

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)

Проектирование технологических процессов  
(направленность (профиль)/ специализация)

## **ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Технологический процесс изготовления червяка вертикально-  
сверлильного станка

Обучающийся

А.В. Панов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент Н.Ю. Логинов

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

Консультанты

к.э.н., доцент О.М. Сярдова

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

к.т.н., доцент А.Н. Москалюк

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

Тольятти 2022

## Аннотация

Тема: Технологический процесс изготовления червяка вертикально-сверлильного станка

Автор: Панов Анатолий Викторович.

В работе разработан технологический процесс изготовления детали «червяк», который входит в состав коробки подач вертикально-сверлильного станка.

В начале работы выполнен анализ исходных данных, в котором рассмотрено назначение детали «червяк», работа и условия его при работе всего узла в целом, проведена классификация всех поверхностей червяка, проведен анализ технологичности конструкции червяка.

В технологической части работы определен тип машиностроительного производства при изготовлении червяка, проведен сравнительный анализ двух наиболее подходящих вариантов получения заготовки, проведен расчет припусков на одну поверхность червяка расчетно-аналитическим методом, определены методы обработки каждой поверхности детали и проведен расчет припусков на модернизируемые операции техпроцесса.

В работе спроектировано станочное приспособление для технологической операции фрезерования шпоночного паза. В отличие от базового варианта станочное приспособление имеет автоматизированный привод.

Для шпоночно-фрезерной операции спроектирован режущий инструмент – концевая четырехзубая фреза, имеющая износостойкое покрытие.

Работа содержит анализ безопасности и экологичности, а также раздел, где рассчитана экономическая эффективность выполненной модернизации базового варианта техпроцесса.

## Содержание

Введение.....	4
1 Анализ исходных данных.....	5
1.1 Назначение и условия работы детали.....	6
1.2 Классификация поверхностей детали.....	6
1.3 Анализ требований к поверхностям детали.....	6
2 Технологическая часть.....	10
2.1 Определение типа производства.....	10
2.2 Выбор стратегии разработки техпроцесса.....	10
2.3 Выбор метода получения заготовки.....	11
2.4 Выбор методов обработки поверхностей.....	13
2.5 Расчет припусков.....	14
2.6 Определение режимов резания.....	17
3 Проектирование станочного приспособления.....	23
3.1 Исходные данные.....	23
3.2 Выбор схемы базирования.....	22
3.3 Определение точности приспособления.....	25
4 Проектирование режущего инструмента.....	28
4.1 Исходные данные.....	28
4.2 Конструктивные элементы фрезы.....	30
4.3 Выбор износостойкого покрытия.....	33
5 Безопасность и экологичность технического объекта.....	40
5.1 Мероприятия по снижению уровня потенциальной опасности.....	40
5.2 Средства индивидуальной защиты.....	42
6 Экономическая эффективность работы.....	45
Заключение.....	49
Список используемой литературы.....	50
Приложение А. Технологическая документация.....	53

## Введение

Машиностроение является ведущей отраслью народного хозяйства Российской Федерации. Отдельной очень важной частью машиностроения является станкостроение, ведь от него зависит производительность почти всей индустрии и промышленности страны.

При изготовлении машин широко применяются металлорежущие станки. Металлорежущими являются станки для обработки металлических и других деталей машин. От качества изготовления металлорежущих станков зависит качество продукции, изготавливаемой на них. Различные отклонения при изготовлении станков отражаются на продукции, обрабатываемой на них.

Сверлильные станки являются одной из групп металлорежущих станков. На них производят сверление, рассверливание, зенкерование и развертывание глухих и сквозных отверстий. На некоторых из них имеется возможность нарезания резьб метчиками.

В конструкцию вертикально-сверлильного станка входит деталь под названием «червяк». Она в паре с червячным зубчатым колесом составляет кинематическую червячную передачу. Червячная передача широко используется в кинематических цепях подач металлорежущих станков, так как является очень удобным звеном для резкого понижения частоты вращения валов.

Червяк является ответственным звеном вертикально-сверлильного металлорежущего станка. Он воспринимает крутящий момент при помощи стенок шпоночного паза и передает вращение на червячное зубчатое колесо при помощи боковых сторон, выполненной на нем, модульной резьбы.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка технологического процесса изготовления червяка вертикально-сверлильного станка заданного качества с минимальными затратами на изготовление.

## 1 Анализ исходных данных

### 1.1 Назначение и условия работы детали

«Сверлильные станки предназначены для сверления глухих и сквозных отверстий, рассверливания и зенкерования и нарезания резьбы метчиками. Широкое распространение получили настольно-сверлильные, вертикально-сверлильные, радиально-сверлильные станки и станки для глубокого сверления». [1]

«Наиболее распространенными являются вертикально-сверлильные станки. Общий вид станка приведен на рисунке 1. Шпиндельная бабка 4 перемещается по направляющим колонны 3 при настройке станка. Рабочая подача при сверлении обеспечивается за счет выдвижения шпинделя 7 от привода подач или вручную. Стол станка 9 также может перемещаться вручную в вертикальном направлении. Такие станки применяются в основном производственных цехах в условиях мелкосерийного и единичного производства, в ремонтно-механических и инструментальных цехах». [1]

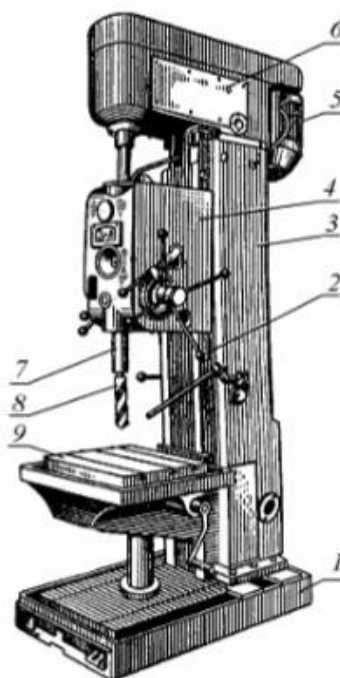


Рисунок 1 – Вертикально-сверлильный станок

## 1.2 Классификация поверхностей детали

Пронумеруем поверхности детали и представим их на рисунке 2.

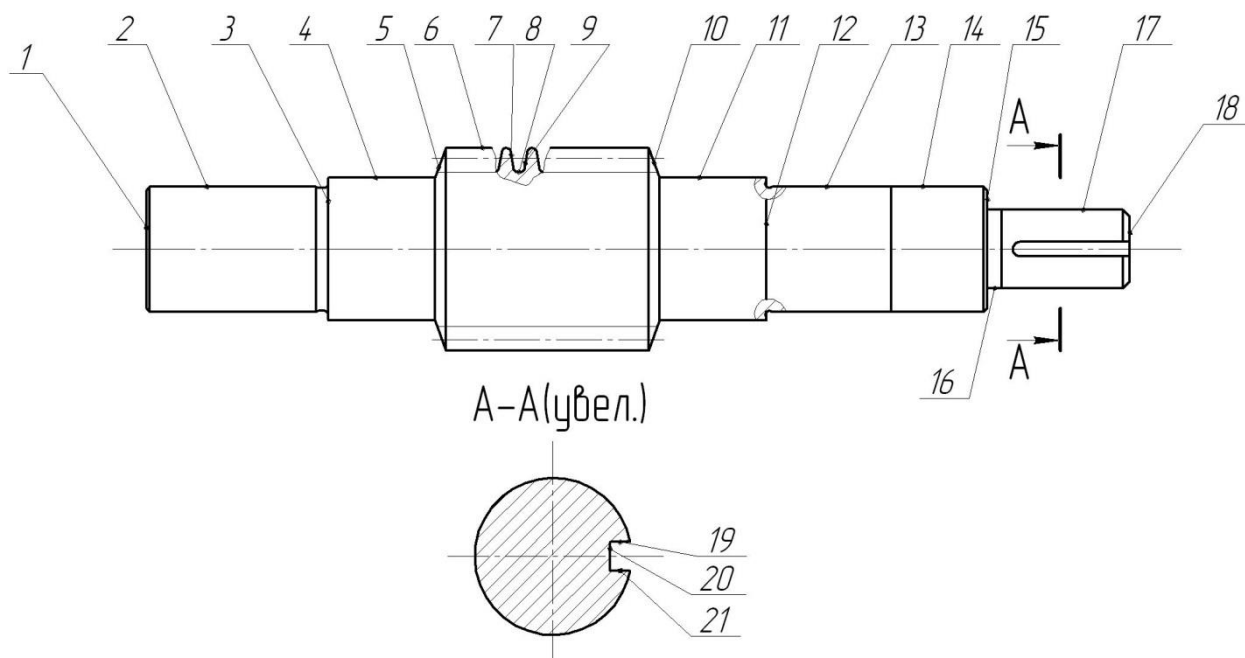


Рисунок 2 - Классификация поверхностей

Исполнительными являются поверхности червяка 19 и 21.

Основными конструкторскими базами являются поверхности червяка 2, 13 и 12.

Вспомогательными конструкторскими базами являются поверхности червяка 17 и 20.

Остальные поверхности – свободные.

## 1.3 Анализ требований к поверхностям детали

Материалом червяка является конструкционная сталь 20Х ГОСТ 4543-2016 [9]. Данный материал соответствует требованиям по прочности и твердости. В химическом составе стали 20Х имеется углерод в количестве

около 0,2%, также хром в количестве около 1% и различные примеси. Остальное в составе стали – железо (Fe).

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

Таблица 1 - Физико-механические свойства стали 20Х

$\sigma_b$	$\psi$	$\sigma_T$	$\delta_5$	НВ
МПа	%	МПа	%	не более
640	32	390	13	250

«Элементы, специально вводимые в сталь в определенных концентрациях для изменения ее строения и свойств, называются легирующими, а стали, их содержащие, - легированными. Если концентрация составляет около 0,1% и менее, стали принято называть микролегируемыми. Элемент, присутствующий в стали, считается легирующим, если его количества достаточно для того, чтобы влиять на механические, физико-химические и механические свойства. Концентрация некоторых легирующих элементов может быть очень малой. В количестве до 0,1% вводят Nb, Ti, а содержание бора обычно не превышает 0,005%. Появление и широкое распространение легируемых сталей обусловлено непрерывным ростом требований, предъявляемых к материалам по мере развития технического прогресса». [20]

«Прорабатывая конструкцию детали, стремятся обеспечить возможность ее изготовления в определенных организационно-технических условиях производства наиболее производительными способами и с наименьшими затратами. Это удастся, если конструктор сумеет учесть комплекс производственно-технических требований, повышающих технологичность детали, среди которых отметим следующее. Материал детали должен обеспечивать получение заготовок заданной точности наиболее дешевыми и эффективными методами; он должен хорошо обрабатываться с помощью имеющихся средств производства. В целях снижения материалоемкости и объема механической обработки желательно,

чтобы конфигурация заготовки максимально соответствовала формам и размерами детали или приближалась к ним. В условиях серийного и массового производства детали иногда конструируют с учетом имеющихся видов проката (специального, профильного и периодического), что обеспечивает при дальнейшей обработке значительный экономический эффект и минимальный расход материала». [9]

Для упрощения обработки отдельных поверхностей детали «червяк» в конструкции имеются специальные канавки, представленные на рисунке 3. [10]

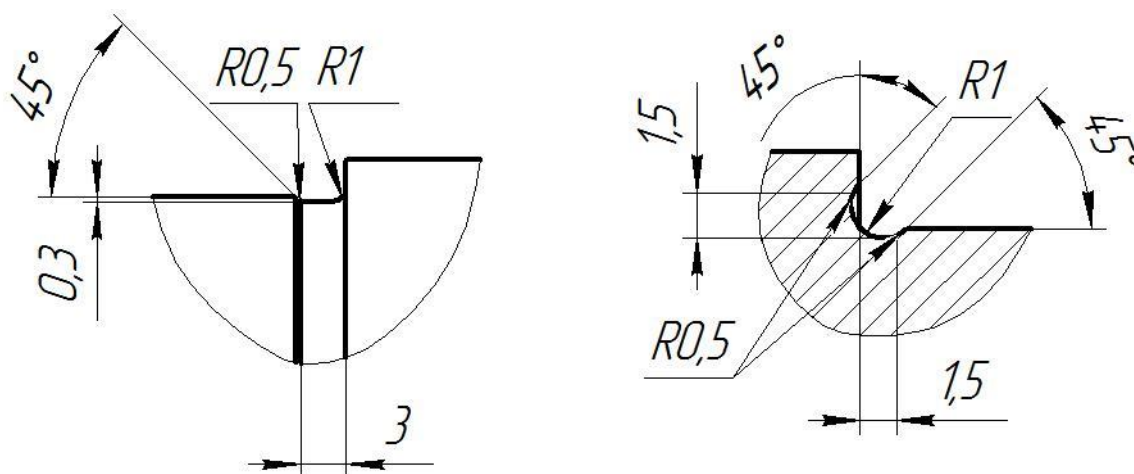


Рисунок 3 – Технологические канавки

«Заготовки деталей машин должны иметь поверхности, обеспечивающие их удобное и надежное базирование при обработке; при отсутствии таковых предусматривают возможность создания искусственных технологических баз в виде бобышек, поясков, отверстий и т.п.» [9]

Детали типа «вал», к которым относится наша деталь, в своем большинстве обрабатываются в центрах, поэтому в конструкции червяка на торцах предусмотрены центровые отверстия, представленные на рисунке 4 [7], в которые входят приспособления на станках, для точности обработки и единства технологических баз.



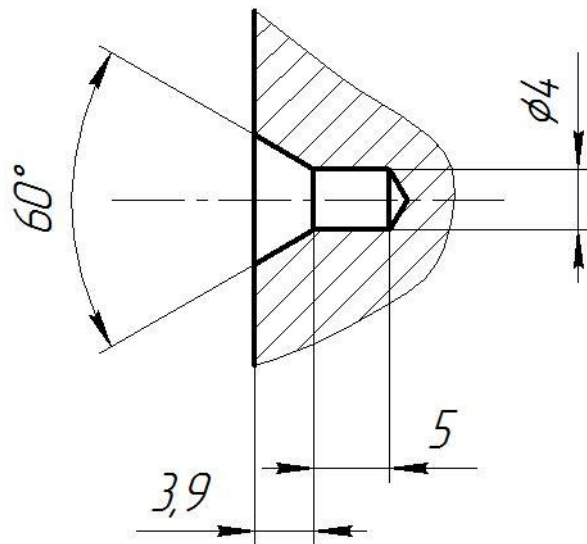


Рисунок 4 – Центровые отверстия

Заготовку для изготовления детали проще всего получить двумя распространенными способами, которыми являются штамповка и круглый прокат.

«Прокатка – один из распространенных видов обработки металлов давлением. При прокатке металл деформируется в горячем или холодном состоянии вращающимися валками, конфигурация и взаимное положение которых различно». [10]

«Объемная штамповка – один из основных видов обработки металлов давлением, при котором нагретая заготовка пластически деформируется до получения заданной формы и размеров в полости штампа – специального инструмента, предназначенного для изготовления штампованных заготовок только данной конфигурации». [10]

На основе проанализированных данных перейдем к технологической части работы, составляющей второй раздел.

## **2 Технологическая часть**

### **2.1 Определение типа производства**

«Тип производства – классификационная категория производства, выделяемая по признакам широты номенклатуры, регулярности, стабильности, и объема выпуска изделий. В зависимости от сочетаний указанных признаков (показателей) современные производства подразделяют на следующие типы: массовое, серийное и единичное». [2]

Тип производства выберем на основе двух параметров: масса детали  $m = 2,5$  кг и программа выпуска в  $N = 7000$  деталей в год. Исходя из этих параметров [2], принимаем среднесерийный тип производства.

### **2.2 Выбор стратегии разработки техпроцесса**

«Серийным называют производство, характеризуемое периодическим изготовлением или ремонтом изделий ограниченной номенклатуры повторяющимися партиями и сравнительно большим объемом выпуска». [2]

«Серийное производство является основным типом современного машиностроительного производства, в условиях которого выпускается 75...80% изделий машиностроения, в том числе и горного машиностроения. По своим технологическим и производственным характеристикам серийное производство занимает промежуточное положение между единичным и массовым производством, при этом мелкосерийному производству присущи признаки и особенности единичного производства, а крупносерийному – особенности массового производства». [2]

«В серийном производстве используется универсальное, специализированное и специальное оборудование. Широко применяются станки с ЧПУ, обрабатывающие центры, гибкие автоматизированные

системы станков с ЧПУ, связанных транспортирующими устройствами. Применяется как универсальная, так и специальная оснастка». [2]

### 2.3 Выбор метода получения заготовки

«Выбор метода должен осуществляться на основе технического и экономического принципов. В соответствии с техническим принципом выбранный технологический процесс должен полностью обеспечивать выполнение всех требований на изготовление изделия. В соответствии с экономическим принципом изготовление заготовки следует вести с минимальными производственными затратами. Из нескольких возможных методов получения изделия при прочих равных условиях выбирают более экономичный, а при равной экономичности – наиболее производительный». [2]

При штамповке масса заготовки будет равна 3,65 кг, а при прокате 4,55 кг.

Рассчитаем стоимость снятия 1 кг стружки при механической обработке [12].

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

где  $C_c = 0,495$ ;  $E_n = 0,15$ ;  $C_k = 1,085$ . [12]

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

Рассчитаем стоимость 1 кг заготовки, полученной штамповкой. [12]

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

где  $C_{\text{ум}} = 0,315$ ;  $k_m = 0,9$ ;  $k_c = 0,84$ ;  $k_e = 1,14$ ;  $k_m = 1,0$ ;  $k_n = 1,0$ . [12]

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

Рассчитаем технологическую себестоимость изготовления детали, полученной штамповкой [12].

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

где  $Q_{ум} = 3,65; q = 2,5$  кг;

$$C_{отх} = 0,0144 \text{ руб/кг. [12]}$$

Тогда

$$C_{ми} = 0,2715 \cdot 3,65 + 0,6723(3,65 - 2,5) - (3,65 - 2,5)0,0144 = 1,7476 \text{ руб.}$$

Рассчитаем технологическую себестоимость изготовления детали, полученную прокатом [12].

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

где  $Q_{пр} = 6,25; q = 2,5$  кг;

$$C_{отх} = 0,0144 \text{ руб/кг. [12]}$$

$$C_{мн} = 0,2219 \cdot 6,52 + 0,6723(6,52 - 2,5) - 0,0144(6,52 - 2,5) = 4,0915 \text{ руб.}$$

По себестоимости наиболее экономичным является вариант изготовления детали из штамповки.

Рассчитаем годовую экономию

$$\mathcal{E}_2 = (C_{мн} - C_{ми})N_2. \quad (5)$$

$$\mathcal{E}_2 = (C_{мн} - C_{ми})N_2 = (4,0915 - 1,7476)7000 = 16407,3 \text{ руб.}$$

Рассчитаем коэффициент использования материала

$$K_{им} = \frac{M_д}{M_3}. \quad (6)$$

$$K_{им} = \frac{2,5}{3,65} = 0,68.$$

Чертеж заготовки представлен в графической части работы.

## **2.4 Выбор методов обработки поверхностей**

«Различные по служебному назначению, размерам и геометрии детали машин изготавливают в соответствии с разработанным для конкретной детали технологическим процессом с использованием обоснованно выбранной для данных условий заготовки. При этом выбор необходимого состава технологических переходов и объединение их в соответствующие операции для выбора требуемого технологического оборудования осуществляется путем расчета уточнений. Достижение требуемой точности деталей при ее изготовлении осуществляется путем последовательной механообработки исходной заготовки на соответствующих станках. В результате прохождения заготовки через соответствующую технологическую систему происходит ее уточнение по одному или нескольким параметрам точности». [17]

По форме, точности (IT 14) поверхностей 1, 18 и их шероховатости (Ra 6,3), примем следующие методы обработки этих поверхностей: центровально-подрезная обработка.

По форме, точности (IT 6) поверхностей 2, 13 и их шероховатости (Ra 0,8), примем следующие методы обработки этих поверхностей: черновое и чистовое точение, черновое и чистовое круглое шлифование.

По форме, точности (IT 14) поверхностей 3, 4, 5, 6, 8, 10, 11, 15, 16 и их шероховатости (Ra 6,3), примем следующие методы обработки этих поверхностей: черновое и чистовое точение.

По форме, точности (IT 8) поверхностей 7, 9 и их шероховатости (Ra 1,6), примем следующие методы обработки этих поверхностей: черновое и чистовое точение, резьбошлифование.

По форме, точности (IT 14) поверхности 12 и её шероховатости (Ra 1,6), примем следующие методы обработки этой поверхности: черновое и чистовое точение, круглое шлифование.

По форме, точности (IT 9) поверхности 14 и её шероховатости (Ra 6,3), примем следующие методы обработки этой поверхности: черновое и чистовое точение.

По форме, точности (IT 7) поверхности 17 и её шероховатости (Ra 1,6), примем следующие методы обработки этой поверхности: черновое и чистовое точение, круглое шлифование.

По форме, точности (IT 7) поверхностей 19, 21 и их шероховатости (Ra 3,2), примем следующие методы обработки этих поверхностей: шпоночно-фрезерная операция.

По форме, точности (IT 14) поверхности 20 и её шероховатости (Ra 6,3), примем следующие методы обработки этой поверхности: шпоночно-фрезерная операция.

## **2.5 Расчет припусков**

«Одним из основных вопросов, с которыми приходится встречаться технологу при разработке технологического процесса, является вопрос об определении общих и операционных припусков на обработку. Установление оптимальных припусков на заготовках, превращаемых в стружку при обработке резанием, имеет большое значение. Следует отметить, что металл, превращаемый в стружку, составляет относительно небольшую стоимость, однако стоимость снятия его с заготовки велика. Дробление, уборка стружки и ее транспортировка от рабочих мест за пределы цеха осложняют работу цехов и требуют специальных устройств: стружкодробилки, транспортеры и др.». [18]

«Припуском на обработку называется слой металла, подлежащий удалению с заготовки для получения готовой детали». [16]

Определим припуски на обработку поверхности 2 с параметрами  $\varnothing 35k6^{(+0,018}_{+0,002})$ ,  $L = 47$  мм,  $Ra = 0,8$  мкм расчетно-аналитическим методом. Технологический маршрут обработки данной поверхности состоит из черного и чистового точения, термообработки, черного и чистового круглого шлифования.

Найдем суммарную величину для каждого перехода

$$\langle a = R_z + h_o \rangle. [4] \quad (7)$$

Найдем суммарное отклонение формы и расположения поверхностей

$$\langle \Delta = 0,25 \cdot Td \rangle. [4] \quad (8)$$

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

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

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

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

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

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

Вычислим максимальное и минимальное значение припуска (мм)

$$\langle Z_{\min} = a_{i-1} + \sqrt{(\Delta_{i-1})^2 + \varepsilon_i^2} \rangle. [4] \quad (9)$$

$$\langle Z_{i\max} = Z_{i\min} + 0,5(Td_{i-1} + Td_i) \rangle. [4] \quad (10)$$

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

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

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

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

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

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

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

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

Рассчитаем значения размеров на каждом переходе (мм)

$$d_{4\min} = 35,002.$$

$$d_{4\max} = 35,018.$$

$$d_{3\min} = d_{4\max} + 2 \cdot Z_{4\min} = 35,018 + 2 \cdot 0,060 = 35,138.$$

$$d_{3\max} = d_{3\min} + Td_3 = 35,138 + 0,016 = 35,154.$$

$$d_{T0\min} = d_{3\max} + 2 \cdot Z_{3\min} = 35,154 + 2 \cdot 0,125 = 35,404.$$

$$d_{T0\max} = d_{T0\min} + Td_{T0} = 35,404 + 0,100 = 35,504.$$

$$d_{2\min} = d_{T0\max} \cdot 0,999 = 35,504 \cdot 0,999 = 35,468.$$

$$d_{2\max} = d_{2\min} + Td_2 = 35,468 + 0,062 = 35,530.$$

$$d_{1\min} = d_{2\max} + 2 \cdot Z_{2\min} = 35,530 + 2 \cdot 0,263 = 36,056.$$

$$d_{1\max} = d_{1\min} + Td_1 = 36,056 + 0,250 = 36,306.$$

$$d_{0\min} = d_{1\max} + 2 \cdot Z_{1\min} = 36,306 + 2 \cdot 0,951 = 38,208.$$

$$d_{0\max} = d_{0\min} + Td_0 = 38,208 + 2,200 = 40,408.$$

Найдем средние значения размеров на каждом переходе (мм)

$$\langle d_{cpi} = 0,5(d_{i\max} + d_{i\min}) \rangle. [4] \quad (11)$$

$$d_{cp0} = 0,5(d_{0\max} + d_{0\min}) = 0,5(40,408 + 38,208) = 39,308.$$



$$d_{cp1} = 0,5(d_{1max} + d_{1min}) = 0,5(36,306 + 36,056) = 36,181.$$

$$d_{cp2} = 0,5(d_{2max} + d_{2min}) = 0,5(35,530 + 35,468) = 35,499.$$

$$d_{cpTO} = 0,5(d_{TOmax} + d_{TOmin}) = 0,5(35,504 + 35,404) = 35,454.$$

$$d_{cp3} = 0,5(d_{3max} + d_{3min}) = 0,5(35,138 + 35,154) = 35,146.$$

$$d_{cp4} = 0,5(d_{4max} + d_{4min}) = 0,5(35,018 + 35,002) = 35,010.$$

Найдем общий припуск на обработку (мм)

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

$$2Z_{min} = 38,208 - 35,018 = 3,190.$$

$$\ll 2Z_{max} = 2Z_{min} + Td_0 + Td_4 \gg. [4] \quad (13)$$

$$2Z_{max} = 3,190 + 2,200 + 0,016 = 5,406.$$

$$\ll 2Z_{cp} = 0,5(2Z_{min} + 2Z_{max}) \gg. [4] \quad (14)$$

$$2Z_{cp} = 0,5(3,190 + 5,406) = 4,298.$$

## 2.6 Определение режимов резания

«Выбор и расчет режима резания для каждой операции (глубины резания, подачи, скорости резания и числа проходов) для конкретных условий обработки, заданных требований к точности и шероховатости обработанной поверхности детали являются весьма важной составной частью работы по проектированию технологического процесса. Оптимальный режим резания должен иметь наивыгоднейшую комбинацию этих величин. Он должен обеспечивать: а) наименьшую себестоимость обработки детали;

б) наибольшую производительность на данной операции; в) качество обработанной поверхности в соответствии с требованиями чертежа; г) точность размеров обработанных поверхностей в соответствии с требованиями чертежа детали». [16]

«При рассмотрении влияния жесткости технологической системы на точность обработки было установлено, что число проходов и величина подачи заметно влияют на величину погрешности размера и формы детали. Скорость резания, в случае, например, обработки неуравновешенных деталей, также может оказать существенное влияние на точность. В зависимости от условий производства режимы резания приходится рассчитывать так, чтобы удовлетворить одному из этих требований, если оно доминирует над остальными или несколькими». [16]

«Существует несколько методов назначения режима резания: табличный, аналитический, графоаналитический, машинный с использованием компьютеров и специальных программ расчета. При табличном методе обычно используют нормативы режимов резания. Табличный метод рекомендуется использовать в производственных условиях при отсутствии вычислительной техники, в проектных организациях при проектировании новых технологических процессов, если к готовой продукции не предъявляются высокие эксплуатационные требования». [16]

### 2.6.1 Определение режимов резания на операцию 015.

Глубина резания и подача  $t = 2,5; S = 0,3$ . [18]

Скорость резания

$$V = V_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4, \quad (15)$$

где  $K_1 = 1,0; K_2 = 1,0; K_3 = 1,0; K_4 = 1,0; V_0 = 180$  м/мин. [18]

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

Частота вращения

$$n = \frac{1000V}{\pi D}. \quad (16)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 180}{3,14 \cdot 57,3} = 1000,4 \text{ мин}^{-1}.$$

$$n_{\phi} = 1000 \text{ мин}^{-1}.$$

Уточним скорость резания

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000}. \quad (17)$$

$$V_{\phi} = \frac{3,14 \cdot 57,3 \cdot 1000}{1000} = 179,9 \text{ м/мин.}$$

Минутная подача

$$S = S_0 \cdot n. \quad (18)$$

$$S = 0,3 \cdot 1000 = 300 \text{ мм/мин.}$$

Основное время

$$T_0 = \frac{L_{px}}{S}. \quad (19)$$

$$T_0 = \frac{151}{300} = 0,50 \text{ мин.}$$

«Режимы резания, обеспечивающие минимальную себестоимость, и режимы, соответствующие максимальной производительности, различаются в основном скоростью резания и стойкостью инструмента. Скорость резания по критерию максимальной производительности больше, а стойкость

инструмента меньше, что обеспечивает большую производительность, но и более высокие затраты на инструмент». [16]

### 2.6.2 Определение режимов резания на операцию 025.

Переход 1.

Глубина резания и подача  $t = 0,3; S = 0,2$ . [18]

Скорость резания

$$V = 180 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 180 \text{ м/мин,}$$

где  $K_1 = 1,0; K_2 = 1,0; K_3 = 1,0; K_4 = 1,0; V_0 = 180 \text{ м/мин}$ . [18]

Частота вращения

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 180}{3,14 \cdot 34,4} = 1666,4 \text{ мин}^{-1}.$$

$$n_\phi = 1600 \text{ мин}^{-1}.$$

Уточним скорость резания

$$V_\phi = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 34,4 \cdot 1600}{1000} = 172,8 \text{ м/мин.}$$

Минутная подача

$$S = S_0 \cdot n = 0,2 \cdot 1600 = 320 \text{ мм/мин.}$$

Основное время

$$T_0 = \frac{L_{px}}{S} = \frac{2}{320} = 0,01 \text{ мин.}$$

Переход 2.

Глубина резания и подача  $t = 0,3; S = 0,2$ . [18]

Скорость резания

$$V = 180 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 180 \text{ м/мин,}$$

где  $K_1 = 1,0; K_2 = 1,0; K_3 = 1,0; K_4 = 1,0; V_0 = 180 \text{ м/мин}$ . [18]

Частота вращения

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 180}{3,14 \cdot 56,7} = 1011,0 \text{ мин}^{-1}.$$

$$n_{\phi} = 1000 \text{ мин}^{-1}.$$

Скорость резания

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 56,7 \cdot 1000}{1000} = 178,0 \text{ м/мин.}$$

Минутная подача

$$S = S_0 \cdot n = 0,2 \cdot 1000 = 200 \text{ мм/мин.}$$

Основное время

$$T_0 = \frac{L_{px}}{S} = \frac{151}{200} = 0,76 \text{ мин.}$$

Основное время всей операции

$$T = \sum T_{0i} = 0,01 + 0,76 = 0,77, \text{ мин.}$$

### 2.6.3 Определение режимов резания на операцию 030.

Глубина резания и количество проходов  $t = 4,0; N = 1$ . [18]

Подача  $S_z = 0,025$ . [18]

Подача на оборот

$$\ll S_0 = S_z \cdot z, \tag{20}$$

где  $z = 4$  – число зубьев фрезы». [18]

$$S_0 = 0,025 \cdot 4 = 0,1, \text{ мм/об.}$$

Скорость резания

$$V = \frac{C_v D^q K_v}{T^m t^x S_0^y}, \tag{21}$$

где  $D = 4; C_v = 7,0; K_v = 0,5; q = 0,4; x = 0; y = 0,7; m = 0,2; T = 30$ . [18]

$$V = \frac{7,0 \cdot 4^{0,4}}{30^{0,2} \cdot 4^0 \cdot 0,1^{0,7}} \cdot 0,5 = 15,5, \text{ м/мин.}$$

Частота вращения

$$n = \frac{1000 \cdot 15,5}{3,14 \cdot 4} = 1234,1, \text{ мин}^{-1}.$$

$$n_{\phi} = 1000 \text{ мин}^{-1}.$$

Скорость резания

$$V_{\phi} = \frac{\pi D n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 4 \cdot 1000}{1000} = 12,6, \text{ м/мин.}$$

Минутная подача

$$S = S_0 \cdot n = 0,1 \cdot 1000 = 100, \text{ мм/мин.}$$

Основное время

$$T_0 = \frac{n_{\text{омв}} \cdot L_{\text{рх}}}{S}, \quad (22)$$

где  $n_{\text{омв}} = 1; L_{\text{рх}} = 35$ .

$$T_0 = \frac{1 \cdot 35}{100} = 0,35 \text{ мин.}$$

Эти данные по каждой операции технологического процесса заносим в технологическую документацию (технологические карты техпроцесса), представленную в Приложении А (в таблице А.1), а также в чертежи технологических наладок.

### **3 Проектирование станочного приспособления**

«Все возрастающие требования к качеству машин и механизмов определяют и высокое качество изготовления деталей. С точки зрения технологии машиностроения одной из основных задач является обеспечение требуемой точности изготовления каждой конкретной детали». [21]

«При разработке технологического процесса изготовления деталей существенное влияние на точность обработки оказывают приспособления как составные элементы технологической системы (ТС) «станок-приспособление-инструмент-заготовка». Проектирование приспособления представляет собой комплексную и многовариантную задачу как для технолога (разработчика технологического процесса), так и для конструктора-разработчика приспособления. С первых шагов освоения дисциплины «Технологическая оснастка» формируются навыки конструкторской проработки вариантов технологического оснащения процесса механической обработки заготовок». [21]

#### **3.1 Исходные данные**

На шпоночно-фрезерной операции 030 выполняется фрезерование шпоночного паза на специальном шпоночно-фрезерном станке модели 692Д. Для снижения времени на закрепление-раскрепление заготовки на этой операции спроектируем автоматизированное станочное приспособление. Эскиз операции представлен на рисунке 5.

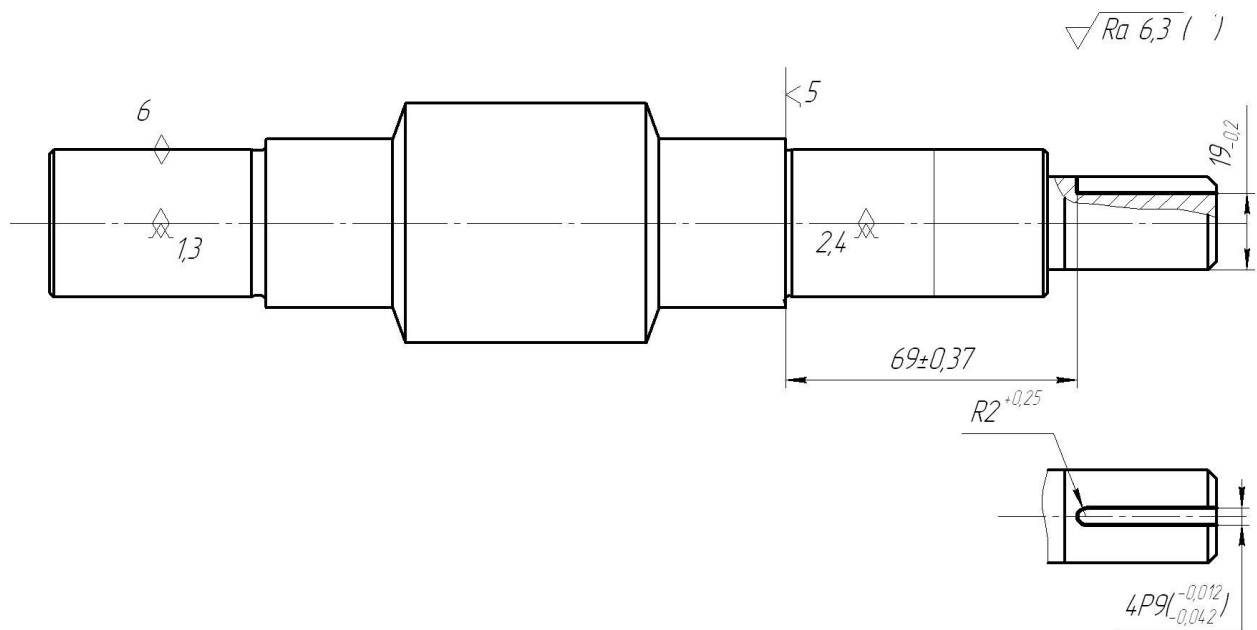


Рисунок 5 - Эскиз операции 030

### 3.2 Выбор схемы базирования

«Для определения положения цилиндрической детали в пространстве необходимо задать пять координатных связей, которые лишают ее пяти степеней свободы: возможности перемещаться в направлении осей OX, OY, OZ и вращаться вокруг осей OX и OZ (рисунок 6, а)». [14]

«Шестая степень свободы – возможность вращаться вокруг собственной оси – отнимается у детали координатной связью, проведенной от поверхности шпоночной канавки. Если координатные связи заменить призмой, получим вторую схему базирования с прижимом детали силой W (рисунок 6, б)». [14]



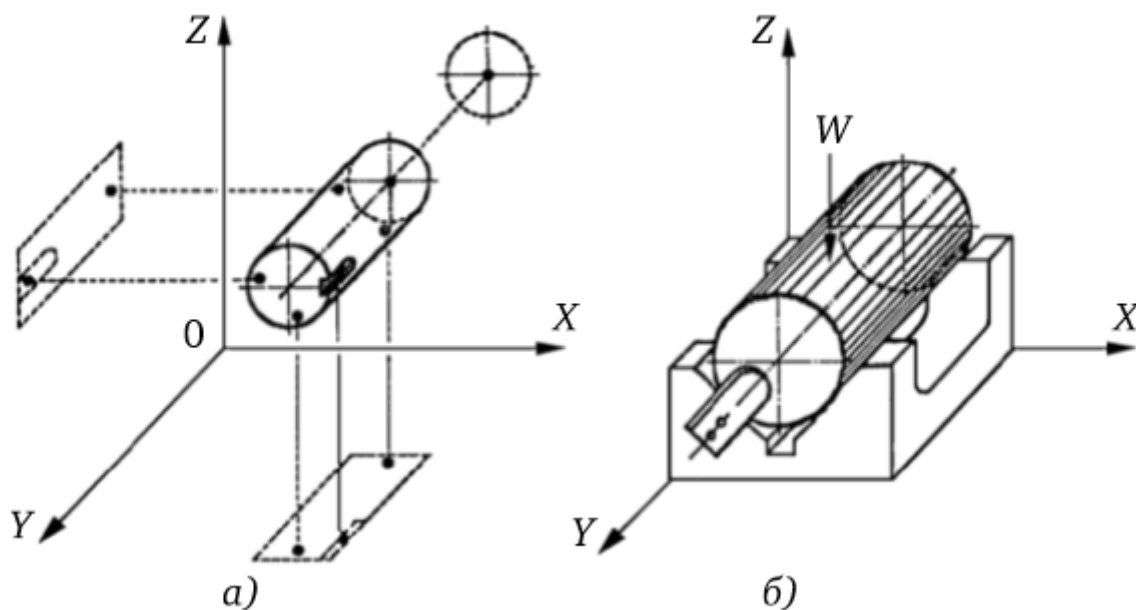


Рисунок 6 – Базирование цилиндрической заготовки

«Цилиндрическая поверхность детали, несущая четыре опорные точки, называется двойной направляющей базирующей поверхностью; торцовая поверхность детали является упорной базой. Для ориентирования детали в угловом положении необходима вторая упорная база под шпонку или штифт (на схеме не показана). При базировании по наружной цилиндрической поверхности или по отверстию в различных самоцентрирующих патронах или на оправках эти поверхности также являются двойными направляющими базами; торец или уступ детали используется в качестве упорной базы». [14]

### 3.3 Определение точности приспособления

«В серийном и особенно массовом производстве широко применяют метод автоматического получения точности размеров на настроенных станках. При настройке станка установку режущих инструментов на размер или установку упоров и копиров производят от опорных баз детали, точнее – от соответствующих им поверхностей приспособления. Если в данной

установке (операции) требуется получить координирующие размеры в трех направлениях, по осям  $OX$ ,  $OY$ ,  $OZ$ , то для базирования необходим комплект из трех поверхностей; каждому направлению размеров должна соответствовать своя базирующая поверхность. В этом случае применяют схему полного базирования с лишением детали всех шести степеней свободы». [14]

На рисунке 7 представлена схема базирования цилиндрической заготовки в призмах.

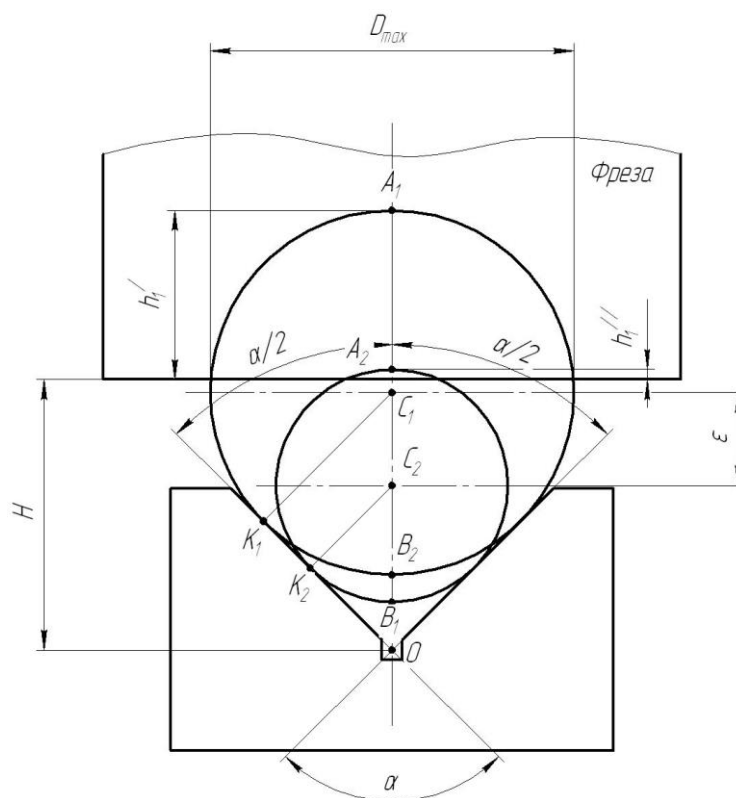


Рисунок 7 - Схема базирования

При фрезеровании заготовки в призме могут быть следующие измерительные базы для размера  $h$ .

Измерительной базой могут являться для размера  $h_1$  – точка  $A$ ; для размера  $h_2$  – точка  $B$ ; для размера  $h_3$  – точка  $C$ .

Рассчитаем погрешность установки заготовки

$$\varepsilon = (D_{\min} + h_1') - (D_{\min} + h_1'') = h_1' - h_1'' = OA_1 - OA_2.$$

$$OA_1 = OC_1 + C_1A_1 = \frac{C_1K_1}{\sin \alpha/2} + C_1A_1.$$

$$C_1K_1 = C_1A_1 = \frac{D_{\max}}{2},$$

$$\text{следовательно } OA_1 = \frac{D_{\max}}{2} \left( \frac{1}{\sin \alpha/2} + 1 \right).$$

$$\text{По аналогии } OA_2 = \frac{D_{\min}}{2} \left( \frac{1}{\sin \alpha/2} + 1 \right).$$

Отсюда

$$\varepsilon = \frac{D_{\max}}{2} \left( \frac{1}{\sin \alpha/2} + 1 \right) - \frac{D_{\min}}{2} \left( \frac{1}{\sin \alpha/2} + 1 \right) = \left( \frac{D_{\max} - D_{\min}}{2} \right) \cdot \left( \frac{1}{\sin \alpha/2} + 1 \right) = \frac{\delta}{2} \left( \frac{1}{\sin \alpha/2} + 1 \right). \quad (23)$$

Заготовка закрепляется в приспособление по поверхностям, имеющим размер  $\varnothing 35_{+0,002}^{+0,018}$ . Используя формулу (23) получим

$$\varepsilon = \frac{0,016}{2} \left( \frac{1}{\sin 108/2} + 1 \right) = 0,018, \text{ мм.}$$

Чертеж спроектированного автоматизированного приспособления для шпоночно-фрезерной операции представлен в графической части работы.

## 4 Проектирование режущего инструмента

### 4.1 Исходные данные

На шпоночно-фрезерной операции 030 технологического процесса необходимо выполнить шпоночный паз в заготовке. В этом разделе спроектируем металлорежущий инструмент для данной операции. Схема операции приведена на рисунке 8.

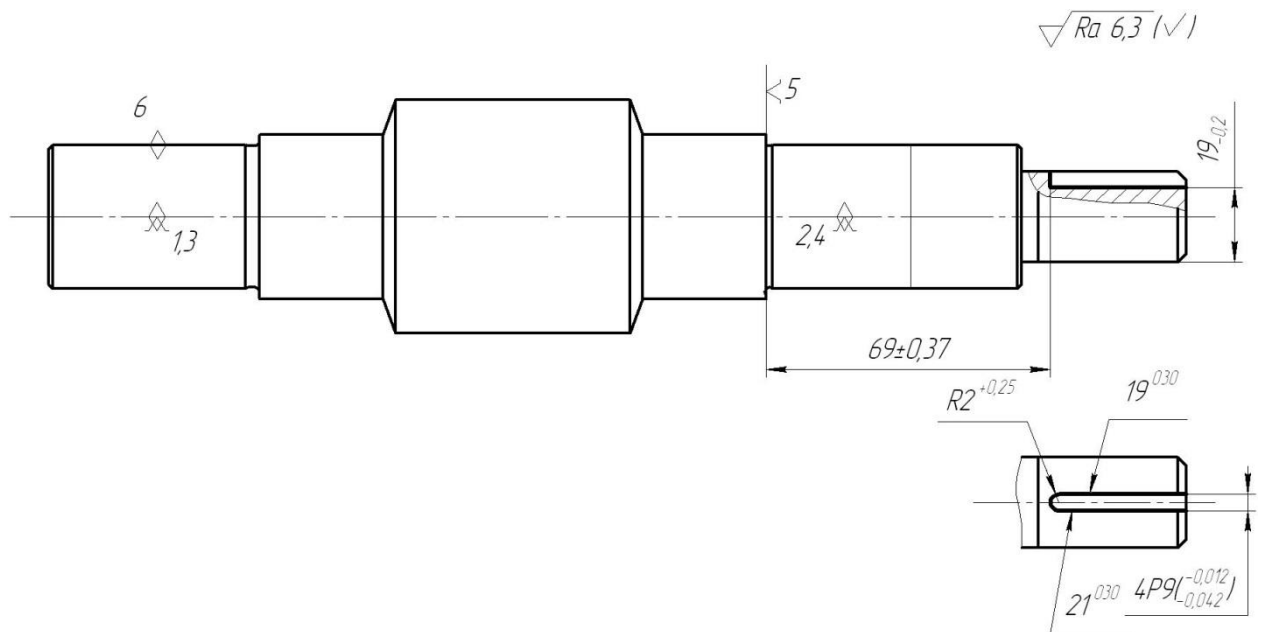


Рисунок 8 – Схема операции 030

«Закрытые шпоночные пазы фрезеруют пальцевыми или шпоночными фрезами (рисунок 9, а), а открытые – концевыми фрезами (рисунок 9, б) с вертикального шпинделя. Точность получения шпоночного паза является важным условием при фрезеровании, так как от нее зависит характер посадки на шпонку сопрягаемых с валом деталей. Фрезерование шпоночной фрезой обеспечивает получение более точного паза, так как при переточке по торцевым зубьям диаметр шпоночной фрезы практически не изменяется».

[11]

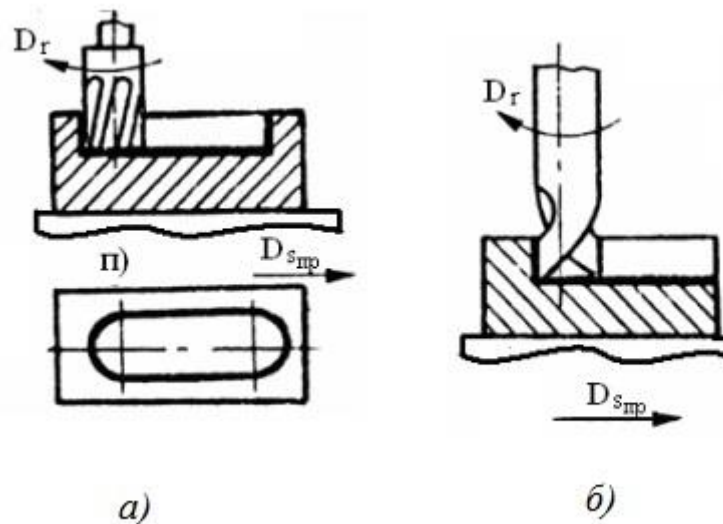


Рисунок 9 – Обработка шпоночного паза

«Режущие инструменты – орудия производства, конечная составная часть металлорежущих станков, находящаяся в контакте с обрабатываемой заготовкой. Их предназначение – снятие припуска и формирование поверхности и размеров детали в соответствии с техническими требованиями рабочего чертежа. Несмотря на большое разнообразие конструкций режущих инструментов и специфических особенностей их применения, для них характерны общие конструктивные, геометрические и другие элементы, а также способы крепления на станках». [11]

В нашем случае будем проектировать концевую фрезу.

«Фрезы – многозубые режущие инструменты, применяемые для обработки плоскостей, пазов, фасонных поверхностей, тел вращения, а также для резки материалов. В процессе фрезерования в контакте с заготовкой, как правило, находится несколько зубьев, снимающих стружку переменной толщины. При этом благодаря большой суммарной активной длине режущих кромок обеспечивается высокая производительность процесса фрезерования. Повышению производительности также способствует высокая скорость фрезерования, которая достигается за счет периодического выхода зубьев из

зоны резания, обеспечивающего охлаждение и снятие тепловой напряженности в режущем клине». [11]

«Кинематика фрезерования проста: фреза получает вращение от главного привода, а заготовка, закрепленная на столе станка, - движение подачи от отдельного привода станка, кинематически не связанное с вращением фрезы. Движением подачи может быть прямолинейным, вращательным или винтовым, а режущие кромки фрезы – прямолинейными, наклонными к оси, винтовыми или фасонными. Это обусловило появление большого разнообразия конструкций фрез и широкую область их применения». [11]

При обрабатываемом материале - стали 20Х ( $\sigma_B=640$  МПа) в качестве материала для концевой фрезы примем быстрорежущую сталь Р6М5 ГОСТ 19265-73 [8].

## 4.2 Конструктивные элементы фрезы

Исходя из ширины шпоночного паза примем наружный диаметр режущей части концевой фрезы  $d = B = 4$  мм.

Определим длину фрезы

$$\langle L = l_1 + l + l_2, \quad (24)$$

где  $l_1$  – длина режущей части;

$l$  – длина шейки;

$l_2$  – длина хвостовика». [11]

«Для фрез диаметром до 30 мм длина режущей части  $l_1 = 4 \cdot d$ ». [11]

$$l_1 = 4 \cdot 4 = 16, \text{ мм.}$$

Длина шейки рассчитывается как

$$l = 4 \left( \sqrt[4]{d} + \frac{12}{d} \right). \quad (25)$$

$$l = 4 \left( \sqrt[4]{4} + \frac{12}{4} \right) = 17,7, \text{ мм.}$$

$$d_{\text{ш}} = d = 4 \text{ мм.}$$

Тогда общая длина равна

$$L = 16 + 18 + 46 = 80, \text{ мм.}$$

«Концевые фрезы из быстрорежущей стали диаметром до 10 мм включительно выпускаются с цилиндрическим хвостовиком того же диаметра». [19]

Число зубьев концевых фрез зависит от диаметра режущей части фрезы и рассчитывается из соотношения

$$z = (0,1 \dots 1,3)d \geq 2 \dots 12. \quad (26)$$

$$z = (0,1 \dots 1,3) \cdot 4 = 0,4 \dots 5,2.$$

Принимаем  $z = 4$ .

«Для выполнения условия равномерности фрезерования зубья на цилиндрической части выполняют стружечную канавку с углом наклона  $\omega = 30 \dots 45^\circ$ ». [19]

Принимаем  $\omega = 30^\circ$ .

«Форма зубьев и впадин у фрез с острозаточенными зубьями определяется условиями обработки и имеет три вида профиля: одноугловая, двухугловая и криволинейная (параболическая). Стружечная канавка должна обеспечивать достаточный объем для размещения срезанной стружки (при достаточной прочности зуба), большое количество переточек, технологичность изготовления и т.д. Для фрез с крупным зубом рекомендуется двухголовая форма. Такая форма зуба получается путем двойного фрезерования. Сначала впадина фрезеруется угловой фрезой, а

затем зуб срезается по спинке. В результате этого зуб по вершине оформляется под двумя углами:  $\alpha$  – задний угол,  $\alpha_1$  – угол среза спинки. Угол среза спинки  $\alpha_1$  для концевых фрез выполняется в пределах 20-30°». [19]

Спинка зуба очерчивается радиусом

$$R = (0,3...0,45)d. \quad (27)$$

$$R = (0,3...0,45)d = 1,2...1,8, \text{ мм.}$$

$$R = 1,5 \text{ мм.}$$

«Для всех профилей на задней поверхности зубьев назначается ленточка  $f$ , наклон которой определяет величину заднего угла,  $f = 0,2...2$  мм для зубьев с двухголовым профилем». [19]

$$f = 0,5 \text{ мм.}$$

«Геометрические параметры фрезы назначаются в соответствии с условиями обработки: физико-механическими свойствами обрабатываемого материала, размерами сечения среза, требуемой шероховатостью поверхности и т.д.» [19]

«Главный угол в плане  $\varphi$  определяется конструкцией фрезы. Для концевых фрез  $\varphi=90^\circ$ . Вспомогательный угол в плане  $\varphi_1=0...10^\circ$ ». [11]

$$\varphi_1 = 6^\circ.$$

«Главный задний угол  $\alpha$  рассматривается в торцевом сечении. Он назначается в целях уменьшения трения задней поверхности зуба фрезы о поверхность резания детали. При его увеличении уменьшается площадь контакта между этими поверхностями и соответственно снижаются силы трения. Однако увеличение этого угла сверх определенных значений приводит к уменьшению угла заострения  $\beta$ , ослаблению режущего клина и, следовательно, к снижению его прочности. Уменьшение массивности режущего клина также ухудшает теплоотвод от лезвия, в результате



возрастает температура резания и снижается стойкость фрезы. Таким образом, величина главного заднего угла должна одновременно удовлетворять двум противоречивым условиям». [11]

$$\alpha = 14^\circ.$$

«Передний угол  $\gamma$  предназначен для уменьшения нагрузки на режущую кромку в процессе резания и рассматривается в нормальном сечении, т.е. в направлении схода стружки. Он назначается исходя из условий, обеспечивающих срезание стружки в зависимости от физико-механических свойств обрабатываемого материала и характеристики материала инструмента. Увеличение переднего угла способствует снижению пластических деформаций срезаемого слоя и сил резания, облегчает перемещение стружки по передней поверхности. С этой точки зрения величины передних углов желательно назначать предельно большими, близкими к  $45^\circ$ . Однако такое увеличение угла  $\gamma$  вызывает уменьшение угла заострения  $\beta$ , ослабление режущего клина и приводит к снижению его прочности». [11]

Для обработки сталей передний угол  $\gamma$  выбирается в пределах  $15-30^\circ$ .

$$\gamma = 15^\circ.$$

«Угол наклона режущих кромок  $\lambda$  у концевых фрез  $10-15^\circ$ ». [11]

$$\lambda = 10^\circ.$$

### **4.3 Выбор износостойкого покрытия**

Для увеличения ресурса режущего инструмента из быстрорежущей стали предлагаем на режущую часть инструмента нанести износостойкое покрытие. Это увеличит стойкость фрезы приблизительно в 1,8 раза, что снизит временные операционные затраты, связанные с заменой изношенного инструмента также в 1,8 раза. Это мероприятие принесет экономический эффект.

Механическая обработка является необходимым производственным процессом с точки зрения его способности производить детали различной геометрии для различных инженерных материалов. В механообрабатывающем производстве, которое осуществляется с использованием режущих инструментов, износ инструмента является проблемой, которая существенно влияет на производительность и качество обрабатываемых деталей. Механизмами износа режущих инструментов являются истирание, адгезия, боковой износ, износ кратеров и износ зубрин. Наиболее распространенным износом является боковой износ, вызванный абразивными и адгезионными движениями между режущим инструментом и поверхностью станка. Сегодня все еще существует потребность в решениях для преодоления этой проблемы и повышения производительности инструмента. [1]

Высокие усилия и температуры во время механической обработки создают очень сложные условия для инструментов. Обработка поверхности широко используется для повышения производительности режущих инструментов, используемых в этих условиях. Нанесение покрытий на поверхность является одним из таких процессов. Целью этих покрытий, наносимых на поверхность режущего инструмента, является улучшение структурных, механических и трибологических свойств материала подложки с покрытием. В зависимости от свойства покрытия могут наноситься однослойные и многослойные покрытия. Инструменты с покрытием обеспечивают лучшую производительность обработки и более длительный срок службы, чем инструменты без покрытия. Покрытие обеспечивает высокую скорость резания, тем самым сокращая время, необходимое для операций механической обработки, и производственные затраты. Таким образом, за заданное время можно изготовить гораздо больше заготовок.

Нитрид титана является наиболее часто используемым покрытием в последние годы, благодаря его пригодности в качестве трибологического

покрытия, высокой твердости, хорошей адгезии к металлическим поверхностям и хорошей химической стабильности. Кроме того, покрытие из нитрида титана обладает идеальной стойкостью к высоким температурам и коррозии. В качестве альтернативы обозначенному покрытию также используются покрытия из нитрида хрома (CrN). Несмотря на хорошие механические свойства этих покрытий, окисление в процессе резки отрицательно влияет на скорость резания. Было замечено, что добавление алюминия к этим покрытиям устраняет проблему окисления с помощью слоя  $Al_2O_3$ , образующегося на поверхности при высоких температурах. Кроме того, было замечено, что режущий инструмент подвержен незначительному изнашиванию с боков инструментов с покрытием  $TiAlSiN$ , полученных путем добавления  $Si$  к инструментам с покрытием  $TiAlN$ . Было определено, что срок службы режущих инструментов увеличивается, поскольку увеличение содержания  $Si$  в кремне-содержащих покрытиях оказывает снижающее действие против адгезионного и абразивного износа. В результате более высокой твердости и низкой шероховатости поверхности было определено, что износостойкость инструментов с покрытием  $AlCrSiN$  выше, чем у инструментов с покрытием  $AlCrN$ , улучшаются свойства скольжения, а срок службы инструмента больше, чем у  $AlCrN$ . Было указано, что алкриновое покрытие может защитить подложку от окисления при высоких температурах лучше, чем алтизиновое покрытие, благодаря наличию в его структуре фаз  $Al_2O_3$  и  $Cr_2O_3$ .

В дополнение к однослойным покрытиям в литературе также проводились исследования двухслойных и многослойных покрытий, включая  $TiSiN/TiAlN$ ,  $AlTiN/AlCrSiN$ ,  $TiAlSiN/TiSiN/TiAlN$ , наносимых на режущие инструменты. Было определено, что эти покрытия повышают коррозионную стойкость и производительность инструмента и проявляют меньшие силы резания благодаря их лучшей микротвердости и адгезии к подложке по сравнению с однослойными покрытиями. Кроме того,

отдельные столбчатые зерна в обычном покрытии с покрытием, нанесенным физическим способом, пластически деформируются под действием механических нагрузок, вызывая крупномасштабное расслоение покрытия и распространение трещин в вертикальном направлении. Напротив, очень мелкомасштабное расслоение происходит без пластической деформации и распространения вертикальной трещины на поверхности в многослойном покрытии. Было замечено, что вставки с покрытием  $AlTiN/AlCrSiN$  обладают более длительным сроком службы благодаря их более высокой твердости и адгезионной прочности по сравнению со вставками с покрытием  $AlTiN$ . Также было указано, что наноструктура в покрытии  $TiAlSiN/ TiSiN / TiAlN$  предотвращает отслаивание покрытия и обладает превосходной износостойкостью благодаря своей аморфной структуре.

В этом исследовании в качестве подложки использовался карбид вольфрама ( $WC-12Co$ ). Цилиндрические испытательные образцы из карбида вольфрама и режущие инструменты были покрыты двухслойными тонкими пленками  $TiAlN/TiSiN$  и монослойными  $AlCrSiN$  методом катодно-дугового физического осаждения из паровой фазы (CAPVD). Конфигурации покрытия показаны на рисунке 10.

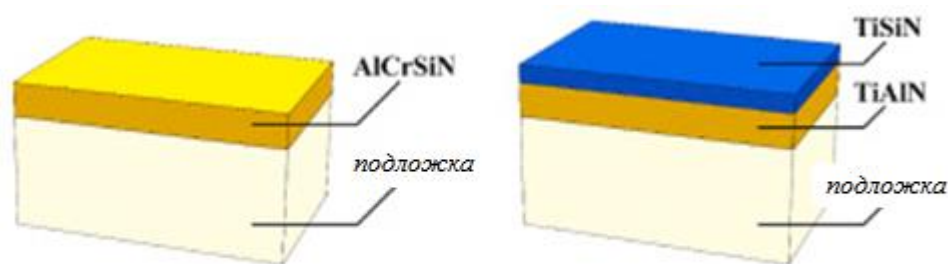


Рисунок 10 – Конфигурации покрытия

Характеристика структурных и трибологических свойств подложки карбида вольфрама ( $WC$ ), двухслойных покрытий  $TiAlN/TiSiN$  и монослойных покрытий  $AlCrSiN$  была проведена на цилиндрических испытательных образцах диаметром 14 мм и высотой 9 мм (рисунок 11, а).

Для определения влияния покрытий на производительность обработки использовались концевые фрезы из карбида вольфрама без покрытия и с покрытием диаметром 12 мм (рисунок 11, б).



Рисунок 11 – Образцы с двухслойными покрытиями  $TiAlN/TiSiN$  и однослойными покрытий  $AlCrSiN$ , а также образцы без покрытия

В исследовании [1] структурные, механические, трибологические и обрабатывающие свойства материала режущего инструмента из карбида вольфрама, покрытого тонкими пленками  $TiAlN / TiSiN$  и  $AlCrSiN$  методом катодно-дугового физического осаждения из паровой фазы, сравнивались с материалом инструмента без покрытия. Полученные результаты были следующими:

- согласно результатам рентгенографии, в образце карбида вольфрама, покрытом  $TiAlN/TiSiN$ , образовались фазы  $TiSiN$  и  $TiAlN$ . Фазы  $CrN$  и  $CrAlN$  были обнаружены в образце карбида вольфрама, покрытом алкритинином;

- в покрытии  $TiAlN/TiSiN$  толщина слоя  $TiAlN$  составляла 2,1 мкм, а толщина слоя  $TiSiN$  составляла 0,8 мкм. Толщина покрытия  $AlCrSiN$  была определена как 2,35 мкм. В обоих покрытиях пленки на основе нитрида были однородно выращены на подложке. В то время как средняя шероховатость образца без покрытия ( $R_a$ ) составляла 0,019 мкм, значения шероховатости поверхности увеличились после процессов нанесения покрытия. Среднее значение шероховатости было получено как 0,029 мкм для образца, покрытого тонкой пленкой  $TiAlN/TiSiN$ , и 0,048 мкм для образца, покрытого  $AlCrSiN$ ;

- согласно результатам теста на царапание, значение критической нагрузки образца, покрытого пленкой  $TiAlN/TiSiN$ , было определено как 105 Н. Значения коэффициента трения образца, покрытого пленкой алкирина, колебались на протяжении всего испытания, и было получено значение критической нагрузки, равное приблизительно 92 Н. В частности, было определено, что двухслойная пленка  $TiAlN/TiSiN$  очень хорошо сцепляется с подложкой, и были получены лучшие значения адгезии, чем значения в литературе;

- средний коэффициент трения для образца без покрытия составил 0,58 и 0,44 для образца, покрытого пленкой  $TiAlN/TiSiN$ , и 0,43 для образца, покрытого пленкой  $AlCrSiN$ . Самая высокая скорость износа была получена для образца без покрытия, а самое низкое значение скорости износа было получено для образца, покрытого пленкой  $TiAlN/TiSiN$ ;

- согласно значениям ширины бокового износа после операций механической обработки, выполненных инструментами без покрытия и с покрытием, наименьшая ширина бокового износа для обеих стратегий резания была получена для твердосплавных инструментов, покрытых

тонкой пленкой  $TiAlN / TiSiN$ , параллельно с результатами испытаний на износ;

- из-за низкого коэффициента трения в инструментах с покрытием значения шероховатости поверхности заготовки были ниже, чем у инструмента без покрытия. В результате сравнения инструментов с покрытием было определено, что инструмент, покрытый двухслойной тонкой пленкой  $TiAlN / TiSiN$ , обеспечивает лучшее качество поверхности заготовки, чем инструмент, покрытый тонкой пленкой  $AlCrSiN$ , для обеих схем резания. [1]

Чертеж режущего инструмента (концевой фрезы) для обработки шпоночного паза детали на операции 030 приведен в графической части работы.

## 5 Безопасность и экологичность технического объекта

### 5.1 Мероприятия по снижению уровня потенциальной опасности

Техническим объектом в нашем случае является участок механической обработки детали «червяк» вертикально-сверлильного станка.

Технологический процесс и соответственно участок механической обработки содержит следующее металлорежущее оборудование: центровально-подрезной станок 2А911-1, четыре токарных станка с ЧПУ САМАТ-400ХС, шпоночно-фрезерный станок 692Д, резьбофрезерный станок 5К63, центрошлифовальный станок 3922, торцевкруглошлифовальный станок с ЧПУ ХШ4-10, три круглошлифовальных станка КШ-400.2, резьбошлифовальный станок с ЧПУ ВЗ-678Ф4.

Модернизации в работе подверглась шпоночно-фрезерная операция 030, проводимая на шпоночно-фрезерном станке 692Д (рисунок 12).



Рисунок 12 - Шпоночно-фрезерный станок 692Д

Средства индивидуальной защиты (СИЗ) обеспечивают личную защиту рабочих, которыми могут являться станочники, операторы станков с ЧПУ,



слесари, наладчики и так далее. СИЗ могут быть в виде различной одежды, обуви, различными масками, шумоснижающими устройствами и так далее.

«В процессе проектирования технологического оборудования и его эксплуатации необходимо применять устройства исключаящие возможность контакта человека с опасной зоной, либо снижающие риск опасности контакта. Общими требованиями к средствам защиты являются учет индивидуальных особенностей оборудования, инструмента, приспособления или техпроцессов; надежность, прочность, удобство обслуживания машин и механизмов в целом, включающие средства защиты». [15]

Максимальная безопасность труда обеспечивается применением ограждений, предохранительных и блокирующих устройств, а также установкой сигнализации, а в особо опасных случаях - применением дистанционного управления (ГОСТ 12.4.125-83 ССБТ «Средства коллективной защиты работающих от механических факторов. Классификация [5]»).

«Оградительные устройства применяются для изоляции систем привода машин и агрегатов, зоны обработки, падающих ударных элементов машин и так далее. Конструктивно оградительные устройства могут быть стационарными, подвижными (съёмными) и переносными». [15]

Предохранительные устройства предназначены для автоматического отключения подвижных агрегатов и машин при отключении от нормального режима работы. К ним относятся ограничители хода, изготовленные в виде упоров, концевых выключателей и т. п. В случае работы на больших скоростях передвижения они сочетаются с тормозными устройствами. В качестве предохранительных устройств от перегрузки машин и станков в конструкцию машины вводят слабое звено.

«Эти устройства представляют собой детали и узлы машины, которые разрушаются (не срабатывают) при перегрузках. К ним относятся срезные штифты, шпонки, фрикционные муфты, не передающие движение при чрезмерных крутящих моментах, плавкие предохранители, разрывные

мембраны в установках с повышенным давлением и т. д. Слабые звенья могут быть или с автоматическим восстановлением (муфта трения) или с необходимой заменой разрушенного элемента». [15]

Станок 692Д оснащен предохранительной муфтой втулочного типа, имеющей срезной палец, который срезается при возникновении сбоя в работе станка (рисунок 13).

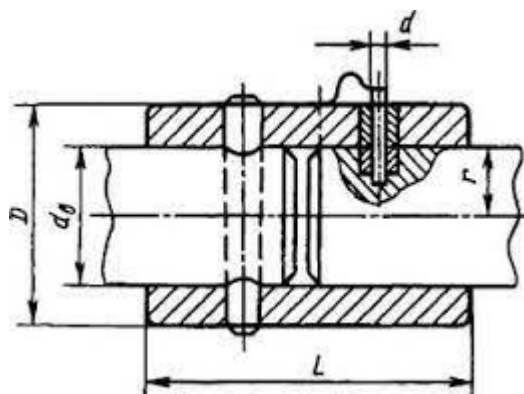


Рисунок 13 - Предохранительная муфта втулочного типа

Таким образом, осуществляется безопасность при работе на этом станке.

## 5.2 Средства индивидуальной защиты

«Средства защиты работающих от опасных и вредных производственных факторов условно делят на две группы: средства коллективной защиты и средства индивидуальной защиты». [15]

«К средствам коллективной защиты работающих относятся средства, которые конструктивно или функционально связаны с производственным процессом или оборудованием. Они, как правило, предназначены для защиты любого работника, находящегося в рабочей зоне. Для обеспечения безопасной эксплуатации производственного оборудования его оснащают надежно работающими тормозными устройствами, гарантирующими в нужный момент остановку оборудования, сигнализацией, оградительными и блокировочными устройствами, устройствами аварийного отключения,

устройствами дистанционного управления, Устройствами электробезопасности». [15]

«К средствам индивидуальной защиты относятся противогазы, респираторы, комбинезоны, жилеты, сапоги с удлиненными голенищами, бахилы, рукавицы, перчатки, напальчники, наладонники, нарукавники, налокотники, наколенники, каски, защитные шлемы, шапки, шляпы, косынки, очки защитные, щитки защитные лицевые, противошумные шлемы, противошумные наушники, куртки, фартуки, предохранительные пояса, ручные захваты, защитные пасты, очистители кожи или комплексные средства». [15]

Рабочий-фрезеровщик обязательно должен быть в рабочем костюме, согласно требованиям [6].

«Ответственность за своевременное обеспечение рабочих и служащих специальной одеждой, специальной обувью и другими средствами индивидуальной защиты возлагается на руководителя предприятия. Особо следует подчеркнуть, что средства защиты не должны быть источником опасных и вредных производственных факторов. Все средства индивидуальной защиты, специальная одежда, специальная обувь выдаются работающим бесплатно в соответствии с установленными нормами». [15]

В нашем случае на шпоночно-фрезерном станке имеется защитный откидывающийся экран (позиция б), показанный на рисунке 14.

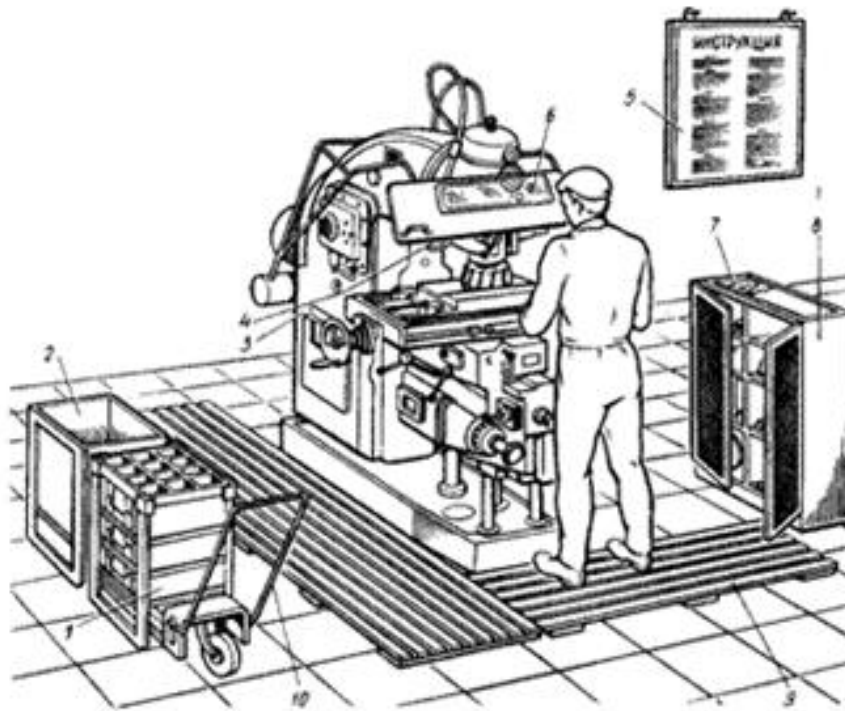


Рисунок 14 – Рабочее место фрезеровщика

Перед началом работы на станке рабочий обязан опустить защитный экран станка в рабочее положение. Этим он обезопасит органы зрения и кожный покров от попадания образующейся горячей стружки.

В разделе рассмотрены мероприятия для снижения травмоопасности на рабочих местах операций, которые подверглись модернизации, в отличие от базового варианта технологического процесса. Также рассмотрен вопрос увеличения экологической безопасности на модернизированном участке механической обработки детали «червяк».

## 6 Экономическая эффективность работы

Основной задачей данного раздела является экономическое обоснование предложенного совершенствования технологического процесса.

Для выполнения данной задачи необходимо проанализировать только отличия между совершенствованиями технического решения. Основываясь на подробном описании технологического процесса из предыдущих разделов бакалаврской работы, на рисунке 15, представлены отличительные особенности сравниваемых вариантов.



Рисунок 15 – Отличительные особенности сравниваемых вариантов выполнения операции

На рисунке 15 представлены предлагаемые изменения на шпоночно-фрезерной операции. Слева, описана используемая оснастка и применяемый на операции инструмент, по исходному технологическому процессу, а справа – по измененному.

Чтобы дать компетентное заключение по предложенному совершенствованию, необходимо воспользоваться определенными материалами и информацией, которые позволят сделать необходимый вывод. Более детальное описание материалов и информации представлено на рисунке 16.

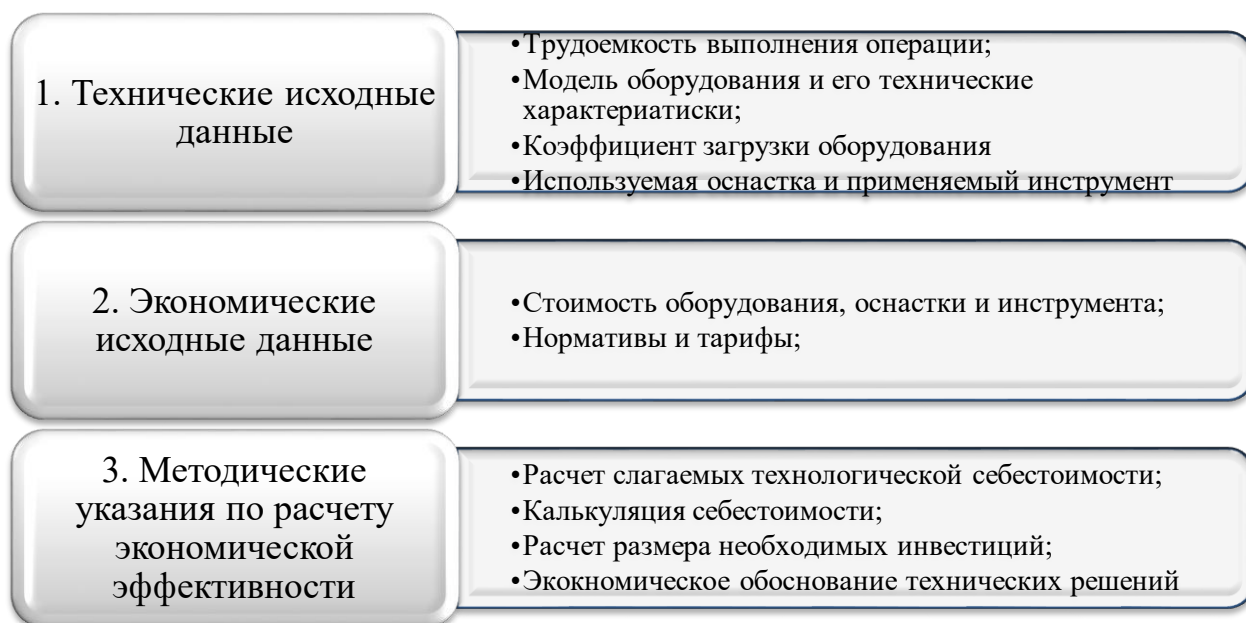


Рисунок 16 – Детальное описание материалов и информации, необходимых для проведения соответствующих экономических расчетов

Информация и материалы, представленные на рисунке 16, описывают совокупность необходимых данных для проведения всех соответствующих расчетов. А также показывают направление на источник, для этой информации, а именно:

– технические исходные данные – это тот материал, который можно найти в технической части бакалаврской работы. При разработке технологического процесса описывают используемое оборудование, оснастка и инструмент, рассчитывается трудоемкость выполнения предложенных операций и коэффициент загрузки этих операций. Естественно оборудование подбираю исходя из серийности производства, которые напрямую зависят от программы выпуска изделия. Что касается технических параметров используемого оборудования, то это общедоступная информация из справочной литературы.

– экономические исходные данные – это стоимостные значения оборудования, оснастки и инструмента, т.е. его цена, тарифы на энергоносители, тарифные ставки по оплате труда и всевозможные

экономические коэффициенты. Эти данные, как правило, предоставляются предприятиями, соответствующими министерствами и регулируются правительством РФ.

– методические указания по расчету экономической эффективности – это методики [13] по расчету всех необходимых экономических показателей. По их значениям можно сделать вывод о необходимости внедрения или, наоборот, об отказе вкладывать денежные средства в данный проект. Зная методику и используя соответствующее программное обеспечение, например такое, как Microsoft Excel, можно рассчитать все итоговые показатели и сделать заключение.

Если первые два пункта: технические и экономические исходные данные, это только источники информации, а вот третий – является объектом пристального внимания. Поэтому, далее будут представлены результаты расчетов всех необходимых экономических показателей, по результатам которых будут сделаны выводы, на которые и нацелен данный раздел.

На рисунке 17 представлены значения всех слагаемых технологической себестоимости, которая является основой для всех дальнейших расчетов.

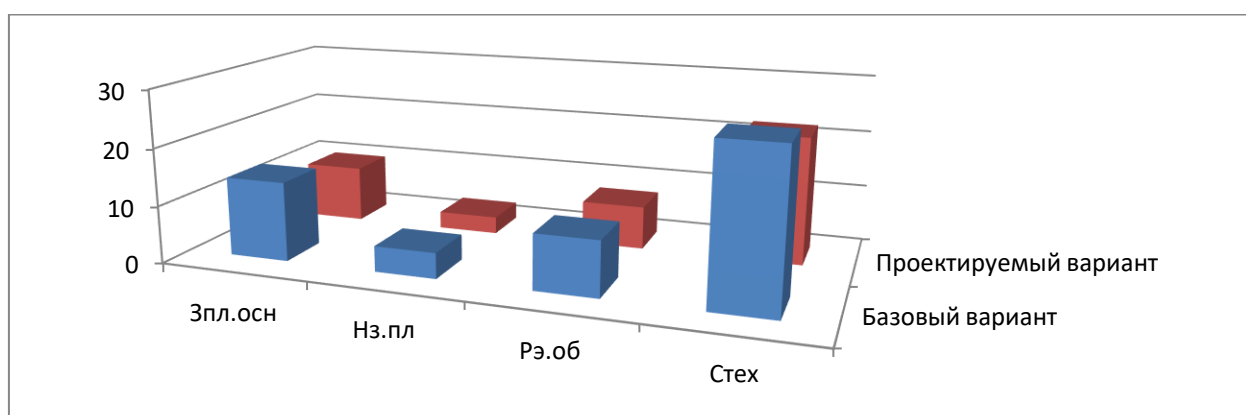


Рисунок 17 – Величина технологической себестоимости выполнения операции и значения ее слагаемых

Из рисунка 17 видно, что все значения совершенствованного варианта значительно меньше исходного. Такое изменение привело к итоговой

разнице между вариантами значения величины технологической себестоимости в размере 6,48 рублей, что составило 24,51%. Максимальное влияние на такой результат оказал такой показатель, как основная заработная плата работников. Его доля в величине технологической себестоимости составляет 52,23% в исходном варианте, и 49,49% – в совершенствованном. Следующий весомый вклад в результат оказала величина – расходы на содержание и эксплуатацию оборудования. Доля этого показателя составила 34,10% и 37,58% соответственно.

На рисунке 18 представлены значения итоговых показателей, по которым формируется вывод об эффективности предложенных совершенствований.

И = 83329,5 руб.	• размер инвестиций в совершенствование
Пчист = 82177,3 руб.	• чистая прибыль
Эинт = 17248,04 руб.	• интегральный экономический эффект
T = 2 года	• срок окупаемости
ИД = 1,21 руб./руб.	• индекс доходности

Рисунок 18 – Значения итоговых показателей

Учитывая, представленные на рисунке 18 данные, можно сделать вывод об эффективности предлагаемых совершенствований, т.к. экономический эффект в результате расчетов получился положительным.



## Заключение

В работе спроектирован технологический процесс изготовления детали «червяк», входящей в состав вертикально-сверлильного станка с программой выпуска 7 тысяч деталей в год.

На первом этапе проектирования нами проанализированы условия работы червяка, выполнен анализ поверхностей и их функциональное назначение. Также проанализирован материал детали и выполнены выводы о достаточно правильном выборе материала червяка в соответствии с выполняемыми в узле функциями.

Также был проведен анализ технологичности детали и сделано заключение о высокой технологичности конструкции червяка.

На втором этапе выбран среднесерийный тип машиностроительного производства и определены его характеристики. Далее проведен экономический расчет двух наиболее подходящих методов получения заготовки и выбрана штамповка. После этого выполнен выбор методов обработки каждой из поверхностей детали.

На изготовление самой точной поверхности проведен расчет припусков расчетно-аналитическим методом.

На модернизируемые работой операции технологического процесса рассчитаны режимы обработки.

Для шпоночно-фрезерной операции техпроцесса разработано устройство. Его отличие от базового варианта заключается в том, что оно имеет автоматизированный привод, что сократит операционное время.

Также для шпоночно-фрезерной операции разработана конструкция концевой фрезы, имеющей износостойкое покрытие. Стойкость этого инструмента выше, чем в базовом варианте, что даст экономию вспомогательного времени операции.

В работе выполнен экономический расчет, показывающий верность принятых технических решений.

## Список используемой литературы

1. Cam A.S., Erguder T.O., Raya G., Yildiz F. Improvement of structural/tribological properties and milling performances of tungsten carbide cutting tools by bilayer TiAlN/TiSiN and monolayer AlCrSiN ceramic films (2022) / *Ceramics International* 48(18), с. 26342-26350.
2. Базаров Б.М. Основы технологии машиностроения : учебник / Б.М. Базаров. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : ИНФРА-М, 2018. – 683 с.
3. Безъязычный В.Ф. Технологические процесс 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.
4. 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.
5. ГОСТ 12.4.125-83. Средства коллективной защиты работающих от механических факторов. Классификация. – 18 с.
6. ГОСТ 12.4.280-2014. Одежда специальная для защиты от общих производственных загрязнений и механических воздействий. Общие требования. – 24 с.
7. ГОСТ 14034-74. Отверстия центровые. Размеры. – 6 с.
8. ГОСТ 19265-73. Прутки и полосы из быстрорежущей стали. Технические условия – 22 с.
9. ГОСТ 4543-2016.Metalлопродукция из конструкционной легированной стали. Технические условия. – 53 с.
10. ГОСТ 8820-69. Канавки для выхода шлифовального круга. Форма и размеры. – 6 с.
11. Кожевников Д.В. Режущий инструмент : учебник для вузов / Д.В. Кожевников, В.А. Гречишников, С.В. Кирсанов, С.Н. Григорьев,

А.Г.Схиртладзе. Под общ. ред. С.В. Кирсанова. 5-е изд., стереотип. – М. : Инновационное машиностроение, 2022. – 520 с.

12. 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.

13. Краснопевцева И.В. Экономика и управление машиностроительным производством : учеб.-метод. пособие / И.В.Краснопевцева, Н.В. Зубкова. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2014. – 183 с.

14. Кудряшов Е.А. Приспособления для производства изделий машиностроения : учебник для вузов / Е.А. Кудряшов, И.М. Смирнов, Е.И.Яцун. – М. : Инновационное машиностроение, 2018. – 220 с.

15. Люманов Э.М. Безопасность технологических процессов и оборудования : Учебное пособие / Э.М. Люманов, Г.Ш. Ниметулаева, М.Ф. Добролюбова, М.С. Джиляджи. – 2-е изд., стер. – СПб. : Издательство «Лань», 2022. – 224 с.

16. Мельников А.С. Научные основы технологии машиностроения : Учебное пособие / А.С. Мельников, М.А. Тамаркин, Э.Э. Тищенко, А.И. Азарова; под общ. ред. А.С. Мельникова. – СПб. : Издательство «Лань», 2021. – 420 с.

17. Мнацакян В.У. Основы технологии машиностроения : учеб. пособие / В.У. Мнацакян. – М. : Изд. Дом НИТУ «МИСиС», 2018. – 221 с.

18. Режимы резания металлов: Справочник/ Ю.В.Барановский, Л.А.Брахман, А.И.Гадалевич и др. – М.: НИИТавтопром, 1995. – 456 с.

19. Старков В.К. Физика и оптимизация резания материалов : учебник. – М. : Машиностроение, 2009. – 640 с.

20. Тюняев А.В. Детали машин : Учебник / А.В. Тюняев, В.П.Звездаков, В.А. Вагнер. 2-е изд., испр. и доп. – СПб : Издательство «Лань», 2021. – 736 с.

21. Шишкин В.П. Основы проектирования станочных приспособлений. Теория и задачи : Учебное пособие / [В.П. Шишкин, В.В.Закураев, и др.] Под ред. А.Е. Беляева. – М. : НИЯУ МИФИ, 2010. – 288 с.













Продолжение приложения А

Продолжение таблицы А.1

ГОСТ 3.1118-82 Форма 1а

Дубл.	Взам.	Подп.													7	6
А			Уч.	РМ	Опер.	Код, наименование операции			Обозначение документа							
Б			Код, наименование оборудования			СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт	Тпз.	Тшт.
Т01 392841 Центр упорный ГОСТ 13214-79; 394630 Прибор активного контроля БВ-6060-УНВ-40 ГОСТ Р 8.671 – 2009.																
А03 ХХ. ХХ. ХХ 065 4230 Круглошлифовальная чистовая программная ИОТ.№76																
Б04 38 1025 7 Круглошлифовальный ст-х с ЧПУ КШ-400.2 1 16045 322 1 1 1 199 1																
О05 Шлифовать поверхность 13, выдерживая размер $\varnothing 35^{+0,018}_{-0,002}$ ; 209 $\pm 0,575$ ; шлифовать пов. 17, выдерживая размеры $\varnothing 22-0,021$ ; 240 $\pm 0,575$ .																
Т06 396110 Патрон поводковый ГОСТ 2571 – 71; 397130 Круг 1 250' 35' 76,2' 25А F25 K6 V 40м/с 2кл.ГОСТР 52871 – 2007;																
Т07 392841 Центр упорный ГОСТ 13214-79; 394630 Прибор для контроля червяков и червячных фрез ГОСТ 17336 - 80.																
А09 ХХ. ХХ. ХХ 070 4230 Торцевуюшлифовальная чистовая программная ИОТ.№ 76																
Б10 38 1025 7 Торцевуюшлифовальный ЧПУ ХШ4-104Ф20 1 19630 322 1 1 1 199 1																
О12 Шлифовать поверхность 2 и 3, выдерживая размеры; $\varnothing 35^{+0,018}_{-0,002}$ ; 226 $\pm 0,575$ .																
Т13 396110 Патрон поводковый ГОСТ 2571 – 71; 392841 Центр упорный ГОСТ 13214-79 (шт.);																
Т14 394630 Прибор активного контроля БВ 6060-УНВ 40 ГОСТ 8517-80.																
А16 ХХ. ХХ. ХХ. 075 0125 Моечная ИОТ ХХХ																
Б17 Х74306 Проходная моечная машина																
О18 Очистить поверхность детали																
МК																

