

Аннотация

В работе рассматривается технологический процесс изготовления вала-шестерни. Он является ступенью понижающего редуктора. Вал-шестерня является ответственной деталью и имеет высокие технические требования, которые были проверены в ходе технического анализа. Конструкция является типовой и имеет стандартные конструктивные элементы. В целом деталь технологична, что позволяет обрабатывать ее на универсальных станках. Это является необходимым, так как тип производства был выбран среднесерийный. Для заданного выпуска детали используется универсальное оборудование и оснащение. Для осесимметричной детали выбран способ получения заготовки на механическом прессе. Это экономит материал за счет геометрии заготовки более приближенной к форме детали, чем у проката. Разработанные технологические операции обеспечивают все необходимые технические требования, указанные на чертеже. Технологические операции включают точение черновое и чистовое, зубообработку, шлифование черновое и чистовое с добавлением термообработки. Рассматриваются вопросы проектирования операционных припусков и размеров с техническими требованиями на них, расчет и назначение режимов обработки, определение норм времени. В конструкторской части представленной работы рассматриваются расчет и проектирование зажимного приспособления для точного позиционирования вал-шестерни на операции по зубофрезерованию. Для повышения эффективности обработки предлагается конструкция режущего инструмента – червячной фрезы. Вся технологическая документация сведена в маршрутные и операционные карты, а также карты наладок. Работа заканчивается разработкой мероприятий для защиты работников и окружающей среды от вредных производственных факторов. Для обеспечения экономической эффективности работы выполнен сравнительный анализ технологии изготовления вала-шестерни с базовой и усовершенствованной фрезой.

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ исходных данных.....	6
1.1 Анализ назначения детали	6
1.2 Классификация поверхностей	6
1.3 Анализ технологичности конструкции детали.....	7
1.4 Задачи работы	8
2 Разработка технологии изготовления	10
2.1 Тип производства.....	10
2.2 Выбор заготовки	10
2.3 Выбор технологических баз	16
2.4 Разработка маршрута.....	17
2.5 Выбор средств оснащения	19
2.6 Расчет режимов резания.....	21
2.7 Нормирование	25
3 Разработка специальной технологической оснастки	29
3.1 Проектирование приспособления	29
3.2 Проектирование инструмента	33
4 Экологичность и безопасность проекта.....	35
5 Экономическая эффективность работы	38
Заключение	43
Список используемых источников.....	44
Приложение А Технологические карты	47
Приложение Б Спецификация приспособления	56

Введение

Для повышения эффективности работы различных передающих механизмов необходимо обеспечивать соответствующее качество входящих в них деталей. Например, детали различных повышающих или понижающих редукторов. Они предназначены для преобразования характеристик движения. Понижающий редуктор служит для снижения частоты вращения выходного вала с соответствующим повышением крутящего момента. Данный механизм работает в условиях динамических нагрузок. Некоторые редукторы испытывают значительные статические нагрузки при больших передаточных отношениях, как в червячных редукторах.

Вопросы корректности проектирования таких передающих механизмов относятся к прерогативе конструктора. Он обеспечивает соответствующие расчеты по прочности, усталостной выносливости, долговечности и тому подобное. От технолога зависит обеспечение заложенных конструктором технических требований, представленных на рабочих чертежах деталей редукторов. Необходимо обеспечить точность размеров. Это необходимо для формирования соответствующих посадок. Допуски расположения обеспечивают необходимые траектории при движении вращающихся элементов деталей и узлов редуктора. Допуски формы обеспечивает необходимые параметры натяга или зазора.

Выбор правильного уровня твердости поверхностного слоя материалов обеспечивает усталостную выносливость и износостойкость трущихся поверхностей. В результате формируется комплекс технических требований, который обеспечивается на технологических операциях в ходе механической и термической обработок [1].

Задача усложняется при обработке сложных профильных поверхностей. Например, зубья у вал-шестерни. Это формирование зубчатого венца. Данная поверхность имеет криволинейный профиль с высокими требованиями по точности. Поэтому требуется или сложная

кинематика технологического оборудования с использованием стандартного универсального инструмента для зубонарезания типа червячных фрез. Или требуется использование модульного инструмента, который имеет свои преимущества и недостатки.

Для серийного производства больше подходит первый метод, связанный с обкатом режущего инструмента по формируемому профилю зуба, более производительный и точный. В мелкосерийном и единичном производстве, а также для массового производства возможно использование специального профильного инструмента. Но, в первом случае для единичного и мелкосерийного производства, этот инструмент является покупным и будет обеспечивать погрешность при обработке, связанную как с периодическим поворотом при обработке, так и с несоответствием возможного профиля инструмента профилю зуба [3].

Для массового производства недостатком является необходимость в изготовлении данного специального инструмента. Поэтому самым лучшим выбором является использование метода зубофрезерования червячными фрезами методом обкатки.

В работе проектируется технологический процесс изготовления вала-шестерни трех ступенчатого редуктора с использованием современных технологических методов обработки на современных станках.

Цель работы, применяя современные технологии и оборудование, обеспечить выпуск вал-шестерни в заданном количестве в 1500 деталей в год.

1 Анализ исходных данных

1.1 Анализ назначения детали

Вал-шестерня работает в трехступенчатом цилиндрическом редукторе. Его назначение - передача крутящего момента с входного конца через шпоночное соединение на зубчатую поверхность.

Зубчатый венец представляет собой модульный эвольвентный профиль 6 класса точности. Вал работает как скоростная ступень и соединяется при помощи муфты с исходным приводом вращения - электродвигателем.

Условия работы по частоте – скоростное движение, центробежные нагрузки тяжелые, так как ступень высокоскоростная. Нагрузка по моменту соответственно средняя. Условия работы в смазочной среде.

1.2 Классификация поверхностей

Для формирования технических требований на чертеже необходимо проанализировать условия работы и назначение каждой поверхности этой детали. Для этого разделим все поверхности вала-шестерни на четыре группы (рисунок 1).

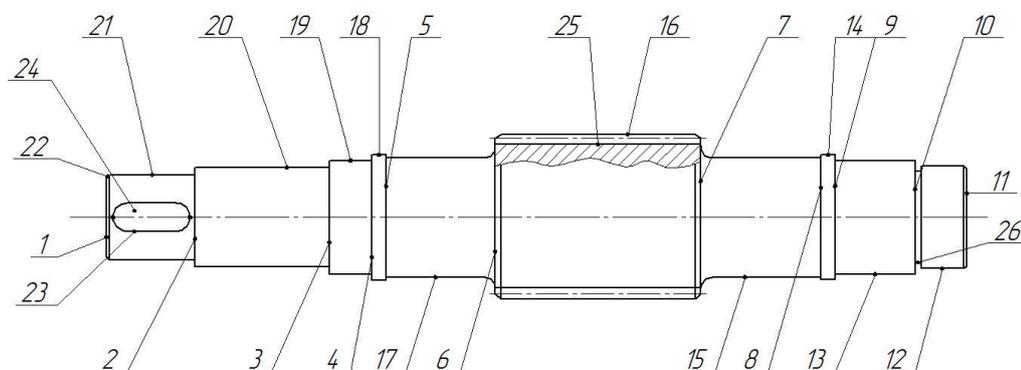


Рисунок 1 - Эскиз детали

Первая группа самая ответственная - определяет положение вала в редукторе. Это конструкторские базы, к которым относятся поверхности для установки вала. В данном случае это цилиндрические шейки 19, 13 с прилегающими торцами 4 и 9. Вторая категория менее ответственных поверхностей - это вспомогательные конструкторские базы. Они предназначены для установки сопряженных деталей. В данном случае это шейка, которая проходит через крышку для выходного конца вала, а так же посадочная поверхность под муфту со шпоночным пазом.

Для выполнения своего служебного назначения для вала выбрана марка материала - легированная углеродистая сталь 40Х. Его свойства приводятся в таблицах 1 и 2 [2].

Таблица 1 - Химический состав, % (ГОСТ 4543—71)

C	Si	Mn	S	Cr	P	Cu	Ni	As
0,42- 0,50	0,42- 0,50	0,17- 0,37	0,25	0,50- 0,80	0,04	0,035	0,25	0,08

Таблица 2 - Механические свойства

Временное сопротивление, МПа	Предел текучести σ_0 , МПа	Относительное удлинение, %
600	310	16

Рабочими поверхностями являются боковая поверхность шпоночного паза, а также эвольвентный поверхность зубчатого венца.

1.3 Анализ технологичности конструкции детали

Для того, чтобы спроектировать технологический процесс с минимальными затратами, необходимо обеспечить технологичность вала-шестерни. Для этого проанализируем обрабатываемость данной детали.

Она имеет среднюю жесткость, так как средний диаметр около 40 мм при длине 301 миллиметр. Поэтому нужна как минимум двух опорная схема установки этой заготовки.

Поверхности имеют среднюю протяженность. Общая точность средняя за исключением посадочных поверхностей, на которые задается точность по 6 качеству.

Прилегающая к зубчатому венцу поверхность имеет с двух сторон закрытую зону, что затрудняет подвод режущего инструмента к данной области.

Все поверхности необходимо обрабатывать, так как уровень точности не соответствует точности возможной заготовительной операции. Сама заготовка может быть прокат, поковка и штамповка. Выбор соответствующего метода будет определяться типом производства.

Заготовку можно использовать унифицированную, так как форма детали типовая и простая.

Материал имеет нормальный уровень обрабатываемости.

Материал не дефицитный и по своим физико-механическим свойствам соответствует служебному назначению вала.

Самым не технологичным конструктивным элементом является мелко модульный зубчатый венец с высокой степенью точности.

Конструктивные элементы стандартизировано и унифицированы.

1.4 Задачи работы

Задачи работы соответствуют этапам проектирования технологического процесса.

1. Выбор тип производства и характеристик производственного процесса.
2. Выбор заготовки, ее проектирование.
3. Выбор переходов.

4. Разработка маршрута, схем базирования. План изготовления.
5. Проектирование операций: расчет размеров с припусками, режимов резания и нормирование.
6. Разработка станочного приспособления.
7. Разработка режущего инструмента.
8. Выбор мер по защите и охране труда, обеспечение экологичности.
9. Расчет экономической эффективности усовершенствования технологии.
10. Оформление технологической документации.

Выводы по разделу

Проанализированы технические требования по вал-шестерне. Они проверены в ходе технического анализа на соответствие назначению. Конструкция является типовой, проанализирована на технологические признаки.

В целом деталь технологична, что позволяет обрабатывать ее на универсальных станках..

2 Разработка технологии изготовления

2.1 Тип производства

Для проектирования технологии выбираем тип производства. Учитываем массу вал-шестерни. Она берется из чертежа и равна 5 кг. Для заданного годового объема 1500 деталей в год тип производства – среднесерийный [8].

2.2 Выбор заготовки

Выбор между заготовкой вал-шестерни из проката и штамповки зависит от различных факторов, таких как размеры, типы и формы зубьев, условия эксплуатации, точность и технические требования.

Если размеры вал-шестерни большие, то обычно используют заготовки из проката или из поковки, так как есть ограничения по технологическим усилиям при штамповке. После получения заготовок давлением они обеспечивают более высокую жесткость и прочность зубьев.

Если зубья вал-шестерни имеют высокую степень точности, то лучше использовать заготовки из штамповки, которые позволяют обрабатывать поверхности с минимальным припуском и быстрее получать более точные размеры.

Если вал-шестерня будет эксплуатироваться при высоких скоростях и в условиях высокой нагрузки, то лучше использовать заготовки опять же из штамповки.

Штамповка обычно используется для получения заготовок простой формы и для производства вал-шестерен в большом объеме.

Штамповать заготовку вала возможно. Поэтому для годового объема выпуска детали 1500 штук в год можно выбрать два варианта. Это сортовой прокат из прутка или штамповка.

Масса прутка

$$M = \frac{\pi d^2}{4} l \rho, \quad (1)$$

где d – диаметр прутка, м;

l – длина прутка, мм;

ρ – плотность, кг/мм³.

Для обеспечения точности диаметр обрабатывается. Предварительно выбираем три перехода. Суммарный припуск для них составит 5 мм на диаметр. По торцам на фрезерование предусмотрим 2,5 мм на сторону.

$$M = \frac{\pi 0,062^2}{4} 0,306 \cdot 7850 = 7,2 \text{ кг.}$$

По методике [12] стоимость изготовления C_T вала

$$C_T = C_{\text{заг.}} \cdot M + C_{\text{мех.}} \cdot (M - m) - C_{\text{отх.}} \cdot (M - m), \quad (2)$$

где $C_{\text{заг.}}$ – стоимость базовой заготовки, руб/кг;

$C_{\text{мех.}}$ – стоимость обработки, руб/кг;

m – масса вала, кг;

$C_{\text{отх.}}$ – цена лома, руб/кг.

Стоимость снятия припуска

$$C_{\text{мех.}} = C_c + E_H \cdot C_K, \quad (3)$$

где C_c – текущие затраты, руб/кг;

E_H – коэффициент отдачи вложений;

C_K – капитальные затраты, руб/кг.

Для выбранной машиностроительной отрасли примем

$$C_{\text{мех.}} = 10,6 + 0,15 \cdot 22,13 = 14 \text{ руб/кг.}$$

Затраты на пруток

$$C_{\text{заг}} = C_{\text{пр}} \cdot h_{\text{ф}}, \quad (4)$$

где $C_{\text{пр}}$ – цена материала, руб/кг;

$h_{\text{ф}}$ – коэффициент длины ($h_{\text{ф}} = 1,1$).

После подстановки

$$C_{\text{заг}} = 20,74 \cdot 1,1 = 22,8 \text{ руб./кг.}$$

Сумма

$$C_{\text{т.пр.}} = 7,2 \cdot 22,8 + 14 \cdot (7,2 - 5) - 1,4 \cdot (7,2 - 5) = 191,9 \text{ руб.}$$

«Стоимость штамповки

$$C_{\text{шт}} = C_{\text{баз}} h_1 h_2 h_3 h_4 h_5, \quad (5)$$

где $C_{\text{баз}}$ – стоимость штамповки, руб/кг;

h_1 – коэффициент класса точности;

h_2 – коэффициент группы сложности;

h_3 – коэффициент марки материала и массы заготовки;

h_4 – коэффициент от марки материала;

h_5 – коэффициент серийности» [14].

Стоимость штамповки

$$C_{\text{шт}} = 29,96 \cdot 1 \cdot 1,18 \cdot 0,88 \cdot 0,89 \cdot 1 = 27,69 \text{ руб.}$$

Общая стоимость

$$C_{\text{т.шт.}} = 6,2 \cdot 27,69 + 14 \cdot (6,2 - 5) - 1,4 \cdot (6,2 - 5) = 186,8 \text{ руб.}$$

Выбираем более выгодную штамповку.

Для расчета размеров примем припуск как сумму шероховатости и дефектного слоя. Также прибавим отклонения расположения или формы, а также погрешность установки. Первые два элемента припуска берутся табличные.

Пространственные отклонения для осесимметричной детали вала-шестерни включают коробление и смещение базовых центровых отверстий.

Коробления $\rho_{\text{кор}}$ возникает на штамповке и зависит от длины заготовки вала 306 мм. Величина смещения $\rho_{\text{см}}$ определяет неточность положение шеек от смещения штампов – 0,7 мм.

$$\rho_{\text{заг}} = \sqrt{\rho_{\text{кор}}^2 + \rho_{\text{ц}}^2 + \rho_{\text{см}}^2}, \quad (6)$$

где $\rho_{\text{кор}}$ - коробление, мкм;

$\rho_{\text{ц}}$ – погрешность зацентровки, мкм;

$\rho_{\text{см}}$ – смещение штампов, мкм.

Коробления для размера l

$$\rho_{\text{кор}} = \Delta_{\text{к}} \cdot l, \quad (7)$$

где $\Delta_{\text{к}}$ –коробление для штамповки точностью Т4, мкм/мм;

l - размер, мкм.

Коробление равно

$$\rho_{\text{кор}} = 1,4 \cdot 306 = 428 \text{ мкм.}$$

Погрешность зацентровки равна

$$\rho_{\text{ц}} = \sqrt{0,25 \cdot Td_3^2 + 1}, \quad (8)$$

где Td_3 – допуск базовой шейки, мм.

Для на первой операции

$$\rho_{\text{ц}} = \sqrt{0,25 \cdot 2,8^2 + 1} = 1,72 \text{ мм.}$$

Суммарные пространственные отклонения

$$\rho_{\text{заг}} = \sqrt{1,7^2 + 0,7^2 + 0,428^2} = 1,9 \text{ мм.}$$

Каждая операция направлена на повышение точности. Это учитывается через соответствующий коэффициент

$$\rho_i = k_i \cdot \rho_{\text{заг}}, \quad (9)$$

где k_i – коэффициент.

Чтобы вести расчет по переходам примем следующий порядок. Черновой этап: точение черновое и чистовое, чистовой этап - шлифование черновое и чистовое.

Все расчетные данные по припуску и его расчету приведены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3 - Элементы припуска, мкм

Переход	Шероховатость	Глубина слоя	Отклонения	Погрешность установки
Заготовка	300	100	1900	-
Точение черновое	50	50	110	120
Точение чистовое	30	30	100	6
Шлифование черновое	10	10	90	12
Шлифование чистовое	5	5	80	8

Таблица 4 - Расчет размеров

Переход	Допуск, мкм	Размер, мм		Припуск, мкм	
		d_{\min}	d_{\max}	$2z_{\min}^{np}$	$2z_{\max}^{np}$
Заготовка	2,8	45,5	48,3	-	-
Точение черновое	0,25	40,942	41,19	4,6	7,2
Точение чистовое	0,074	40,513	40,587	0,43	0,6
Шлифование черновое	0,03	40,202	40,232	0,312	0,562
Шлифование чистовое	0,016	40,009	40,025	0,193	0,207

Схема размеров с допусками и припусками показана на рисунке 2.

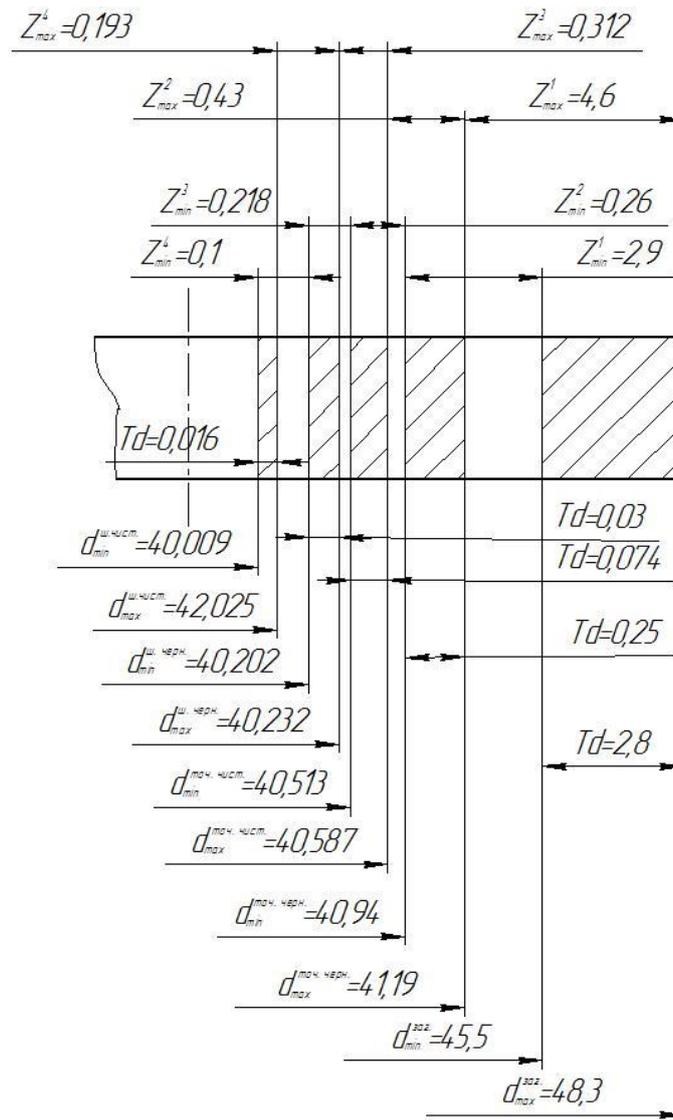


Рисунок 2 – Расчетные припуски

Параметры заготовки. Для открытой штамповки на ГКШПкласс точности– Т4. Степень сложности С1 по коэффициенту 0,8. Группа стали – М2. Исходный индекс – 13.

По этим данным выбирается допуск и припуск.

Смещение штампа –0,7 мм. Радиус закруглений 2 мм. Остаточный облой – 0,9 мм.

Расчетные и табличные припуски в таблице 5.

Таблица 5 – Припуски и размеры

Размер, мм	Допуск, мм	Припуск, мм	Размер заготовки, мм
Диаметр 57	2,8	2,8	62,6
Диаметр 44	2,8	1,9	47,8
Длина 301	4,5	2,2	305,4
Длина 136	3,6	1,9	140,1

Заготовка штамповка спроектирована на листе графической части.

2.3 Выбор технологических баз

Схема базирования приведена на рисунке 3.

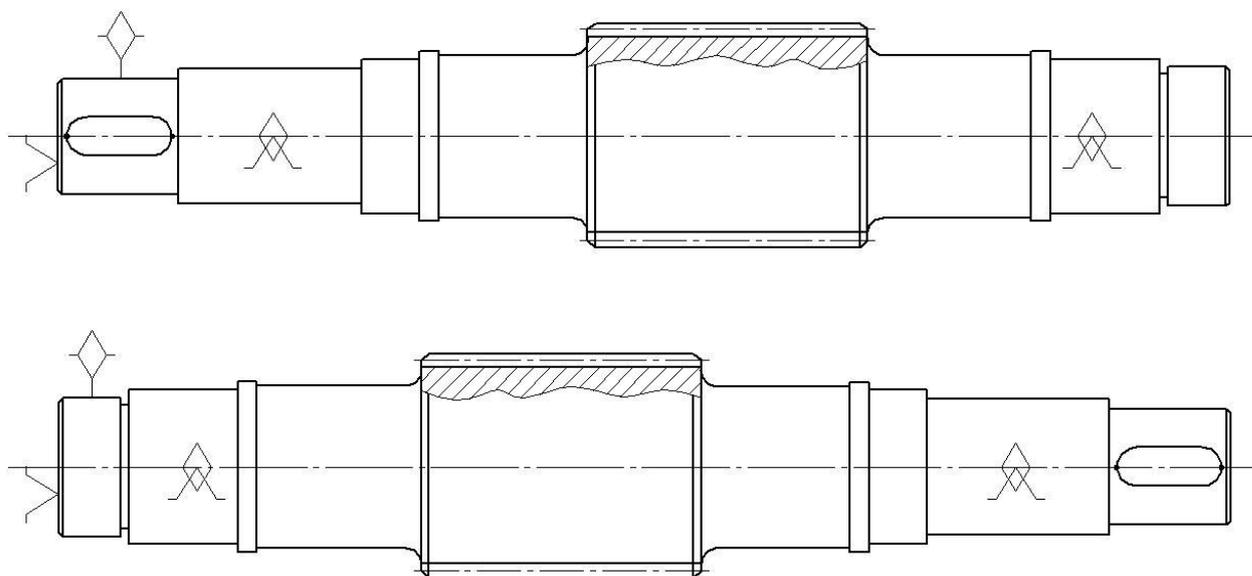


Рисунок 3 - Схема базирования вала

Она соответствует типовой схеме базирования вала на операциях: двойная направляющая, опорная, опорная.

Реализация при помощи приспособлений, выбранных в следующих подразделах.

2.4 Разработка маршрута

Методика выбора методов обработки для вал-шестерни включает несколько этапов, каждый из которых зависит от нескольких факторов [6].

Обработка вала включает такие методы, как токарная обработка, фрезерование и шлифование. Количество и порядок переходов зависит от требований к точности размеров и формы (таблица 6).

Таблица 6 - Переходы по обработке поверхностей

Вид поверхности	IT	Ra	Маршрут (шероховатость Ra, мкм)
Плоские свободные	12	6,3	Ф(6,3)-ТО(6,3)
Цилиндрические, вспомогательные базы	7	1,25	Т(12,5)-Тч(2,5)-ТО(2,5)-Ш(1,25)
Цилиндрические, свободные	12	6,3	Т(6,3)-ТО(6,3)
Цилиндрические, основные базы	6	0,63	Т(12,5)-Тч(2,5)-ТО-Ш(1,25)-Шч(0,63)
Отверстие	10	2,5	С(6,3)-РТ(2,5)-ТО(2,5)
Отверстие	8	1,25	С(6,3)-РТч(2,5)-ТО(2,5)-Ш(1,25)
Отверстие	12	6,3	РТ(6,3)-ТО(6,3)
Шлицевая	12	6,3	Ф(6,3)-ТО(6,3)
Шлицевая	9	3,2	Ф(6,3)-ТО-Ш(3,2)
Шлицевая	7	2,5	Ф(6,3)-ТО-Ш(3,2)
Резьбовая	4	0,63	Нарезание резцом(0,63)
Центровое отверстие	6	0,32	С(3,2)-ТО(3,2)-ЦШ(0,32)
Примечание: Ф- фрезерование торцовое; ТО- термообработка; Т – точение черновое; Тч – точение чистовое; Ш – шлифование черновое; Шч – шлифование чистовое; РТ – растачивание; С – сверление; ЦШ - центрошлифование			

Самым главным фактором является определение требований к размеру и его точности, а также форме, прочности и другим характеристикам. Учитываем материал и необходимость термообработки. Должно быть

соответствие требований чертежа условиям эксплуатации и предполагаемой нагрузке, чтобы определить уровень требуемой прочности и точности.

Выбор материала для изготовления вал-шестерни влияет на выбор метода обработки [11]. Углеродистая сталь 40Х имеет нормальную обрабатываемость.

В таблице 7 дан маршрут [13].

Таблица 7 -Технологический маршрут

Операция, наименование	Станок	Этап	Содержание	Параметры
1	2	3	4	5
005 Заготовительная	ГКШП	-	Штамповка	Точность 16 квалитет, шероховатость Ra 20 мкм
010 Фрезерно-центровальная	Фрезерно-центровальный МР-72	Позиция I Позиция II	Фрезерование торцов 40 мм Сверление отверстий 4 мм на 6 мм	12 квалитет, Ra 12,5 мкм 9 квалитет, Ra 2,5 мкм
015 Токарная	Токарно-фрезерный обрабатывающий центр IRONMAC ITX-508MY	Установ А	Точение черновое диаметров 60/31,5 мм на 150 мм	13 квалитет, Ra 12,5 мкм
		Установ Б	Точение черновое диаметров 60/36,5 мм на 150 мм	13 квалитет, Ra 12,5 мкм
			Точение чистовое диаметров 35,5 мм на 150 мм	10 квалитет, Ra 3,2 мкм
			Точение канавки	10 квалитет, Ra 3,2 мкм
		Установ В	Точение чистовое диаметров 30,5 мм на 118 мм	10 квалитет, Ra 3,2 мкм
			Точение канавки	10 квалитет, Ra 3,2 мкм
			Фрезерование шпоночного паза 10 мм на длину 17 мм за 3 прохода	9 квалитет, Ra 3,2 мкм
020 Зубофрезерная	Вертикальный зубофрезерный полуавтомат	-	Фрезерование зубьев модуль 1,5 мм 36 зубьев	10 степень точности, Ra 6,3 мкм

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5
-	для цилиндрических колес 53A50	-	-	-
025 Зубошевинговальная	Полуавтоматический зубошевинговальный станок ВСН-732NC2	-	Зубошевингование зубьев	8 степень точности, Ra 2,5 мкм
030 Термическая	Печь	-	Закалка	HRC 28-32
035 Центрошлифовальная	Центрошлифовальный станок 3922E	Установ А	Шлифование центрового отверстия 4 мм	7 квалитет, Ra 1,25 мкм
		Установ Б	Шлифование центрового отверстия 4 мм	7 квалитет, Ra 1,25 мкм
040 Круглошлифовальная	Круглошлифовальный станок 3М151Ф2	Установ А	Шлифование шейки черновое	7 квалитет, Ra 2,5 мкм
		Установ Б	Шлифование шейки черновое	7 квалитет, Ra 2,5 мкм
045 Круглошлифовальная	Круглошлифовальный станок 3М151Ф2	Установ А	Шлифование шейки чистовое	6 квалитет, Ra 1,25 мкм
		Установ Б	Шлифование шейки чистовое	6 квалитет, Ra 1,25 мкм
050 Зубошлифовальная	Зубошлифовальный полуавтомат 5A872B	-	Зубошлифование чистовое	6 степень точности, Ra 1,25 мкм
055 Моечная	Моечная камера	-	Мойка	-
060 Контрольная	Стол	-	Контроль	-

Соответствующий план обработки показан на листе графической части с указанием операций.

2.5 Выбор средств оснащения

Выбор необходимой оснастки отражен в таблице 8.

Таблица 8 - Средства оснащения

Номер, название операции	Приспособление	Инструмент	Измерительное средство
010 Фрезерно-центровальная	Тиски 7201-0007 ГОСТ 14904-80	2214-0505 Фреза диаметр 100, z=8 Т15К6 ГОСТ 28719-90; 2317-0033 Сверло диаметр 4 Р6М5 ГОСТ 14952-75	Линейка ГОСТ 427-75; Штангенциркуль ШЦК-I-250-0,02 ГОСТ 166-89
015 Токарная	Патрон ГОСТ 2571-71; Центр А-1-4-Н ГОСТ 8742-75	PCLNR 2525M12 Резец Т15К6 ТУ 2-035-892-82; 035-2126-1179 Резец канавочный Т14К8 ОСТ 2И10-7-84; 2223-3552 Фреза диаметр 10, z=3 Р8МЗК6С ГОСТ 23248-78;	Штангенциркуль ШЦК-I-250-0,02 ГОСТ 166-89
020 Зубофрезерная	Патрон ГОСТ 2571-71; Центр А-1-4-Н ГОСТ 8742-75	2510-4016 Фреза Р6М5 ГОСТ 9324-80	Калибр комплексный
025 Зубошевинговальная	Патрон ГОСТ 2571-71; Центр А-1-4-Н ГОСТ 8742-75	2570-0359 Шевер Р6М5 ГОСТ 8570-80	Приспособление индикаторное для контроля биения
030 Термическая	-	-	Твердомер; Приспособление индикаторное для контроля биения
035 Центрошлифовальная	Тиски 7201-0007 ГОСТ 14904-80	EW 6x10 24A F60 N 7 V 35м/с ГОСТ 2447-2008	Шаблон
040 Круглошлифовальная	Патрон 7108-0025 ГОСТ 2571-71; Центр 7032-0020 ГОСТ 13214-79	Круг 1 250x25x76 25А F46 N 7 V 35м/с А 1кл. ГОСТ 2424-2008	Микрометр МГ Н25 ГОСТ 6507- 90; Скоба ГОСТ 11098-75
045 Круглошлифовальная	Патрон 7108-0025 ГОСТ 2571-71; Центр 7032-0020 ГОСТ 13214-79	Круг 1 250x25x76 25А F60 N 7 V 35м/с А 1кл. ГОСТ 2424-2008	Микрометр МГ Н25 ГОСТ 6507- 90; Скоба ГОСТ 11098-75
050 Зубошлифовальная	Патрон 7108-0025 ГОСТ 2571-71; Центр 7032-0020 ГОСТ 13214-79	Круг 3 250x40x125 25А F60 В 7 V 35м/с А 1кл. ГОСТ 2424-2008	Приспособление индикаторное для контроля биения
055 Моечная	-	-	-
060 Контрольная	-	-	Приспособление индикаторное для контроля биения

Все оснащение перенесено в таблицу А.1 приложения А и таблицу Б.1 приложения Б. Также частично эта информация показана на листах графической части – в наладках.

Для зубофрезерования выбранное оснащение будет спроектировано в конструкторской части.

2.6 Расчет режимов резания

Существует несколько способов нарезания зубьев вала-шестерни, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. Рассмотрим некоторые из них [9].

Фрезерование на станках с числовым программным управлением (ЧПУ) наиболее подходящий метод, который позволяет достигать высокой точности и стабильности параметров зубьев вала-шестерни. Этот способ нарезания зубьев обеспечивает минимальный уровень шума и трения в процессе эксплуатации таких зубчатых передач, что улучшает долговечность и надежность узла. Однако, этот метод является наиболее дорогим из доступных, поскольку требует станка ЧПУ [10].

Зубострогание резцами позволяет нарезать зубья вала-шестерни, в том числе с большим количеством зубьев. Этот метод позволяет получить качественную поверхность зубьев и обеспечивает высокую производительность процесса. Однако, этот метод не гарантирует высокую точность зубьев, поэтому не подходит для деталей высокой точности, а также необходимо обеспечить наличие специального инструмента.

Зубофрезерование является достаточно точным и позволяет получить зубья вал-шестерни с высокой точностью. Зубофрезерование обеспечивает качественную поверхность зубьев и повышенную точность размеров и формы элемента (с учетом использования инструмента соответствующей точности). Однако, этот метод является более дорогостоящим из-за

использования специализированного оборудования и дорогостоящего инструмента.

Таким образом, зубофрезерование и зубострогание являются оптимальными методами нарезания зубьев точной вал-шестерни, поскольку обеспечивают высокую точность. Эти методы позволяют получить качественную поверхность зубьев (до Ra 3,2 мкм) и улучшить надежность и долговечность детали. Метод выбираем исходя из характеристик вал-шестерни, включая требования к точности (6 степень точности и Ra 1625 мкм). Учитываем объем производства (1500 деталей в год и среднесерийное производство), длительность выпуска и наличие оборудования (любое). Выбираем зубофрезерование, шевингование и шлифование методом обката.

«Скорость зубофрезерования

$$V = V_{\text{табл}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (10)$$

где $V_{\text{табл}}$ – табличная скорость, м/мин;

K_1 – коэффициент материала заготовки ;

K_2 – коэффициент заходов фрезы;

K_3 – коэффициент материала червячной фрезы» [16].

Для определения подачи используется похожая формула

$$S_o = S_{\text{табл}} \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (11)$$

где $S_{\text{табл}}$ - учет материала 40Х;

K_1 – коэффициент состояния поверхности;

K_2 – коэффициент инструментального материала.

С учетом модуля (1,5 мм), заходов фрезы (1)

$$S_o = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 = 2,25 \text{ мм/об.}$$

$$V = 65 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,2 = 78 \text{ м/мин.}$$

«Частота вращения инструмента:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}, \quad (12)$$

где V – расчетная скорость, м/мин;

D - диаметр отверстия, мм», [16].

$$n = \frac{1000 \cdot 78}{3,14 \cdot 80} = 310 \text{ мин}^{-1}.$$

«Для фрезерования тангенциальная сила:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot z}{D^q \cdot n^\omega} \cdot K_{mp}, \quad (13)$$

где C_p – коэффициент фрезерования;

x, y, n, u, q, ω – показатели степени;

K_{mp} - поправочный коэффициент», [16]:

C_p равен 825, остальное $x=1,0$; $y=0,75$; $n=0$, $q=1,3$, $u=1,1$ и $\omega=0,2$.

Коэффициент

$$K_{mp} = \left(\frac{HB}{190}\right)^n. \quad (14)$$

где n – показатель степени 0,4.

По расчету получается

$$K_{mp} = \left(\frac{230}{190}\right)^{0,4} = 1,1.$$

$$K_p = 1,1 \cdot 0,89 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,96.$$

Для прохода

$$P_z = \frac{10 \cdot 825 \cdot 3^1 \cdot 0,2^{0,75} \cdot 45^1 \cdot 12}{80^{1,3} \cdot 310^{0,2}} \cdot 0,96 = 1776 \text{ Н}.$$

Мощность резания:

$$N = \frac{Pz \cdot V}{1020 \cdot 60} \quad (15)$$

$$N = \frac{1776 \cdot 78}{1020 \cdot 60} = 2,7 \text{ кВт.}$$

Проверка мощности по предельной нагрузке:

$$N_e \leq N_{\text{Э,ДВ}} \cdot \eta, \quad (16)$$

где $N_{\text{Э,ДВ}}$ - мощность станка, кВт ;

η – коэффициент полезного действия, равен 0,9.

$$2,7 \leq 15 \cdot 0,9 = 13,5.$$

Обработка возможна.

Аналитический расчет проведен на переход по зубофрезерованию. Для операции токарной и шлифовальной режимы резания назначены по [18].

Сводные результаты расчета представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Режимы резания

Операция, переход	t, мм	S, мм/об	V м/мин	n, об/мин
1	2	3	4	5
005, Фрезерование торцов 40 мм	2	1,3	-	-
005, Сверление отверстий 4 мм на 6 мм	2	0,15	-	-
010, Точение черновое диаметров 60/31,5 мм на 150 мм	1,6	0,7	144	764
010, Точение черновое диаметров 60/36,5 мм на 150 мм	1,6	0,7	144	764
010, Точение чистовое диаметров 35,5 мм на 150 мм	0,38	0,34	215	1930
010, Точение канавки	2	0,34	215	1930
010, Точение чистовое диаметров 30,5 мм на 118 мм	0,38	0,34	215	2245
010, Точение канавки	2	0,25	281	2245
010, Фрезерование шпоночного паза 10 мм на длину 17 мм за 3 прохода	0,5	0,2	75	2389
015, Фрезерование зубьев модуль 1,5 мм 36 зубьев (для фрезы с покрытием)	3	0,9	184	587
020, Зубошевингование зубьев	0,08	0,5	38	67

Продолжение таблицы 9

1	2	3	4	5
025, Шлифование центрального отверстия 4 мм	0,1	0,03	32	743
030, Шлифование шейки черновое	0,25	4,5	28	256
035, Шлифование шейки чистовое	0,12	3	32	291
040, Зубошлифование чистовое	0,15	0,5	35	37

Информация по переходам есть в документации: таблица А.1 - маршрутная карта (приложение А); операционная карта – таблица Б.1 (приложение Б).

2.7 Нормирование

«Время штучное на операцию:

$$T_{шт} = T_o + T_v + T_{об} + T_{от}, \quad (17)$$

где T_o – основное время, мин;

T_v – время вспомогательное, мин;

$T_{об}$ – время технического и организационного обслуживания, мин;

$T_{от}$ – время перерывов», [18].

Основное время зависит от длины зубчатого венца (рисунок 4).

Основное время

$$T_o = [(l + l_1 + l_2)/(S_0 \cdot n_{\phi} \cdot g \cdot \cos \beta)] \cdot Z, \quad (18)$$

где l - длина венца, мм;

l_1 - длина врезания, мм;

l_2 - длина перебега, мм;

S_0 - подача фрезы за один оборот заготовки (осевая подача), мм/мин;

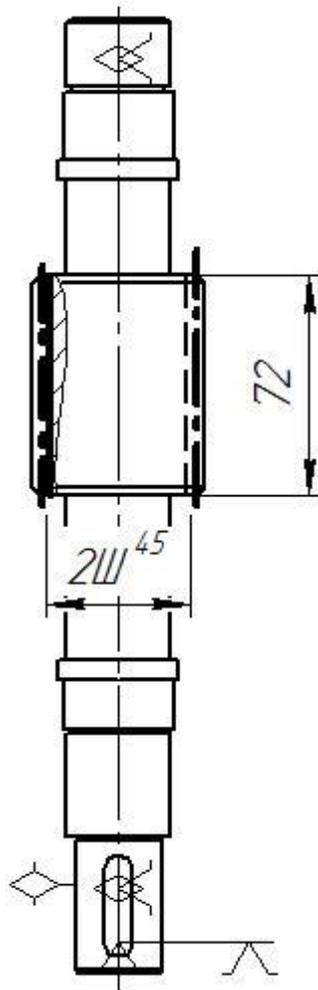


Рисунок 4 – Длина движения фрезы

n_{ϕ} - частота вращения фрезы, об/мин;

g - число заходов фрезы;

Z - число нарезаемых зубьев, мм;

B - угол наклона зуба колеса, град.

Для вала-шестерни:

$$l_1 = \sqrt{h(d_{\phi} - h)}, \quad (19)$$

где d_{ϕ} - диаметр фрезы, мм;

h - высота зуба, мм.

Примем $l_2=3$ мм. Тогда для 020 операции

$$l_1 = \sqrt{3(80 - 3)} = 15 \text{ мм,}$$

$$T_0 = [(72 + 15 + 3)/(2,25 \cdot 310 \cdot 1 \cdot \cos 7)] \cdot 36 = 4,7 \text{ мин.}$$

Для новой фрезы (раздел 3)

$$T_0 = [(72 + 15 + 3)/(2,25 \cdot 587 \cdot 1 \cdot \cos 7)] \cdot 36 = 2,5 \text{ мин.}$$

Для вспомогательного времени:

$$T_B = (T_{y.c.} + T_{з.о.} + T_{уп} + T_{из}) \cdot K_{cp}, \quad (20)$$

«где $T_{y.c.}$ - время базирования и снятие вала-шестерни;

$T_{з.о.}$ - время фиксации и раскрепления вала-шестерни;

$T_{уп}$ - время управления, мин;

$T_{из}$ - время измерений, мин;

K_{cp} - коэффициент серийного производства» [21].

K_{cp} принимаем 1,85.

$$T_B = (0,12 + 0,08 + 0,03 \cdot 2 + 0,45) \cdot 1,85 = 1,3 \text{ мин.}$$

Время обслуживания и отдыха:

$$T_{об} = (T_0 + T_B) \cdot \frac{a}{100}. \quad (21)$$

где a – процент на обслуживание примем 6%.

$$T_{от} = (T_0 + T_B) \cdot \frac{b}{100}. \quad (22)$$

где b –для вала составит 5%.

Для 015 операции

$$T_{об} = (4,7 + 1,3) \cdot \frac{6}{100} = 0,45 \text{ мин.}$$

$$T_{от} = (4,7 + 1,3) \cdot \frac{5}{100} = 0,4 \text{ мин.}$$

$$T_{шт} = 6 + 0,45 + 0,4 = 6,95 \text{ мин.}$$

Нормирование заканчивается определением штучно-калькуляционного времени

$$T_{\text{шт-к}} = \frac{T_{\text{п-з}}}{n} + T_{\text{шт}}. \quad (23)$$

где n – партия запуска.

Партию запуска определим для 12 дней запуска (периодичность). Для такого периода она составит 71 штуку.

$$T_{\text{шт-к}} = \frac{45}{71} + 6,95 = 7,6 \text{ мин.}$$

Выводы по разделу

Для осесимметричного вала-шестерни выбран способ получения заготовки на механическом прессе. Разработанные технологические операции обеспечивают все необходимые технические требования, указанные на чертеже. Технологический процесс включает черновые переходы: точение черновое и чистовое, зубообработку. На чистовом этапе проводят шлифование черновое и чистовое с добавлением термообработки. Рассматриваются вопросы проектирования операционных припусков и размеров с техническими требованиями на них. Выполнен расчет и назначение режимов обработки, определение норм времени на зубообрабатывающую операцию аналитически, на все остальные таблично.

3 Разработка специальной технологической оснастки

3.1 Проектирование приспособления

Проведем проектирование приспособления для зубофрезерной операции. Схема установки вала на операции вертикальная. Снизу используется патрон, сверху вал закрепляется вращающимся центром. Для уменьшения вылета заготовки базовой шейкой выбрана поверхность со стороны выходного конца вала.

Для точного центрирования заготовки необходимо использовать приспособление высокой точности [5]. Погрешность установки на операции не должна превышать 0,03 мм. Данному критерию соответствуют цанговый патрон.

Для ускорения вспомогательных переходов по закреплению и раскреплению заготовки он должен быть оборудован механизированным приводом зажима [20].

Для расчета необходимы параметры силы резания, возникающие на операции. В технологическом разделе была рассчитана тангенциальная сила при зубофрезеровании червячной фрезой. Для определения осевой составляющей силы фрезеровании используется [17] формула

$$P_o = 0,3P_z tg\omega, \quad (24)$$

где ω – угол наклона зубьев.

$$P_o = 0,3 \cdot 1776 \cdot tg72 = 1640 \text{ Н.}$$

При обработке возникает сила, направленная вдоль оси заготовки вниз. Она прижимает опорный буртик вала к торцовой поверхности цанги (рисунок 5). Сила радиальная старается прогнуть заготовку между опорами. Установка вала по двух опорной схеме обеспечивает стабильность ее

положения. Возникающие деформации определяются жесткостью опор и самой заготовки и в данном разделе не определяются.

Основной силой, которая прокручивает заготовку в опорах, является осевая сила резания.

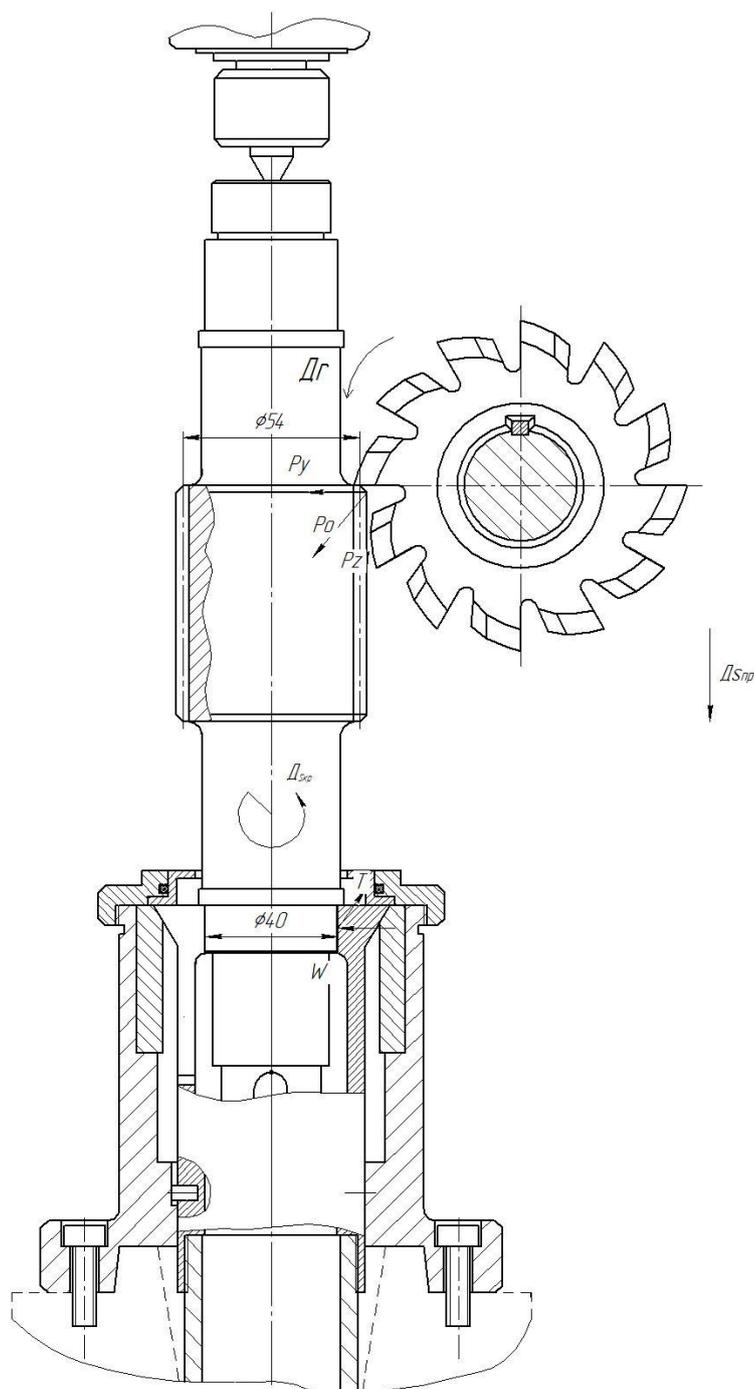


Рисунок 4 -Схема сил резания и зажима

Определив момент резания на плече, равном делительному радиусу, определяем силу закрепления

$$M = P_o \cdot \frac{d}{2}, \quad (25)$$

где d – делительный диаметр, м.

$$M = 1640 \cdot \frac{0,054}{2} = 44,3 \text{ Нм.}$$

Для фиксации необходимо приложить со стороны цанговой поверхности зажима силу, которая будет создавать момент закрепления

$$W = K \cdot \frac{2 \cdot M}{n \cdot f \cdot d_6}, \quad (26)$$

где K – коэффициент безопасности» [17,с.85]

$$W = 2,5 \cdot \frac{2 \cdot 44,3}{3 \cdot 0,1 \cdot 0,04} = 18458, \text{ Н.}$$

Для закрепления в цанге надо создать силу для упругой деформации лепестков у цанги [16] с учетом конструктивных параметров цанги (вылета лепестков, угла конуса цанги, параметров материала, необходимой величины деформации упругих лепестков, параметров трения)

$$J = \frac{55^3 \cdot 4}{8} \left(1,9 + \sin 1,9 \cos 1,9 - \frac{2 \sin^2 1,9}{1,9} \right) = 83188 \text{ мм}^4,$$

$$\varphi = \arctg 0,15 = 8,53^\circ,$$

$$Q_1 = 3 \cdot \frac{2 \cdot 10^5 \cdot 83188 \cdot 0,1 \cdot 3}{75^3} \cdot \text{tg } 33^\circ = 56369 \text{ Н},$$

$$Q_2 = 18458 \cdot \text{tg } 23 = 23314 \text{ Н}.$$

Окончательно сила на приводе

$$Q = 56369 + 23314 = 79683 \text{ Н.}$$

Диаметр поршня

$$D = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{Q}{\eta \cdot P}}, \quad (27)$$

где P –давление масла, МПа.

Для гидравлики примем $P = 7,5$ Мпа [19].

$$D = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{79683}{0,95 \cdot 7,5}} = 119 \text{ мм.}$$

Принимаем по $D = 120$ мм.

Цанговый патрон, предназначенный для закрепления вала-шестерни на зубофрезерной операции, состоит из силового привода в виде пневматического цилиндра 1. Шток привода 1 соединен с тягой 4 в виде трубы. Резьбовой частью эта труба закрепляется в цанге 3. Это цанга трех лепестковая с наружной конической поверхностью. Она проходит по направляющему отверстию в корпусе 2 в виде фланцевой втулки. Для исключения поворота цанги в корпусе 2 используется направляющий штифт 10. Корпус 2 закрепляется на столе станка по коническому посадочному отверстию и фиксируется винтами 8. Для обеспечения работы корпуса 2 цанга 3 опирается на коническую поверхность во втулке 6. Для исключения попадания в трущиеся поверхности грязи, стружки и пыли используются две крышки. Первая - резьбовая 5 для фиксации, вторая - для герметизации 7. Между ними установлено уплотнительное кольцо 9.

Цанговый патрон работает следующим образом. Заготовка вала-шестерни устанавливается в посадочное отверстие цанги до упора в торец. Далее включается силовой привод 1. Тяга 4 перемещается вниз, что приводит к перемещению лепестков цанги внутрь и фиксации заготовки.

После обработки раскрепление происходит в обратном порядке.

Дополнительно для повышения жесткости технологической установки используется поджим верхним вращающимся центром.

3.2 Проектирование инструмента

Червячная фреза - это инструмент для обработки зубчатых колес и червячных передач. Она представляет собой цилиндрическую фрезу с винтовой поверхностью, которая имеет форму прямой или косой гребенки.

Особенности червячной фрезы заключаются в ее конструкции и принципе работы. Она работает по принципу зубчатого зацепления, при котором зубья фрезы входят в зацепление с зубьями обрабатываемого детали. Червячная фреза создает спиральное движение, которое позволяет обрабатывать зубчатые колеса и червячные передачи с высокой точностью и качеством.

Еще одна особенность червячной фрезы - это ее способность обрабатывать большие детали с высокими показателями точности (до 7 степени точности). Благодаря своей конструкции и принципу работы, червячная фреза может обрабатывать детали различных размеров и форм, что делает ее универсальным инструментом для обработки.

Червячная фреза может быть использована для обработки материалов различной твердости, включая сталь 40Х. При этом необходимо выбирать правильный инструментальный материал и режим обработки, чтобы достичь требуемых показателей.

Червячная фреза - это высокоточный и универсальный инструмент для обработки зубчатых поверхностей различных деталей в разных типах производств высокого качества и точности при обработке материалов различной твердости.

Расчет ведется по [15] для рабочих конструктивных параметров червячной фрезы, используемой на зубофрезерной операции. Данный инструмент работает методом обката. Класс точности - 2 типа А.

Конструирование и расчет червячной фрезы для обработки цилиндрических колес с эвольвентным профилем по ГОСТ 9324 – 80 ведется в определенной последовательности.

Сначала назначаем основные размеры фрезы по ГОСТ 9324-80. Наружный диаметр фрезы 56 мм. Диаметр посадочного отверстия под оправку 22 мм. Диаметр буртика 40 мм. Длина фрезы 60 мм. Рабочая длина фрезы 52 мм. Число зубьев 12.

Размеры профиля зубьев в нормальном сечении и в осевом сечении:

- профильный угол рейки в нормальном сечении α 30°;
- шаг по нормали (между соседними профилями фрезы) 18°.

Материал Р6М5 с покрытием из карбида титана, что позволит повысить режимы резания.

Чертеж со всеми параметрами представлен на листе графической части.

Выводы по разделу

В конструкторской части представленной работы рассматриваются расчет и проектирование зажимного приспособления для точного позиционирования вал-шестерни на операции по зубофрезерованию. Для повышения эффективности обработки предлагается конструкция режущего инструмента – червячной фрезы. Спецификация на разработанное приспособление приведено в таблице Б.1 приложения Б.

4 Экологичность и безопасность проекта

Для разработки мер по обеспечению безопасности труда и экологичности процесса изготовления вал-шестерни необходимо выявить опасные и вредные производственные факторы [4].

В процессе его изготовления после заготовительного этапа в прессовом цехе на ГКШП заготовка поступает на фрезерно-центровальную операцию на станке MP-72, где в тисках проходит обработка торцев фрезерованием и сверлением.

На токарной операции на станке токарно-фрезерном обрабатывающем центре IRONMAC ITX-508MY проходит точение черновое и чистовое, точение канавки и фрезерование шпоночного паза. После этого на зубофрезерной операции на вертикальном зубофрезерном полуавтомате идет фрезерование зубьев (10 степень точности), затем следует зубошвинговальная операция (8 степень точности). После термической операции на центрошлифовальной, круглошлифовальной и зубошлифовальной происходит окончательная обработка вала-шестерни с мойкой и контролем.

Наименования опасных и вредных производственных факторов следующие. С точки зрения травматизма это «движущиеся части станка, передвигающиеся изделия и заготовки, отлетающая стружка, пылевые частицы обрабатываемого материала, осколки режущего инструмента» [4]. Кроме травматизма вредное влияние оказывает на сердечно-сосудистую систему высокая температура поверхности обрабатываемой детали. Возможно поражение током из-за повышенного напряжения в электрических цепях. Общее вредное действие на организм, включая органы дыхания, нервную систему оказывают запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны, высокий уровень шума и вибрации. На органы зрения и общую утомляемость влияют недостаточная освещенность рабочей зоны, физические перегрузки, перенапряжение зрения, монотонность труда.

Необходимо разработать меры по снижению или предотвращению их влияния на работающих. Для обеспечения заданных параметров воздушной среды на рабочих местах в обрабатывающем цехе используется несколько подходов. Для снижения токсичных выделений на рабочих местах, где скорости резания невысокие (черновая обработка), заменять обработку, которая выполняется с использованием СОЖ на сухую обработку. Данная замена должна быть обоснована, так как перегрев режущего инструмента, а также поверхностного слоя заготовки, может привести к температурным дефектам. Подача СОЖ, если остается, должна быть минимально необходимой для уменьшения концентрации испарений. Кроме этого, необходимо контролировать сам состав жидкости для уменьшения вредных веществ а также обеспечивать ее очистку и охлаждение.

Одним из ключевых условий обеспечения нормальных условий обработки по параметрам воздушной среды, шуму и вибрациям является состояния технологического оборудования, которое обеспечивается его правильной эксплуатацией. Кроме этого, для защиты от травм, принимаются меры по механизации и автоматизации процесса (используется токарно-фрезерный центр с автоматической заменой инструмента), чтобы исключить ручной труд в рабочей зоне станка, использовать автоматический контроль и диагностику. Эти меры позволят снизить время нахождения оператора около рабочей зоны, где происходят основные выделение пыли и испарений, а также вероятность травмирования.

Использование местной приточно-вытяжной вентиляции, а также общей фильтрации воздуха поступающего в помещение и выходящего из него, обеспечивает нормальное состояние воздушной среды, как внутри цеха, так и за его пределами. Механические фильтры используются для удаления пыли, грязи и других крупных частиц из воздуха. Они могут быть изготовлены из различных материалов, таких как стекловолокно, полиэстер и другие. В качестве обеспыливающего оборудования для механического участка применяются ротационные пылеуловители (ротоклоны), которые

одновременно с движением воздуха очищают его от крупных частиц (до 100мкм) благодаря силам инерции. Также применяется пылеосадочная камера для осаждения тяжёлой пыли (более 100 мкм).

Категория пожарной опасности цеха, где расположен участок обработки валов – Д. При использовании металлорежущих станков возникает ряд опасных факторов, связанных с вероятностью возникновения пожара. Это могут быть искры при обработке, повышенная температура в зоне обработки или в элементах технологического оборудования. При использовании технологии термообработки вероятность пожарной опасности возрастает в зонах использования нагревательных печей.

Одним из пожароопасных факторов являются электрические системы. Необходимо использовать защитное заземление, а также должны использоваться системы автоматического отключения.

Для обеспечения пожарной безопасности необходимо обеспечивать периодически инструктаж с рабочими, занятыми в технологическом процессе. Инструктаж должен быть посвящен противопожарным мероприятиям, а также охране труда. На участке должны быть размещены первичные средства пожаротушения, работе с которыми должны быть ознакомлены работающие на участке. необходимо установить пожарные щиты с необходимым оборудованием, в том числе огнетушители УП-2М (углекислотные) для тушения горючих жидкостей. Также в цехе должны находиться стационарные средства пожаротушения и внутренние пожарные краны. Должна быть предусмотрена система автоматической сигнализации.

Необходимо обеспечить эвакуационные выходы.

Для обеспечения экологических требований отходы утилизируются, воздух очищается (описано выше), а стоки фильтруются и отстаиваются.

Выводы по разделу

Разработаны мероприятия для защиты работников и окружающей среды от вредных производственных факторов при изготовлении вала.

5 Экономическая эффективность работы

Данный раздел предполагает решение главной задачи бакалаврской работы, которая заключается в экономическом обосновании целесообразности внедрения предложенных в технологический процесс изменений.

Для решения поставленной задачи необходимо провести сравнительный анализ технических и экономических параметров, двух вариантов технологического процесса, описанных в предыдущих разделах.

Основное изменение технологического процесса предполагает замену инструмента. Он имеет большую износостойкость, поэтому может обеспечить снижение трудоемкости операции за счет увеличения режимов резания.

Результаты технических изменений после совершенствований операций, а именно замена инструмента:

- сокращение основного времени выполнения операций на 46,8 %;
- сокращение вспомогательного времени – на 27,6 %;
- увеличение стойкости применяемого инструмента на 50 %.

Описанные результаты достаточно существенны для того чтобы сделать предварительное положительное заключение о необходимости внедрения данных изменений. Однако, чтобы полноценно в этом убедиться, необходимо провести некоторые экономические расчеты. Они связаны с определением величины инвестиций и их сроком окупаемости, а также с расчетом самого важного показателя, такого как экономический эффект.

На рисунке 5 представлены методики, которые позволяют грамотно рассчитать все вышеперечисленные экономические показатели.

Используя, описанную на рисунке 5, методику расчета капитальных вложений, в совокупности с программой Microsoft Excel, была определена величина инвестиций (K_{BB}), которая составила 95266,01 руб. Данное значение

учитывает все необходимые финансовые вливания в совершенствование проекта.



Рисунок 5 – Применяемые методики для определения необходимых экономических показателей [7]

На рисунке 6 представлены показатели, из которых сложилась итоговая величина инвестиций.

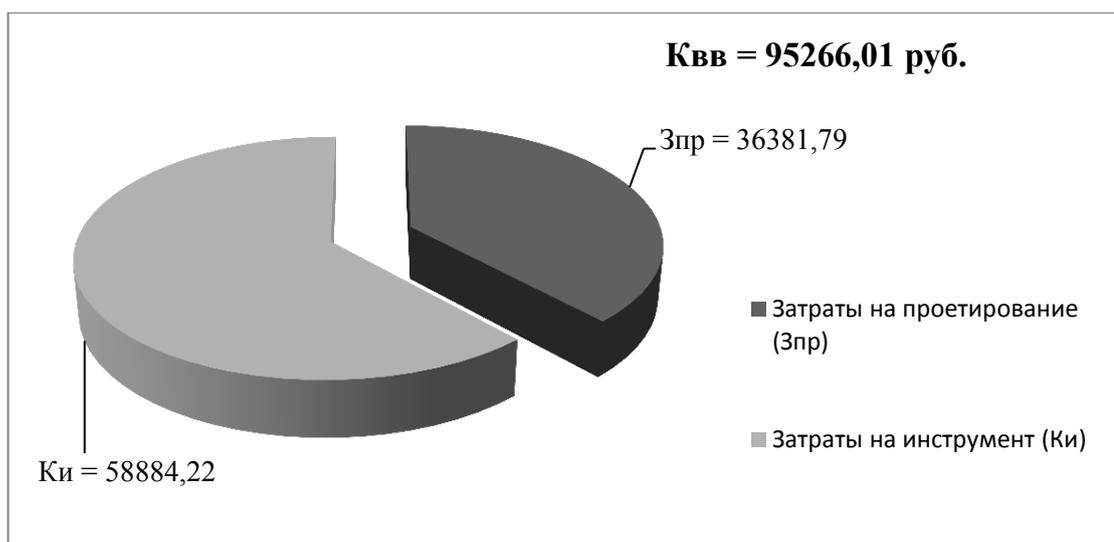


Рисунок 6 – Показатели и их значения, которые вошли в величину инвестиций для предлагаемых совершенствований

Анализируя рисунок 6, можно сказать, что затраты на инструмент являются самыми существенными, так как их доля составила 61,8 % в общем объеме инвестиций.

Для определения срока окупаемости заявленных инвестиций необходимо последовательно определить некоторое количество дополнительных показателей, которые представлены на рисунке 7.

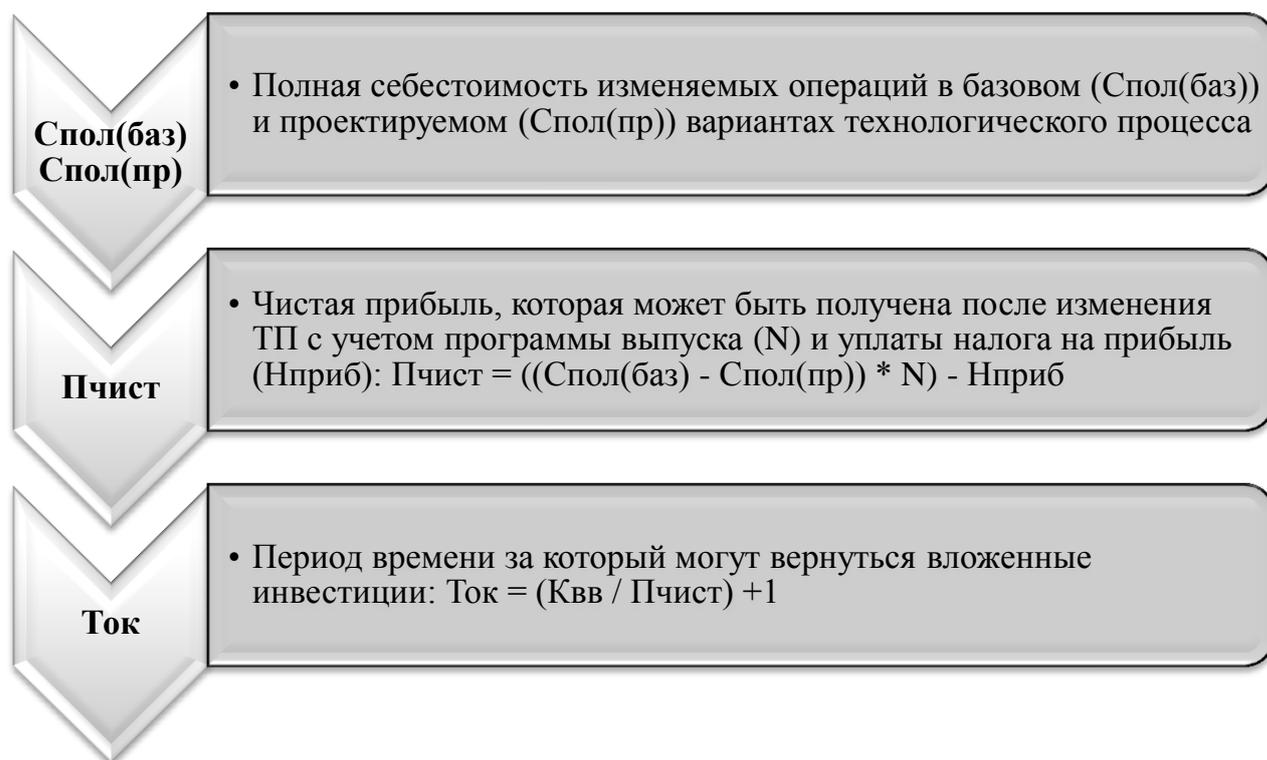


Рисунок 7 – Дополнительные экономические показатели для определения срока окупаемости и их взаимосвязь

Как видно из рисунка 7, для получения результата по сроку окупаемости, сначала необходимо определить значение такого экономического показателя как полная себестоимость изменяемых операций. Эту величину рассчитывают по двум вариантам, базовому и проектируемому. Это необходимо для того чтобы можно было определить изменения, т. е. посмотреть на сколько снизится или увеличится себестоимость выполнения этих операций. Чтобы окупить вложенные

инвестиции себестоимость проектируемого варианта должна снижаться. Также важно, на сколько она снизится, потому что чем больше будет разница у полной себестоимости, тем быстрее окупятся вложенные инвестиции.

Результаты расчета полной себестоимости по вариантам технологического процесса представлены на рисунке 8.

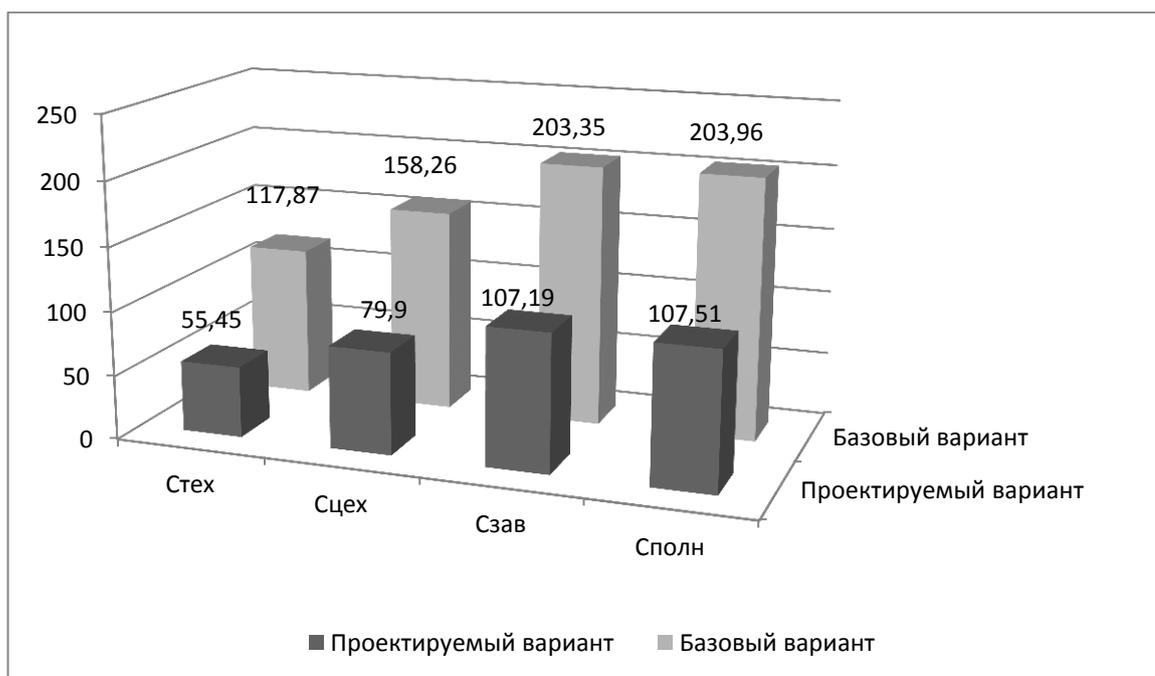


Рисунок 8 – Результаты расчета полной себестоимости по вариантам

Из рисунка 8 видно, что полная себестоимость в проектируемом варианте снижается, это изменение составляет около 47,3 %.

Далее, благодаря значениям полной себестоимости базового и проектируемого варианта операций, определяется возможная прибыль, которую сможет получить предприятие от внедрения совершенствований.

Затем уже приступают к определению самого срока окупаемости. Так как, технологические процессы по изготовлению продукции присуще промышленным предприятиям, то для них определен максимальный горизонт окупаемости инвестиций в 4 года. Другими словами срок окупаемости не должен превышать этого значения.

Учитывая срок окупаемости инвестиций, определяется интегральный экономический эффект ($\mathcal{E}_{ИНТ}$) путем расчета через сложные проценты. Они позволят максимально учесть потерю стоимости денежных средств и показать максимально реалистичное значение экономического эффекта. Данный способ расчета экономического эффекта основывается на расчетном сроке окупаемости инвестиций, величине чистой прибыли и процентной ставке на капитал.

На рисунке 9 представлены рассчитанные значения следующих показателей: чистая прибыль, срок окупаемости и экономический эффект.

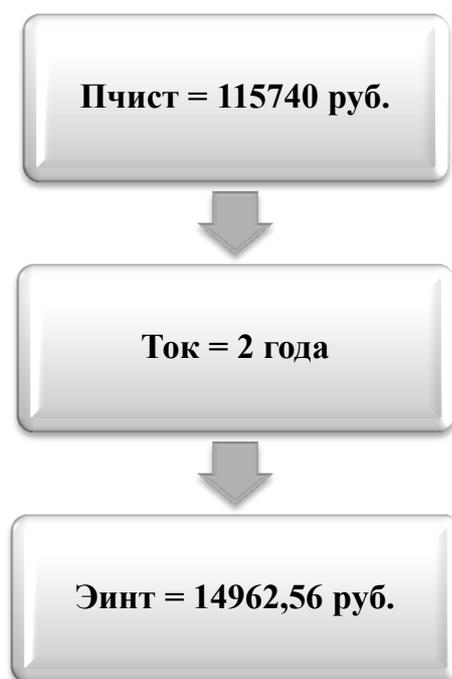


Рисунок 9 – Значения показателей чистой прибыли ($P_{ЧИСТ}$), срока окупаемости ($T_{ОК}$) и экономического эффекта ($\mathcal{E}_{ИНТ}$)

Выводы по разделу

Как показано на рисунке 9, экономический эффект является положительной величиной, т. е. он получен, поэтому внедрение предлагаемых совершенствований можно считать целесообразными.

Заключение

В работе рассматривается технологический процесс изготовления вала-шестерни.

Эта деталь является ступенью понижающего редуктора. Вал-шестерня является ответственной деталью и имеет высокие технические требования, которые были проверены в ходе технического анализа. Конструкция является типовой и имеет типичные технологические признаки. В целом деталь технологична.

Для обработки были выбраны универсальные станки. Это является необходимым, так как тип производства был определен как среднесерийный. Для заданного выпуска детали используется не только универсальное оборудование, но и оснащение. Для осесимметричной детали выбран способ получения заготовки на механическом прессе. Это экономит материал за счет заготовки, которая более приближена к форме детали, чем у проката. Разработанные технологические операции обеспечивают все необходимые технические требования, указанные на чертеже. Технологический процесс включает в себя точение черновое и чистовое, зубофрезерование и шевингование, шлифование черновое и чистовое с добавлением термообработки. Рассмотрены вопросы проектирования операционных припусков и размеров с техническими требованиями на них, расчет и назначение режимов обработки, определение норм времени. В конструкторской части представленной работы выполнен расчет и проектирование зажимного приспособления для точного базирования вала-шестерни. Для повышения эффективности обработки предлагается новая конструкция режущего инструмента - фрезы. Вся технологическая документация сведена в маршрутные и операционные карты, а также карты наладок.

Список используемых источников

1. Акулич Н.В. Технология машиностроения : учебник / Н.В. Акулич - Ростов на/Д : Феникс, 2015. - 395 с.
2. Блюменштейн В. Ю. Проектирование технологической оснастки : учеб. пособие / В. Ю. Блюменштейн, А. А. Клепцов. - Изд. 5-е, стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2023. - 220 с. : ил. - URL: <https://e.lanbook.com/book/271247> (дата обращения: 27.04.2023).
3. Бушуев В. В. Практика конструирования машин : справочник / В. В. Бушуев. - Москва : Машиностроение, 2006. - 448 с. : ил. - (Библиотека конструктора). - Прил.: с. 440-448. - Библиогр.: с. 438-439. - ISBN 5-217-03341-X : 500-00. - Текст : непосредственный.
4. Горина Л. Н. Раздел выпускной квалификационной работы "Безопасность и экологичность технического объекта" : электрон. учеб.-метод. пособие / Л. Н. Горина, М. И. Фесина ; ТГУ ; Ин-т машиностроения ; каф. "Управление промышленной и экологической безопасностью" . - ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2018. - 41 с. - Прил.: с. 31-41. - Библиогр.: с. 26-30. - Режим доступа: Репозиторий ТГУ. - ISBN 978-5-8259-1370-4. - Текст : электронный.
5. Горохов В. А. Проектирование и расчет приспособлений : учебник для вузов / В. А. Горохов, А. Г. Схиртладзе. - Гриф УМО. - Старый Оскол : ТНТ, 2008. - 301 с. : ил. - Прил.: с. 252-297. - Библиогр.: с. 298-299. - ISBN 978-5-94178-181-2 : 329-60. - Текст : непосредственный.
6. Зубарев Ю. М. Специальные методы обработки заготовок в машиностроении : учеб. пособие для студентов машиностр. вузов / Ю. М. Зубарев. - Гриф УМО. - Санкт-Петербург : Лань, 2015. - 400 с. : ил. - (Учебник для вузов. Специальная литература). - Библиогр.: с. 392-395. - ISBN 978-5-8114-1856-5 : 1091-00. - Текст : непосредственный.
7. Зубкова Н.В. Методическое указание к экономическому обоснованию курсовых и дипломных работ по совершенствованию технологических процессов механической обработки деталей (для студентов

специальностей 120100 / Н.В. Зубкова, – Тольятти : ТГУ, 2015. - 46 с.

8. Марочник сталей и сплавов / сост. А. С. Зубченко [и др.] ; под ред. А. С. Зубченко. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Машиностроение, 2003. - 782 с.

9. Назначение рациональных режимов резания при механической обработке : учебное пособие / В. М. Кишуров, М. В. Кишуров, П. П. Черников, Н. В. Юрасова. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 216 с. — ISBN 978-5-8114-4521-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/121986> (дата обращения: 17.05.2020)

10. Обработка металлов резанием [Текст] : справочник технолога / А. А. Панов [и др.] ; под общ. ред. А. А. Панова. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Машиностроение, 2004. - 784 с. : ил. - Библиогр. в конце гл. - Прил.: с. 764-779. - Предм. указ.: с. 780-784. - ISBN 5-94275-049-1 : 1242-91. - 1000-00.

11. Расторгуев Д. А. Разработка плана изготовления деталей машин [Текст] : учеб.-метод. пособие / Д. А. Расторгуев ; ТГУ ; Ин-т машиностроения ; каф. "Оборудование и технологии машиностроит. пр-ва". - ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2013. - 51 с. : ил. - Библиогр.: с. 50. - 28-58.

12. Расторгуев Д. А. Проектирование технологических операций [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. пособие / Д. А. Расторгуев ; ТГУ ; Ин-т машиностроения ; каф. "Оборудование и технологии машиностроит. пр-ва". - Тольятти : ТГУ, 2015. - 140 с. : ил. - Библиогр.: с. 55-56. - Прил. : с. 57-140. - ISBN 978-5-8259-0817-5 : 1-00.

13. Расторгуев Д. А. Технологическая часть выпускной квалификационной работы машиностроительного направления [Электронный ресурс] : электронное учеб.-метод. пособие / Д. А. Расторгуев ; ТГУ ; Ин-т машиностроения ; каф. "Оборудование и технологии машиностроит. пр-ва". - ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2017. - 34 с. : ил. - Библиогр.: с. 31-34. - ISBN 978-5-8259-1145-8.

14. Расчет режимов резания при точении и фрезеровании [Текст] : метод. пособие к курс. работе по дисциплине "Технол. процессы машиностроит. пр-ва" для заоч. формы обучения спец. 12 01 00, 12 02 00, 15 01 00, 150200 / ТГУ ; Каф. "Технология машиностроения". - Тольятти : ТГУ, 2002. - 59 с. : ил.
15. Режущий инструмент [Текст] : учеб. для вузов / Д. В. Кожевников [и др.] ; под ред. С. В. Кирсанова. - Гриф УМО. - Москва : Машиностроение, 2004. - 511 с. : ил. - Библиогр.: с. 510-511. - ISBN 5-217-03250-2 : 312-00.
16. Режимы резания металлов : справочник / Ю. В. Барановский [и др.] ; под ред. А. Д. Корчемкина. - 4-е изд., перераб. и доп. - Москва : НИИТавтопром, 1995. - 456 с.
17. Строителев В. Н. Методы и средства измерений, испытаний и контроля [Текст] : учеб. для вузов / В. Н. Строителев ; [редкол.: В. Н. Азаров (председ.) и др.]. - Москва : Европ. центр по качеству, 2002. - 150 с. : ил. - (Управление качеством). - Библиогр.: с. 150. - Прил.: с. 115-149. - ISBN 5-94768-023-8 : 180-00.
18. Станочные приспособления : учеб. пособие для студентов вузов, обуч. по направлениям подготовки 15.03.05 (151900) "Конструкторско-технол. обеспечение машиностроит. пр-в", "Автоматизация технол. процессов и пр-в (машиностроение)" / В. В. Клепиков [и др.]. - Гриф УМО. - Москва : Форум, 2016. - 318 с.
19. Схиртладзе А. Г. Технологическая оснастка машиностроительных производств : учеб. пособие. Т. 1 / А. Г. Схиртладзе, В. П. Борискин. - Гриф УМО. - Старый Оскол : ТНТ, 2008. - 547 с.
20. Grote K.-H., Antonsson E.K. Springer Handbook of Mechanical Engineering / K.-H Grote, E.K. Antonsson – New York : Springer Science - Business Media, 2008.
21. Nee A. Y. Handbook of Manufacturing Engineering and Technology / A. Y. C. Nee – London : Springer Reference, 2015.

Приложение А

Технологические карты

Таблица А.1 - Маршрутная карта

ГОСТ 3.1118-82 Форма 1										
Дуол.										
Взам.										
Глоол.										
								3	1	
Разраб.	Смирнов									
Проверил	Расторгуев									
Утвердил	Погинов									
Н. контр.	Расторгуев									
Вал-шестерня										
M 01	Круг 63 ГОСТ 2590-88 / Сталь 40Х ГОСТ 4543-71									
	Код	ЕН	Н. расх.	КИМ	Код заготовки	Профиль и размеры	КД	МЗ		
M 02	кз	5,5	1	1	Круг	58x302	1	6,2		
А	Цех Уч.	РМ	Опер.	Код. наименование операции			Обозначение документа			
Б	Код. наименование оборудования	СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	
A03	000	Штамповка заготовительная								
B04	Пресс К8542									
A05	07 2	005	4221	Фрезерно-центровальная						1 1 1 1
B06	Фрезерно-центровальный МР-72									
A07	07 2	015	4114	Токарно-фрезерная ИОТ Т5, С6						1 1 1 1 23
B08	Токарно-фрезерный обрабатывающий центр IRONMAC ITX-508MU									
A09	020	4153	Зубофрезерная						1 1 1 1 1,36	
B10	Вертикальный зубофрезерный полуавтомат 53A50									
A11	025	4157	Зубошвейнговальная						1 1 1 1 1	
B12	Вертикальный зубошвейнговальный полуавтомат									
B13	VCH-732NC2									
A14	030	5000	Термическая обработка						1 1 1 1 1	
B15										
A16	035	4143	Центрошлифовальная						1 1 1 1 1	
МК	Маршрутная карта									

Продолжение Приложения А

Таблица А.2 – Операционная карта

ГОСТ 3.1118-82 Форма																	
Дубл.																	
Взам.																	
Подл.											2						
А	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код, наименование операции	СМ	Проф.	Р	УГ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт.	Гпз	Тшт.	Н. расх.
Б	Наименование детали, сб. единицы или материала		Код, наименование оборудования		Обозначение документа												
К/М	Наименование детали, сб. единицы или материала		Код, наименование оборудования		Обозначение, код												
Б01	Центрошлифовальный 3922Е				1	1	1	1									
А02	07	2	040	Круглошлифовальная													
Б03	Круглошлифовальный станок 3М151Ф2				1	1	1	1									
А04	07	2	045	Круглошлифовальная													
Б05	3Б161				1	1	1	1									
А06	050 4151 Зубошлифовальная																
Б07	Зубошлифовальный полуавтомат для обработки коничес				1	1	1	1									
Б08	зубьями 5А872В																
А09	07	2	060 0125	Промылка													
Б10	Моечная машина												1	1			
А11	07	2	065 0200	Контроль													
Б12	Стол				4	1	1	1									
А13																	
Б14																	
О15																	
Т16																	
Т17																	
МК	Маршрутная карта																

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.2

ГОСТ 3.1404-86 Форма 3

Двусл. Взам. Посл.	Разраб. Проверил Утвердил	Смирнов Расторгуев Логинное	Наименование операции	Материал	Вал-шестерня				Профиль и размеры	МЗ	015 КОИД
					Твердость	ЕВ	МД	07			
			Токарно-фрезерная	Сталь 40Х ГОСТ 4543-71	кз	5,5					1
			Оборудование, устройство ЧПУ	Обозначение программы	То	Тв	Тлз.	Тшт.	СОЖ		
			Токарно-фрезерный центр IROMMAC ITX-508MY		4,7	1,3	45	7			
					Д или В	L	t	i	s	n	v
T01			Патрон ГОСТ 2571-71								
T02			Центр А-1-4-Н ГОСТ 8742-75								
O03			1. Установить деталь								
O04			2. Точить заготовку								
T05			PCLNR 2525M12 Резец T15K6 ТУ 2-035-892-82								
P06				-	56	225	1,6	1	0,7	752	144
O07			3. Точить канавку поднутрение								
T08			035-2126-1179 Резец T14K8 ОСТ 2И10-7-84								
P09				-	44	40	1,6	1	0,7	752	144
O10			4. Переустановить и закрепить заготовку								
O11			5. Точить заготовку								
T12			PCLNR 2525M12 Резец T15K6 ТУ 2-035-892-82								
P13				-	44	200	1,6	1	0,7	752	144
OK			Операционная карта								

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.2

		ГОСТ 3.1404-86 Форма 2а									
Дубл.	Взам.										
Площ.											
		2									
		015									
		V									
P		PI	D или B	L	t	i	s	n			
O01	6. Точить канавку поднутрение										
T02	035-2126-1179 Резец T14K8 ОСТ 2И10-7-84										
P03		-	42	40	0,38	1	0,34	2245	281		
O04	7. Точить заготовку										
T05	PCLNR 2525M12 Резец T15K6 ТУ 2-035-892-82										
P06		-	35,5	155	0,5	1	0,099	2800	312,3		
O07	8. Точить канавку под круг										
T08	035-2126-1179 Резец T14K8 ОСТ 2И10-7-84										
P09		-									
O10	9. Переустановить и закрепить заготовку										
O11	10. Точить заготовку										
T12	PCLNR 2525M12 Резец T15K6 ТУ 2-035-892-82										
P13		-	56	205	0,38	1	0,34	2245	281		
O14	11. Точить канавку под круг										
T15	035-2126-1179 Резец T14K8 ОСТ 2И10-7-84										
P16		-	33	1,5	1,5	1	0,34	2245	281		
O17	12. Фрезеровать паз										
T18	2223-3552 Фреза диаметр 10 мм, z=3 P8M3K6C ГОСТ 23248-78										
OK	Операционная карта										

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.2

ГОСТ 3.1105-84 Форма 7а										
Дубл.										
Взам.										
ТЮСЛ.										
									3	
										010
КЭ	Карта эскизов									

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.2

ГОСТ 3.1404-86 Форма 3

Дубл.	Взам.	Лист.											1	1			
Разраб.			Вал-шестерня										020	КОИД			
Проверил	Распорядил	Логонов											МЗ	МЗ			
Н. контр.													МЗ	МЗ			
Наименование операции			Материал										Профиль и размеры				
Зубофрезерная			Сталь 40Х ГОСТ 4543-71										58х302				
Оборудование, устройство ЧПУ			Обозначение программы										СОЖ				
53А50																	
Р			ПИ														
О01 1. Фрезеровать зубья																	
Т02 2510-4015 Фреза Р6М5 ГОСТ 9324-80																	
Р03			90										3	1	2,25	587	184
О04 2. Контролировать деталь. КР-РМ - сплошной, БТК-РМ - первой детали.																	
Т05 Калибр комплексный																	
06																	
07																	
08																	
09																	
10																	
11																	
12																	
13																	
ОК			Операционная карта														

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.2

Дуол. Взам. Тлоол.		ГОСТ 3.1105-84 Форма 7а										020			
<p>Technical drawing of a shaft with a groove. The shaft has a diameter of $\phi 54_{-0.016}$ and a surface finish of $Ra 3.2$. The groove has a diameter of $\phi 4.0$ and a depth of $20_{-0.02}$. The detail view shows the groove profile with a width of $\phi 130_{-0.02}$ and a depth of $20_{-0.02}$. The profile is labeled "Профиль зуба" (Groove profile).</p>												КЭ		Карта эскизов	

Приложение Б

Спецификация приспособления

Таблица Б.1 – Спецификация приспособления

Формат		Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Зона	Поз.						
<i>Документация</i>							
A1				23.ВКР.ОТМП.308.65.00.000.СБ	Сборочный чертеж.		
<i>Сборочные единицы</i>							
		1		23.ВКР.ОТМП.308.65.01.000.	Привод зажима	1	
<i>Детали</i>							
		2		23.ВКР.ОТМП.308.65.00.002	Корпус	1	
		3		23.ВКР.ОТМП.308.65.00.003.	Цанга	1	
		4		23.ВКР.ОТМП.308.65.00.004.	Тяга	1	
		5		23.ВКР.ОТМП.308.65.00.005.	Крышка	1	
		6		23.ВКР.ОТМП.308.65.00.006.	Втулка опорная	1	
		7		23.ВКР.ОТМП.308.65.00.007.	Кольцо защитное	1	
<i>Стандартные изделия</i>							
		8			Винт 2 М14 х1,5-6г х 48.58.35Х01 ГОСТ Р 11738-84	3	
		9			Кольцо Н1-60-1 ГОСТ 9833-70	1	
		10			Штифт 24 Н9 х 16.20Х88 Хим.Оксидн ГОСТ 10774-80	1	
				23.ВКР.ОТМП.308.65.00.00.СП			
Изм		Лист	№ докум	Подп.	Дата		
Разраб		Смирнов					
Проб		Расторгуев					
Н.контр.		Расторгуев					
Утв		Логинов					
Цанговый патрон						Лист	Листов
							1
						ТГУ ИМ г.р. ТМбп-18018	
Не для коммерческого использования				Копировал		Формат А4	