

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ»
(КНИТУ-КАИ)

ИНСТИТУТ АВИАЦИИ, НАЗЕМНОГО ТРАНСПОРТА И ЭНЕРГЕТИКИ

Кафедра технологии машиностроительных производств

Направление подготовки: 15.03.05 Конструкторско-технологическое
обеспечение машиностроительных производств

Образовательная программа: Технологии, оборудование и автоматизация
машиностроительных производств

К защите допустить

Зав. каф. Р.М. Янбаев

«__» _____ 2025 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

на тему «Проектирование технологии изготовления детали «Ролик
ременный» с разработкой управляющей программы»

ОБУЧАЮЩИЙСЯ Галеев Л.Ф. группа 1408

(инициалы, фамилия, № группы)

(личная подпись)

РУКОВОДИТЕЛЬ доцент каф. ТМП М.В. Печенкин

(ученая степень, звание, инициалы, фамилия)

(личная подпись)

Казань 2025

Designing the manufacturing technology of the "Belt roller" part with the development of a control program

by
Galeev Lenar Fanisovich

Submitted to the Department of Machine-Building Technology

in partial fulfillment of the Requirements for the degree of

BACHELOR OF SCIENCE

at the

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Kazan National Research Technical University named after A.N.Tupolev-KAI»
(KNRTU-KAI)

Author L.F. Galeev
(signature)

Supervisor M.V. Pechenkin
(signature) Associate professor, Department of
Machine-Building Technology

Certified by R.M. Yanbaev
(signature) Head of the Department of
Machine-Building Technology

date _____

СОДЕРЖАНИЕ

Аннотация.....	5
ANNOTATION.....	6
ВВЕДЕНИЕ.....	7
1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	9
1.1 Описание детали «Ролик ременный».....	9
1.2 Анализ конструкции детали «Ролик ременный»	12
1.2.1 Качественный анализ технологичности детали.....	12
1.2.2 Количественный оценка технологичности детали	14
1.3 Обоснование вида, способа получения и формы исходной заготовки ..	17
1.4 Разработка технологического процесса механической обработки детали «ролик ременный»	20
1.5 Установление последовательности обработки поверхностей,.....	22
выбор измерительных и технологических баз	22
1.6. Составление эскиза совмещенных переходов, выявление и построение осевых размерных цепей	24
1.7 Расчет осевых размерных цепей и размерный анализ полученных размеров	27
1.8 Составление эскиза совмещённых переходов, выявление и построение диаметральных размерных цепей.....	37
1.9 Расчет диаметральных размерных цепей и размерный анализ полученных размеров	39
1.10 Сравнительный анализ результатов расчета осевых и диаметральных размеров исходной заготовки.....	43
1.11 Расчет средней глубины резания.....	45

					КТОМП.2025.2112065.000			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Проектирование технологии изготовления детали «Ролик ременный» с разработкой управляющей программы	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Галеев Л.Ф.					3	69
Проверил.		Печенкин М.В.						
Реценз.								
Н. Контр.		Печенкин М.В.						
Утверд.		Янбаев Р.М.				КНИТУ-КАИ гр. 1408		

2. ПРОФИЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	46
2.1 Выбор оборудования и способов базирования заготовки	47
2.2 Установление количества и последовательности выполнения переходов и рабочих ходов.....	49
2.3 Выбор режущих и вспомогательных инструментов. Расчет режимов резания.....	50
3. РАЗРАБОТКА УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛИ «РОЛИК РЕМЕННЫЙ» В САМ- СИСТЕМЕ SIEMENS NX.....	57
3.1 Разработка 3D – модели детали «Ролик ременный» в модуле САD	57
3.2 Разработка в модуле САМ исходных данных для программирования обработки	61
3.3 Формирование управляющей программы	63
3.4 Симуляция разработанной управляющей программы в системе NX.....	66
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	67
CONCLUSION.....	68
Список использованных источников и литературы.....	69

					КТОМП.2025.2112065.000			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Проектирование технологии изготовления детали «Ролик ременный» с разработкой управляющей программы	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Галеев Л.Ф.						
Проверил.		Печенкин М.В.					3	69
Реценз.						КНИТУ-КАИ гр. 1408		
Н. Контр.		Печенкин М.В.						
Утверд.		Янбаев Р.М.						

АННОТАЦИЯ

Тема выпускной квалификационной работы: Проектирование технологии изготовления детали «ролик ременный» с разработкой управляющей программы

Автор: Галеев Л.Ф.

Руководитель: Печенкин М.В.

Выпускная квалификационная работа содержит 69 страниц пояснительной записки, 11 таблиц, 29 рисунков, 25 источников, 7 листов графического материала, 15 страниц приложения.

Ключевые слова: конструкция заготовки и детали, технологический процесс механической обработки, размерный анализ, роботизированный комплекс, числовое программное управление.

Объект исследования - деталь «ролик ременный».

Предмет исследования – технология изготовления детали «ролик ременный» с использованием автоматизированного оборудования.

Метод исследования – теория размерных цепей, методика расчета режимов резания, методика проектирования и разработка управляющих программ.

Полученные результаты – разработанный технологический процесс изготовления детали «ролик ременный» для автоматизированного производства с проектированием оснастки для получения заготовки.

Область применения и внедрения – изготовление детали «ролик ременный» на станках с ЧПУ.

					КТОМП.2025.2112065.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		5

ANNOTATION

The topic of the final qualifying work: Designing the manufacturing technology of the "belt roller" part with the development of a control program

Author: Galeev L.F.

Supervisor: Pechenkin M.V.

The final thesis contains 69 pages of explanatory notes, 11 tables, 29 figures., 25 sources, 7 sheets of graphic material, 15 pages of the appendix.

Keywords: billet and part design, technological process of mechanical processing, dimensional analysis, robotic complex, numerical control.

The object of the study is the detail "belt roller".

The subject of the research is the manufacturing technology of the "belt roller" part using automated equipment.

The research method is the theory of dimensional circuits, the methodology for calculating cutting modes, the design methodology and the development of control programs.

The results obtained are the developed technological process of manufacturing the "belt roller" part for automated production with the design of tooling for obtaining the workpiece.

The scope of application and implementation is the manufacture of the "belt roller" part on CNC machines.

					КТОМП.2025.2112065.000	Лист
						6
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

ВВЕДЕНИЕ

Механическая обработка деталей остается ключевым процессом в машиностроении, обеспечивая высокую точность изготовления элементов для различных отраслей промышленности. Современные методы обработки, такие как фрезерование, токарная обработка и шлифование, позволяют достигать микронных допусков, что особенно важно для деталей, работающих в условиях высоких нагрузок. Например, при изготовлении роликов ременных передач критически важна точность геометрии поверхности, так как от этого зависит коэффициент трения и долговечность узла.

В рамках механической обработки осуществляется производство деталей различного уровня сложности, включая подбор оптимального инструмента, а также проведение финишных операций (например, шлифование или полирование). Ключевыми факторами, влияющими на качество, экономическую эффективность и производительность, являются конструктивные особенности режущего инструмента, обеспечивающего контролируемую деформацию обрабатываемого материала.

Для обеспечения высокого качества готовых изделий требуется внедрение усовершенствованных технологических процессов, использование современного оборудования, проведение технико-экономических исследований и применение расчетных методик при решении производственных задач. Такой комплексный подход способствует повышению эффективности выпуска продукции с заданными техническими характеристиками.

Первая часть выпускной квалификационной работы посвящена разработке технологического процесса изготовления детали "Ролик ременный" с применением современного оборудования и инструмента.

Во второй части рассматривается проектирование роботизированного технологического комплекса, предназначенного для автоматизации операций загрузки и транспортировки деталей между производственными центрами.

					КТОМП.2025.2112065.000	Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

Объектом исследования выступает деталь "Ролик ременный". Цель работы заключается в разработке технологического процесса механической обработки данной детали на оборудовании с ЧПУ и создании проекта роботизированного производственного комплекса.

Выпускная квалификационная работа включает в себя следующие задачи:

Провести анализ конструктивных особенностей детали "Ролик ременный" и обосновать выбор способа получения заготовки.

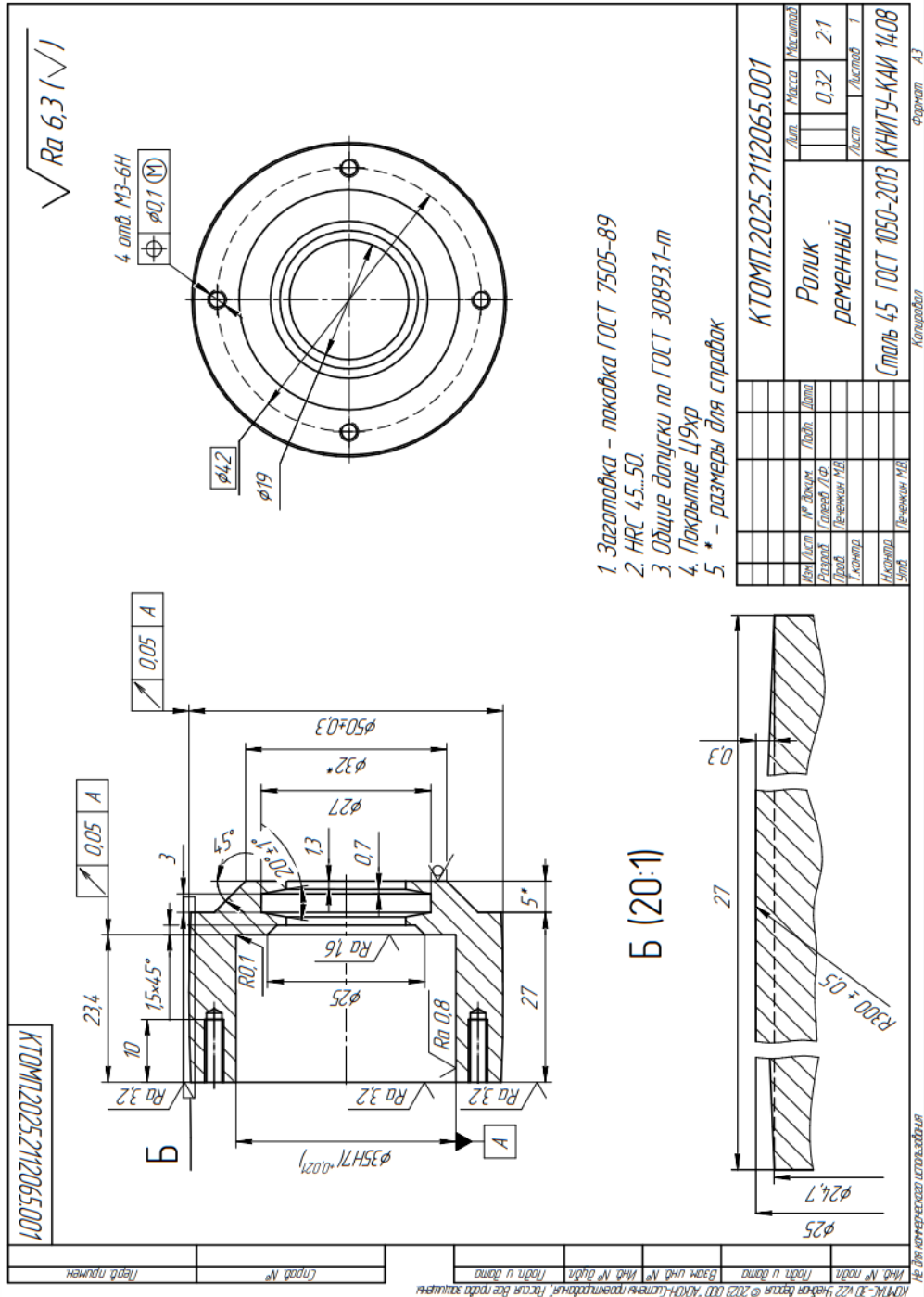
1. Разработать технологический процесс для обработки на станках с ЧПУ.
2. Построить эскизы совмещенных переходов и провести необходимые расчеты.
3. Подобрать основное и вспомогательное оборудование, рассчитать параметры резания и временные нормы.
4. Разработать компоновочное решение роботизированного комплекса для конкретной детали.
5. Оформить комплект конструкторской и технологической документации.

Автоматизация производственных процессов позволяет существенно сократить сроки подготовки производства, упростить внедрение новых технологий и изделий, систематизировать документооборот, а также оперативно корректировать действующие технологические процессы.

1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ
1.1 Описание детали «Ролик ременный»

					КТМП.2025.2112065.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		9

Ролик ременный – это важная составляющая механизма,



обеспечивающая правильное вращение ремня и передачу движения. Он

КТМП.2025.2112065.000

Лист

10

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

играет ключевую роль в работе значимых узлов и агрегатов, обеспечивая надежность функционирования всего механизма.

Рисунок 1. Чертеж детали «Ролик ременный»

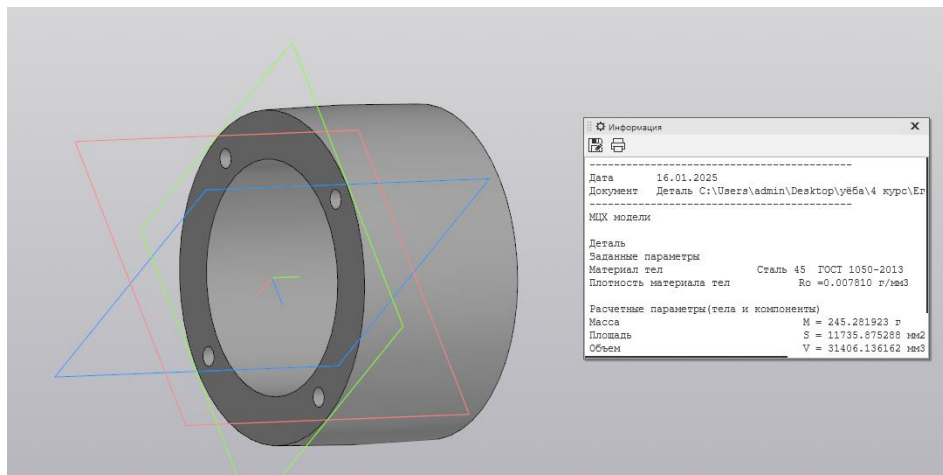


Рисунок 2. Объемная модель детали «Ролик ременный»

В соответствии с ГОСТ 2.109-73 «Единая система конструкторской документации. Основные требования к чертежам» исправлены следующие недочеты:

1. Размеры выполнены в комбинированном виде;
2. Были добавлены технические требования;
3. Были добавлены допуски расположения;
4. Назначены: твердость, покрытие;
5. В соответствии с ГОСТ 30893.1 был назначен общий допуски «m»;

Выбор типа ролика и его параметры зависят от специфики производства и требований конкретного механизма. Технологическое оборудование, используемое при изготовлении роликов ременных систем, определяется типом производства и степенью его автоматизации.

Среднесерийное производство ориентировано на выпуск деталей повторяющимися партиями и является наиболее распространенным в машиностроительной сфере. Технологический процесс организован по

принципу разделения операций между отдельными рабочими местами, каждое из которых отвечает за конкретный этап обработки. Переход между партиями требует перенастройки оборудования, что повышает требования к гибкости производственных линий.

Для выполнения операций применяют универсальные металлорежущие станки, станки с ЧПУ, а также автоматизированные системы. Особое внимание уделяется использованию специализированного режущего инструмента и точных измерительных приборов. Эффективность производства достигается за счет сокращения времени переналадки, автоматизации контроля качества и унификации процессов для деталей схожей конструкции.

Таблица 1 - Объем продукции при разных типах производства

Серийность производства	Количество изделий в серии (партии)		
	Мелкие (до 10 кг)	Средние (св.10 до 100 кг)	Тяжёлые (св. 100кг)
Единичное	до 100	до 10	до 5
Мелкосерийное	100-500	10 – 200	5 – 100
Среднесерийное	500 – 5 000	200 – 500	100 – 300
Крупносерийное	5 000 – 50 000	500 – 5 000	300 – 1 000
Массовое	св. 50 000	св. 5 000	св. 1 000

1.2 Анализ конструкции детали «Ролик ременный»

1.2.1 Качественный анализ технологичности детали

По Общероссийскому классификатору изделий и конструкторских документов ОК ЕСКД для детали «Ролик ременный» имеем – это класс 30 - Детали- Сборочные единицы общемашиностроительные / Устройства, передающие движение / Цепи и их звенья, канаты, тросики, балансиры, ремни, устройства включения и переключения, шкивы для ремней, блоки,

шпиндели, рычаги / Цепи (устройства, передающие движение) /
Приводные роликовые, втулочные.

Код классификатора ЕСКД: 303616

Сборочные единицы общемашиностроительные / Устройства, передающие движение / Цепи и их звенья, канаты, тросики, балансиры, ремни, устройства включения и переключения, шкивы для ремней, блоки, шпиндели, рычаги / Цепи (устройства, передающие движение) / Приводные роликовые, втулочные

Поиск по ОК ЕСКД

- Информация о классификаторе ЕСКД
- ОК ЕСКД Общероссийский классификатор изделий и конструкторских документов ОК 012-93
- » 30 Сборочные единицы общемашиностроительные
- » 303 Устройства, передающие движение
- » 3036 Цепи и их звенья, канаты, тросики, балансиры, ремни, устройства включения и переключения, шкивы для ремней, блоки, шпиндели, рычаги
- » 30361 Цепи (устройства, передающие движение)
- 303616 Приводные роликовые, втулочные**

Код классификатора ЕСКД 303616 / Общероссийский классификатор изделий и конструкторских документов / Сборочные единицы общемашиностроительные / Устройства, передающие движение / Цепи и их звенья, канаты, тросики, балансиры, ремни, устройства включения и переключения, шкивы для ремней, блоки, шпиндели, рычаги / Цепи (устройства, передающие движение) / Приводные роликовые, втулочные

Рис. 3 Классификатор ЕСКД

Деталь «Ролик ременный» изготавливается из стали 45. Сталь 45 – углеродистая конструкционная нелегированная специальная качественная сталь. Основные элементы – углерод и железо. Легирующие добавки отсутствуют. По содержанию серы и фосфора в составе сталь 45 соответствует качественным сталям. Не является устойчивой к коррозии или средам с повышенной кислотностью, эксплуатация в условиях повышенной влажности затруднена, требуется защитное покрытие.

Некоторые физические и технологические характеристики:

- 1) Вес (удельный): 7826 кг/м³.
- 2) Твердость стали 45: НВ = 50 HRC (после закалки).
- 3) Температураковки: от 1250 до 700 °С с последующим охлаждением на воздухе (для деталей, сечение которых варьируется до 400 мм).
- 4) Токарная обработка рекомендуется в горячекатаном состоянии.
- 5) Варианты сварки: РДС, КТС (при подогреве). Требуется дальнейшая термообработка.
- 6) Склонность ко хрупкости при отпуске: отсутствует.

Таблица 2 – Химический состав (по ГОСТ 1050-2013)

Химический элемент	%
Углерод (С)	0.42-0.50
Кремний (Si)	0.17-0.37
Медь (Cu), не более	0.25
Мышьяк (As), не более	0.08
Марганец (Mn)	0.50-0.80
Никель (Ni), не более	0.25
Фосфор (P), не более	0.035
Хром (Cr), не более	0.25
Сера (S), не более	0.04

1.2.2 Количественный оценка технологичности детали

Необходимость количественной оценки технологичности конструкции деталей, а также номенклатура показателей и методика их определения устанавливаются в зависимости от вида изделий, типа производства и стадии разработки конструкторской документации отраслевыми стандартами или стандартами предприятия.

Количество показателей должно быть минимальным, но достаточным для оценки технологичности.

Количественная оценка эксплуатационной и ремонтной технологичности конструкции изделия проводится обязательно при затратах на эксплуатацию и ремонт сопоставимых или превышающих затраты на её производство.

Для количественной оценки технологичности конструкции детали из предусмотренной номенклатуры рекомендуется применять следующие показатели технологичности:

Показатель материалоемкости

Показатель материалоемкости, который характеризуется коэффициентом использования материала

$$K_{им} = \frac{M_d}{M_3}$$

$$K_{им} = \frac{0.32}{0.38} = 0,84$$

где M_d – масса детали, кг; принимаем условно $M_d = 0.32$ кг.

M_3 – масса заготовки, кг; принимаем условно $M_3 = 0.38$ кг.

Базовое значение показателя $K_{им} = 0,7$.

Расчетное значение коэффициента использования материала ниже базового, это значит, что выбранный метод получения заготовки и её конфигурация не удовлетворяют требованиям технологичности.

Коэффициент унификации конструктивных элементов

$$K_{у.э} = \frac{Q_{у.э}}{Q_э}$$

где $Q_{у.э}$ и $Q_э$ – соответственно число унифицированных конструктивных элементов детали и общее, шт.;

К унифицированным поверхностям относятся стандартные канавки, фаски, центровочные гнезда, зубчатые, шлицевые, шпоночные поверхности; гладкие цилиндрические и плоские поверхности, если их номинальный размер принадлежит одному из рядов номинальных линейных размеров и допуск размера назначен по квалитетам.

Базовое значение показателя $K_u = 0,8$

Примеры унифицированных конструктивных элементов:

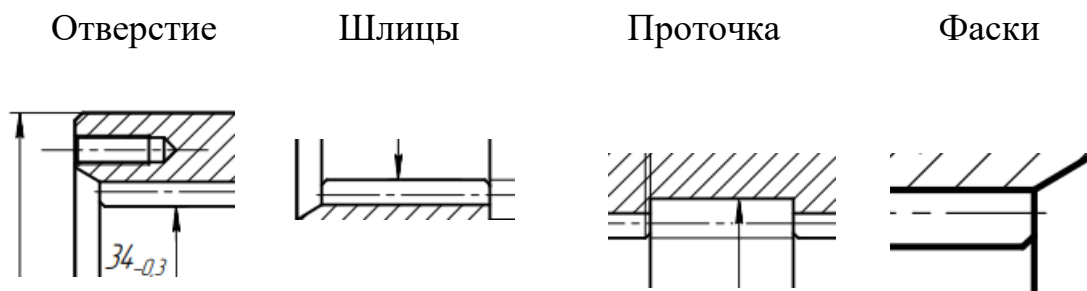


Рис 4. Примеры унифицированных конструктивных элементов

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата
------	------	---------	---------	------

КТОМП.2025.2112065.000

Лист

15

$$Q_3 = 14 \text{ шт.}, Q_{y.3} = 12 \text{ шт.};$$

$$K_{y.3} = \frac{Q_{y.3}}{Q_3} = \frac{12}{14} = 0,85;$$

Коэффициент применяемости стандартизованных обрабатываемых поверхностей

$$K_{п.ст} = \frac{D_{o.c}}{D_{м.о}}$$

где $D_{o.c}$, $D_{м.о}$ – соответственно число поверхностей детали, обрабатываемых стандартным инструментом, и всех, подвергаемых механической обработке поверхностей, шт.;

$$K_{п.ст} = \frac{D_{o.c}}{D_{м.о}} = \frac{14}{14} = 1;$$

Коэффициент обработки поверхностей

$$K_{п.о} = 1 - \frac{D_{м.о}}{D_3}$$

где $D_{м.о}$ и D_3 соответственно число поверхностей подвергаемых механической обработке и общее число поверхностей, шт.;

$$K_{п.о} = 1 - \frac{D_{м.о}}{D_3} = 1 - \frac{14}{14} = 0$$

Коэффициент шероховатости поверхности

$$K_{ш} = 1 - \frac{1}{B_{cp}}, B_{cp} = \frac{\sum B_i \cdot n_i}{\sum n_i}$$

где B_i - значение параметра шероховатости, n_i - количество параметров шероховатости;

$$Rz20 \sim Ra5;$$

$$B_{cp} = \frac{\sum B_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{3.2 \times 6 + 0.8 \times 2 + 1,6 \times 3}{11} = 2,33 \text{ мкм};$$

$$K_{ш} = 1 - \frac{1}{B_{cp}} = 1 - \frac{1}{2,33} = 0,57;$$

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата
------	------	---------	---------	------

КТОМП.2025.2112065.000

Лист

16

Таким образом, проанализировав количественные показатели технологичности для данной детали, следует отметить несколько ключевых факторов:

Коэффициент использования материала, который является выше среднего ($0,84 > 0,7$). Это говорит о том, что лишь незначительная часть материала срезается в стружку, что приводит к увеличению технологичности изделия, а также к удешевлению детали.

Коэффициент шероховатости поверхности показал, что деталь технологична, так как имеет достаточную неглубокую поверхность.

Коэффициент применяемости стандартизованных обрабатываемых поверхностей показывает, что все поверхности обрабатываются стандартным инструментом.

Таким образом, проанализировав качественные и количественные показатели технологичности детали «Ролик ременный», можно сделать вывод, что деталь является технологичной

1.3 Обоснование вида, способа получения и формы исходной заготовки

Правильный выбор материала для заготовки имеет прямое влияние на эффективность технологического процесса изготовления, как отдельных деталей, так и целых машин, что способствует сокращению издержек на материалы и уменьшению производственных отходов.

В качестве первого варианта заготовки рассмотрим поковку. Поковка — это заготовка или готовое изделие, полученное свободной ковкой или горячей объемной штамповкой в кузнечно-штамповочном производстве, которое характеризуется минимальными припусками на механическую обработку. Такая поковка обладает высокой прочностью и качеством изготовления, а также позволяет сократить время механической обработки.

					КТОМП.2025.2112065.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		17

Вторым вариантом заготовки может быть прокат. Прокат в металлургии — это вид специализированной продукции, получаемой путем прокатки металла. Прокатка металла осуществляется на стадии его производства, следующей за литьем. В основном данное производственное мероприятие называют прокатом металла или прокаткой металлургии.

1. Рассмотрим в качестве заготовки **стальной прокат**:

По таблицам 1 (номинальный диаметр проката, предельные отклонения) по ГОСТ 7417-75 «Сталь калиброванная круглая» определяем параметры заготовки.

В качестве заготовки используем пруток диаметром 55 мм и длиной 35 мм.

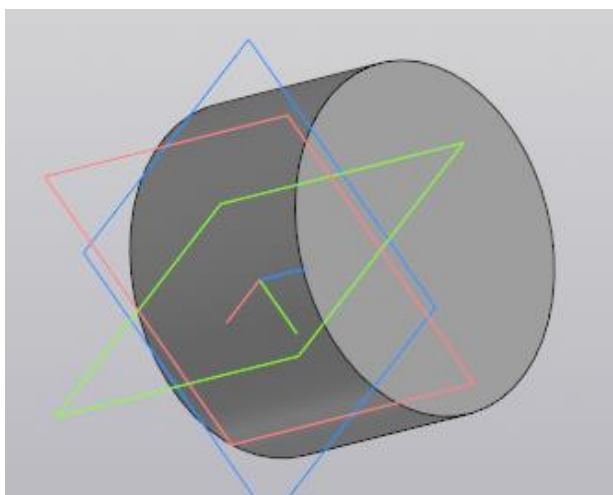


Рис. 5. 3D модель прутка

Коэффициент использования материала (КИМ) в таком случае будет равен:

$$\text{КИМ} = \frac{m_{\text{дет}}}{m_{\text{заг}}} = \frac{0,32}{0,564} = 0,57$$

Невысокий КИМ указывает на довольно большое количество материала, уходящего в стружку при механической обработке.

2. Рассмотрим в качестве заготовки поковку, изготовленную на кривошипном горячештамповочном прессе.

Штамповка на горячештамповочных прессах осуществляется так же, как и на молотах, в многоручьевых штампах. Однако производительность механического пресса и качество изделий, получаемых на нем, значительно выше, чем при штамповке на молотах. При обработке на механическом прессе заготовка в каждом ручье обжимается только один раз (одним ходом ползуна), в то время как на молоте для этого требуется несколько (8—10) ударов. Давление ползуна и конечное положение штампов при каждом ходе механического пресса постоянны, что обеспечивает постоянство размеров и механических свойств поковок.

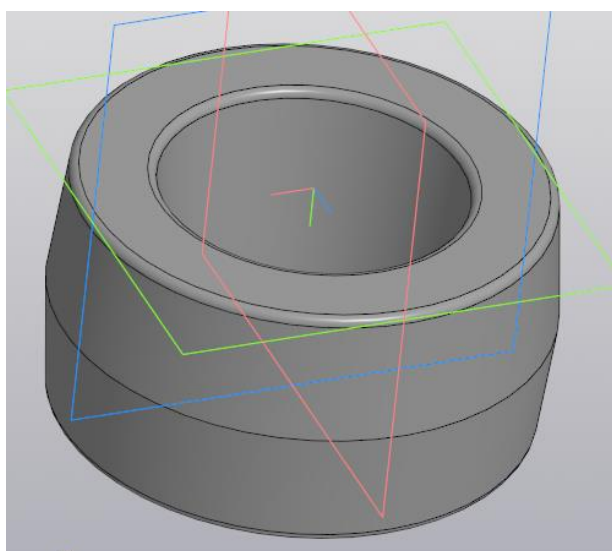


Рисунок 6. 3D-модель поковки в закрытых штампах

Основные параметры получаемой заготовки определяем по ГОСТ 7505-89:

Группа стали - М2

Класс точности – Т3

Степень сложности поковки- С2

Исходный индекс - 6

Основные припуски на механическую обработку (на сторону) - 1мм

Штамповочный уклон не должен превышать 5° для внутренних поверхностей и 7° для наружных.

Коэффициент использования материала (КИМ) в таком случае будет равен:

					КТОМП.2025.2112065.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		19

$$\text{КИМ} = \frac{m_{\text{дет}}}{m_{\text{заг}}} = \frac{0,32}{0,38} = 0,84$$

Сравним КИМ, полученные при штамповке и при прокате:

$$\text{КИМ}_{\text{поковка}} > \text{КИМ}_{\text{прокат}}$$

$$0,84 > 0,57$$

Основными факторами, определяющими вид заготовки, являются материал детали, ее конфигурация, габаритные размеры и, что немаловажно, условия ее работы.

Изготовление детали из сортового проката значительно увеличит время обработки и количество технологических операций, к тому же стоимость заготовки в сравнении со стоимостью самой детали, будет завышена из-за КИМ. Прокат перед подачей в механический цех требует калибровки для чего также требуется оборудование. Исходя из этого технологический процесс из данной заготовки является экономически невыгодным при рассматриваемом среднесерийном производстве.

А заготовка из поковки является более близкой по конфигурации к готовому изделию и дает возможность не проводить обработку на некоторых не особо ответственных поверхностях, оставляя полученную шероховатость и размер заготовки до конца. При поковке волокна металла вытягиваются вдоль формы заготовки, что делает структуру более равномерной и вследствие этого лучшие механические свойства, чем сортовой прокат.

1.4 Разработка технологического процесса механической обработки детали «ролик ременный»

Технологический процесс представляет собой ключевой этап производственного цикла, объединяющий последовательность операций по преобразованию заготовки в готовое изделие. Его разработка требует строгого соответствия требованиям, зафиксированным в конструкторской и технологической документации — точность геометрических параметров, шероховатость поверхностей и допуски должны быть полностью соблюдены.

					КТОМП.2025.2112065.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		20

Экономическая эффективность процесса достигается за счет рационального использования ресурсов: сокращения расхода материала за счет изменения припусков, сокращения времени обработки путем назначения оптимальных режимов резания, а также снижения энергозатрат за счет применения современного оборудования и технологий. Такой подход обеспечивает баланс между качеством выпускаемой продукции и себестоимостью ее производства.

В таблице 3 представлен маршрут обработки детали «Ролик ременный».

Таблица 3 – Маршрут обработки детали «Ролик ременный»

Номер операции	Наименование операции	Обоснование операции
Оп. 000	Заготовительная	Заготовка – поковка
Оп. 005	Отжиг	Цели отжига — снижение твёрдости для облегчения механической обработки, снятие внутренних напряжений
Оп. 010	Токарная с ЧПУ	Установ А (шпиндель): - подрезка торца, - точение внутренних поверхностей. Установ Б (противошпиндель): - подрезка торца, - сверление и расточка внутренних поверхностей. - точение наружной поверхности.
Оп. 015	Закалка	Цель закалки – увеличение твердости и прочности заготовки, до значений заданных конструктором.
Оп. 020	Токарная с ЧПУ	- расточка внутренних поверхностей - сверление глухих отверстий - нарезка резьбовых отверстий

КТОМП.2025.2112065.000

Лист

21

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата
------	------	---------	---------	------

Оп. 025	Шлифовальная	Шлифовка наружной поверхности, придание детали бочкообразности.
Оп. 030	Промывка	Промывка детали от СОЖ, стружки и пыли
Оп. 035	Покрытие	Покрытие детали защитным слоем от коррозии
Оп. 040	Контроль	Проверка диаметральных и линейных размеров, шероховатостей, допусков формы и расположения.

1.5 Установление последовательности обработки поверхностей, выбор измерительных и технологических баз

На каждом этапе первыми обрабатываются поверхности, которые в дальнейшем используются в качестве баз. В зависимости от схемы простановки размеров возможны 3 варианта:

- при координатной системе простановки размеров первой обрабатывается база, затем остальные поверхности в технологической последовательности;
- при цепной системе простановки размеров первой может быть обработана любая поверхность, но остальные обрабатываются последовательно по цепочке;
- при комбинированной системе используются обе рекомендации.

В качестве технологических баз на всех операциях рекомендуется выбирать поверхности правильной геометрической формы (плоскости, цилиндры, конусы и т.п.), имеющие максимальную протяженность. При этом необходимо учитывать жесткость заготовки в направлении приложения сил закрепления и сил резания.

Важным с экономической точки зрения является наличие станочных приспособлений, либо эффективность их изготовления или приобретения (при проектной разработке).

На предварительном этапе обработки необходимо удалить максимальное количество металла за минимальное время при возможно меньших потерях точности. Поэтому при назначении технологических баз и измерительных баз используют принцип совмещения баз для межоперационных координирующих размеров (один межоперационный размер по каждой координате).

Остальные размеры по этой координате назначают внутри операционными, которые получаются всегда точнее, чем межоперационные, так как в них входит только погрешность методов обработки и не входят погрешности базирования и установки.

На первой операции черновой обработки с удалением металла обеспечивается заданный конструктором размер, связывающий комплекс механически обрабатываемых поверхностей с поверхностями детали, не подвергаемыми механической обработке.

Для данной детали в предварительном этапе мы обрабатываем торец и растачиваем внутреннее отверстие, для обеспечения баз в последующих этапах.

Для операции 010 Токарная с ЧПУ, уст.А будем базировать заготовку в кулачковом патроне. Упирая её в торец детали и зажимая за штамповочный уклон так, чтобы деталь не стремилась выпасть из патрона.

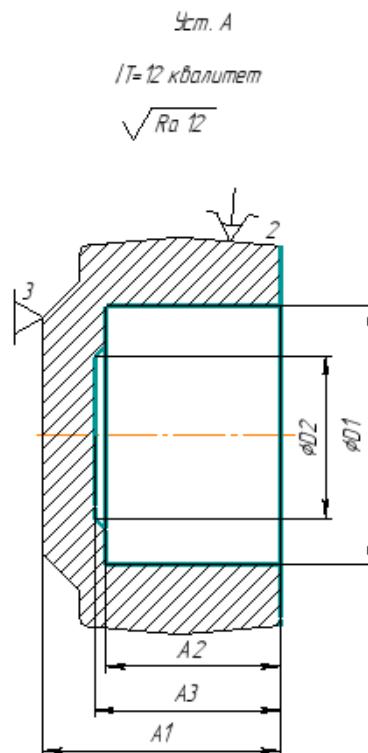


Рис.7. Пример базирования заготовки
1.6. Составление эскиза совмещенных переходов, выявление и построение осевых размерных цепей

После разработки плана обработки, необходимо рассчитать технологические размеры при обработке детали. Для этого составляем эскиз совмещенных переходов (ЭСП) на основе плана обработки. Он необходим для составления размерных цепей.

ЭСП разрабатывается в порядке очередности выполнения операций, т.е. от заготовки к детали, начиная с первой операции и заканчивая последней. Для построения ЭСП вначале составляется эскиз заготовки, проводя линии, определяющие её границы, и наносятся начальные условные размеры: Н1, Н2, Н3. Далее в порядке выполнения плана обработки проставляются операционные и конструкторские размеры и припуски. Затем проставляются конструкторские размеры, которые могут быть равными операционным и не являются операционными, т.е. они в ходе операций не выполняются, а получается автоматически. В цепи должно быть только одно замыкающее звено.

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата
------	------	---------	---------	------

КТОМП.2025.2112065.000

Лист

24

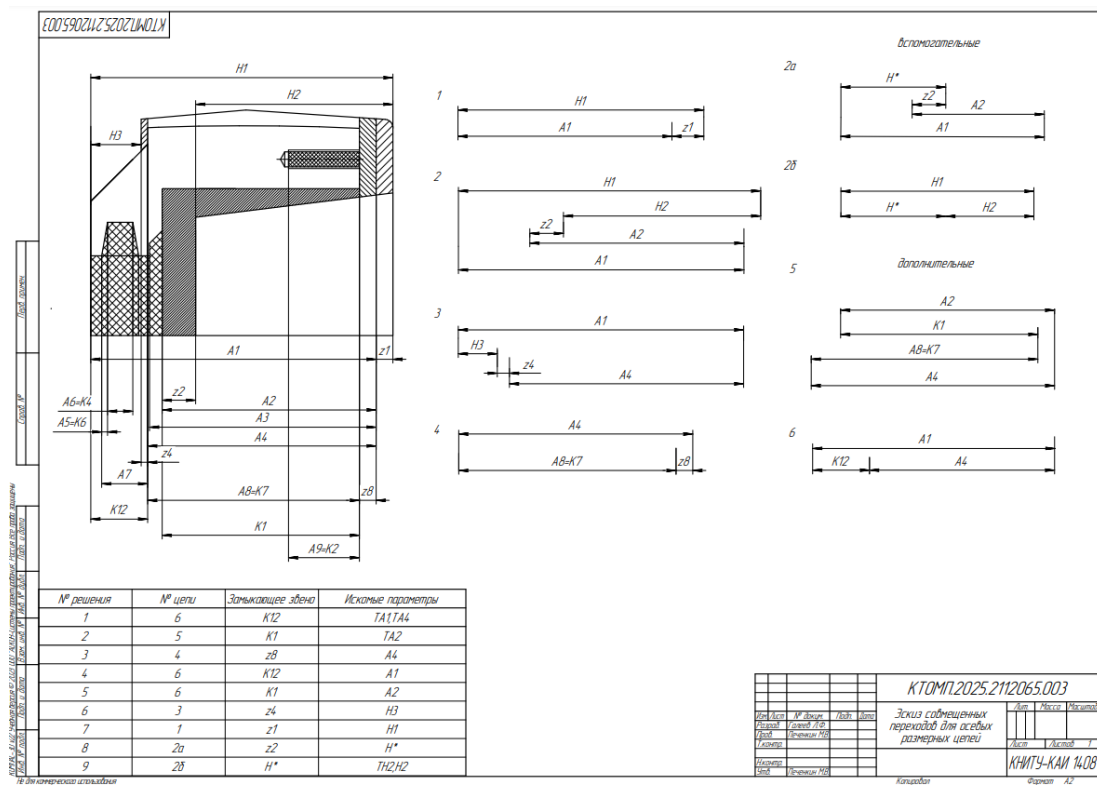


Рис.8. Эскиз совмещенных переходов для осевых размерных цепей
 В соответствии с планом обработки, начиная с операции 010 «Токарно-фрезерная черновая с ЧПУ» наносим на поле эскиза межоперационный координирующий размер A_1 и снимаемый при этом припуск Z_1 . Образовавшаяся совокупность размеров является размерной цепью. Эта цепь включает в себя начальный размер исходной заготовки H_1 , операционный размер A_1 и припуск Z_1 , который является замыкающим звеном. Наносим цепь 1 на поле чертежа. Затем необходимо выявить размерные цепи для внутриоперационных размеров. Наносим внутриоперационный размер $A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8, A_9$. Составляем 2 цепь, в которой A_1 – межоперационный размер; Z_2 – припуск, который является замыкающим звеном; размер A_2 – составляющие звено, размеры исходной заготовки - H_2, H_3 . Остальные основные цепи строятся аналогично.

Составляем цепь 6, в которой K_{12} – конструкторский размер, который является замыкающим звеном, размер A_1 и A_4 -составляющие звенья. Дополнительная цепь 5 строится аналогично цепи 6.

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата
------	------	---------	---------	------

Цепи не составляется, когда операционные размеры координируют поверхности, получаемые за счет удаления избыточного слоя материала (напуска).

При построении размерных цепей необходимо придерживаться следующих правил:

- 1) Размерные цепи необходимо строить от заготовки к готовой детали;
- 2) Замыкающими звеньями должны быть либо припуски, либо конструкторские размеры, которые получаются автоматически;
- 3) Если в размерной цепи замыкающим звеном является i -ый припуск, то в данную цепь не должны входить размеры с номером больше i ;
- 4) В размерной цепи не может быть два припуска.

При решении размерных цепей используют два метода (вероятностный и максимум-минимум) и четыре способа решения технологических размерных цепей (способ отклонений, способ предельных значений, способ средних значений и способ координат средин полей допусков). Выбор метода максимума-минимума обычно считается целесообразным при наличии совокупности следующих факторов:

- 1) Невысокие требования к точности замыкающего звена;
- 2) Малое количество звеньев;
- 3) Изготовление детали в условиях единичного и мелкосерийного производства.

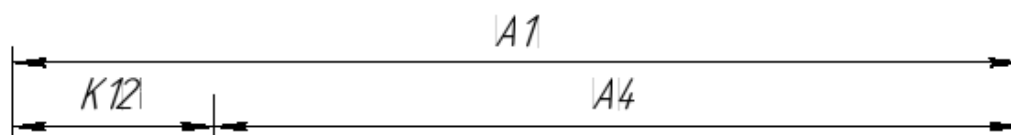
К подобным цепям относятся в первую очередь трёхзвенные цепи, замыкающим звеном которых является операционный припуск. Решать такие цепи рекомендуется способом предельных значений, так как они решаются через минимальное значение операционного припуска. Также таким методом можно решать часть осевых трёхзвенных и четырёхзвенных цепей, замыкающим звеном которых являются:

- 1) Размеры рабочего чертежа с общими допусками;
- 2) Глубина термоупрочненного или наращенного слоя, заданная конструктором с точностью, сравнимой с общими допусками или грубее.

Эти цепи можно решать способом отклонений, способом координат средин полей допусков или способом средних значений в зависимости от способа задания размеров рабочего чертежа.

В остальных случаях рекомендуется применять вероятностный метод расчета размерных цепей способом средних значения или координат средин полей допусков.

1.7 Расчет осевых размерных цепей и размерный анализ полученных размеров



1) Размерная цепь 6 (дополнительная).

Известно: $K_{12}=5\pm 0,1$ мм

Найти: T_{A1} , T_{A4} .

Замыкающее звено – K_{12} .

Используем вероятностный метод:

$$T_{\Sigma} \geq \sqrt{\sum T_i}; T_{K2} \geq \sqrt{T_{A1}^2 + T_{A5}^2};$$

Найдем значения допусков операционных размеров по способу равных допусков.

Назначим для $A1$ и $A4$ допуск IT_{12} :

$T_{A1}=0,16$ мм; $T_{A4}=0,13$ мм

Неравенство имеет вид:

$$0,2 \geq \sqrt{0,16^2 + 0,13^2};$$

$0,2 \geq 0,2$ - условие выполняется, это означает, что допуски подобраны верно.

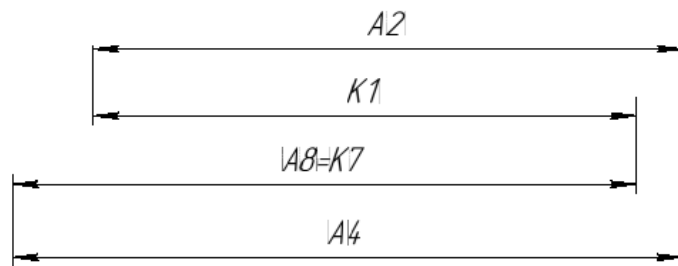
2) Размерная цепь 5 (дополнительная)

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата
------	------	---------	---------	------

КТОМП.2025.2112065.000

Лист

27



Известно: $T_{A4}=0,11$ мм

$A8=K7=27\pm 0,2$ мм

$K1=23,4\pm 0,2$ мм

Найти: T_{A2}

Замыкающее звено – $K1$.

Используем вероятностный метод:

$$T_{\Sigma} \geq \sqrt{\sum T_i^2}; T_{K1} \geq \sqrt{T_{A5}^2 + T_{A9}^2 + T_{A3}^2};$$

Неравенство имеет вид:

$$0,4 \geq \sqrt{0,13^2 + 0,4^2 + T_{A2}^2};$$

$$T_{A2} = \frac{\sqrt{T_{K1}^2 - T_{A4}^2 - T_{A8}^2}}{1} = \frac{\sqrt{0,4^2 - 0,13^2 - 0,13^2}}{1};$$

Т.к неравенство не может быть выполнено, ужесточим T_{A8} до IT10:

$T_{A8}=0,084$ мм

$$T_{A2} = \frac{\sqrt{T_{K1}^2 - T_{A4}^2 - T_{A8}^2}}{1} = \frac{\sqrt{0,4^2 - 0,13^2 - 0,084^2}}{1} = 0,36 \text{ мм}$$

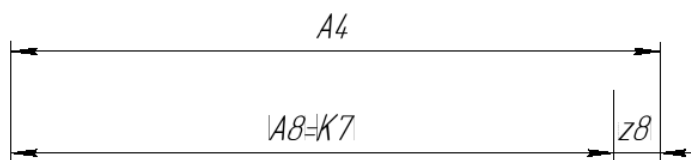
$T_{A2}=0,33$ мм (IT13)

$$0,4 \geq \sqrt{0,13^2 + 0,4^2 + 0,33^2};$$

$0,4 \geq 0,36$ -условие выполняется;

$A8=K7=27h10(-0,084)$ мм.

3) Размерная цепь 5



Известно: $T_{A4}=0,13$ мм

$A8=K7=27h10(-0,084)$ мм

Найти: $A4$.

Замыкающее звено – $z8$.

Используем вероятностный метод для нахождения максимального припуска

$$Z_{8max} = Z_{8min} + \sqrt{\sum T_i^2}$$

Z_{8min} примем по ОСТ 1.41512-86, $Z_9=0,7$ мм

$$Z_{8max} = 0,7 + \sqrt{0,084^2 + 0,13^2} = 0,85 \text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$Z_{8cp} = \frac{Z_{8max} + Z_{8min}}{2} = \frac{0,85 + 0,7}{2} = 0,78 \text{ мм}$$

Решим размерную цепь способом средних значений.

$A_{\Sigma cp} = \sum \bar{A}_i - \sum \bar{A}_i$ т.к. по симметричной схеме $A_{i cp} = A_i$, задания допусков на размер;

Следовательно, получим:

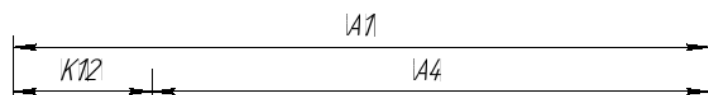
$$A4 = A8 + Z_{10cp} = 27,81 \text{ мм}$$

В качестве номинального значения размера $A4$ используется его среднее значение $A4$, допуск при этом задаётся по симметричной схеме.

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего в сторону увеличения снимаемого припуска.

$$A4 = 27,8js12(\pm 0,065) \text{ мм.}$$

4) Размерная цепь б (дополнительная)



Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата
------	------	---------	---------	------

КТМП.2025.2112065.000

Лист

29

Известно:

$$A4 = 27,8js12(\pm 0,065) \text{ мм}$$

$$K12 = 5 \pm 0,1$$

$$TA1 = 0,016 \text{ мм}$$

Найти: $A1$.

Замыкающее звено – $K12$.

Используем вероятностный метод:

$$T_{\Sigma} \geq \sqrt{\sum T_i}; T_{K2} \geq \sqrt{T_{A1}^2 + T_{A5}^2};$$

$$0,2 \geq \sqrt{0,16^2 + 0,13^2};$$

$0,2 \geq 0,2$ – условие выполняется.

Решим размерную цепь способом средних значений.

$A_{\Sigma \text{ ср}} = \sum \bar{A}_i - \sum \bar{A}_i$ т.к. по симметричной схеме $A_i \text{ ср} = A_i$, задания допусков на размер;

Следовательно, получим:

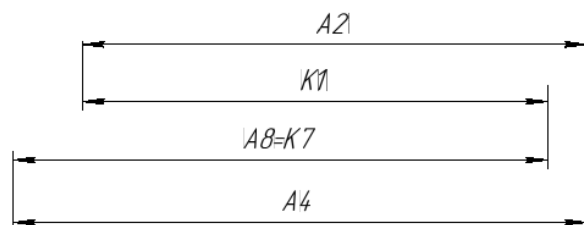
$$A1 = K12_{\text{ср}} + A4_{\text{ср}} = 32,84 \text{ мм}$$

В качестве номинального значения размера $A1$ используется его среднее значение $A1_{\text{ср}}$, допуск при этом задаётся по симметричной схеме.

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего в сторону увеличения снимаемого припуска.

$$A1 = 32,8js12(\pm 0,08) \text{ мм.}$$

5) Размерная цепь 5 (дополнительная)



Известно: $TA2 = 0,33 \text{ мм}$

$$K1 = 23,4 \pm 0,2$$

$$A8 = K7 = 27h10(-0,084) \text{ мм}$$

$$A4 = 27,8js12(\pm 0,065) \text{ мм.}$$

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

КТОМП.2025.2112065.000

Лист

30

Найти: A2.

Замыкающее звено – K1.

Используем вероятностный метод:

$$T_{\Sigma} \geq \sqrt{\sum T_i}; T_{K1} \geq \sqrt{T_{A3}^2 + T_{A5}^2 + T_{A9}^2};$$

$$0,4 \geq \sqrt{0,33^2 + 0,13^2 + 0,084^2};$$

$$0,4 \geq 0,36 \text{ – условие выполняется}$$

Решим размерную цепь способом средних значений.

$A_{\Sigma \text{cp}} = \sum \bar{A}_i - \sum \bar{A}_i$ т.к. по симметричной схеме $A_i \text{cp} = A_i$, задания допусков на размер;

Следовательно, получим:

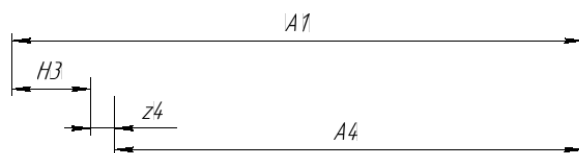
$$A2 = A4 \text{cp} - A8 \text{cp} + K1 \text{cp} = 24,29 \text{ мм}$$

В качестве номинального значения размера A2 используется его среднее значение A2 cp, допуск при этом задаётся по симметричной схеме.

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего в сторону увеличения снимаемого припуска.

$$A2 = 24,3 \text{js}12(\pm 0,165) \text{ мм.}$$

б) Размерная цепь 4



Известно: $A4 = 27,8 \text{js}12(\pm 0,065) \text{ мм.}$

$A1 = 32,8 \text{js}12(\pm 0,08) \text{ мм.}$

Найти: H3.

Замыкающее звено – Z4.

Найдем максимальный припуск:

$$Z_{\text{max}} = Z_{\text{min}} + \sqrt{\sum T_i^2}$$

$$Z_{4\text{max}} = Z_{4\text{min}} + \sqrt{T_{A1}^2 + T_{A4}^2 + T_{H3}^2}$$

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата
------	------	---------	---------	------

КТОМП.2025.2112065.000

Лист

31

Решим размерную цепь способом средних значений:

$A_{\Sigma \text{cp}} = \sum \bar{A}_i - \sum \bar{A}_i$ т.к. по симметричной схеме $A_{i \text{cp}} = A_i$, задания допусков на размер;

Допуск на размер НЗ примем по ГОСТ 7505-89 «Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски»:

$H_2 = 0,9$ мм

$$Z_{\min i} = R_{z i-1} + T_{\text{деф } i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i,$$

$$Z_{4 \text{min}} = 0,1 + 0,3 + 0,4 + 1 = 1,8 \text{ мм}$$

$$Z_{4 \text{max}} = 1,8 + \sqrt{0,16^2 + 0,9^2 + 0,13^2} = 2,72 \text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$Z_{4 \text{cp}} = \frac{Z_{4 \text{max}} - Z_{4 \text{min}}}{2} = \frac{2,72 - 1,8}{2} = 0,46 \text{ мм}$$

Решим размерную цепь способом средних значений:

$A_{\Sigma \text{cp}} = \sum \bar{A}_i - \sum \bar{A}_i$ т.к. по симметричной схеме $A_{i \text{cp}} = A_i$, задания допусков на размер;

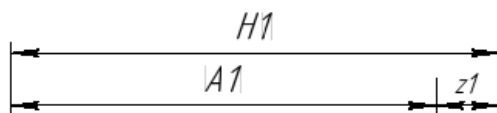
Следовательно, получим:

$$H_3 = A_{1 \text{cp}} - A_{4 \text{cp}} - Z_{4 \text{cp}} = 2,78 \text{ мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего в сторону увеличения снимаемого припуска.

$$H_3 = 2,8^{(+0,6)}_{(-0,3)} \text{ мм.}$$

7) Размерная цепь 1



Известно: $A_1 = 32,8 \pm 0,08$ мм.

Найти: H_1 .

Замыкающее звено – Z_1 .

Найдем максимальный припуск.

$$Z_{\text{max}} = Z_{\text{min}} + \sqrt{\sum T_i^2}$$

					КТОМП.2025.2112065.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		32

$$Z_{1max} = Z_{1min} + \sqrt{T_{H1}^2 + T_{A1}^2}$$

Решим размерную цепь способом средних значений:

$A_{\Sigma cp} = \sum \bar{A}_i - \sum \bar{A}_i$ т.к. по симметричной схеме $A_{i cp} = A_i$, задания допусков на размер;

Допуск на размер H1 примем по ГОСТ 7505-89 «Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски»

H1=0,9 мм

$$Z_{mini} = R_{z i-1} + T_{def i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i,$$

$$Z_{1min} = 0,1 + 0,3 + 0,4 + 1 = 1,8 \text{ мм}$$

$$Z_{1max} = 1,8 + \sqrt{0,16^2 + 0,9^2} = 2,71 \text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$Z_{1cp} = \frac{Z_{1max} - Z_{1min}}{2} = \frac{2,71 + 1,8}{2} = 2,26 \text{ мм}$$

Решим размерную цепь способом средних значений.

$A_{\Sigma cp} = \sum \bar{A}_i - \sum \bar{A}_i$ т.к. по симметричной схеме $A_{i cp} = A_i$, задания допусков на размер;

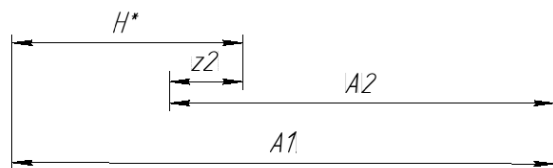
Следовательно, получим:

$$H1 = A1_{cp} + Z1_{cp} = 35,1 \text{ мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего в сторону увеличения снимаемого припуска.

$$H1 = 35 \begin{matrix} +0,6 \\ -0,3 \end{matrix} \text{ мм.}$$

8) Размерная цепь 2а (вспомогательная)



Известно:

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата
------	------	---------	---------	------

КТОМП.2025.2112065.000

Лист

33

$$A_1 = 32,8 \text{js}12(\pm 0,08) \text{ мм.}$$

$$A_2 = 24,2 \text{js}12(\pm 0,165) \text{ мм.}$$

Найти: H^*

Замыкающее звено – Z_2 .

Найдем максимальный припуск.

$$Z_{max} = Z_{min} + \sqrt{\sum T_i^2}$$

$$Z_{2max} = Z_{2min} + \sqrt{T_{H^*}^2 + T_{A_1}^2 + T_{A_2}^2}$$

Решим размерную цепь способом средних значений:

$A_{\Sigma cp} = \sum \bar{A}_i - \sum \bar{A}_i$ т.к. по симметричной схеме $A_{i cp} = A_i$, задания допусков на размер;

Допуск на размер H^* примем по ГОСТ 7505-89 «Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски»

$$H^* = 0,9 \text{ мм}$$

$$Z_{min i} = R_{z i-1} + T_{def i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i,$$

$$Z_{2min} = 0,1 + 0,3 + 0,4 + 1 = 1,8 \text{ мм}$$

$$Z_{2max} = 1,8 + \sqrt{0,16^2 + 0,9^2 + 0,33^2} = 2,77 \text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$Z_{2cp} = \frac{Z_{2max} - Z_{2min}}{2} = \frac{2,77 + 1,8}{2} = 2,29 \text{ мм}$$

Решим размерную цепь способом средних значений:

$A_{\Sigma cp} = \sum \bar{A}_i - \sum \bar{A}_i$ т.к. по симметричной схеме $A_{i cp} = A_i$, задания допусков на размер;

Следовательно, получим:

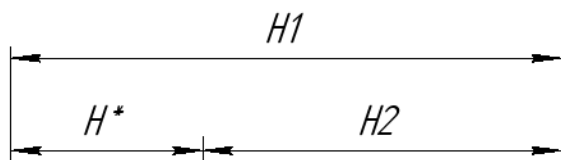
$$H^* = A_{1cp} - A_{2cp} - Z_{2cp} = 11,19 \text{ мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего в сторону увеличения снимаемого припуска.

$$H^* = 11,1 \begin{matrix} +0,6 \\ -0,3 \end{matrix} \text{ мм.}$$

9) Размерная цепь 2б (вспомогательная)

					КТОМП.2025.2112065.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		34



Известно: $H^* = 11,1^{(+0,6)}_{(-0,3)}$

$H1 = 35^{(+0,6)}_{(-0,3)}$ мм

Найти: $TH2$, $H2$

Найдем номинальный размер $H2$:

$$A\Sigma = \sum A_i \rightarrow - \sum A_i \leftarrow$$

$$H2 = H1 - H^* = 35,1 - 11,1 = 24 \text{ мм}$$

Допуск на размер $H1$ примем по ГОСТ 7505–89 «Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски».

$TH2 = 0,9$ мм.

Предельные отклонения на размер примем по ГОСТ 7505–89 «Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски»:

$$H2 = 24^{(+0,6)}_{(-0,3)} \text{ мм}$$

Таблица 4 Осевые операционные размеры и припуски.

Обозначение	Значение операционного размера	Замыкающее звено - припуск			
		Z_{\min}	Z_{\max}	$Z_{\text{ср}}$	Метод расчета припуска
A9=K2	A9=K2=10±0,2	Получается за счет напуска			
A8=K7	A8=K7=27h10 _(-0,084) мм;	0,7	0,85	0,78	вероятностный
A7	-	Получается за счет напуска			
A6=K4	A6=K4=3±0,1	Получается за счет напуска			
A5=K6	A5=K6=0,7±0,1	Получается за счет напуска			
A4	A4 = 27,8js12(±0,065) мм	1,8	2,72	2,26	вероятностный
A3	-	Получается за счет напуска			
A2	A2 = 24,2 js12(±0,065) мм.	0,29	0,76	0,53	вероятностный
A1	A1 = 32,8js12(±0,08) мм.	1,8	2,71	2,26	вероятностный
H1	H1 = 35 ^{+0,6} _{-0,3} мм.	-	-	-	-

КТОМП.2025.2112065.000

Лист

35

H2	$H2 = 24_{-0,3}^{+0,6}$ мм.	-	-	-	-
H3	$H3 = 2,8_{-0,3}^{+0,6}$ мм	-	-	-	-

Размерный анализ проводится для:

- проверки оптимальности разработанного плана технологического процесса, которая достаточно часто возникает при производственной разработке технологических процессов (вариант – переход на станки с ЧПУ)
- при проектной разработке, выполняемой неопытными технологами.

Таблица 5. Достижение заданной точности осевых размеров

В рабочем чертеже	Как выдерживается в технологическом процессе	Как заданы операционные допуски
$K1 = 23 \pm 0,2$ мм	Как замыкающее звено размерной цепи №5, вероятностный метод расчёта	TA2(IT12)=0,13 TA8(IT10)=0,084 TA4(IT12)=0,13
$K12 = 5 \pm 0,1$ мм	Как замыкающее звено размерной цепи №6, вероятностный метод расчёта	TA1(IT12)=0,13 TA4(IT12)=0,13
$A8 = K7 = 27h10(-0,084)$ мм	Непосредственно чистовой окончательной подрезкой торца $K7 = A8$	$A8 = K7 = 27h10(-0,084)$ мм-внутриоперационный

В ходе решения цепей были уточнены некоторые размеры и их допуски, в качестве доработки были изменены ступени обработки и переопределены

КТМП.2025.2112065.000					Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата	36

операции для того, чтобы повысить технологичность рассматриваемой детали.

В итоге получился оптимальный план обработки за счёт минимального операционного припуска, удаления напуска на черновой обработке, минимального количества обрабатываемых поверхностей, переходов и проходов в каждой операции, обеспечения заданными конструктором размеров, которые совпали с межоперационными и внутриоперационными и получения операционных размеров, входящих в пределы средней экономической точности.

1.8 Составление эскиза совмещённых переходов, выявление и построение диаметральных размерных цепей.

ЭСП диаметральных размеров составляется в порядке выполнения операций и переходов.

Вначале на поле чертежа наносится эскиз заготовки с условными обозначениями начальных диаметральных размеров заготовки. Затем в соответствии с планом обработки, начиная с первого перехода наносим на поле эскиза размер и снимаемый при этом припуск.

При решении используем вероятностный метод, так как метод максимума-минимума не учитывает погрешность формы и расположения обрабатываемой заготовки, а также погрешность её установки в приспособлении.

Также при решении используется упрощенная методика расчета трёхзвенных диаметральных размерных цепей по ОСТ 1.41512-86 «Детали механообрабатываемые. Размеры технологические нормальные». Потому что её можно применять для расчета трёхзвенных размерных цепей при условии задания операционных допусков в «тело» и одинаковых знаках предельных

					КТОМП.2025.2112065.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		37

отклонений составляющих звеньев, то есть оба « + » или оба « - ».

Определение номинальных припусков и предельных отклонений размеров предшествующей обработки осуществляем по приведенным в ОСТе таблицам №3 для валов и №8 для отверстий по номинальным значениям диаметральных размеров (см. стр. 22 и 30). Полученное значение операционного размера округляем по ряду предпочтительного окончания размеров (таблицы 1-2 на стр.2 ОСТ1.41512-86) в сторону увеличения припуска.

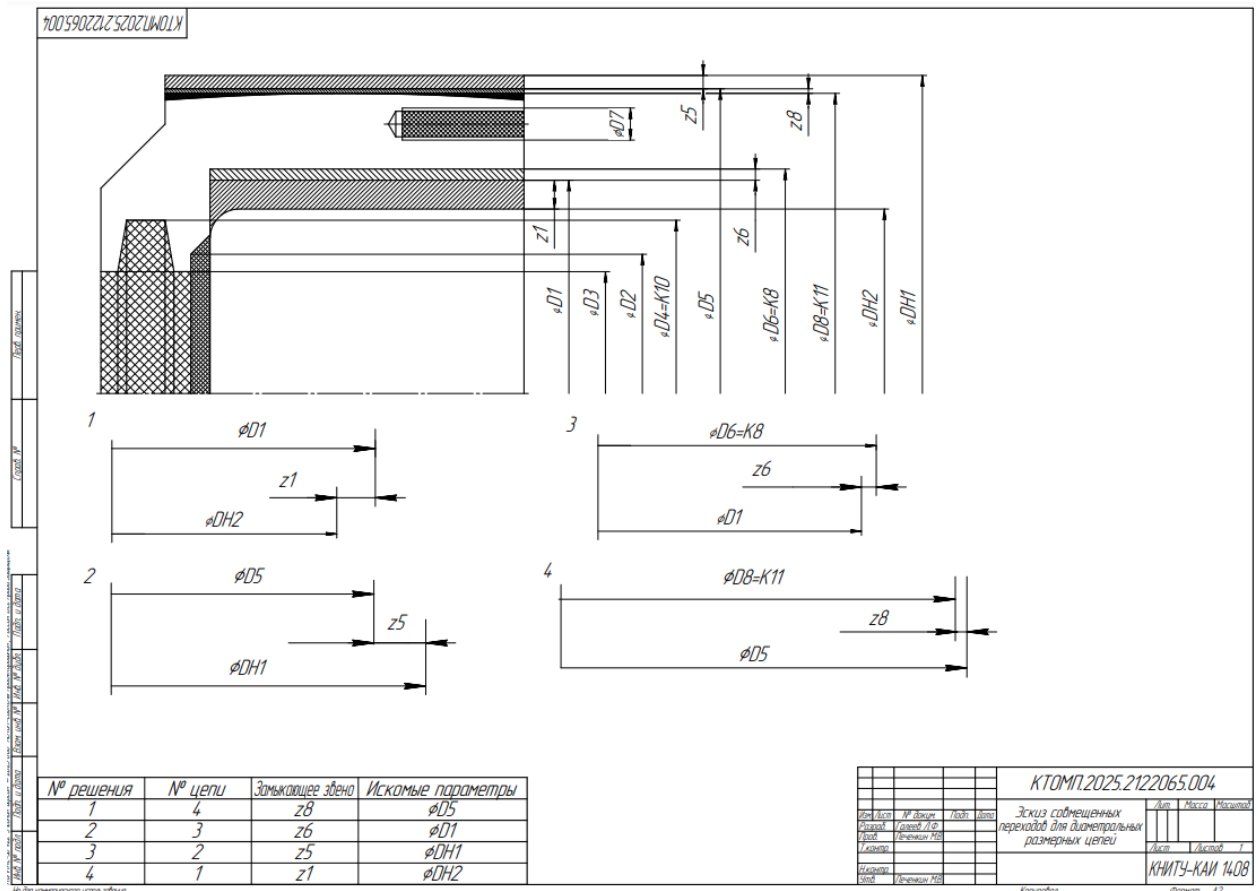
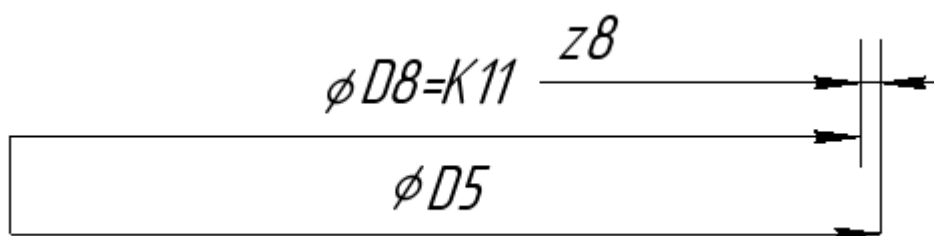


Рис.9. Эскиз совмещенных переходов для диаметральных размерных цепей

Решение полученных размерных цепей осуществляется в обратном порядке, то есть с последней цепи, в которой известны заданные конструктором диаметральные размеры.

1.9 Расчет диаметральных размерных цепей и размерный анализ полученных размеров

1) Размерная цепь №4



Известно:

$$D8 = K11 = 50 \pm 0,3$$

Z8 – замыкающее звено

Найти: D5

Используем вероятностный метод. Найдем максимальный припуск.

$$2z_{max} = 2z_{min} + \sqrt{T_5^2 + T_8^2}$$

Допуск на размер D5 примем по средней экономической точности IT12

$$T_5 = 0,3 \text{ мм}$$

$$2z_{min.i} = 2 \cdot \left(R_{z.i-1} + T_{деф.i-1} + \sqrt{(\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2)} \right)$$

$$2z_{min.i} = 0,12 \text{ мм}$$

$$2z_{max} = 0,12 + \sqrt{0,6^2 + 0,3^2} = 0,79 \text{ мм}$$

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

КТОМП.2025.2112065.000

Лист

39

Рассчитаем средний припуск:

$$2z_{cp} = \frac{2z_{max} + 2z_{min}}{2} = \frac{0,12 + 0,79}{2} = 0,46 \text{ мм}$$

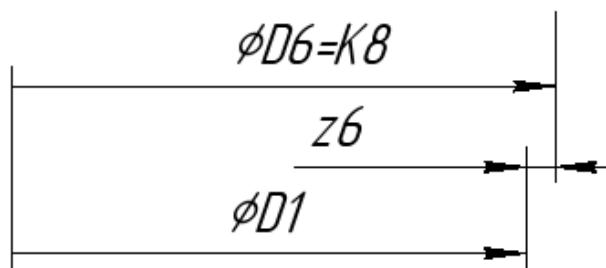
Решим размерную цепь способом средних значений.

$$D5 = 2Z_{cp} + D8_{cp} = 50,76 \text{ мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего в сторону увеличения снимаемого припуска

$$D5 = 50,7js12(\pm 0,15) \text{ мм}$$

2) Размерная цепь №3



Известно:

$$D6 = K8 = 35H7(+0,021)$$

Z6 – замыкающее звено

Найти: D1

Используем вероятностный метод. Найдем максимальный припуск.

$$z_{max} = z_{min} + \sqrt{T_{H2}^2 + T_6^2}$$

Допуск на размер DH2 примем по средней экономической точности IT12

$$T_{H2} = \pm 0,125 \text{ мм}$$

$$2z_{min,i} = 2 \cdot \left(R_{z,i-1} + T_{эф,i-1} + \sqrt{(\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2)} \right)$$

$$2z_{min,i} = 0,2 \text{ мм}$$

$$z_{max} = 0,2 + \sqrt{0,021^2 + 0,25^2} = 0,45 \text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

					КТМП.2025.2112065.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		40

$$2z_{cp} = \frac{2z_{max} + 2z_{min}}{2} = \frac{0,2 + 0,45}{2} = 0,33 \text{ мм}$$

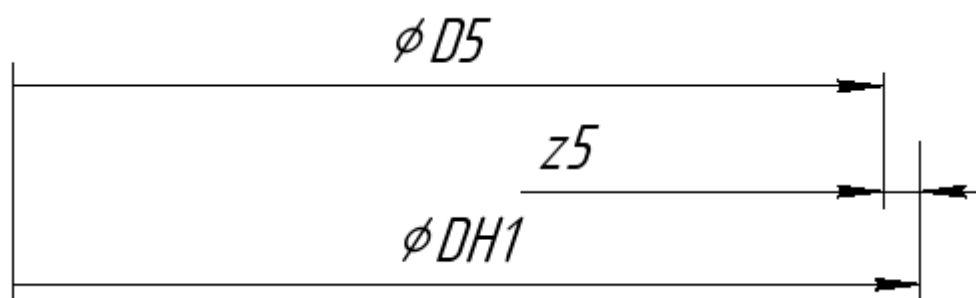
Решим размерную цепь способом средних значений.

$$D1 = D6_{cp} - 2Z_{cp} = 34,68 \text{ мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего в сторону увеличения снимаемого припуска

$$D1 = 34,65js12(\pm 0,125) \text{ мм}$$

3) Размерная цепь №2



Известно:

$$D5 = 50,7js12(\pm 0,15)$$

Z5 – замыкающее звено

Найти: DH1

Используем вероятностный метод. Найдем максимальный припуск.

$$2z_{min.i} = 2 \cdot \left(R_{z_{i-1}} + T_{деф_{i-1}} + \sqrt{(\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2)} \right)$$

$$2z_{min.i} = 2,38 \text{ мм}$$

$$2z_{max} = 2,38 + \sqrt{0,3^2 + 0,9^2} = 3,33 \text{ мм}$$

Допуск на размер DH1 примем по ГОСТ 7505-89 «Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски»

$$T_1 = 0,9 \text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$2z_{cp} = \frac{z_{max} + z_{min}}{2} = \frac{3,33 + 2,38}{2} = 2,86 \text{ мм}$$

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата
------	------	---------	---------	------

КТОМП.2025.2112065.000

Лист

41

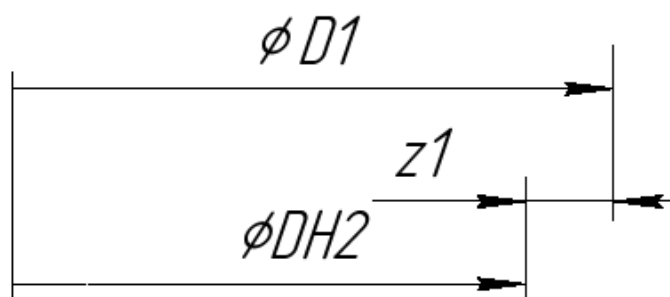
Решим размерную цепь способом средних значений.

$$DH1 = D5_{cp} + 2Z_{cp} = 53,01 \text{ мм}$$

Полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего в сторону увеличения снимаемого припуска

$$DH1 = 53 \begin{matrix} +0,6 \\ -0,3 \end{matrix} \text{ мм}$$

4) Размерная цепь №1



Известно:

$$D1 = 34,65(\pm 0,125) \text{ мм}$$

Z1 – замыкающее звено

Найти: DH2

Используем вероятностный метод. Найдем максимальный припуск.

$$2z_{\min i} = 2 \cdot \left(R_{z_{i-1}} + T_{\text{деф}i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right)$$

$$2z_{\min i} = 2,38 \text{ мм}$$

Допуск на размер D1 примем по ГОСТ 7505-89 «Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски»

$$T_1 = \begin{matrix} +0,6 \\ -0,3 \end{matrix} \text{ мм}$$

$$2z_{\max} = 2,38 + \sqrt{0,25^2 + 0,9^2} = 3,31 \text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

КТОМП.2025.2112065.000

Лист

42

$$z_{cp} = \frac{z_{max} + z_{min}}{2} = \frac{2,38 + 3,31}{2} = 2,85 \text{ мм}$$

Решим размерную цепь способом средних значений.

$$DH2 = D1_{cp} - 2Z_{cp} = 31,93 \text{ мм}$$

полученное значение округляем по ОСТ 1.41512-86 до ближайшего в сторону увеличения снимаемого припуска

$$D1 = 31,9js12\left(\begin{smallmatrix} +0,6 \\ -0,3 \end{smallmatrix}\right) \text{ мм}$$

Таблица 6. Диаметральные операционные размеры и припуски

№	Значение операционного размера	Замыкающее звено - припуск			
		Zmin	Zmax	Zcp	Метод расчета припуска
1	$D1 = 34,65js12(\pm 0,125) \text{ мм}$	0,2	0,45	0,33	Вероятностный
2	$D2 = 25 \pm 0,3 \text{ мм}$	Получается за счет напуска			
3	$D3 = 19 \pm 0,2 \text{ мм}$	Получается за счет напуска			
4	$D4 = K10 = 27 \pm 0,3 \text{ мм}$	Получается за счет напуска			
5	$D5 = 50,7js12(\pm 0,15) \text{ мм}$	0,12	0,79	0,46	Вероятностный
6	$D6 = K8 = 35H7\left(\begin{smallmatrix} +0,021 \\ \end{smallmatrix}\right) \text{ мм}$	0,2	0,45	0,33	Вероятностный
7	$D7 = K2 = 10 \pm 0,2 \text{ мм}$	Получается за счет напуска			
8	$D8 = K11 = 50 \pm 0,3 \text{ мм}$	0,12	0,79	0,46	Вероятностный
10	$DH1 = 53\left(\begin{smallmatrix} +0,6 \\ -0,3 \end{smallmatrix}\right) \text{ мм}$	-			
11	$DH2 = 31,9\left(\begin{smallmatrix} +0,6 \\ -0,3 \end{smallmatrix}\right) \text{ мм}$	-			

1.10 Сравнительный анализ результатов расчета осевых и диаметральных размеров исходной заготовки

На данном этапе полученные результаты расчёта осевых и диаметральных размеров исходной заготовки сравниваем с результатом расчета, полученным при предварительном проектировании исходной заготовки. Сравнение проводим по средним значениям

Таблица 7. Сравнение результатов предварительного и уточнённого расчетов

№ п/п	Предварительный расчет (по ГОСТ Р 53464-2009)	Уточненный расчет	Результаты сравнения
H1	33 ^(+0,6) _(-0,3) мм	35 ^(+0,6) _(-0,3) мм	Возможная причина увеличения размера – применение вероятностного метода. (разница составляет менее 10%)
H2	24,5 ^(+0,6) _(-0,3)	24 ^(+0,6) _(-0,3) мм	Возможная причина уменьшения размера – применение вероятностного метода. (разница составляет менее 3%)
H3	4 ^(+0,6) _(-0,3) мм	2,8 ^(+0,6) _(-0,3) мм	Возможная причина уменьшения размера – применение вероятностного метода. (разница составляет более 10%)
DH1	50 ^(+0,6) _(-0,3) мм	53 ^(+0,6) _(-0,3) мм	Возможная причина увеличения размера – применение вероятностного метода. (разница составляет менее 10%)

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

КТОМП.2025.2112065.000

Лист

44

DH2	$35^{(+0,6)}_{(-0,3)}$ мм	$31,9^{(+0,6)}_{(-0,3)}$ мм	Возможная причина уменьшения размера – применение вероятностного метода. (разница составляет менее 10%)
-----	---------------------------	-----------------------------	---

1.11 Расчет средней глубины резания

Рассчитаем среднюю глубину резания для каждой операции, используя формулы приведенные ниже.

При подрезке торца на черновых операциях:

$$t_{cp} = z_{cp} + 1 * tg\alpha,$$

где $tg\alpha$ - величина снимаемого напуска.

При подрезке торца на чистовых операциях:

$$t_{cp} = z_{cp}$$

При обтачивании (расточивании) цилиндрической поверхности на черновых операциях:

$$t_{cp} = (z_{cp} + 1 * tg\alpha)/2$$

1) Оп 010 уст.А:

- Подрезка торца:

$$t_{cp} = Z_{cp} + l * tg\alpha = 2,26 + 32,8 * (tg1^\circ) = 2,83 \text{ мм}$$

- Растачивание внутренней цилиндрической поверхности:

$$t_{cp} = (Z_{cp} + l * tg\alpha)/2 = (0,53 + 24,2 * tg0^\circ)/2 = 0,27 \text{ мм}$$

2) Оп 010 уст.Б:

- Подрезка торца :

$$t_{cp} = Z_{cp} + l * tg\alpha = 2,26 + 27,8 * (tg1^\circ) = 2,75 \text{ мм}$$

- Растачивание наружной цилиндрической поверхности:

$$t_{cp} = (Z_{cp} + l * tg\alpha)/2 = (0,46 + 50,7 * tg0^\circ)/2 = 0,23 \text{ мм}$$

					КТОМП.2025.2112065.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		45

2. ПРОФИЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Современные подходы к оптимизации машиностроительных процессов все чаще включают внедрение станков с числовым программным управлением (ЧПУ). Особую актуальность эти технологии приобретают в условиях серийного выпуска продукции, где они становятся основой для создания гибких производственных систем. На базе ЧПУ-оборудования формируются не только отдельные автоматизированные участки, но и целые цеха с минимальным человеческим участием, что открывает перспективы для организации полностью роботизированных производственных циклов.

Главным преимуществом ЧПУ-станков эксперты называют их способность воспроизводить сложные технологические операции с микронной точностью. Например, в авиакосмической отрасли это позволяет изготавливать детали турбин, геометрия которых требует соблюдения параметров до 0,005 мм. При изменении конструкторских требований перенастройка оборудования занимает часы вместо дней, что критически важно для предприятий, работающих с индивидуальными заказами.

Не менее значимым аспектом является трансформация режима работы производства. Автоматизация процессов обработки металлов и полимеров дает возможность организовать трехсменную работу без потери качества продукции.

С точки зрения экономической эффективности стоит отметить следующие аспекты:

					КТОМП.2025.2112065.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		46

- 1) Снижение производственного травматизма за счет исключения прямого контакта персонала с режущими инструментами;
- 2) Минимизация «человеческого фактора» при выполнении монотонных операций;
- 3) Сокращение процента бракованной продукции благодаря встроенным системам самодиагностики;
- 4) Возможность тиражирования успешных решений на другие участки без дополнительных затрат.

2.1 Выбор оборудования и способов базирования заготовки

Для операции 010 выбран токарный станок с противошпинделем NeoTurn 60DYS. Выбор обусловлен его способностью обеспечивать полную обработку сложных деталей за одну установку благодаря двухшпиндельной компоновке. Сочетание высокой жесткости, точности (IT6, Ra ≤1.4 мкм) делает его оптимальным решением для сокращения цикла изготовления деталей типа роликов, крышек и корпусных элементов в операциях токарно-фрезерной обработки



Рис. 10 Токарный станок с ЧПУ NeoTurn 60DYS

Модель	MetalTec NeoTurn 60DYS	Расстояние между центрами, мм	450
Макс. диаметр вращения, мм	600	Макс. диаметр обработки, мм (диск)	400
Макс. диаметр обработки над суппортом, мм	350		

Шпиндель		Точности	
Макс. обороты, об/мин	50 - 3500	Округлость обрабатываемой детали, мм	0,005 / Ø 75
Отверстие шпинделя, мм	52	Цилиндричность обрабатываемой детали, мм	0,01 / 150
Макс. диаметр сквозного отверстия, мм	52	Плоскостность обрабатываемой детали, мм	0,01 / Ø 200
Торец шпинделя	A2-6	Шероховатость обрабатываемой поверхности	Ra 1,4 µm
Гидравлический патрон, мм	200		
Перемещение суппорта		Точность позиционирования	
Ход по оси X, мм	270	Ось X, мм	0,004
Ход по оси Z, мм	600	Ось Z, мм	0,004
Ход по оси Y, мм	+/- 50		
Ускоренное перемещение по осям X / Z, м/мин	24 / 24	Повторяемость	
		Ось C, мм	0,0027
Двигатель		Габаритные размеры	
Мощность двигателя, кВт	15	Длина, мм	3200
Максимальные обороты, об/мин	3500	Ширина, мм	1850
		Высота, мм	2400
		Вес, кг	4500

Рис. 11 Основные характеристики NeoTurn 60DYS

В качестве основного металлорежущего оборудования для токарной операции 020 выбран токарный станок с ЧПУ модели LEMASH TK3100SY. Данный обрабатывающий центр токарной группы обладает высокой технологической гибкостью и производительностью.

Станок обеспечивает полный цикл токарных операций (наружное и внутреннее точение, растачивание, торцевание, нарезание резьб различного профиля) за одну установку заготовки, включая операции, традиционно требующие фрезерно-расточного оборудования (например, сверление радиальных отверстий, фрезерование пазов, контуров), благодаря наличию приводного инструмента (С-ось) и оси Y.



Рис. 12 Обрабатывающий центр с ЧПУ LEMASH TK3100SY

Тип станка	Обрабатывающие центры
Максимальная длина обработки, мм	400
Максимальный диаметр вращения, мм	500
Максимальная длина заготовки, мм	750
Максимальный диаметр обработки, мм	750
Максимальный диаметр стержня, мм	Φ75
Мощность шпинделя, Вт	37
Общее кол-во инструментальных позиций, шт.	ВМТ65-ER40 12 поз.
Отверстие шпинделя, мм	Φ85
Спецификация шпинделя	A 2-8
Стандартный размер патрона	10
Тип револьверной головы	Суппорт с Т-обр. пазами
Точность позиционирования, мм	±0.003
Ход по оси X/Z, м/мин	400 / 1050
Длина, мм	4450
Ширина, мм	2350
Высота, мм	2750
Масса, кг	8000

Рис. 13 Основные характеристики LEMASH TK3100SY

2.2 Установление количества и последовательности выполнения переходов и рабочих ходов.

С учетом плана операций и возможностей станков была определена следующая последовательность выполнения переходов и рабочих ходов:

Таблица 8 Выполнение переходов и рабочих ходов.

Операция	Переход
010 уст. А	1. Точить торец 4, выдерживая размер 1
	2. Расточить внутреннюю поверхность 5, выдерживая размер 2
	3. Точить фаску 6, выдерживая размер 3
010 уст. Б	1. Точить наружную поверхность 8, выдерживая размер
	2. Точить торец 8, выдерживая размер 9

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата
------	------	---------	---------	------

КТОМП.2025.2112065.000

Лист

49

	3. Сверлить сквозное отверстие 10
	4. Фрезеровать сквозное отверстие 9, выдерживая размеры 11,12,13
020	1. Точить торец 1, выдерживая размер
	2. Расточить внутреннюю поверхность 2
	3. Сверлить глухие отверстия 3, выдерживая размер 4 и нарезать резьбу
	4. Нарезать резьбу в глухих отверстиях 3 согласно чертежу

Последовательность выполнения переходов и рабочих ходов была установлена с учетом требований к детали и возможностей выбранных станков.

2.3 Выбор режущих и вспомогательных инструментов.

Расчет режимов резания

Для всех технологических переходов, входящих в состав операции механической обработки на оборудовании с ЧПУ, необходимо провести расчет режимов резания. В качестве примера рассматривается оп.010 уст. Б, переход 1:

Материал – сталь 45; $\sigma_B = 600$ МПа

Глубина резания $t = 2,86$ мм

Инструмент: Резец 2130-0255 T15K6 ГОСТ 18884-73

Подача $s = 0,5$ мм/об при размере державки резца 12x12 мм

Скорость резания V (м/мин):

$$V = \frac{C_V}{T^m * t^x * s^y} * K_V * 0.9, \text{ где}$$

T (Стойкость инструмента) = 60 мин

$C_V = 290; x = 0,15; y = 0,35; m = 0,20$

Коэффициент, учитывающий влияние материала	Коэффициент, учитывающий состояние поверхности	Коэффициент, учитывающий материал инструмента
K_{MV}	K_{PV}	K_{IV}

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата
------	------	---------	---------	------

КТОМП.2025.2112065.000

Лист

50

0,8	0,8	1
-----	-----	---

$$K_{MV} = K_r \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v} = 1 * \left(\frac{750}{600} \right)^{-1} = 0,8$$

$$K_V = K_{MV} * K_{ПV} * K_{ИV} = 0,8 * 0,8 * 1 = 0,64$$

$$V = \frac{C_V}{T^m * t^x * s^y} * K_V * 0,9 = \frac{290}{60^{0,2} * 2,86^{0,15} * 0,5^{0,35}} * 0,64 * 0,9$$

$$= 80,2 \text{ м/мин}$$

5. Сила резания P_x (Н):

$$P_x = 10 * C_p * t^x * s^y * v^n * K_p, \text{ где}$$

$$C_p = 339; x = 1,0; y = 0,5; n = -0,4$$

Коэффициент, учитывающий влияние качества обрабатываемого материала	Коэффициент, учитывающий главный угол в плане φ°	Коэффициент, учитывающий передний угол γ°	Коэффициент, учитывающий угол наклона главного лезвия λ°
K_{mp}	$K_{\varphi p}$	$K_{\gamma p}$	$K_{\lambda p}$
0,85	1,17	1	1

$$K_{Mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n = \left(\frac{600}{750} \right)^{0,75} = 0,85$$

$$K_p = K_{Mp} * K_{\varphi p} * K_{\gamma p} * K_{\lambda p} = 0,85 * 1,17 * 1 * 1 = 0,995$$

$$P_x = 10 * 339 * 2,86^1 * 0,5^{0,5} * 80,2^{-0,4} * 0,995 = 1180,88 \text{ Н}$$

Мощность резания N (кВт):

$$N = \frac{P_x * V}{1020 * 60} = \frac{1180,88 * 80,2}{1020 * 60} = 1,55 \text{ кВт}$$

Расчет числа оборотов шпинделя:

$$n = \frac{(1000 * V)}{\pi * D}, \text{ где}$$

V – скорость резания;

D – диаметр обрабатываемой детали

$$n = \frac{(1000 * 80,2)}{\pi * 53} = 481,91 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата
------	------	---------	---------	------

КТОМП.2025.2112065.000

Лист

51

Принимаем $n = 500$ об/мин

Расчет основного времени:

$$T_0 = L / S_m,$$

где L – расчётная длина пути режущего инструмента в направлении подачи, мм; n – частота вращения заготовки, об/мин; S_m – подача, мм/мин.

$$S_m = S_o * N, S_o - \text{подача в мм/об, } N - \text{частота вращения}$$

$$S_m = 0,5 * 500 = 250 \text{ мм/мин}$$

$$T_0 = 31,2 / 250 = 0,125 \text{ мин}$$

Для более быстрого определения режимов воспользуемся онлайн-калькулятором Toolguide .

ЦИЛИНДРИЧЕСКАЯ ПОВЕРХНОСТЬ

Точарный станок 03 – средний (патрон 6-12 дюймов)
25 кВт, 4000 об/мин

Начало обработанного диаметра DMS 53 мм

Обработанный диаметр торца DME 50.7 мм

Обработанная длина фланца 31.2 мм

Значение шероховатости Ra в продольном направлении PRA

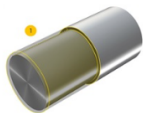
Включить результаты PTimeTurning™

Еще...

ТОКАРНАЯ ОБРАБОТКА ТОЛЬКО НАРУЖНАЯ, ПРОДОЛЬНАЯ / С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ИНДЕКСАЦИИ



РЕЖУЩИЕ ДАННЫЕ



РЕЗУЛЬТАТЫ



T-Макс P

DCBNR 2020K 12 Инструмент

CNMG 12 04 12-WF 1125 Вставить

Прямоугольный хвостовик: -метрический: 20 x 20

Адаптивный интерфейс машинного управления ADINTMS

Подсчет срока службы инструмента TLIFEC

Время обработки ХВОСТОХРАНИЛИЩЕ 00:09.180 мин.:с

Приберечь на потом

Сборка инструмента сборки

ШАГИ 1

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА

Скорость резания VC 79,6 м/мин

Подача на оборот FN 0,414 мм

Количество проходов в направлении AP НОРАР 1

Глубина пропила AP 1,15 мм

ВЫБРОСЫ СО₂

Выбросы диоксида углерода в расчете на компонент CPC 8,82 г

Работа на каждый компонент WPC 0,022 кВтч

Показать детали

Знание

T-Макс P DCBNR 2020K 12 CNMG 12 04 12-WF 1125 100 % 00:09.180

T-Макс P DCBNR 2525M 12 CNMG 12 04 12-WF 1125 100 % 00:09.180

T-Макс P PCBNR 2525M 12 CNMG 12 04 12-WF 1125 100 % 00:09.180

T-Макс P C4-DCRNR-22050-12 CNMG 12 04 12-WF 1125 100 % 00:09.180

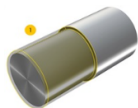
T-Макс P C5-DCRNR-27060-12 CNMG 12 04 12-WF 1125 100 % 00:09.180

T-Макс P C5-PCRNR-27060-12 CNMG 12 04 12-WF 1125 100 % 00:09.180

T-Макс P DCLNR 2020 K 12 CNMG 12 04 12-WF 1125 103 % 00:09.480

T-Макс P DCLNR 2525M 12 CNMG 12 04 12-WF 1125

ТОКАРНАЯ ОБРАБОТКА ТОЛЬКО НАРУЖНАЯ, ПРОДОЛЬНАЯ / С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ИНДЕКСАЦИИ



ЛЕГЕНДА

1 Предварительная обработка

T-Макс P

DCBNR 2020K 12 Инструмент

CNMG 12 04 12-WF 1125 Вставить

сцепление Прямоугольный хвостовик -метричес... охлаждение Сухой

Цилиндрическая поверхность

45 220 H8

Точарный станок 03 – средний (патрон 6-12 дюймов)
25 кВт, 4000 об/мин

ДАННЫЕ ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗА...

РЕЖУЩИЕ ДАННЫЕ

ИЗМЕНЕНИЕ ДАННЫХ РЕЗКИ

ИЗМЕНЕНИЕ НОР



ВЫБРОСЫ СО ₂	ВК [мм]	DMS [мм]	DME [мм]
КОЛИЧЕСТВО ПРОХОДОВ В НАПРАВЛЕНИИ AP	НАЧАЛО ОБРАБОТАННОГО ДИАМЕТРА	НАЧАЛО ОБРАБОТАННОГО ДИАМЕТРА	ОБРАБОТАННЫЙ ДИАМЕТР ТОРЦА
1	53	53	50.7
AP [мм]	ВК [м/мин]	VC [м/мин]	FN [мм]
ГЛУБИНА РЕЗАНИЯ	СКОРОСТЬ РЕЗКИ	СКОРОСТЬ РЕЗКИ	ПОДАЧА НА ОБОРОТ
1.15	79.6	79.6	0.414
PRMX [1/мин]	PPCX [кВт]	PPCX [кВт]	MMCX [Нч]
МАКСИМАЛЬНАЯ СКОРОСТЬ ВРАЩЕНИЯ	МАКСИМАЛЬНАЯ МОЩНОСТЬ РЕЗАНИЯ	МАКСИМАЛЬНАЯ МОЩНОСТЬ РЕЗАНИЯ	МАКСИМАЛЬНЫЙ КРУТЯЩИЙ МОМЕНТ ПРИ РЕЗАНИИ
500	1.31	1.31	25.1
ТССТ [с]	ТНКТ [с]	ТНКТ [с]	
ОБЩЕЕ ВРЕМЯ РЕЗКИ	ОБЩЕЕ ВРЕМЯ БЕЗ РЕЗКИ	ОБЩЕЕ ВРЕМЯ БЕЗ РЕЗКИ	
9.06	0.14	0.14	

ЛЕГЕНДА

1 Предварительная обработка

Рис.14 Режимы резания на оп.010 уст.Б переход 1

С учетом сформированного плана механической обработки, конструкторскими и технологическими особенностями детали и предъявляемой к ней точности и качества поверхностного слоя были назначены режимы резания. Результаты представлены в таблице 9 и 10.

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата
------	------	---------	---------	------

КТОМП.2025.2112065.000

Таблица 9 Подбор режущего инструмента

Операция	Переход	Вспомогательный инструмент	Режущий инструмент	ПИ
010 уст. А	Точить торец 4, выдерживая размер 1	Державка расточная S12M-SDUCR07	Пластина DCMT070204-HQ DC90	1
	Расточить внутреннюю поверхность 5, выдерживая размер 2	Державка расточная S12M-SDUCR07	Пластина DCMT070204-HQ DC90	1
	Точить фаску 6, выдерживая размер 3	Державка расточная S12M-SDUCR07	Пластина DCMT070204-HQ DC90	1
010 уст. Б	Точить наружную поверхность 8, выдерживая размер	Державка проходная SDJCL 1212 F07	Пластина DCMT070204-HQ DC90	2
	Точить торец 8, выдерживая размер 9	Державка проходная SDJCL 1212 F07	Пластина DCMT070204-HQ DC90	2
	Сверлить сквозное отверстие 10	Цанговый патрон NT30-ER32-50 Цанга CNIC 14732	Сверло ИНСТУЛС 00001243893	3
	Фрезеровать сквозное отверстие 9, выдерживая размеры 11,12,13	Цанговый патрон NT30-ER32-50 Цанга CNIC 14732	Фреза фасонная	4
020	Точить торец 1, выдерживая размер	Державка расточная S12M-SDUCR07	Пластина DCMT 11 T3 12-PR 4425	1
	Расточить внутреннюю поверхность 2	Державка расточная S12M-SDUCR07	Пластина DCMT 11 T3 12-PR 4425	1
	Сверлить глухие отверстия 3, выдерживая размер 4	Цанговый патрон MТВ3-ER16-40L Цанга ER16-3	Сверло по металлу BSKT 2.5	5
	Нарезать резьбу в глухих отверстиях 3	Цанговый патрон MТВ3-ER16-40L Цанга ER16-3	Метчик TD804206 M3X0.5	6

КТОМП.2025.2112065.000

Лист

54

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

	согласно чертежу			
--	---------------------	--	--	--

Таблица 10 Подбор режимов резания

Операция	Переход	ПИ	D или B, мм	t, мм	S, мм/об	n, об/мин	V, м/мин
010 уст. А	Точить торец 4, выдерживая размер 1	1	53	2.2	0,354	2300	120
	Расточить внутреннюю поверхность 5, выдерживая размер 2	1	34.65	6.65	0,338	2690	120
	Точить фаску 6, выдерживая размер 3	1	25	1.5	0,338	2690	120
010 уст. Б	Точить наружную поверхность 8, выдерживая размер	2	50.7	2.86	0,5	2300	81
	Точить торец 8, выдерживая размер 9	2	50.7	2.26	0,354	2300	120
	Сверлить сквозное отверстие 10	3	19	7	0,159	3500	169
	Фрезеровать сквозное отверстие 9, выдерживая размеры 11,12,13	4	27	5.4	0.1	3500	276
020	Точить торец 1, выдерживая размер	1	50.7	0.78	0,238	2300	113
	Расточить внутреннюю поверхность 2	1	35	0.35	0.233	3240	178
	Сверлить глухие отверстия 3, выдерживая размер 4 и нарезать резьбу	5	3	10	0.129	3500	113
	Нарезать резьбу в глухих отверстиях 3 согласно чертежу	6	3	0,25	0,38	3240	132

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

КТОМП.2025.2112065.000

Лист

55

Рассчитав режимы резания, определим максимальную мощность и общее время выполнения переходов.

Таблица 11 - Значения норм времени и потребляемой мощности по переходам

Наименование	Максимальная мощность резания Nmax, кВт	Время обработки Тобщ, сек
Оп. 010 Токарная с ЧПУ уст. А		
1. Точение	3,89	18
2. Растачивание внутренней цилиндрической поверхности	11,24	10,2
3. Точение фаски	11,24	10,2
Оп. 010 Токарная с ЧПУ уст. Б		
4. Точение наружной поверхности	3	15,6
5. Точение торца	4	7,8
6. Сверление отверстия	7,84	14,4
7. Фрезерование отверстия	6,21	13,2
Оп. 020		
1. Точение торца	0,87	6
2. Растачивание внутренней цилиндрической поверхности	0,6	7,2
3. Сверление глухих отверстий	6,07	14,4
4. Нарезание резьбы	5,94	13,8

Общее затрачиваемое время на Оп. 010 «Токарная с ЧПУ» составило – 89,4 сек.

Общее затрачиваемое время на Оп. 020 «Токарная с ЧПУ» составило 130,8 сек.

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата
------	------	---------	---------	------

КТОМП.2025.2112065.000

Лист

56

3. РАЗРАБОТКА УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛИ «РОЛИК РЕМЕННЫЙ» В САМ- СИСТЕМЕ SIEMENS NX

Развитие ИТ и автоматизация привели к доминированию САД/САМ/САЕ-систем как основного инструментария в производстве. САМ-системы обеспечивают обработку сложнопрофильных деталей, сокращают время подготовки и позволяют параллельно разрабатывать технологический процесс и УП для устройств с числовым программным управлением. Данная функциональность обеспечивает детальное виртуальное моделирование обработки, что во многих случаях исключает отладку УП на станке и дает возможность оценить применимость технологической оснастки на этапе проектирования.

Процесс создания УП включает три этапа:

- I. Моделирование детали и заготовки в 3D.
- II. Определение геометрии обработки и траекторий инструмента.
- III. Постпроцессирование и верификация УП.

3.1 Разработка 3D – модели детали «Ролик ременный» в модуле САД

Разработка 3D-модели является обязательным этапом производственного процесса, поскольку позволяет в деталях оценить проектируемые образцы и разработать на основе 3D- модели управляющую программу для станка.

Создание 3D- модели детали «Ролик ременный» выполним в несколько этапов:

1. Выбираем плоскость проектирования.
2. Создаем эскиз детали согласно чертежу.

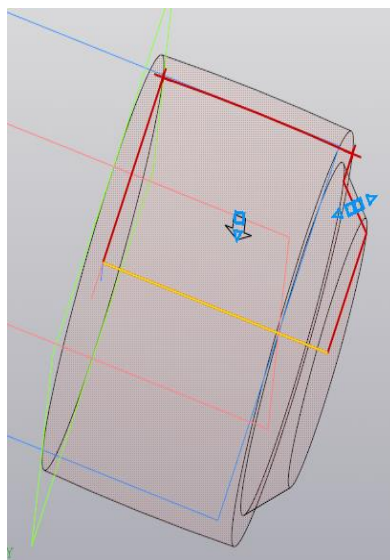


Рисунок 15. Объемная модель детали «Ролик ременный»

3. Получаем 3D модель с помощью команды «Вращение».

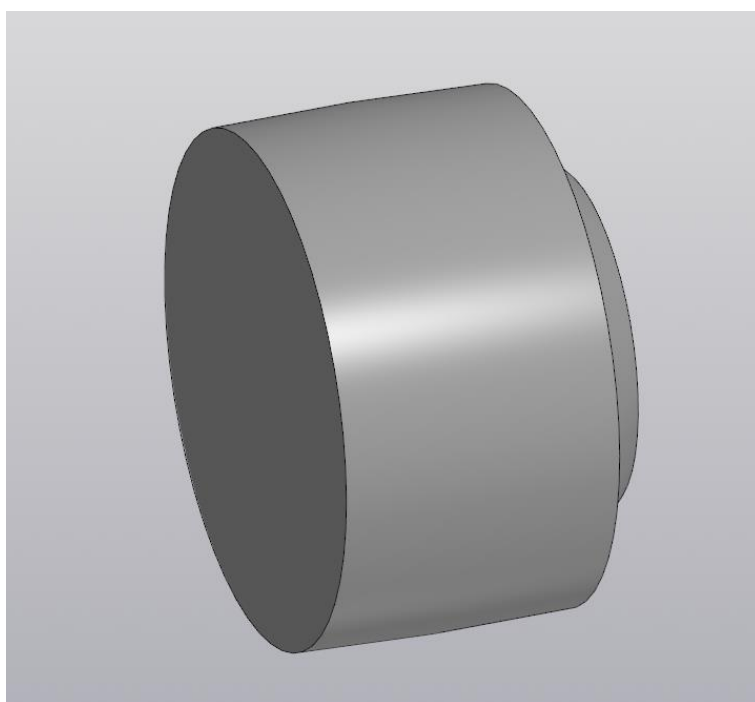


Рисунок 16. Объемная модель детали «Ролик ременный»

4. Строим эскиз внутренних поверхностей детали.

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

КТМП.2025.2112065.000

Лист

58

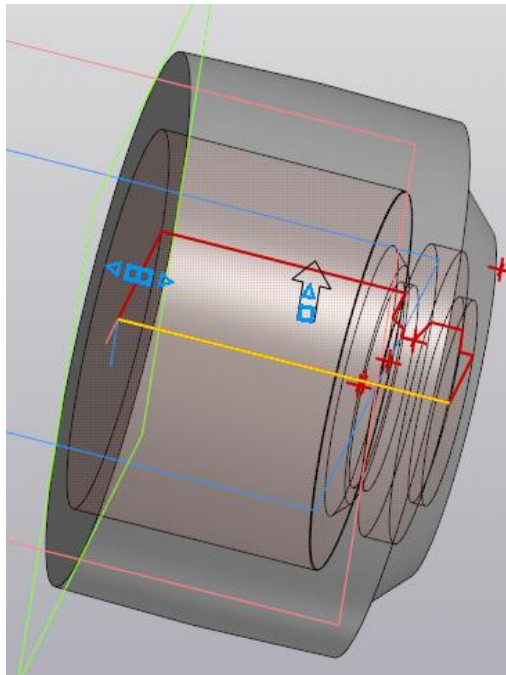


Рисунок 17. Эскиз внутренних поверхностей

5. Выдавливает внутренние поверхности с помощью команды «Вырезать выдавливанием»

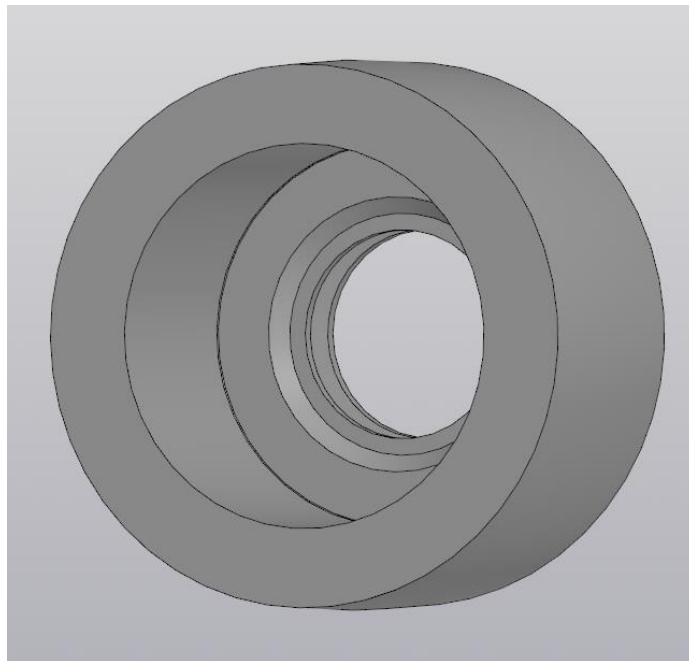


Рисунок 18. Внутренние поверхности детали

6. Формируем резьбовые отверстия.

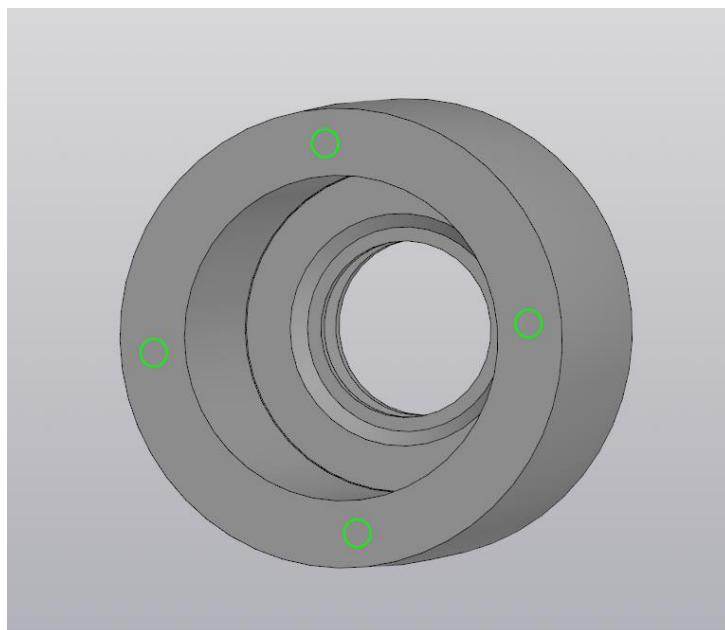


Рисунок 19. Эскиз резьбовых отверстий

7. Выдавливаем резьбовые отверстия.

Готовая 3D-модель представлена на рисунке:

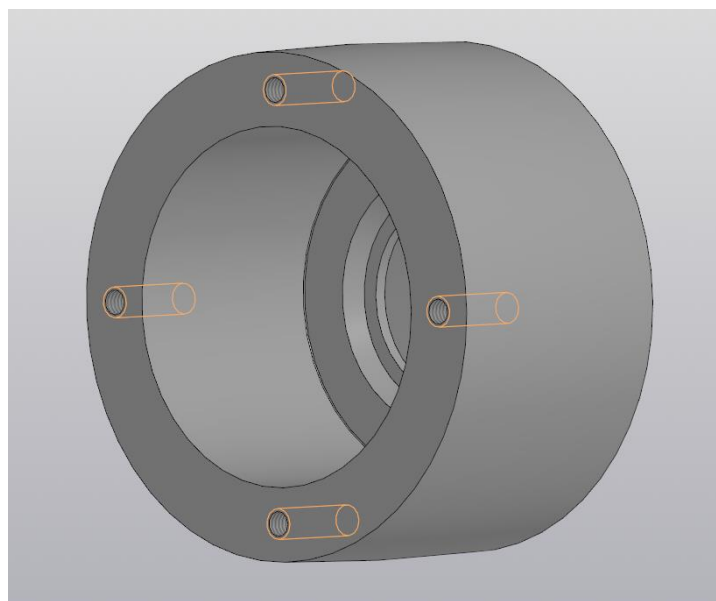


Рисунок 20. 3D модель детали «Ролик ременный»

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

КТМП.2025.2112065.000

Лист

60

3.2 Разработка в модуле САМ исходных данных для программирования обработки

После создания 3D модели детали, а также заготовки, загружается условная модель станка. В ней происходит базирование детали и создание режущего инструмента согласно технологическому процессу.

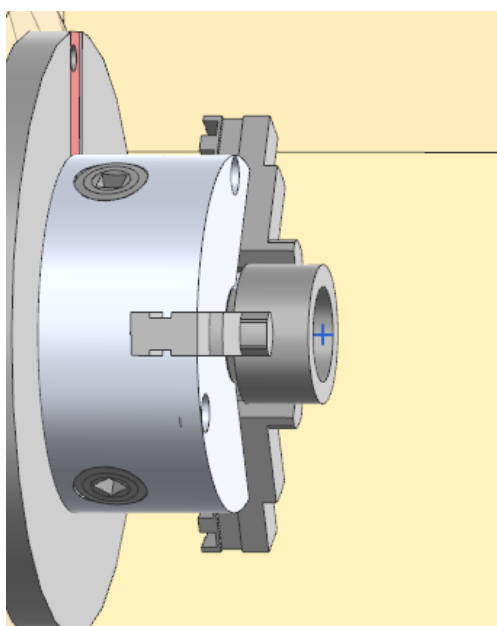


Рисунок 21. Закрепление детали и заготовки

До того, как мы займемся созданием операций обработки, нам необходимо создать режущий инструмент, задать положение РСК, задать геометрию детали и заготовки.

Для создания режущих инструментов нажимаем команду «создание инструмента», далее выбираем тип инструмента и задаем его имя. Далее во вкладке «Инструмент» вводим параметры режущей пластины, а вкладке «Держатель» - параметры резца.

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

КТОМП.2025.2112065.000

Лист

61

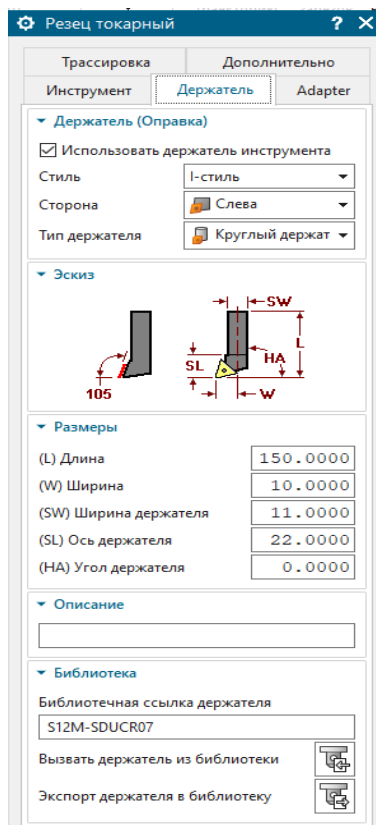


Рис.22 Создание режущего инструмента «S12M-SDUCL07».

Далее создаем аналогично все остальные инструменты согласно таблице

9.

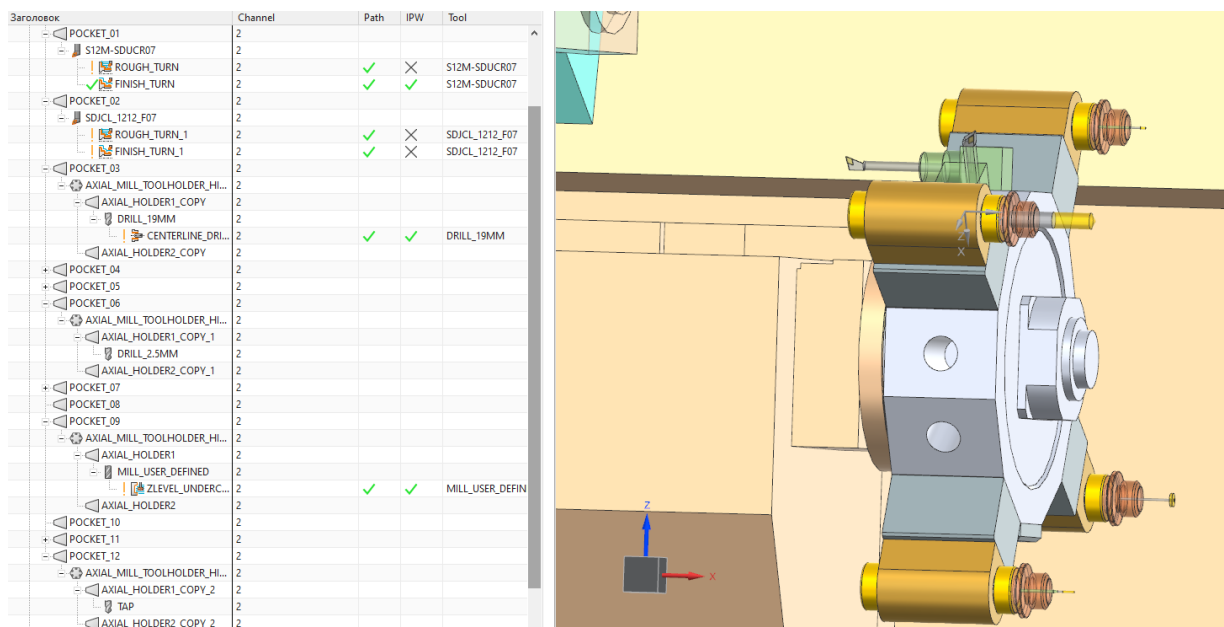


Рис.23 Список созданных инструментов.

В объекте WORKPIECE_MAIN задаем необходимые для работы программы параметры: геометрию детали (Рис.22) и геометрию заготовки (Рис.23)

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата
------	------	---------	---------	------

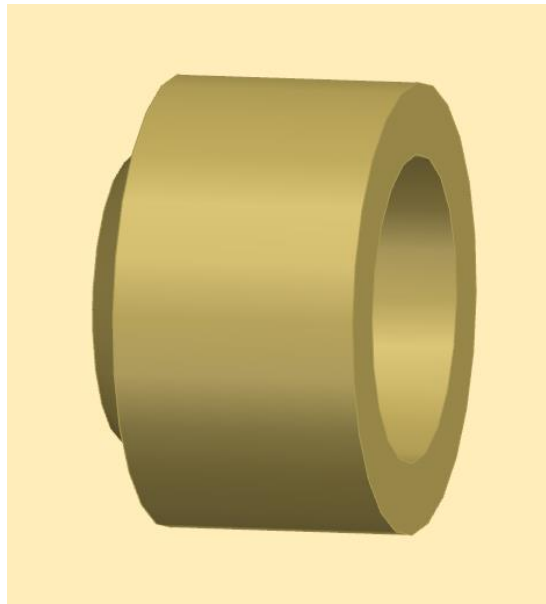


Рис.24 Геометрия детали

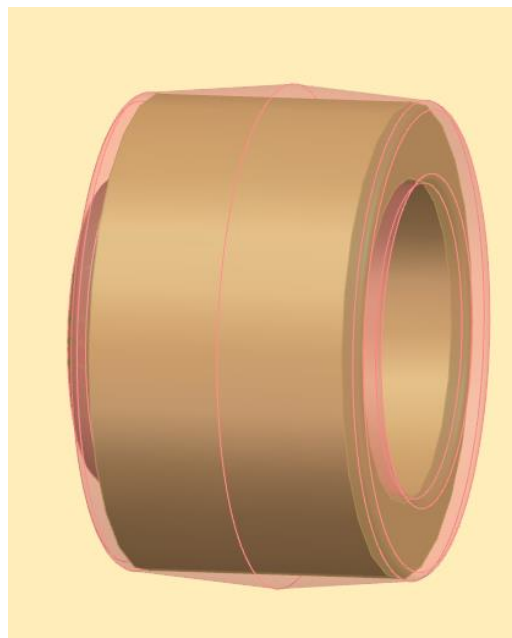


Рис.25 Границы заготовки

Далее, редактируя объект MCS_MAIN_SPIDLE, задаем правильное положение системы координат детали.

3.3 Формирование управляющей программы

Ниже представлены основные операции и траектория движения инструмента при токарно-фрезерной обработке детали «Ролик ременный»:

Разрабатываемая программа содержит следующие технологические переходы:

- подрезка торца,

					КТОМП.2025.2112065.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		63

- растачивание внутренней поверхности детали,
- растачивание наружной поверхности детали,
- сверление сквозного отверстия,
- фрезерование отверстия,
- сверление глухих отверстий и нарезание резьбы

Для каждого технологического перехода создадим соответствующую операцию.

Для создания операции нажимаем на кнопку «создание операции», далее выбираем тип «turning» подтип «черновая токарная обработка», выбираем соответствующие инструменты и геометрию. Задаем имя операции «010.A1» (Рис.24). Далее в параметрах операции ограничиваем регион обработки осевой плоскостью. В «параметрах резания» указываем припуск в разделе «скорости и подачи» указываем режимы резания, после чего генерируем траекторию.

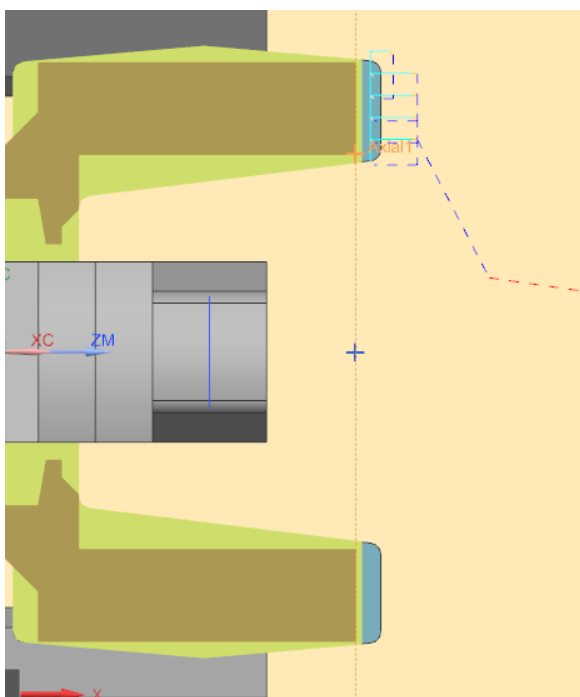


Рис.26 Создание операции 010_A1-Подрезка торца, траектория инструмента и область обработки

Таким же образом создаем остальные операции для всех видов переходов, так, например, для перехода 015.2 траектории движения будут:

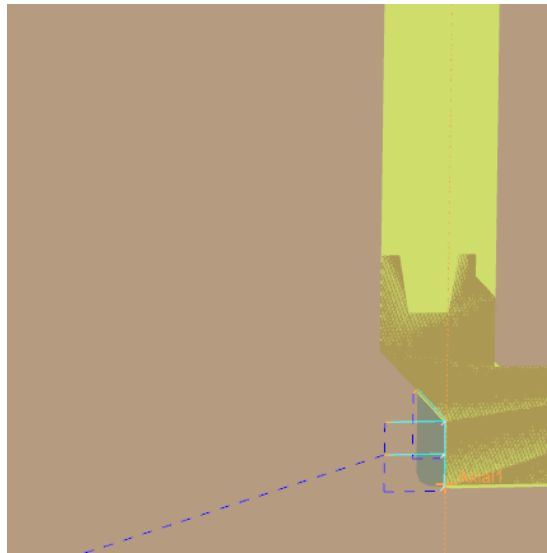


Рис.27 Траектории движения операции 010.Уст.Б – подрезка торца, траектория инструмента и область обработки

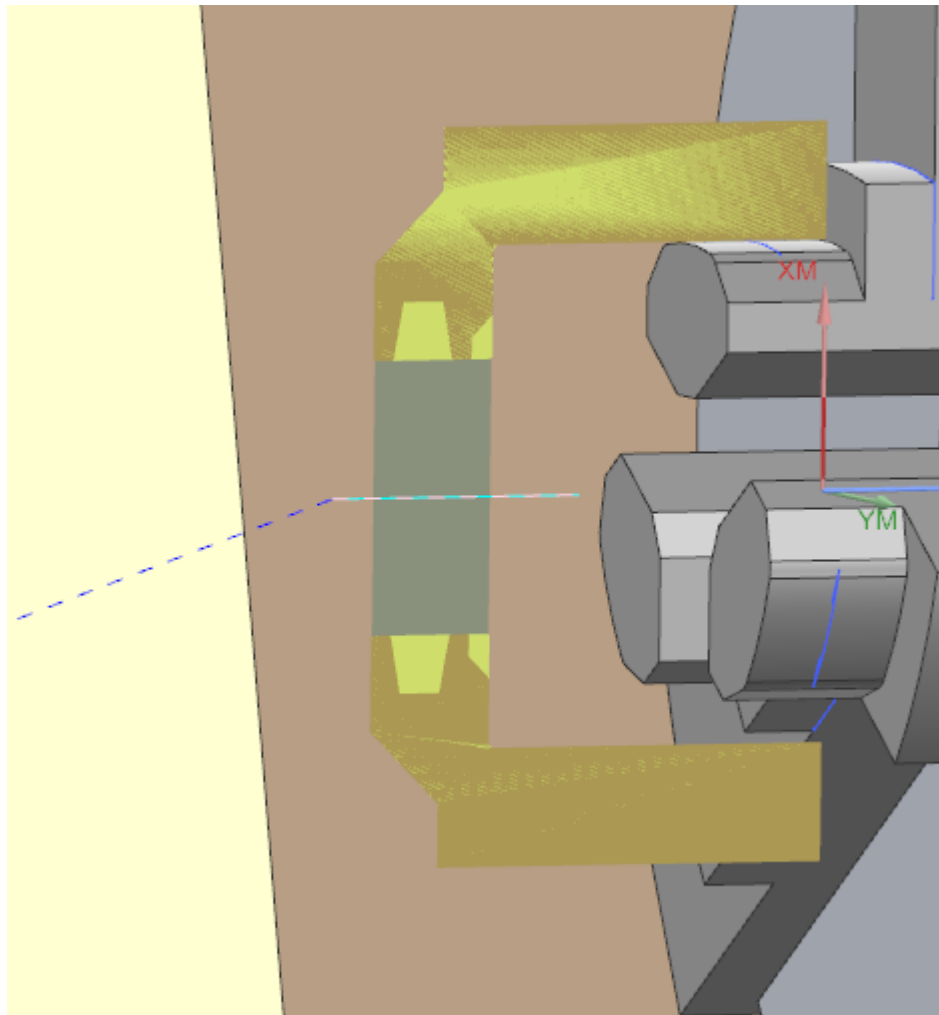


Рис.28. Траектория движения Оп.010.Уст.Б – сверление сквозного отверстия, траектория инструмента и область обработки

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

КТОМП.2025.2112065.000

Лист

65

3.4 Симуляция разработанной управляющей программы в системе NX

Для контроля созданной управляющей программы в системе NX имеется инструмент симуляции (моделирования) обработки будущей детали. Для проверки правильности УП выбираем все операции и нажимаем на кнопку «Проверить траектории». В результате работы команды отобразится траектория инструмента и получаемая в результате обработки деталь.

После того как все операции сформированы, проверены траектории движения инструментов, убедились, что нигде нету столкновений и ошибок производится симуляция переходов (см. пример на рисунке 27).

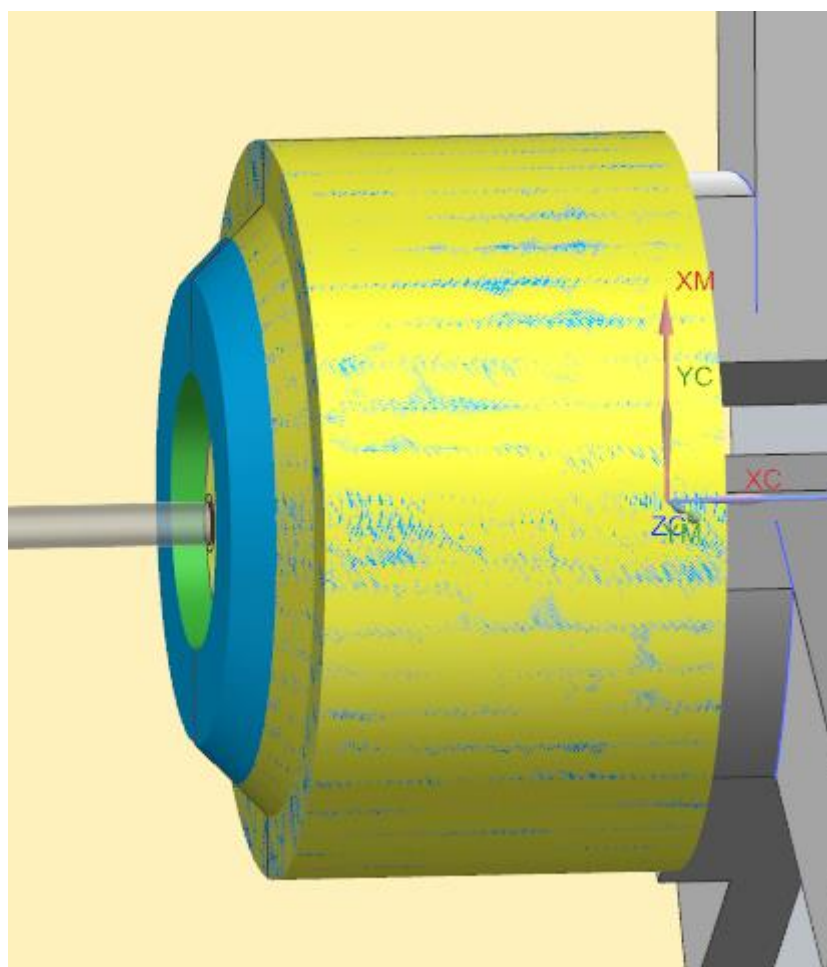


Рис.29 Результат работы управляющей программы

Данное воспроизведение поможет проверить правильность обработки и отсутствие столкновений инструмента с деталью и другими элементами станка.

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

КТОМП.2025.2112065.000

Лист

66

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения ВКР на тему «Проектирование технологии изготовления детали «Ролик ременный» с разработкой управляющей программы» достигнута поставленная цель – была разработана технология изготовления детали с разработкой УП, включающая в себя все этапы: от выбора исходной заготовки до разработки УП.

Проведен анализ технологичности конструкции детали по ЕСКД и ЕСТД.

Обоснован выбор заготовки - поковки, с помощью кривошипного горячештампованного прессы, что обеспечило высокий КИМ (0,84) и улучшенные механические свойства.

Разработан маршрут обработки детали, включающий в себя черновую и чистовую обработки, термическую обработку, покрытие, промывку, операцию контроля. Для каждой операции выбрано оборудование режущий инструмент, средства технологического оснащения.

Произведен расчет размерных цепей и режимов резания, что позволило минимизировать погрешности и обеспечить требуемую точность детали.

Создана и сформирована управляющая программа в Siemens NX, включающая траектории движения инструмента для всех основных переходов.

Практическая значимость исследования состоит в возможности непосредственного внедрения предложенных решений в условиях серийного производства детали. Внедрение позволит:

1. Повысить качество изготовления.
2. Снизить трудоемкость операций и себестоимость детали, тем самым улучшив экономические показатели.
3. Применение САМ-систем и современных станков с ЧПУ позволило сократить время обработки и повысить точность.
4. Разработанный процесс может стать типовым, что позволит применять его на похожие детали и расширит область его применения.

					КТОМП.2025.2112065.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		67

CONCLUSION

During the implementation of the WRC on the topic "Designing the manufacturing technology of the part "Belt roller" with the development of a control program", the goal was achieved – the manufacturing technology of the part with the development of the control unit was developed, which includes all stages: from the selection of the initial blank to the development of the control unit.

The analysis of the manufacturability of the part design according to ESCD and ESTD is carried out.

The choice of a forging workpiece using a hot-stamped crank press is justified, which provided a high CMM (0.84) and improved mechanical properties.

A part processing route has been developed, including roughing and finishing, heat treatment, coating, rinsing, and inspection. Cutting tools and technological equipment have been selected for each operation.

The dimensional chains and cutting modes were calculated, which made it possible to minimize errors and ensure the required accuracy of the part.

A control program has been created and generated in Siemens NX, which includes tool trajectories for all major transitions.

The practical significance of the research lies in the possibility of direct implementation of the proposed solutions in the conditions of mass production of the part. The implementation will allow:

1. Improve the manufacturing quality.
2. Reduce the complexity of operations and the cost of the part, thereby improving economic performance.
3. The use of CAM systems and modern CNC machines has reduced processing time and improved accuracy.
4. The developed process can become a standard one, which will allow it to be applied to similar parts and expand the scope of its application.

					КТОМП.2025.2112065.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		68

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 2.001-2023 «Единая система конструкторской документации. Общие положения» // URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/81674/>.
2. ГОСТ 4543-2016 «Металлопродукция из конструкционной легированной стали. Технические условия» // URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/64387/>.
3. Марочник сталей и сплавов / В.Г. Сорокин, А.В. Волосникова, С.А. Вяткин и др; Под общ. ред. В.Г. Сорокина. – М.: Машиностроение, 1989. – 640 с. // URL: <https://djvu.online/file/I0nNKkHc2Xu5C/>.
4. ОСТ 1 00021-78 «Термическая и химико-термическая обработка деталей. Группы контроля» // URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293852/>.
5. ГОСТ 2591-2006 «Прокат сортовой стальной горячекатаный квадратный. Сортамент» // URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/47679/>.
6. ГОСТ 7505–89 «Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски» // URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/19494/>.
7. Технология машиностроения. Расчет припусков и межпереходных размеров: Учеб. пособие / В. Е. Авраменко, Ю.Ю. Терсков. Красноярск: ПИ СФУ, 2007. 88 с. // URL: <https://bb.kai.ru/bbcswebdav/>.
8. «Термическая обработка в машиностроении» (Солнцев Ю.П., Пряхин Е.И.)// URL: <https://c-metal.ru/image/catalog/books/Solncev.pdf>
9. «Технология термической обработки стали» (Гуляев А.П.)» // URL: <https://i.twirpx.link/file/3901723/>
10. ОСТ 1.41512-86 «Детали механообрабатываемые. Размеры технологические нормальные» // URL: <http://www.lbm.ru/techdocs/kgs/ost/>.
11. Онлайн-калькулятор режимов резания «Sandvik Coromant CoroPlus ToolGuide» // URL: <https://toolguide.sandvik.coromant.com/TouchTime/Coromant/Home#/taskSetup/material/>.

12. Каталог инструментов «Sandvik Coromant» // URL: <https://www.sandvik.coromant.com/>.
13. Каталог токарных станков с ЧПУ// URL: <https://metal-stanki.ru/catalog/tokarnoe-oborudovanie/tokarnye-stanki-s-chpu/>
14. Наборы оснастки и инструмента для оснащения станков // URL: <https://cncmagazine.ru/>
15. Иллюстрированные каталоги, справочники, базы данных по металлорежущим станкам и кузнечно-прессовому оборудованию // URL: https://stanki-katalog.ru/sprav_6r11.htm/.
16. Оборудование автоматизированного производства: учебно-методическое пособие / Г.С. Горшенин. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2014. – 223 с. // URL: https://elibs.kai.ru/docs_file/227/HTML/2/.
17. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: Учеб. Для вузов / Н.М. Капустин, П.М. Кузнецов; А.Г. Схиртладзе и др.; Под ред. Н.М. Капустина. – М.:Высш. шк., 2004, - 415 с. // URL: <https://777russia.ru/book/uploads/>.
18. Курс по дисциплине: "Программирование станков с числовым программным управлением" / Д.В. Курылев. – Казань. // URL: <https://bb.kai.ru/webapps/blackboard/content/list/>.
19. АЗБУКА КОМПАС-3D //URL: https://kompas.ru/source/info_materials/2018/Azbuka-KOMPAS-3D.pdf
20. Программирование обработки и технологическая наладка станков с CNC-системой ЧПУ: учебно-методическое пособие / Ж.А. Юсупов. – Казань: Изд-во Казан. гос. ун-та, 2014. – 112 с. // URL: http://jirbis.library.kai.ru/docs_file/817302/HTML/index.html/.

21. Основы NX CAM [Электронный ресурс] / П.А. Ведьмидь. - М.: ДМК Пресс, 2012. – 216с. // URL: <http://mexalib.com/view/42668>.
22. ГОСТ 25346-89 «Основные нормы взаимозаменяемости. Единая система допусков и посадок. Общие положения, ряды допусков и основных отклонений» // URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/11137/>.
23. ГОСТ 25347-2013 «Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Система допусков на линейные размеры. Ряды допусков, предельные отклонения отверстий и валов» // URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/56937/>.
24. ГОСТ 30893.1-2002 «Основные нормы взаимозаменяемости. Общие допуски. Предельные отклонения линейных и угловых размеров с неуказанными допусками» // URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/5929/>.
25. ГОСТ 3.001-2023 «Единая система технологической документации. Общие положения» // URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/81643/>.