

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 шпинделя токарно-  
револьверного станка центра «Формула Станок»

Студент

М.Д. Назаров

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент Н.Ю. Логинов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Консультанты

к.э.н. Н.В. Зубкова

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

к.т.н., доцент А.Н. Москалюк

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2021

## Аннотация

Тема работы: Технологический процесс изготовления шпинделя токарно-револьверного станка центра «Формула Станок».

Работа направлена на разработку технологического процесса изготовления шпинделя токарно-револьверного станка.

В первом разделе анализируются назначение детали, выполняется анализ каждой из поверхностей, рассматривается вопрос о химическом составе материала, из которого изготавливается шпиндель. Также предлагаются несколько вариантов изготовления заготовки для детали.

Во втором разделе работы выполняется технико-экономический расчет двух вариантов получения заготовки, определяется тип производства для изготовления детали и описываются его характеристики, выполняется выбор методов обработки каждой поверхности детали, составляется план изготовления шпинделя, выполняется расчет припусков на одну из поверхностей, делается выбор средств технологического оснащения всего техпроцесса, рассчитываются режимы резания на технологические операции, подвергающиеся модернизации.

В третьем разделе выполняется проектирование специального токарного патрона с эксцентриковыми кулачками. Это станочное приспособление имеет особенную конструкцию способную зажимать обрабатываемую заготовку, используя центробежную силу при вращении.

В четвертом разделе работы для обработки плоской поверхности для головок винтов разрабатывается конструкция специальной зенковки. Конструкция зенковки сделана сборной, что дает возможность беспрепятственной переточки этого инструмента, а также возможность использования режущей части в паре с другими направляющими частями при обработке других деталей.

Работа также содержит раздел экологического анализа и экономический расчет.

## **Abstract**

The topic of the work: The technological process of manufacturing the spindle of the rotary lathe of the center "Formula Machine".

The work is aimed at developing the technological process of manufacturing the spindle of a lathe-turret machine.

In the first part of the work, the purpose of the part is analyzed, the analysis of each of the surfaces is performed, the question of the chemical composition of the material from which the spindle is made is considered. There are also several options for manufacturing the workpiece for the part.

In the second part of the work, a technical and economic calculation of two options for obtaining the workpiece is performed, the type of production for the manufacture of the part is determined and its characteristics are described, the choice of processing methods for each surface of the part is made, a plan for the manufacture of the spindle is drawn up, allowances for one of the surfaces are calculated, the choice of technological equipment for the entire process is made, cutting modes for technological operations undergoing modernization are calculated.

In the third part, a special turning chuck with eccentric cams is designed. This machine tool has a special design that is able to clamp the workpiece, using the centrifugal force during rotation.

In the fourth part of the work, the design of a special countersink is developed for processing a flat surface for the screw heads. The design of the countersink is made of a prefabricated structure, which makes it possible to easily transfer this tool, as well as the possibility of using the cutting part in conjunction with other guide parts when processing other parts.

The paper also contains a section on environmental analysis and economic calculation.

## Содержание

Введение.....	5
1 Анализ исходных данных.....	6
1.1 Назначение и условия работы детали .....	6
1.2 Классификация поверхностей детали .....	7
1.3 Анализ требований к поверхностям детали.....	8
1.4 Выбор параметров шпинделя.....	11
2 Технологическая часть.....	12
2.1 Определение типа производства.....	12
2.2 Выбор стратегии разработки техпроцесса.....	12
2.3 Выбор метода получения заготовки.....	13
2.4 Выбор метод обработки поверхностей.....	15
2.5 Определение припусков.....	16
2.6 Определение режимов обработки.....	19
3 Проектирование станочного приспособления.....	26
4 Проектирование режущего инструмента.....	30
4.1 Проектирование зенковки.....	30
4.2 Повышение износостойкости зенковки .....	33
5 Безопасность и экологичность технического объекта.....	43
5.1 Назначение участка.....	43
5.2 Планировка рассматриваемого участка.....	43
5.3 Состав оборудования.....	43
5.4 Анализ вредных производственных факторов.....	46
6 Экономическая эффективность работы.....	48
Заключение.....	53
Список используемых источников .....	54
Приложение А. Маршрутные карты.....	57
Приложение Б. Операционные карты.....	66

## Введение

В настоящее время на базе кафедры «Оборудование и технологии машиностроительного производства» создан центр «Формула Станок». В этом подразделении Института машиностроения студентами разрабатывается малое технологическое оборудование, ведется его изготовление, отладка, наладка для изготовления каких-либо изделий, программирование и так далее.

Процесс изготовления деталей для данного оборудования в этой цепочке занимает немаловажную роль. Ведь от точности изготовления комплектующих деталей зависит качество изготавливаемого оборудования, а также его точность и долговечность.

На базе центра «Формула Станок» имеется некоторое количество стандартного универсального оборудования, на котором ведется изготовление комплектующих. В этом перечне имеется токарно-револьверный станок, в состав которого входит шпиндель.

Токарно-револьверный станок предназначен для продольного и поперечного точения, обработки отверстий осевым инструментом и так далее. По продольным направляющим станка перемещается револьверная головка, на которой находится различный осевой инструмент и токарные резцы. Осевой инструмент может иметь свой отдельный привод, подключенный к системе станка. Револьверная головка поворачивается для смены инструмента.

Шпиндель токарного станка является частью несущей системы. Это, пожалуй, самая ответственная деталь станка. Ведь на нем крепится зажимное приспособление, на котором далее закрепляется обрабатываемая на станке деталь. Шпиндель имеет очень жесткие требования к точности его изготовления.

## **1 Анализ исходных данных**

«Геометрическая и кинематическая точность станка характеризует точность перемещения его формообразующих узлов без силовых и тепловых воздействий. Поэтому эти характеристики связаны в основном с точностью изготовления и сборки станка, то есть с технологическими факторами. Высокие требования к точности современных станков определяют строгие допуски на точность перемещения и положения рабочих органов, связанных с геометрией станка, как с его исходной характеристикой». [14]

### **1.1 Назначение и условия работы детали**

«В любом станке можно выделить ту его часть, которая несет инструмент и заготовку, воспринимает рабочую нагрузку и формирует его точность и производительность – главное функциональное качество станка. Эту часть станка мы называем несущей системой станка. Когда мы говорим об исследовании и повышении качества станков, то в первую очередь речь идет о его несущей системе. Несущая система станка включает в себя две подсистемы: 1 – подсистема позиционирования; 2 – подсистема главного движения, в качестве которой чаще всего выступает шпиндельный узел. Обе системы воспринимают в зоне резания одинаковую рабочую нагрузку и в этих рамках одинаково влияют на главное качество станков. Любое их отклонение от теоретически заданных перемещений непосредственно переносится на обрабатываемую деталь в виде погрешности». [19]

Шпиндель воспринимает вращение от коробки скоростей токарного станка и передает его зажимному приспособлению, где крепится обрабатываемая заготовка.

## 1.2 Классификация поверхностей детали

Проклассифицируем поверхности детали и представим их на рисунке 1.

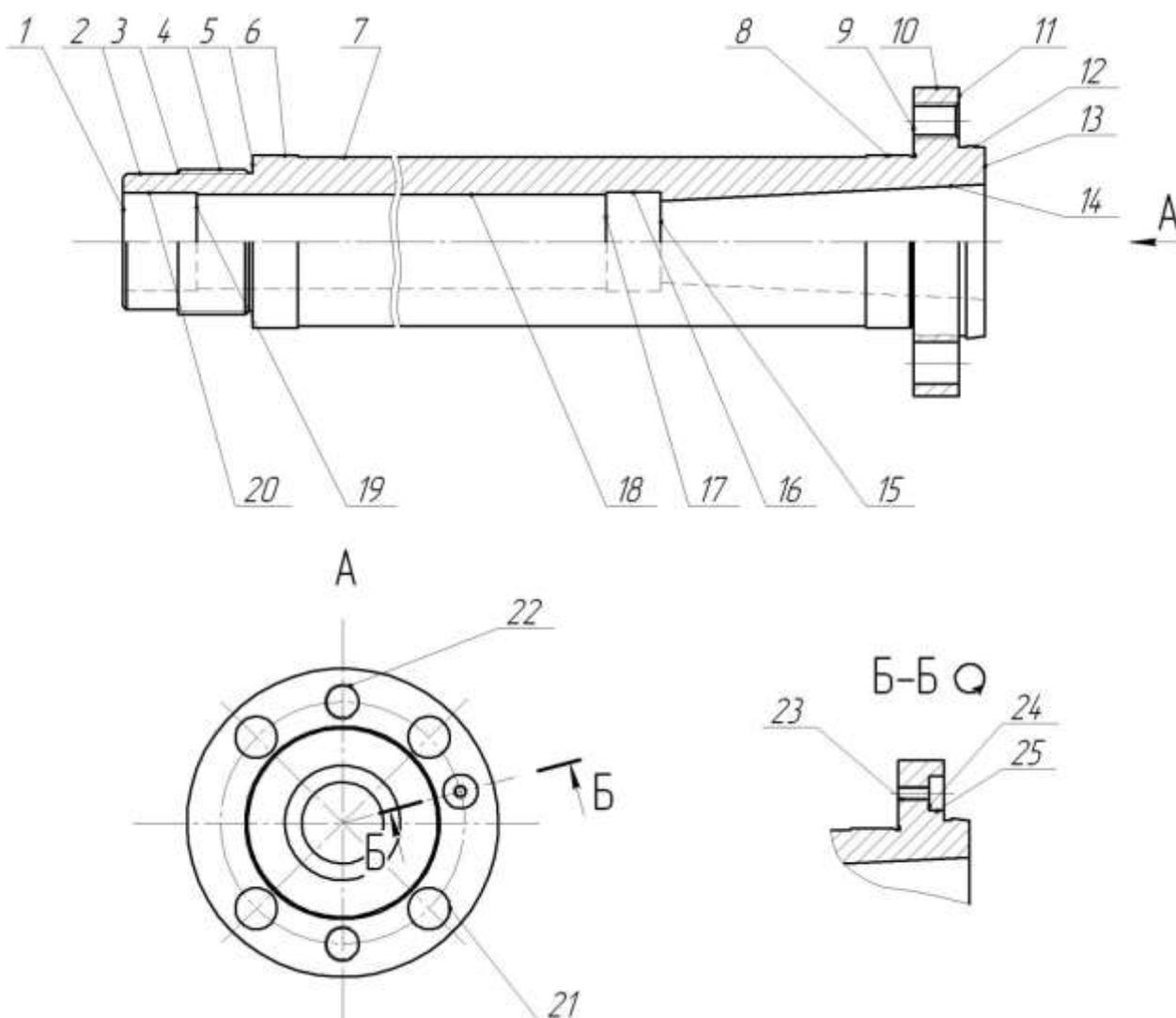


Рисунок 1 – Классификация поверхностей

Исполнительными поверхностями детали являются резьбовая поверхность 4 и коническая поверхность 12, по которой базируется зажимное приспособление.

Основными конструкторскими базами детали являются шейки под закрепление детали в подшипниках 6 и 8, а также торцевая поверхность 9.

Вспомогательными конструкторскими базами детали являются внутренняя коническая поверхность 14, предназначенная для закрепления или инструмента, или приспособления, отверстия 21, 22 и 23,

предназначенные для фиксации приспособления на переднем конце шпинделя, а также поверхность 24, являющаяся опорной поверхностью под головки винтов.

Остальные поверхности - свободные.

«Шпиндельный узел, как наиболее ответственный из всех узлов, должен обеспечивать главное функциональное качество станка – высокую точность и производительность. Точность вращения и жесткость шпиндельного узла определяется не только высокой точностью подшипников качения, но и в значительной степени точностью обработки, качеством поверхности посадочных мест вала, корпуса и сопряженных с подшипником деталей. Точность всех этих элементов должна быть соизмерима с точностью подшипников. В целом точность шпиндельного узла, как и несущей системы станка, определяется тремя характеристиками точности. Кольца шпиндельных подшипников относительно тонкостенны и при посадке приобретают форму более жестких сопряженных поверхностей вала и корпуса». [19]

### **1.3 Анализ требований к поверхностям детали**

«Решающими факторами, определяющими выбор материала шпинделя, являются твердость и износостойкость рабочих шеек и базирующих поверхностей фланцев и стабильность размеров и формы шпинделя в процессе его изготовления и работы. Для шпинделей станков нормальной и повышенной точности, устанавливаемых в подшипниках качения, в качестве основного метода упрочнения рекомендуется поверхностная закалка и индукционным нагревом до твердости HRC 48-56. Эта твердость обеспечивается при изготовлении шпинделей из сталей марок 40X, 45, 50. Объемная закалка, обеспечивающая твердость в пределах HRC 56-60, рекомендуется преимущественно для шпинделей сложной формы, например, при наличии конусных отверстий небольшого размера, фланцев, пазов для

крепления сухарей и т. Д., когда выполнение закалки индукционным нагревом представляет технологические трудности. Обычно объемной закалке подвергают только переднюю часть шпинделя. В этом случае шпиндели рекомендуют выполнять из сталей марок 40ХГР или 50Х. Если для рабочих поверхностей шпинделей требуется твердость в пределах HRC 54-59, а объемная закалка затруднена, шпиндели изготавливают из сталей 40ХФА и 18ХГТ с последующим азотированием или из сталей 18ХГТ и 20Х с последующей цементацией. Для азотирования возможно также применение стали марки 40Х, но износостойкость в этом случае будет несколько меньше». [16]

«Шпиндели станков высокой и особо высокой точности, устанавливаемые в подшипниках качения, в связи с высокими требованиями к точности изготовления, постоянству размеров, формы и износостойкости рекомендуется упрочнять методом азотирования и поэтому выполнять из сталей марок 40ХФА и 18ХГТ. При изготовлении шпинделей несложной конфигурации допускается применение цементации с последующей закалкой и отпуском. В этом случае шпиндели изготавливают из сталей марок 18ХГТ, 12ХНЗА, 20Х. Применение сталей с повышенным или высоким содержанием углерода, типа 50, У8А, ШХ15, допускается для шпинделей станков нормальной и повышенной точности, главным образом тяжелых. Рабочие шейки и посадочные отверстия в этом случае упрочняют поверхностной закалкой с помощью индукционного нагрева до твердости HRC 54-62. Шпиндели относительно небольшого диаметра (до 70-80 мм) изготавливают из цементуемых сталей марок 18ХГТ и 12ХНЗА; рабочие поверхности цементуют и закалывают до твердости HRC 56-60». [16]

Проведем анализ химического состава материала детали. Материалом детали является сталь 19ХГН ГОСТ 4543-71 [4]. Она состоит из 0,16...0,21% углерода (С), 0,7...1,0% марганца (Mn), 0,17...0,37% кремния (Si), до 0,035% серы (S), 0,8...1,1% никеля (Ni), 0,8...1,1% хрома (Cr), до 0,035% фосфора

(P), до 0,1% молибдена (Mo). Остальным материалом является железо (Fe). [17]

«Конструкционные стали должны обладать высоким комплексом механических свойств, а не одной какой-либо характеристикой, обеспечивать длительную и надежную работу конструкции в условиях эксплуатации. Материалы, идущие на изготовление конструктивных элементов, деталей машин и механизмов, должны наряду с высокой прочностью и пластичностью хорошо сопротивляться ударным нагрузкам, обладая запасом вязкости. При знакопеременных нагрузках конструкционные материалы должны иметь высокое сопротивление усталости, а при трении – износу. Во многих случаях необходимо сопротивление коррозии. Так как в деталях всегда имеются дефекты, являющиеся концентраторами напряжений, конструкционные материалы должны обладать высоким сопротивлением хрупкому разрушению и распространению трещин. Помимо высокой надежности и конструктивной прочности они должны иметь хорошие литейные свойства, обрабатываемость давлением, резанием, хорошую свариваемость». [17]

«Из всех материалов, применяемых в настоящее время и прогнозируемых в будущем, только сталь сочетает высокие значения различных механических характеристик и хорошую технологичность при сравнительно невысокой стоимости, поэтому она является основным и наиболее распространенным конструкционным материалом. Легирование позволяет повысить уровень механических свойств». [17]

Основные физико-механические свойства материала детали представлены в таблице 1.

Таблица 1.1 – Основные физико-механические свойства стали 19ХГН ГОСТ 4543-71

$\sigma_T$	$\sigma_B$	$\delta_5$	KCU	HB
МПа	МПа	%	Дж/см <sup>2</sup>	
930	1180	7	690	217

Согласно представленным свойства стали 19ХГН соответствуют требованиям, предъявляемым к нашей детали.

«Конструкция шпинделя достаточно проста и определяется числом и типом подшипников, их фиксацией, регулировкой зазора-натяга, расположением звена привода, устройством уплотнения и других элементов. Каких-либо специальных требований к конфигурации не предъявляется. При проектировании шпинделя необходимо обосновать минимально возможные размеры при сохранении его главного функционального качества». [19]

Заготовку для изготовления детали можно получить методами штамповки или из проката.

#### **1.4 Выбор параметров шпинделя**

«Шпиндельный узел является одним из основных узлов станка, конструктивная форма и размеры которого влияют на компоновку и параметры других узлов, в частности коробки скоростей. На предварительном этапе проектирования шпиндельного узла осуществляют следующее: выбирают тип опор и схему их расположения; определяют основные конструктивные параметры шпинделя; выбирают тип приводной передачи; выбирают значение предварительного натяга, класс точности и серию подшипников; выполняют приближенную оценку радиальной жесткости узла. Тип опор шпинделя выбирают исходя из условий необходимости обеспечения заданной точности обработки и быстроходности узла, определяемой скоростным параметром» [14]

$$d \cdot n, \text{ мм мин}^{-1},$$

где  $d$  – диаметр шейки шпинделя под передней опорой, мм;

$n$  – частота вращения,  $\text{мин}^{-1}$ .

В нашем случае мы имеем средненагруженный шпиндель.

## **2 Технологическая часть**

### **2.1 Определение типа производства**

«В зависимости от потребностей различные изделия машиностроительного производства изготавливают в различных количествах. Одни изделия на предприятии изготавливают в одном экземпляре, другие – сотнями тысяч штук. В зависимости от номенклатуры и объема выпуска изделий различают три основных типа производства: единичное, серийное и массовое. Серийное производство делят на мелкосерийное, среднесерийное и крупносерийное». [18]

В нашем случае основными параметрами для выбора типа производства являются годовая программа выпуска деталей  $N_r = 200$  шт/год и масса изготавливаемой детали  $m = 35,8$  кг. В зависимости от этих параметров принимаем среднесерийный тип организации производства.

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

«Серийное производство характеризуется изготовлением или ремонтом изделий периодически повторяющимися партиями. Производством серийного производства являются машины установленного типа (металлорежущие и деревообрабатывающие станки, насосы, компрессоры, авиационные двигатели и т.п.), выпускаемые в значительных количествах. Этот тип производства является наиболее распространенным (75-80% всех изделий машиностроения производится в условиях серийного производства). Характерным признаком серийного производства является выполнение на рабочих местах относительно небольшого числа периодически повторяющихся операций. В серийном производстве используют как специальные средства технологического оснащения, так и универсальные. Оборудование в цехах располагают по ходу технологического процесса.

Технологические процессы в серийном производстве разрабатываются подробно. Квалификация основных рабочих в целом ниже, чем в единичном производстве, но остается высокой, например при работе на станках с ЧПУ». [18]

### 2.3 Выбор метода получения заготовки

Как уже упоминалось наиболее рациональными методами получения заготовки для изготовления детали являются штамповка и прокат. Проведем расчет наиболее экономически выгодного метода.

С помощью моделирования в системе КОМПАС-3D получим размеры заготовки из проката диаметром  $\varnothing 174$  и длиной 942 мм. Эта заготовка будет иметь массу  $m=175,8$  кг.

Заготовка из штамповки будет иметь фигурную форму и массу  $m=44,1$  кг.

Рассчитаем стоимость снятия 1 кг стружки при механической обработке [9].

$$C_{\text{мех}} = C_c + E_H \cdot C_K, \quad (2.1)$$

где  $E_H = 0,15; C_c = 0,495; C_K = 1,085$  . [9]

Тогда по формуле (2.1) имеем:

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

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

$$C_{\text{заг}} = C_{\text{шт}} \cdot k_m \cdot k_c \cdot k_g \cdot k_M \cdot k_n, \quad (2.2)$$

где  $C_{\text{шт}} = 0,315; k_m = 0,9; k_c = 0,84; k_g = 1,14; k_M = 1,0; k_n = 1,0$  . [9]

Тогда по формуле (2.2) имеем:

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

Определим технологическую себестоимость изготовления детали, полученной штамповкой [9].

$$C_{ми} = C_{заг} \cdot Q_{шт} + C_{мех} (Q_{шт} - q) - C_{отх} (Q_{шт} - q), \quad (2.3)$$

где  $Q_{шт} = 44,1; q = 35,8; C_{отх} = 0,0144$ . [9]

По формуле (2.3) имеем:

$$C_{ми} = 0,2715 \cdot 44,1 + 0,6578(44,1 - 35,8) - (44,1 - 35,8)0,0144 = 15,3832 \text{ (руб.)}$$

Определим технологическую себестоимость изготовления детали, полученную прокатом [9].

$$C_{ми} = C_{заг} \cdot Q_{пр} + C_{мех} (Q_{пр} - q) - C_{отх} (Q_{пр} - q), \quad (2.4)$$

где  $Q_{пр} = 175,8; q = 35,8$ .

По формуле (2.4) имеем:

$$C_{ми} = 0,1219 \cdot 175,8 + 0,6578(175,8 - 35,8) - 0,0144(175,8 - 35,8) = 111,5060 \text{ (руб.)}$$

В итоге по технологической себестоимости наиболее экономически выгодным вариантом получения заготовки является штамповка.

В этом случае годовая экономия будет составлять

$$\Delta_2 = (C_{ми} - C_{ми})N_2 = (111,5060 - 15,3832)200 = 19224,56 \text{ (руб.)}$$

## 2.4 Выбор методов обработки поверхностей

«На данном этапе разработки технологического процесса намечают маршруты обработки отдельных поверхностей детали, т.е. определяют перечень последовательно выполняемых переходов или операций для достижения заданной точности этих поверхностей и качества их поверхностных слоев». [18]

Для достижения достаточной точности и качества поверхностного слоя поверхностей №1, 13 с параметрами IT14, Ra10 необходим следующий перечень методов ее обработки: центровально-подрезная операция.

Для достижения достаточной точности и качества поверхностного слоя поверхностей №2 с параметрами IT6, Ra1,25 необходим следующий перечень методов ее обработки: точение черновое и чистовое, шлифование черновое и чистовое.

Для достижения достаточной точности и качества поверхностного слоя поверхностей №3, 5, 7, 10, 15, 16, 17, 19, 20 с параметрами IT14, Ra10 необходим следующий перечень методов ее обработки: точение черновое и чистовое.

Для достижения достаточной точности и качества поверхностного слоя поверхностей №4 с параметрами IT9, Ra5 необходим следующий перечень методов ее обработки: точение черновое и чистовое.

Для достижения достаточной точности и качества поверхностного слоя поверхностей №6, 8, 12 с параметрами IT5, Ra0,32 необходим следующий перечень методов ее обработки: точение черновое и чистовое, шлифование черновое и чистовое, полирование.

Для достижения достаточной точности и качества поверхностного слоя поверхностей №9, 11 с параметрами IT14, Ra0,63 необходим следующий перечень методов ее обработки: точение черновое и чистовое, шлифование черновое и чистовое.

Для достижения достаточной точности и качества поверхностного слоя поверхности №14 с параметрами IT7, Ra0,63 необходим следующий перечень методов ее обработки: точение черновое и чистовое, шлифование черновое и чистовое.

Для достижения достаточной точности и качества поверхностного слоя поверхности №18 с параметрами IT13, Ra10 необходим следующий перечень методов ее обработки: точение черновое и чистовое.

Для достижения достаточной точности и качества поверхностного слоя поверхностей №21, 24, 25 с параметрами IT14, Ra10 необходим следующий перечень методов ее обработки: сверление.

Для достижения достаточной точности и качества поверхностного слоя поверхностей №22, 23 с параметрами IT10, Ra10 необходим следующий перечень методов ее обработки: сверление.

## 2.5 Определение припусков

Рассчитаем припуски на обработку поверхности под подшипники  $\varnothing 95 \pm 0,005$  мм, длиной 25 мм с шероховатостью Ra0,32. Технологический маршрут обработки данной поверхности состоит из чернового и чистового точения, ТО, чернового и чистового шлифования.

Найдем суммарную величину для каждого перехода

$$a = R_z + h_o . [1]$$

Найдем суммарное отклонение формы и расположения поверхностей

$$\Delta = 0,25 \cdot Td . [1]$$

$$\Delta_0 = 0,25 \cdot 3,6 = 0,900 .$$

$$\Delta_1 = 0,25 \cdot 0,350 = 0,088 .$$

$$\Delta_2 = 0,25 \cdot 0,087 = 0,022 .$$

$$\Delta_{TO} = 0,25 \cdot 0,140 = 0,035 .$$

$$\Delta_3 = 0,25 \cdot 0,054 = 0,014 .$$

$$\Delta_4 = 0,25 \cdot 0,022 = 0,006 .$$

$$\Delta_5 = 0,25 \cdot 0,010 = 0,003 .$$

Максимальное и минимальное значение припуска вычислим по формулам

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

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

$$Z_{1\min} = a_0 + \sqrt{(\Delta_0)^2 + \varepsilon_1^2} = 0,4 + \sqrt{0,900^2 + 0,025^2} = 1,300 .$$

$$Z_{2\min} = a_1 + \sqrt{(\Delta_1)^2 + \varepsilon_2^2} = 0,2 + \sqrt{0,088^2 + 0} = 0,288 .$$

$$Z_{3\min} = a_2 + \sqrt{(\Delta_{TO})^2 + \varepsilon_3^2} = 0,1 + \sqrt{0,035^2 + 0^2} = 0,135 .$$

$$Z_{4\min} = a_3 + \sqrt{(\Delta_3)^2 + \varepsilon_4^2} = 0,05 + \sqrt{0,014^2 + 0} = 0,064 .$$

$$Z_{5\min} = a_4 + \sqrt{(\Delta_4)^2 + \varepsilon_5^2} = 0,025 + \sqrt{0,006^2 + 0} = 0,031 .$$

$$Z_{1\max} = Z_{1\min} + 0,5(Td_0 + Td_1) = 1,300 + 0,5(3,600 + 0,350) = 3,275 .$$

$$Z_{2\max} = Z_{2\min} + 0,5(Td_1 + Td_2) = 0,288 + 0,5(0,350 + 0,087) = 0,507 .$$

$$Z_{3\max} = Z_{3\min} + 0,5(Td_2 + Td_3) = 0,135 + 0,5(0,087 + 0,054) = 0,206 .$$

$$Z_{4\max} = Z_{4\min} + 0,5(Td_3 + Td_4) = 0,064 + 0,5(0,054 + 0,022) = 0,102 .$$

$$Z_{5\max} = Z_{5\min} + 0,5(Td_4 + Td_5) = 0,031 + 0,5(0,022 + 0,010) = 0,047 .$$

$$d_{5\max} = 95,005 .$$

$$d_{5\min} = 94,995 .$$

$$d_{4\min} = d_{5\min} + 2Z_{5\min} = 94,995 + 2 \cdot 0,031 = 95,057 .$$

$$d_{4\max} = d_{4\min} + Td_4 = 95,057 + 0,022 = 95,079 .$$

$$d_{3\min} = d_{4\min} + 2Z_{4\min} = 95,079 + 2 \cdot 0,064 = 95,207 .$$

$$d_{3\max} = d_{3\min} + Td_3 = 95,207 + 0,054 = 95,261 .$$

$$d_{TO\min} = d_{3\min} + 2Z_{3\min} = 95,261 + 2 \cdot 0,135 = 95,531 .$$

$$d_{TO\max} = d_{TO\min} + Td_{TO} = 95,531 + 0,140 = 95,671 .$$

$$d_{2\min} = d_{TO\min} \cdot 0,999 = 95,671 \cdot 0,999 = 95,575 .$$

$$d_{2\max} = d_{2\min} + Td_2 = 95,575 + 0,087 = 95,662 .$$

$$d_{1\min} = d_{2\max} + 2 \cdot Z_{2\min} = 95,662 + 2 \cdot 0,288 = 96,238 .$$

$$d_{1\max} = d_{1\min} + Td_1 = 96,238 + 0,350 = 96,588 .$$

$$d_{0\min} = d_{1\max} + 2 \cdot Z_{1\min} = 96,588 + 2 \cdot 1,300 = 99,188 .$$

$$d_{0\max} = d_{0\min} + Td_0 = 99,188 + 3,600 = 102,788 .$$

Найдем средние значения размеров

$$d_{cpi} = 0,5(d_{i\max} + d_{i\min}) . [1]$$

$$d_{cp0} = 0,5(d_{0\max} + d_{0\min}) = 0,5(102,788 + 99,188) = 100,988 .$$

$$d_{cp1} = 0,5(d_{1\max} + d_{1\min}) = 0,5(96,588 + 96,238) = 96,413 .$$

$$d_{cp2} = 0,5(d_{2\max} + d_{2\min}) = 0,5(95,662 + 95,575) = 95,619 .$$

$$d_{cpTO} = 0,5(d_{TO\max} + d_{TO\min}) = 95,671 + 95,531 = 95,601 .$$

$$d_{cp3} = 0,5(d_{3\max} + d_{3\min}) = 0,5(95,261 + 95,207) = 95,234 .$$

$$d_{cp4} = 0,5(d_{4\max} + d_{4\min}) = 0,5(95,079 + 95,057) = 95,068 .$$

$$d_{cp5} = 0,5(d_{5\max} + d_{5\min}) = 0,5(95,005 + 94,995) = 95,000 .$$

Найдем общий припуск на обработку

$$2Z_{\min} = d_{0\min} - d_{5\max} . [1]$$

$$2Z_{\min} = 99,188 - 95,005 = 4,183 .$$

$$2Z_{\max} = 2Z_{\min} + Td_0 + Td_5 . [1]$$

$$2Z_{\max} = 4,183 + 3,6 + 0,010 = 7,793 .$$

$$2Z_{cp} = 0,5(2Z_{\min} + 2Z_{\max}) . [1]$$

$$2Z_{cp} = 0,5(4,183 + 7,793) = 5,988 .$$

## 2.6 Определение режимов обработки

«При назначении параметра режима резания учитывают вид обработки, тип и размеры инструмента, материал его режущей части, материал заготовки, тип и состояние станка. При этом предполагается, что инструмент имеет оптимальные геометрические параметры. Расчет параметров режима резания применительно к точению ведется в следующей последовательности: 1) определяется глубина резания, ее значения стремятся принять равным максимальному припуску на обработку, при ограничениях по жесткости технологической системы (жесткости заготовки) и мощности станка припуск удаляют за несколько рабочих ходов; 2) находится подача, при черновом точении подача принимается максимально допустимой по мощности станка, жесткости технологической системы, прочности режущей пластины и державки резца, при чистовом точнее подачу выбирают в зависимости от требуемой шероховатости, в обоих случаях подачи выполняют по рекомендациям и согласуют с паспортными данными станка». [18]

2.6.1 Определение режимов обработки на операцию 005  
Центровально-подрезная.

Переход 1.

Глубина резания  $t = 2,5$  мм.

Подача  $S_0 = 0,3$  мм/об. [15]

Скорость резания  $V_0 = 180$  м/мин.

$V = V_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4$ , [15]

где  $K_1 = 1,1$ ;  $K_2 = 1,0$ ;  $K_3 = 1,0$ ;  $K_4 = 1,0$ . [15]

$V = 180 \cdot 1,1 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 198$ , м/мин.

Частота

$$n = \frac{1000V}{\pi D}$$

$$n = \frac{1000 \cdot 198}{3,14 \cdot 126} = 500,5, \text{ мин}^{-1}.$$

Принимаем  $n_{\phi} = 500 \text{ мин}^{-1}$ .

Пересчитаем скорость резания

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 126 \cdot 500}{1000} = 197,8, \text{ м/мин.}$$

Минутная подача

$$S = S_0 \cdot n = 0,3 \cdot 500 = 150, \text{ мм/мин.}$$

Основное время

$$T_0 = \frac{L_{px}}{S} = \frac{63}{150} = 0,42, \text{ мин.}$$

Переход 2.

Глубина резания  $t = 2,5 \text{ мм}$ .

Подача  $S_0 = 0,3 \text{ мм/об. [15]}$

Скорость резания  $V_0 = 180 \text{ м/мин.}$

$$V = V_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4, [15]$$

где  $K_1 = 1,1; K_2 = 1,0; K_3 = 1,0; K_4 = 1,0. [15]$

$$V = 180 \cdot 1,1 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 198, \text{ м/мин.}$$

Частота

$$n = \frac{1000V}{\pi D}.$$

$$n = \frac{1000 \cdot 198}{3,14 \cdot 62} = 1017,1, \text{ мин}^{-1}.$$

Принимаем  $n_{\phi} = 500 \text{ мин}^{-1}$ .

Пересчитаем скорость резания

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 62 \cdot 500}{1000} = 97,3, \text{ м/мин.}$$

Минутная подача

$$S = S_0 \cdot n = 0,3 \cdot 500 = 150, \text{ мм/мин.}$$

Основное время

$$T_0 = \frac{L_{px}}{S} = \frac{3}{150} = 0,02, \text{ мин.}$$

Переход 3.

Глубина резания  $t = 2,5$  мм.

Подача  $S_0 = 0,3$  мм/об. [15]

Скорость резания  $V_0 = 180$  м/мин.

$$V = V_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4, [15]$$

где  $K_1 = 1,1; K_2 = 1,0; K_3 = 1,0; K_4 = 1,0$ . [15]

$$V = 180 \cdot 1,1 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 198, \text{ м/мин.}$$

Частота

$$n = \frac{1000V}{\pi D}$$

$$n = \frac{1000 \cdot 198}{3,14 \cdot 76,1} = 828,6, \text{ мин}^{-1}.$$

Принимаем  $n_\phi = 500$  мин<sup>-1</sup>.

Пересчитаем скорость резания

$$V_\phi = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 76,1 \cdot 500}{1000} = 119,5, \text{ м/мин.}$$

Минутная подача

$$S = S_0 \cdot n = 0,3 \cdot 500 = 150, \text{ мм/мин.}$$

Основное время

$$T_0 = \frac{L_{px}}{S} = \frac{21}{150} = 0,14, \text{ мин.}$$

Основное время всей операции

$$T_0 = \sum T_{0i} = 0,42 + 0,02 + 0,14 = 0,58, \text{ мин.}$$

2.6.2 Определение режимов обработки на операцию 010 Токарная черновая.

Глубина резания  $t = 2,5$  мм.

Подача  $S_0 = 0,3$  мм/об. [15]

Скорость резания  $V_0 = 180$  м/мин.

$$V = V_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4, [15]$$

где  $K_1 = 1,1; K_2 = 1,0; K_3 = 1,0; K_4 = 1,0$ . [15]

$$V = 180 \cdot 1,1 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 198, \text{ м/мин.}$$

Частота

$$n = \frac{1000V}{\pi D}$$

$$n = \frac{1000 \cdot 198}{3,14 \cdot 96} = 656,8, \text{ мин}^{-1}.$$

Принимаем  $n_\phi = 630$  мин<sup>-1</sup>.

Пересчитаем скорость резания

$$V_\phi = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 96 \cdot 630}{1000} = 189,9, \text{ м/мин.}$$

Минутная подача

$$S = S_0 \cdot n = 0,3 \cdot 630 = 189, \text{ мм/мин.}$$

Основное время

$$T_0 = \frac{L_{px}}{S} = \frac{159}{189} = 0,84, \text{ мин.}$$

### 2.6.3 Определение режимов обработки на операцию 020 Расточная черновая.

Переход 1.

Глубина резания  $t = 2,5$  мм.

Подача  $S_0 = 0,3$  мм/об. [15]

Скорость резания  $V_0 = 180$  м/мин.

$$V = V_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4, [15]$$

где  $K_1 = 1,1; K_2 = 1,0; K_3 = 1,0; K_4 = 1,0$ . [15]

$$V = 180 \cdot 1,1 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 198, \text{ м/мин.}$$

Частота

$$n = \frac{1000V}{\pi D}.$$

$$n = \frac{1000 \cdot 198}{3,14 \cdot 54} = 1167,7, \text{ мин}^{-1}.$$

Принимаем  $n_{\phi} = 1000 \text{ мин}^{-1}$ .

Пересчитаем скорость резания

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 54 \cdot 1000}{1000} = 169,6, \text{ м/мин.}$$

Минутная подача

$$S = S_0 \cdot n = 0,3 \cdot 1000 = 300, \text{ мм/мин.}$$

Основное время

$$T_0 = \frac{L_{px}}{S} = \frac{790}{300} = 2,63, \text{ мин.}$$

Переход 2.

Глубина резания  $t = 2,5 \text{ мм}$ .

Подача  $S_0 = 0,3 \text{ мм/об. [15]}$

Скорость резания  $V_0 = 180 \text{ м/мин.}$

$$V = V_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4, [15]$$

где  $K_1 = 1,1; K_2 = 1,0; K_3 = 1,0; K_4 = 1,0. [15]$

$$V = 180 \cdot 1,1 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 198, \text{ м/мин.}$$

Частота

$$n = \frac{1000V}{\pi D}.$$

$$n = \frac{1000 \cdot 198}{3,14 \cdot 61,248} = 1029,5, \text{ мин}^{-1}.$$

Принимаем  $n_{\phi} = 1000 \text{ мин}^{-1}$ .

Пересчитаем скорость резания

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 61,248 \cdot 1000}{1000} = 192,3, \text{ м/мин.}$$

Минутная подача

$$S = S_0 \cdot n = 0,3 \cdot 1000 = 300, \text{ мм/мин.}$$

Основное время

$$T_0 = \frac{L_{px}}{S} = \frac{190}{300} = 0,63, \text{ мин.}$$

Основное время всей операции

$$T_0 = \sum T_{0i} = 2,63 + 0,63 = 3,26, \text{ мин.}$$

2.6.4 Определение режимов обработки на операцию 030 Токарная чистовая.

Переход 1.

Глубина резания  $t = 1,5$  мм.

Подача  $S_0 = 0,3$  мм/об. [15]

Скорость резания  $V_0 = 180$  м/мин.

$$V = V_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4, [15]$$

где  $K_1 = 1,1; K_2 = 1,0; K_3 = 1,0; K_4 = 1,0$ . [15]

$$V = 180 \cdot 1,1 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 198, \text{ м/мин.}$$

Частота

$$n = \frac{1000V}{\pi D}. [15]$$

$$n = \frac{1000 \cdot 198}{3,14 \cdot 104} = 606,3, \text{ мин}^{-1}.$$

Принимаем  $n_{\phi} = 500$  мин<sup>-1</sup>.

Пересчитаем скорость резания

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 104 \cdot 500}{1000} = 163,3, \text{ м/мин.}$$

Минутная подача

$$S = S_0 \cdot n = 0,3 \cdot 500 = 150, \text{ мм/мин.}$$

Основное время

$$T_0 = \frac{L_{px}}{S} = \frac{3}{150} = 0,02, \text{ мин.}$$

Переход 2.

Глубина резания  $t = 0,3$  мм. Подача  $S_0 = 0,2$  мм/об. Скорость резания  $V_0 = 180$  м/мин. [15]

$$V = V_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4, [15]$$

где  $K_1 = 1,1; K_2 = 1,0; K_3 = 1,0; K_4 = 1,0$ . [15]

$$V = 180 \cdot 1,1 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 198, \text{ м/мин.}$$

Частота

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 198}{3,14 \cdot 170} = 370,9, \text{ мин}^{-1}. \text{ Принимаем } n_{\phi} = 315 \text{ мин}^{-1}.$$

Пересчитаем скорость резания

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 170 \cdot 315}{1000} = 162,8, \text{ м/мин.}$$

Минутная подача

$$S = S_0 \cdot n = 0,2 \cdot 315 = 63, \text{ мм/мин.}$$

Основное время

$$T_0 = \frac{L_{px}}{S} = \frac{69}{63} = 1,10, \text{ мин.}$$

Основное время всей операции

$$T_0 = \sum T_{0i} = 0,02 + 1,10 = 1,12, \text{ мин.}$$

### 2.6.5 Определение режимов обработки на операцию 075.

Принимаем диаметр шлифовального круга  $D = 250$  мм. Скорость резания  $V = 35$ . Скорость вращения заготовки  $V_3 = 35$  м/мин. Радиальная подача  $S_p = 0,4$  мм/мин. [15]

Частота вращения заготовки

$$n_3 = \frac{1000V_3}{\pi D_3} = \frac{1000 \cdot 35}{3,14 \cdot 170} = 65,6, \text{ мин}^{-1}.$$

Основное время

$$T_0 = \frac{L_{уСК}}{S_{уСК}} + \sum \frac{L_{Pi}}{S_{Pi}} + T_{ВЫХ} = \frac{50}{500} + \frac{43}{100} + 0,05 = 0,58, \text{ мин.}$$

### 3 Проектирование станочного приспособления

«Приспособлениями в машиностроении называют дополнительные устройства к металлообрабатывающему оборудованию, применяемые для изготовления деталей машин. Применение приспособлений для установки заготовок ликвидирует трудоемкую и дорогостоящую операцию разметки, устраняет выверку обрабатываемой заготовки на станке, обеспечивает возможность автоматического получения точности размеров, следовательно, повышает точность обработки за счет устранения погрешностей, связанных с разметкой и выверкой». [7]

«Основную долю штучного времени составляет оперативное время, равное сумме основного и непокрываемого им вспомогательного времени. Поэтому штучное время может быть снижено главным образом за счет уменьшения основного времени, непосредственного уменьшения вспомогательного времени, а также за счет его перекрытия основным временем». [18]

«Зажимными элементами приспособлений называются механизмы, удерживающие обрабатываемую заготовку от смещения и от вибраций, возникающих под действием силы резания. Основное назначение зажимных устройств приспособлений заключается в обеспечении надежного контакта заготовки с установочными элементами и предупреждении ее смещения в процессе обработки. Введением дополнительных зажимных устройств увеличивают жесткость технологической системы, за счет чего достигается повышение точности и качества обработки и производительности». [7]

На токарной чистовой операции 030 ведется обработка поверхностей детали 10, 11 и 12. Для закрепления детали на операции необходимо разработать закрепляющее приспособление, которое осуществляло бы выбранную теоретическую схему базирования.

Схема обработки на операции представлена на рисунке 2.

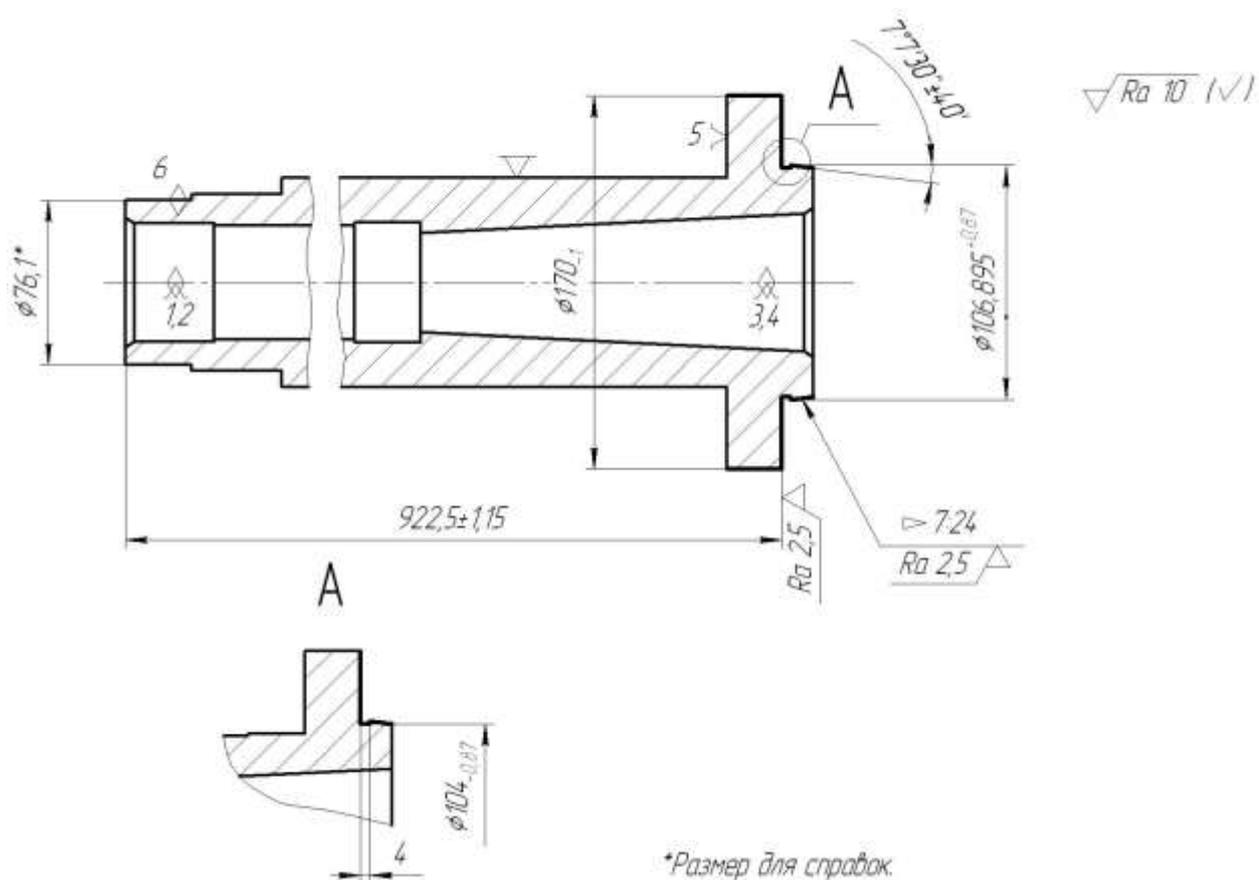


Рисунок 2 - Схема обработки

На данной операции заготовка закрепляется в центрах, а вращение ей придается поводком поводкового патрона.

В работе предлагается на данной операции использовать патрон, имеющий эксцентриковые кулачки.

«Эксцентриковые зажимы – это быстродействующие, самотормозящиеся механизмы. Основными элементами их являются цилиндрические или эксцентриковые кулачки и кулачковые валики. Зажим с помощью этих устройств осуществляется значительно быстрее, чем с помощью винтовых, но возможность их применения более ограничена. Объясняется это тем, что эксцентриковые зажимы хорошо работают только при незначительных отклонениях размеров поверхностей, по которым обрабатываемые заготовки укрепляются, и при отсутствии вибраций заготовок в процессе обработки». [7]

Он за счет своей конструкции обеспечивает фиксацию заготовки, используя силы резания. Типовая конструкция таких патронов представлена на рисунке 3.

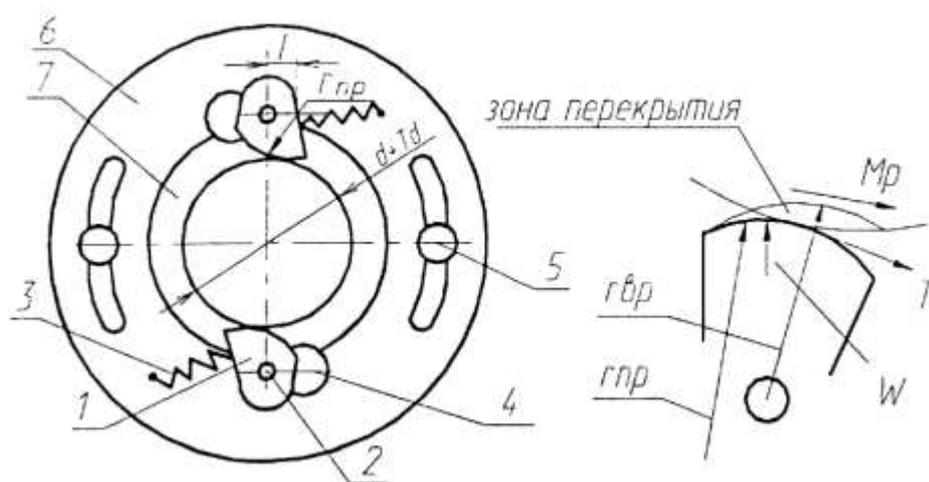


Рисунок 3 – Типовая конструкция патрона, имеющего эксцентрикые кулачки

Эксцентрикые кулачки (позиция 1), которые вращаются на осях (позиция 2) зажимают заготовку. При помощи пружин (позиция 3) кулачки предварительно позиционируются. В конструкции имеются противовесы (позиция 4), которые при вращении патрона с центробежной силой воздействуют на кулачки, проворачивая их. Ограничители (позиция 6) ограничивают проворот подвижной части корпуса (позиция 7). Вся конструкция встраивается в неподвижную часть корпуса (позиция 7).

Профиль эксцентрикых кулачков описан радиусом  $r_{гр}$  из центра, смещенного относительно оси вращения кулачка ( $r_{вр}$ ) на величину эксцентриситета

$$e = S_t + 0,5 - Td ,$$

где  $S_t$  - гарантированный зазор между профилем кулачка и диаметром заготовки в момент её установки в патрон,  $S_t = 0,5...1$  мм;

$Td$  - допуск на диаметр заготовки, за который происходит закрепление заготовки;

$\alpha$  - наибольший допустимый угол кулачков,  $\alpha = 20, \dots 30$  градусов.

«Примером привода от сил резания может служить поводковый самозажимной патрон с эксцентриковыми кулачками, применяемый на токарных многолезцовых станках. Заготовку устанавливают в центрах. При установке кулачки пружинами прижимаются к заготовке. При резании  $P_z$  стремится повернуть заготовку, а вместе с ней кулачки (вокруг оси), в результате чего заготовка заклинивается между кулачками. Для обеспечения равномерного зажима кулачки монтируются на плавающем ползуне. Для открепления заготовки ее следует повернуть против часовой стрелки после остановки шпинделя. Угол подъема спирали кулачков  $12-20^\circ$ ». [12]

«Эти патроны зажимают заготовку тем сильнее, чем больше сила  $P_z$ . При проектировании таких патронов необходимо правильно выбрать эксцентриситет кулачков из условий надежного закрепления заготовок с изменением диаметра в пределах допуска; величину эксцентриситета кулачка определяют по формулам для кругового эксцентрика». [12]

Допуск на габаритный размер, за который происходит фиксация заготовки  $Td = 0,3$  мм.

Гарантированный зазор принимаем  $S_r = 0,7$  мм.

Тогда

$$e = 0,7 + 0,5 - 0,3 = 0,9, \text{ мм.}$$

Таким образом, нами спроектирован эксцентриковый самозажимной патрон для фиксации заготовки на токарной чистовой операции вместо традиционного поводкового патрона.

## 4 Проектирование режущего инструмента

### 4.1 Проектирование зенковки

На расточной черновой операции проводится обработка плоской поверхности отверстия  $\phi 19^{+0,52}$ , предназначенную для базирования головки винта. Задача этой части работы заключается в разработке инструмента для обработки обозначенной поверхности.

Схема операции приведена на рисунке 4.

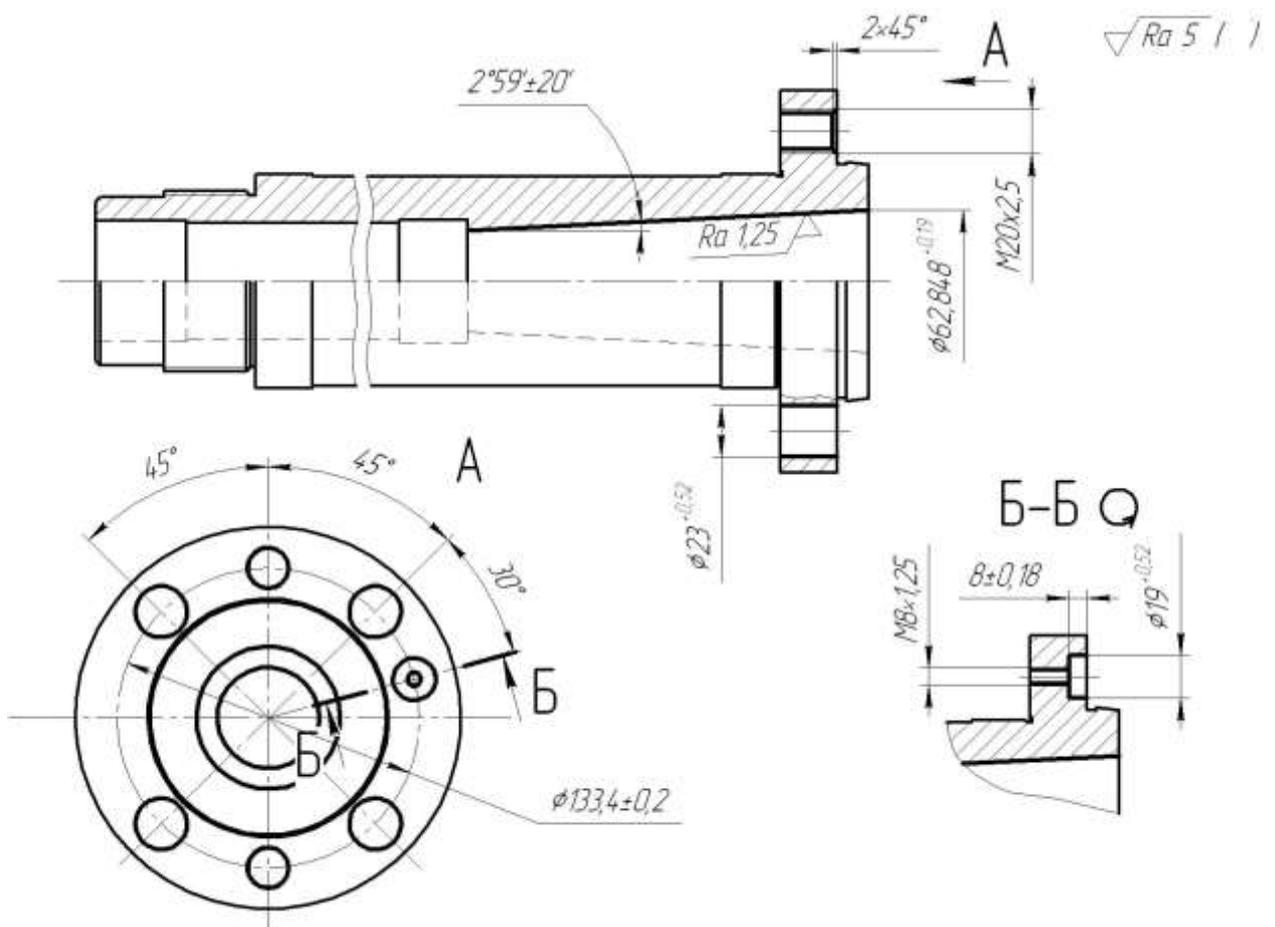


Рисунок 4 – Схема операции

«Зенковки, в отличие от обычных зенкеров, срезают стружки большей ширины и имеют менее устойчивое положение в радиальном направлении в момент резания и особенно в случае расположения режущих кромок перпендикулярно к оси инструмента. Этот процесс часто сопровождается

вибрациями и , как следствие, выкрашиванием режущих кромок. Поэтому в конструкциях зенковок для цилиндрических углублений и подрезки торцов предусмотрены направляющие цапфы, выполненные либо за одно целое с корпусом у зенковок малых диаметров, либо вставными, сменными, у зенковок больших диаметров, которые более предпочтительны (рис. 5). При этом сначала цапфы входят в предварительно просверленное отверстие, а затем начинается процесс обработки отверстия. По мере износа сменные цапфы заменяются. Зенковки изготавливаются из быстрорежущей стали, а иногда оснащают напайными твердосплавными пластинами. Хвостовики зенковок соединяются с режущей частью сваркой и могут быть цилиндрическими или коническими». [8]

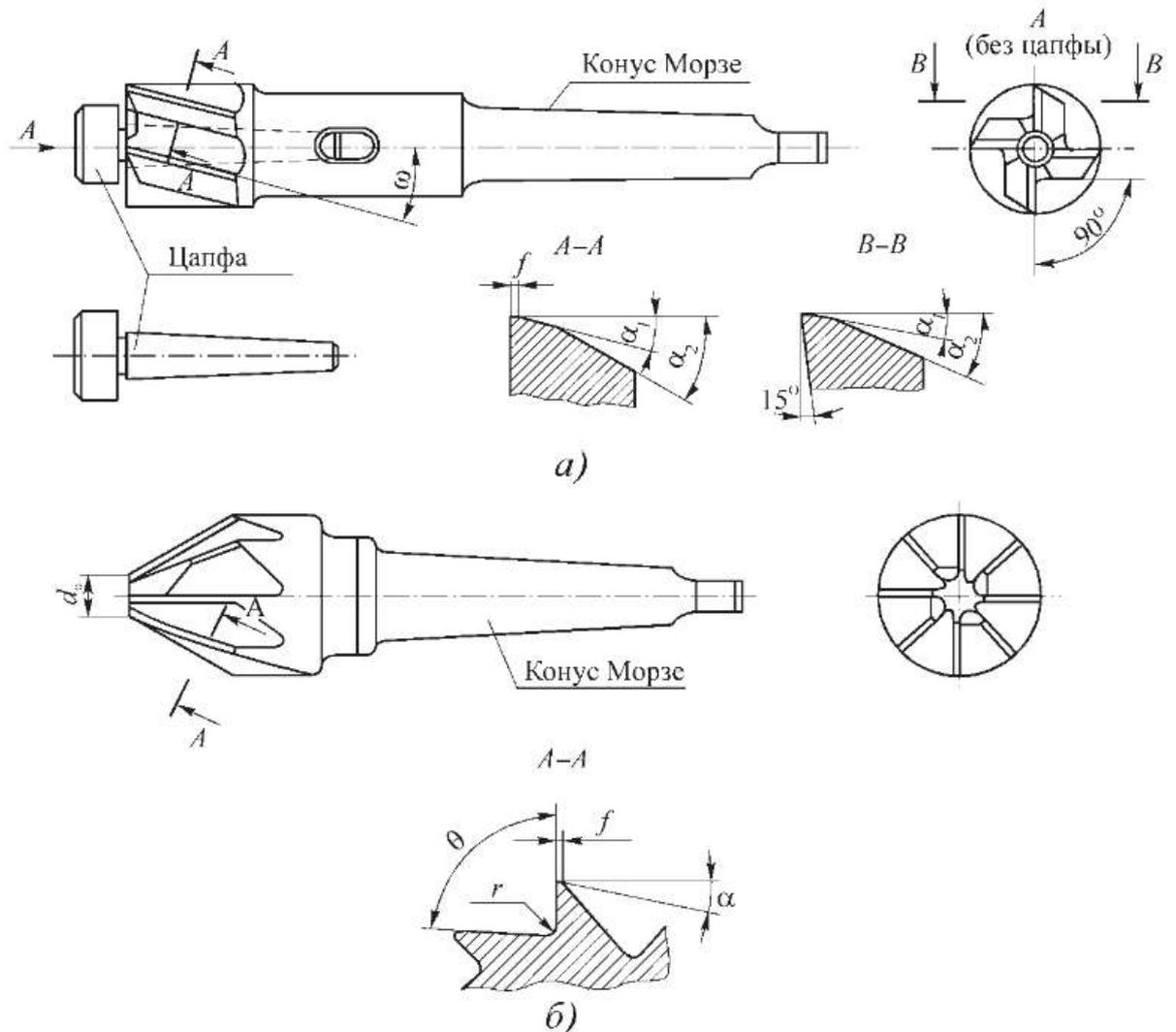


Рисунок 5 – Зенковки:

*a* – для цилиндрических углублений; *б* – для конических углублений

«На рисунке 5, а представлена зенковка со сменной цапфой, имеющая винтовые стружечные канавки ( $z = 4$ ) и применяемая для обработки цилиндрических углублений. Главные режущие кромки располагаются на торце, вспомогательные – на цилиндре. Задние поверхности – двухплоскостные с двойным задним углом  $\alpha_1 = 8^\circ$ ,  $\alpha_2 = 30^\circ$ , передний угол  $\gamma = \omega = 15^\circ$ . Зубья затачиваются остро. На вспомогательных режущих кромках затачиваются ленточки шириной  $f = 0,3$  мм и двойной задний угол  $\alpha_1 = 8^\circ$ ,  $\alpha_2 = 30^\circ$ . У зенковок для конических углублений (рис. 5, б) главные режущие кромки расположены на конической поверхности, а плоские передние поверхности расположены под углом  $\gamma = 0$ . В зависимости от диаметра ( $d = 12 \dots 60$  мм) число зубьев  $z = 4 \dots 12$ , а угол при вершине выбирается соответственно форме углубления и чаще всего берется равным  $2\varphi = 60; 75; 90; 120^\circ$ . Диаметр зенковки на торце  $d_0 = (0,15 \dots 0,18)d$ , угол впадины между зубьями  $\theta = 90 \dots 75^\circ$ . Режущие кромки затачиваются остро или с оставлением узких ленточек шириной  $f = 0,03 \dots 0,05$  мм и задних углов  $\alpha = 12^\circ$ ». [8]

Принимаем передний угол зенковки  $\gamma = 15^\circ$ ; размер ленточки  $f = 0,3$  мм.

Выполним двойное затылование зуба зенковки  $\alpha_1 = 8^\circ$ ,  $\alpha_2 = 30^\circ$ .

Примем размер угла наклона стружечной канавки  $\omega = 15^\circ$ .

Определим длину зенковки

$$L = L_p + L_H + L_K + L_{ш} + L_x,$$

где  $L_{ш}$  – длина шейки зенковки, примем  $L_{ш} = 17$  мм; [22]

$L_H$  – длина направляющей части зенковки, примем  $L_H = 9$ ; [22]

$L_p$  – длина режущей части зенковки, примем  $L_p = 5$  мм; [22]

$L_K$  – длина калибрующей части зенковки, примем  $L_K = 19$ ; [22]

$L_x$  – длина хвостовика зенковки, примем  $L_x = 45$  мм. [22]

Тогда длина всей зенковки

$$L = 5 + 9 + 19 + 17 + 45 = 105, \text{ мм.}$$

Эскиз зенковки представлен на рисунке 6.

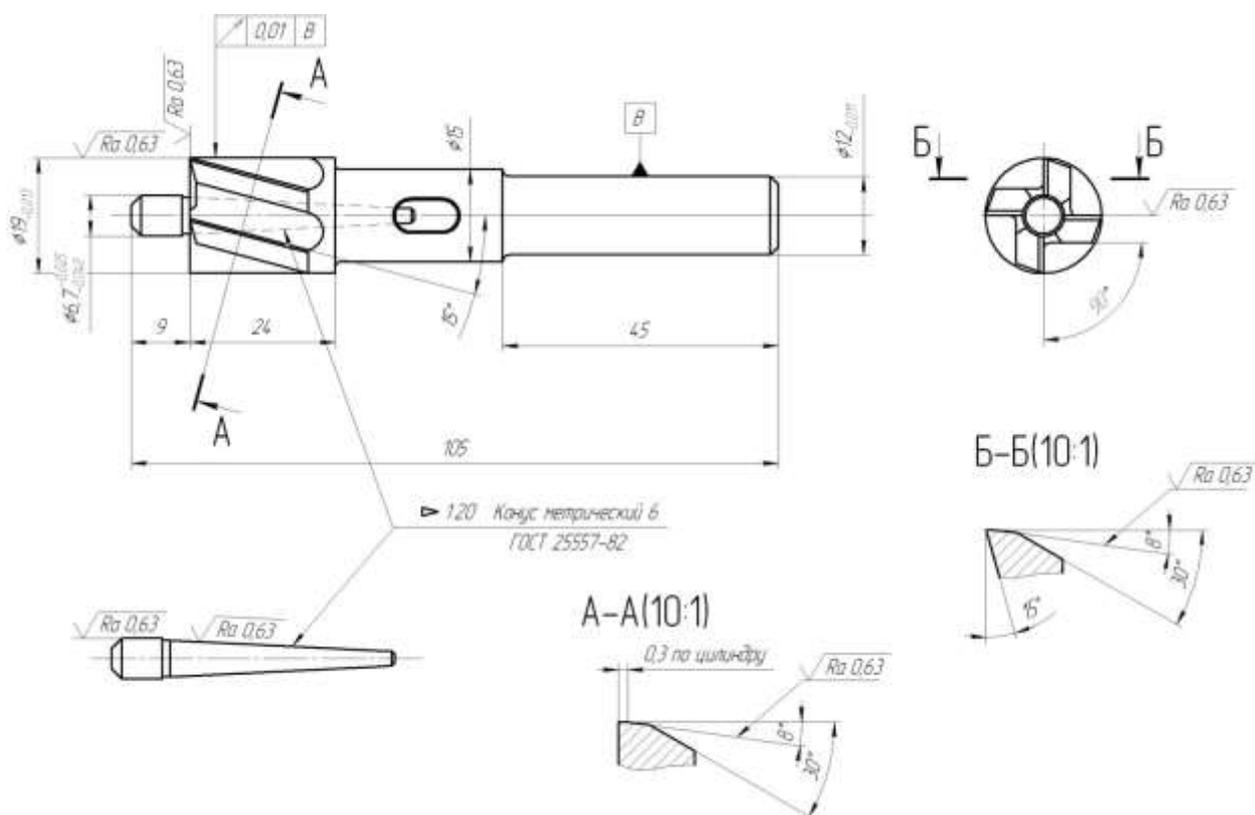


Рисунок 6 – Эскиз спроектированной зенковки

#### 4.2 Повышение износостойкости зенковки

Одним из направлений развития инструментальной промышленности в последние годы является изучение нанесения на режущий инструмент износостойких покрытий. Данное направление повышает жизненный цикл режущего инструмента, что сокращает затраты на его производство и переточку. [28]

Авторами [22] обозначено, что наилучшими химическими соединениями, уменьшающими трибологические свойства поверхностного слоя инструмента являются сульфиды и оксиды. Наиболее предпочтительными являются оксиды, так как они образуются естественным путем на граничных слоях любого материала в воздушной среде. При

определенных условиях создание оксидных пленок на поверхности детали создается поверхностное упрочнение (возникает эффект Роско). В присутствии поверхностно-активных веществ (ПАВ) снижается сопротивление сдвигу при трении. Это так называемый эффект Ребиндера.

В работе [22] исследовались образцы из твердых сплавов ВК6 и Т15К6, подверженных гидрохимической обработке. Сначала образцы подвергались гидрохимической обработке при температуре 95...100°C длительностью 40...120 минут в вододисперсной среде на базе наноразмерных оксидных порошков. Затем образцы подвергались термической обработке при температуре 130...1050°C в течение 30...60 минут. Результаты исследований [19] представлены на рисунках 7, 8.

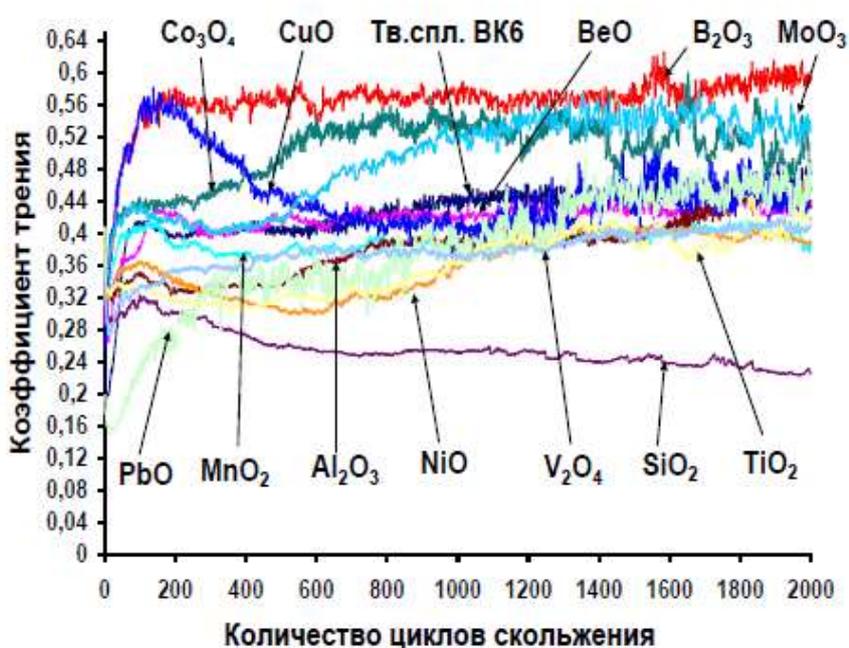


Рисунок 7 – Анализ изменения коэффициента трения образцов из твердого сплава ВК6, подверженных гидрохимической обработке

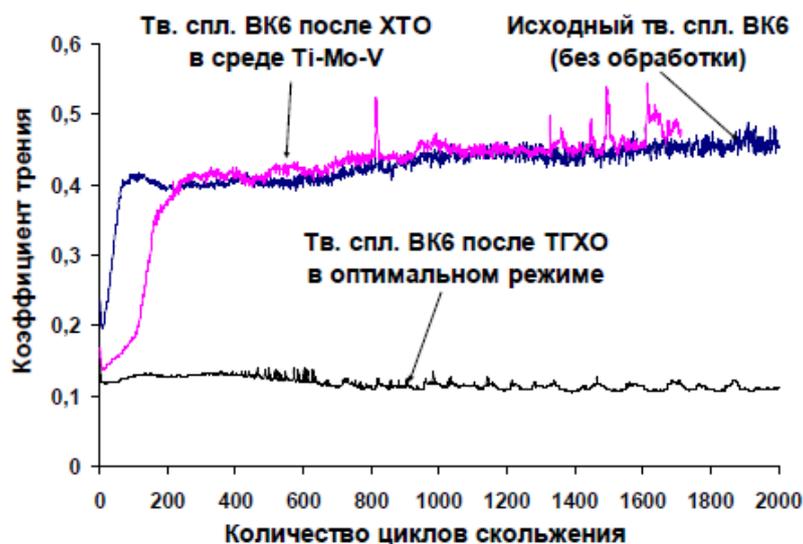


Рисунок 8 – Анализ изменения коэффициента трения образцов из твердого сплава ВК6, от длительности изнашивания до и после ТГХО

В результате проведенных исследований авторами [22] сделан вывод о том, что после проведения ТГХО полученные износостойкие покрытия имеют низкий коэффициент трения ( $f = 0,106$ ).

В таблице 2 представлены результаты рентгеновского анализа образцов из сплавов ВК6 и Т15К6.

Таблица 2 - Данные рентгеновского анализа образцов из сплавов ВК6 и Т15К6

Материал	Режим обработки	$2\theta$ , град	Фаза (линия)	$\sigma$ , МПа	Плотность дислокаций, $10^9 \text{ см}^{-2}$
ВК6	ТГХО	117,25	WC (211)	-210	1,97629
	Исх.	117,30	[25-1047]	-71	1,96186
Т15К6	ТГХО	117,26	WC (211)	-235	2,47587
	Исх.	117,30	[25-1047]	-120	1,84246

Результаты рентгеновских исследований показали, что после ТГХО количество дислокаций образцов существенно не изменяется.

Таким образом, [22] сделан вывод, что испытания режущих инструментов после ТГХО показали увеличение стойкости в 1,3...4,0 раз.

В источнике литературы [21] описывается, что при термогидрохимической обработке на поверхности инструментов из различных материалов (стали, сплавы) осаждаются антифрикционные твердосмазочные покрытия, способствующие снижению коэффициента трения инструментов об обрабатываемый материал.

«Покрyтия приобретают твердосмазочные свойства в случае, когда а) созданы из материалов со слоистой поликристаллической структурой (графит, сульфиды, др.); б) сформированы на основе наноструктурированных тугоплавких и сверхтвердых материалов; в) реализуется теория Берналла, согласно которой любое твердое тело приобретает свойства жидкости, если в кристаллической решетке содержится более 10 % вакансий; г) реализуется эффект Ребиндера, в результате чего происходит пластифицирование поверхностного слоя и создание положительного градиента механических свойств в зоне трения; д) реализуется эффект Киркиндала, который приводит к селективному растворению из сплава легирующих элементов вследствие различия их электрохимических потенциалов и формированию квазижидкой пленки, снижающей коэффициент трения и фрикционный разогрев». [21]

Авторы [21] описывают, что для формирования математической модели процесса ТГХО удобно использовать методологический подход, называемый многомерным проектным синтезом технологической системы. Результаты исследований представлены на рисунках 9 и 10.

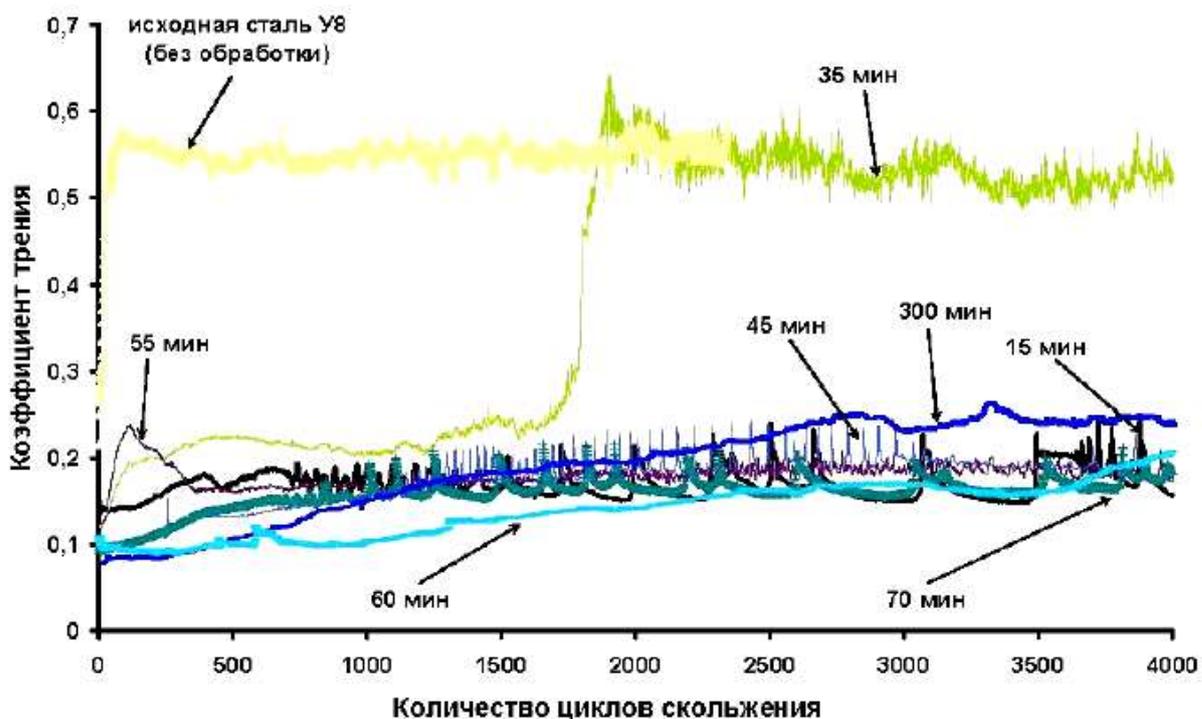


Рисунок 9 - Зависимость коэффициента трения стали У8 от параметров процесса ТГХО без отпуска при температуре 100°C

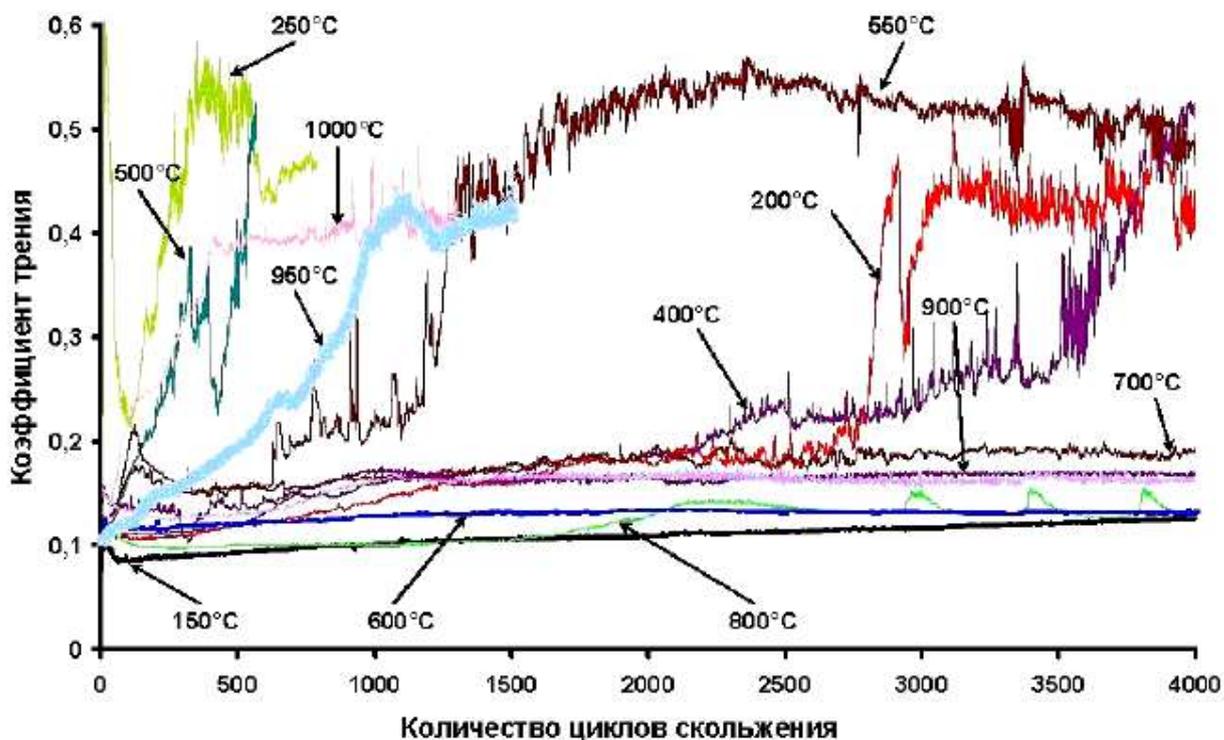


Рисунок 10 - Зависимость коэффициента трения стали У8 от параметров процесса ТГХО с отпуском при температуре 100°C

Результаты трибологических испытаний образцов из стали У8 представлены на рисунке 11.

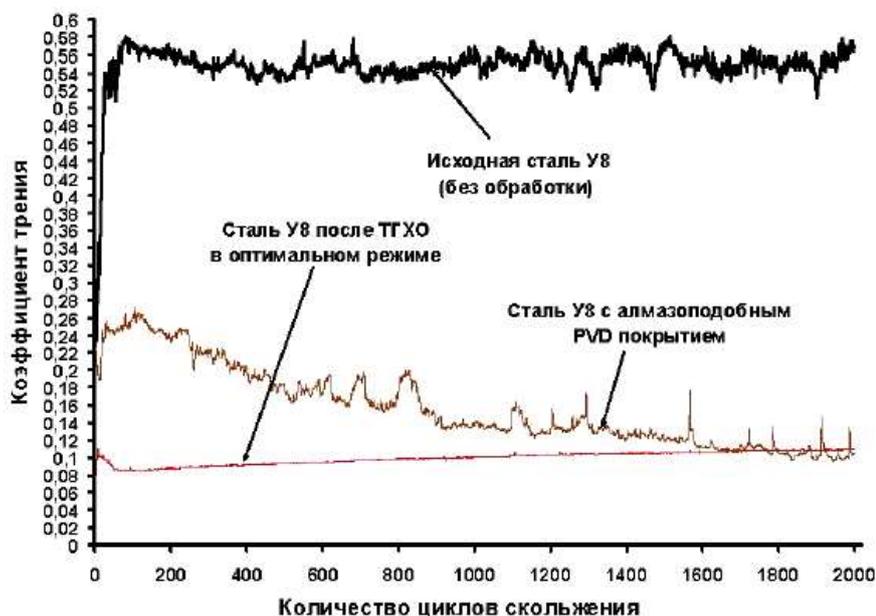


Рисунок 11 - Результаты трибологических испытаний образцов из стали У8

Из рисунка 11 видно, что образец, подвергавшийся ТГХО в среде гидрозоля *SiC* имеет наиболее низкий стабильный коэффициент трения в отличие от образцов с алмазоподобным PVD покрытием и образцов без покрытия.

Производственные испытания инструмента представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Производственные испытания инструмента с покрытием, выполненным ТГХО

Вид инструмента	Инструментальный материал	Повышение стойкости инструмента $K_w$
Ножи для обработки стекловолокна	Быстрорежущие стали	1,9...2,2
Фрезы		2...8
Долбяки		1,6...2,1
Резцы		1,3...1,9
Протяжка		2...2,5
Развертки		1,5...2,7
Зенкеры		1,8...3
Сверла		1,8...2,9
Ленточные пилы		2,5...3
Метчики		1,7...4,5

Производственные испытания обработанного ТГХО инструмента показали стабильное увеличение стойкости различного инструмента, поэтому авторами [21, 24] рекомендуется проведение данных мероприятий с целью получения экономической выгоды.

В работе [23] представлены результаты исследования обработки ТГХО твердого сплава ВК6. Результаты представлены на рисунке 12.

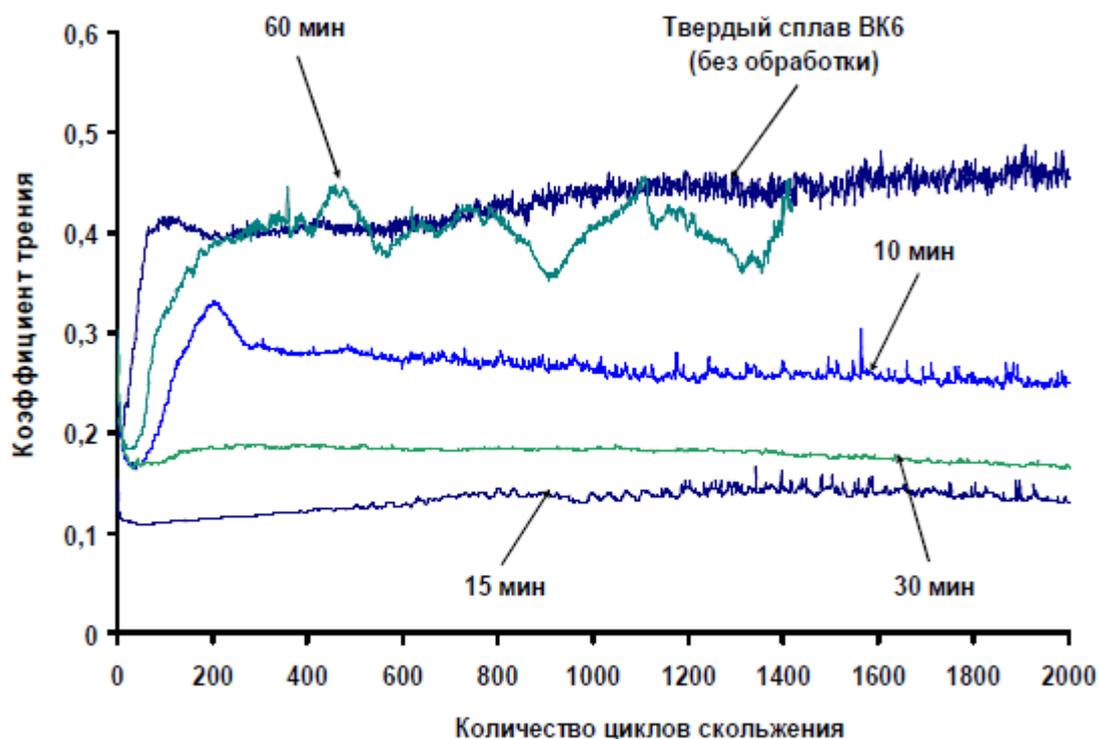


Рисунок 12 – Зависимость коэффициента трения образцов из твердого сплава ВК6 от времени обработки ТГХО при сухом трении

В результате авторами [23] сделан вывод о том, что коэффициент трения образцов из ВК6 снизился с уровня 0,4...0,44 до значения 0,106, что соответствует снижению в 3,8...4,1 раза.

В источнике [2] авторами описывается, что при ТГХО в твердых сплавах формируется два типа композиционной структуры: одна состоит из макроэлементов с различными свойствами (рисунок 13, а), а другая является нанокомпозитной (рисунок 13, б). Первая образуется при всех режимах ТГХО, а вторая – только после гидрохимического нагрева покрытия до

температуры свыше 500°C. В последней сочетаются нанокompозитные и поликомпозитные зерна. Такая структура наиболее выгодна, так как при этом стойкость инструмента наибольшая.

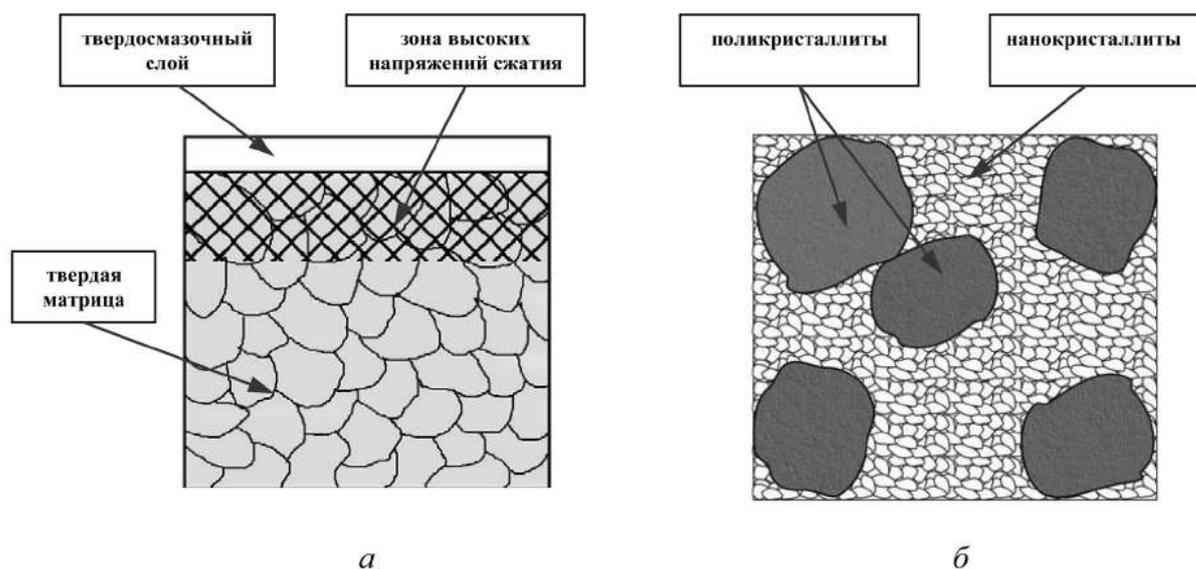


Рисунок 13 – Структуры твердых сплавов после ТГХО:  
*а* – структура, состоящая из макроэлементов с различными свойствами; *б* – нанокompозитная структура.

В заключении [2] говорится о существенном повышении (в 3,8 раза) стойкости инструмента из твердого сплава ВК6, упрочненного ТГХО на оптимальных режимах. Также указано, что данный процесс внедрен в ведущие действующие машиностроительные предприятия Белоруссии.

Авторами [20] выполнено математическое моделирование процесса ТГХО. В основу создания математической модели положен метод многомерного проектного синтеза технологической системы. Применение этого метода имеет следующие преимущества:

а) он позволяет находить оптимальный вариант, который бы обладал максимальной устойчивостью к действию дестабилизирующих процессов на производстве;

б) применение метода наглядно дает картинку протекания процессов в материале, в итоге можно выбрать области, где процессы протекают наиболее стабильно;

в) выделять области оптимальных режимов протекания процесса ТГХО.

При производстве печатных плат необходимо выполнить несколько отверстий малого диаметра [11]. Для повышения производительности процесса сверление отверстий выполняется у комплекта плат, собранных в стопку. Таким образом, мы имеем длинное отверстие малого диаметра, где

$$L/d \approx 20.$$

Сверла малого диаметра и большой длины имеют малую изгибную жесткость. Это приводит к уводу сверла и неточностью выполнения отверстия (рисунок 14). Таким образом, мы имеем проблему, которую можно решить, увеличив изгибную жесткость сверл. Это можно выполнить, применив технологии нанесения покрытия. [25]

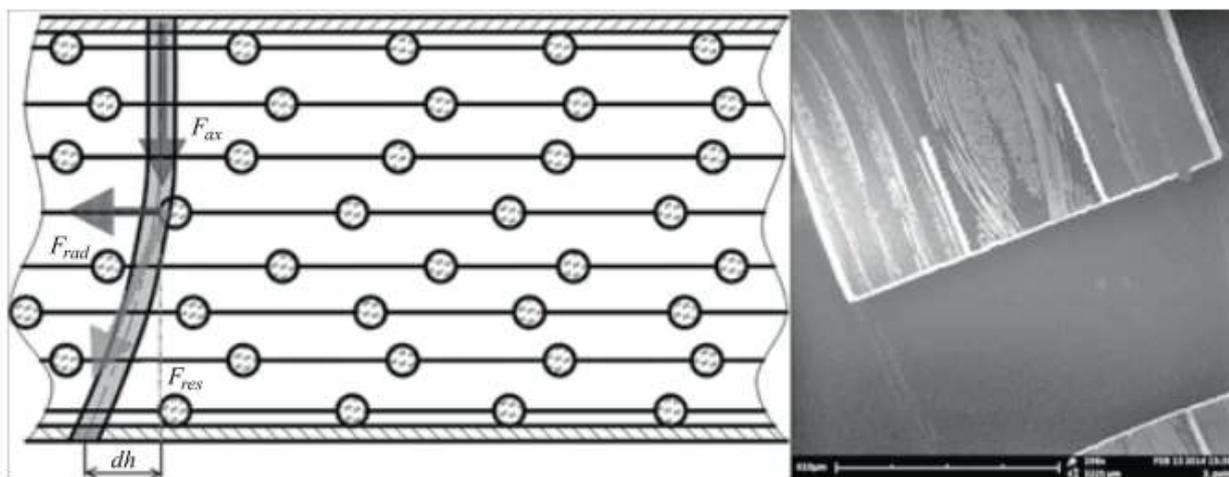


Рисунок 14 – Увод оси сверла

При нанесении покрытия на сверла в покрытии возникают поверхностные сжимающие напряжения, что положительно сказывается на жесткость системы «сверло-покрытие». [26, 27]

Результаты испытаний сверл диаметром 0,105 мм с твердосмазочным покрытием показали, что при нанесении покрытия толщиной около 2 мкм изгибная жесткость сверл повысилась на 21,6% (с 2,036 до 2,475 мН/мкм) (рисунок 15).

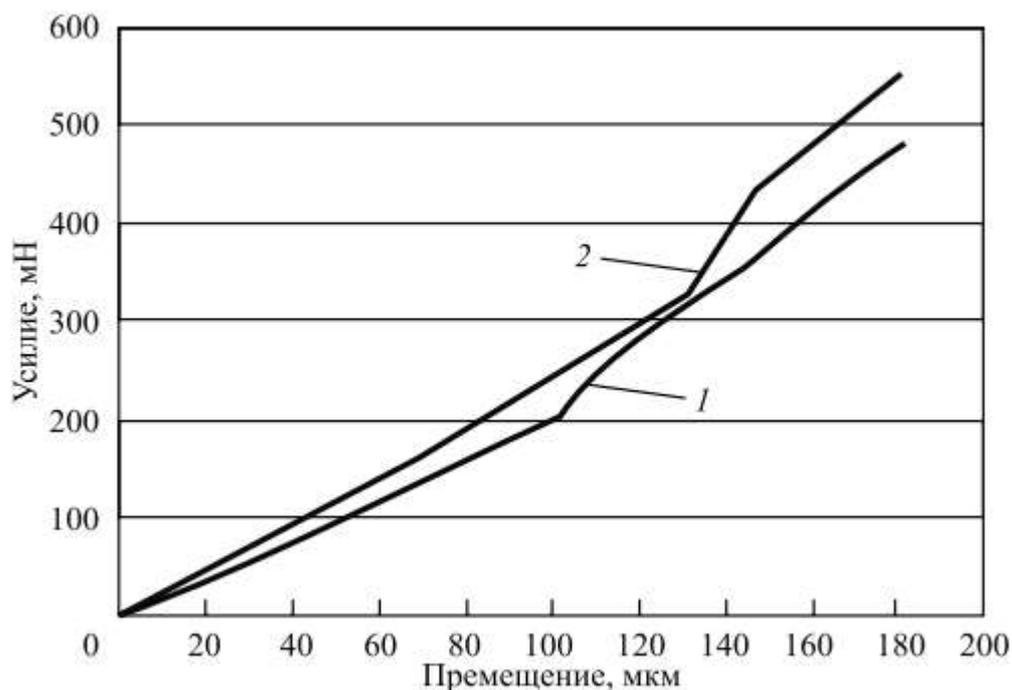


Рисунок 15 - Зависимость получаемого усилия от движения кончика сверла:  
 1 – не покрытое сверло; 2 – сверло с покрытием

Из графика видно, что у сверла с покрытием уменьшается его восприимчивость к радиальным нагрузкам, что играет положительную роль.

В итоге точность выполнения отверстий сверлами с нанесенным покрытием на 28,9% получилась выше, чем у сверла без покрытия.

В данном разделе работы нами спроектирована зенковка для обработки плоской поверхности отверстия. Конструкцией предусмотрена направляющая часть зенковки, которая имеет заборный конус для центрирования зенковки по предварительно просверленному отверстию. Отличительной особенностью спроектированной зенковки является съемная цапфа, что дает возможность использования режущей части в комплекте с другой цапфой, имеющей иной диаметр.

## **5 Безопасность и экологичность технического объекта**

В ходе реализации технологического процесса изготовления детали рабочие могут травмироваться на производстве. Этот раздел посвящен разработке предложений по техническим решениям, которые направлены на сведению к минимуму получения такого рода травм на производстве.

Тема работы: «Технологический процесс изготовления шпинделя токарно-револьверного станка центра «Формула Станок»

В процессе анализа воспользуемся методикой, указанной в источнике [3].

### **5.1 Назначение участка**

Данный участок предназначается для изготовления шпинделя токарно-револьверного станка.

### **5.2 Планировка рассматриваемого участка**

«Производственной площадью является участок, на котором располагается технологическое оборудование с местами для рабочих, расположенными возле каждой единицы оборудования». [18]

«Вспомогательной площадью является участок, на котором располагаются вспомогательные подразделения, которыми могут являться ремонтные службы, инструментальные и складские службы, лаборатории, служебно-бытовые помещения, а также межцеховые магистральные проезды». [18]

### **5.3 Состав оборудования**

Состав оборудования и его количество представлено в таблице 4.

Таблица 4 – Состав оборудования

№ п/п	Оборудование	Количество, шт
1	Центровально-подрезной станок 2А911-1	1
2	Токарный станок с ЧПУ СА500СФЗК	4
3	Горизонтально-расточной станок с поворотным столом с ЧПУ WFT11/13	3
4	Центрошлифовальный станок МВ-119	3
5	Торцекруглошлифовальный станок с ЧПУ ХШ4-104Ф20	4
6	Внутришлифовальный станок 3К228А	1
7	Шлифовально-полировальный станок 6ШП-100М	2
Итого:		18

Таблица 5 – Технологический маршрут обработки детали шпиндель

«Наименование цеха» [3]	«Номер операции» [3]	«Наименование операции» [3]	«Применяемое оборудование» [3]	«Содержание операции» [3]
Кузнечный	000	Заготовительная	ГКШП	Получение заготовки
Механический	005	Центровально-подрезная	Центровально-подрезной станок 2А911-1	Предварительное точение поверхностей: 1, 13 Сверление поверхностей: 14, 20
Механический	010	Точение предварительное	Токарный станок с ЧПУ СА500СФЗК	Предварительное точение поверхностей: 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12
Механический	015	Точение предварительное	Токарный станок с ЧПУ СА500СФЗК	Предварительное точение поверхностей: 2, 3, 4, 5
Механический	020	Растачивание предварительное	Горизонтально-расточной станок с поворотным столом с ЧПУ WFT11/13	Растачивание предварительное поверхностей: 15, 16, 17, 18, 19, 20

Продолжение таблицы 5

«Наименование цеха» [3]	«Номер операции» [3]	«Наименование операции» [3]	«Применяемое оборудование» [3]	«Содержание операции» [3]
Механический	025	Растачивание предварительное	Горизонтально-расточной станок с поворотным столом с ЧПУ WFT11/13	Растачивание предварительное поверхностей: 14 Предварительное точение поверхностей: 11, 12
Механический	030	Точение окончательное	Токарный станок с ЧПУ СА500СФЗК	Точение окончательное поверхностей: 10, 11, 12.
Механический	035	Точение окончательное	Токарный станок с ЧПУ СА500СФЗК	Точение окончательное поверхностей: 6, 7, 8, 9.
Механический	040	Точение окончательное	Токарный станок с ЧПУ СА500СФЗК	Точение окончательное поверхностей: 2, 3, 4, 5.
Механический	045	Растачивание предварительное	Горизонтально-расточной станок с поворотным столом с ЧПУ WFT11/13	Растачивание окончательное поверхностей: 14 Сверление поверхностей: 21, 22, 23, 24, 25
Термический	050	Термообработка	-	Закалка заготовки
Механический	055	Центрошлифование окончательное	Центрошлифовальный станок МВ-119	Окончательное шлифование поверхностей: 1, 13
Механический	060	Торцекруглошлифование предварительное	Торцекруглошлифовальный станок с ЧПУ ХШ4-104Ф20	Предварительное шлифование поверхностей: 11, 12
Механический	065	Внутришлифование окончательное	Внутришлифовальный станок 3К228А	Окончательное шлифование поверхности 14
Механический	070	Торцекруглошлифование предварительное	Торцекруглошлифовальный станок с ЧПУ ХШ4-104Ф20	Предварительное шлифование поверхностей: 2, 6, 8, 9
Механический	075	Торцекруглошлифование окончательное	Торцекруглошлифовальный станок с ЧПУ ХШ4-104Ф20	Окончательное шлифование поверхностей: 11, 12

Продолжение таблицы 5

Наименование цеха	Номер операции	Наименование операции	Применяемое оборудование	Содержание операции
Механический	080	Торцевкруглошлифование окончательное	Торцевкруглошлифовальный станок с ЧПУ ХШ4-104Ф20	Окончательное шлифование поверхностей: 2, 6, 8, 9
Механический	085	Полирование окончательное	Шлифовально-полировальный станок 6ШП-100М	Окончательное полирование поверхности 12
Механический	090	Полирование окончательное	Шлифовально-полировальный станок 6ШП-100М	Окончательное полирование поверхности 6, 8
Механический	095	Промывка всех поверхностей	Моечная машина	Промывка всех поверхностей
Механический	100	Контроль	-	Контроль основных параметров согласно рабочего чертежа

Поскольку были улучшены технологические операции, такие как точение окончательное 030 и Торцевкруглошлифование окончательное 075, то идентификацию по рискам будем проводить только эти операции.

#### 5.4 Анализ вредных производственных факторов

Таблица 6 – «Вредные производственные факторы» [3]

№ п/п	Технологические операции	Вредные производственные факторы	Мероприятия, которые позволят уменьшить вредные воздействия
1	Точение	1. Вылетающая стружка 2. Высокая температура стружки и обрабатываемой поверхности 3. Испарения СОТС при обработке 4. Высокий уровень шума и вибраций при работе оборудования	1. Применение защитных очков, спецодежды. Использование защитного экрана. Использование «скребкового и одношнекового транспортера для удаления стружки». [6] 2. Применение синтетических СОТС.

Продолжение таблицы 6

№ п/п	«Технологические операции» [3]	«Вредные производственные факторы» [3]	«Мероприятия, которые позволят уменьшить вредные воздействия» [3]
			3. Применение «отопительно-вентиляционного оборудования» [13]. 4.Использование акустических экранов, противозумных наушников и беруш. Применение «виброизолирующих опор». [5]
2	Шлифование	1. Вылетающая стружка 2. Высокая температура стружки и обрабатываемой поверхности 3. Испарения СОТС при обработке 4. Высокий уровень шума и вибраций при работе оборудования	1. Применение защитных очков, спецодежды. Использование защитного экрана. Использование «скребкового и одношнекового транспортера для удаления стружки». [6] 2. Применение синтетических СОТС. 2. Применение синтетических СОТС. 3. Применение «отопительно-вентиляционного оборудования» [13]. 4.Использование акустических экранов, противозумных наушников и беруш. Применение «виброизолирующих опор». [5]

В результате выполнения данного раздела был выполнен анализ вредных и опасных факторов на проектируемом производстве, предложены мероприятия для снижения воздействия опасных и вредных факторов на производстве.

## 5 Экономическая эффективность работы

Цель раздела – рассчитать технико-экономические показатели проектируемого технологического процесса и произвести сравнительный анализ с показателями базового варианта, определить экономический эффект от предложенных в проекте технических решений.

При написании бакалаврской работы было предложено изменить на операции 030 (токарная) зажимное приспособление и на 045 (расточная) инструмент. Эти изменения привели к сокращению трудоемкости выполнения этих операций, что с технологической точки зрения доказывает эффективность данного изменения. Однако, предстоит подтвердить эффективность еще и с экономической точки зрения, что и будет выполнено в рамках раздела 5 бакалаврской работы.

Все необходимые технические параметры: машинное и штучное время, модель оборудования до и после совершенствования технологического процесса, наименование инструмента и оснастки, также до и после совершенствования, применяемые на операциях 030 и 045, были взяты из предыдущих разделов бакалаврской работы. Для сбора информации по остальным параметрам, необходимым для расчета: мощность и занимаемая площадь оборудования, цены оснастки и инструмента, часовые тарифные ставки, тарифы по энергоносителям и многое другое, использовались разные источники:

- паспорт станка;
- учебно-методическое пособие по выполнению экономического раздела выпускной квалификационной работы для студентов, обучающихся по специальности 15.03.03 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»;
- данные предприятия по тарифам на энергоносители;
- сайты с ценами на оборудование, оснастку и инструмент, и другие источники.

Кроме перечисленных источников для расчета применялось программное обеспечение Microsoft Excel, с помощью которого были произведены такие расчеты как:

- «капитальные вложения по сравниваемым вариантам;
- технологическая себестоимость изменяющихся по вариантам операций;
- калькуляция себестоимости обработки детали по вариантам технологического процесса;
- приведенные затраты и выбор оптимального варианта;
- показатели экономической эффективности проектируемого варианта техники (технологии)» [10].

Далее будут представлены основные результаты проведенных расчетов. На рисунке 16, показаны величины слагаемых капитальных вложений, сумма которых для внедрения предложенных изменений составит 256075,61 руб.

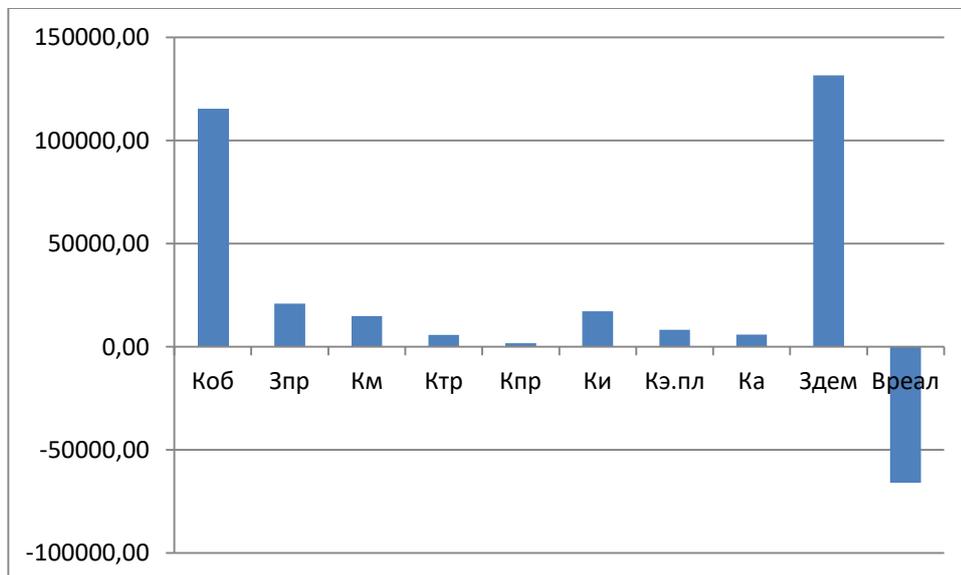


Рисунок 16 – Величина затрат, входящих в капитальные вложения, предложенного проекта, руб.

Анализируя, представленные на рисунке 16, данных, можно сделать вывод о том, что самыми капиталоемкими затраты являются:

– затраты на демонтаж заменяемого оборудования ( $Z_{ДЕМ}$ ), с величиной 52,96 % от всей величины капитальных вложений;

– прямые капитальные вложения в основное технологическое оборудование ( $K_{ОБ}$ ), величина которых составляет 46,4 % от общей суммы капитальных вложений.

Все остальные значения не превышают даже 10 %, и находятся в интервале от 0,69 % до 8,1 %. Но не смотря на их относительную не большую величину, пренебрегать этими значениями нельзя, так они отображают значения затрат, таких приобретений как инструмент ( $K_{И}$ ), эксплуатацию производственной площади ( $K_{Э.Пл}$ ), транспортные средства ( $K_{ТР}$ ), доставку и монтаж вновь вводимого оборудования ( $K_{М}$ ), затраты на проектирование ( $Z_{ПР}$ ) и другие показатели, относящиеся к эксплуатации оборудования с числовым программным управлением.

На рисунке 16 представлены параметры, из которых складывается технологическая себестоимость детали «шпиндель», по двум сравниваемым вариантам технологического процесса. Правда значение величины основных материалов за вычетом отходов не использовалось для определения вышеоговоренного параметра, т. к. в процессе совершенствования технологического процесса, способ получения заготовки не метался, поэтому остается без изменения.

Анализируя диаграмму на рисунке 16, видно, что две величины имеют примерные равные доли в общей величине технологической себестоимости, это:

– расходы на содержание и эксплуатацию оборудования, с объемом величины 55,98 % для базового варианта и 51,29 % для проектируемого варианта, от всего значения технологической себестоимости;

– заработная плата оператора ( $Z_{Пл.оп}$ ), необходимая на оплату труда рабочего, занятого на работе токарного и расточного станков, доля которой составляет 35,35 % для базового варианта и 39,71 % для проектируемого варианта, в размере технологической себестоимости.

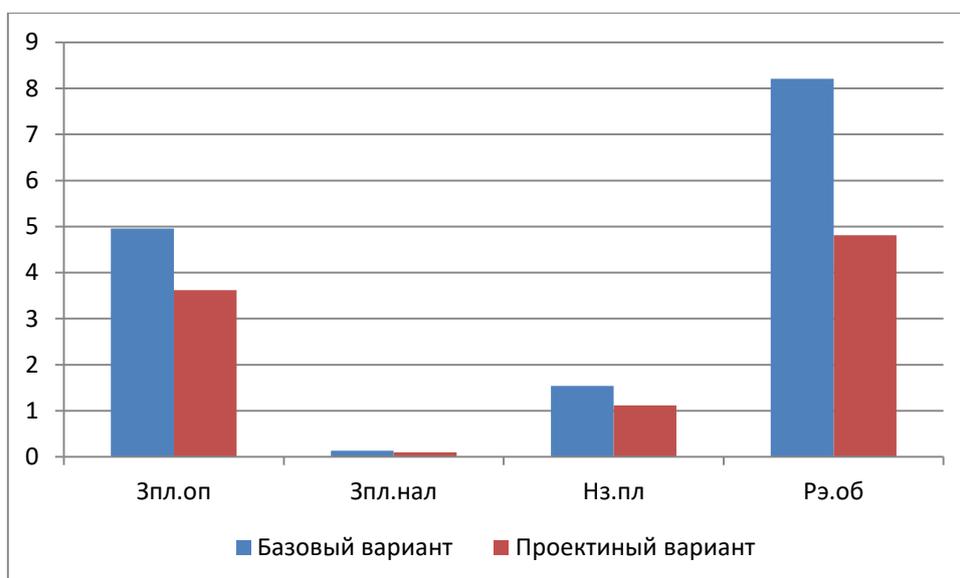


Рисунок 17 – Слагаемые технологической себестоимости изготовления детали «шпиндель», по вариантам, руб.

Данные параметры позволили сформировать значение полной себестоимости. Результаты калькуляции себестоимости обработки детали «шпиндель» по операциям 030 и 045 технологического процесса, представлены на рисунке 18.

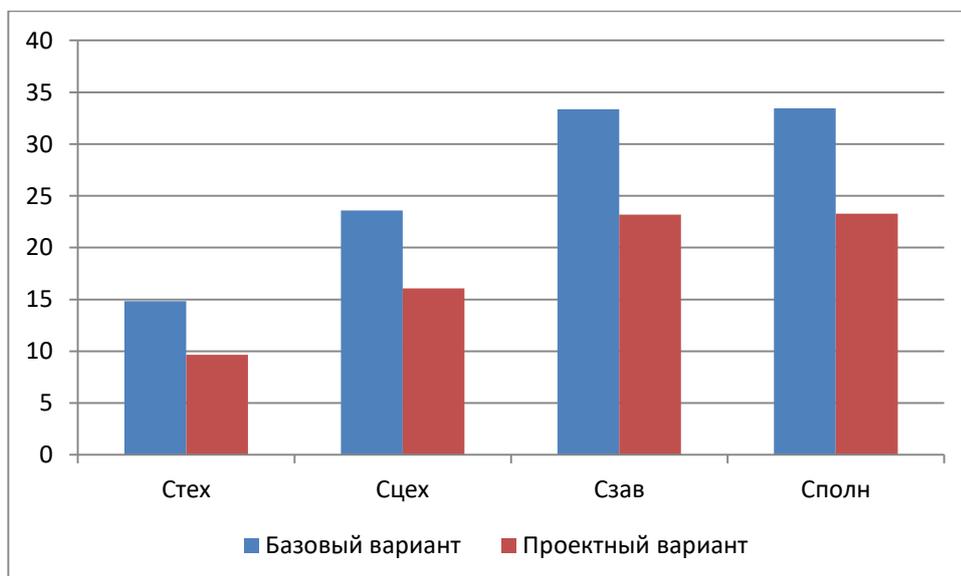


Рисунок 18 – Калькуляция себестоимости, по вариантам технологического процесса, руб.

Согласно рисунку 18, значение полной себестоимости ( $C_{\text{полн}}$ ) для базового варианта составило 34,45 рубля, а для проектируемого варианта всего лишь 23,97 рублей.

Дальнейшие расчеты показали, что капитальные вложения, в размере 263757,88 рублей, окупятся в течение 4-х лет. Такой срок является максимально допустимым для внедрения нового оборудования по совершенствованному технологическому процессу. Однако прежде чем говорить об его эффективности, проанализируем такой экономический параметр как интегральный экономический эффект или чистый дисконтируемый доход. Величина данного показателя составляет 35232,91 рубля со знаком «плюс», что доказывает эффективность предложенных мероприятий. А это значит, что на каждый вложенный рублю будет получен доход 1,16 рублей.

## Заключение

В работе проведен анализ назначения детали, выполнен анализ каждой из поверхностей, рассмотрен вопрос о химическом составе материала, из которого изготавливается шпиндель.

В работе выполнен технико-экономический расчет двух вариантов получения заготовки, определен тип производства для изготовления детали и описаны его характеристики, выполнен выбор методов обработки каждой поверхности детали, составлен план изготовления шпинделя, выполнен расчет припусков на одну из поверхностей, сделан выбор средств технологического оснащения всего техпроцесса, рассчитаны режимы резания на технологические операции, подвергающиеся модернизации.

Далее выполнено проектирование специального токарного патрона с эксцентриковыми кулачками. Это станочное приспособление имеет особенную конструкцию способную зажимать обрабатываемую заготовку, используя центробежную силу при вращении.

В работе для выполнения плоской поверхности для головок винтов разрабатывается конструкция специальной зенковки. Конструкция зенковки сделана сборной, что дает возможность беспрепятственной переточки этого инструмента, а также возможность использования режущей части в паре с другими направляющими частями при обработке других деталей.

Работа также содержит раздел анализа экологичности и безопасности, а также выполнен расчет экономической эффективности, который подтвердил правильность предлагаемых мероприятий.

## Список используемой литературы

1. Вереина Л. И. Металлообработка [Электронный ресурс] : справочник / Л.И. Вереина, М.М. Краснов, Е. И. Фрадкин ; под общ. ред. Л.И. Вереиной. - Москва : ИНФРА-М, 2013. - 320 с. - (Высшее образование. Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-004952-6.
2. Витязь П.А. Упрочнение твердого сплава методом термогидрохимической обработки / П.А. Витязь, А.А. Шматов, О.Г.Девойно // Доклады Национальной академии наук Беларуси. 2013. Т. 57. № 1. С. 113-117.
3. Горина Л.Н. Раздел выпускной квалификационной работы «Безопасность и экологичность технического объекта» : электрон. уч.- метод. пособие / Л.Н. Горина, М.И. Фесина. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2018. – 41 с.
4. ГОСТ 4543-71. Прокат из легированной конструкционной стали. Технические условия. – 39 с.
5. ГОСТ 12.1.029-80. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства и методы защиты от шума. Классификация. – 4 с.
6. ГОСТ 12.3.025-80. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Обработка металлов резанием. Требования безопасности (с Изменением N 1). – 13 с.
7. Зубарев Ю.М. Расчет и проектирование приспособлений в машиностроении : Учебник. – СПб. : Издательство «Лань», 2021. – 320 с.
8. Кожевников Д.В. Режущий инструмент : учебник для вузов / под общ. ред. С.В. Кирсанова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2014. – 520 с.
9. 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.

10. Краснопевцева И.В., Зубкова Н.В. Экономика и управление машиностроительным производством : учеб.-метод. пособие / И.В.Краснопевцева, Н.В. Зубкова. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2014. – 183 с.
11. Ланге К.Р. Поверхностно-активные вещества: синтез, свойства, анализ, применение / К.Р.Ланге; под науч. ред. Л.П. Зайченко. – СПб : Профессия, 2004. – 240 с.
12. Мальцев, В.Г. Технологическая оснастка [Электронный ресурс] : учеб. пособие / [В.Г. Мальцев и др.] ; Минобрнауки России, ОмГТУ. – Электрон. текст. Дан. (5,89 Мб). – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2019. – 134 с.
13. ПОТ Р М-004-97. Межотраслевые правила по охране труда при использовании химических веществ. – 135 с.
14. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем : Справочник-учебник. В 3-х т. Т. I : Проектирование станков / А.С. Проников, О.И. Аверьянов, Ю.С. Аполлонов и др.; под общ. ред. А.С. Проникова. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана : Машиностроение, 1994. – 444 с.
15. Режимы резания металлов: Справочник/ Ю.В. Барановский, Л.А. Брахман, А.И. Гадалевич и др. – М.: НИИТавтопром, 1995. – 456 с.
16. Решетов Д.Н. Детали и механизмы металлорежущих станков / Д.Н. Решетов и др. Т. 2. – М. : Машиностроение, 1972. – 520 с.
17. Складнова Е.Е. Конструкционные стали и сплавы. Изд. 2-е переработ. : Учебное пособие / Е.Е. Складнова, Г.А. Воробьева; Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2017. – 143 с.
18. Скворцов В.Ф. Основы технологии машиностроения : учебное пособие / В.Ф. Скворцов. – 2-е изд. – Москва : ИНФРА-М, 2020. – 330 с.
19. Чернянский П.М. Проектирование и ремонт шпиндельных узлов : учеб. пособие / П.М. Чернянский, А.Г. Схиртладзе. – М. : ИНФРА-М, 2018. – 272 с.
20. Шматов А.А. Компьютерное проектирование процесса получения на стали твердосмазочного покрытия на базе речного песка / А.А. Шматов,

А.Е.Соломянский, О.М. Колбасенко // Материаловедение. 2018. № 4(253). С. 41-48.

21. Шматов А.А. Компьютерное проектирование процесса ТГХО для получения на стали У8 твердосмазочного SiC покрытия / А.А. Шматов, О.В.Жилинский, С.И. Марочкина, А.Е. Соломянский // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. 2014. №3. С. 53-61.

22. Шматов А.А. Модифицирование твердого сплава методом ТГХО / А.А. Шматов, О.Г. Девойно, Ю.О. Лисовская // Ползуновский вестник. 2012. №1-1. С. 359-364.

23. Шматов А.А. Упрочняющий эффект термогидромеханической обработки инструментальных материалов / Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. 2014. № 11. С. 112-120.

24. Ageev E V, Altukhov A Y, Malneva Y V and Novikov A N 2018 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 327 032001

25. Gertsriken D, Mazanko V, Qiao S and Zhang C 2009 Mod. Phys. Lett. B 23 pp 2369–2376.

26. Korkmaz K, Ribalko F V and Sahin O 2013 Kovove Materialy 51 pp 283–289.

27. Loginov N Y 2017 Hardening technologies and coatings 13 pp 67-70.

28. Loginov N Y, Gulyaev V A, Kozlov A A and Voronov D Y 2019 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 537 022006.

## Приложение А

### Маршрутные карты

Дубл.																9	1
Взам.																	
Подл.																	
Разраб.	Назаров										ТГУ						
Пров.	Логинов																
Н. Контр.											Шпindelъ						
M01																	
	Код	ЕВ	МД	ЕН	Н. расх.	КИМ	Код загом.	Профиль и размеры		КД	МЗ						
M02	-	166	35.8	1		0,6	16	Ø174x942		1	44.1						
A	Уч.	РМ	Опер.	Код, наименование операции		Обозначение документа											
B	Код, наименование оборудования		СМ	Проф.	Р.	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт	Тпз.	Тшт.				
A01	XX	XX	XX	005	4211	Центровально – подрезная		ИОТ.№ 68									
B02	38	1261	0	Центровально – подрезной станок		24911-1	1	19163	322	1	1	1	142	1			
O03	Подрезать торцы (поверхность 1 и 13), выдерживая размер 936 ± 1.15; точить внутренние фаски 2x30°,																
O04	Точить поверхность 2, выдерживая размеры Ø76.1-0.3, 15±0.5.																
T05	XXXXXX Призмы опорные ГОСТ 12195-86; XXXXXX Четырёхгранная пластина T15K6 ГОСТ 19051-80 (3шт); XXXXXX Длинамер																
T06	ГОСТ12441-80; 393311ШтангенциркульШЦ-Ш-250-0.05 ГОСТ166-89; 393120 Калибр-пробка для контроля отверстий ГОСТ24851-81.																
A07	XX	XX	XX	010	4233	Токарная черновая программная		ИОТ.№ 63									
B08	38	1021	5	Токарный станок с ЧПУ мод СА500СФ3К		1	16045	322	1	1	1	142	1				
O09	Точить поверхность 2, выдерживая размеры Ø76.1-0.3; точить поверхность 3, выдерживая размер 906 ± 1.15;																
O10	точить поверхность 4, выдерживая размер Ø80.6 <sup>-0.03</sup> <sub>-0.12</sub> ; точить поверхность 5, выдерживая размер 865.5 ± 1,15;																
O11	точить поверхность 6, выдерживая размерØ96±0.175, 840.5 ±1.15; точить поверхность 7, выдерживая размер																
O12	точить поверхность 7, выдерживая размер Ø93-0.87.																
T13	396110 Патрон токарный поводковый ГОСТ 2571 – 71; 396181 Люнет неподвижный ГОСТ 15150-69; 392190 Резец сборный проходной																
МК																	

Продолжение приложения А

ГОСТ 3.1118-82 Форма 1а

Дубл.	Взам.	Побл.											9	2			
А			Уч.	РМ	Опер.	Код, наименование операции			Обозначение документа								
Б			Цех	Уч.	РМ	Опер.	СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт	Длз.	Дшт.
O01 правый Т15К6 ГОСТ 18878-82; 393311 Штангенциркуль ШЦ-Ш-250-0,05 ГОСТ 166-89; XXXXX Длинаномер ГОСТ 12441-80,																	
A02 XX XX 015 4233 Токарная черновая программная ИОГ № 63																	
B03 38 1021 5 Токарный станок с ЧПУ мод СА500СФЗК I 16045 322 I I I 142 I																	
O04 Точить поверхность 7, выдерживая размер $\varnothing 93_{-0.07}$ ; точить поверхность 8, выдерживая размер $\varnothing 96 \pm 0.175$ , $65 \pm 0.37$ ; точить																	
O05 поверхность 9, выдерживая размер $39.8 \pm 0.31$ .																	
T06 396110 Патрон токарный поводковый ГОСТ 2571 – 71; 396181 Люнет подвижный ГОСТ 15150-69; XXXXX Длинаномер ГОСТ 12441-80																	
T07 392190 Резец сборный проходной правый Т15К6 ГОСТ 18878 – 82; 393311 Штангенциркуль ШЦ-Ш-250-0,05 ГОСТ 166-89.																	
A08 XX XX 020 4221 Расточная черновая программная ИОГ № 68																	
B09 38 12610 Горизонтально-расточн. ЧПУ мод WFT11/13 I 16045 322 I I I 142 I.																	
O10 Расточить поверхность 14, выдерживая размеры $2^0 59 \pm 1^0$ , $\varnothing 61.248^{+0.3}$ ; точить поверхность 15, выдерживая размер $759 \pm 1$ ; точить																	
O11 поверхность 16, выдерживая размер $\varnothing 54^{+0.74}$ ; точить поверхность 17, выдерживая размер $729 \pm 1$ ; точить поверхность 18, выдерживая																	
O12 размер $\varnothing 52_{-1.0}^{+0.5}$ ; точить поверхность 19, выдерживая размер $40 \pm 0.31$ ;																	
O13 точить поверхность 20, выдерживая размер $\varnothing 54^{+1.0}$ .																	
T14 XXXXX Призмы опорные ГОСТ 12195-86; XXXXX Трёхгранная пластина Т15К6 ГОСТ 19045 – 80 (4 шт.);																	
T15 393120 Калибр-пробка для контроля отверстий ГОСТ 24851-81 (3 шт.).																	
T16																	
МК																	





Продолжение приложения А

ГОСТ 3.1118-82 Форма 1а

Дубл.	Взам.	Годп.											9	5	
А			Обозначение документа												
цех	Уч.	РМ	Опер.	Код, наименование операции	СМ	Проф.	Р.	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт	Плз.	Лшт.
Б			Обозначение оборудования												
А01			393410 Микрометр ГОСТ 5607 – 90.; 393120 Калибр – скоба ГОСТ 18360 – 93; XXXXX Калибр резьбовой ГОСТ 24997- 2004.												
А03			XX, XX, XX, 045 4221 Расточная чистовая программная ИОТ № 68												
Б04			38 12610 Горизонтально-расточ. ЧПУ мод WFT11/13 I 16045 322 I I I I 142 I												
О05			Сверлить 4 поверхности 21, выдерживая размеры 45 <sup>0</sup> ±30', Ø23 <sup>+0.52</sup> , Ø133.4±0.2; сверлить два отверстия, выдерживая												
О06			размер Ø17.4 <sup>+0.07</sup> , на 2-х поверхностях 22 нарезать резьбу М20х2.5; сверлить поверхность 25, выдерживая размер Ø19 <sup>+0.52</sup> ;												
О07			Сверлить поверхность 23, выдерживая размер Ø6.7 <sup>+0.038</sup> ; цековать поверхность 24, выдерживая размер 8 ± 0.18; на поверхности 23												
О08			нарезать резьбу М8х1.25; зенкеровать поверхность 14, выдерживая размеры: 2 <sup>0</sup> 59' ± 20' и Ø62.848 <sup>+0.19</sup> .												
Т09			XXXXX Призмы опорные ГОСТ 12195-86; 391290 Сверло спиральное Ø23 Р6М5 ГОСТ 2034 – 80 (4 шт.); 391690 Зенкер торцовый												
Т10			Ø19 Р6М5; 391690 Зенкер конический Р6М5 ГОСТ 21583-76; 393311 Штангенциркуль ШЦЦ-Ш-250-0,05 ГОСТ 166-89;												
Т11			393120 Калибр-пробка для контроля отверстий ГОСТ24851-81; XXXXX Калибр резьбовой ГОСТ 24997 – 2004.												
А12			XX, XX, XX, 050 5030 Термическая ИОТ № 47												
Б13			313732 Установка индукционного нагрева												
О14			Закатка с цементацией												
А15			XX, XX, XX, 055 4143 Центрошлифовальная ИОТ № 76												
Б16			38 1312 7 Центрошлифовальный станок мод. МВ-119 I 19630 322 I I I I 142 I												
МК															

Дубл.	Взам.	Подп.														
			Уч.	РМ	Опер.	Код, наименование операции	Обозначение документа						Лист			
			Код, наименование оборудования	СМ	Проф.	Р.	УТ	КР.	КОИД	ЕН	ОП	Кшт		Лпз.	Лшт.	
															9	6
О01 Шлифовать центровые фаски, выдерживая размеры $60^0 \pm 30'$ .																
Т02 397130 Шлифовальный круг 3 30' 30' 16' 24А F40 K6 V 40м/с 2кл. ГОСТ Р 52781 – 2007 ; XXXXX Специалблон.																
А04 XX. XX. XX. 060 Торцевукруглошлифовальная черновая программная ИОТ № 76																
Т05 38 1025 7 Торцевукруглошлифовальный ЧПУ ШХ4-104Ф20 I 16045 322 I I I 142 I																
О06 Шлифовать поверхность 12, выдерживая размеры $7^07'30'' \pm 20'$ , $\emptyset 106.595^{+0.054}$ , конусность 7:24; шлифовать поверхность 11,																
О07 выдерживая размер $922.2 \pm 1.15$ .																
Т08 396110 Патрон мембранный ГОСТ 3889-80; 396181 Люнет неподвижный ГОСТ 15150-69;																
Т09 397130 Шлифовальный круг I 250' 30' 76.2' 24А F40 K6 V 40м/с 2кл. ГОСТ Р 52781 – 2007;																
Т10 394650 Прибор активного контроля БВ -6060-УНВ-40 ГОСТ 8517-80.																
А11 XX. XX. XX. 065 4132 Внутришлифовальная черновая программная ИОТ № 76																
Б12 38 1025 7 Внутришлифовальный станок мод. 3К228А I 12277 322 I I I 142 I																
О13 Шлифовать поверхность 14, выдерживая размеры $\emptyset 63.348^{+0.12}$ , $2^059' \pm 10'$ .																
Т14 396110 Патрон мембранный ГОСТ 3889-80 ; 396181 Люнет неподвижный ГОСТ 15150-69;																
Т15 397130 Шлифовальный круг I 250' 30' 76.2' 24А F40 K6 V 40м/с 2кл. ГОСТ Р 52781 – 2007,																
Т16 394650 Прибор активного контроля БВ -6060-УНВ-40 ГОСТ 8517-80.																
МК																

Продолжение приложения А

ГОСТ 3.1118-82 Форма 1а

Дубл.	Взам.	Подп.											9	7	
А	цех	Уч.	РМ	Опер.	Код, наименование операции	Обозначение документа									
Б	Код, наименование оборудования				СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт	Длз.	Лшт.
А01	XX	XX	XX	070	4236 Торцевруглошлифовальная черновая программная ИОТ № 76										
Б02	38	1025	7	Торцевруглошлифовальный ЧПУ ШХ4-104Ф20	1	16045	322	1	1	1	1	142	1		
О03	Шлифовать поверхность б и 8, выдерживая размер $\varnothing 95.12 \pm 0.027$ ; шлифовать поверхность 9, выдерживая размер $39.2 \pm 0.31$ ;														
О04	Шлифовать поверхность 2, выдерживая размер $\varnothing 75.2-0.034$ .														
Т05	396110 Патрон мембранный ГОСТ3889-80; 396181 Люнет неподвижный ГОСТ 15150-69;														
Т06	397130 Шлифовальный круг 1 250' 30' 76.2' 24А F40 K6 V 40м/с 2кл. ГОСТ Р 52781 – 2007;														
Т07	394650 Прибор активного контроля БВ -6060-УНВ-40 ГОСТ 8517-80.														
А08	XX	XX	XX	075	4236 Торцевруглошлифовальная чистовая программная ИОТ № 76										
Б09	38	1025	7	Торцевруглошлифовальный ЧПУ ШХ4-104Ф20	1	16045	322	1	1	1	1	142	1		
О10	Шлифовать поверхность 12, выдерживая размеры: $7^{\circ}07'30'' \pm 10'$ , $\varnothing 106.395^{+0.022}$ , конусность 7:24; шлифовать поверхность 11, выдерживая размер $922 \pm 1.15$ .														
Т12	396110 Патрон мембранный ГОСТ3889-80; 396181 Люнет неподвижный ГОСТ 15150-69;														
Т13	397130 Шлифовальный круг 1 250' 30' 76.2' 24А F25 K6 V 40м/с 2кл. ГОСТ Р 52781 – 2007;														
Т14	394650 Прибор активного контроля БВ -6060-УНВ-40 ГОСТ 8517-80.														
А15	XX	XX	XX	080	4236 Торцевруглошлифовальная чистовая программная ИОТ № 76										
Б16	38	1025	7	Торцевруглошлифовальный ЧПУ ШХ4-104Ф20	1	16045	322	1	1	1	1	142	1		
МК															

Продолжение приложения А

ГОСТ 3.1118-82 Форма 1а

Дубл. Взам. Глоб.											9	8			
А	Уч.	РМ	Опер.	Код, наименование операции	Обозначение документа										
Б	Код, наименование оборудования				СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт	Плз.	Лшт.
О01	Шлифовать поверхность б и д, выдерживая размер $\varnothing 95.02 \pm 0.011$ ; шлифовать поверхность 9, выдерживая размер $39 \pm 0.31$ ;														
О02	шлифовать поверхность 2, выдерживая размер $\varnothing 75.0.02$ .														
Т03	396110 Патрон мембранный ГОСТ3889-80; 396181 Люнет неподвижный ГОСТ 15150-69;														
Т04	397130 Шлифовальный круг 1 250' 30' 76.2' 24А F25 K6 V 40м/с 2кл. ГОСТ Р 52781 – 2007;														
Т05	394650 Прибор активного контроля БВ -6060-УНВ-40 ГОСТ 8517-80.														
А06	XX	XX	85	4196 Полировальная	№ 79										
Б07	38	1337	3	Шлифовально – полировальный бШП – 100М	1	16799	322	1	1	1	1	142	1		
О08	Полировать поверхность 12, выдерживая размеры: $7^{\circ}07'30'' \pm 5'$ , $\varnothing 106.375^{+0.01}$ , конусность 7:24.														
Т09	396110 Патрон мембранный ГОСТ3889-80; 396181 Люнет неподвижный ГОСТ 15150-69;														
Т10	397130 Лепестковый полировальный круг 300' 8' 76.2' 25АМ28КВ ГОСТ 51967 – 2003;														
Т11	394650 Прибор активного контроля БВ -6060-УНВ-40 ГОСТ 8517-80.														
А12	XX	XX	90	4196 Полировальная	№ 79										
Б13	38	1337	3	Шлифовально – полировальный бШП – 100М	1	16799	322	1	1	1	1	142	1		
О14	Полировать поверхности б и д, выдерживая размер $\varnothing 95 \pm 0.005$ .														
Т15	396110 Патрон мембранный ГОСТ3889-80; 396181 Люнет неподвижный ГОСТ 15150-69;														
Т16	397130 Лепестковый полировальный круг 300' 8' 76.2' 25АМ28КВ ГОСТ 51967 – 2003;														
МК															





Продолжение приложения Б

ГЭС 170-92														Серия 1		
Добыч.																
Взвеш.																
Пошт.																Листов 1 / Лист
Разработ	Исполн	Кафедра ОТМП														
Проверил	Лазичев															
Исполн.		Шпindelь														
Наименование операции																
Материал	Твердость	EB	МД	Профиль и размеры		МЗ	КОИД									
Токарная обработка с ЧПУ		866	35,8	φ17%×9%2		44,1	1									
Обозначение, устройство ЧПУ	То	Тн	Тнх	Тнх	Тнх											
Токарный с ЧПУ CAS00CFЖ	112	0,39	0,0	1,51	5%	Угловой										
R	0,0125															
0,01																
Т,01	1. Установить и снять заготовку															
0,05	396110.XXXX Патрон лободковый; 396181.XXXX Локет неподвижный.															
0,1	Точить канавку, выдерживая размеры 4±0,15, φ104 <sup>-0,087</sup> ; точить поверхность 12, выдерживая размеры 7 <sup>0</sup> 730±40, φ106,895 <sup>+0,087</sup> ;															
0,2	канусность 7-24; точить поверхность 11, выдерживая размер 922,5±1,15; точить поверхность 10, выдерживая размер φ170 <sub>-10</sub> .															
Т,05	392190.XXXX Резец сборный проходной правый с пластинкой Т15К6 ГОСТ 18878-73; ШЦ-III-250-0,05 ГОСТ 166-89.															
Т,07	XXXXXX.XXXX Длинномер ГОСТ 12441-80; XXXXXX.XXXX Угломер ГОСТ 5378-88; Калибр-скоба ГОСТ 183260-93.															
0,05		1	85	100	0,3	1	0,2	315	162,8							
0,1																
0,2																
0,5																
1																
2																
OK																