхности (55), мм:

$$R_z = S_{0r} \times \frac{\tan \varphi \times \tan \varphi_1}{\tan \varphi + \tan \varphi_1}, \quad (55)$$

где φ – главный угол в плане, равный 50° ;

φ_1 -вспомогательный угол в плане, равный 15° .

Тогда расчёт высоты микронеровностей (56) равен:

$$Rz = 0,86 \times \frac{\tan 50^\circ \times \tan 15^\circ}{\tan 50^\circ + \tan 15^\circ} = 0,86 \times \frac{1,192 \times 0,268}{1,192 + 0,268} = 0,188. \quad (56)$$

Скорость резания U_r для вычисления указана в формуле 57 [16], м/мин:

$$U_r = \frac{140}{T^{0,2} \times t^{0,15} \times S_{0r}^{0,45}}, \quad (57)$$

где $T_{\text{мин}}$ – период стойкости, равный 70 мин;

t – глубина резания, равная 4 мм;

S_0 – подача, равная 0,6 мм/об.

Тогда при вычитывании скорости резания (58), получаем:

$$U_r = \frac{140}{70^{0,2} \times 4^{0,15} \times 0,86^{0,45}} = 52,04. \quad (58)$$

Производительность процесса резания (59) высчитывается умножением глубины резания на подачу на скорость резания, см³/мин:

$$P_r = t \times S_{0r} \times U_r = 4 \times 0,86 \times 52,04 = 179,03. \quad (59)$$

Важно отметить, что для достижения максимальной эффективности необходимо правильно заточить резец с круглой вершиной. Данный резец обеспечивает более предсказуемое поведение при работе, минимизируя риски, обеспечивает более точный и ровный рез, предотвращая разрывы и заусеницы на материале.

5 Безопасность и экологичность технического объекта

Производственный участок, на котором изготавливается наша деталь, состоит из трех станков с ЧПУ: 2 токарных, 1 вертикально-фрезерный. Каждый станок с ЧПУ имеет свой электрошкаф системы ЧПУ. По степени электроопасности производственный участок имеет категорию «без повышенной опасности», т. к. данный участок не относится к помещениям с высокой или особо высокой влажностью, с высокой температурой (более 30 °С), имеющим токопроводящие полы, с наличием химически агрессивной среды, разрушающей изоляцию.

Также каждый станок защитное заземление (соединение корпуса с заземляющим устройством). Его цель: снизить до безопасной величины напряжение относительно земли на металлических частях электроустановок, оказавшихся под напряжением в результате нарушения изоляции.

Чтобы не допустить или хотя бы снизить вероятность нарушения целостности изоляции на нашем производственном участке производится её контроль. Т. е. измерение её активного сопротивления с целью обнаружения дефектов и предупреждения замыкания на землю. Такой контроль производился при приёмке электроустановок после монтажа или ремонта, а также периодически в процессе эксплуатации (1-2 раза в год). Поэтому можно сделать вывод, что на производственном участке снижен риск поражения электрическим током в результате нарушения изоляции [22].

Также при механической обработке существует риск получения травм металлической и абразивной стружкой, таких как попадание её в слизистые глаз и лёгкие. На токарных станках производственного участка для снижения вероятности таких травм предусмотрены защитные ограждения зоны резания.

Существует вероятность получения травм движущимися частями станков и вращающихся заготовок. Для снижения этой вероятности следует уделить особое внимание обеспечению соблюдения техники безопасности персоналом участка при работе с металлорежущими станками.

Уровень локальной и общей вибрации на производственном участке не превышает предельно допустимый (2дБ) в соответствии с СН 2.2.4/2.1.8.566-96 [19], т. е. уровень, который при ежедневной работе (за исключением выходных дней) не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья. Следовательно, уровень вибрации в 1.5 дБ не представляет опасности.

Показатели данных микроклимата производственных помещений соответствуют оптимальным микроклиматическим условиям и не вызывают отклонений в состоянии здоровья, а также создают ощущение теплового комфорта в течение смены. На производстве поддерживается средняя температура воздуха около 22 °С, температура поверхностей варьируется от 20 до 24 °С, относительная влажность воздуха составляет 60 %, а скорость движения воздуха не превышает 0,2 м/с, что соответствует требованиям к микроклимату производственных помещений сформированы в СанПиН 2.2.4.548-96[17].

Запылённость и загрязнённость производственного участка не превышает предельно допустимую концентрацию (5мг/м³) в соответствии с ГН 2.2.5.686-98, т.к. на нем отсутствуют объекты, которые имеют повышенное содержание различных химических и биологических факторов, а также объекты, к которым можно применить понятие активного «старения и разрушения» в виду длительного срока службы [23].

Для создания здоровых и безопасных условий труда при изготовлении вала - шестерни, необходимо обеспечить персонал средствами индивидуальной защиты: защитные очки для исключения попадания стружки в слизистые глаз, защитные резиновые перчатки при переливании СОЖ, заглушки для защиты органов слуха, виброгасители для подавления вибраций, респираторы для защиты органов дыхания от запылённого/загрязнённого воздуха, галоши и диэлектрические перчатки при работе с электроустановками.

В рабочей зоне роботизированного технологического комплекса должны стоять специальные ограждения и плакаты, запрещающие нахождение человека во время его работы.

На всех электрошкафах должны висеть специальные надписи и знаки, предупреждающие о возможности поражения электрическим током.

Проектируемый технологический процесс изготовления вала-шестерни в большинстве своём подразумевает механическую обработку данной детали – т.е. непосредственно процесс съёма металла. Металлическую стружку необходимо перерабатывать, чтобы исключить возможность загрязнения ею окружающей среды. Поэтому в данном пункте будет рассмотрен процесс сбора стружки и её дальнейшая переработка.

Удаление стружки с рабочих мест производится средствами обдува сжатым воздухом и действием сил гравитации. Отвод стружки от станков выполняют встроенные конвейеры различных конструкций в зависимости от формы и объёмов удаляемой стружки [24].

После обработки нескольких партий деталей, со всех станков производственного участка накапливается достаточное количество металлической стружки, чтобы заполнить баки для её сбора. После этого цеховой электрокар транспортирует каждый из этих баков в заготовительный цех.

В заготовительном цеху поэтапно производится процесс утилизации стружки. Происходит измельчение стружки с помощью дробилок, чтобы на выходе была мелкая металлическая стружка, которая впоследствии будет брикетирована. В отличие от плавки рассыпчатой стружки плавка брикетов позволяет снизить уровень угара, сократить энергозатраты процесса, а также улучшить качество и увеличить объем получаемого чистого металла.

Благодаря возможности переработки металлической стружки, собранной после процесса механической обработки наших деталей, можно минимизировать потери используемого металла, а также не допустить его попадание в окружающую среду.

Само здание, в котором расположен заготовительный цех, имеет по взрывопожарной и пожарной опасности категорию «Г» и является объектом с умеренной пожароопасностью (имеет негорючие вещества и материалы в горячем, раскалённом, расплавленном состоянии).

Степень огнестойкости здания: II. Максимальный предел огнестойкости несущих элементов здания: R 90. Это значит, что полная потеря несущей способности здания произойдёт по истечении 90 минут после начала пожара.

Организационные мероприятия, направленные на устранение причин возникновения чрезвычайных ситуаций, заключаются в проведение семинаров, квалификационных курсов, лекций, направленных на повышение знаний работников противопожарным правилам, правилам технической эксплуатации электроустановок, а также правилам охраны труда при работе с электроустановками. В случае возникновения чрезвычайной ситуации необходимо предусмотреть эвакуацию персонала с производственного участка [24].

6 Экономическая эффективность работы

Для осуществления цели построить технологический процесс, который позволит изготовить деталь требуемого качества в определённом объёме с минимальной себестоимостью, необходимо произвести экономическую оценку технологического процесса.

В таблице 14 приведены исходные данные по нормам времени и стоимости производственного оборудования (табл.15), с помощью которых будет производиться его экономическая оценка [25].

Таблица 14 - Исходные данные по нормам времени

№ опер.	Наименование операции	Тпз	t _{шт}	t _{шк}
005	Фрезерно-центровальная	25	1,7	2,53
010	Токарная с ЧПУ	16	2,88	3,18
020	Токарная с ЧПУ	16	6,22	6,60
030	Фрезерная с ЧПУ	21	1,5	2,0
035	Зубофрезерная	16	35,9	36,28
040	Шлифовальная	24	3,72	4,16
Итого			51,92	54,75

Таблица 15 - Стоимость производственного оборудования

№ опер.	Модель станка	Количество станков, шт.	Стоимость, руб.		Полная стоимость оборудования, транспортировки и установки руб.
			Стоимость транспортировки и установки, руб.	Стоимость оборудования, руб.	
005	MP71	1	150 000	1 000 000	1 150 000
010	ЧПУ 16K20Ф3	1	270 000	1 800 000	2 070 000
020	ЧПУ 16K20Ф3	1	270 000	1 800 000	2 070 000
030	6P13Ф3	1	120 000	800 000	920 000
035	53A30	1	60 000	400 000	460 000
040	3M153BФ2	1	150 000	1 000 000	1 150 000
Итого				6 800 000	7 820 000

Производится расчёт калькуляции себестоимости детали, по формуле 60 определяем стоимость заготовки:

$$S_{\text{заг}} = \left(\frac{C_{\text{мат}}}{1000} \times m_{\text{заг}} \times K_{\text{Т}} \times K_{\text{С}} \times K_{\text{В}} \times K_{\text{М}} \times K_{\text{П}} \right) - (m_{\text{заг}} - m_{\text{дет}}) \times \frac{C_{\text{отх}}}{1000}, (60)$$

где $C_{\text{мат}}$ – базовая стоимость 1т заготовок, равная 80000 руб.;

$m_{\text{заг}}$ – масса заготовки, равная 5,3 кг;

$K_{\text{Т}}, K_{\text{С}}, K_{\text{В}}, K_{\text{М}}, K_{\text{П}}$ - коэффициенты, зависящие от класса точности, группы сложности, массы, марки материала и объёма производства заготовок, равные 5,3; 1; 1; 1,93; 1,93;1;

$m_{\text{дет}}$ – масса готовой детали, равная 3,43кг;

$C_{\text{отх}}$ – цена за 1т отходов, равная 6000;

По формуле 65 определяем стоимость заготовки, руб:

$$S_{\text{заг}} = \left(\frac{80000}{1000} \times 5,3 \times 1 \times 1 \times 1,93 \times 0,93 \times 1 \right) - (5,3 - 3,43) \times \frac{6000}{1000} = 750.$$

Калькуляция себестоимости одной детали указана в таблице 16.

Таблица 16 – Калькуляция себестоимости одной детали

Статья калькуляции	Сумма, руб.
Основные материалы (за вычетом отходов)	1500
Энергетические ресурсы	16,704
Заработная плата и социальное страхование производственных рабочих	640,6
Цеховая себестоимость	3118,26
Содержание и обслуживание оборудования и прочие расходы	950,98
Заводская себестоимость	4238,26
Общезаводские расходы	1120
Внепроизводственные расходы, 2,5% от заводской себестоимости	105,8
Полная себестоимость	4344,06

Проведём маркетинговый анализ рынка производителей детали типа вал-шестерня.

При проведении анализа конкурентных производителей получаемая прибыль ПП на одну деталь из отраслевого норматива рентабельности составляет 20%:

$$\text{ПП} = 2169,03 \times 0.2 = 433,8 \text{ руб.}$$

Налог на добавленную стоимость НДС:

$$\text{НДС} = (2169,03 + 433,8) \times 0.2 = 520,6 \text{ руб.}$$

Итоговая цена одной детали, руб.:

$$\text{Ц} = \text{С/С} + \text{ПП} + \text{НДС} = 2169,03 + 433,8 + 520,6 = 3\,123,43 \approx 3\,124.$$

Итоговую цену вала-шестерни заносим в таблицу 22 для сравнения с другими производителями.

Таблица 22 – Производители червяков

Производитель	Ссылка	Цена	Соответствие качеству	Соответствие функциональному назначению
Собственное производство	-	3 124	100%	100%
УралМаш	https://www.uralmash174.ru/goods/184389266-val_shesternya_m_5_z_11_i_1_21	≈4300	95%	100%
РемМехСервис	https://rms.msk.ru/val-shesterni	≈3700	90 %	95 %
СибМашИндустрия	https://www.sibmashbrn.ru/goods/22970678-val_shesternya_konicheskaya	≈4100	90%	100%

Калькуляция себестоимости одной детали — это определение всех затрат, связанных с производством этой детали. Себестоимость детали

включает в себя стоимость материалов, затраты на обработку, накладные расходы и другие затраты, которые можно отнести к данной детали.

Проведён анализ производителей данного вида деталей типа «вал-шестерня», в результате которого были отобраны наиболее конкурентоспособные производители.

Компания УралМаш может изготовить требуемую деталь за цену дороже, чем собственное производство. Но при этом деталь будет иметь меньшее соответствие функциональному назначению и качеству.

Компания РемМехСервис может предложить свои услуги за более низкую цену нежели остальные производители кроме собственного производства. Соответствие качеству и функциональному назначению будет немного ниже, чем у нашей детали.

Компания СибМашИндустрия может изготовить вал-шестерня, который будет практически полностью соответствовать техническим требованиям, предъявляемым к ней. Но данная деталь будет иметь значительно более высокую цену.

Результаты маркетингового анализа свидетельствуют о том, что спроектированный технологический процесс производства детали вал-шестерня позволяет изготавливать изделие с ценой, значительно ниже, чем у аналогичных предприятий, при этом сохраняется высокий уровень качества продукции и полное соответствие установленным техническим требованиям.

Заключение

В выпускной квалификационной работе проведены разработки процессов проектирования и производства детали вал-шестерня. Подобран оптимальный тип производства, разработан технологический маршрут, подобрано оборудование для запуска производства.

Разработанный технологический процесс обеспечит высокое качество и производительность изготовления детали. Выбор оптимальных методов обработки, режимов резания и конструкции приспособления позволит минимизировать затраты на производство и повысить эффективность технологического процесса.

Кроме того, рассмотрение принципа действия трехкулачкового патрона, обеспечивающего надёжную фиксацию инструмента и высокую точность центрирования, подтверждает его роль в улучшении качества обработки деталей. Использование острозаточенных резцов для продольного точения также играет значительную роль в формировании необходимых геометрических параметров в ходе токарной обработки. Анализ безопасности жизнедеятельности технического объекта, уровня его экологичности и готовности к чрезвычайным ситуациям, а также экономические подсчёты изготовления детали и анализ конкурентоспособности, завершают комплексный подход к оценке проекта.

Дальнейшее совершенствование технологического процесса и конструкции станочного приспособления возможно за счёт внедрения новых технологий, использования современных режущих материалов и оптимизации режимов резания с помощью компьютерного моделирования.

Таким образом, результаты проведённого анализа способствуют глубокому пониманию технологических процессов и формируют надёжную основу для успешной реализации проекта по созданию детали "вал-шестерня".

Список используемой литературы и источников

1. Стали и сплавы. Марочник: Справ. Изд./В.Г. Сорокин и др.; Науч. С77 ред. В.Г. Сорокин, М.А. Гервасьев – М.: «Интернет Инжиниринг», 2001 – 608 с.;
2. Конструкционные стали и сплавы [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Г. А. Воробьева [и др.]. - Москва : ИНФРА-М, 2016. - 440 с.
3. Токмин А. М. Выбор материалов и технологий в машиностроении [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А. М. Токмин, В. И. Темных, Л. А. Свечникова. - Москва : ИНФРА-М ; Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2016. - 235 с.
4. А.Г. Косилова и Р.К. Мещеряков Справочник технолога машиностроителя – М.: Машиностроение, 1985;
5. А.Н. Малов Справочник технолога машиностроителя. В двух томах - М.: Машиностроение, 1972.
6. Должиков В. П. Разработка технологических процессов механообработки в мелкосерийном производстве [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В. П. Должиков. - Изд. 2-е, стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2016. - 328 с.
7. Маталин А. А. Технология машиностроения [Электронный ресурс] : учебник / А. А. Маталин. - Изд. 4-е, стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2016. - 512 с.
8. Научно-технические технологии в машиностроении [Электронный ресурс] / А. Г. Суслов [и др.] ; под ред. А. Г. Суслова. - Москва : Машиностроение, 2012. - 528 с.
9. Научно-технические технологии в машиностроении [Электронный ресурс] / А. Г. Суслов [и др.] ; под ред. А. Г. Суслова. - Москва : Машиностроение, 2012. - 528 с.
10. Каталог SANDVIK//www.sandvik.coromant.com/t/ электронный ресурс (дата обращения 17.05.2022)

11. Технология машиностроения [Электронный ресурс] : курсовое проектирование : учебное пособие / М. М. Кане [и др.] ; под ред. М. М. Кане, В. Г. Шелег. - Минск : Вышэйшая школа, 2013. - 311 с.
12. Иванов И. С. Технология машиностроения [Электронный ресурс] : учеб. пособие / И. С. Иванов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : ИНФРА-М, 2016. - 240 с.
13. Общемашиностроительные нормативы времени вспомогательного на обслуживание рабочего места и подготовительно-заключительного для технического нормирования станочных работ. М: Машиностроение, 1964;
14. Гуляев, В.А., Козлов, А.А., Логинов, Н.Ю. Выпускная квалификационная работа бакалавра: Учебно-метод. пособие по выполнению выпускной квалификационной работы бакалавра по направлению подготовки 15.03.01 «Машиностроение», профиль «Технологии, оборудование и автоматизация машиностроительных производств» / В.А. Гуляев, А.А. Козлов, Н.Ю. Логинов. – Тольятти: ТГУ, 2017. – 50 с.
15. Метрология, стандартизация, сертификация [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А. И. Аристов [и др.]. - Москва : ИНФРА-М, 2014. - 256 с.
16. Дехтярь Г. М. Метрология, стандартизация и сертификация [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Г. М. Дехтярь. - Москва : КУРС : ИНФРА-М, 2016. - 154 с.
17. Резников Л. А. Проектирование сложнопрофильного режущего инструмента [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие / Л. А. Резников ; ТГУ ; Ин-т машиностроения ; каф. "Оборудование и технологии машиностроит. пр-ва". - Тольятти : ТГУ, 2014. - 207 с.
18. Борисенко Г. А. Технология конструкционных материалов. Обработка резанием [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Г. А. Борисенко, Г. Н. Иванов, Р. Р. Сейфулин. - Москва : ИНФРА-М, 2016. - 142 с.

19. Иванов И. С. Расчет и проектирование технологической оснастки в машиностроении [Электронный ресурс] : учеб. пособие / И. С. Иванов. - Москва : ИНФРА-М, 2015. - 198 с.
20. В.А. Горохов Проектирование и расчет приспособлений. Минск, 1986г.
21. Зубарев Ю. М. Расчет и проектирование приспособлений в машиностроении [Электронный ресурс] : учебник / Ю. М. Зубарев. - Санкт-Петербург : Лань, 2015. - 320 с.
22. 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 ; Москва : ИНФРА-М, 2016. - 234 с.
23. Методы и средства обеспечения безопасности труда в машиностроении: учебник для машиностроит. спец. вузов / В.Г. Еремин [и др.]; под ред. Ю.М.Соломенцева. – М.: Высшая школа, 2000. – 324 с.
24. Горина Л. Н. Промышленная безопасность и производственный контроль [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие / Л. Н. Горина, М. И. Фесина, Т. Ю. Фрезе ; ТГУ ; Ин-т машиностроения ; каф. "Управление пром. и экол. безопасностью". - Тольятти : ТГУ, 2014. - 271 с.
25. Федоров П. М. Охрана труда [Электронный ресурс] : практ. пособие / П. М. Федоров. - 2-е изд. - Москва : РИОР : ИНФРА-М , 2017. - 137 с.
26. Краснопевцева И. В. Экономика и управление машиностроительным производством [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. пособие / И. В. Краснопевцева, Н. В. Зубкова ; ТГУ ; Ин-т финансов, экономики и управления ; каф. "Торговое дело и управление производством". - Тольятти : ТГУ, 2014. - 183 с.

Приложение А

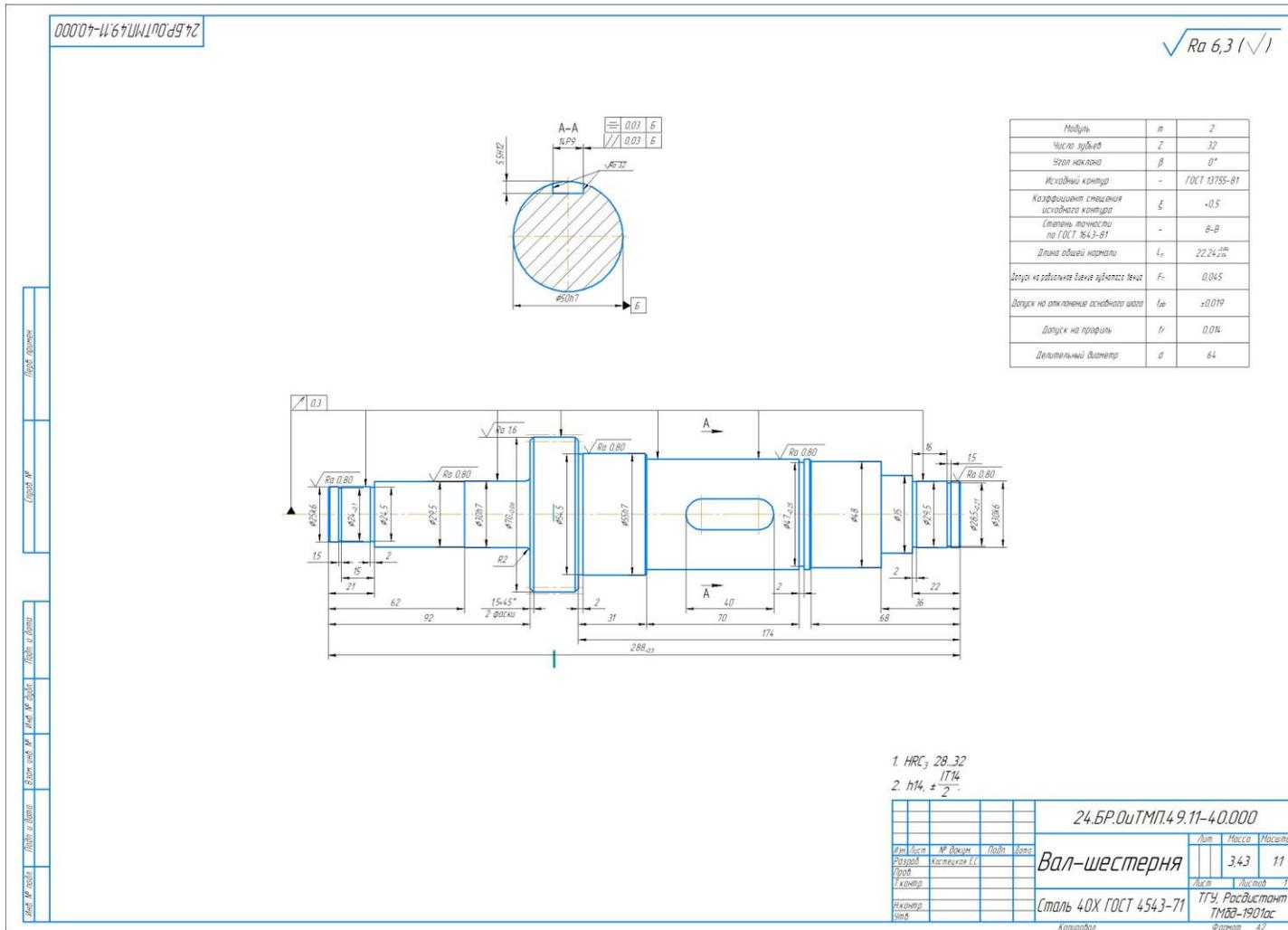
Таблица химического состава стали 40Х

Таблица А.1 - Химического состава стали 40Х

С	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
0,36 - 0,44	0,17 - 0,37	0,5 - 0,8	до 0,3	до 0,035	до 0,035	0,8 - 1,1	до 0,3

Приложение Б

Вал-шестерня исходный чертёж



Приложение В

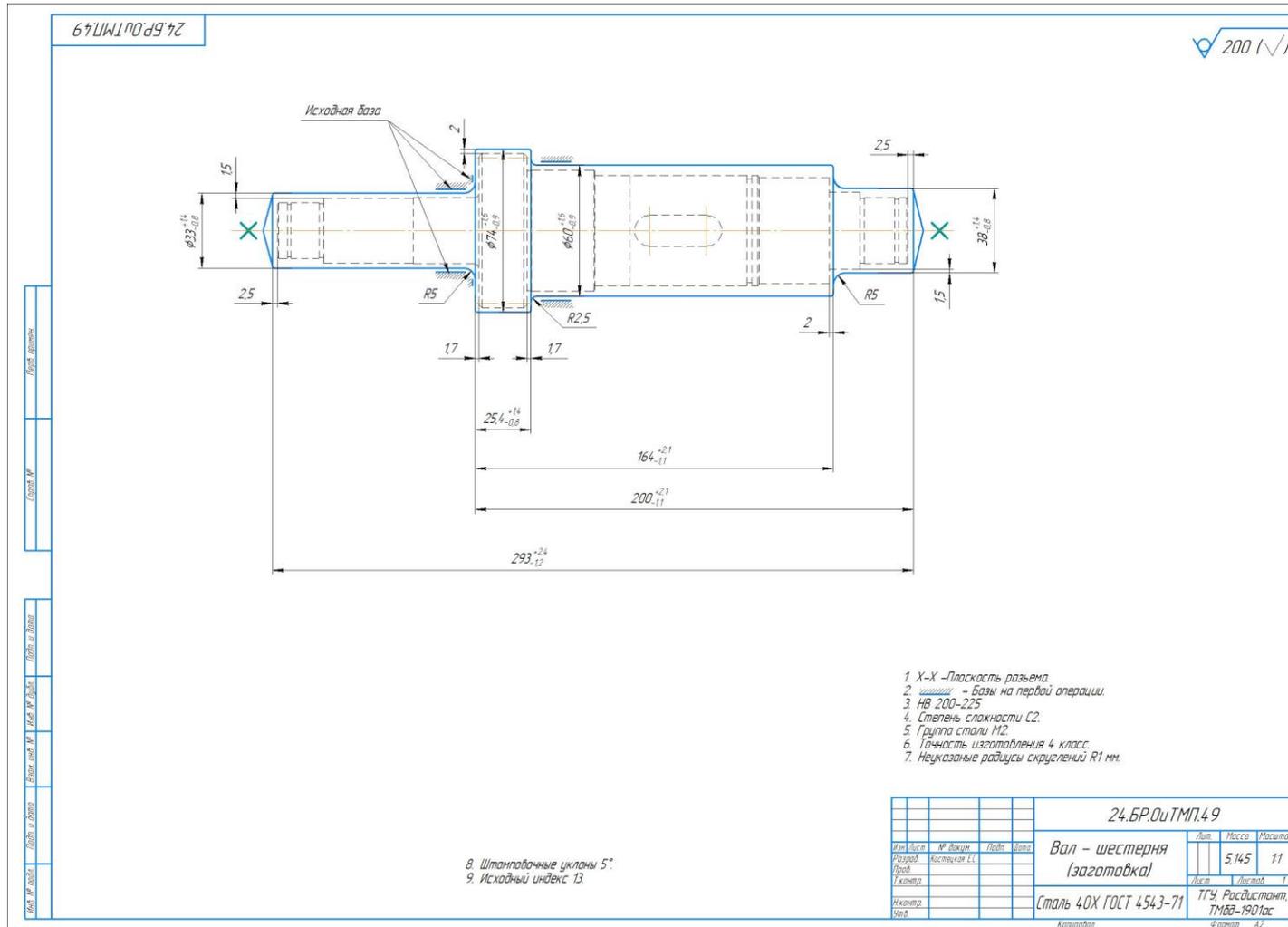
Данные для определения типа производства

Таблица В.1 - Данные для определения типа производства

Масса детали, кг	Объем годового выпуска деталей N, шт. в зависимости от типа производства				
	единично е	мелкосерийно е	среднесерийное	крупносерийное	массовое
<1,0	<10	10 – 2000	1500 – 100 000	75 000 – 200 000	>200 000
1,0 – 2,5	<10	10 – 1000	1000 – 50 000	50 000 – 100 000	>100 000
2,5 – 5,0	<10	10 – 500	500 – 35 000	35 000 – 75 000	>75 000
5,0 – 10	<10	10 – 300	200 – 25 000	25 000 – 50 000	>50 000
>10	<10	10 – 200	300 – 10 000	10 000 – 25 000	>25 000

Приложение Г

Вал-шестерня(заготовка)



Приложение Д

Расчётно-технологическая карта черновой обработки

24.БР.01.ТМ4.9.11-4.0.00
√ Ra 10,0 (✓)

Установ 1
010 Токарная с ЧПУ
Токарный с ЧПУ 16К20Ф3

Установ 2
010 Токарная с ЧПУ
Токарный с ЧПУ 16К20Ф3

Таблица 1

№	X	Z
01	250	296
1	14,5	198
2	14,5	174
3	17,5	174
4	17,5	160
5	24	160
6	24	128
7	27,1	128
8	27,1	58
9	29,6	58
10	29,6	27
11	36,5	27
12	250	296

Таблица 2

Идент	Идент	Идент	l, мм	l, мм/мин	f, мм/об	s, мм/об	T, мин	T, сек
1	01-1	ускоренный ход					0,03	
2	1-3	2,5	54,0	110	1350	0,04	-	
3	3-4	2,5	54,0	110	1350	0,02	-	
4	4-5	2,5	350	110	875	0,14	-	
5	5-6	ускоренный ход					0,01	
6	6-7	2,5	350	110	875	0,02	-	
7	7-8	2,5	320	110	800	0,20	-	
8	8-9	2,5	320	110	800	0,20	-	
9	9-10	ускоренный ход					0,01	
10	10-11	2,5	320	110	800	0,20	-	
11	11-12	ускоренный ход					0,01	

Таблица 1

№	X	Z
01	250	366
1	14	268
2	16	245
3	14,75	245
4	14,75	204
5	16,5	204
6	16,5	176
7	36,5	172,7
8	17,5	172,7
9	36,5	172,7
10	36,5	366
11	250	366

Таблица 2

Идент	Идент	l, мм	l, мм/мин	f, мм/об	s, мм/об	T, мин	T, сек
1	01-1	ускоренный ход				0,03	
2	1-3	1,0	34,25	150	1065	0,02	-
3	3-4	1,0	34,25	150	1065	0,25	-
4	4-5	ускоренный ход				0,01	
5	5-6	1,0	271,25	150	1065	0,03	-
6	6-7	ускоренный ход				0,01	
7	7-8	1,6	271,25	150	1065	0,02	-
8	8-9	1,0	271,25	150	1065	0,48	-
9	9-10	1,0	271,5	150	1065	0,02	-
10	10-11	ускоренный ход				0,01	

24.БР.01.ТМ4.9.11-4.0.00

Операционные эскизы (010)

ИГУ, Росдистант ТМВ-190гос

Приложение Е

Расчётно-технологическая карта чистовой операции

Приложения И

Таблица И.1 – Спецификация приспособления

Перв. примен.	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
						<u>Документация</u>		
	A1				Сборочный чертеж			
Срав. №			1		Корпус	1		
			2		Пластина	4		
			3		Пружина	1		
			4		Прихват	1		
					<u>Стандартные изделия</u>			
Подп. и дата			7		Винт М6-6dх20 ГОСТ 1491-80	2	m=0,006 кг	
			8		Шпонка 7031-0609 ГОСТ 14737-69	2	m=0,091 кг	
Инв. № дубл.			9		Призма 7033-0035 ГОСТ 12195-66	1	m=0,323 кг	
			10		Призма 7033-0037 ГОСТ 12195-66	1	m=0,849 кг	
Взам. инв. №								
Подп. и дата								
				24.БР.0иТМП.49.11-40.000				
Инв. № подл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			
	Разраб.		Костецкая Е.С.			Лит.	Лист	Листов
	Проб.						1	2
	Н.контр.					ТГУ, Росдистант, ТМдд-1901ас		
Чтв.								
Приспособление для фрезерования								
Копировал						Формат А4		

Продолжение Приложения И

Продолжение таблицы И.1

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	Инв. № подл.	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	Подп. и дата	Инв. № подл.	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	Подп. и дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	24.БР.0иТМП.49.11-40.000	
																						Лист	2
		15		Болт 7002-0810 ГОСТ 9048-69	1	m=0,295 кг																	
		16		Винт М10-6дх60 ГОСТ 11738-84	2	m=0,046 кг																	
		17		Винт М8-6дх60 ГОСТ 11738-84	2	m=0,028 кг																	
		18		Пневмоцилиндр 1021-10040-УХ/Л4 ГОСТ 15608-81	1	m=0,65 кг																	
		19		Шайба 7019-0415 ГОСТ 13439-68	1	m=0,001 кг																	
		20		Штифт 6х70 ГОСТ 3128-70	2	m=0,015 кг																	
		21		Штифт 8х70 ГОСТ 3128-70	2	m=0,002 кг																	