

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 Технологический процесс изготовления вала-шестерни привода вертикально-фрезерного станка

Обучающийся	<u>А.В. Парахин</u> (Инициалы Фамилия)	_____	(личная подпись)
Руководитель	<u>к.т.н., доцент Н.Ю. Логинов</u> (ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)	_____	
Консультанты	<u>к.э.н., доцент О.М. Сярдова</u> (ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)	_____	
	<u>И.В. Резникова</u> (ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)	_____	

Аннотация

Тема: Технологический процесс изготовления вала-шестерни привода вертикально-фрезерного станка.

Автор: Парахин Александр Валерьевич.

В выпускной работе рассмотрен вопрос изготовления технологический процесс изготовления вала-шестерни привода вертикально-фрезерного станка. Спроектирован технологический процесс изготовления этой детали.

В начале работы выполнен анализ исходных данных, описано, что такое вертикально-фрезерный станок, в состав которого входит деталь – вал-шестерня, проанализирована конструкция детали и выполнен вывод о довольно высокой технологичности конструкции, также проведен анализ материала, из которого изготавливается деталь. Далее по данным преддипломной практики был выполнен выбор типа машиностроительного производства, а также описаны характеристики выбранного типа производства. Исходя из конструкции детали и типа машиностроительного производства, проведен технико-экономический расчет наиболее выгодного метода получения заготовки, а также выбраны методы обработки каждой поверхности детали.

В работе на самую точную поверхность проведен расчет припусков. Также рассчитаны режимы резания на такие операции техпроцесса, которые были модернизированы в базовом технологическом процессе.

На одну технологическую операцию спроектировано станочное приспособление.

В работе спроектирован режущий инструмент, применяемый в разработанном технологическом процессе.

Работа содержит разделы по анализу безопасности и экологичности технического объекта и по экономическому расчету.

Abstract

As a result of the final work, we have designed a modern manufacturing process for the shaft-gear of a vertical milling machine.

In the first section, a vertical milling machine was described, as well as the functions of the gear shaft that this part performs in the machine mechanism assembly. The analysis of the manufacturability of the gear shaft is also carried out, the design is described and the question of the method of obtaining the workpiece, from which the part itself is then made, is considered.

In the second section, the type of production for the shaft-gear of a vertical milling machine is selected, its main characteristics are described. Further, from the two most suitable methods of obtaining the workpiece (stamping and rolling) by means of a feasibility study, the most cost-effective method was chosen - stamping on a horizontal forging machine. Then, for the manufacture of each surface of the part, depending on the shape, accuracy and roughness, processing methods are selected. Allowances are calculated on one of the most accurate surfaces of the gear shaft by the computational and analytical method. After that, processing modes are defined for the operations being upgraded in operation (turning and slitting milling).

In the third section, a machine tool is designed for the turning operation – a chuck with eccentric cams. The design of this device is such that the cartridge, as a result of giving it rotation from the machine drive, clamps the workpiece without any own drive.

In the fourth section, a complex profile cutting tool – a worm milling cutter - is designed for the slitting operation.

There is an analysis of safety and environmental friendliness in the work. The economic calculation showed the effectiveness of the modernization of the technological process.

Содержание

Введение.....	5
1 Анализ исходных данных.....	6
1.1 Назначение и условия работы детали.....	7
1.2 Классификация поверхностей детали.....	7
1.3 Анализ требований к поверхностям детали.....	8
2 Технологическая часть.....	11
2.1 Определение типа производства.....	11
2.2 Выбор стратегии разработки техпроцесса.....	11
2.3 Выбор метода получения заготовки.....	12
2.4 Выбор методов обработки	14
2.5 Расчёт припусков.....	16
2.6 Расчет режимов резания.....	19
3 Проектирование приспособления.....	25
3.1 Общие сведения.....	25
3.2 Исходные данные.....	26
3.3 Силовой расчет.....	27
4 Проектирование режущего инструмента.....	31
4.1 Особенности операции шлицефрезерования.....	31
4.2 Проектирование червячной фрезы.....	34
5 Безопасность и экологичность технического объекта.....	38
6 Экономическая эффективность работы.....	43
Заключение.....	48
Список используемой литературы.....	49
Приложение А. Технологическая документация.....	53

Введение

Одной из самых стремительно развивающихся отраслей мировой промышленности является машиностроение, направленное на строительство различных машин.

Отдельной частью мирового машиностроения является станкостроение, которое направлено на создание оборудования для создания машин. Это очень важная отрасль, ведь от нее зависит развитие машиностроения, так как качество изготовления машин напрямую зависит от качества изготовления станков, на которых производятся эти машины.

Станки бывают различного направления, такие как ткацкие, деревообрабатывающие, балансировочные и так далее. Отдельное место занимают металлорежущие станки.

Фрезерные станки – одна из самых обширных групп металлорежущих станков, отличающаяся своим многообразием. Вертикально-фрезерный станок имеет вертикальную ось вращения фрезы, причем вращение фрезы является главным движением в этом станке. Движениями подачи в станке является вертикальное, продольное и поперечное движение стола, на котором размещается обрабатываемая заготовка.

Вертикально-фрезерный станок имеет два привода: привод главного движения (вращения фрезы) и привод подач (позиционирование стола и придание движения заготовке).

Вал-шестерня входит в коробку подач вертикально-фрезерного станка. Она предназначена для передачи крутящего момента. Вал-шестерня воспринимает вращение шлицевым венцом. А передает она вращение зубчатым венцом с эвольвентными зубьями. От качества изготовления этой детали зависит и качество работы станка в целом.

Целью данной работы является разработка технологического процесса изготовления вала-шестерни вертикально-фрезерного станка заданного качества с наименьшими затратами.

1 Анализ исходных данных

Вертикально-фрезерный станок (рисунок 1) предназначен для фрезерования заготовок из черных и цветных металлов и сплавов.

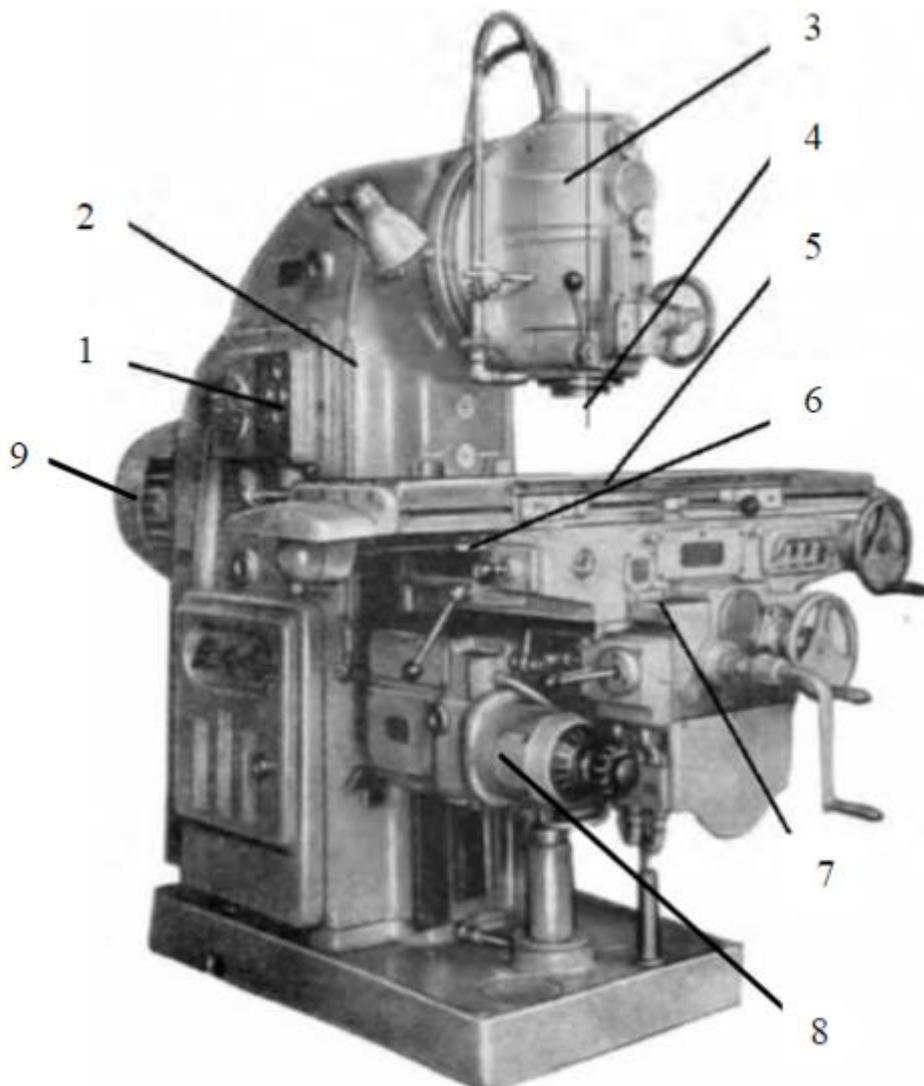


Рисунок 1 – Общий вид вертикально-фрезерного станка

«В станине 2 размещена коробка скоростей 1. Шпиндельная головка 3 смонтирована в верхней части станины и может поворачиваться в вертикальной плоскости, при этом ось шпинделя 4 можно поворачивать под углом к плоскости рабочего стола 5. Главным движением является вращение шпинделя. Стол, на котором закрепляют заготовку, имеет продольное перемещение по направляющим салазок 6». [19]

«Салазки 7 имеют поперечное перемещение по направляющим консоли, которая перемещается по вертикальным направляющим станины, то есть заготовка, установленная на столе 5, может получать подачу в трех направлениях. В консоли смонтирована коробка подач 8». [19]

На вертикально-фрезерных станках могут использоваться различные виды инструмента, такие как фасонные, шпоночные, торцовые, угловые, фасонные фрезы и так далее. Эти станки предназначены для фрезерования горизонтальных, вертикальных и фасонных поверхностей. Если на этих станках применить специализированную станочную оснастку, например, делительную головку или поворотный стол, то на них можно обрабатывать более геометрически сложные поверхности деталей машин. Консольные фрезерные станки наиболее широкое применение получили в единичном и серийном производствах. Конструкцией вертикально-фрезерного станка предусмотрен поворот шпинделя вокруг горизонтальной оси на угол для возможности фрезерования угловых плоскостей.

1.1 Назначение и условия работы детали

Вал-шестерня входит в коробку подач вертикально-фрезерного станка. Она предназначена для передачи крутящего момента. Вал-шестерня воспринимает вращение шлицевым венцом. А передает она вращение зубчатым венцом с эвольвентными зубьями.

1.2 Классификация поверхностей детали

Классификация показана на рисунке 2.

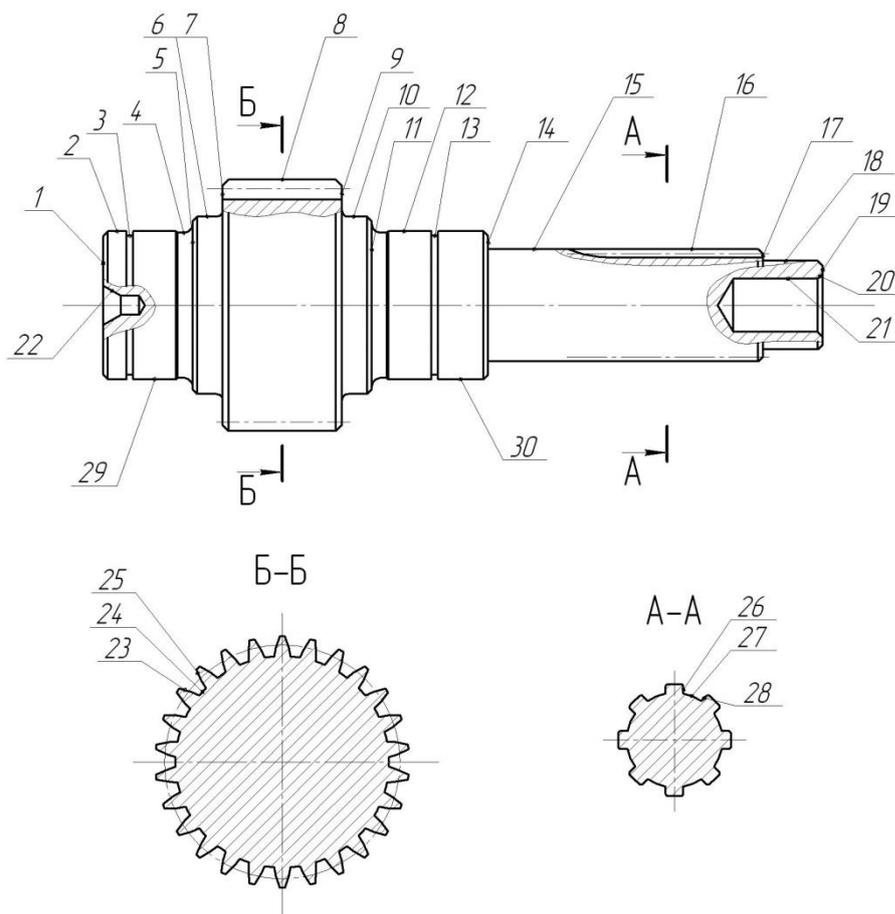


Рисунок 2 - Классификация поверхностей

Исполнительными являются поверхности 23, 25, 26, 28.

Основными конструкторскими базами являются поверхности 11, 12, 29.

Вспомогательной конструкторской базой является поверхность 16.

Остальные поверхности – свободные.

1.3 Анализ требований к поверхностям детали

Вал-шестерня выполнена из конструкционной стали 40Х ГОСТ 4543-2016 [11], которая содержит кроме железа (Fe) около 0,4% углерода (С) и около 1% хрома. [4]

Физико-механические свойства стали 40Х представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Свойства стали 40Х

НВ	σ_B	σ_T
не более	МПа	МПа
197	530	275

Наиболее рациональными методами изготовления заготовки будут поковка ГОСТ 7505-89 [13] и круглый прокат ГОСТ 2590-2006 [10].

«Почти 90% выплавляемой стали перерабатывается в прокатном производстве, из них около 40% - сортопрокатное производство, для которого калибровка валков является основой, определяющей качество чистового проката и производительность прокатных станов. Поэтому в общем металлургическом цикле сортопрокатное производство занимает важное место. От уровня его рациональности и в первую очередь эффективности технологии прокатки зависит производительность станов, безаварийность работы оборудования, уровень механизации и автоматизации, стоимость и в конечном счете потребительское качество готового проката». [32]

«Пластическая обработка металлов прерывистым воздействием универсального инструмента или соответствующей рабочей частью специального инструмента (штампа) для придания телу заданной формы и размеров называется в первом случае ковкой, а во втором – штамповкой. При объемной штамповке придание заготовке заданной формы и размеров осуществляется путем заполнения металлом рабочей полости штампа (рисунок 3)». [32]

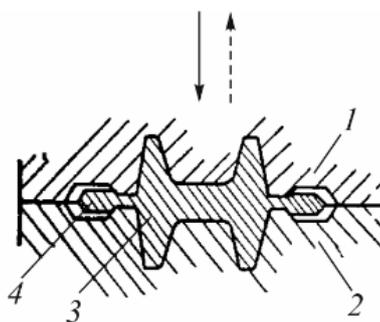


Рисунок 3 – Поковка штампованная

«Данными способами обработки давлением получают весьма разнообразные по формам и размерам изделия из металлов, полимеров и других материалов с различной степенью точности размеров, разными механическими и другими характеристиками и качеством поверхности. Поэтому ковочно-штамповочное производство находит широкое применение в машиностроении и приборостроении, в производстве предметов народного потребления и в других отраслях промышленности. Получение изделий ковкой и штамповкой позволяет максимально приблизить исходную форму заготовки к форме и размерам готовой детали и тем самым уменьшить и полностью исключить дорогостоящие операции резания с потерей металла в стружку. При изготовлении деталей из прокатных заготовок на машиностроительных заводах с использованием металлорежущих станков теряется в виде стружки до 30...40% металла. Предварительная обработка этих заготовок методами ковочно-штамповочного производства снижает эти расходы в 4...5 раз, уменьшает парк металлорежущих станков и дает значительную экономию средств. Кроме того, ковка и штамповка улучшают свойства металла, вследствие чего наиболее ответственные детали многих машин и приборов часто изготавливают только из поковок». [22]

Конструкция вала-шестерни имеет центровые отверстия для формирования технологического процесса обработки заготовки преимущественно в центрах. Также имеются канавки для выхода шлифовального круга и лезвийного инструмента.

Таким образом, по наибольшему количеству показателей конструкция вала-шестерни является технологичной.

2 Технологическая часть

2.1 Определение типа производства

«В зависимости от программы выпуска изделий и характеристик изготовленной продукции различают три типа производств в соответствии с ГОСТ 14.004-83 [9]: единичное, серийное и массовое. Единичное производство характеризуется широкой номенклатурой изготавливаемых или ремонтируемых изделий и малым объемом их выпуска. Серийное производство характеризуется ограниченной номенклатурой изделий, изготавливаемых или ремонтируемых периодически повторяющимися партиями, и сравнительно большим объемом выпуска. Массовое производство характеризуется узкой номенклатурой и большим объемом выпуска изделий, непрерывно изготавливаемых или ремонтируемых в течение продолжительного времени». [29]

Тип производства выберем на основе двух параметров: масса детали $m = 3,8$ кг и годовая программа $N = 5000$ деталей. Исходя из этих параметров [29], принимаем среднесерийный тип производства.

2.2 Выбор стратегии разработки техпроцесса

«Характеристика серийного производства: часть оборудования и оснастки – универсального назначения; оборудование расположено в последовательности технологического процесса обработки для групп деталей, требующих одинакового их порядка; частично соблюдается принцип взаимозаменяемости при сборке; заготовки обрабатываются партиями; техническая документация и нормирование разрабатываются подробно только для сложных и ответственных изделий». [29]

Применим выбранные данные при разработке технологического процесса изготовления вала-шестерни вертикально-фрезерного станка. [1]

2.3 Выбор метода получения заготовки

«Процессы получения деформируемых заготовок независимо от их формы, габаритов и массы должны быть неподвижными, высокопроизводительными, нетрудоёмкими и обеспечивать снижение себестоимости, повышение качества и точности готово продукции. Для изготовления поковок или штамповок нередко достаточен только один способ, например ковка или горячая объемная штамповка на прессах. Но иногда необходимо применять несколько способов в определенном сочетании одного с другим, например ковка и горячая объемная штамповка на молоте или ковка в ковочных вальцах и горячая объемная штамповка на горизонтально-ковочных машинах. Такие технологические процессы называют комбинированными». [20]

Проведем сравнительный расчет двух методов получения заготовки – это штамповка и прокат. [2]

При штамповке масса заготовки будет равна 5,3 кг, а при прокате 12,2 кг.

Рассчитаем стоимость снятия 1 кг стружки при механической обработке [21].

$$C_{мех} = C_c + E_n \cdot C_k, \quad (1)$$

где $C_c = 0,495$; $E_n = 0,15$; $C_k = 1,085$. [21]

$$C_{мех} = 0,495 + 0,15 \cdot 1,085 = 0,6578 \text{ руб/кг.}$$

Рассчитаем стоимость 1 кг заготовки, полученной штамповкой. [9]

$$C_{заг} = C_{ум} \cdot k_m \cdot k_c \cdot k_\theta \cdot k_m \cdot k_n, \quad (2)$$

где $C_{ум} = 0,315$; $k_m = 0,9$; $k_c = 0,84$; $k_\theta = 1,14$; $k_m = 1,0$; $k_n = 1,0$. [21]

$$C_{заг} = 0,315 \cdot 0,9 \cdot 0,84 \cdot 1,14 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,2715 \text{ руб.}$$

Рассчитаем технологическую себестоимость изготовления детали, полученной штамповкой [21].

$$C_{ми} = C_{заг} \cdot Q_{ум} + C_{мех}(Q_{ум} - q) - C_{отх}(Q_{ум} - q), \quad (3)$$

где $Q_{ум} = 5,3; q = 3,8$;

$$C_{отх} = 0,0144. [21]$$

$$C_{ми} = 0,2715 \cdot 5,3 + 0,6723(5,3 - 3,8) - (5,3 - 3,8)0,0144 = 2,4258 \text{ руб.}$$

Рассчитаем технологическую себестоимость изготовления детали, полученную прокатом [21].

$$C_{ми} = C_{заг} \cdot Q_{пр} + C_{мех}(Q_{пр} - q) - C_{отх}(Q_{пр} - q), \quad (4)$$

где $Q_{пр} = 12,2; q = 3,8$;

$$C_{отх} = 0,0144. [21]$$

$$C_{ми} = 0,2219 \cdot 12,2 + 0,6723(12,2 - 3,8) - 0,0144(12,2 - 3,8) = 8,2335 \text{ руб.}$$

По себестоимости наиболее экономичным является вариант изготовления детали из штамповки.

Определим коэффициент использования материала

$$K_{им} = \frac{M_d}{M_3}. \quad (5)$$

$$K_{им} = \frac{3,8}{5,3} = 0,72.$$

Чертеж заготовки представлен в графической части.

2.4 Выбор методов обработки

«Перед разработкой маршрута обработки детали намечают (или уточняют) технологические операции (без подробной проработки их содержания). Предварительно объединяют те переходы на данной стадии обработки, которые могут быть выполнены на одном станке. Во время обработки тяжелых заготовок следует сокращать число их перестановок со станка на станок, что также сказывается на содержании операций. При составлении маршрута обработки заготовки по отдельным операциям устанавливают также тип станков и другого технологического оборудования, их характеристики, размеры. Модели уточняют и корректируют при детальной проработке технологических операций. Разрабатывая технологический маршрут, ориентируются на типовые технологические процессы обработки деталей данного типа». [27]

В результате анализа формы поверхностей 1, 21, их точности (IT 14) и шероховатости (Ra 6,3) для их изготовления принимаем следующий маршрут обработки: центровально-подрезная обработка.

В результате анализа формы поверхности 2, ее точности (IT 9) и шероховатости (Ra 6,3) для ее изготовления принимаем следующий маршрут обработки: токарная черновая и чистовая обработка.

В результате анализа формы поверхностей 3-7, 9, 10, 13-15, 17, 19, 30 их точности (IT 9) и шероховатости (Ra 6,3) для их изготовления принимаем следующий маршрут обработки: токарная черновая и чистовая обработка.

В результате анализа формы поверхности 8, ее точности (IT 10) и шероховатости (Ra 3,2) для ее изготовления принимаем следующий маршрут обработки: токарная черновая и чистовая обработка.

В результате анализа формы поверхности 11, ее точности (IT 14) и шероховатости (Ra 1,6) для ее изготовления принимаем следующий маршрут обработки: токарная черновая и чистовая, а также черновая торцекруглошлифовальная обработка.

В результате анализа формы поверхностей 12,29, их точности (IT 6) и шероховатости (Ra 0,8) для их изготовления принимаем следующий маршрут обработки: токарная черновая и чистовая, а также черновая и чистовая круглошлифовальная обработка.

В результате анализа формы поверхности 16, ее точности (IT 7) и шероховатости (Ra 0,8) для ее изготовления принимаем следующий маршрут обработки: токарная черновая и чистовая, а также черновая и чистовая круглошлифовальная обработка.

В результате анализа формы поверхности 18, ее точности (IT 6) и шероховатости (Ra 1,6) для ее изготовления принимаем следующий маршрут обработки: токарная черновая и чистовая, а также черновая круглошлифовальная обработка.

В результате анализа формы поверхностей 20,22, их точности (IT 9) и шероховатости (Ra 1,6) для их изготовления принимаем следующий маршрут обработки: центровально-подрезная и центрошлифовальная обработка.

В результате анализа формы поверхностей 23,25, их точности (IT 7) и шероховатости (Ra 1,6) для их изготовления принимаем следующий маршрут обработки: зубофрезерная и зубошлифовальная обработка.

В результате анализа формы поверхности 24, ее точности (IT 14) и шероховатости (Ra 6,3) для ее изготовления принимаем следующий маршрут обработки: зубофрезерная обработка.

В результате анализа формы поверхностей 26,28, их точности (IT 9) и шероховатости (Ra 3,2) для их изготовления принимаем следующий маршрут обработки: шлицефрезерная обработка.

В результате анализа формы поверхности 27, ее точности (IT 12) и шероховатости (Ra 6,3) для ее изготовления принимаем следующий маршрут обработки: шлицефрезерная обработка.

2.5 Расчет припусков

«Припуски на механическую обработку определяются нормативно-аналитическим и опытно-статистическим методами. Расчет припусков и назначение их по таблицам следует производить после отработки конструкции детали и заготовки на технологичность и технико-экономического обоснования метода изготовления заготовки. Для определения заготовки припуск определяется для наиболее точных поверхностей заготовки, расположенных по двум-трем координатам. При этом эта расчетная поверхность должна выполняться при изготовлении заготовки». [23]

«Для вычисления операционных припусков необходимо знать весь состав переходов, параметры качества поверхностного слоя по переходам: среднеарифметическая высота профиля микронеровностей, толщина дефектного слоя, погрешность формы и расположения заготовки в переходах и погрешности установки заготовки в переходах». [23]

«Перед началом расчета припусков необходимо выполнить эскиз заготовки с указанием схемы ее установки на станке или в приспособлении с выделением поверхностей, для которых рассчитываются или назначаются по таблице припуски на обработку. В конце расчета выполняется эскиз заготовки с назначенными нормативными размерами, предельными отклонениями, припусками и допусками. Строится схема расположения припусков и допусков». [23]

Расчетно-аналитическим методом проведем расчет припусков для обработки поверхности 29, параметрами которой $\varnothing 50k6_{+0,002}^{+0,018}$, $L = 14,5$ мм, $Ra = 0,8$ мкм.

Найдем суммарное отклонение формы и расположения поверхностей

$$\Delta = 0,25 \cdot Td. [7] \quad (6)$$

$$\Delta_0 = 0,25 \cdot 2,2 = 0,550.$$

$$\Delta_{01} = 0,25 \cdot 0,25 = 0,063.$$

$$\Delta_{02} = 0,25 \cdot 0,062 = 0,016.$$

$$\Delta_{T0} = 0,25 \cdot 0,100 = 0,025.$$

$$\Delta_{03} = 0,25 \cdot 0,039 = 0,010.$$

$$\Delta_{04} = 0,25 \cdot 0,016 = 0,004.$$

Вычислим максимальное и минимальное значение припуска (мм)

$$Z_{\min} = a_{i-1} + \sqrt{(\Delta_{i-1})^2 + \varepsilon_i^2}. [7] \quad (7)$$

$$Z_{i\max} = Z_{i\min} + 0,5(Td_{i-1} + Td_i). [7] \quad (8)$$

$$Z_{1\min} = a_0 + \sqrt{(\Delta_0)^2 + \varepsilon_1^2} = 0,4 + \sqrt{0,550^2 + 0,025^2} = 0,951.$$

$$Z_{2\min} = a_1 + \sqrt{(\Delta_1)^2 + \varepsilon_2^2} = 0,2 + \sqrt{0,063^2 + 0} = 0,263.$$

$$Z_{3\min} = a_2 + \sqrt{(\Delta_{T0})^2 + \varepsilon_3^2} = 0,1 + \sqrt{0,025^2 + 0^2} = 0,125.$$

$$Z_{4\min} = a_3 + \sqrt{(\Delta_3)^2 + \varepsilon_4^2} = 0,05 + \sqrt{0,010^2 + 0} = 0,060.$$

$$Z_{1\max} = Z_{1\min} + 0,5(Td_0 + Td_1) = 0,951 + 0,5(2,200 + 0,250) = 2,176.$$

$$Z_{2\max} = Z_{2\min} + 0,5(Td_1 + Td_2) = 0,263 + 0,5(0,250 + 0,062) = 0,419.$$

$$Z_{3\max} = Z_{3\min} + 0,5(Td_2 + Td_3) = 0,125 + 0,5(0,062 + 0,039) = 0,176.$$

$$Z_{4\max} = Z_{4\min} + 0,5(Td_3 + Td_4) = 0,060 + 0,5(0,039 + 0,016) = 0,088.$$

Определим значения размеров на каждом переходе (мм)

$$d_{4\min} = 50,002.$$

$$d_{4\max} = 50,018.$$

$$d_{3\min} = d_{4\max} + 2 \cdot Z_{4\min} = 50,018 + 2 \cdot 0,060 = 50,138.$$

$$d_{3\max} = d_{3\min} + Td_3 = 50,138 + 0,016 = 50,154.$$

$$d_{TO\min} = d_{3\max} + 2 \cdot Z_{3\min} = 50,154 + 2 \cdot 0,125 = 50,404.$$

$$d_{TO\max} = d_{TO\min} + Td_{TO} = 50,404 + 0,100 = 50,504.$$

$$d_{2\min} = d_{TO\max} \cdot 0,999 = 50,504 \cdot 0,999 = 50,453.$$

$$d_{2\max} = d_{2\min} + Td_2 = 50,453 + 0,062 = 50,515.$$

$$d_{1\min} = d_{2\max} + 2 \cdot Z_{2\min} = 50,515 + 2 \cdot 0,263 = 51,041.$$

$$d_{1\max} = d_{1\min} + Td_1 = 51,041 + 0,250 = 51,291.$$

$$d_{0\min} = d_{1\max} + 2 \cdot Z_{1\min} = 51,291 + 2 \cdot 0,951 = 53,193.$$

$$d_{0\max} = d_{0\min} + Td_0 = 53,193 + 2,200 = 55,393.$$

Определим средние значения размеров на каждом переходе (мм)

$$d_{cpi} = 0,5(d_{i\max} + d_{i\min}).$$

$$d_{cp0} = 0,5(d_{0\max} + d_{0\min}) = 0,5(55,393 + 53,193) = 54,293.$$

$$d_{cp1} = 0,5(d_{1\max} + d_{1\min}) = 0,5(51,291 + 51,041) = 51,166.$$

$$d_{cp2} = 0,5(d_{2\max} + d_{2\min}) = 0,5(50,515 + 50,453) = 50,484.$$

$$d_{cpTO} = 0,5(d_{TO\max} + d_{TO\min}) = 0,5(50,504 + 50,404) = 50,454.$$

$$d_{cp3} = 0,5(d_{3\max} + d_{3\min}) = 0,5(50,138 + 50,154) = 50,146.$$

$$d_{cp4} = 0,5(d_{4\max} + d_{4\min}) = 0,5(50,018 + 50,002) = 50,010.$$

Определим общий припуск на обработку (мм)

$$2Z_{\min} = d_{0\min} - d_{4\max}. \quad (9)$$

$$2Z_{\min} = 53,193 - 50,018 = 3,175.$$

$$2Z_{\max} = 2Z_{\min} + Td_0 + Td_4. \quad (10)$$

$$2Z_{\max} = 3,175 + 2,200 + 0,016 = 5,391.$$

$$2Z_{cp} = 0,5(2Z_{\min} + 2Z_{\max}). \quad (11)$$

$$2Z_{cp} = 0,5(3,175 + 5,391) = 4,283.$$

2.6 Расчет режимов резания

«При назначении элементов режимов резания обычно учитывают: характер обработки, требования к точности и шероховатости обрабатываемых поверхностей, тип и состояние оборудования, материал и состояние заготовки (ее точность, твердость и пр.), тип и размеры инструмента, материал его режущей части и др. Элементы режимов резания принято назначать в следующей последовательности». [33]

1. «Первоначально устанавливают глубину резания t . При однократной или черновой (предварительной) обработке величину t принимают по возможности максимальной, равной всему припуску на обработку или большей его части. Это приводит к сокращению числа рабочих ходов. При чистовой и окончательной обработке величина t назначается в зависимости от требований к точности размеров и шероховатости обрабатываемой поверхности». [33]

2. «Далее назначают подачу S . При черновой обработке S выбирают максимально возможной исходя из прочности и жесткости технологической системы, мощности привода станка, прочности режущего инструмента и других ограничивающих факторов. При чистовой обработке подачу выбирают в зависимости от требований к точности размеров и шероховатости обрабатываемой поверхности. Нужные значения S чаще принимают по справочным таблицам. Табличные значения подач сопоставляют с имеющимися на станке. Окончательно назначают ближайшую меньшую величину S ». [33]

3. «Последней по эмпирическим формулам, выведенным для каждого вида обработки, рассчитывают скорость резания V ». [33]

2.6.1 Расчет режимов резания на операцию 010.

Глубина резания $t = 2,5$. [28]

Подача $S = 0,3$. [28]

Скорость резания

$$V = V_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4, \quad (12)$$

где $K_1 = 1,35; K_2 = 0,88; K_3 = 0,65; K_4 = 1,0; V_0 = 180$. [27]

$$V = 180 \cdot 1,35 \cdot 0,88 \cdot 0,65 \cdot 1,0 = 139 \text{ м/мин.}$$

Частота вращения

$$n = \frac{1000V}{\pi D}. \quad (13)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 139}{3,14 \cdot 87} = 508,8 \text{ мин}^{-1}.$$

$$n_\phi = 500 \text{ мин}^{-1}.$$

Тогда скорость резания

$$V_\phi = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000}. \quad (14)$$

$$V_\phi = \frac{3,14 \cdot 87 \cdot 500}{1000} = 136,6 \text{ м/мин.}$$

Минутная подача

$$S = S_0 \cdot n. \quad (15)$$

$$S = 0,3 \cdot 500 = 150 \text{ мм/мин.}$$

Основное время

$$T_0 = \frac{L_{px}}{S}. \quad (16)$$

$$T_0 = \frac{189,5}{150} = 1,26 \text{ мин.}$$

2.6.2 Расчет режимов резания на операцию 020.

Переход 1.

Глубина резания $t = 0,5$. [28]

Подача $S = 0,3$. [28]

Скорость резания

$$V = 180 \cdot 1,35 \cdot 0,88 \cdot 0,65 \cdot 1,0 = 139 \text{ м/мин.}$$

Частота вращения

$$n = \frac{1000 \cdot 139}{3,14 \cdot 47} = 941,9 \text{ мин}^{-1}.$$

$$n_\phi = 800 \text{ мин}^{-1}.$$

Тогда скорость резания

$$V_\phi = \frac{3,14 \cdot 47 \cdot 800}{1000} = 118,1 \text{ м/мин.}$$

Минутная подача

$$S = 0,3 \cdot 800 = 240 \text{ мм/мин.}$$

Основное время

$$T_0 = \frac{2}{240} = 0,01 \text{ мин.}$$

Переход 2.

Глубина резания $t = 0,3$. [28]

Подача $S = 0,3$. [28]

Скорость резания

$$V = 180 \cdot 1,35 \cdot 0,88 \cdot 0,65 \cdot 1,0 = 139 \text{ м/мин.}$$

Частота вращения

$$n = \frac{1000 \cdot 139}{3,14 \cdot 49} = 903,4 \text{ мин}^{-1}.$$

$$n_{\phi} = 800 \text{ мин}^{-1}.$$

Тогда скорость резания

$$V_{\phi} = \frac{3,14 \cdot 49 \cdot 800}{1000} = 123,1 \text{ м/мин.}$$

Минутная подача

$$S = 0,3 \cdot 800 = 240 \text{ мм/мин.}$$

Основное время

$$T_0 = \frac{2}{240} = 0,01 \text{ мин.}$$

Переход 3.

Глубина резания $t = 0,3$. [28]

Подача $S = 0,2$. [28]

Скорость резания

$$V = 180 \cdot 1,35 \cdot 0,88 \cdot 0,65 \cdot 1,0 = 139 \text{ м/мин.}$$

Частота вращения

$$n = \frac{1000 \cdot 139}{3,14 \cdot 85,5} = 517,7 \text{ мин}^{-1}.$$

$$n_{\phi} = 500 \text{ мин}^{-1}.$$

Тогда скорость резания

$$V_{\phi} = \frac{3,14 \cdot 85,5 \cdot 500}{1000} = 134,2 \text{ м/мин.}$$

Минутная подача

$$S = 0,2 \cdot 500 = 100 \text{ мм/мин.}$$

Основное время

$$T_0 = \frac{187}{100} = 1,87 \text{ мин.}$$

Основное время всей операции

$$T_0 = \sum T_{0i} = 0,01 + 0,01 + 1,87 = 1,89, \text{ мин.}$$

2.6.3 Расчет режимов резания на операцию 035.

Рабочий ход инструмента

$$L_{P.X.} = L_P + L_{II} + L_D, \quad (17)$$

где L_P – длина резания.

$$L_P = b \cdot q, \quad (18)$$

где $b = 40; q = 1$. [28]

$$L_P = 40 \cdot 1 = 105, \text{ мм.}$$

$$L_{II} = 15; L_D = 0.$$

$$L_{P.X.} = 40 + 15 + 0 = 55, \text{ мм.}$$

Подача

$$S_0 = S_{0,табл} \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (19)$$

где $S_{0,табл} = 2,0; K_1 = 1,0; K_2 = 1,0$. [28]

$$S_0 = 2 \cdot 1 \cdot 1 = 2, \text{ мм/об.}$$

Скорость резания

$$V = V_{табл} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (21)$$

где $V_{табл} = 67; K_1 = 1,0; K_2 = 1,0; K_3 = 1,0$. [28]

$$V = 67 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 67, \text{ м/мин.}$$

Частота

$$n = \frac{1000V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 67}{3,14 \cdot 100} = 213,4, \text{ мин}^{-1}.$$

$$n_{\phi} = 200 \text{ мин}^{-1}.$$

Тогда скорость резания

$$V_{\phi} = \frac{3,14 \cdot 100 \cdot 200}{1000} = 62,8, \text{ м/мин.}$$

Основное время

$$T_0 = \frac{L_{п.х.} \cdot z}{n \cdot S_0 \cdot z_1 \cdot q}, \quad (22)$$

где $z = 3$.

$$T_0 = \frac{120 \cdot 15}{200 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 1} = 1,50, \text{ мин.}$$

Мы определили режимы резания на проектируемые операции технологического процесса изготовления вала-шестерни вертикально-фрезерного станка. Вносим рассчитанные данные в проектируемые чертежи технологических наладок и технологическую документацию, представленную в приложении А.

3 Проектирование приспособления

3.1 Общие сведения

«Примером привода от сил резания может служить поводковый самозажимной патрон с эксцентриковыми кулачками 2, применяемый на токарных многорезцовых станках (рисунок 4). Заготовку 6 устанавливают в центрах. При установке кулачки пружинами 4 прижимаются к заготовке. При резании сила P_z стремится повернуть заготовку, а вместе с ней кулачки (вокруг оси 3), в результате чего заготовка заклинивается между кулачками».

[26]

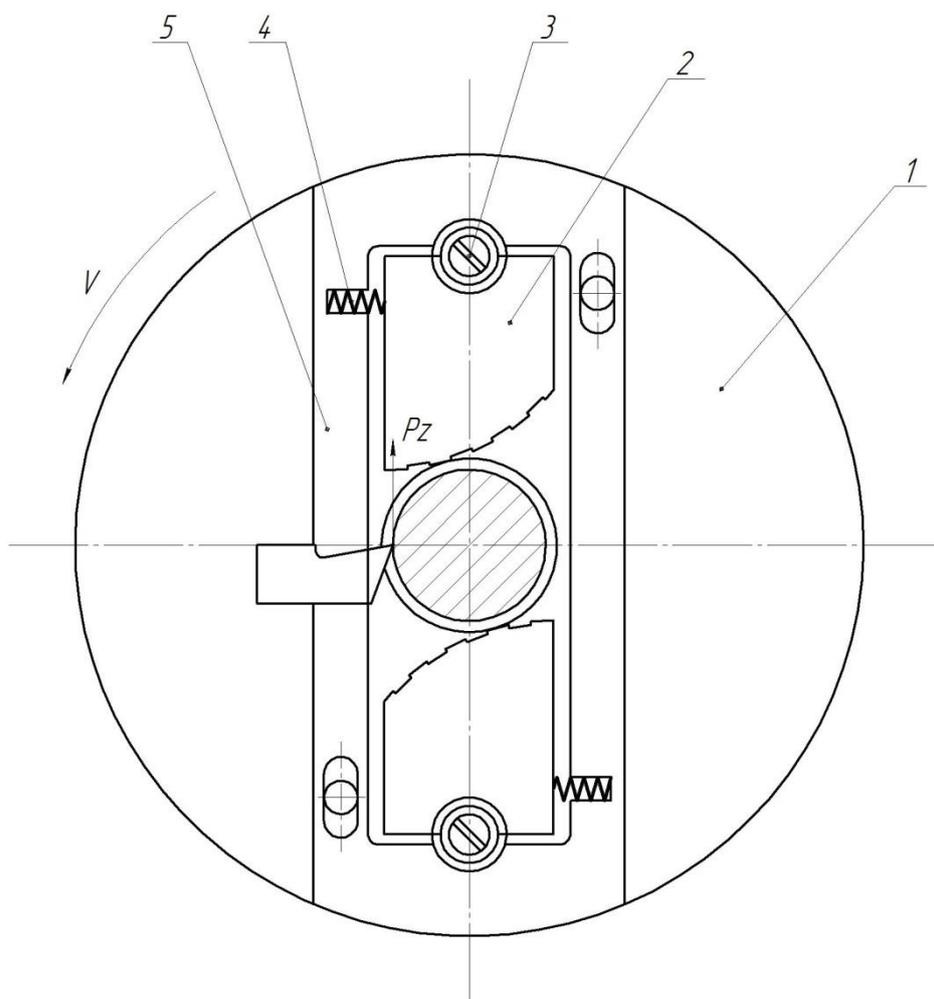


Рисунок 4 – Патрон с эксцентриковыми кулачками

Для закрепления заготовки на 020 операции разработаем токарный патрон, имеющий эксцентриковые кулачки.

3.3 Силовой расчет

Конструкция такого приспособления такова, что сила зажима заготовки кулачками зависит от центробежной силы, которая возникает в результате вращения приспособления от привода станка. Эту силу рассчитаем из зависимости

$$P_{ц} = m \cdot \omega^2 \cdot R, \quad (23)$$

где m -масса обрабатываемой заготовки;

ω - угловая скорость.

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}, \quad (24)$$

где $n = 500 \text{ мин}^{-1}$.

$$\omega = \frac{V}{R}. \quad (25)$$

$$\omega = \frac{3,14 \cdot 630}{30} = 65,9, \text{ рад/с.}$$

$$P_{ц} = \frac{3,8 \cdot 65,9^2}{0,055} = 300, \text{ Н.}$$

Рассчитаем силу зажима, которая осуществляется при помощи эксцентриковых кулачков токарного патрона

$$W = P_{ц} \cdot Z \cdot \cos 30^\circ \quad (26)$$

где $Z = 2$ - число кулачков.

$$W = 300 \cdot 2 \cdot \cos 30^\circ = 519,7, \text{ Н.}$$

Рассчитаем силы резания

$$P_{z,y} = 10C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p, \quad (27)$$

где для P_Y : $C_p = 243, x = 0,9; y = 0,6; n = -0,3$; [26]

для P_Z : $C_p = 300, x = 1,0; y = 0,75; n = -0,15$; [26]

$$K_p = 0,9. \text{ [26]}$$

$$K_{p_z} = K_{mp} \cdot K_{yp_z} \cdot K_{np_z} \cdot K_{np_z} = 0,612 \cdot 0,94 \cdot 1,05 \cdot 1,03 = 0,622.$$

$$K_{p_y} = K_{mp} \cdot K_{yp_y} \cdot K_{np_y} \cdot K_{np_y} = 0,612 \cdot 0,8 \cdot 1,5 \cdot 1,15 = 0,845.$$

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 0,3^{1,0} \cdot 0,2^{0,75} \cdot 134,2^{-0,15} \cdot 0,622 = 80,3, \text{ Н.}$$

$$P_y = 10 \cdot 243 \cdot 0,3^{0,9} \cdot 0,2^{0,6} \cdot 134,2^{-0,3} \cdot 0,845 = 60,8, \text{ Н.}$$

Вращательный момент от составляющей силы резания, которая стремится повернуть заготовку в кулачках, рассчитаем из зависимости

$$M_p = \frac{P_z d_1}{2}. \quad (28)$$

$$M_p = \frac{P_z d_1}{2} = \frac{80,3 \cdot 85}{2} = 3412,8, \text{ Н.}$$

Рассчитаем момент силы зажима, который будет препятствовать вышеуказанному моменту

$$M_3 = \frac{T d_2}{2} = \frac{W f d_2}{2}, \quad (29)$$

где W – суммарное усилие кулачков;

f – коэффициент трения.

Найдем коэффициент запаса

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4, \quad (30)$$

где $K_{p_z} = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,0 = 1,8$;

$$K_{p_y} = 2,52;$$

$$f = 0,3.$$

$$W_z^1 = \frac{K \cdot P_z \cdot d_1}{f \cdot d_2} = \frac{1,8 \cdot 80,3 \cdot 85}{0,3 \cdot 30,3} = 1351,6, \text{ Н.}$$

Рассчитаем момент от силы зажима

$$M_3^{11} = T \frac{2}{3} d_2 = \frac{2}{3} W^1 f d_2. \quad (31)$$

Усилие W_1 , прикладываемое к кулачкам

$$W_1 = \frac{W}{1 - \left(\frac{3\ell_k}{M_k} \cdot f_1 \right)}. \quad (32)$$

$$W_1 = \frac{1351,6}{1 - \left(\frac{3 \cdot 13}{25} \cdot 0,1 \right)} = 1601,4, \text{ Н.}$$

Осевая сила зажима кулачками

$$Q = \frac{M}{n \cdot r_{\max} \cdot \sin \left(\theta + \frac{4r_0 \cdot \mu}{\pi \cdot r_{\min}} \right)}. \quad (33)$$

где $\theta = 18^\circ$; $\mu = 0,15$. [26]

$$Q = \frac{3412,8}{500 \cdot 0,031 \cdot \sin\left(18 + \frac{4 \cdot 0,025 \cdot 0,15}{3,14 \cdot 0,04}\right)} = 708, \text{ Н.}$$

Угол поворота кулачка

$$\alpha_0 = 2,31 \cdot g \frac{r_{\max}}{r_{\min}}. \quad (34)$$

$$\alpha_0 = 2,31 \cdot 9,81 \frac{0,031}{0,04} = 17,6^\circ.$$

«При настройке технологических систем на размер установка режущих (обрабатывающих) инструментов на рабочий настроенный размер с помощью метода пробных ходов и промеров занимает много времени. Для ускорения процесса наладки станков и повышения ее точности в конструкцию приспособления вводят специальные элементы, определяющие положение инструментов, соответствующее рабочему настроечному размеру. Такими элементами являются шаблоны и установовы. Применение шаблонов характерно для токарных работ, а установов – для фрезерных. Повышение производительности труда достигается в этом случае за счет сокращения доли времени на техническое обслуживание в норме времени на операцию».

[26]

Спроектированный токарный патрон представлен в графической части работы.

4 Проектирование режущего инструмента

4.1 Особенности операции шлицефрезерования

«Процесс фрезерования и долбления шлиц практически не отличается от станочных процессов обработки зубчатых колес (рисунок 6), кроме геометрии инструмента». [6]

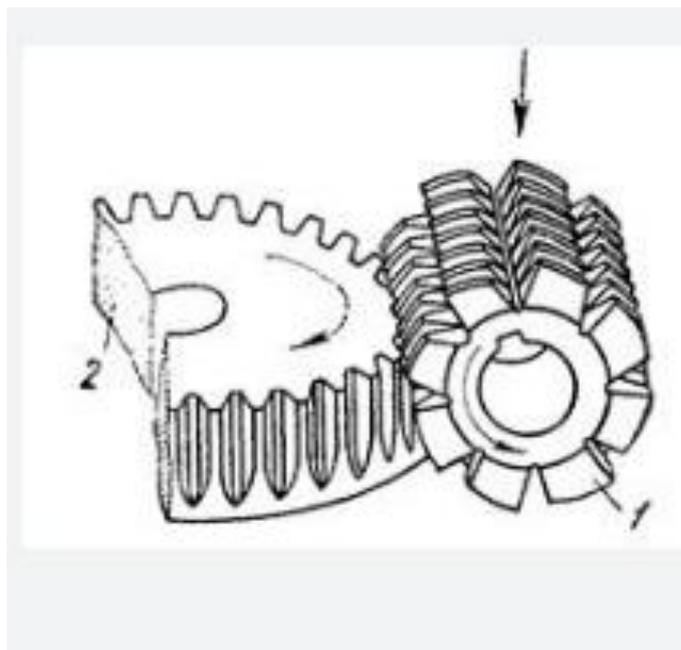


Рисунок 6 – Обработка зубчатых колес червячными фрезами

«Для фрезерования методом обката прямобочных шлиц червячная фреза (рисунок 7) имеет сложный профиль, близкий к эвольвентному, каждая точка которого взаимоспрягаема при обкате с точками прямобочных шлиц вала. Червячная фреза проектируется индивидуально для каждого шлицевого вала с новой геометрией шлицевого венца. Особенностью обрабатываемых валов со шлицевыми элементами является их большая длина и применение специальных высоколегированных труднообрабатываемых материалов. При фрезеровании протяженных прямобочных шлиц на шлицефрезерном станке основной технологической проблемой является обеспечение стойкости червячной фрезы». [6]

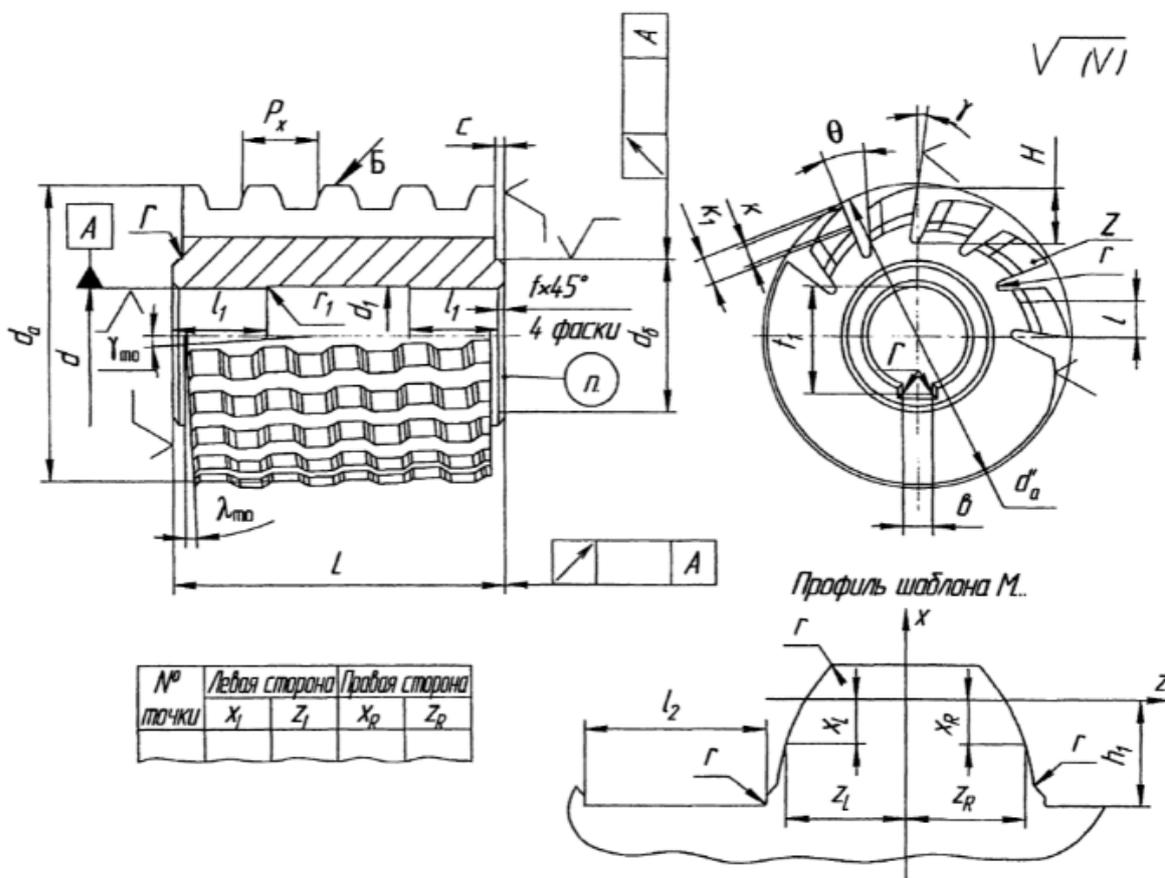


Рисунок 7 – Фреза червячная для нарезания шлицев

«При центрировании по наружному диаметру D (рисунок 8) гарантированный зазор Δ существует между внутренними диаметрами шлицевого вала и втулки. В этом случае боковые стороны шлицев вала могут быть прямолинейными не до дна впадины диаметром d_1 , а только до окружности диаметром $d > d_1$, значение которого лимитировано стандартом. Ниже этой окружности может начинаться переходная кривая». [18]

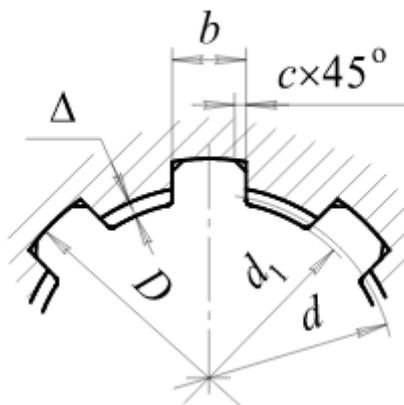


Рисунок 8 – Центрирование шлицев по наружному диаметру

На рисунке 9 обозначены характеристики шлицевого валика, который необходимо обработать.

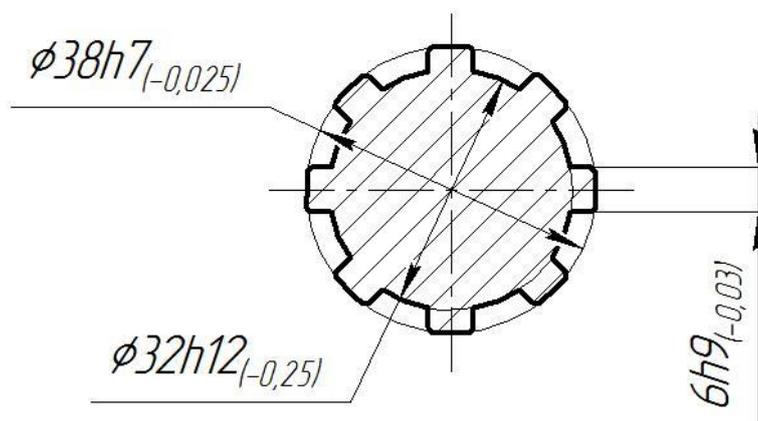


Рисунок 9 – Параметры шлицевого валика

«Если у зуборезных червячных фрез рациональное использование поля допуска на окружной шаг нарезаемого колеса реализуется с помощью размещения теоретического профиля в исходном сечении, то при проектировании шлицевых фрез, как правило, используют другой подход. Запас на изменение размеров при заточках такой фрезы закладывают в ее теоретический профиль, определяя его параметры на основе так называемых расчетных размеров шлицевого вала». [6]

4.2 Проектирование червячной фрезы

Расчетные параметры валика

$$\begin{cases} d_{расч} = d_{\min} + 0,25Td \\ b_{расч} = b_{\min} + 0,25Tb \\ D_{расч} = D_{\max} - 2c_{\min} \end{cases}, \quad (35)$$

$$d_{расч} = 31,75 + 0,25 \cdot 0,25 = 31,813, \text{ мм.}$$

$$b_{расч} = 5,970 + 0,25 \cdot 0,030 = 5,978, \text{ мм.}$$

$$D_{расч} = 38 - 2 \cdot 0,4 = 37,2, \text{ мм.}$$

Выберем радиус центроиды из неравенства

$$\frac{1}{4} \sqrt{4D^2 - 3b^2} \leq r_{Ц} \leq \frac{D}{2}. \quad (36)$$

$$\frac{1}{4} \sqrt{4 \cdot 37,2^2 - 3 \cdot 5,978^2} \leq r_{Ц} \leq \frac{37,2}{2}.$$

$$18,419 \leq r_{Ц} \leq 18,6.$$

$$r_{Ц} = 18,5 \text{ мм.}$$

Высота головки зуба

$$H_a = r_{Ц} - 0,5d_1. \quad (37)$$

$$H_a = 18,5 - 0,5d_1 = 18,5 - 0,5 \cdot 31,813 = 2,594, \text{ мм.}$$

Высота ножки зуба

$$H_f = 0,5D - r_{Ц} + q. \quad (38)$$

$$H_f = 0,5 \cdot 37,2 - 18,5 + 0,1 = 0,2, \text{ мм.}$$

Координаты экстремальной точки линии профилирования

$$x_o = -\frac{b_{расч}}{4} \sqrt{1 - \left(\frac{b_{расч}}{4r_u}\right)^2} = -\frac{5,978}{4} \sqrt{1 - \left(\frac{5,978}{4 \cdot 18,5}\right)^2} = -1,4911 \text{ мм};$$

$$y_o = -\frac{b_{расч}^3}{16r_u} = -\frac{5,978^3}{16 \cdot 18,5} = -0,7217 \text{ мм.}$$

Угол поворота вала, соответствующий экстремальной точке

$$\mu_o = \arcsin\left(\frac{b_{расч}}{4r_u}\right). \quad (39)$$

$$\mu_o = \arcsin\left(\frac{5,978}{4 \cdot 18,5}\right) = 4,6334^\circ.$$

Угол, соответствующий началу переходной кривой

$$\mu_n = 90^\circ - \arcsin\left(\frac{\sqrt{d_{расч}^2 - b_{расч}^2}}{2r_u}\right). \quad (40)$$

$$\mu_n = 90^\circ - \arcsin\left(\frac{\sqrt{31,813^2 - 5,978^2}}{2 \cdot 18,5}\right) = 32,3816^\circ$$

Координаты точек 1-4:

$$x_i = (r_u \sin \mu_i - 0,5b_{расч}) \cos \mu_i;$$

$$x_0 = (18,5 \cdot \sin 3,7481^\circ - 0,5 \cdot 5,978) \cos 3,7481^\circ = -2,9681;$$

$$x_1 = (18,5 \cdot \sin 9^\circ - 0,5 \cdot 5,978) \cos 9^\circ = 1,1546;$$

$$x_2 = (18,5 \cdot \sin 15^\circ - 0,5 \cdot 5,978) \cos 15^\circ = 5,6289;$$

$$x_3 = (18,5 \cdot \sin 21^\circ - 0,5 \cdot 5,978) \cos 21^\circ = 9,6691;$$

$$x_4 = (18,5 \cdot \sin 27,0169^\circ - 0,5 \cdot 5,978) \cos 27,0169^\circ = 13,1134;$$

$$y_i = (r_u \sin \mu_i - 0,5b_{расч}) \sin \mu_i;$$

$$y_0 = (18,5 \cdot \sin 3,7481^\circ - 0,5 \cdot 5,978) \sin 3,7481^\circ = -0,1944;$$

$$y_1 = (18,5 \cdot \sin 9^\circ - 0,5 \cdot 5,978) \sin 9^\circ = 0,1829;$$

$$y_2 = (18,5 \cdot \sin 15^\circ - 0,5 \cdot 5,978) \sin 15^\circ = 1,5083;$$

$$y_3 = (18,5 \cdot \sin 21^\circ - 0,5 \cdot 5,978) \sin 21^\circ = 3,7116;$$

$$y_4 = (18,5 \cdot \sin 27,0169^\circ - 0,5 \cdot 5,978) \sin 27,0169^\circ = 6,6865;$$

Координаты X_i точек профиля зуба фрезы

$$X_i = r_u \left(\frac{\pi}{180} \mu_i - \arcsin \frac{b_{pacu}}{2r_u} \right) - \left(r_u \sin \mu_i - \frac{b_{pacu}}{2} \right) \cos \mu_i;$$

$$X_0 = 45,5 \left(\frac{\pi}{180} 3,7481^\circ - \arcsin \frac{5,978}{2 \cdot 18,5} \right) - \left(18,5 \cdot \sin 3,7481^\circ - \frac{5,978}{2} \right) \cos 3,7481^\circ = -0,0213;$$

$$X_1 = 45,5 \left(\frac{\pi}{180} 9^\circ - \arcsin \frac{5,978}{2 \cdot 18,5} \right) - \left(18,5 \cdot \sin 9^\circ - \frac{5,978}{2} \right) \cos 9^\circ = 0,0267;$$

$$X_2 = 45,5 \left(\frac{\pi}{180} 15^\circ - \arcsin \frac{5,978}{2 \cdot 18,5} \right) - \left(18,5 \cdot \sin 15^\circ - \frac{5,978}{2} \right) \cos 15^\circ = 0,3171;$$

$$X_3 = 45,5 \left(\frac{\pi}{180} 21^\circ - \arcsin \frac{5,978}{2 \cdot 18,5} \right) - \left(18,5 \cdot \sin 21^\circ - \frac{5,978}{2} \right) \cos 21^\circ = 1,0417;$$

$$X_4 = 45,5 \left(\frac{\pi}{180} 27,0169^\circ - \arcsin \frac{5,978}{2 \cdot 18,5} \right) - \left(18,5 \cdot \sin 27,0169^\circ - \frac{5,978}{2} \right) \cos 27,0169^\circ = 2,3755.$$

$$\bar{X}_i = X_i - X_0;$$

$$\bar{X}_1 = 0,0267 - (-0,0213) = 0,048;$$

$$\bar{X}_2 = 0,3171 + 0,0213 = 0,3384;$$

$$\bar{X}_3 = 1,0417 + 0,0213 = 1,063;$$

$$\bar{X}_4 = 2,3755 + 0,0213 = 2,3968;$$

$$\bar{Y}_i = Y_i - Y_0;$$

$$\bar{Y}_1 = 0,1829 - (-0,1944) = 0,3773$$

$$\bar{Y}_2 = 1,5083 + 0,1944 = 1,7027$$

$$\bar{Y}_3 = 3,7116 + 0,1944 = 3,906$$

$$\bar{Y}_4 = 6,6865 + 0,1944 = 6,8809.$$

Условия принадлежности к этой окружности каких-либо трех точек профиля зуба в виде

$$\begin{cases} (0 - x_c)^2 + (0 - y_c)^2 = \rho^2 \\ (0,3384 - x_c)^2 + (1,7027 - y_c)^2 = \rho^2 \\ (2,3968 - x_c)^2 + (6,8809 - y_c)^2 = \rho^2 \\ \begin{cases} x_c^2 + y_c^2 = \rho^2 \\ 0,3384^2 - 2 \cdot 0,3384 \cdot x_c + 1,7027^2 - 2 \cdot 1,7027 \cdot y_c = 0 \\ 2,3968^2 - 2 \cdot 2,3968 \cdot x_c + 6,8809^2 - 2 \cdot 6,8809 \cdot y_c = 0 \end{cases} \end{cases} \quad (41)$$

$$\begin{cases} x_c^2 + y_c^2 = \rho^2 \\ 0,4628 - 2,7351 \cdot x_c + 11,7161 - 13,7618 \cdot y_c = 0 \\ -40,9126 + 2,0585 \cdot x_c = 0 \end{cases}$$

$$x_c = 19,8750$$

$$y_c = -3,0651$$

$$\rho = 20,1100$$

Выполним проверку попадания точек профиля зуба на эту же дугу окружности.

$$\left| \sqrt{(0,048 - 19,875)^2 + (0,3773 + 3,0651)^2} - 20,11 \right| = 0,0136$$

$$\left| \sqrt{(1,063 - 19,875)^2 + (3,906 + 3,0651)^2} - 20,11 \right| = 0,0479$$

Проверка выполнена.

$$\beta_x = \arcsin \frac{|y_c| + h_x}{\rho} = \arcsin \frac{3,0651 + 6,6865}{20,1100} = 29,0068^\circ$$

$$\text{при } h_x = H_a$$

$$\beta_x = \arcsin \frac{|y_c| + h_x}{\rho} = \arcsin \frac{3,0651 + 4,5311}{20,1100} = 22,1946^\circ$$

$$\text{при } h_x = (D_{\text{расч}} - d_{\text{расч}}) / 2 = (91 - 81,9378) / 2 = 4,5311 \text{ мм}$$

Нормальный шаг профиля зубьев

$$t_n = \frac{2\pi r_u}{z} = \frac{2\pi \cdot 18,5}{12} = 9,6817, \text{ мм.}$$

Остальные геометрические параметры выбираются по справочной литературе [14]: передний угол $\gamma = 15^\circ$; задний угол $\alpha = 12^\circ$; наклона зубьев к оси $\omega = 35^\circ$ [5]; угол наклона главной режущей кромки $\lambda = 12^\circ$; главный угол в плане $\varphi = 60^\circ$ [3]; вспомогательный угол в плане $\varphi_1 = 8^\circ$ $\varphi_1 = 8^\circ$.

Чертеж червячной фрезы представлен в графической части работы.

5 Безопасность и экологичность технического объекта

Рассматриваемым в данном разделе объектом является производственный участок по изготовлению вала-шестерни вертикально-фрезерного станка.

Данный участок по механической обработке содержит следующие металлорежущие станки: центrovально-подрезной станок 2А911-1, четыре токарных станка с ЧПУ модели СА500СФ3К, шлицефрезерный станок с ЧПУ 5А352ПФ2, зубофрезерный станок с ЧПУ 5320Ф4, центрошлифовальный станок 3К255В, три круглошлифовальных станка с ЧПУ модели КШ-4002, два торцекруглошлифовальных станка с ЧПУ модели ХШ4-104Ф20 и зубошлифовальный станок 5В833.

В базовом технологическом процессе изменились две операции 020 токарная и 030 шлицефрезерная, поэтому в данном разделе будем рассматривать только эти две операции, где необходимо оценить опасные и вредные производственные факторы.

«Безопасность условий на рабочем месте определяется наличием опасных и вредных производственных факторов, которые могут возникнуть при выполнении технологических операций или видов работ. При этом учитываются источники механических травм; определяется возможность получения электротравм; проводится оценка пожаро- и взрывоопасности объекта и так далее». [31]

«Опасным называется производственный фактор, действие которого на работающего в определенных условиях приводит к травме или другому внезапному ухудшению здоровья». [31]

«Вредным называется производственный фактор, действие которого на работающего в определенных условиях приводит к постепенному ухудшению здоровья, профессиональному заболеванию или снижению работоспособности». [31]

При проведении токарных работ на рабочего, которым является оператор станка с числовым программным управлением, могут воздействовать следующие опасные производственные факторы. При токарной обработке образуется стружка, которой оператор станка может повредить кожный покров. Во избежание этого, согласно ГОСТ EN 12840-2011 [15], имеется специальный инструмент-крючок, которым оператор токарного станка убирает образовавшуюся стружку из специального лотка-накопителя стружки, имеющимся в комплектации токарного станка CA500СФЗК (рисунок 10).



Рисунок 10 – Токарный станок с ЧПУ CA500СФЗК

Оператор крючком извлекает стружку, которая скопилась в специальном лотке токарного станка, а затем собирает эту стружку в специальном контейнере. Далее этот контейнер отправляется на специальное предприятие, где стружка сдается на утилизацию.

Еще одним опасным производственным фактором на токарной операции является попадание стружки в глаз оператора станка. Токарный станок CA500СФЗК снабжен специальными ставнями, которые оператор

закрывает при загрузке заготовки и закреплении ее в патроне. После этого оператор включает программу, по которой станок осуществляет механическую обработку заготовки по определенной программе. После отработки программы оператор открывает станину станка и выгружает обработанную заготовку.

Опасным производственным фактором при работе на шлицефрезерном станке 5А352ПФ2 (рисунок 11) является попадание стружки в глаз оператора станка. В связи с этим оператор станка при работе должен находиться на рабочем месте в специальных защитных очках по ГОСТ 12.4.013-97 [8]. При включенном станке рабочий должен надеть защитные очки, тогда случайного попадания в глаз стружки не произойдет.



Рисунок 11 – Шлицефрезерный станок с ЧПУ 5А352ПФ2

Вредным производственным фактором, как при токарной, так и при шлицефрезерной обработке является то, что возникают пары смазочно-охлаждающих технических средств, которые применяют при обработке. Для минимизации этого фактора необходимо установить рабочее место оператора станка должно быть оборудовано общеобменной приточно-вытяжной вентиляцией и соответствовать санитарным нормам СНиП 41-01-2003 [30].

«Электротравмы подразделяют на электрические удары и травмы. В первом случае поражается весь организм и особенно его внутренние органы. Во втором случае происходит местное поражение кожи, мышц и других частей тела. В настоящее время установлено, что более уязвимым органом при прохождении тока через тело человека является сердце. При малых значениях тока может возникнуть фибрилляция (беспорядочное сокращение мышц) сердца. Поэтому особенно опасен для человека электрический удар, при котором нарушаются сердечная, дыхательная и мозговая деятельность».

[17]

Для электробезопасности работы на токарном и шлицефрезерном станках необходимо выполнить изоляцию токопроводящих частей, защитное заземление металлорежущих станков. Заземление отключит работу станка в случае возникновения внештатной ситуации, связанной с резким изменением напряжения в сети. Защитному заземлению подвергают доступные для прикосновения человека части электроприборов и электроустановок.

Для электробезопасности оператора токарного станка и оператора шлицефрезерного станка, на рабочем месте перед станком размещается диэлектрический коврик ГОСТ 4997-75 [12]. Этот предмет является хорошей защитой от шагового тока.

«Пожар – неконтролируемый процесс горения, сопровождающийся уничтожением материальных ценностей и создающий опасность для жизни людей. Пожарная безопасность – состояние объекта, при котором с установленной вероятностью исключается возможность возникновения и развития пожара и воздействия на людей опасных факторов пожара, а также обеспечивается защита материальных ценностей». [17]

На участке механической обработки нашей детали имеются пожарные гидранты, которые применяются в случае задымления или возникновения пожара. Также на стенках цеха развешаны огнетушители переносные ГОСТ Р 51057-2001 [16]. Для своевременного оповещения о возгорании и задымлении на потолках цеха, где находится участок механической

обработки детали, устанавливается пожарная сигнализация. Это минимизирует время, затрачиваемое на определение возгорания на производстве.

«Обучение по охране труда и проверка знаний требований охраны труда работников организаций проводится для обеспечения профилактических мер по сокращению производственного травматизма и профессиональных заболеваний. Одновременно с обучением и проверкой знаний требований охраны труда могут проводиться обучение и аттестация работников организаций по другим направлениям безопасности труда, организуемые органами исполнительной власти, в порядке, утверждаемом ими по согласованию с Министерством труда и социального развития Российской Федерации. Обучению по охране труда и проверке знаний требований охраны труда подлежат все работники организации, в том числе ее руководитель». [31]

На машиностроительном предприятии, где изготавливается вал-шестерня, обучение по технике безопасности и охране труда проводится в обязательном порядке.

Таким образом, в этом разделе предложены меры по минимизации возникновения производственного травматизма, а также по оснащению производственного участка техническими устройствами, способствующими безопасности машиностроительного предприятия.

5 Экономическая эффективность работы

В этом разделе выполним экономический расчет целесообразности предлагаемых технических решений изменения базового технологического процесса изготовления вала-шестерни вертикально-фрезерного станка.

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 сокращение вспомогательного времени на токарной операции 020. Это стало возможным благодаря применению более современного самозажимного приспособления. Применение этого приспособления сокращает время на установку заготовки перед обработкой и снятия обработанной заготовки. Это привело к снижению общей трудоемкости выполнения совершенствованной операции.

Результаты технических изменений после совершенствований операции токарной 020, а именно замены приспособления позволяют сократить вспомогательное время на 24,9%.

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 12 представлены методики, которые позволят грамотно рассчитать все вышеперечисленные экономические показатели.



Рисунок 12 – Применяемые методики для определения необходимых экономических показателей [33]

Используя, описанную на рисунке 12, методику расчета капитальных вложений, в совокупности с программой Microsoft Excel, была определена величина инвестиций (K_{BV}), которая составила 75984 руб. Данное значение учитывает все необходимые финансовые вливания в совершенствование проекта. На рисунке 13 представлены показатели, из которых сложилась итоговая величина инвестиций.

Анализируя рисунок 13, можно сказать, что затраты на приспособление с учетом доставки и монтажа являются самыми существенными, так как их доля составила 92,1% в общем объеме инвестиций. Еще одной статьёй затрат стали затраты на проектирование, составляющие 7,9%.

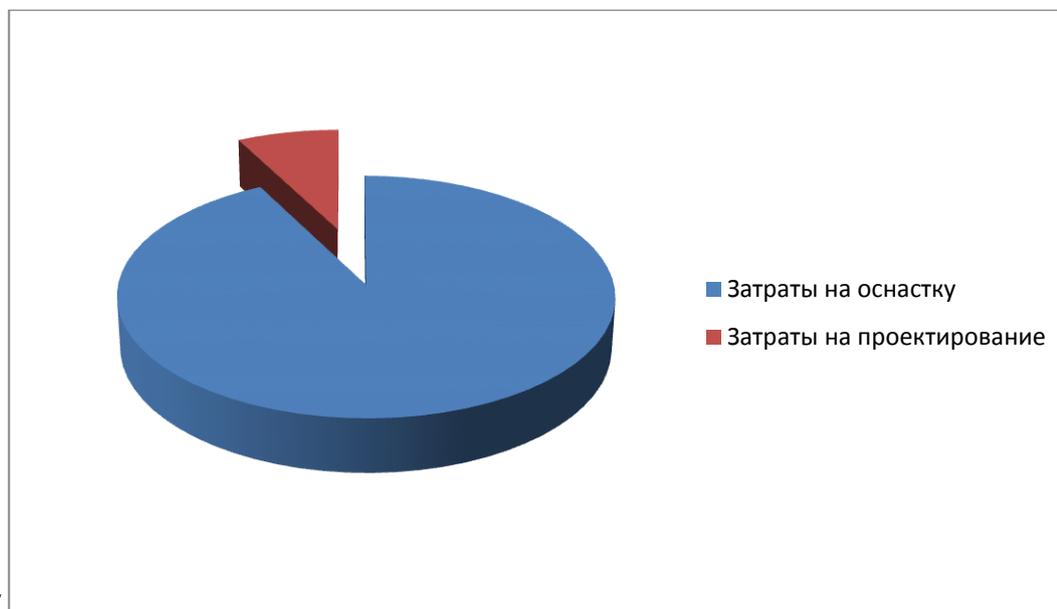


Рисунок 13 – Показатели и их значения, которые вошли в величину инвестиций для предлагаемых совершенствований

Для определения срока окупаемости заявленных инвестиций необходимо последовательно определить некоторое количество дополнительных показателей, которые представлены на рисунке 14.

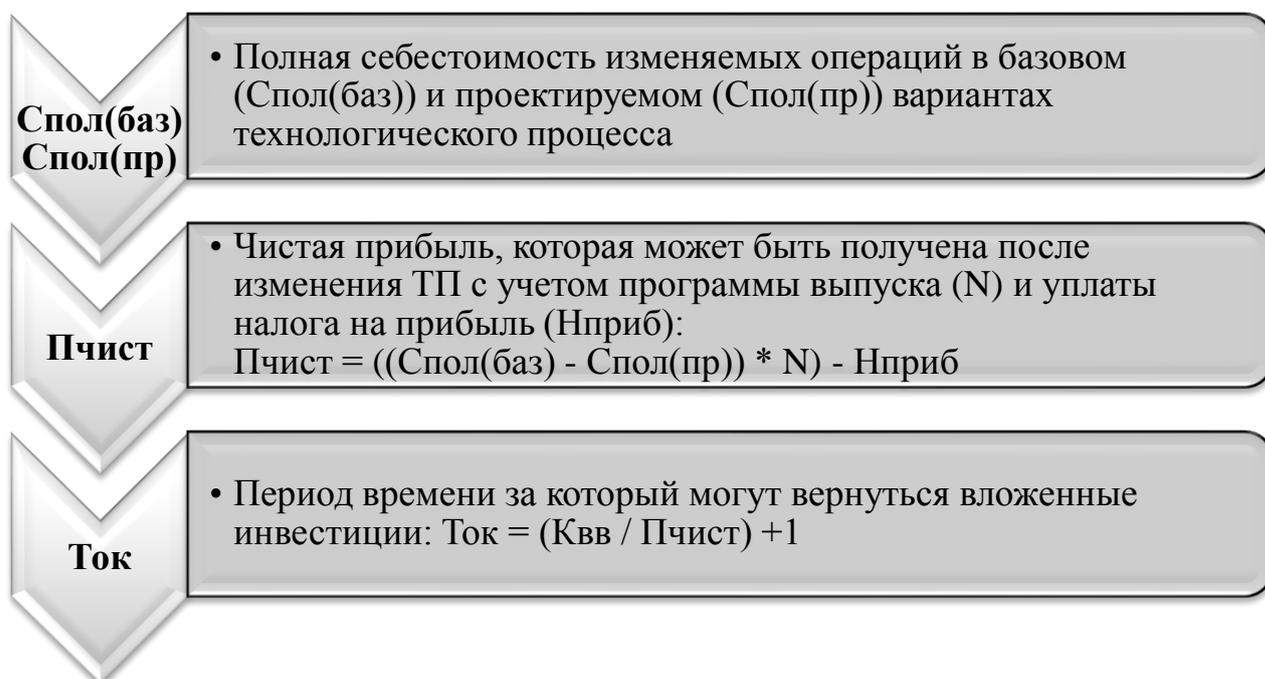


Рисунок 14 – Дополнительные экономические показатели для определения срока окупаемости и их взаимосвязь

Как видно из рисунка 14, 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, то есть посмотреть на сколько снизиться или увеличится себестоимость выполнения этих операций. Чтобы окупить вложенные инвестиции себестоимость проектируемого варианта должна снижаться. Также важно, на сколько она снизиться, потому что чем больше будет разница у полной себестоимости, тем быстрее окупятся вложенные инвестиции.

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.

Учитывая срок окупаемости инвестиций, определяется интегральный экономический эффект ($\mathcal{E}_{инт}$) путем расчета через сложные проценты. Они позволяют 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 15 представлены рассчитанные значения следующих показателей: чистая прибыль, срок окупаемости и экономический эффект.

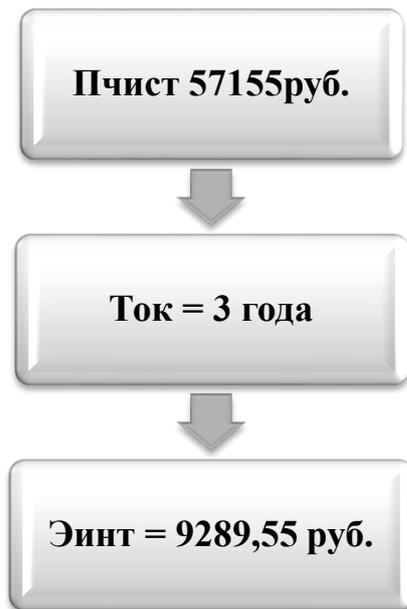


Рисунок 15 – Значения показателей чистой прибыли ($P_{\text{ЧИСТ}}$), срока окупаемости ($T_{\text{ОК}}$) и экономического эффекта ($\Delta_{\text{ИНТ}}$)

Как показано на рисунке 15, экономический эффект является положительной величиной, то есть он получен, поэтому внедрение предлагаемых совершенствований можно считать целесообразными.

Таким образом, внедрение механизированного приспособления на токарной операции 020 технологического процесса изготовления вала-шестерни вертикально-фрезерного станка привели к экономической прибыли, которая окупится за три года.

Заключение

В результате выполнения выпускной работы нами был спроектирован современный техпроцесс изготовления вала-шестерни вертикально-фрезерного станка.

В первом разделе был описан вертикально-фрезерный станок, а также функции вала-шестерни, которые выполняет эта деталь в узле механизма станка. Также проведен анализ технологичности вала-шестерни, описана конструкция и рассмотрен вопрос о методе получения заготовки, из которой затем изготавливают саму деталь.

Во втором разделе выбран тип производства для вала-шестерни вертикально-фрезерного станка, описаны основные его характеристики. Далее из двух наиболее подходящих методов получения заготовки (штамповки и проката) путем технико-экономического расчета-обоснования выбран наиболее экономически выгодный метод – штамповка на горизонтально-ковочной машине. Затем для изготовления каждой поверхности детали в зависимости от формы, точности и шероховатости выбраны методы обработки. На одну из наиболее точных поверхностей вала-шестерни рассчитаны припуски расчетно-аналитическим методом. После этого для модернизируемых в работе операций (токарная и шлицефрезерная) определены режимы обработки.

В третьем разделе для токарной операции спроектировано станочное приспособление – патрон с эксцентриковыми кулачками. Конструкция этого приспособления такова, что патрон в результате придания ему вращения от привода станка осуществляет зажим заготовки без какого-либо собственного привода.

В четвертом разделе для шлицефрезерной операции спроектирован сложнопрофильный режущий инструмент – червячная фреза.

В работе имеется анализ безопасности и экологичности. Экономический расчет показал эффективность модернизации техпроцесса.

Список используемой литературы

1. Boothroyd G. Fundamentals of metal machining and machine tools. Elsevier, 2001. – 255 p.
2. Cabrera J., Mateo A., Llanes L., Prado J. Hot deformation of duplex stainless steels. Journal of Materials. 2003. p. 188-195.
3. Guo Shuxia, Zhang Jiancheng, Jiang Xiaofeng, Peng Yin, Wang Lei. Mini Milling Cutter Measurement Based on Machine Vision. Procedia Engineering. Volume 15, 2011, p. 1807-1811.
4. Nomura N., Morimoto H., Toyama M. Calculation of ferrite decarburizing depth, considering chemical composition of steel and heating condition. ISIJ international, 2000. p. 11-15.
5. Sridhar, G.; Ramesh Babu, P. Effect of a milling cutter diameter on distortion due to the machining of thin wall thin floor components. Advances in Production Engineering & Management . Sep2015, Vol. 10 Issue 3, p. 140-152.
6. Безъязычный В.Ф. Технологические процессы механической и физико-механической обработки в машиностроении : учебное пособие / В.Ф.Безъязычный, В.Н. Крылов, Ю.К. Чарковский, Е.В. Шилков. – 4-е изд., стер. – СПб. : Издательство «Лань», 2022. – 432 с.
7. Вереина Л. И. Металлообработка : справочник / Л.И. Вереина, М.М. Краснов, Е. И. Фрадкин ; под общ. ред. Л.И. Вереиной. - Москва : ИНФРА-М, 2013. - 320 с.
8. ГОСТ 12.4.013-97. Система стандартов безопасности труда. Очки защитные. Общие технические условия. – 16 с.
9. ГОСТ 14.004-83. Технологическая подготовка производства. Основные термины и определения. – 9 с.
10. ГОСТ 2590-2006. Прокат сортовой стальной горячекатаный круглый. – 10 с.
11. ГОСТ 4543-2016.Metalloпродукция из конструкционной легированной стали. Технические условия. – 53 с.

12. ГОСТ 4997-75. Ковры диэлектрические резиновые. Технические условия. – 19 с.
13. ГОСТ 7505-89. Поковки стальные покованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски. – 36 с.
14. ГОСТ 8027-87. Фрезы червячные для шлицевых валов с прямобочным профилем. Технические условия. – 23 с.
15. ГОСТ EN 12840-2011. Безопасность металлообрабатывающих станков. Токарные станки с ручным управлением, оснащенные и не оснащенные автоматизированной системой управления. – 59 с.
16. ГОСТ Р 51057-2001. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний. – 48 с.
17. Графкина М.В. Охрана труда : учебник / М.В. Графкина. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : ИНФРА-М, 2023. – 212 с.
18. Гречишников В.А. Режущий инструмент. Альбом : учеб. пособие / В.А. Гречишников, А.Г. Схиртладзе, В.А. Иванов, В.К. Перевозников. – Пермь : Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2007. – 437.
19. Дирвук Е.П. Фрезерные работы : пособие к лабораторным работам / Е.П. Дирвук. – Минск : БНТУ, 218. – 105 с.
20. Зубарев Ю.М. Технология автоматизированного машиностроения. Проектирование и разработка технологических процессов : учебное пособие для вузов / Ю.М. Зубарев, А.В. Приемывшев, В.Г. Юрьев. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург, Лань, 2021. – 312 с.
21. Козлов А.А. Разработка технологических процессов изготовления деталей машин : учеб.-метод. пособие по выполнению курсовых проектов по дисциплине «Основы технологии машиностроения» / А.А. Козлов, И.В. Кузьмич. – Тольятти : ТГУ, 2008. – 152 с.
22. Колмогоров Г.Л. Технологияковки и объемной штамповки : учеб. пособие / Г.Л. Колмогоров, Т.Е. Мельникова. – Пермь : Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. – 34 с.

23. Копылов Ю.Р. Основы компьютерных цифровых технологий машиностроения : учебник / Ю.Р. Копылов. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 496 с.
24. Краснопевцева И.В. Экономика и управление машиностроительным производством : учеб.-метод. пособие / И.В.Краснопевцева, Н.В. Зубкова. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2014. – 183 с.
25. Левшин Г.Е. Основы технологии машиностроения : учебное пособие / Г.Е. Левшин. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. – 216 с.
26. Мальцев В.Г. Технологическая оснастка : учеб. пособие / [В.Г. Мальцев и др.] ; Минобрнауки России, ОмГТУ. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2019. – 134 с.
27. Попелюх А.И. Технологическая документация и сопровождение производства художественных изделий : учебное пособие / А.И. Попелюх. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2018. – 127 с.
28. Режимы резания металлов: Справочник/ Ю.В.Барановский, Л.А.Брахман, А.И.Гадалевич и др. – М.: НИИТавтопром, 1995. – 456 с.
29. Семакина О.К. Технология химического машиностроения : учебное пособие / О.К. Семакина ; Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2017. – 144 с.
30. СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование. – 60 с.
31. Шапорева И.Л. Безопасность жизнедеятельности : электрон. учеб.-метод. пособие / И.Л. Шапорева, Л.Н. Горина, Н.Е. Данилина, И.И. Рашоян. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2018. – 282 с.
32. Шишко В.Б. Проектирование формоизменения металла при прокатке на сортовых прокатных станах : моногр. / В.Б. Шишко, В.А. Трусков, Н.А. Чиченев. – М. : Изд. дом МИСиС, 2012. – 434 с.

33. Шрубченко И.В. Основы технологии машиностроения : учебное пособие / И.В. Шрубченко, Т.А. Дуюн, А.В. Хуртасенко, М.Н. Воронкова. — Москва : ИНФРА-М, 2023. — 271 с.

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1

ГОСТ 3.1116-82 Форма 1а

Дубл.	Взам.	Побл.													6	4	
А			Уч.	РМ	Опер.	Код, наименование операции	Обозначение документа						Тип.				
Б			Код, наименование оборудования				СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кит	Тпз.	Тип.
Т01 XXXXX Приспособление специальное; 391810 Фреза червячная зуборезная $m = 3\text{мм}$, ГОСТ 9324 – 80;																	
Т02 394300 Прибор для контроля параметров зубчатого венца ГОСТ 6507 – 81.																	
А03 ХХ ХХ ХХ 040 5030 Термическая ИОТ № 47																	
Б04 313732 Установка индукционного нагрева																	
О05 Закалить																	
А06 ХХ ХХ ХХ 045 4143 Центрошлифовальная ИОТ № 76																	
Б07 38 1312 7 Центрошлифовальный ст-к 3923 1 19630 322 1 1 1 1 142 1																	
О08 Шлифовать центровые отверстия, выдерживая размер $60^0 \pm 15'$; $90^0 \pm 15'$.																	
Т09 397130 Круг 1 12' 6' 10' 24А М16 К6 V 40м/с 2кл ГОСТ Р 52781-2007; XXXXX Спец. шаблон; 394300 Прибор акт. контр. БВ-6060-УНВ																	
А10 ХХ ХХ ХХ 050 4130 Кругошлифовальная черновая ЧПУ ИОТ № 76																	
Б11 38 1300 1 Кругошлифовальный с ЧПУ мод КШ-400.2 1 19630 322 1 1 1 142 1																	
О12 Шлифовать поверхность 12, выдерживая размер $\varnothing 50.0.046$; шлифовать поверхность 16, выдерживая размер $\varnothing 38.1.0.039$; 171 ± 0.5 ;																	
Т13 шлифовать поверхность 18, выдерживая размер $\varnothing 38.1.0.039$.																	
Т14 396110 Патрон мембранный ГОСТ 3889-80; 397130 Шлифовальный круг 1 250' 35' 76.2 25А F40 К6 V 40м/с 2кл ГОСТ Р 52781-2007;																	
Т15 394630 Прибор активного контроля БВ-6060-УНВ- 40 ГОСТ Р 8.671 - 2009,																	
МК																	

