

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
Институт машиностроения, материалов и транспорта

Работа допущена к защите

Директор высшей школы машиностроения

\_\_\_\_\_ Любомудров С.А.

«\_\_»\_\_\_\_\_2021 г.

## **ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА МАГИСТРА**

### **МОДЕРНИЗАЦИЯ ЗУБОЗАКРУГЛЯЮЩЕГО СТАНКА 5Н582 С ЦЕЛЮ РАШИРЕНИЯ ЕГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ**

по направлению 15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение  
машиностроительных производств  
по образовательной программе  
15.04.05\_01 «Технология машиностроения»

Выполнил

студент гр. 3341505/90101

\_\_\_\_\_ Савинов З.С..

Руководитель

к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ Макарова Т.А.

Консультант

по нормоконтролю

\_\_\_\_\_

Санкт-Петербург

2021 г.

## **РЕФЕРАТ**

На 48 с., 23 рисунка, 5 таблиц, 13 приложений.

**ЗУБООБРАБАТЫВАЮЩИЙ СТАНОК, ЗУБОЗАКРУГЛЯЮЩИЙ СТАНОК 5N582, СТАНОК С ЧПУ, ЗУБЧАТОЕ КОЛЕСО, КУЛАЧКОВЫЙ МЕХАНИЗМ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНАСТКА.**

В работе описан процесс модернизации зубозакругляющего станка 5N582 с целью расширения его технологических возможностей. В первой части проанализированы достоинства и недостатки имеющихся образцов аналогичного оборудования. Вторая часть посвящена расчетам и проектированию узлов станка, предназначенных непосредственно для обработки заготовок (кулачковый механизм), а так же подвода инструмента в рабочую зону станка. Далее рассмотрен процесс проектирования технологической оснастки для обработки заготовок. В четвертой части представлен технологический процесс изготовления одной из деталей технологической оснастки. В заключительной части проанализированы результаты работы и сформулированы выводы по работе.

## **THE ABSTRACT**

48 pages, 23 pictures, 5 tables, 13 applications.

**GEAR-WORKING MACHINE, GEAR-ROUNDING MACHINE 5N582, CNC MACHINE, GEAR WHEEL, CAM MECHANISM, TECHNOLOGICAL EQUIPMENT.**

The paper describes the process of modernization of the tooth-rounding machine 5N582 in order to expand its technological capabilities. In the first part, the advantages and disadvantages of existing samples of similar equipment are analyzed. The second part is devoted to the calculations and design of machine components intended directly for processing workpieces (cam mechanism), as well as the supply of tools to the working area of the machine. Next, the process of designing technological equipment for processing workpieces is considered. In the fourth part, the technological process of manufacturing one of the parts of the technological equipment is presented. In the

final part, the results of the work are analyzed and conclusions on the work are formulated.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	7
1. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩЕГО ЗУБООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ .....	8
1.1 Классификация зубообрабатывающего оборудования .....	8
1.2 Анализ оборудования для обработки торцов зубчатых колес и формулирование цели работы .....	9
1.3 Характеристики станка 5Н582 .....	12
1.3.1 Техническая характеристика .....	12
1.4 Конструкция станка .....	13
1.5 Формулировка задач работы .....	14
2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ КУЛАЧКОВОГО МЕХАНИЗМА И УЗЛОВ ПОДВОДА ИНСТРУМЕНТА В ЗОНУ ОБРАБОТКИ .....	14
2.1 Постановка задачи .....	14
2.2 Проектирование кулачка .....	17
2.3 Модернизация привода подвода стойки .....	21
2.4 Механизм подъема суппорта .....	22
2.5 Краткое описание кинематики станка .....	25
2.5.1 Цепь привода кулака и деления .....	25
2.5.2 Цепь привода шпинделя изделия .....	26
2.5.3 Цепь инструмента .....	26
3. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ .....	26
3.1 Анализ заготовок, обрабатываемых на станке .....	26

3.2	Проектирование технологической оснастки .....	28
3.2.1	Проектирование основного комплекта оснастки.....	28
3.2.2	Проектирование оснастки для первой детали – «Муфта».....	29
3.2.3	Проектирование оснастки для второй детали – «Муфта».....	29
3.2.4	Проектирование оснастки для третьей детали – «Шестерня».....	30
3.2.5	Проектирование оснастки для четвертой детали – «Зубчатка».....	31
3.2.6	Проектирование оснастки для пятой детали – «Шестерня».....	32
3.2.7	Расчет режимов резания для операции зубозакругления .....	35
3.3	Расчет сил резания при фрезеровании .....	36
4.	ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ «ЦАНГА» .....	39
4.1	Функциональное назначение детали в конструкции механизма.....	39
4.2	Функциональное назначение поверхностей детали.....	39
4.3	Оценка соответствия норм и параметров точности функциональному назначению поверхностей детали .....	40
4.4	Выявление комплектов конструкторских основных и вспомогательных баз.	40
4.5	Анализ технологичности детали .....	41
4.6	Формулировка основных технологических задач.....	41
4.6.1	Точность размеров .....	41
4.6.2	Допуск биения.....	41
4.6.3	Физико-механические свойства материала и прочие технические требования .....	41
4.6.4	Шероховатости поверхностей.....	42
4.7	Анализ метода получения заготовки .....	43

4.8	Выявление комплекта черновых баз заготовки исходя из метода формообразования и технических требований чертежа детали. ....	43
4.9	Разбиение маршрута технологического процесса на стадии и этапы обработки.....	44
4.9.1	Этап заготовительный .....	44
4.9.2	Этап черновой обработки.....	44
4.9.3	Этап термической обработки .....	44
4.9.4	Этап чистовой обработки.....	45
4.9.5	Этап слесарной обработки .....	45
4.9.6	Этап окончательного контроля .....	45
5.	АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТА МОДЕРНИЗАЦИИ СТАНКА 5Н582 .....	45
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	49
	СПИСОК ИСПОЛЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	50
	Приложение 1. – Эскиз кулачка .....	53
	Приложение 2 – Основной комплект оснастки .....	54
	Приложение 3 – Комплект оснастки для детали «Муфта».....	55
	Приложение 4 – Комплект оснастки для детали «Муфта».....	56
	Приложение 5 – Комплект оснастки для детали «Муфта».....	57
	Приложение 6 – Комплект оснастки для детали «Муфта».....	58
	Приложение 7 – Комплект оснастки для детали «Муфта».....	59
	Приложение 8 - Спецификация к комплекту оснастки для детали «Шестерня».....	60
	Приложение 9 – Чертеж детали «Цанга».....	61

## **ВВЕДЕНИЕ**

В данной работе подробно рассмотрен процесс модернизации зубозакругляющего станка 5Н582 с целью расширения его технологических возможностей.

В первой части работы дана классификация и проведен анализ зубообрабатывающего оборудования. Выявлены достоинства и недостатки каждого отдельного образца оборудования, а также сформулированы цель и задачи работы.

Далее, подробно рассмотрены процессы расчета и проектирования профиля кулачка для кулачкового механизма. В этом же разделе приведен процесс расчета и проектирования узлов, необходимых для осуществления подвода и отвода инструмента в рабочую зону станка.

В третьей части представлен процесс проектирования технологической оснастки для всей номенклатуры заготовок, обрабатываемых на данном станке. Произведен расчет сил резания на операции зубозакругления, а также необходимого усилия зажима заготовки на примере конкретной детали.

В четвертой части внимание уделено проектированию технологического процесса изготовления детали «Цанга», входящей в комплект оснастки для одной из заготовок. Сформулированы технологические задачи и составлен маршрут изготовления детали.

В заключительной части работы проведен анализ результатов модернизации, и сформулированы выводы по работе.

# 1. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩЕГО ЗУБООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

## 1.1 Классификация зубообрабатывающего оборудования

Большинство механизмов нынешнего времени работает посредством зубчатых передач. Зубчатая передача включает в себя два и более зубчатых колес, сопряженных вместе. Такого рода передачи имеют большой (порядка 98%) коэффициент полезного действия (КПД). Зубчатые колеса используются в достаточно сложных механизмах, таких, как коробки переключения передач (КПП) автомобилей, коробки скоростей, редукторы и мультипликаторы, станочное оборудование, и т.д.

Большая часть из перечисленных механизмов имеет возможность менять свои передаточные параметры посредством переключения зубчатых передач. Например, для переключения скорости в автомобиле необходимо вывести из зацепления полумуфту с колесом в КПП и ввести в зацепление с другим. Это происходит за счет физического перемещения полумуфты по валу. Переключение влечет за собой повышенные нагрузки на механизм. Для облегчения процесса переключения передач существует целый класс зубообрабатывающего оборудования, спроектированного для обработки (снятия фаски или закругления) торцов зубьев зубчатого колеса. Процесс обработки торца зуба зубчатого колеса показан на рис. 1.



Рис 1. – Процесс обработки торца зубчатого колеса



Обработка зубчатых колес – достаточно дорогой и технически сложный процесс. Зубообрабатывающее оборудование, выпускаемое отечественным производителем имеет 5 номер группы. В настоящее время существует 9 типов станков зубообрабатывающей группы, позволяющих получать зубчатые колеса .

- Зубострогальные для цилиндрически зубчатых колес -
- Зуборезные для конических зубчатых колес
- Зубофрезерные для цилиндрических колес и шлицевых валиков
- Зубофрезерные для червячных колес
- Для обработки торцов зубьев колес
- Резьбофрезерные
- Зубоотделочные
- Зубо- и резьбошлифовальные
- Разные зубо- и резьбошлифовальные

В данной работе особое внимание будет уделено 5 группе станков – станки для обработки торцов зубьев колес.

## **1.2 Анализ оборудования для обработки торцов зубчатых колес и формулирование цели работы**

Существуют модели зарубежных станков, удовлетворяющих потребностям производства заказчика. Например, 2-х осевые станки мод. YW9325 с ЧПУ Siemens 802D предназначены для снятия фаски передач дискового типа [4], углы снятия фаски: 80-120°. Но в связи с введенными экономическими санкциями, закупка данного оборудования не представляется возможным.

Существуют отечественные зубозакругляющие станки, такие, как 5Н530, 5Е580, 5Н582, ВС-82 и т.д. Но их заводские характеристики не удовлетворяют поставленному техническому заданию, в связи с чем возможность их использования в заводском виде так же исключена.

Также, на рынке представлены некоторые прочие образцы иностранных производителей (см. табл. 1), приобретение которых тоже не подлежит

рассмотрению, т.к. специфика предприятия не позволяют приобретать зарубежное оборудование для данного проекта.

Таблица 1 – Сравнительный анализ технологических возможностей существующего оборудования

№ п/п	Модель	Страна производитель	Основные параметры	Основной недостаток
1	YW 9325	Китай	Максимальный обрабатываемый диаметр - 250мм Максимальный модуль - 5 мм	-Невозможность обработки колес внутреннего зацепления
2	YK9255	Китай	Максимальный обрабатываемый диаметр - 550мм, минимальный - 200 Максимальный модуль - 13 мм	-Недостаточные технологические возможности: невозможность обработки колес диаметром менее 200
3	HURTH ZK 10	Германия	Максимальный обрабатываемый диаметр - 350мм, Минимальный модуль - 6 мм	-Недостаточные технологические возможности: невозможность обработки колес с модулем менее 6 мм
4	SAMPUTENSILI SM2TA	США	Максимальный обрабатываемый диаметр – 10"мм, минимальный – 5"	-Недостаточные технологические возможности: невозможность обработки колес диаметром менее 5"

№ п/п	Модель	Страна производитель	Основные параметры	Основной недостаток
				-Сложность наладки и эксплуатации
5	PRAWEMA SYNCHROFORM W2 - 1	Германия	Обрабатываемые диаметры 30-400 мм, максимальный обрабатываемый модуль – 5мм	-Высокая стоимость -Уникальная система ЧПУ (Н&К), отсутствие русского языка на панели оператора
6	CROSS COMPANY 65	США	Максимальный обрабатываемый диаметр – 10"мм, минимальный – 5"	-Недостаточные технологические возможности: невозможность обработки колес диаметром менее 5" -Сложность наладки и эксплуатации

Как показал анализ технологических возможностей зубозакругляющего оборудования, оптимальным решением проблемы является модернизация отечественного станка 5Н582.

Таким образом, целью работы является модернизация зубозакругляющего станка с целью расширения его технологических возможностей. После модернизации, станок должен иметь возможность обработки торцов зубьев зубчатых колес под углом 120 градусов, иметь класс точности не ниже «Н» по ГОСТ 8-82, а также перейти в класс «полуавтомат», т.е. весь цикл работы, за

исключением установки и съема заготовки, а также включения цикла – выполняются станком автоматически

### 1.3 Характеристики станка 5Н582

#### 1.3.1 Техническая характеристика

Техническая характеристика станка 5Н582 (основные параметры и размеры согласно ГОСТ) до модернизации представлена в таблице 2.

Таблица 2. – Техническая характеристика станка 5Н582.

Наименование параметров	Данные
1. Класса точности по ГОСТ 8-82	Н
2. Показатели заготовки, обрабатываемой на полуавтомате:	
2.1. Предельные размеры обрабатываемой зубчатой поверхности:	
2.1.1. Внешнее зацепление, наружный диаметр, мм	
Наибольшее	500
наименьшее	100
Наибольший обрабатываемый модуль, мм	8
Наибольшая высота обрабатываемых колес, мм	140
2.1.2. Внутреннее зацепление внутренний диаметр, мм	
Наибольшее	250
наименьшее	100
Наибольший обрабатываемый модуль, мм	6
Число зубьев обрабатываемого колеса	
Наибольшее	120
наименьшее	10
Наименование параметров	Данные
Угол наклона вершины закругления типа «домик», град	100...120
3. Показатели инструмента, устанавливаемого на полуавтомате.	
3.1. Наибольшие размеры инструмента, мм	
Диаметр	18
Длина	70
4. Показатели шпинделя инструмента полуавтомата	
4.1. Диаметр сквозного отверстия, мм	30Н7

Наименование параметров	Данные
Размер внутреннего конуса	20°
4.2. Наружный диаметр, мм	59
Размер наружного конуса	1:10
5. Показатели рабочей поверхности шпинделя изделия	
5.1. Размер посадочного отверстия, мм	125H7

## 1.4 Конструкция станка

Общий вид станка представлен на рисунке 2

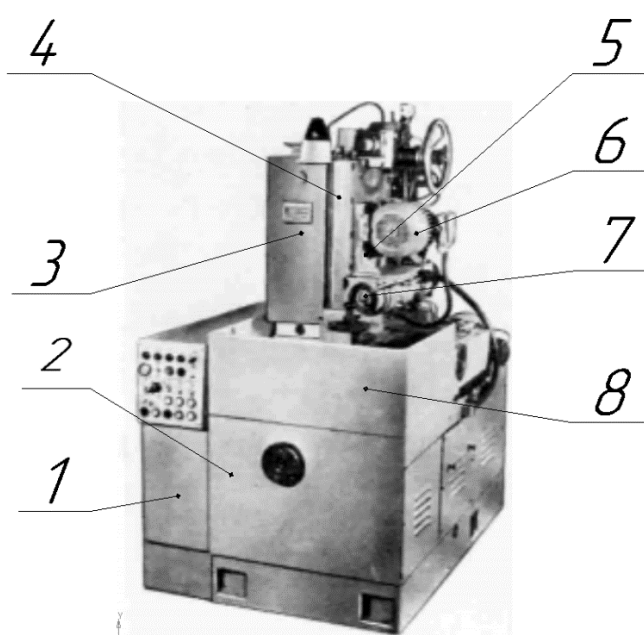


Рис 2. – Общий вид станка

Станок состоит из станины 1, выполненной в виде коробчатого полого литья с пространством для размещения гидростанции 2, суппортной стойки 3, осуществляющей осевой подвод инструмента, суппортной каретки 4, осуществляющей подъем и опускание инструмента в вертикальной оси посредством кулачкового механизма, расположенного между станиной и суппортом, и суппорта 5, расположенного на суппортной каретке, включающего в себя привод главного движения 6 и шпиндель инструмента 7, а так же ограждения 8, защищающего от стружки и СОЖ.

## **1.5 Формулировка задач работы**

Исходя из конструкции станка, для достижения поставленной цели необходима замена некоторых узлов станка, таких как кулачковый механизм, привод подвода стойки и механизм подвода инструмента и его вывода из рабочей зоны. Также, в комплект поставки должен входить комплект технологической оснастки, необходимой для обработки заготовок.

В связи с описанной выше целью работы, имеющимися техническими характеристиками станка, а также недостатками базовой модели станка и требуемым результатом можно сформулировать задачи, решаемые в данной работе:

- Проектирование профиля кулачка для получения фаски в 120 градусов на торце зуба заготовки.
- Модернизация механизма подвода суппортной стойки в рабочую зону путем замены ее на шарико-винтовую пару.
- Модернизация кинематической схемы станка путем установки электродвигателей, позволяющих использовать систему ЧПУ.
- Проектирование унифицированной технологической оснастки для обработки требуемой номенклатуры заготовок
- Разработка механизма вывода инструмента из рабочей зоны станка после окончания обработки
- Разработка технологического процесса изготовления деталей технологической оснастки.

## **2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ КУЛАЧКОВОГО МЕХАНИЗМА И УЗЛОВ ПОДВОДА ИНСТРУМЕНТА В ЗОНУ ОБРАБОТКИ**

### **2.1 Постановка задачи**

После операции на зубозакругляющих станках изготовленные профили торца зуба не позволили зубчатым колесам плавно входить в зацепления на требуемых высоких оборотах механизма.

Имеющееся на производстве оборудование позволяет получать радиус на торце зуба, что в корне не удовлетворяет условиям эксплуатации механизмов. Такая форма зуба, в частном случае, не позволяет входить в зацепление зубчатым колесам на высоких оборотах. При соударении торцов колес происходит утыкание, что ведет к заклиниванию передачи, Вариантом устранения задержки зацепления является повторная попытка введения колес в зацепление, что ведет к еще одному удару. Каждый такой удар ведет к появлению микротрещин внутри материала зубчатых колес, что, в свою очередь, приводит к выкрашиванию рабочей поверхности зубьев зубчатых колес вплоть до полного износа зубьев. Такой режим эксплуатации техники является неприемлемым ни при каких условиях.

Известно, что тяжело нагруженная техника имеет невысокий запас мотор-часов, и, как следствие, частое техническое обслуживание с заменой отдельных элементов механики, либо целых узлов.

Увеличение срока службы каждого отдельного элемента механики, механизма КПП в частности, увеличивает срок службы тяжело нагруженной техники в целом. Так же уменьшает финансовые затраты на ее обслуживание путем уменьшения объемов производства запасных частей, выпускаемых на единицу техники ежемесячно в обязательном порядке.

Так же, улучшаются общие эксплуатационные характеристики, от плавности и безотказности работы механизмов машины, до более низких показателей шумовых характеристик при любых режимах эксплуатации.

Примеры зубозакругления на оборудовании, предназначенном для закругления торцов зубьев показаны на рисунках 3 и 4.

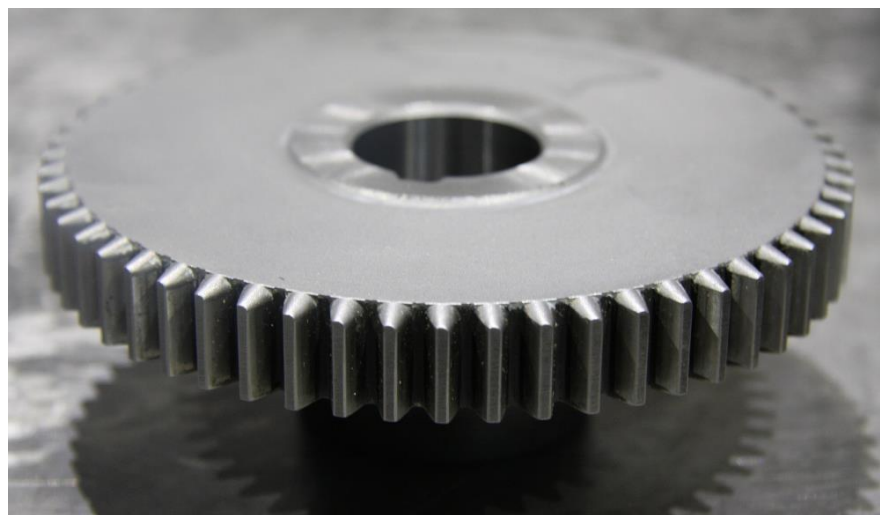


Рис 3 – Радиусное закругление торцов зубьев с малым радиусом

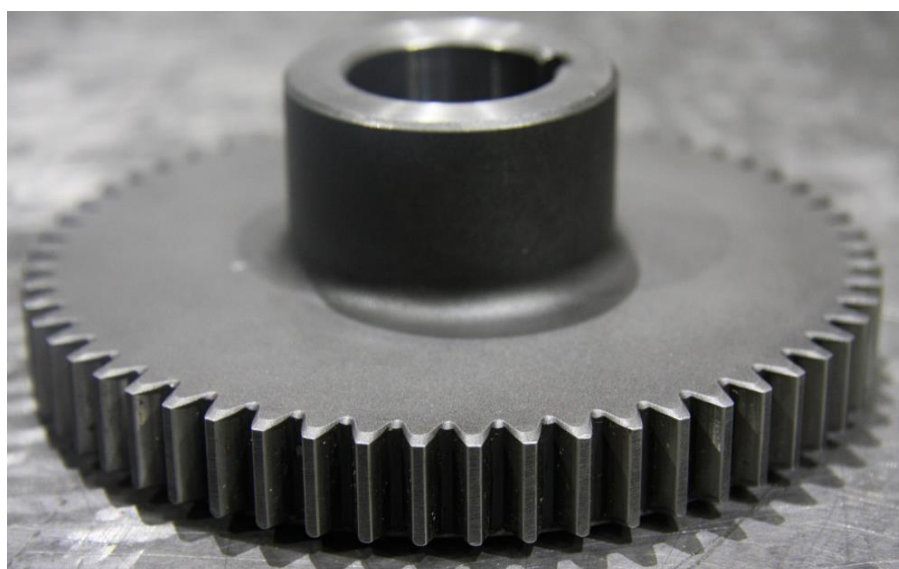


Рис 4 – радиусное закругление торцов зуба с большим радиусом

Определено, что для успешной работы конкретного механизма на торце зуба необходимо получить фаску под углом 120 градусов. Такая форма зуба значительно уменьшает вероятность утыкания зубчатых колес при переключении передачи.

В исходной конструкции станка 5Н582 предусмотрен кулачковый механизм, задающий траекторию движения инструмента в процессе обработки. Его геометрия является основным параметром получаемого профиля зуба [11].

В связи с этим одной из основных задач является проектирование кулачка для кулачкового механизма с новым профилем, позволяющем получать фаску в



120 градусов на торцах зубьев зубчатых колес разной конфигурации (модуля, диаметра и числа зубьев). Требуемые геометрические параметры торца зуба представлены на рис. 5.

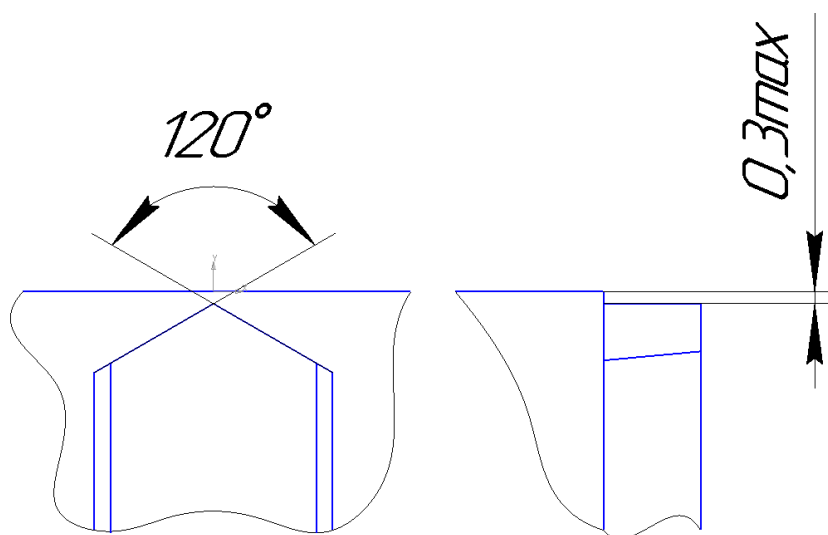


Рис 5. – Требуемые геометрические параметры зуба

## 2.2 Проектирование кулачка

Для достижения необходимой геометрии на торце зуба колеса 2 (рис. 6) спроектирован новый кулачок. Исходя из ТЗ, включающего геометрию зуба детали, спроектирована траектория движения обрабатывающего инструмента – фрезы 1 (рис. 6). В момент начала обработки фреза находится над вершиной обрабатываемого зуба. Далее, за первую половину оборота кулачка, фреза 1 опускается во впадину между двумя соседними зубьями в положение 3, тем самым обрабатывая одну из сторон зуба. Вторая половина оборота кулачка поднимает фрезу над вершиной соседнего зуба, что приводит к обработке одной его стороны. Для закругления всех зубьев кулачку необходимо сделать количество оборотов, равное количеству зубьев зубчатого колеса.

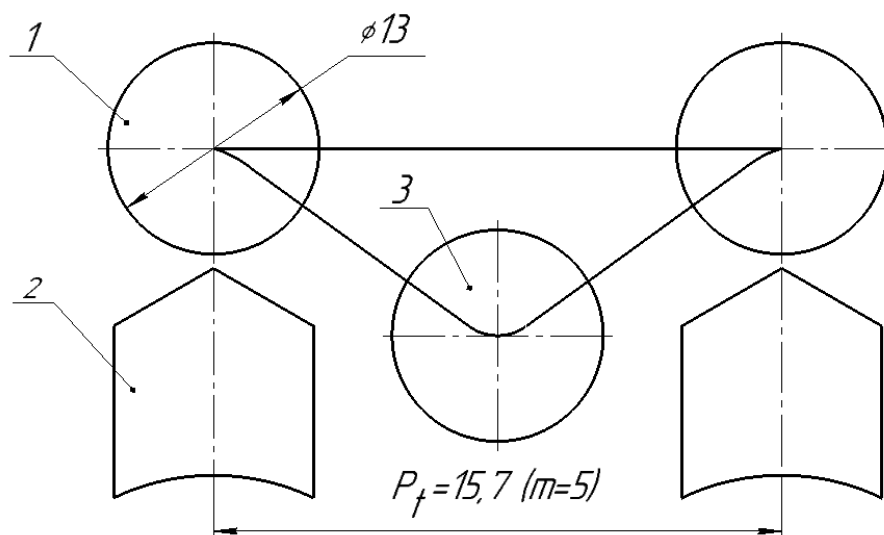


Рис. 6. – Схема перемещения фрезы

В качестве примера, на рисунке 6 приведена схема обработки шлицевого венца с количеством зубьев  $z = 23$  и модулем  $m = 5$ . На схеме так же указан шаг зацепления  $P_t$ .

$$P_t = \pi \cdot m = 3.14 \cdot 5 = 15,7 \text{ мм} \quad (1)$$

Необходимыми данными при проектировании траектории являются:

- 1- Модуль зубчатого (шлицевого) венца. Необходим для построения траектории обрабатывающего инструмента - фрезы
- 2- Диаметр инструмента. Так же необходим для построения траектории инструмента.
- 3- Количество интервалов, на которые разбивается траектория движения фрезы. Необходимо для определения точности изготавливаемого кулачка. Чем больше интервалов – тем выше точность.

Так же важным является диаметр исходной заготовки для кулачка. Это не влияет напрямую на точность итогового механизма или на процесс проектирования, но отразится на наладках станка на конкретную деталь. Чем меньше диаметр исходной заготовки под кулачок – тем выше частота циклов обработки. Т.к. за один оборот кулачка происходит обработка двух разноименных сторон одного зуба (шлица) – за один оборот кулачка заготовка

так же поворачивается на один шаг, что влечет за собой увеличения частоты оборотов шпинделя изделия. Другими словами, уменьшение диаметра исходной заготовки кулачка увеличивает производительность станка, но уменьшает его ресурс, что не всегда приемлемо.

Далее, полученная траектория перемещения инструмента разбивалась на 360 равных отрезков. После этого строились проекции каждой полученной точки на траекторию движения инструмента. Вычислялся перепад высоты  $\Delta$  в каждой точке, а результат заносился в таблицу Excel для дальнейших расчетов. Исходя из построенной траектории, максимальный перепад высоты  $\Delta_{180} = 3,57$  мм. Процесс построения показан на рис. 7.

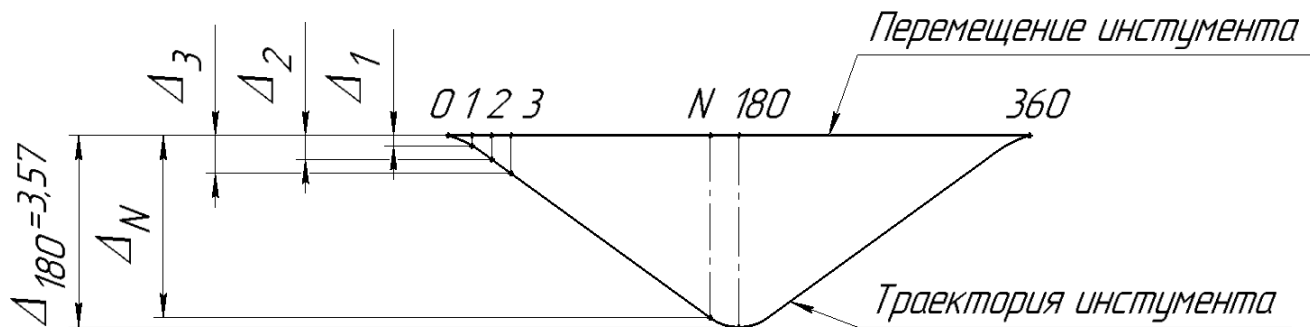


Рис. 7. – Процесс построения массива перепадов высоты

Используя формулы геометрии, зная перепад высоты  $\Delta$  в каждой точке с шагом в градус и диаметр заготовки под кулачок находятся координаты 360 точек вершин кулачка относительно центра исходной заготовки.

Расчетные формулы нахождения координат вершин кулачка представлены ниже:

$$X = \cos\left(\alpha \cdot \frac{\pi}{180}\right) \cdot (R - \Delta) \quad (2)$$

$$Y = \sin\left(\alpha \cdot \frac{\pi}{180}\right) \cdot (R - \Delta) \quad (3)$$

где:  $\alpha = [0 \dots 359]$  – угол поворота кулачка,

$R = 105$  мм – радиус исходной заготовки,

$\Delta$  – перепад, между исходным диаметром заготовки и диаметром кулачка.

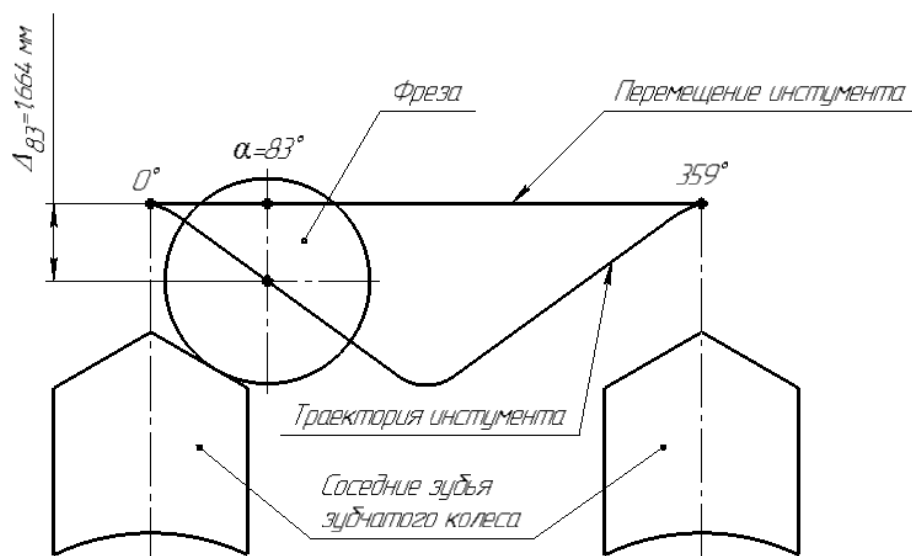


Рис. 8 – Расчетная схема

Далее приведен расчет для произвольной точки профиля. Расчетная схема приведена на рис. 8. Возьмем точку кулачка, например, с  $\alpha = 83^\circ$ . Перепад высоты  $\Delta$  в этой точке равен  $\Delta = 1,664$  мм.

$$X_{83} = \cos\left(\alpha \cdot \frac{\pi}{180}\right) \cdot (R - \Delta) = \cos\left(\frac{83 \cdot \pi}{180}\right) \cdot (105 - 1.664) = 12.593 \text{ мм}$$

$$Y_{83} = \sin\left(\alpha \cdot \frac{\pi}{180}\right) \cdot (R - \Delta) = \sin\left(\frac{83 \cdot \pi}{180}\right) \cdot (105 - 1.664) = 102.566 \text{ мм}$$

Далее, полученные с помощью программы Excel координаты используются в программе *KOMPAS-3D* для построения профиля кулачка. Перенеся таблицу с координатами и используя функцию «Кривая Безье» строится эскиз детали.

В приложении 1 приведен эскиз разработанного кулачка с указанием получившихся значений координат  $X$  и  $Y$  при взятом значении угла  $\alpha = 83^\circ$ . В процессе работы был изготовлен кулачок для кулачкового механизма станка 5Н582, который позволил получить требуемый профиль торца зуба колеса.

### 2.3 Модернизация привода подвода стойки

Так же, основным пунктом модернизации стала замена гидроцилиндра подвода суппортной стойки на шарико-винтовую пару (ШВП). Шарико-винтовые пары повсеместно используются в ЧПУ оборудовании и обеспечивают высокую точность обработки и точность оборудования в целом. Допуски формы и радиального биения винтов ШВП находящиеся в пределах 0,005 мм гарантирует стабильность работы и подвода/отвода узлов станка. В данном станке используется ШВП с профилем резьбы «готическая арка», что обеспечивает жесткое сцепление пары винт-гайка в четырех точках контакта. На рис. 9 схематично показан четырехконтактный профиль резьбы ШВП. Позициями 1-4 показаны точки контакта шарика с винтом и гайкой. Такая схема зацепления обеспечивает малые потери на трение и высокий КПД (0,9-0,95) [18].

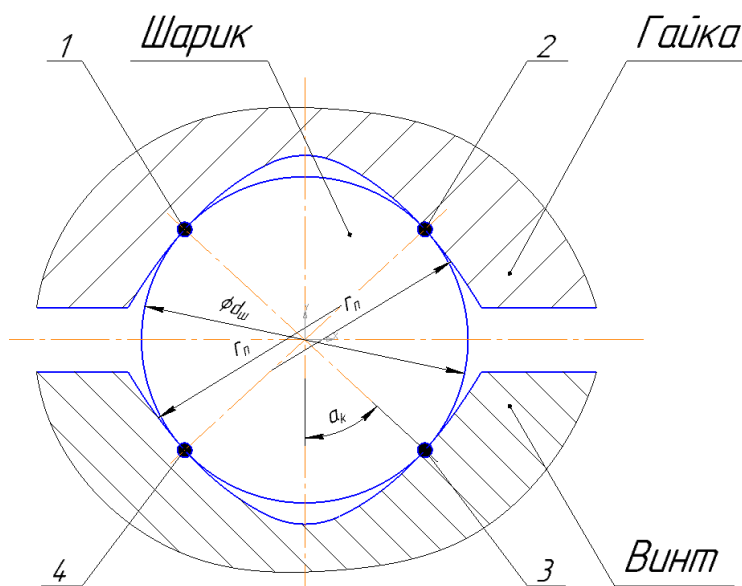


Рис 9 – Схематическое изображение четырехконтактного арочного профиля ШВП

Так же, неоспоримым преимуществом является более высокая несущая способность передачи при значительно меньших габаритах механизма. Стоит отметить более удобный монтаж ШВП в сравнении с гидроцилиндром: шарико-винтовая пара не требует подвода шлангов с гидравлической жидкостью, т.к. работает напрямую от электродвигателя. Замена гидроцилиндра на ШВП влечет

за собой доработку «базовых» деталей станка и изменение кинематической схемы станка в целом. Согласно ГОСТ 19166-73, зубозакругляющее оборудование проходит проверку на стабильность конечного положения инструментальной бабки при подводе в рабочую зону. Допуск для станков нормальной точности составляет 160 мкм. После внедрения шарико-винтовой пары, установленной в замену гидроцилиндру была получена стабильность подвода стойки в рабочую зону, равная 20 мкм, что в восемь раз лучше нормы, указанной в ГОСТе.

В следствие всех изменений и модернизации, кинематическая схема станка приобрела следующий вид (рис. 10).

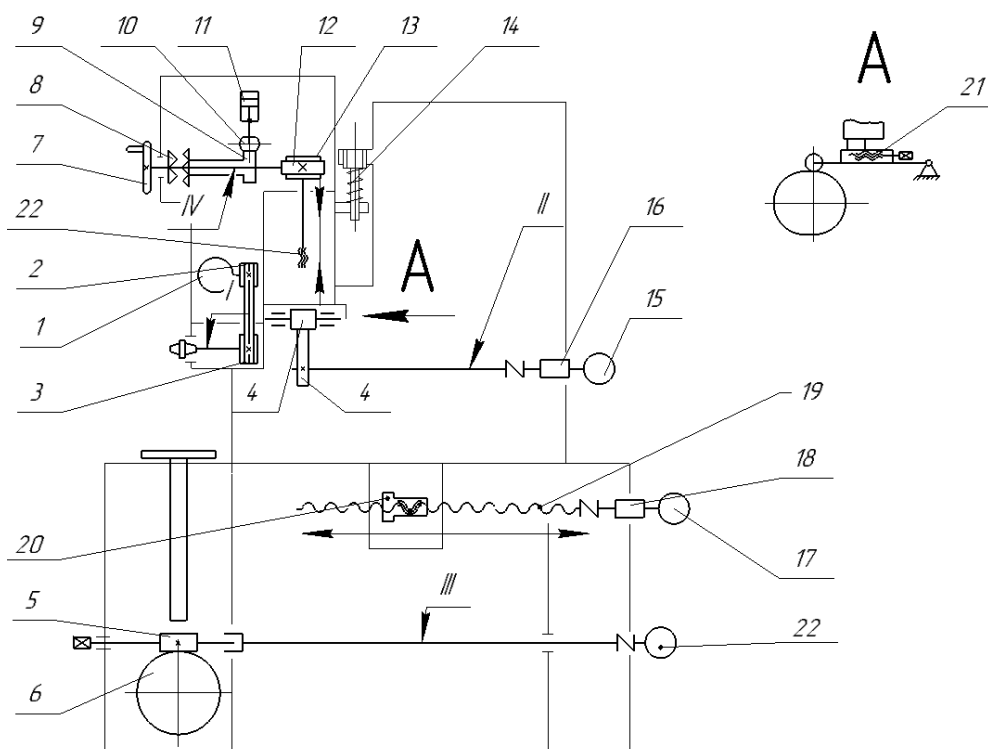


Рис 10 – Схема кинематическая принципиальная

## 2.4 Механизм подъема суппорта

Т.к. станок принадлежит к классу полуавтоматов – установка заготовки и снятие детали со станка происходит в ручном режиме. Для осуществления данных операций необходимо произвести отвод стойки суппортной и суппорта из рабочей зоны. Отвод стойки осуществляется посредством ШВП (см. рис 10 –

Схема кинематическая принципиальная). Для отвода (подъема/опускания) суппорта на станке предусмотрен гидроцилиндр, кронштейн которого жестко связан с суппортной кареткой. В связи с изменениями в станке – изменение массы узлов, замена гидравлической системы – встала необходимость замены гидроцилиндра подъема суппорта. Т.к. по грубым расчетам суппорт в сборе имеет массу 150-200 кг, необходимо произвести расчет усилия выдвижения гидроцилиндра. Схема расположения гидроцилиндра подъема суппорта на станке представлена на рис. 11.

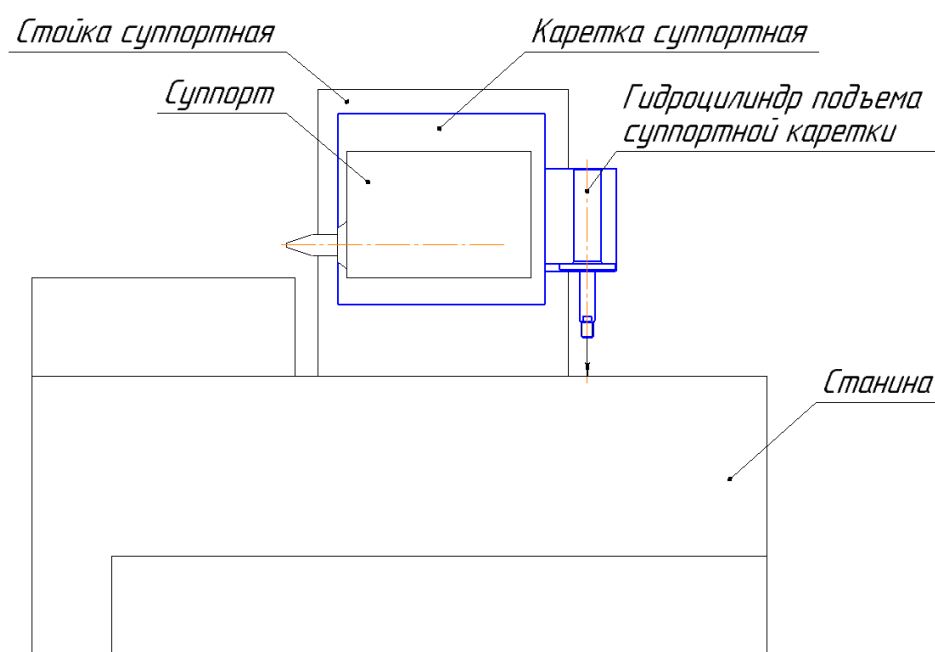


Рис 11. – Схема расположения гидроцилиндра подъема суппорта на станке

Давление всей системы, исходя из гидравлической схемы, одинаково и равно  $p = 2,5$  Мпа. Главным параметром силового цилиндра является усилие  $F$  (Н) [19].

Согласно схеме, приведенной на рис. 12 вычислим эффективные площади рабочих полостей гидроцилиндра. Стоит уточнить, что диаметры поршня и штока гидроцилиндра были подобраны исходя их базового цилиндра, установленного на станке в заводской комплектации.

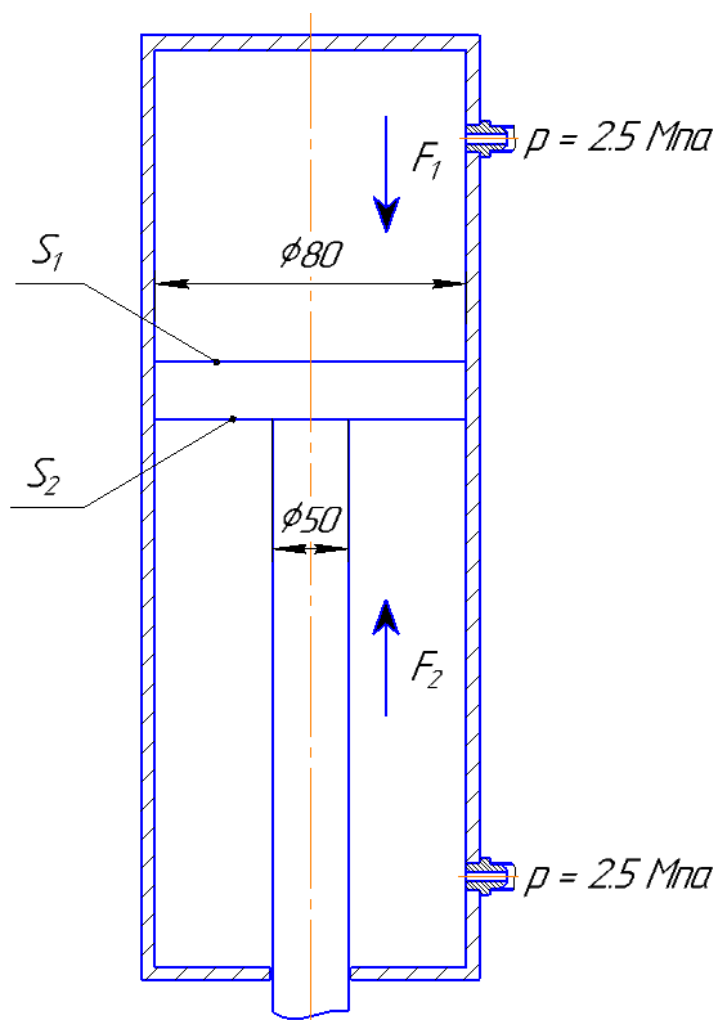


Рис 12 – Схема гидроцилиндра подъема суппорта

$$S_1 = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3.14 \cdot 80^2}{4} = 5024 \text{ мм}^2 \quad (8)$$

$$S_2 = \frac{\pi (D-d)^2}{4} = \frac{3.14 \cdot 30^2}{4} = 706 \text{ мм}^2 \quad (9)$$

Далее вычисляются усилия  $F_1$  и  $F_2$

$$F_1 = k_{\text{тр}} p (S_1 - S_2) \quad (10)$$

где:  $k_{\text{тр}}$  – коэффициент потерь на трение в гидроцилиндре,  $k_{\text{тр}} = 9$ .

$$F_1 = 0,9 \cdot 2,5 (S_1 - S_2) = 9716 \text{ Н}$$

Т.к. давление в гидросистеме одинаковое  $p = 2,5 \text{ Мпа}$  – усилие  $F_2 = F_1$ .

Таким образом, усилие  $F_1$  эквивалентно массе в 970 кг, что значительно превышает действительную массу узлов станка. Гидроцилиндр подобран с большим запасом.



## **2.5 Краткое описание кинематики станка**

Обработка на полуавтомате производится при непрерывном вращении заготовок и синхронном с ним перемещении инструмента. В этом случае инструмент совершает два движения. Движение резания (вращение вокруг оси) и возвратно-поступательное вертикальное перемещение, которое, складываясь с вращательным движением заготовки, обеспечивает получение закругления заданной формы. Полуавтомат имеет вертикальную компоновку, при которой ось шпинделя изделия расположена вертикально, а ось фрезерного шпинделя горизонтально. Для осуществления обработки заготовок за два и более проходов станок имеет оригинальный механизм. Отвод стружки из рабочей зоны предусмотрен с помощью смыва струей охлаждающей жидкости к ящику стружки, расположенному у задней стенки станка. Полуавтомат может работать в наладочном и полуавтоматическом режимах.

### **2.5.1 Цепь привода кулака и деления**

Возвратно – поступательное движение суппорта, при повороте шпинделя изделия на 1 зуб обрабатываемой заготовки, осуществляется при помощи кулака 5 через ролик 4, закрепленный в качающемся рычаге 25 и упор 26. С изменением расстояния между упорами 26 и осью качения 24, осуществляемое винтом 23, изменяется величина возвратно-поступательного хода суппорта и, следовательно, радиус закругления обрабатываемого зуба, что позволяет производить закругление зубьев разных модулей одним кулаком. Усилие прижима ролика к кулаку осуществляется под действием массы суппорта и пружины 15. При помощи маховика 8, червячной передачи 13 и 14, винта 21 осуществляется установка суппорта по высоте и настройка на глубину первого прохода, только после расцепления муфты 9. Автоматическое врезание обеспечивается с помощью гидроцилиндра 12 через рейку 11, шестерню 10 и вышеописанную цепь. Возврат цепи деления в исходное положение осуществляется от электродвигателя привода кулака 5.

### 2.5.2 Цепь привода шпинделя изделия

Движение шпинделю изделия передается от двигателя 22 через вал III и червячную передачу 6, 7.

Масло, поступающее через хомут 6 и отверстие в цилиндре 3, поршень 4 поступит в рабочую полость, осуществляя зажим изделия. Масло, поступает под поршень 4 через хомут 6 и отверстие в цилиндре 3 поступают в рабочую полость, осуществляя разжим изделия.

### 2.5.3 Цепь инструмента

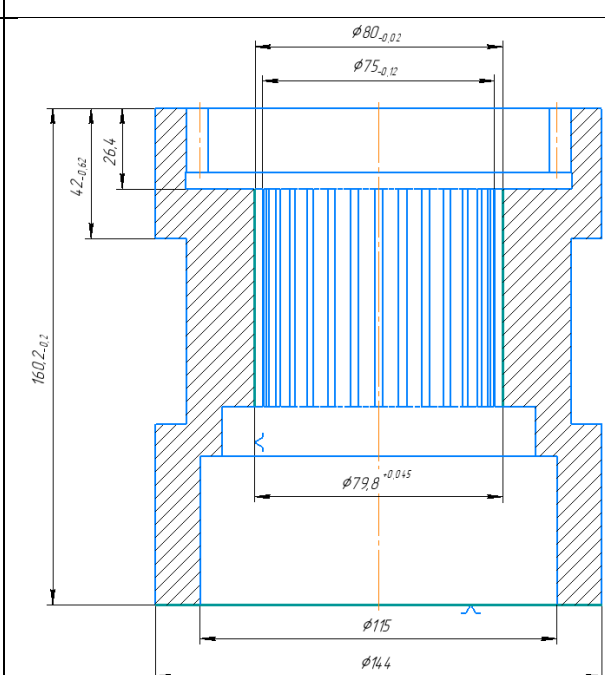
Вращение от электродвигателя 1 через клиноременную передачу 2 и 3 передается шпинделю инструмента.

## 3. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ

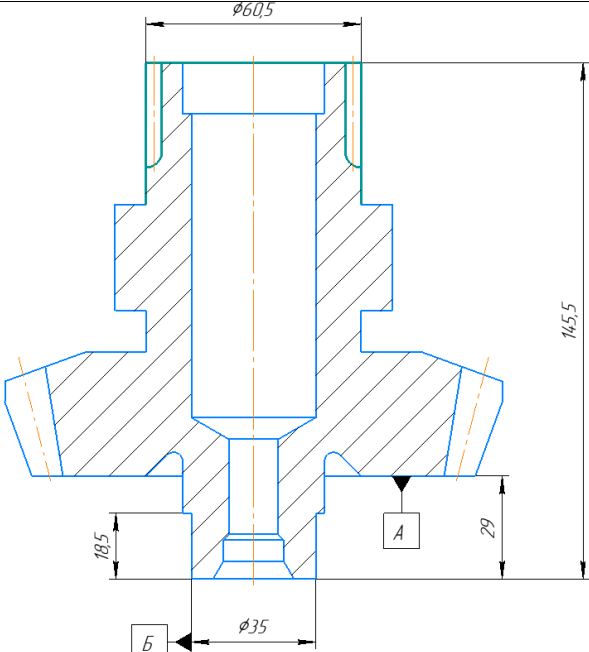
### 3.1 Анализ заготовок, обрабатываемых на станке

Зубозакругляющий станок 5Н582 предусмотрен для обработки 5 видов зубчатых колес. Условно пронумеруем их от 1 до 5 (см таблицу 3)

Таблица 3 – Характеристики обрабатываемых колес

№ п/п	Наименование	Эскиз	Основные параметры
1	Муфта		$m=2.5$ мм $z=30$ Базовые поверхности: торец $\varnothing 144$ мм, внутр. диаметр шлицев $\varnothing 80$ мм

№ п/п	Наименование	Эскиз	Основные параметры
2	Муфта		<p><math>m=3.5</math> мм  <math>z=22</math>                      Базовые поверхности:                      торец  <math>\phi 98_{-0,46}</math> мм,                      гладкое цилиндр.                      отв. <math>\phi 45^{+0,05}</math> мм</p>
3	Шестерня		<p><math>m=5</math> мм  <math>z=24</math>                      Базовые поверхности:                      нижний торец,                      гладкое цилиндр.                      отв.  <math>\phi 87,2^{+0,07}</math> мм</p>
4	Зубчатка		<p><math>m=3,5</math> мм  <math>z=32</math>                      Базовые поверхности:                      нижний торец,                      гладкое цилиндр.                      отв.  <math>\phi 144,4^{+0,06}</math> мм</p>

№ п/п	Наименование	Эскиз	Основные параметры
5	Шестерня		Основные параметры $m=3,5$ мм $z=32$ Базовые поверхности: торец А, цилиндр. пов. Б $\phi 35$ мм

В связи с закрытостью предприятия заказчика, не имеется возможным получение полного представления о геометрии и параметрах точности представленных деталей. Далее рассмотрим процесс изготовления оснастки для каждой детали более подробно.

### 3.2 Проектирование технологической оснастки

#### 3.2.1 Проектирование основного комплекта оснастки.

В связи с отсутствием информации об объеме партий данных деталей, принято решение проектировать технологическое оснащение, подходящее под все необходимые детали. Т.к. процесс установки оснастки станка для новой детали – процесс трудоемкий физически и затратный по времени, для повышения производительности и улучшения условий труда слесарей и станочников оснастка должна быть спроектирована так, чтобы все детали использовали одни и те же базовые элементы, что позволит менять тип обрабатываемой детали без необходимости в переустановки оснастки.

Предъявленные выше условия влекут за собой технологические сложности при производстве основного базового комплекта оснастки. В процессе проектирования был разработан сборочный чертеж основного комплекта, представленного в приложении 2.

### 3.2.2 Проектирование оснастки для первой детали – «Муфта».

Основной сложностью при проектировании оснастки для данной детали является схема ее базирования на станке (см рис 13). По требованиям эскиза на данном технологическом переходе деталь базируется на внутренний диаметр шлицев и нижний торец. Для осуществления данной схемы базирования изготавливается шлицевая втулка, осуществляющая базирование по внутреннему диаметру шлицев. Торец детали базируется на подставку базового комплекта.

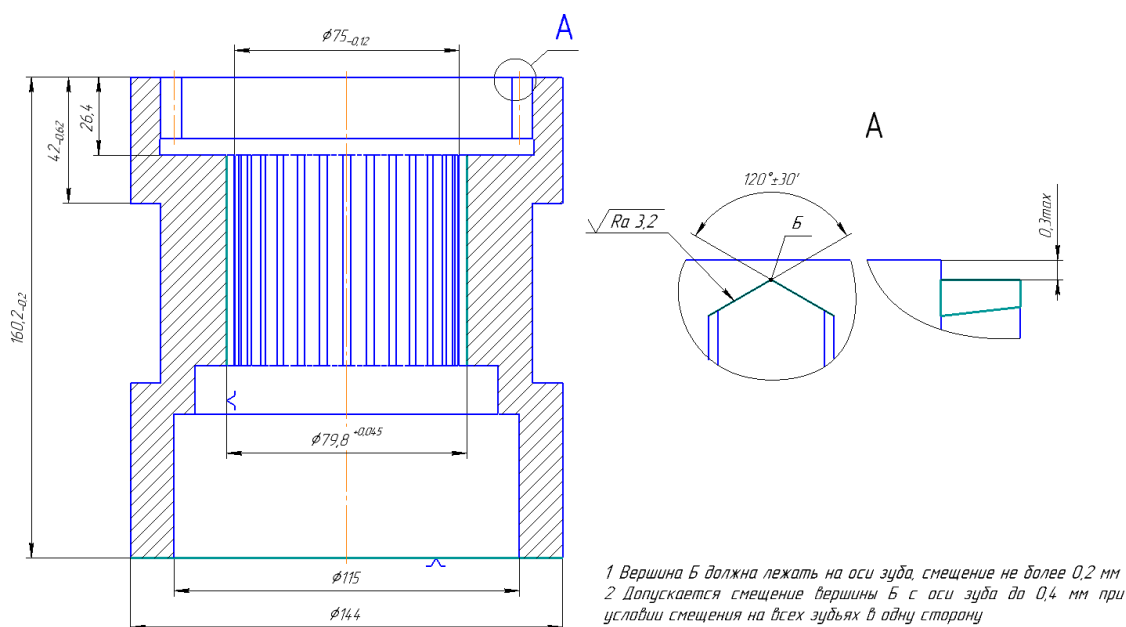
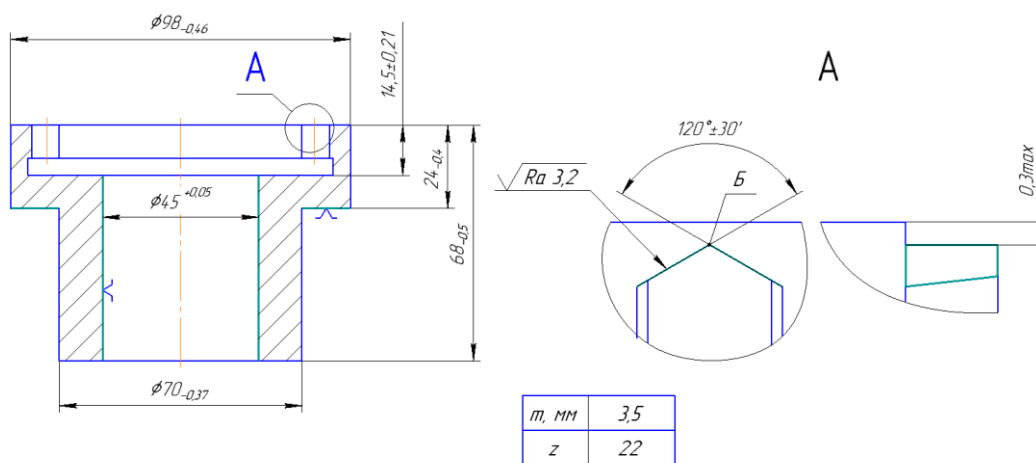


Рис 13 – Эскиз детали со схемой базирования

Результатом проектирования является сборочный чертеж приспособления, представленный в приложении 3.

### 3.2.3 Проектирование оснастки для второй детали – «Муфта».

Данная деталь должна базироваться на цилиндрическую поверхность отверстия диаметром  $\varnothing 45^{+0.05}$  и на торец  $\varnothing 98_{-0,46}$ . Для осуществления данной схемы базирования (см рис. 14) изготавливается опора для базирования по торцу. Базирование по отверстию производится путем посадки детали на опору основного комплекта. Фиксация заготовки осуществляется путем прижима ее шайбой. Угловая ориентация производится с использованием центроискателя. Сборочный чертеж приспособления представлен в приложении 4.



1 Вершина Б должна лежать на оси зуба, смещение не более 0,2 мм

Рис 14 – Эскиз детали с указанием схемы базирования

### 3.2.4 Проектирование оснастки для третьей детали – «Шестерня».

Для реализации базирования данной детали (рис. 15) изготавливается корпус, базирующийся на опоре по цилиндрическому отверстию с двумя базовыми поверхностями: цилиндрической поверхностью под отверстие в детали  $\varnothing 87,2^{+0.07}$  и торец  $\varnothing 164,67_{-0,26}$ . Прижим заготовки осуществляется цилиндрической шайбой.. Сборочный чертеж приспособления представлен в приложении 5.

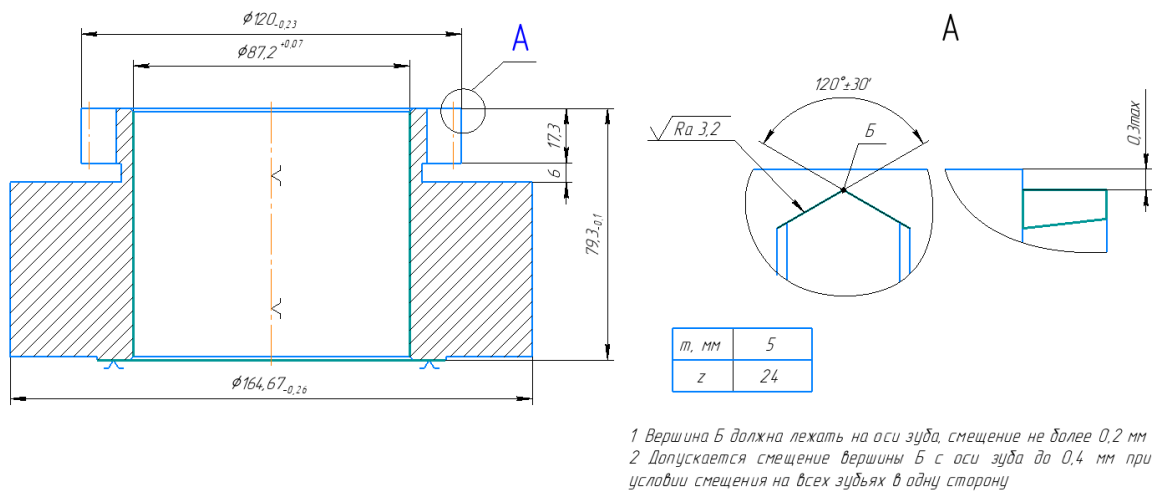


Рис 15 – Эскиз детали с указанием схемы базирования

### 3.2.5 Проектирование оснастки для четвертой детали – «Зубчатка».

Для реализации схемы базирования для этой детали (рис. 16) изготавливается цанговый зажим, работающий следующим образом: цанга устанавливается на корпус, базирующийся на подставке основного комплекта оснастки. На корпусе имеется ответная для цанги коническая поверхность, при движении по которой цанга производит фиксацию детали разжимом цилиндрической поверхности  $\phi 144,4^{+0.06}$ . Базирование по габаритной торцевой поверхности производится с помощью кольца, закрепленного винтами к корпусу. Чертеж механизма приведен в приложении 6.

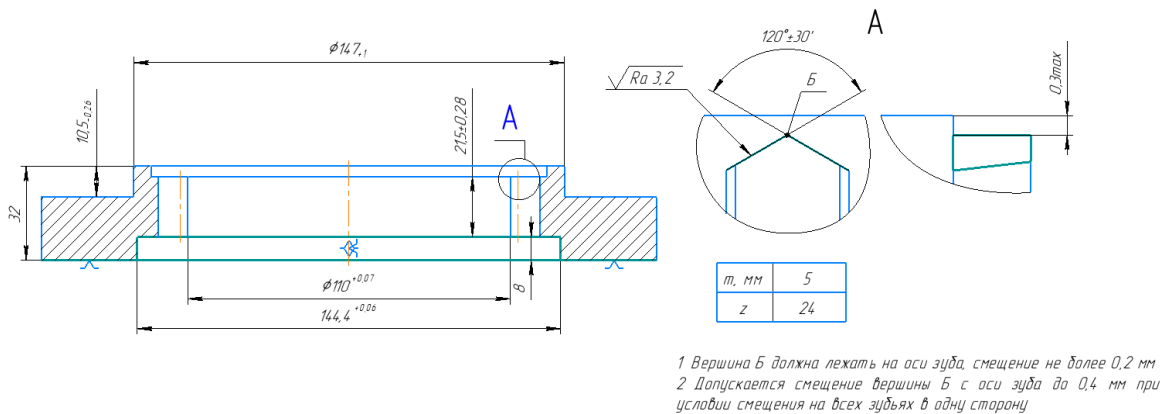


Рис 16 – Эскиз детали с указанием схемы базирования

### 3.2.6 Проектирование оснастки для пятой детали – «Шестерня».

Комплект оснастки для данной детали (см рис. 15) отличается от описанных выше.

Т.к. геометрия детали не позволяет использовать базовый комплект оснастки – единственным решением является проектирование комплекта оснастки с нуля. Исходя из известной геометрии и требуемой схемы базирования (см. рис 17), было принято решение использовать цанговый зажим, работающий следующим образом (чертеж приспособления представлен в приложении 7, спецификация – в приложении 8): т.к. зубчатое колесо имеет начисто обработанный торец – будем использовать его как установочную базу, лишаящую заготовку трех степеней свободы. На стол станка устанавливается установочная планшайба, на поверхность которой монтируется корпус 1 (см. рис. 17). Верхний торец корпуса – установочная база для заготовки. В отверстии корпуса имеется проточка для уплотнения, во избежание попадания СОЖ со стружкой внутрь шпинделя изделия. Корпус монтируется к планшайбе путем винтов 3.

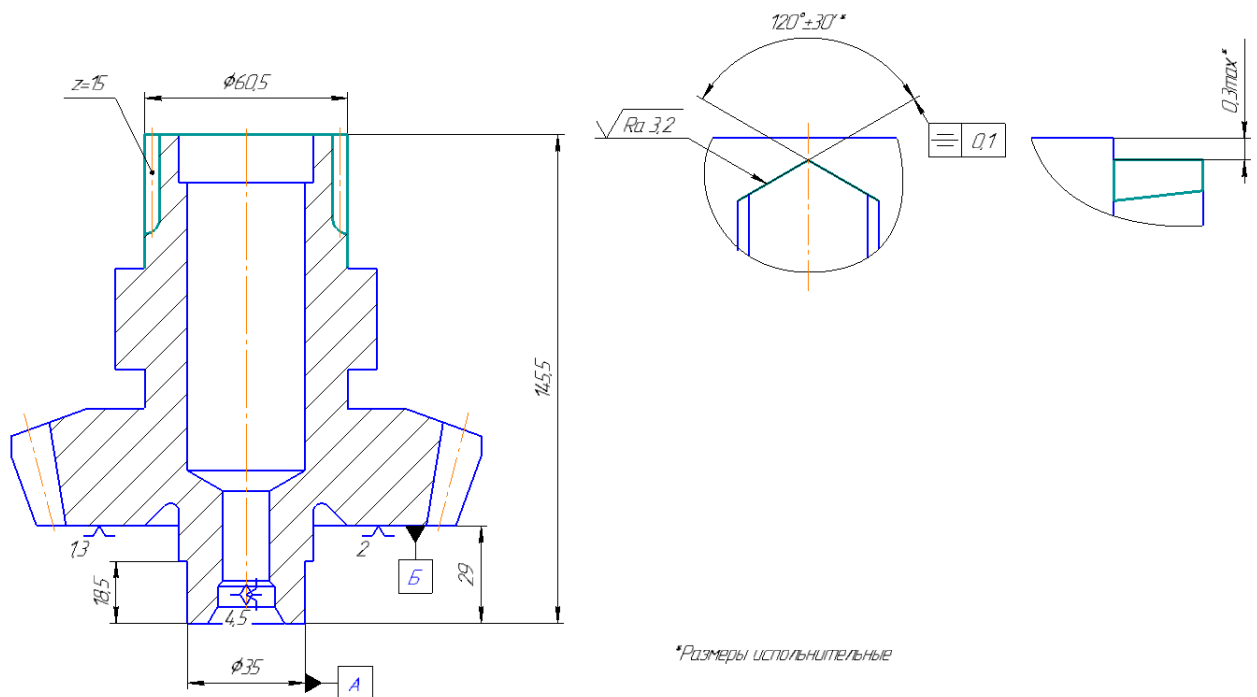


Рис 17 – Эскиз детали с указанием схемы базирования



Отдельного объяснения требует механизм деления детали. На всех описанных выше деталях деление производилось посредством конического пальца, устанавливаемого в рукоятку, которая, в свою очередь, устанавливалась в специальный паз на опоре базового комплекта. Т.к. в данном случае отсутствует возможность применения базового комплекта оснастки, а, соответственно, и делительного пальца – появляется необходимость разработки нового делителя. Таким является флажок 4, установленный на стойке 3, жестко заштифтованной на корпусе 1.

В качестве зажимного приспособления используется цанга. Заготовка устанавливается на торец корпуса и обжимается цангой 1 (см. рис 18) по диаметру 35 мм, являющимся двойной опорной базой, отнимающей две степени свободы. Цанга завинчивается в тягу 2 путем резьбы *M18*. При движении гидроцилиндра (на эскизе не указан) тяга, жестко связанная с цангой движется вниз, тем самым обжимая деталь по базовому диаметру. Обжатие происходит за счет движения конической поверхности цанги по ответной конической поверхности корпуса.

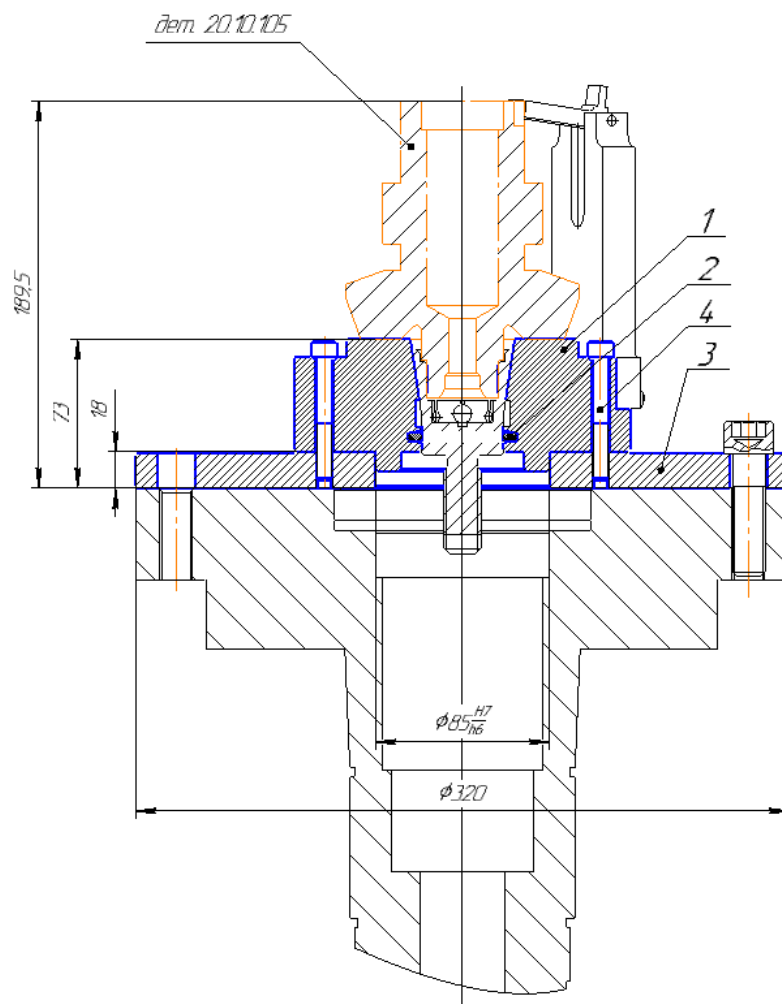


Рис 18 – эскиз установочных приспособлений

**ВАЖНО!** Запрещено производить зажим цанги без установленной заготовки. Неправильная эксплуатация механизма зажима влечет за собой неисправную поломку оснастки [20].

Эскиз зажимного приспособления представлен на рисунке 19

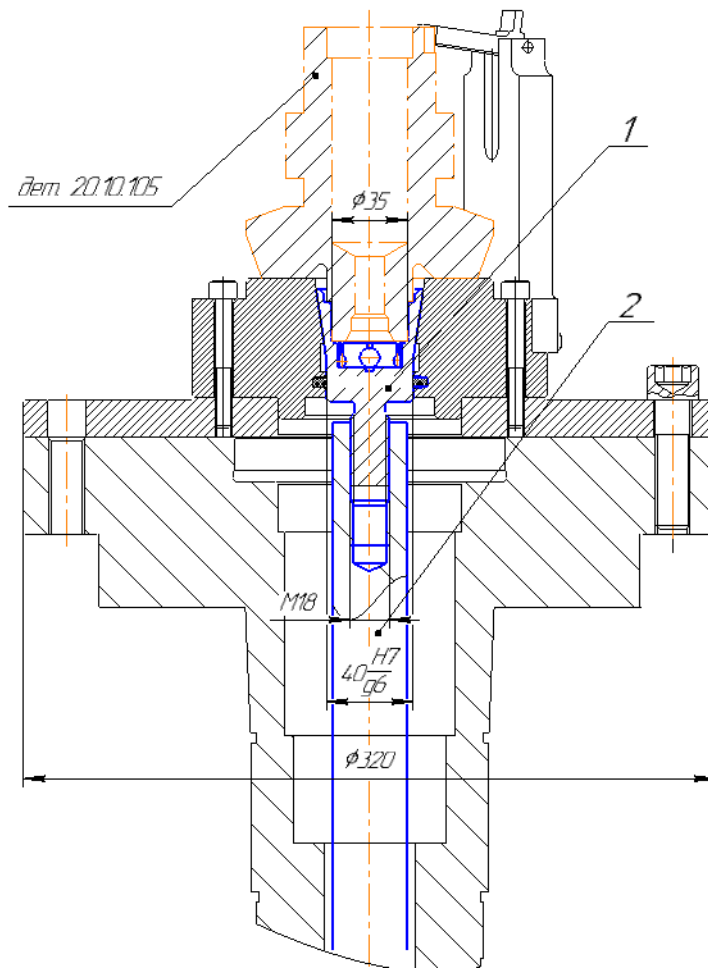


Рис 19 – эскиз зажимных приспособлений

### 3.2.7 Расчет режимов резания для операции зубозакругления

Скорость резания при фрезеровании считается по формуле:

$$v = \frac{C_v D^q}{T^m S_z^y B^u z^p} K_v = \frac{46.7 \cdot 13^{0.17}}{90^{0.33} \cdot 0.1^{0.28} \cdot 8.8^{-0.05} \cdot 4^{0.1}} \cdot 1 = 30.26 \text{ , м/мин} \quad (4)$$

Где:  $C_v$  – коэффициент

$D$  – диаметр фрезы, мм

$T$  – стойкость фрезы, мин

$s_z$  – подача, мм/зуб

$B$  – ширина фрезерования, мм.

В данном случае ширина фрезерования равна высоте зуба:

$$B = 2,2t = 2,2 \cdot 4 = 8,8, \text{ где } t = 4 \text{ (в данном случае)}$$

$s_z$  – подача, мм/зуб

$z$  – кол – во зубьев фрезы

$q, m, y, u, p$  – показатели степени

$K_v$  – поправочный коэффициент на скорость резания

Глубина резания назначается равной  $t = 0.1$  мм,

Частота вращения шпинделя изделия вычисляется опытным путем.

Назначим частоту вращения равную  $n = 600$  об/мин.

### 3.3 Расчет сил резания при фрезеровании

Главной составляющей сил резания при фрезеровании является окружная сила  $P_z$ .

$$P_z = \frac{10 C_p t^x s_z^y B_z}{D^q n^w} K_{mp} \quad (5)$$

Где:  $n$  – частота вращения

Прочие обозначения аналогичны объявленным выше.

$$P_z = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 0,1^{0,86} \cdot 0,1^{0,72} \cdot 8,8^{600} \cdot 4}{13^{0,86} \cdot 600^0} 1,2 = 830 \text{ Н}$$

Значение остальных сил резания находится из соотношений:

$$P_x = 0.3 P_z = 249 \text{ Н}$$

$$P_y = 0.5 P_z = 415 \text{ Н}$$

Исходя из схемы зажима, представленной на рис.20. производится расчет усилия зажима. Сила тяжести не учитывается, так как она составляет менее 1% от силы резания. Составляющая силы резания  $P_y$  также не учитывается, потому что она сонаправлена с силой зажима  $W$ , а действие таких сил мы не учитываем.

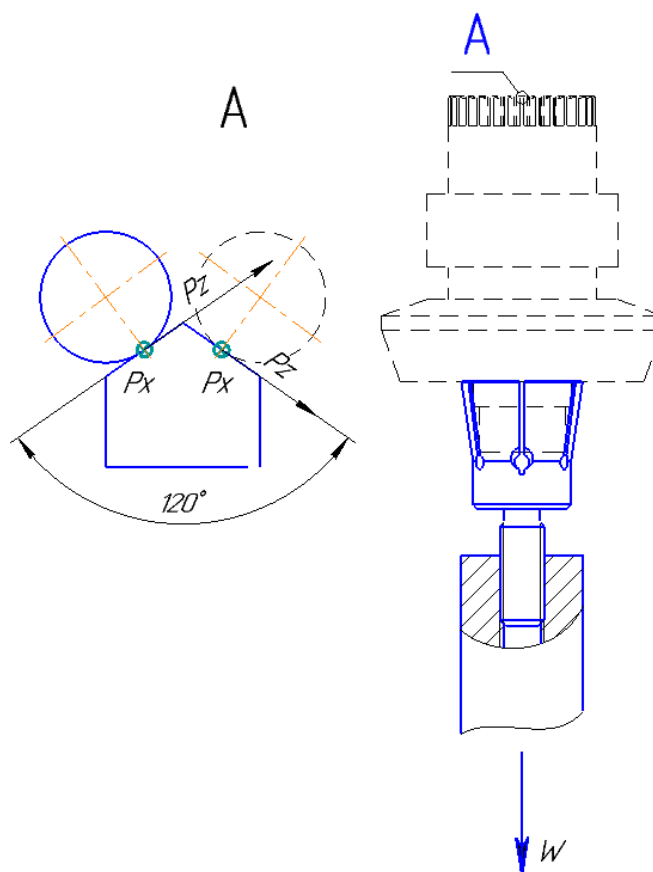


Рис 20 - Схема действия сил резания и силы зажима

Инерционные и центробежные силы отсутствуют. Расчет необходимой силы зажима  $W$  производится по следующей формуле:

$$W = \frac{P_z \cdot D_{o.п.}}{n \cdot f \cdot D_{з.п.}} k \quad (6)$$

где  $k$  – коэффициент запаса;

$f$  – коэффициент трения;

$D_{o.п.}$  – диаметр обрабатываемой поверхности,  $D_{o.п.} = 60.5$  мм

$D_{з.п.}$  – диаметр зажимаемой поверхности,  $D_{з.п.} = 35$  мм

$n$  – кол – во лепестков цанги,  $n = 6$

Коэффициент запаса равен:

$$k = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6, \quad (7)$$

где  $k_0$  – гарантированный коэффициент запаса ( $k_0 = 1.5$ );

$k_1$  – коэффициент, учитывающий неравномерность припуска по обрабатываемой поверхности заготовки, что приводит к увеличению силы резания ( $k_1 = 1.2$ );

$k_2$  – коэффициент, учитывающий увеличение силы резания при затуплении режущего инструмента ( $k_2 = 1.7$ );

$k_3$  – коэффициент, учитывающий увеличение силы резания при обработке прерывистых поверхностей ( $k_3 = 1.2$ );

$k_4$  – коэффициент, учитывающий непостоянство силы зажима ( $k_4 = 1$ );

$k_5$  – коэффициент, учитывающий эргономику ручных зажимных элементов ( $k_5 = 1$ );

$k_6$  – коэффициент, учитываемый только при наличии моментов, стремящихся повернуть заготовку ( $k_6 = 1.5$ );

$$k = 1.5 \cdot 1.2 \cdot 1.7 \cdot 1.2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1.5 = 5.508.$$

Коэффициент трения примем  $f = 0.2$ .

Рассчитаем необходимую силу зажима:

$$W = \frac{P_z \cdot D_{o.п.}}{n \cdot f \cdot D_{з.п.}} k = \frac{830 \cdot 60.5}{6 \cdot 0.8 \cdot 35} 5.5 = 1644 \text{ Н}$$

В конструкции станка предусмотрен гидроцилиндр, осуществляющий зажим заготовки, имеющий диаметр  $D = 80$ . Сила зажима  $Q$ , осуществляемая данным цилиндром рассчитывается по формуле.

$$Q_{шт} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot p \cdot n_{ц},$$

где:  $p$  – давление сжатого воздуха, МПа. Принято  $p = 0,5$  МПа.

$\eta$  – коэффициент полезного действия,  $\eta = 0,85$ .

$$Q_{шт} = \frac{\pi \cdot D_{ц}^2}{4} \cdot p \cdot n_{ц} = \frac{3,14 \cdot 80^2}{4} 0,5 \cdot 0.85 = 4271 \text{ Н},$$

## 4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ «ЦАНГА»

### 4.1 Функциональное назначение детали в конструкции механизма

Данная цанга является зажимным приспособлением в комплекте оснастки для станка 5Н582. Она осуществляет базирование заготовки по цилиндрической шейке  $\varnothing 35H7^{+0,025}$ , а так же ее зажим. Чертеж детали «Цанга» представлен в приложении 9.

### 4.2 Функциональное назначение поверхностей детали.

- Цилиндрическая поверхность  $\varnothing 40g6_{-0.025}^{-0.009}$  выполняет функцию базирования цанги в ответной детали – корпусе.
- Цилиндрическое отверстие  $\varnothing 35H7^{+0,025}$ , выполняет функцию базирования детали в цанге, а так же осуществляет зажим детали .
- Коническая поверхность конусностью 7:24 является поверхностью сопряжения цанги и корпуса, так же выполняющая функцию зажима детали путем скольжения по ответной поверхности в корпусе
- Метрическая резьба  $M18 \times 2.5-6g$  является средством сопряжения цанги с тягой, необходимой для зажима заготовки
- 6 пазов шириной 2 мм необходимы для упругого сжатия цанги по конусу корпуса
- Канавка на торце  $\varnothing 40$  мм на длине 38 мм по торцу конуса необходима для завинчивания цанги в тяге отверткой
- 6 отверстий (3 отв.  $\varnothing 6$  мм и 3 отв.  $\varnothing 9$  мм) необходимы для вывода масла и стружки из полости цанги.
- Заходная фаска  $1,6 \times 45^\circ$  на торце  $\varnothing 35H7^{+0,025} / \varnothing 42$  предназначена для облегчения установки заготовки в посадочное отверстие цанги.
- Канавка вид А предназначена для выхода резца при нарезании резьбы.
- Канавка вид Б предназначена для выхода шлифовального круга.

### 4.3 Оценка соответствия норм и параметров точности функциональному назначению поверхностей детали

- К поверхности  $\varnothing 40g6_{-0.025}^{-0.009}$  предъявлен допуск максимальной шероховатости – не более  $Ra\ 0.8$  (шлифованная поверхность). Так же, базой Г является ось поверхности  $\varnothing 40g6_{-0.025}^{-0.009}$ .
- К поверхности  $\varnothing 35H7^{+0,025}$  представлен допуск биения 0,012 относительно базы Г и допуск шероховатости – не более  $Ra\ 0.8$  (шлифованная поверхность).
- К конической поверхности 7:24 представлен допуск биения относительно базы Г и допуск шероховатости – не более  $Ra\ 0,8$  (шлифованная поверхность). Так же, данная поверхность проходит проверку по краске. Предварительно очищенная контролируемая поверхность покрывается слоем краски толщиной не более 0,005 мм. цангу поворачивают на поверхности в обе стороны в пределах угла 90°. Площадь пятна контакта должна быть не менее 80% полной площади контактируемых поверхностей.
- К метрической резьбе  $M18 \times 2,5-6g$  с крупным шагом представлен допуск на размер –  $6g$ , а так же допуск шероховатости – не более  $Ra\ 3.2$ .

### 4.4 Выявление комплектов конструкторских основных и вспомогательных баз.

Основными конструкторскими базами называют поверхности, при помощи которых деталь присоединяется к другим сопрягаемым деталям в механизме.

Вспомогательными конструкторскими базами называют поверхности, которые определяют положение других деталей, сопрягаемых с этой.

Согласно конструкции механизма деталь имеет две основные конструкторские базы: ось поверхности  $\varnothing 40g6_{-0.025}^{-0.009}$  и поверхность конуса 7:24.

Вспомогательной базой является цилиндрическое отверстие  $\varnothing 35H7^{+0,025}$  и резьба  $M18 \times 2,5-6g$ .



#### **4.5 Анализ технологичности детали**

Данная деталь в своей конструкции имеет некоторые нетехнологичные элементы. Нетехнологичными являются 6 отверстий. Т.к. они имеют разные диаметры: 3 отверстия  $\varnothing 6$  мм, 3 отверстия  $\varnothing 9$  мм – диаметры расположения их центров отличаются. В связи с чем, возникает необходимость в дополнительных расчетах. Так же необходимо заменить сверло, что так же увеличивает время на обработку.

#### **4.6 Формулировка основных технологических задач**

##### **4.6.1 Точность размеров**

Наиболее точными поверхностями являются:

Цилиндрическое отверстие  $\varnothing 35H7^{+0,025}$ , выполняется по 7 качеству точности.

Цилиндрическая поверхность  $\varnothing 40g6_{-0,025}^{-0,009}$ , выполняется по 6 качеству точности.

##### **4.6.2 Допуск биения**

Допуск радиального биения цилиндрического отверстия  $\varnothing 35H7^{+0,025}$  равный 0,012 мм относительно базы Г.

Допуск радиального биения конической поверхности 7:24, равный 0,012 мм относительно базы Г.

##### **4.6.3 Физико-механические свойства материала и прочие технические требования**

Деталь подвергается термической обработки с целью придания материалу упругих свойств, выдерживая твердость 43...51 HRC<sub>3</sub>.

Так же, деталь проходит проверку на краску по сопрягаемой детали – корпусу. Предварительно очищенная контролируемая поверхность покрывается слоем краски толщиной не более 0,005 мм. Цангу поворачивают на поверхности

в обе стороны в пределах угла 90°. Площадь пятна контакта должна быть не менее 80% полной площади контактируемых поверхностей.

Острые кромки детали необходимо притупить фаской 0,5x45° с целью избежания травмирования работников предприятия.

Общие допуски, представленные ко всем поверхностям, имеющим свободные размеры должны соответствовать *H14* для отверстий, *h14* для поверхностей типа «вал» и  $\pm \frac{IT14}{2}$  для поверхностей, типа «уступ».

Сама сталь 60С2А имеет следующий химический состав (см. табл 4.)

Таблица 4 – Химический состав стали 60С2А

<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>Ni</i>	<i>S</i>	<i>P</i>	<i>Cr</i>	<i>Cu</i>	<i>Fe</i>
0.58-0.63	1.6-2	0.6-0.9	До 0,25	До 0,025	До 0,025	До 0,3	До 0,2	Около 96

Данная сталь относится к классу рессорно-пружинных и используется для изготовления тяжело нагруженных пружин, торсионных валов. Пружинных колец, цанг. Фрикционных дисков, шайб Гровера и т.д.

#### 4.6.4 Шероховатости поверхностей

Требования шероховатости предъявлены следующим поверхностям:

- Цилиндрическая поверхность  $\varnothing 40g6_{-0.025}^{-0.009}$  имеет допуск шероховатости *Ra* 0.8 мкм – шлифованная поверхность.
- Цилиндрическое отверстие  $\varnothing 35H7^{+0.025}$  имеет допуск шероховатости *Ra* 0.8 мкм – шлифованная поверхность.
- Коническая поверхность конусностью 7:24 имеет допуск шероховатости *Ra* 0.8 мкм – шлифованная поверхность.
- Резьбовая поверхность *M18x2,5-6g* с крупным шагом имеет допуск шероховатости *Ra* 3,2 мкм – достигается после токарной обработки.

- Все прочие поверхности имеют допуск шероховатости  $Ra$  6.3 мкм – достигается после обработки на токарном, координатно-расточном и электроэрозионном станках.

#### **4.7 Анализ метода получения заготовки**

Т.к. производство является штучным – самым рациональным способом получения заготовки является отпил круглого прутка соответствующего диаметра и длины на пиле. Эскиз заготовки представлен в технологическом процессе – эскизе к операции 010 отрезной.

#### **4.8 Выявление комплекта черновых баз заготовки исходя из метода формообразования и технических требований чертежа детали.**

Комплектом черновых технологических баз являются ось цилиндрической поверхности  $\varnothing 60$  – двойная направляющая неявная база, лишаящая заготовку 4 степеней свободы.

Левый торец детали – явная опорная база, лишаящая заготовку одной степени свободы.

Поверхность соприкосновения кулачков трехкулачкового патрона - явная опорная база, лишаящая заготовку одной степени свободы путем трения между зажимными элементами и заготовкой.

Схема базирования заготовки на первой токарной черновой операции представлена на рисунке 21.

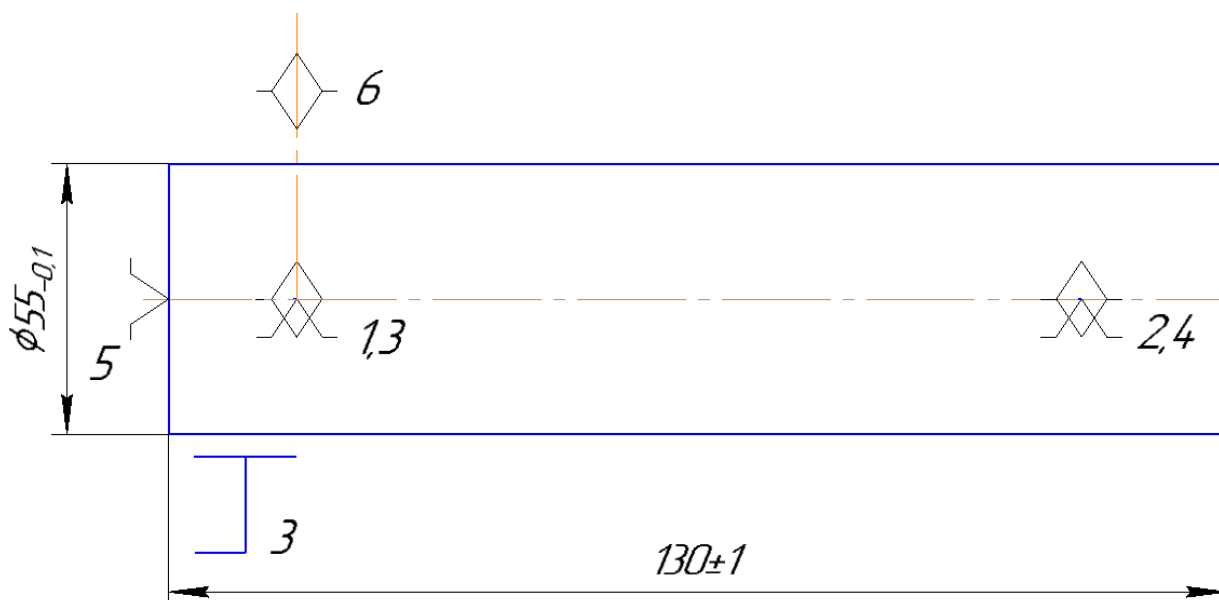


Рис 21 – схема базирования заготовки на черновом этапе.

## 4.9 Разбиение маршрута технологического процесса на стадии и этапы обработки

### 4.9.1 Этап заготовительный

Получение заготовки из круглого проката стали 60С2А методом распиловки на пиле.

### 4.9.2 Этап черновой обработки

Черновая обработка торцов детали, черновая обработка контура детали: точение конической поверхности, черновая обработка базовых поверхностей для дальнейшей обработки. Обработка внутренних поверхностей, нарезание резьбы и координатно-расточная операция – сверление 6 отверстий (3 отв.  $\phi 6$ мм, 3 отв.  $\phi 9$ мм).

### 4.9.3 Этап термической обработки

Закалка детали согласно техническим требованиям чертежа детали, так же закалка производится с целью придания материалу детали упругих свойств.

#### **4.9.4 Этап чистовой обработки**

Шлифование базовых поверхностей на круглошлифовальном станке (коническая поверхность 7:24,  $\varnothing 40g6_{-0.025}^{-0.009}$ ), шлифование цилиндрического отверстия  $\varnothing 35H7^{+0,025}$  на внутришлифовальном станке. Эрозия пазов цанги и паза под шлицевую отвертку на электроэрозионном станке.

#### **4.9.5 Этап слесарной обработки**

Слесарная обработка: зачистка детали от заусенцев.

#### **4.9.6 Этап окончательного контроля**

Выполнить окончательный контроль точности размеров, формы, взаимного расположения и шероховатости поверхностей согласно чертежа детали.

#### **4.9.7 Разработка комплекта технологической документации**

Комплект технологической документации для изготовления детали «Цанга» представлен в приложении 10.

### **5 АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТА МОДЕРНИЗАЦИИ СТАНКА 5Н582**

Результатом работы является модернизированный станок модели 5Н582, получивший заводской номер КСМ-5530, являющийся зубозакругляющим полуавтоматом. Общий вид станка с обозначением его составных частей показан на рис. 22.

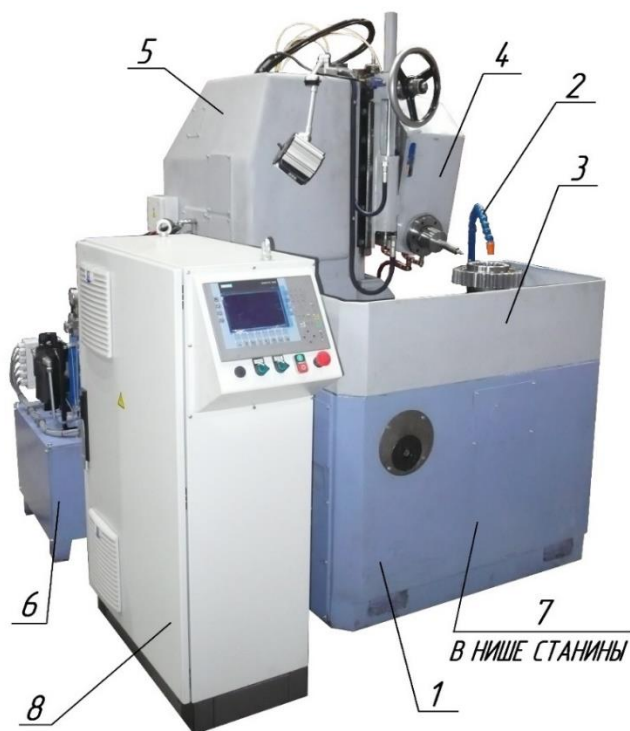


Рис 22 – Состав станка

Перечень основных частей станка представлен в таблице 5.

Таблица 5 – перечень основных частей станка

№ п/п	Наименование
1	Станина
2	Охлаждение
3	Ограждение
4	Суппорт
5	Стойка
6	Гидростанция
7	Станция смазки
8	Электрошкаф

Станок модели КСМ-5530 предназначен для закругления торцов зубьев прямозубых и косозубых цилиндрических колес типа «диск» наружного зацепления с числом зубьев  $Z=10...120$  модуля от 3 до 8 мм и диаметром от 100 до 500 мм, а также прямозубых колес внутреннего зацепления с числом зубьев  $Z=15...70$  модуля от 3 до 6 мм и внутренним диаметром зубчатого колеса от 80 до 200 мм.

Обработка на полуавтомате производится пальцевыми фрезами.

Основная область применения полуавтомата: автомобильная, авто тракторостроительная, машиностроительная и станкостроительная промышленность.

Одним из основных преимуществ модернизированного станка КСМ-5530 перед заводской моделью является возможность обработки торцов зубьев зубчатых колес широкой номенклатуры с целью получения фаски  $120^\circ$ . Так же, появилась возможность обработки заготовок разных параметром (модуля, диаметра и числа зубьев) изменением плеча контакта кулисы с кулачков в кулачковом механизме без замены самого кулачка, что значительно ускоряет процесс работы и повышает производительность. Замена кулачка в базовой модели станка является физически трудоемким процессом, требующим значительного времени. Следовательно, исключение этой операции при эксплуатации значительно уменьшает общее время обработки одной детали.

Результат обработки торцов зубчатых колес представлен на рис. 23.

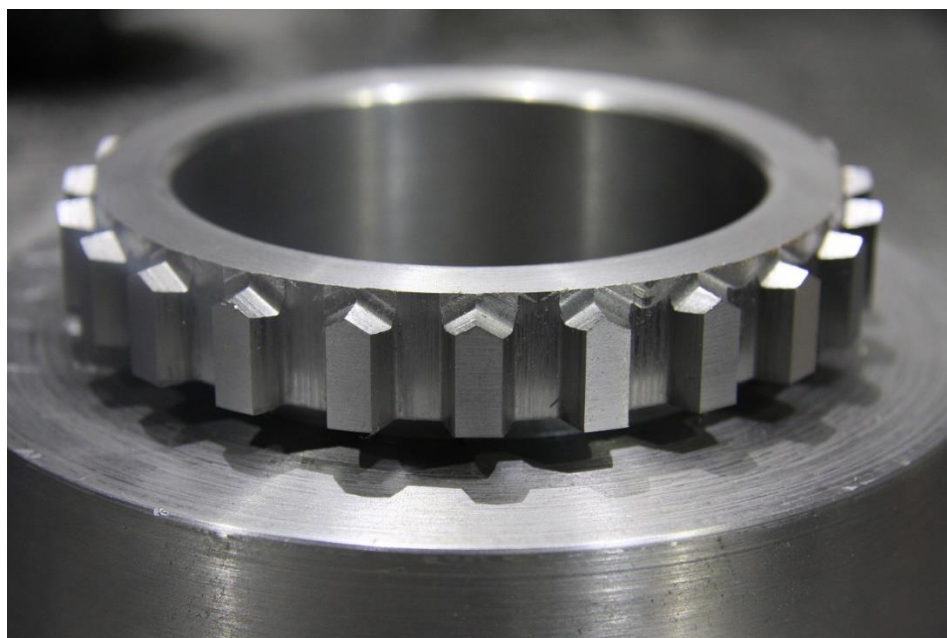


Рис 23 – пример обработки торцов зубьев на станке КСМ-5530

Также, в результате модернизации восстановлено не менее 80% износа всех узлов станка. Заменена гидравлическая и электрическая система станка.

Установлена система ЧПУ, повышающая точность обработки и удобство эксплуатации оборудования.



## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Исходя из вышеописанного, результатом работы является зубозакругляющий полуавтомат КСМ-5530, имеющий расширенные технологические возможности в сравнении с базовой комплектацией станка 5Н582, удовлетворяющие нужды конкретного производства, а именно возможность обработки торцов зубьев зубчатых колес под углом 120 градусов, иметь класс точности не ниже «Н» по ГОСТ 8-82, а также перейти в класс «полуавтомат». Так же, значительно упрощен процесс эксплуатации станка. Модернизация исключает необходимость в трудоемкой переналадке узлов станка при замене одного типа заготовки на другой.

Решены все поставленные задачи, а именно: спроектирован профиль кулачка, позволяющий обрабатывать торцы зубьев зубчатых колес под углом в 120 градусов, модернизированы механизмы подвода и отвода инструмента в рабочую зону, на станок установлена система ЧПУ и спроектирован унифицированный комплект оснастки для обработки большинства обрабатываемых на станке заготовок

Исходя из вышеописанного можно заключить, что цель работы полностью достигнута

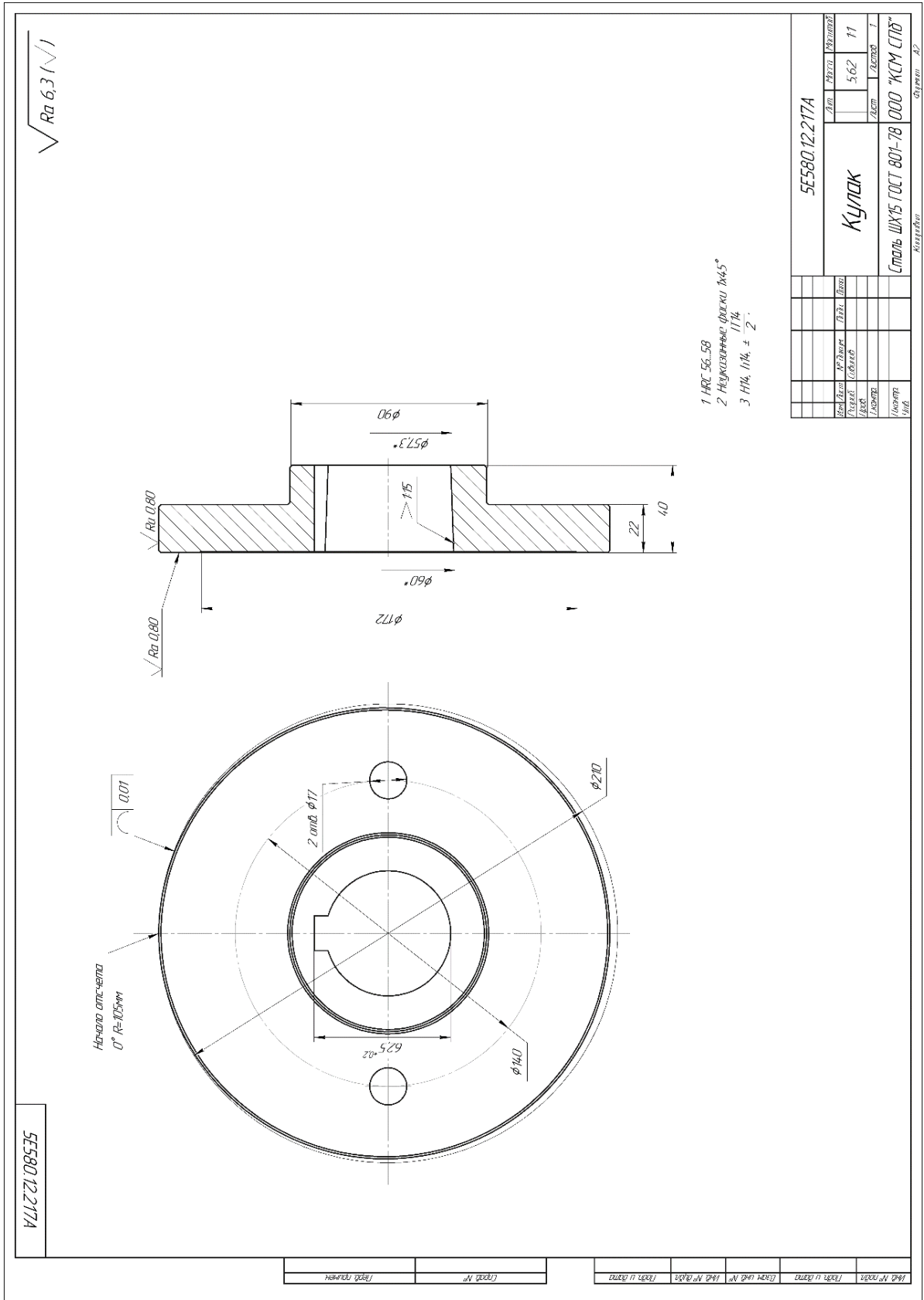
## СПИСОК ИСПОЛЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. В. В. Осепчугов, А. К. Фрумкин. Автомобиль. Анализ конструкций, элементы расчета. М.: Машиностроение. 1989, с.66
2. Способ и устройство переключения зубчатых передач в многоступенчатой коробке передач [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://findpatent.ru/patent/226/2268162.html> © , 2012-2020.
3. Зубозакругляющие станки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tornus.ru/katalog/metallorezanie/zuboobrabatyivayushhie/zubozakruglyayushhie/> Дата обращения 13.12.2020.
4. Каталог продуктов Siemens Industri [YW9325 с ЧПУ Siemens 802D](#) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://uselogic.ru/catalogs/siemens-ca01/katalog-produktov-siemens-industry-39955/> Дата обращения 15.12.2020.
5. Зубозакругляющие станки. Покупка. <https://spb.stanok-kpo.ru/katalog/zuboobrabatyivayushchie/> Дата обращения 13.12.2020.
6. Зубозакругляющие станки в России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://flagma.ru/zubozakruglyayushchiy-standok-so1399482-1.html> Дата обращения 16.11.2020.
7. Планирование эксперимента в технологических исследованиях / М. С. Винарский. - Киев: Техника, 1975. - 168 с.
8. Испытания и исследования металлорежущих станков: методические указания к лабораторным работам / сост. Ю. В. Кирилин. — Ульяновск.: УлГТУ, 2012. — 48 с.
9. Диагностика технологической системы «Станок-приспособление-инструмент-деталь». Учебное пособие. Под ред. Гаврилин А.Н., Мойзес Б.Б. – Томск: ТПУ, 2016. – 144 с.
10. Lyubomudrov, S.A., Khrustaleva, I.N., Tolstoles, A.A., Maslakov, A.P. Improving the efficiency of technological preparation of single and small batch production based on simulation modeling. Journal of Mining Institute – 2019. 240, с. 669-677.
11. Обработка зубчатых колес: учебн. пособие/ Пегашкин В. Ф.; М-во образования и науки РФ: ФГАОУ ВО «УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», Нижнетагил. технол. ин-т (фил.). – Нижний Тагил: НТИ (филиал) УрФУ, 2016. – 132 с.
12. ГОСТ 8-82. Станки металлорежущие. Общие требования к испытаниям на точность.

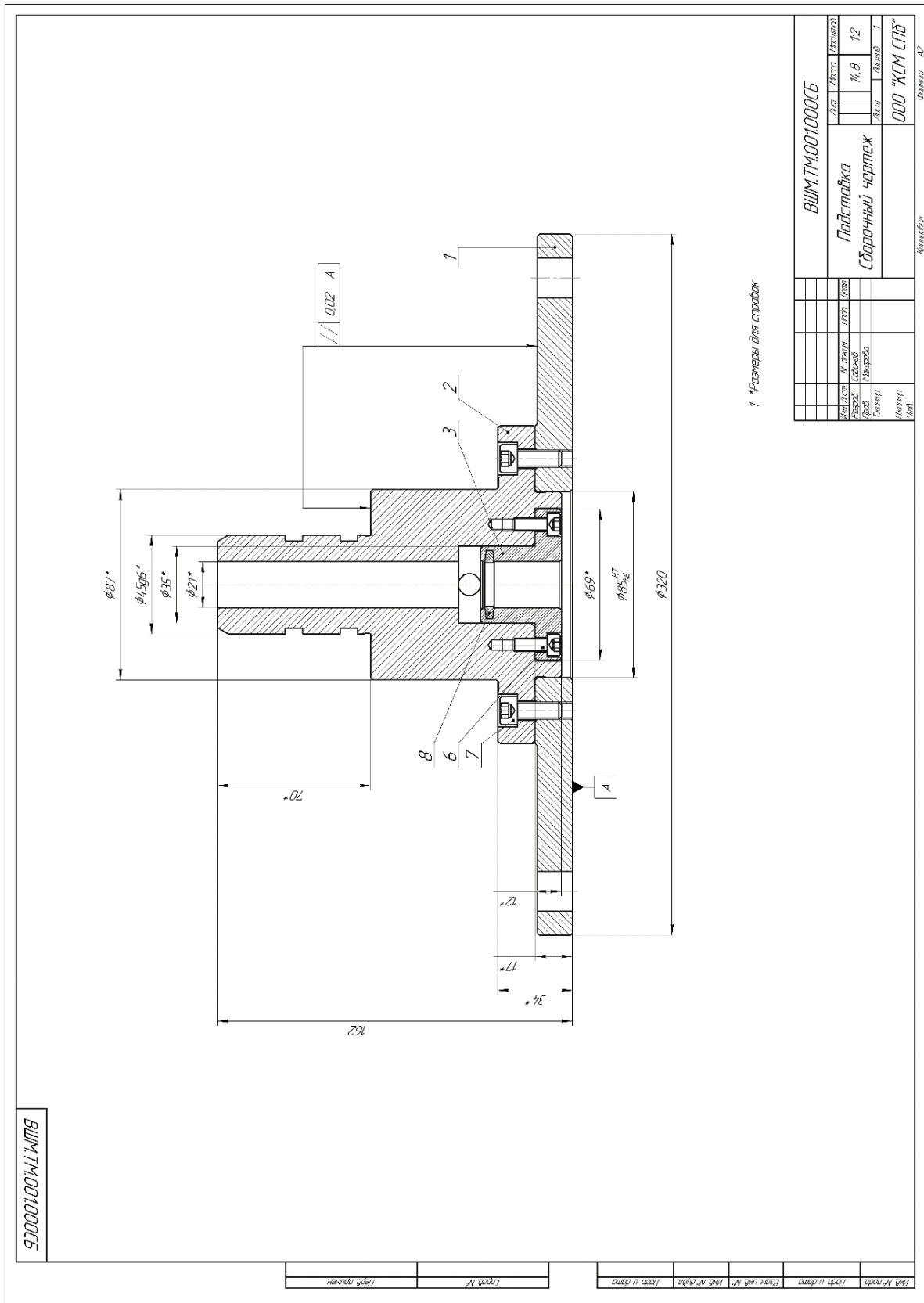
- 13.ГОСТ 19166-73 Станки зубозакругляющие. Нормы точности.
- 14.ГОСТ 22267-76. Станки металлорежущие. Схемы и способы измерений геометрических параметров.
- 15.ГОСТ 27. 410-87. Надежность в технике. Методы контроля показателей надежности и планы контрольных испытаний на надежность.
- 16.Металлорежущие станки и автоматы. Учебник для ВУЗов. Под ред. А.С. Проникова — М.: Машиностроение. 1981г. – 482 с.
- 17.Гаврилин А. Н. Инновационная разработка в области повышения производительности и точности на станках с ЧПУ / А.Н. Гаврилин, О. О. Ангаткина, П. С. Рожков // Контроль. Диагностика. - 2011. - № 2. - С. 52-55.
18. В. В. Джамай, Е. А. Самойлов, А. И. Станкевич, Т. Ю. Чуркина Прикладная механика, Москва Юрайт 2020г , с. 35.
19. Д.Ю. Воронов, В.В. Волосков, А.О. Драчев, О.В. Бойченко. Гидроцилиндры. Учебно-методическое пособие. Тольятти, ТГУ, 2011. с. 73.
- 20.Руководство по эксплуатации станка КСМ-5530. 2020г с. 81.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ**

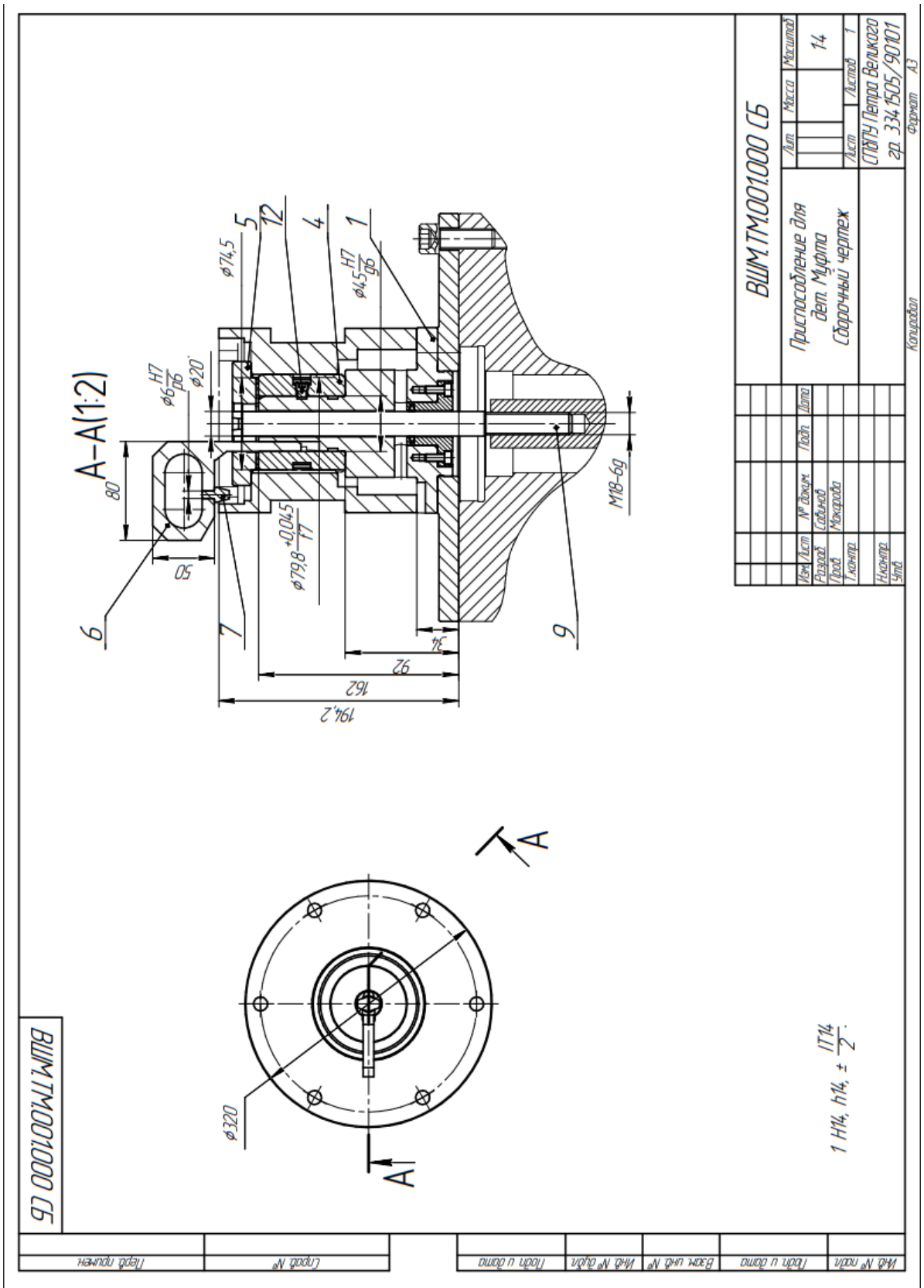
# Приложение 1. – Эскиз кулачка



# Приложение 2 – Основной комплект оснастки



# Приложение 3 – Комплект оснастки для детали «Муфта»







# Приложение 5 – Комплект оснастки для детали «Муфта»

1 H14, h14, ± 1/2.

ВШМТМ003.000 СБ

Мем/Лист	№ докум	Лист	Дата	Масса	Масштаб
Разработ	Собрано	Проверено	Т.контр.		14
Приспособление для дет. Шестерня Сборочный чертеж				Лист	Листов 1
Исполн.				СПИТУ Петра Великого	
Удб.				ар. 334.1505/90101	

Копировать А3

ВШМТМ003.000 СБ

Лист 1 из 1

Лист 1 из 1

Лист 1 из 1

# Приложение 6 – Комплект оснастки для детали «Муфта»

ВШМ.ТМ.004.000.СБ

A-A(1:2,5)

ВШМ.ТМ.004.000.СБ

1 H14, h14,  $\pm \frac{2}{1000}$

Лист		Масса		Максимум	
14	1				
ВШМ.ТМ.004.000.СБ					
Приспособление для					
дет. Зубчатка					
Сборочный чертеж					
СПбГУ Петра Великого					
зр. 334.1505/90101					
Инженер АЗ					

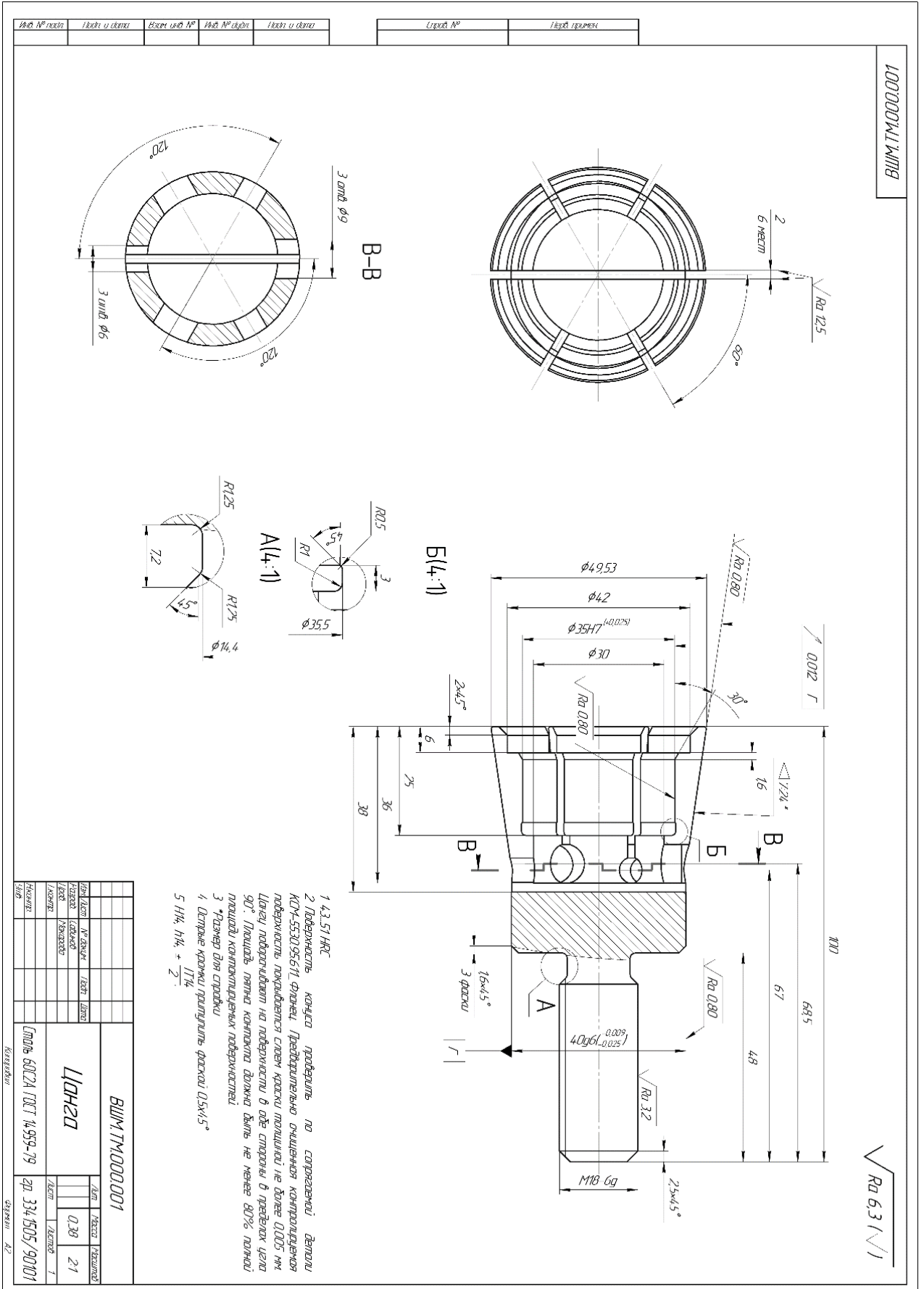


**Приложение 8 - Спецификация к комплекту оснастки для детали  
«Шестерня»**

Формат Листа	Плз	Обозначение	Наименование	Кол	Приме- чание
			<i>Документация</i>		
A2		<i>ВШМ.ТМ.006.000 СБ</i>	<i>Сборочный чертеж</i>		
			<i>Детали</i>		
A2	1	<i>ВШМ.ТМ.006.611</i>	<i>Фланец</i>	1	
A2	2	<i>ВШМ.ТМ.006.612</i>	<i>Цанга</i>	1	
A3	3	<i>ВШМ.ТМ.006.613</i>	<i>Стойка</i>	1	
A4	4	<i>ВШМ.ТМ.006.614</i>	<i>Центроискатель</i>	1	
A3	5	<i>ВШМ.ТМ.006.615</i>	<i>Основание</i>	1	
			<i>Стандартные изделия</i>		
	8		<i>Винт М8-6дх60 ГОСТ 11738-84</i>	6	
	9		<i>Винт М6-6дх40 ГОСТ 11738-84</i>	2	
	10		<i>Штифт 5х36 ГОСТ 10774-80</i>	3	
<i>ВШМ.ТМ.005.000</i>					
Изм. Лист		№ докум.	Подп.	Дата	
Разраб. Савинов					
Пробв. Макарова					
Н.контр.					
Утв.					
Инв. № подл.			Лит		Листов
					1
			СПбГУ Петра Великого		
			зр 334 1505/90101		
			Формат А4		

*Копировал*

# Приложение 9 – Чертеж детали «Цанга»



ВШМ.ТМ.000.001

√ Ra 6.3 (√)

- 1 4.3.51 HRc
- 2 Поверхность конуса обработать по справочной детали ИСН-553095671, фланец. Предварительно ошкуривая композитными покрытиями, покрываться слоем краски толщиной не более 0,005 мм. Цангу подготавливать на поверхности в обе стороны в пределах угла 90°. Поверхность лянца коника должна быть не менее 80% покрыта пылью композитных покрытий.
- 3 \*Размер для справки
- 4 Устране крамок пригильте фаской 0.5x45° 174
- 5 174, 174, + 2-

ВШМ.ТМ.000.001		Лист		Всего листов	
Цанга		0.39		2.1	
Станд. 60.024 ГОСТ 14.959-79		Экз. 334.1505/90101		Деталь	
Исполнитель		Проверен		Деталь	