

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Технология машиностроения»

# ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

*Методические рекомендации к практическим занятиям  
для студентов специальности  
1-36 01 01 «Технология машиностроения»  
очной и заочной форм обучения*

**Часть 1**



Могилев 2021

УДК 658.52.011.56  
ББК 32.965  
Т38

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Технология машиностроения» «5» марта 2021 г.,  
протокол № 8.

Составители: канд. техн. наук, проф. А. А. Жолобов;  
канд. техн. наук, доц. А. М. Федоренко

Рецензент канд. техн. наук А. П. Прудников

Приведены методические рекомендации к проведению практических  
занятий по дисциплине «Технология машиностроения» для студентов  
специальности 1-36 01 01 «Технология машиностроения» очной и заочной  
форм обучения.

Учебно-методическое издание

## ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

### Часть 1

Ответственный за выпуск	В. М. Шеменков
Корректор	А. А. Подошевка
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч. -изд. л. . Тираж 36 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования  
«Белорусско-Российский университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/156 от 07.03.2019.  
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский  
университет, 2021

## Содержание

Введение.....	4
1 Практическая работа № 1. Анализ технологичности деталей .....	5
2 Практическая работа № 2. Функциональное назначение детали и ее поверхностей. Анализ технологичности конструкции машины .....	10
3 Практическая работа № 3. Выявление конструкторских размерных цепей изделия. Анализ вариантов достижения точности замыкающего звена.....	14
4 Практическая работа № 4. Проектирование операций токарной обработки.....	20
5 Практическая работа № 5. Проектирование операций обработки отверстий .....	25
6 Практическая работа № 6. Проектирование операций фрезерной обработки плоскостей.....	32
7 Практическая работа № 7. Проектирование операций обработки резьб.....	39
8 Практическая работа № 8. Проектирование отделочной обработки зубчатых колес.....	45
Список литературы.....	48

## Введение

Целью учебной дисциплины является обучение студентов разработке технологических процессов изготовления деталей и сборки узлов машин в условиях любого типа производства.

Целью практических работ является формирование умений и навыков разработки технологических процессов, оформления технологической документации.

Отчет по каждому занятию включает следующее:

- цель практической работы;
- исходные данные (в соответствии со своим вариантом);
- расчеты и их результаты, выполненные в последовательности и записанные в форме, определенной настоящими методическими рекомендациями;
- графическое отражение результатов работы;
- выводы.

Защита практической работы проводится во время занятий устно, письменно или в форме тестирования.

Более подробно с содержанием практических работ, примерами их выполнения, а также с заданиями для выполнения можно ознакомиться в [1, 2].

# 1 Практическая работа № 1. Анализ технологичности деталей

**Цель работы:** приобретение практических навыков оценки технологичности деталей.

## 1.1 Теоретические сведения

*Общие требования к технологичности деталей:* унификация внутренних и наружных радиусов; унификация элементов форм деталей и их размеров; создание такой конфигурации детали, которая гарантирует свободный доступ инструменту для обработки поверхностей; обеспечение возможности надежного и удобного базирования заготовки при обработке.

Эти требования направлены на сокращение типоразмеров применяемого режущего инструмента, замены специального инструмента стандартным, уменьшение числа переустановок обрабатываемого изделия и др. Рассмотренные требования могут быть выполнены путем видоизменения геометрической формы или отдельных элементов детали, изменения размеров, смещения определенных элементов изделия и т. п. Примеры повышения технологичности приведены на рисунке 1.1.

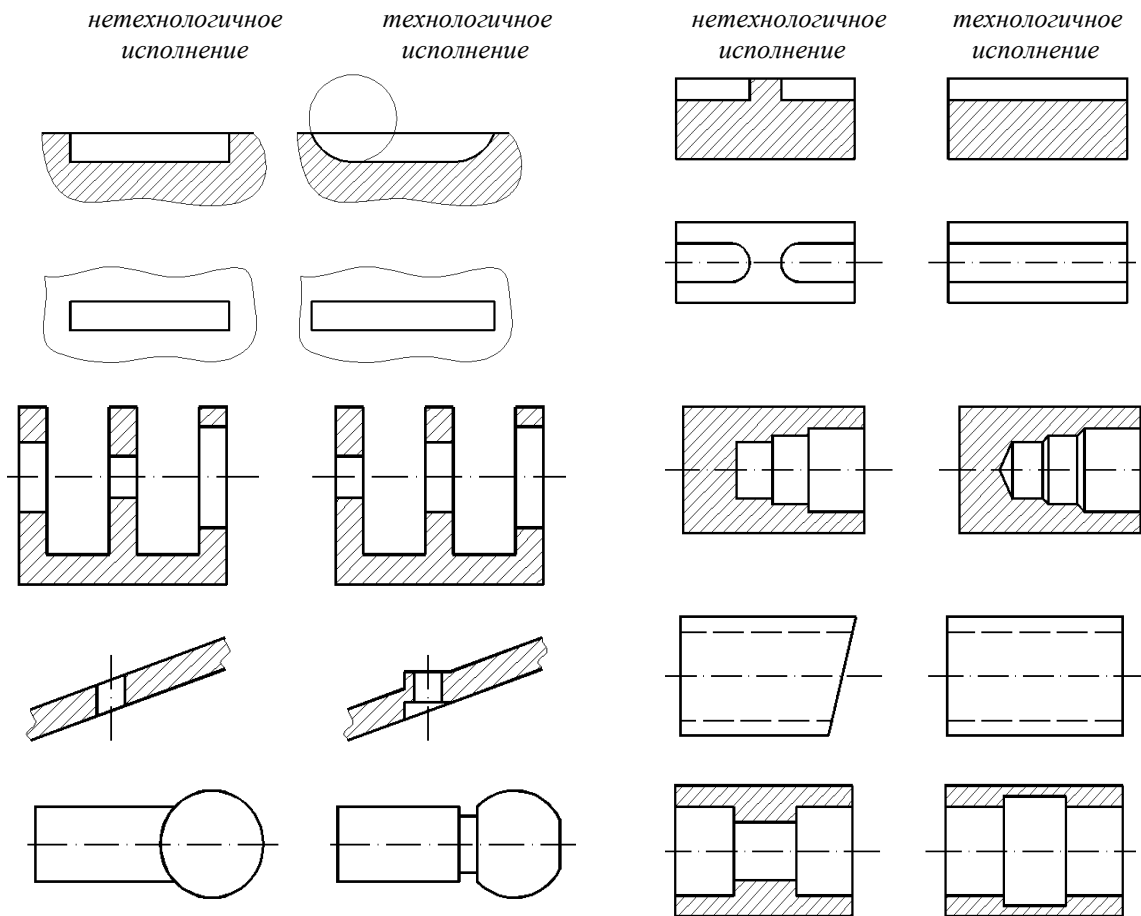


Рисунок 1.1 – Примеры нетехнологичного (слева) и технологичного (справа) исполнений конструкций деталей

*Производственная технологичность* конструкции детали – это степень ее соответствия требованиям наиболее производительного и экономичного изготовления. Чем меньше трудоемкость и себестоимость изготовления, тем более технологичной является конструкция детали.

Оценка технологичности конструкции детали бывает двух видов: качественная и количественная.

Качественная оценка технологичности является обобщенной и характеризуется показаниями: «лучше – хуже», «рекомендуется – не рекомендуется», «технологично – нетехнологично» и т. д. Технологичной при качественной оценке следует считать такую геометрическую конфигурацию детали и отдельных ее элементов, при которой учтены возможности минимального расхода материала и использования наиболее производительных и экономичных для определенного типа производства методов изготовления.

Чтобы избежать незамеченных недостатков в конструкции, качественный анализ технологичности целесообразно проводить в определенной последовательности:

- установить возможность применения высокопроизводительных методов обработки;
- определить труднодоступные для обработки места;
- определить технологическую увязку размеров, оговоренных допусками, шероховатость поверхностей, необходимость дополнительных технологических операций для получения высокой точности и требуемой шероховатости обрабатываемых поверхностей;
- определить возможность обработки детали в имеющихся производственных условиях;
- определить поверхности, которые могут быть использованы при базировании;
- проанализировать возможность выбора рационального метода получения заготовки.

С целью упрощения анализа технологичности возможны рекомендации для типовых классификационных групп деталей.

Для корпусных деталей следует определить:

- допускает ли конструкция обработку плоскостей на проход;
- можно ли обрабатывать отверстия одновременно на многошпиндельных станках с учетом расстояний между центрами отверстий;
- позволяет ли форма отверстий растачивать их на проход с одной стороны или с двух сторон;
- есть ли свободный доступ инструмента к обрабатываемым поверхностям;
- нужна ли обработка торцов ступиц с внутренних сторон;
- есть ли глухие отверстия;
- имеются ли обрабатываемые поверхности под углом;
- для всех ли отверстий плоскость входа и выхода перпендикулярна оси отверстия;
- имеются ли в конструкции детали достаточные по размерам базовые поверхности;

– правильно ли выбраны элементы конструкции, обуславливающие получение заготовки.

Для валов следует определить:

- можно ли обрабатывать поверхности проходными резцами;
- убывают ли к концам диаметральные размеры шеек;
- имеются ли буртики большого диаметра по сравнению с остальными диаметрами, и как это повлияет на коэффициент использования материала;
- имеются ли закрытые шпоночные пазы;
- допускает ли жесткость вала получение высокой точности обработки.

Для зубчатых колес следует определить:

- возможность высокопроизводительного предварительного формообразования зубчатого венца пластическим деформированием;
- простоту формы центрального отверстия;
- простоту конфигурации наружного контура зубчатого венца (более технологичны плоские, без ступицы);
- одно или двухстороннее расположение ступицы (это определяет возможность нарезания зубьев одновременно у нескольких заготовок);
- рациональность форм и размеров канавок для выхода инструментов;
- возможность многорезцовой обработки в зависимости от соотношения диаметров венцов и расстояний между ними.

Количественная оценка технологичности выражается показателем, численное значение которого характеризует степень удовлетворения требований к технологичности. Количественную оценку технологичности производят по суммарной трудоемкости  $\sum T_{\text{шк}}$  и технологической себестоимости  $C_m$ , а также по техническим показателям, определение которых возможно из чертежа детали. К ним относятся коэффициенты точности  $K_m$  и шероховатости  $K_u$ :

$$K_T = 1 - \frac{1}{T_{cp}}; \quad (1.1)$$

$$T_{cp} = \frac{\sum T_i \cdot n_i}{\sum n_i}; \quad (1.2)$$

$$K_u = \frac{1}{Ra_{cp}}; \quad (1.3)$$

$$Ra_{cp} = \frac{\sum Ra_i \cdot n_i}{\sum n_i}, \quad (1.4)$$

где  $T_i$ ,  $Ra_i$  – качества точности и значения параметра шероховатости обрабатываемых поверхностей соответственно;

$T_{cp}$ ,  $Ra_{cp}$  – средние значения этих параметров;

$n_i$  – число размеров или поверхностей для каждого качества и значения параметра шероховатости.







### ***Контрольные вопросы***

- 1 Что понимается под производственной технологичностью конструкции детали?
- 2 По каким критериям может быть оценена конструкция детали?
- 3 Поясните методику качественной оценки технологичности детали.

## **2 Практическая работа № 2. Функциональное назначение детали и ее поверхностей. Анализ технологичности конструкции машины**

***Цель работы:*** приобретение навыков выявления функционального назначения поверхностей детали, оценки уровня технологичности изделия.

### ***2.1 Теоретические сведения***

Функциональное назначение детали формулируют на основе анализа функций, выполняемых деталью в изделии. Например, валы и муфты передают крутящий момент, зубчатые колеса передают крутящий момент и обеспечивают требуемую кинематическую точность передачи, корпусные детали служат для размещения и базирования сборочных единиц и других деталей.

При анализе функций, выполняемых деталью, необходимо определить функции ее поверхностей. Среди поверхностей детали целесообразно выделить важнейшие: исполнительные и свободные поверхности, конструкторские базы (основные и вспомогательные).

К *исполнительным* относят поверхности, при помощи которых деталь выполняет свои важнейшие функции. К этим поверхностям относят зубчатые поверхности шестерен, резьбовые поверхности крепежных деталей, рабочие поверхности лопастей турбин и гребных винтов и др.

К *основным конструкторским базам* относят поверхности данной детали, определяющие положение ее в изделии.

К *вспомогательным конструкторским базам* относят поверхности данной детали, определяющие положения присоединяемого к ним изделия.

К *свободным* относят поверхности, не соприкасающиеся с поверхностями других деталей и не являющиеся исполнительными.

Правила обеспечения технологичности конструкции сборочных единиц предусматривают следующие требования к оформлению конструкции:

- возможность соединения сборочных единиц без повторной разборки;
- максимальное применение стандартных и унифицированных сборочных единиц и деталей;
- сокращение объема пригоночных работ;
- сокращение длительности цикла сборки и снижение ее себестоимости.

Вместе с качественной оценкой при проектировании технологических процессов (ТП) сборки производится количественная оценка технологичности, которая включает расчет и сопоставление численных значений показателей технологичности с их базовыми значениями.

Базовые показатели определяются для изделия-аналога и отражают уровень технологичности, достигнутый при изготовлении аналогичных изделий на момент проектирования.

С этой целью рассчитываются следующие показатели технологичности:

– коэффициент сборности

$$K_{сб} = \frac{E}{E + D}, \quad (2.1)$$

где  $E$  – число сборочных единиц в изделии;

$D$  – число деталей в изделии, не вошедших в сборочные единицы;

– коэффициент применяемости унифицированных сборочных единиц в изделии

$$K_y = \frac{E_y}{E}, \quad (2.2)$$

где  $E_y$  – число унифицированных сборочных единиц в изделии (подшипников, муфт, двигателей, переключателей и т.п.);

– коэффициент применяемости унифицированных деталей в изделии (кроме крепежных)

$$K_{yд} = \frac{D_y}{D}, \quad (2.3)$$

где  $D_y$  – число унифицированных деталей (скоб, петель, опор и т. п.);

– коэффициент повторяемости составных частей изделия

$$K_{повт} = 1 - \frac{Q}{E + D}, \quad (2.4)$$

где  $Q$  – число различных наименований составных частей в спецификации (сборочных единиц и деталей);

$E + D$  – общее число составных частей в изделии (сборочных единиц и деталей);

– коэффициент применяемости стандартных изделий

$$K_{см} = \frac{D_{см}}{D}, \quad (2.5)$$

где  $D_{см}$  – число стандартных деталей;

$D$  – общее число деталей.

## 2.2 Пример выполнения практической работы

1 Цель практической работы.

2 Чертеж задания (рисунок 2.1), спецификация (рисунок 2.2).

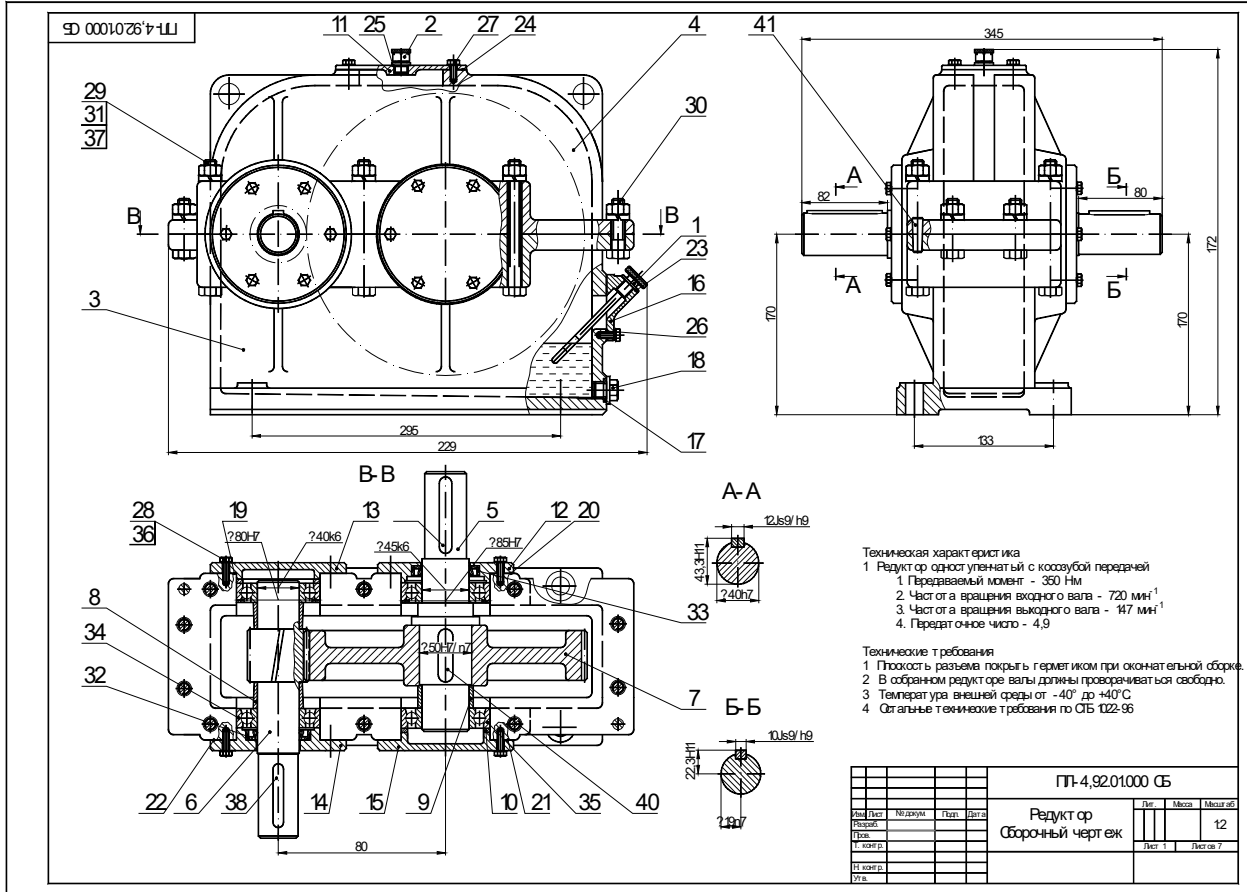


Рисунок 2.1 – Сборочный чертёж редуктора

Код	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
		Документация		
А1	ПТ-4.92.01000.00	Сборочный чертёж	1	
		Сборочные единицы		
1	ПТ-4.92.01000.01	Мисурка газетель	1	
2	ПТ-4.92.01000.02	Ступица	1	
		Детали		
3	ПТ-4.92.01003	Основание корпуса	1	
4	ПТ-4.92.01004	Крышка корпуса	1	
5	ПТ-4.92.01005	Вал	1	
6	ПТ-4.92.01006	Вал-шестерня	1	
7	ПТ-4.92.01007	Колесо цилиндрическое	1	
8	ПТ-4.92.01008	Втулка	2	
9	ПТ-4.92.01009	Втулка	1	
10	ПТ-4.92.01010	Втулка	2	
11	ПТ-4.92.01011	Лок-шмигровой	1	
12	ПТ-4.92.01012	Крышка прижимная	1	
13	ПТ-4.92.01013	Крышка прижимная	1	
14	ПТ-4.92.01014	Крышка прижимная	1	
15	ПТ-4.92.01015	Крышка прижимная	1	
16	ПТ-4.92.01016	Крышка	1	
17	ПТ-4.92.01017	Прокладка резиновая	1	
	ПТ-4.92.01000	Редуктор		
		Лист 2		

Код	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
18	ПТ-4.92.01018	Гривка	1	
19	ПТ-4.92.01019	Прокладка	1	
20	ПТ-4.92.01020	Прокладка	1	
21	ПТ-4.92.01021	Прокладка	1	
22	ПТ-4.92.01022	Прокладка	1	
23	ПТ-4.92.01023	Прокладка	1	
24	ПТ-4.92.01024	Прокладка	1	
25	ПТ-4.92.01025	Прокладка	1	
26	ПТ-4.92.01026	Прокладка	1	
		Стандартные изделия		
		Болты ГОСТ 7798-70		
27	ПТ-4.92.01027	М6х15	4	
28	ПТ-4.92.01028	М6х20	27	
29	ПТ-4.92.01029	М6х20	6	
30	ПТ-4.92.01030	М6х50	4	
31	ПТ-4.92.01031	Гайка М2-6Н6	10	
		ГОСТ 5965-70		
		Минигель ГОСТ 8752-79		
32	ПТ-4.92.01032	11-40х62-1	1	
33	ПТ-4.92.01033	11-45х65-1	1	
34	ПТ-4.92.01034	Гайкиник 36208	1	
35	ПТ-4.92.01035	Гайкиник 831-75	2	
		ГОСТ 333-79		
		ГОСТ 831-75		
		ГОСТ 333-79		
		Шайбы пружинные		
36	ПТ-4.92.01036	6	31	
		ГОСТ 6402-70		
37	ПТ-4.92.01037	12	10	
		ГОСТ 16402-70		
	ПТ-4.92.01000	Лист 3		

Рисунок 2.2 – Спецификация к сборочному чертежу редуктора

### 3 Анализ технологичности изделия.

Коэффициент сборности (для расчета используем данные спецификации – рисунок 2.2)

$$K_{сб} = \frac{E}{E + Д} = \frac{8}{8 + 123} = 0,06.$$

Коэффициент применяемости унифицированных сборочных единиц в изделии

$$K_y = \frac{E_y}{E} = \frac{8}{8} = 1.$$

Коэффициент повторяемости составных частей изделия

$$K_{повт} = 1 - \frac{Q}{E + Д} = 1 - \frac{41}{133} = 0,69.$$

Коэффициент применяемости стандартных изделий

$$K_{см} = \frac{Д_{см}}{Д} = \frac{97}{123} = 0,79.$$

### 4 Эскиз анализируемой детали с обозначением поверхностей (рисунок 2.3).

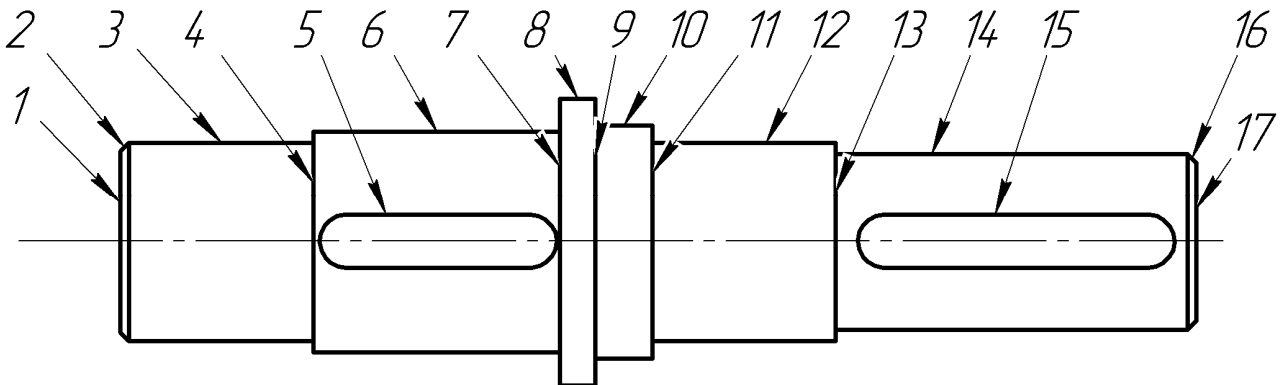


Рисунок 2.3 – Эскиз анализируемой детали

Перечень исполнительных поверхностей:

- 5 – обеспечивает передачу крутящего момента от колеса 7 к валу;
- 15 – обеспечивают передачу крутящего момента от вала к муфте.

Перечень основных конструкторских баз:

- 3, 12 – определяют положение оси вала;
- 11 – обеспечивает установку вала вдоль оси.

Перечень вспомогательных конструкторских баз:

- 3 – обеспечивает положение оси втулки 9;
- 5 – пространственное положение шпонки 40;
- 6 – положение оси колеса 7;

- 7 – положение вдоль оси колеса 7;
  - 14 – положение оси полумуфты (на чертеже не показана);
  - 15 – пространственное положение шпонки (на чертеже не показана).
- Перечень свободных поверхностей: 1, 2, 4, 8, 9, 10, 13, 16, 17.
- 5 Выводы.

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Какие поверхности детали относят к исполнительным поверхностям?
- 2 Какие поверхности детали относят к свободным поверхностям?
- 3 По каким критериям может быть оценена конструкция изделия?

## **3 Практическая работа № 3. Выявление конструкторских размерных цепей изделия. Анализ вариантов достижения точности замыкающего звена**

***Цель работы:*** приобретение навыков выявления конструкторских размерных цепей, а также их расчета.

### ***3.1 Теоретические сведения***

Вопрос о выборе метода достижения точности машины решается на основе технико-экономических расчетов и должен соответствовать типу производства. Выбор метода начинается с тщательного изучения сборочных чертежей и установления связей и взаимодействия всех сборочных единиц и деталей, составляющих машину. При этом необходимо четко сформулировать задачи, которые требуется решать в процессе достижения ее точности. Исходя из поставленных задач, находят исходные (замыкающие) звенья и выявляют соответствующие им размерные цепи.

Размерные цепи отражают размерные связи между геометрическими элементами деталей, сборочных единиц, изделий в сфере конструирования и эксплуатации, между элементами заготовок на разных стадиях ТП в сфере технологического проектирования и изготовления и т. п.

Размеры, входящие в размерную цепь, называют *звеньями*. Звенья разомкнутой размерной цепи, которые предписаны к изготовлению и контролю, называют *составляющими*. Звено, введение которого в разомкнутую размерную цепь превращает ее в замкнутую, называют *замыкающим*.

В качестве составляющих звеньев размерной цепи могут быть приняты:

- расстояния (относительные повороты) между поверхностями (их осями) деталей, образующими исходное звено;
- расстояния (относительные повороты) между поверхностями вспомогательных и основных баз деталей.

Для выявления цепи необходимо идти от поверхностей или осей деталей, образующих исходное звено, к поверхностям или осям деталей, размеры которых оказывают влияние на исходное звено, до образования замкнутого контура. Замкнутость контура размерной цепи является одним из условий правильности ее построения.

При разработке конструкции машины конструктором предусматриваются методы достижения точности ее параметров. Задача технолога – выяснить эти методы и с позиции реальных условий производства оценить их. Известно пять методов достижения точности замыкающего звена: метод полной взаимозаменяемости; метод неполной взаимозаменяемости; метод групповой взаимозаменяемости; метод регулирования; метод пригонки.

*Обеспечение точности замыкающего звена методом полной взаимозаменяемости*

Сущность метода состоит в том, что точность замыкающего звена обеспечивается у всех без исключения изделий без какого-либо подбора звеньев или их пригонки.

Преимущества метода полной взаимозаменяемости заключаются в следующем: простота и экономичность сборки; возможность автоматизации сборочных процессов; возможность кооперирования предприятий; упрощение системы изготовления запасных частей и снабжение ими потребителей.

К недостаткам метода следует отнести относительно небольшие по сравнению с другими методами допуски составляющих звеньев. Поэтому метод применяют при небольшом числе составляющих звеньев.

Метод основан на следующих зависимостях:

– уравнение размерной цепи в номиналах

$$A_{\Delta} = \sum A_{ув} - \sum A_{ум}, \quad (3.1)$$

где  $A_{\Delta}$  – номинальное значение замыкающего звена;

$\sum A_{ув}$ ,  $\sum A_{ум}$  – сумма увеличивающих и уменьшающих звеньев

соответственно;

– допуск замыкающего звена

$$T_{\Delta} = \sum T_{ув} + \sum T_{ум}; T_{\Delta} = \sum T_i, \quad (3.2)$$

где  $\sum T_i$  – сумма допусков всех составляющих звеньев.

### **3.2 Пример выполнения практической работы**

1 Цель практической работы.

2 Исходные данные в виде эскиза сборочного узла (см. рисунок 2.1).

3 Выявляем линейную размерную цепь для вала 5 (см. рисунок 2.1).

Определяем замыкающее звено – для обеспечения свободного и беспрепятственного вращения вала 5 между кольцами подшипников 35, буртиков вала 5, кольцом 9, крышками 12 и 15 должен быть зазор, обеспечивающий температурные деформации вала 5 в процессе работы.

Суммарный зазор может быть равномерно распределен между крышкой 15 и наружной обоймой подшипника 35, между наружным кольцом подшипника 39 и крышкой 12, а также может быть сконцентрирован равновероятно в любом из двух перечисленных сопряжений. В каждом случае для практических расчетов положение зазора в сопряжении не имеет принципиального значения. Таким образом, замыкающим звеном условно принимаем суммарный зазор между наружным кольцом подшипника 35 и крышкой 15.

Величина зазора определяется соответствующими расчетами; в учебных целях величину зазора и его допуск назначает преподаватель:  $A_0 = 0_{+0,1}^{+0,8}$ .

Определяем остальные звенья размерной цепи, для чего последовательно обходим все детали сборочного узла, пытаясь по кратчайшему пути замкнуть размерную цепь:

- звено  $A_1 = 9,5$  – ширина подшипника 35;
  - подшипник 35 своим торцом находится в сопряжении с кольцом 9 – следующее звено размерной цепи: ширина кольца 9  $A_2 = 10,5$ ;
  - кольцо 9 находится в сопряжении с колесом 7 –  $A_3 = 28,5$ ;
  - колесо 7 находится в сопряжении с буртиком вала 5, который далее сопрягается с подшипником 35 –  $A_4 = 4 + 6,5 = 10,5$ ;
  - $A_5 = 9,5$ ;
  - подшипник 35 сопрягается с крышкой 12 –  $A_6 = X$ ;
  - крышка 12 далее сопрягается с прокладкой 20 –  $A_7 = 1$ ;
  - прокладка 20 устанавливается на корпус (поз. 3, 4) –  $A_8 = 78,5$ ;
  - корпус находится в соединении с прокладкой 21 –  $A_9 = 1$ ;
  - прокладка 21 – с крышкой 15 –  $A_{10} = X$ ;
  - крышка сопрягается с замыкающим звеном – цепь замкнулась.
- Осуществляем построение размерной цепи (рисунок 3.1).

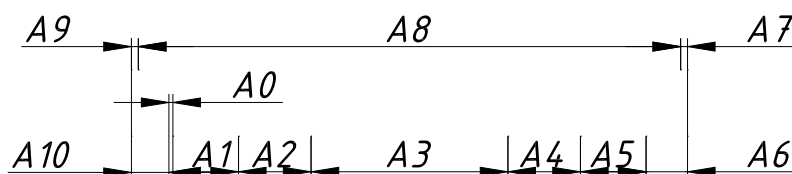


Рисунок 3.1 – Размерная цепь

Рассчитываем номинальные размеры неизвестных звеньев  $A_6$  и  $A_{10}$ :

$$A_9 + A_8 + A_7 = A_{10} + A_0 + A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6;$$

$$1 + 78,5 + 1 = A_{10} + 0 + 9,5 + 10,5 + 28,5 + 10,5 + 9,5 + A_6;$$

$$A_{10} + A_6 = 12.$$

Принимаем  $A_{10} = A_6 = 6$  мм.



Формируем таблицу результатов расчета (см. таблицу 3.1), заполняем столбцы 1 и 2.

Таблица 3.1 – Результаты расчета размерной цепи

Номер звена	$A$ , мм	$\xi$	$\xi A$	$i$	$T$ , мкм	$ESA_i$ , $EIA_i$ , мм	$E_{Ci}$ , мм	$A_i$ , мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	–	–	–	700	+0,8 +0,1	+0,45	$0^{+0,8}_{+0,1}$
1	9,5	–1	–9,5	–	120	0 –0,12	–0,06	$9,5_{-0,12}$
2	10,5	–1	–10,5	1,08	70	0 –0,07	–0,035	$10,5_{-0,07}$
3	28,5	–1	–28,5	1,31	(84) = 52	–0,31 –0,38	–0,345	$28,5^{+0,31}_{-0,38}$
4	10,5	–1	–10,5	1,05	70	0 –0,07	–0,035	$10,5_{-0,07}$
5	9,5	–1	–9,5	–	120	0 –0,12	–0,06	$9,5_{-0,12}$
6	6	–1	–6	0,73	48	+0,024 –0,024	0	$6^{+0,024}_{-0,024}$
7	1	+1	1	0,55	25	0 –0,025	–0,0125	$1_{-0,025}$
8	78,5	+1	78,5	1,86	120	0 –0,12	–0,06	$78,5_{-0,12}$
9	1	+1	1	0,55	25	0 –0,025	–0,0125	$1_{-0,025}$
10	6	–1	–6	0,73	48	+0,024 –0,024	0	$6^{+0,024}_{-0,024}$
			$\Sigma = 0$	$\Sigma = 7,86$	$\Sigma = 698$			

4 Заполняем столбец 3, для чего для увеличивающих звеньев записываем +1 ( $A7...A9$ ), а для уменьшающих –1 ( $A1...A6, A10$ ).

5 В столбец 4 заносим произведение столбца 2 на столбец 3.

6 Определяем для каждого размера количество единиц допуска, используя данные таблицы 3.2, и заносим результат в столбец 5.

Таблица 3.2 – Значения единиц допуска для размеров от 1 до 500 мм

Интервал размеров, мм	До	Св.	Св.	Св.	Св.	Св.	Св.	Св.	Св.	Св.	Св.	Св.	Св.
	3	3	6	10	18	30	50	80	120	180	250	315	400
		до	до	до	до	до	до	до	до	до	до	до	до
		6	10	18	30	50	80	120	180	250	315	400	500
Значение единицы допуска $i$ , мкм	0,55	0,73	0,90	1,08	1,31	1,53	1,86	2,17	2,52	2,90	3,23	3,54	3,89

Например: для  $A3 = 28,5$  соответствует интервал «Св. 18 до 30» –  $i = 1,31$ .

Исключение составляют звенья  $A1$  и  $A5$  – ширина подшипников 35 и 39,

являющиеся стандартными элементами с уже известными допусками и отклонениями.

Для этих звеньев  $T1 = T5 = 120$ ,  $ESA1 = ESA5 = 0$ ,  $EIA1 = EIA5 = -120$ , аналогично заполняем столбцы 6 и 7.

Определяем суммарное количество единиц допуска:

$$\sum i = \sum i_i = 1,08 + 1,31 + 1,05 + 0,73 + 0,55 + 1,86 + 0,55 + 0,73 = 7,86.$$

7 Определяем среднее количество единиц допуска:

$$a_{cp} = \frac{T_{\Delta}}{\sum i} = \frac{700 - 120 - 120}{7,86} = 58,52.$$

Исходя из данных таблицы 3.3, средний квалитет 9 и 10 – на ряд звеньев назначаем допуски по 9, а на часть по 10 квалитету точности, заполняем столбец 6.

Таблица 3.3 – Количество единиц допуска в допуске квалитета точности

Квалитет	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Количество единиц допуска $a$	7	10	16	25	40	64	100	160	250	400	640	1000	1600

Осуществляем проверку правильности назначения допусков:

$$700 = 120 + 70 + 84 + 70 + 120 + 48 + 25 + 120 + 25 + 48 \text{ или } 700 = 730.$$

Условие не выполняется на 30 мкм – корректируем допуск звена  $A3$  – уменьшаем с 10 до 9 квалитета с 84 до 52 мкм (на 32 мкм), проверяем:

$$700 = 120 + 70 + 52 + 70 + 120 + 48 + 25 + 120 + 25 + 48 \text{ или } 700 = 698.$$

Условие выполнено (допускается незначительное сокращение суммарного значения допусков – точность сборки будет обеспечена).

8 Исходя из сборочного чертежа, назначаем отклонения для звеньев и заносим в столбец 7, за исключением одного (любого) звена  $A4$ , величину отклонений которого определим расчетным путем.

Например:  $A3 = 28,5$  – ширина шестерни – охватываемое звено: верхнее отклонение равно 0 а нижнее в «минус»:  $28,5_{-0,052}^0$ .

9 Определяем координаты средин полей допусков, результат заносим в столбец 8 (за исключением звена  $A4$ ).

Например:

$$E_{ci} = \frac{ESAi + EIAi}{2} = EC3 = \frac{0 - 0,052}{2} = -0,026.$$

Рассчитываем координату середины поля допуска звена  $A4$  по формуле

$$E_{C\Delta} = \sum^m Ec_{y\phi} - \sum^n Ec_{y\mu}; \quad (3.3)$$

$$0,45 = 0,06 + 0,035 - EC4 + 0,035 + 0,06 - 0 - 0,0125 - 0,06 - 0,0125 - 0;$$

$$EC4 = 0,105 - 0,45 = -0,345.$$

Тогда значения отклонений:

$$ES4 = EC4 + \frac{T4}{2} = -0,345 + \frac{0,07}{2} = -0,31;$$

$$EI4 = EC4 - \frac{T4}{2} = -0,345 - \frac{0,07}{2} = -0,38.$$

10 Выполняем проверку правильности расчетов:

$$ESA_{\Delta} = \sum^m Ec_{y\phi} - \sum^n Ec_{y\mu} + 0,5 \cdot \sum^{m+n} Ti; \quad (3.4)$$

$$EIA_{\Delta} = \sum^m Ec_{y\phi} - \sum^n Ec_{y\mu} - 0,5 \cdot \sum^{m+n} Ti; \quad (3.5)$$

$$0,8 = -0,0125 - 0,06 - 0,0125 + 0,06 + 0,035 + 0,345 + 0,035 + 0,06 + 0,5 \cdot 0,698;$$

$$0,8 = 0,799.$$

С учетом того, что 2 мкм были не распределены

$$0,8 = 0,799 + \frac{0,002}{2} \text{ или } 0,8 = 0,8.$$

Проверка выполнена.

Заполняем столбец 9 окончательными результатами.

11 Выводы.

### **Контрольные вопросы**

1 Какие звенья размерной цепи относятся к увеличивающим звеньям, а какие – к уменьшающим?

2 Перечислите основные методы расчета точности замыкающего звена.

3 Назовите недостатки метода полной взаимозаменяемости.

## 4 Практическая работа № 4. Проектирование операций токарной обработки

**Цель работы:** приобретение практических навыков разработки токарных операций и графического изображения эскизов механической обработки деталей машин.

### 4.1 Теоретические сведения

**Выбор схемы базирования.** Способ установки и закрепления заготовок на станке выбирают в зависимости от их размеров, жесткости и требуемой точности обработки. При соотношении  $l/D < 4$  (где  $l$  – длина обрабатываемой заготовки, мм;  $D$  – диаметр заготовки, мм) заготовки закрепляют в патроне, при  $4 < l/D < 10$  – в центрах или в патроне с поджимом задним центром, при  $l/D > 10$  – в центрах или в патроне и центре задней бабки и с поддержкой люнетом.

В случае обработки ступенчатых валов в качестве расчетного принимают приведенный диаметр

$$d_{np} = \frac{\sum d_i l_i}{\sum l_i}, \quad (4.1)$$

где  $d_i$  – диаметр  $i$ -й ступени вала, мм;

$l_i$  – длина  $i$ -й ступени вала, мм.

**Определение характера обработки.** Обтачивание заготовок для валов и других деталей, имеющих форму тел вращения, бывает следующих видов:

- черновое (или обдирочное) с точностью обработки 13-го и 12-го квалитетов и с шероховатостью поверхности до 80 мкм по критерию  $Rz$ ;
- получистовое – с точностью обработки 11-го и 9-го квалитетов с шероховатостью поверхности 40...20 мкм по критерию  $Rz$ ;
- чистовое – с точностью обработки 8 и 7-го квалитетов и с шероховатостью поверхности до 2,5 мкм по  $Ra$ ;
- тонкое – с точностью обработки 7-го и 6-го квалитетов и с шероховатостью поверхности до 0,63 мкм по  $Ra$ .

**Требования к эскизам механической обработки.** При выполнении эскизов необходимо руководствоваться следующими общими требованиями:

- 1) на эскизах изображения заготовок (деталей, сборочных единиц и т. п.) должны быть представлены в их рабочем положении;
- 2) эскизы следует выполнять:
  - с соблюдением масштаба;
  - без соблюдения масштаба, но с примерным выдерживанием пропорций;
- 3) изображение изделия (его составной части) на поле документа следует располагать таким образом, чтобы можно было комплексно разместить следующую информацию:
  - размеры и их предельные отклонения; обозначение шероховатости;

– обозначения опор, зажимов и установочных устройств; допуски формы и расположения поверхностей; таблицы и технические требования к эскизам (при необходимости);

– обозначения позиций составных частей изделия;

4) при выполнении изображений изделий и их составных частей следует указывать соответствующие их виды, разрезы и сечения;

5) наносить размеры и их предельные отклонения необходимо с учетом следующих особенностей:

– предельные отклонения линейных размеров указывают только в виде числовых значений;

– при указании в чертежах конусности и уклонов без приведения угловых размеров в документах следует указывать их угловые размеры и предельные отклонения в виде числовых значений;

– размеры фасок и радиусов следует приводить без указания предельных отклонений;

6) на эскизах к операциям обработки поверхности деталей, подлежащих обработке, следует выделять линиями толщиной  $2S$ ;

7) при применении сечений, разрезов на одном эскизе или применении эскиза (эскизов) на группу операций обозначение шероховатости, указание о формах и расположении поверхностей для одних и тех же поверхностей следует указывать только один раз. Дублирование указанной информации не допускается;

8) в целях оптимизации записи текстовой информации, связанной с записью переходов на установку и крепление изделия (составной части изделия) на оборудовании или в приспособлении следует указывать на эскизах обозначения опор, зажимов и установочных устройств по ГОСТ 3.1107;

9) технические требования к выполнению изделий (заготовок, поковок, деталей, сборочных единиц), а также к операциям и процессам следует располагать в правой или нижней части зоны КЭ. При наличии таблиц технические требования следует располагать над ними. Допускается технические требования указывать на последующих листах форм КЭ;

10) для обозначения установов следует применять прописные буквы русского алфавита, а для обозначения позиций – арабские цифры натурального ряда, например «Установ А»; «Позиция 3».

Допускается для записи установов и позиций применять соответствующие сокращения, например «Поз. 2», «Уст. Г» и т. д.; подчеркивать информацию по позициям и установам;

11) при выполнении графических изображений к установам следует указывать в каждом случае рабочее положение обрабатываемой детали (заготовки) относительно исполнителя (рабочего) с приведением соответствующих данных. Допускается при необходимости указывать в установках графические изображения вспомогательного и режущего инструмента;

12) при выполнении графических изображений к позициям следует для каждого случая указывать рабочее положение детали (заготовки) с учетом состояния обрабатываемых поверхностей (размеров и т. п.) и применяемых

вспомогательных и режущих инструментов. Допускается условные графические обозначения опор, зажимов и установочных устройств приводить только на графическом изображении к 1-й позиции.

#### 4.2 Пример выполнения практической работы

1 Цель практической работы.

2 Исходные данные. Чертеж детали представлен на рисунке 1.3.

3 Выбор схемы базирования детали.

Приведенный диаметр вала (см. рисунок 1.3).

$$d_{np} = \frac{\sum d_i l_i}{\sum l_i} = \frac{50 \cdot 33 + 56 \cdot 18 + 73 \cdot 9 + 58 \cdot 147 + 50 \cdot 32 + 48 \cdot 36 + 47 \cdot 82}{33 + 18 + 9 + 147 + 32 + 36 + 82} = 53,286 \text{ мм.}$$

Тогда

$$\frac{l}{d_{np}} = \frac{347}{53,286} = 6,7 \leq 10 \dots 12.$$

В связи с тем, что отношение длины к приведенному диаметру больше 4, но менее 10, в качестве варианта закрепления заготовки на токарных операциях принимаем базирование в центрах.

4 Анализ характера обрабатываемых поверхностей.

С целью установления структуры операции проведем анализ поверхностей вала и определим для каждой поверхности вид токарной обработки (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Анализ поверхностей вала обрабатываемых на токарных операциях

Поверхность	Размер	Точность, квалитет	Допуски формы, расположения	Маршрут обработки						
Фаска	2° × 45°	14	–	Чистовая						
Цилиндрическая	Ø50 × 33	6	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td><math>\sqrt{\text{A}}</math></td> <td>0,002</td> <td>Д</td> </tr> <tr> <td><math>\sqrt{\text{Q}}</math></td> <td>0,004</td> <td></td> </tr> </table>	$\sqrt{\text{A}}$	0,002	Д	$\sqrt{\text{Q}}$	0,004		Черновая, чистовая
$\sqrt{\text{A}}$	0,002	Д								
$\sqrt{\text{Q}}$	0,004									
Канавка	2,2 × 47	14	–	Чистовая						
Канавка	2,2 × 48	14	–	Чистовая						
...	...	...	...	...						

5 Разработка маршрута токарной обработки поверхностей.

Исходя из конструкции детали и требований к ее поверхностям, принимаем следующий маршрут токарной обработки:

010 Токарная черновая: обработка поверхностей вала с левой стороны (диаметры 58; 50; 48 и 47 мм);

015 Токарная черновая: обработка поверхностей вала с правой стороны (диаметры 50; 58 и 73 мм);







С целью назначения предельных отклонений на исполняемые размеры следует пользоваться [1, таблица А.12; 2].

7 Выводы.

### ***Контрольные вопросы***

1 Какие существуют виды токарной обработки наружных поверхностей вращения?

2 Какие типы резцов используются для токарной обработки?

3 Как зависит выбор оборудования и технологической оснастки от требований к точности и качеству?

## **5 Практическая работа № 5. Проектирование операций обработки отверстий**

***Цель работы:*** приобретение практических навыков проектирования операций обработки отверстий.

### ***5.1 Теоретические сведения***

Отверстия в деталях машин бывают цилиндрические, ступенчатые, конические, фасонные.

Под ступенчатыми подразумевают отверстия разных диаметров, расположенные на одной оси последовательно одно за другим.

Отверстия могут быть открытыми с двух сторон или с одной стороны; последние называются глухими.

В деталях машин чаще всего встречаются отверстия цилиндрические и конические.

Достигнуть необходимой точности обработки отверстий труднее, чем наружных поверхностей тел вращения.

Обрабатывать отверстия можно снятием и без снятия стружки. Снимать стружку можно лезвийным и абразивным инструментом или абразивным порошком.

Лезвийным инструментом можно вести сверление, зенкерование, развертывание, растачивание, протягивание.

Абразивным инструментом осуществляют шлифование, хонингование, суперфиниширование, притирку (с использованием абразивного порошка).

Обработка отверстий без снятия стружки производится калиброванием при помощи выглаживающих прошивок и шаров, а также раскатыванием.

Типовые маршруты обработки отверстий вращающимся инструментом, а также сведения о точности обработки отверстий различными способами приведены в таблице 5.1. Выбор метода обеспечения точности отверстий устанавливается на основе данных таблицы 5.2, а точности положения оси отверстия – таблицы 5.3.

Таблица 5.1 – Маршруты обработки отверстий вращающимся инструментом

Переход		Диаметр отверстия $D$ , мм			
		4...12	12...40	12...100	40...100
Сверление		●	●	●	
Рассверливание				●	
Зенкерование	черновое	●	●	●	●
	получистовое	●	●	●	
	чистовое		●	●	
Развертывание	черновое		●	●	
	получистовое		●	●	
	чистовое	●	●	●	
$Ra$ , мкм	IT				
80...40	13		●	●	●
40...20	12	●	●		
20...10	11	●		●	
10...5	10		●	●	
5	9		●	●	
2,5				●	
2,5	8	●	●		
1,25			●		
1,25	7		●	●	
0,6				●	

Таблица 5.2 – Сведения о точности обработки отверстий

Характер обработки		Параметр шероховатости поверхности $Ra$ , мкм	Квалитет допуска размера	Характер обработки		Параметр шероховатости поверхности $Ra$ , мкм	Квалитет допуска размера
Сверление и рассверливание		25...12,5	14–12	Растачивание	черновое	25...6,3	13–11
Зенкерование	черновое	25...6,3	13–12		чистовое	6,3...3,2	10–9
	однократное литого или прошитого отверстия; чистовое после черного или сверления	25...3,2	13–10		тонкое	3,2...1,6	8–6
Развертывание	нормальное	12,5...0,8	11–8	Шлифование	предварительное	6,3...0,4	9–8
	точное	6,3...0,4	9–7		чистовое	3,2...0,2	7–6
	тонкое	3,2...0,1	6–5		тонкое	1,6...0,1	5
Протягивание	черновое литого или прошитого отверстия	12,5...3,2	11–10	Притирка, хонингование			
	чистовое после черного или после сверления	6,3...0,2	9–6			1,6...0,1	5–4

Таблица 5.3 – Область применения способов обеспечения точности оси отверстий

Производство	Разметка	Кондуктор	Центрование
Массовое	Нет	Да	Нет
Крупносерийное	Нет	Да	Да
Среднесерийное	Нет	Да	Да
Мелкосерийное	Да	Нет	Да
Единичное	Да	Нет	Да

*Правила сокращенной записи содержания переходов.* Сокращенную запись следует выполнять при наличии графических изображений, которые достаточно полно отражают всю необходимую информацию по обработке резанием. В этом случае в записи содержания операции дополнительную информацию не указывают.

Сокращенную запись следует выполнять при условии ссылки на условное обозначение конструктивного элемента обрабатываемого изделия и при достаточной графической информации.

Например, «Точить канавку  $l$ ».

В содержание операции (перехода) должно быть включено следующее (таблица 5.4):

- информация по размерам или их условным обозначениям;
- дополнительная информация, характеризующая количество одновременно или последовательно обрабатываемых поверхностей, характер обработки (например, предварительно, одновременно, по копиру и т. п.).

Таблица 5.4 – Примеры сокращенной записи содержания переходов обработки

Эскиз	Запись перехода полная	Эскиз	Запись перехода полная
	Точить (шлифовать, притереть, полировать и т. п.) поверхность $l$		Отрезать деталь (заготовку) $l$
	Точить (шлифовать, полировать и т. п.) фаску $l$		Подрезать (шлифовать, полировать и т. п.) торец $l$
	Точить (шлифовать, притереть и т. п.) конус $l$		Подрезать (шлифовать, полировать и т. п.) торец буртика $l$

## 5.2 Пример выполнения практической работы

1 Цель практической работы.

2 Исходные данные.

Чертеж детали представлен на рисунке 5.1, тип производства – среднесерийный.

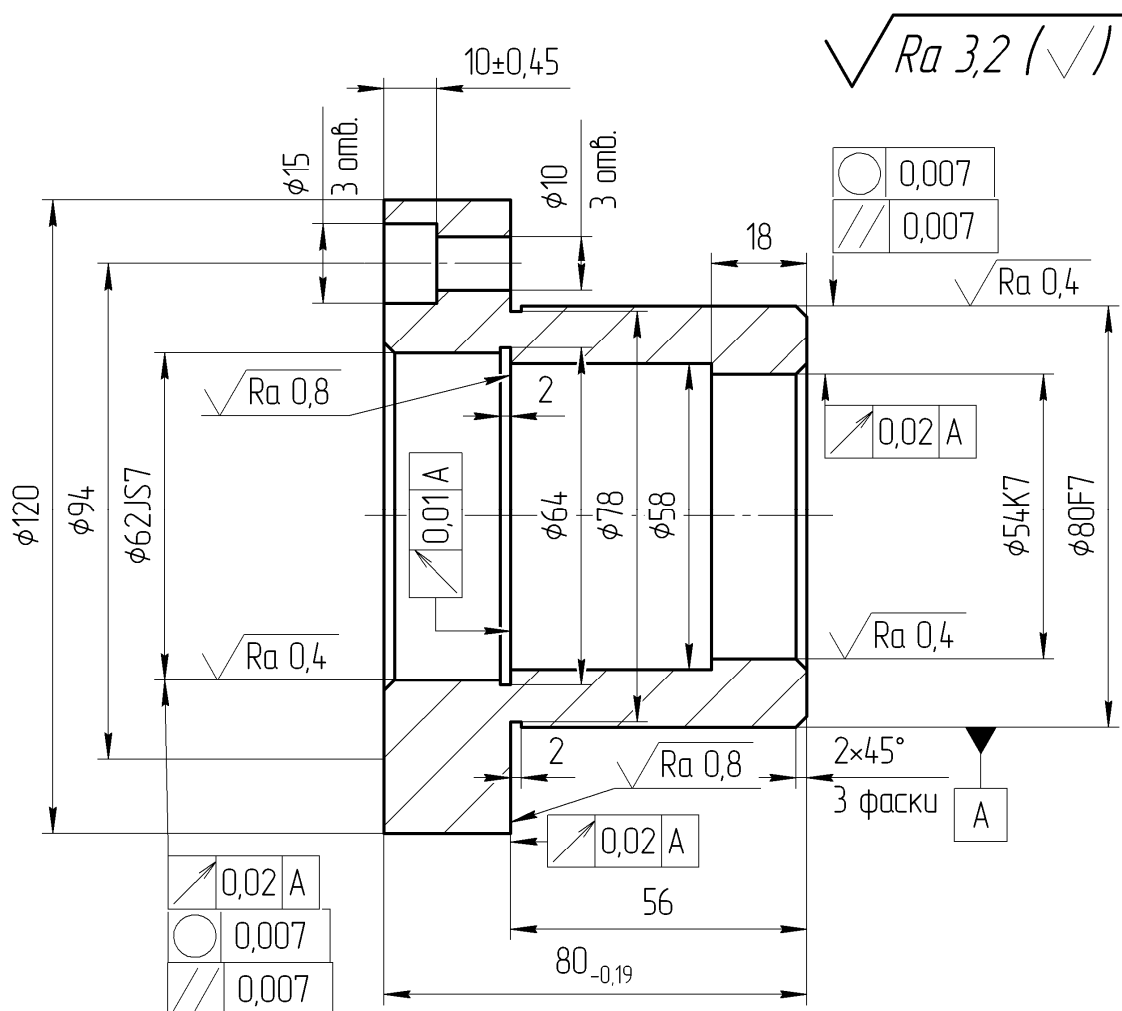


Рисунок 5.1 – Стакан

3 Разработка последовательности обработки отверстия соосного с наружными поверхностями.

Ниже приведено описание операций с указанием основных средств технологического оснащения для изготовления втулки с фланцем (материал – сталь 45; заготовка – поковка с отверстием).

*005 Токарная операция.*

Станок: токарный 16К20Т1 с ЧПУ.

Схема обработки – деталь вращается, инструмент нет.

Содержание переходов обработки отверстий (рисунок 5.2).

1 Расточить поверхности 1, 2, 3 начерно.

2 Расточить поверхности 1, 3 начисто.

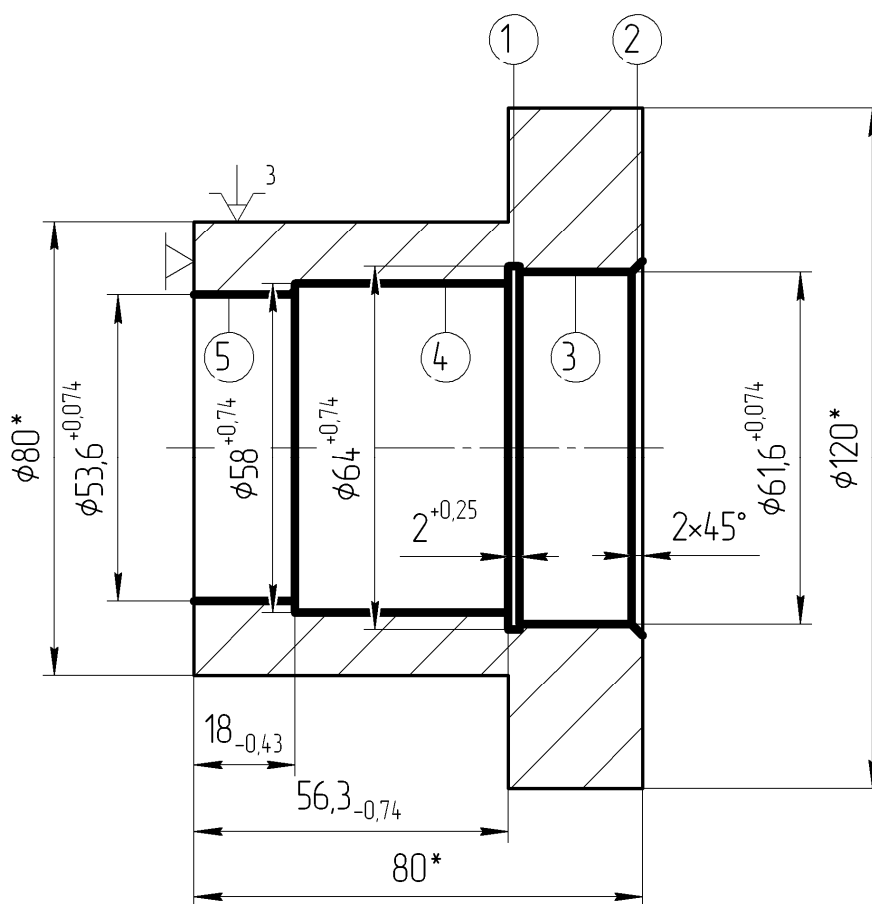


Рисунок 5.2 – Эскиз 005 токарной операции

Приспособление: самоцентрирующий трехкулачковый патрон с пневмоприводом. Базирование: по поверхности диаметром 80 мм и по торцу. Режущие инструменты: контурный, расточной черновой и чистовой, прорезной резцы, оснащенные пластинками твердого сплава Т14К8. Измерительный инструмент: индикаторный нутромер с диапазоном измерения 50...75 мм и ценой деления 0,001 или 0,01 мм; штангенциркуль ШЦ1 с диапазоном измерения 150 мм и ценой деления нониуса 0,1 мм.

025 *Внутришлифовальная.*

Внутришлифовальный станок.

Содержание переходов обработки отверстий (рисунок 5.3).

1 Шлифовать отверстие 1.

Приспособление: патрон самоцентрирующий. Базирование: по поверхности диаметром 80 мм с упором в торец.

030 *Внутришлифовальная.*

Внутришлифовальный станок.

Содержание переходов обработки отверстий (рисунок 5.4).

1 Шлифовать отверстие 1.

2 Шлифовать торец 2.

Приспособление: патрон самоцентрирующий. Базирование: по поверхности диаметром 80 мм с упором в торец.

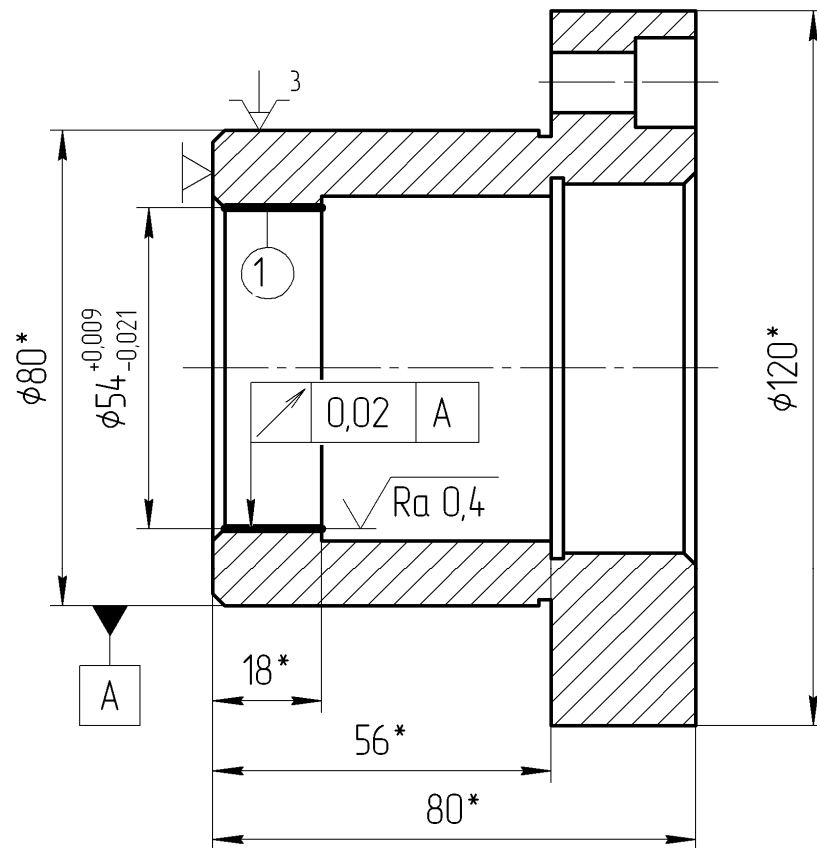


Рисунок 5.3 – Эскиз 025 внутришлифовальной операции

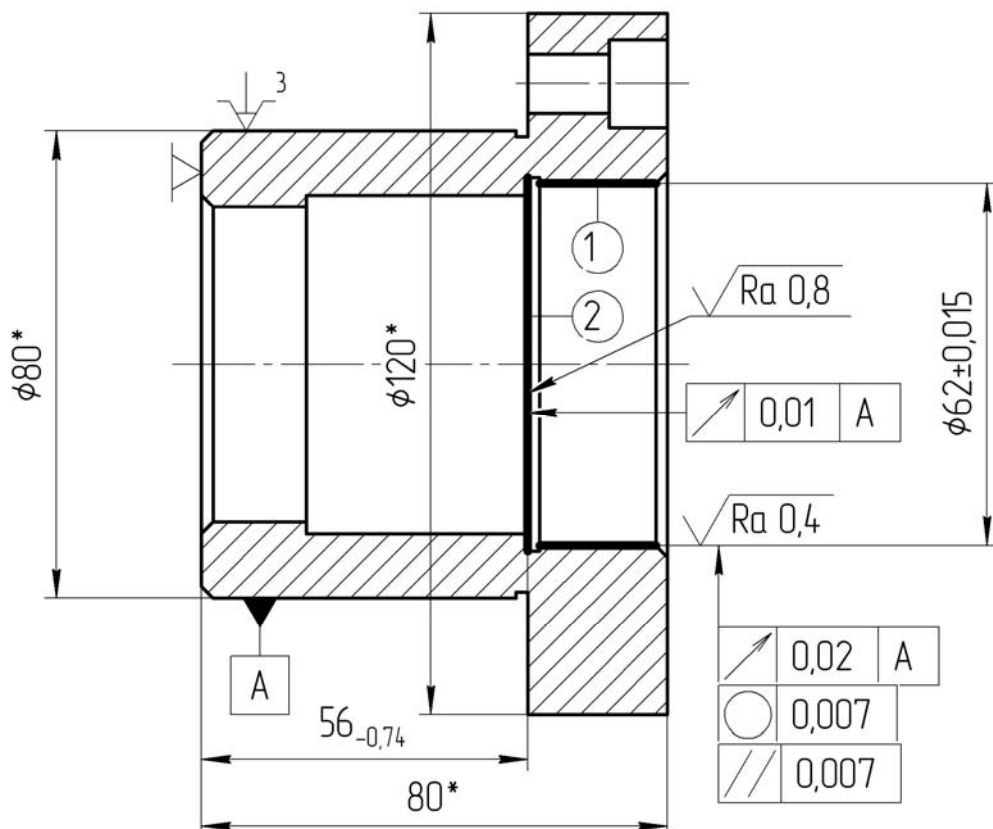


Рисунок 5.4 – Эскиз 030 внутришлифовальной операции

4 Разработка последовательности обработки отверстий, несоосных с наружными поверхностями.

*015 Сверлильная операция.*

Вертикально-сверлильный станок 2Н118.

Схема обработки – инструмент вращается, деталь нет.

Метод обеспечения точности оси отверстий – сверление по кондуктору.

Содержание переходов обработки отверстий (рисунок 5.5).

1 Сверлить три отверстия 2.

2 Цековать три отверстия 1.

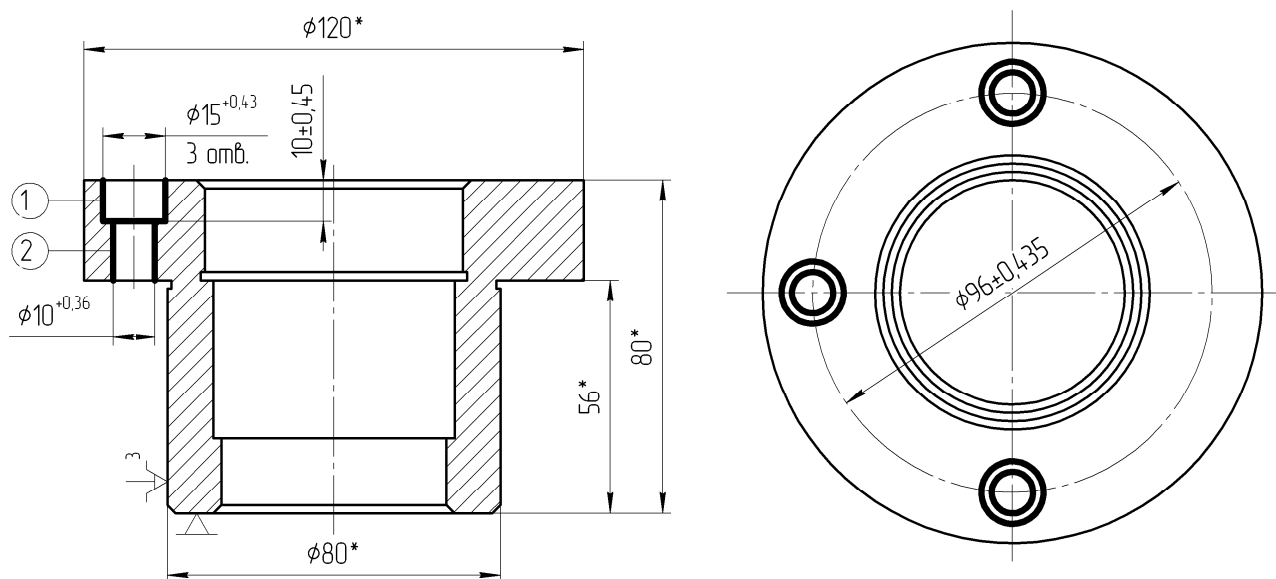


Рисунок 5.5 – Эскиз 015 сверлильной операции

Приспособления: переналаживаемый кондуктор с пневмоприводом. Базирование: по поверхности диаметром 80 мм с упором в торец. Режущий инструмент: комбинированное сверло-цековка диаметром 10 × 15 мм.

5 Выводы.

### **Контрольные вопросы**

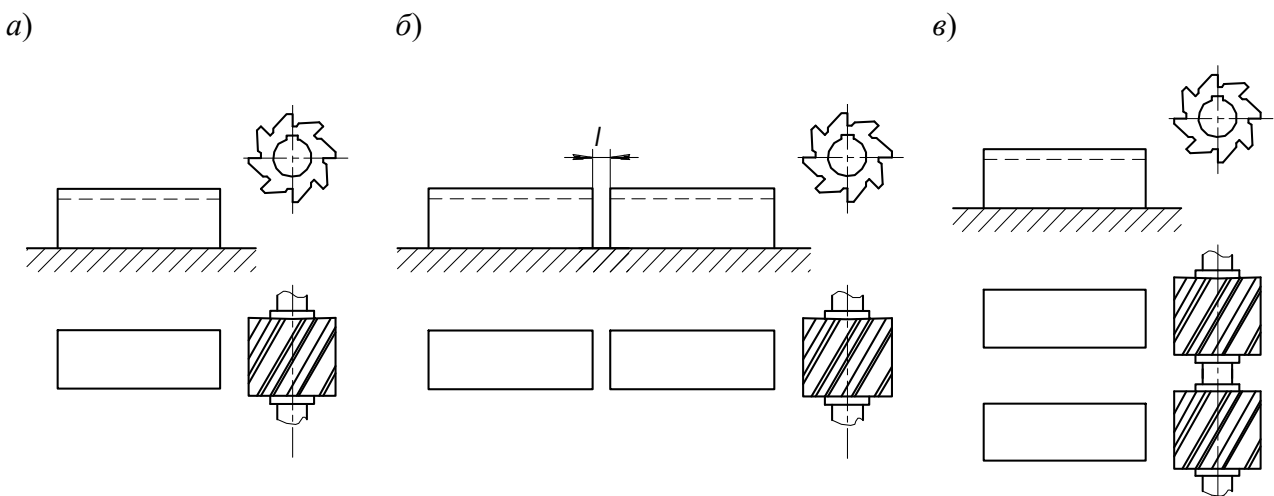
1. Как классифицируются отверстия по геометрическим параметрам?
2. Каковы технологические особенности обработки отверстий?
3. Основные способы лезвийной обработки отверстий.

## 6 Практическая работа № 6. Проектирование операций фрезерной обработки плоскостей

**Цель работы:** приобретение практических навыков разработки операций фрезерной обработки плоских поверхностей деталей.

### 6.1 Теоретические сведения

Фрезерование одной заготовки (рисунок 6.1, а) используется главным образом в единичном производстве или при обработке заготовок крупных размеров, когда на столе станка или в приспособлении нельзя закрепить больше одной заготовки.



а – по одной заготовке; б – двух заготовок последовательно; в – двух заготовок параллельно

Рисунок 6.1 – Схемы фрезерования

При *последовательном* способе фрезерования одна фреза или набор фрез обрабатывают заготовки, последовательно закрепленные в тисках или многоместных приспособлениях.

Последовательное фрезерование можно проводить «*враздвижку*», когда заготовки закрепляются последовательно на некотором расстоянии друг от друга, как показано на рисунке 6.1, б. Для уменьшения потерь на холостой пробег фрезы современные фрезерные станки имеют возможность настройки перемещений стола по принципу чередующейся подачи.

Более производительным способом последовательного фрезерования является фрезерование заготовок, установленных *пакетом*. При этом способе потери на холостой пробег фрезы в промежутках между заготовками исключены, т. к. они прилегают друг к другу. Поэтому, если условия обработки и конфигурация заготовок позволяют, то всегда выгодно закреплять заготовки пакетом.



При *параллельном способе* фрезерования машинное время сокращается приблизительно во столько раз, сколько установлено заготовок в ряд. Параллельный способ применяется главным образом в условиях изготовления больших партий малогабаритных деталей.

*Параллельно-последовательным способом* фрезерования называют сочетание параллельного и последовательного способов фрезерования. В этом случае можно добиться наибольшей производительности.

Для большинства фрезерных работ в серийном производстве оперативное время является главным определяющим элементом нормы времени. Поэтому можно условно принять, что производительность  $Q$ , шт./мин – число заготовок, обрабатываемых на станке в единицу времени при непрерывной его работе, зависит только от оперативного времени:

$$Q = \frac{1}{t_o + t_e}. \quad (6.1)$$

Для повышения производительности необходимо в первую очередь уменьшать это время, что достигается сокращением как основного, так и вспомогательного времён.

Основное время  $t_o$  затрачивается непосредственно на обработку заготовки резанием – на изменение ее формы, размеров, шероховатости поверхности. Основное время при фрезеровании может быть машинным, если движения фрезы и заготовки обеспечиваются двигателями станка, и машинно-ручным, если перемещение стола с заготовкой (движение подачи) производит рабочий, вращая вручную ходовой винт стола, салазок или консоли. Чаще всего фрезерование ведут с механической подачей и основное время – машинное.

Сократить машинное время можно, уменьшая длину обработки и увеличивая минутную подачу. Увеличение минутной подачи возможно при повышении режима резания и увеличении числа зубьев фрезы.

Ниже рассмотрены пути сокращения длины обработки (рисунок 6.2):

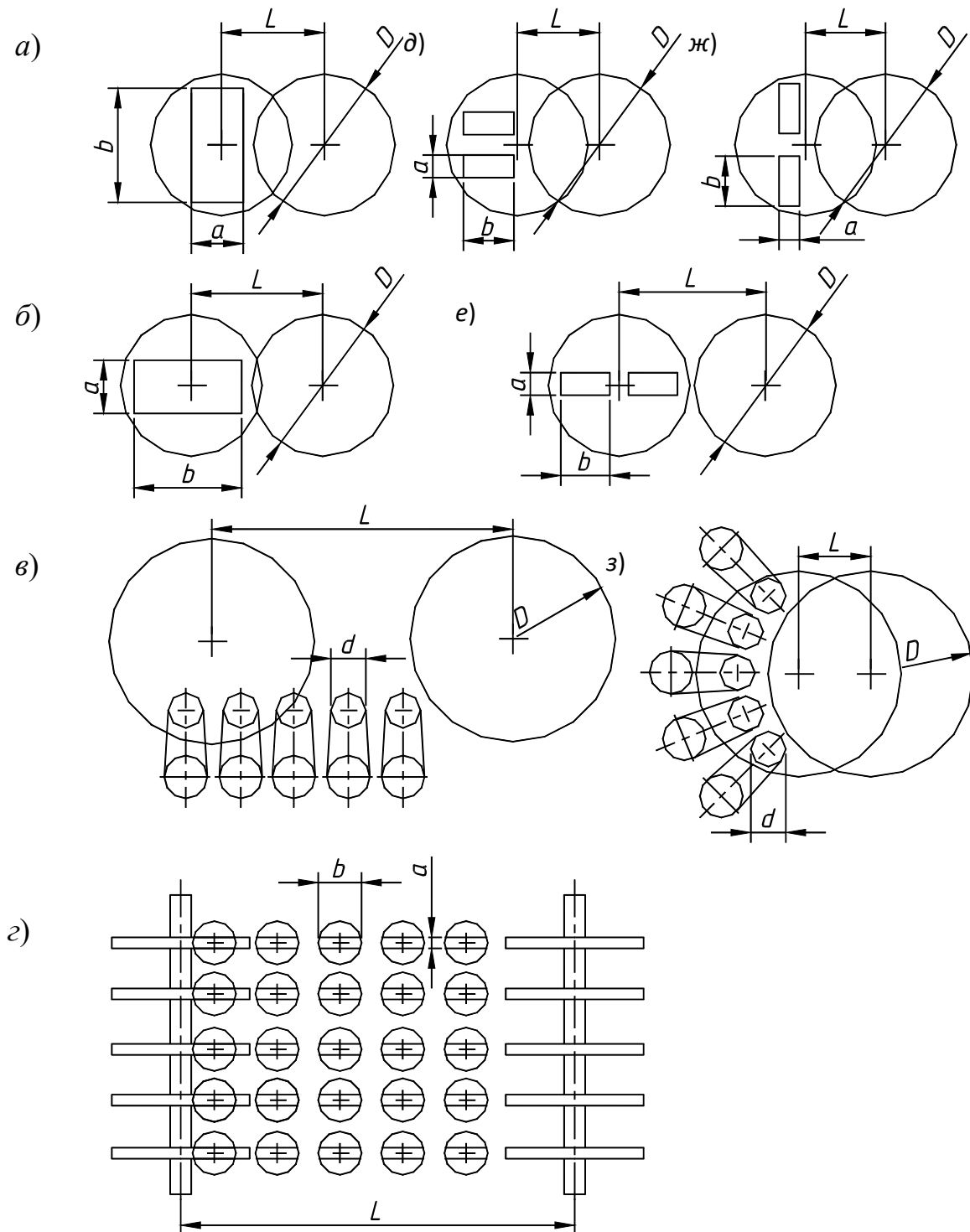
– если обрабатываемая поверхность заготовки имеет существенно различные ширину  $a$  и длину  $b$ , диаметр фрезы  $D > b$  и на столе станка нельзя установить больше одной заготовки, заготовку целесообразно закреплять в положении рисунка 6.2, *а*, а не в положении рисунка 6.2, *б*;

– если возможна установка двух заготовок по ширине стола станка, следует располагать их по отношению к фрезе по схеме рисунка 6.2, *д*, а если позволяет диаметр фрезы, то по схеме рисунка 6.2, *ж* вместо схемы рисунка 6.2, *е*;

– для некоторых типов заготовок с небольшими обрабатываемыми поверхностями (торцы валиков, головки рычагов, вилки и др.) можно многократно снизить путь фрезы, располагая заготовки не последовательно (см. рисунок 6.2, *в*), а веерообразно по отношению к фрезе (рисунок 6.2, *з*);

– параллельно-последовательная (рисунок 6.2, *г*) и параллельная обработки обеспечивают не только уменьшение длины рабочего хода, но и сокращение пути врезания и перебега фрезы, т. к. фреза почти одновременно врезается в несколько заготовок и одновременно заканчивает их обработку. Следует только

учитывать, что при обработке нескольких заготовок последовательно фреза совершает холостые перемещения от одной заготовки к другой, поэтому заготовки следует размещать возможно ближе друг к другу.



$a$ ,  $b$ ,  $d$  – размеры обрабатываемых поверхностей;  $D$  – диаметр фрезы;  $L$  – длина обработки

Рисунок 6.2 – Схемы установок заготовок по отношению к фрезам

Вспомогательное время  $t_6$  затрачивается на установку, закрепление заготовки на столе станка или в приспособлении, снятие заготовки, подвод и отвод фрезы (в случаях, когда эти перемещения выполняются дополнительно к обычному пути врезания и перебега, учитываемому при подсчете машинного времени, и совершаются с ускоренной подачей), на измерения, а также на управление станком.

При выполнении многих фрезерных операций, особенно когда длина обработки невелика, вспомогательное время составляет значительную часть штучного времени и может быть соизмеримо с машинным. Поэтому сокращение вспомогательного времени является важнейшим средством повышения производительности труда.

## 6.2 Пример выполнения практической работы

1 Цель практической работы.

2 Исходные данные: чертеж детали представлен на рисунке 6.3. Станок – вертикально-фрезерный 6Т104.

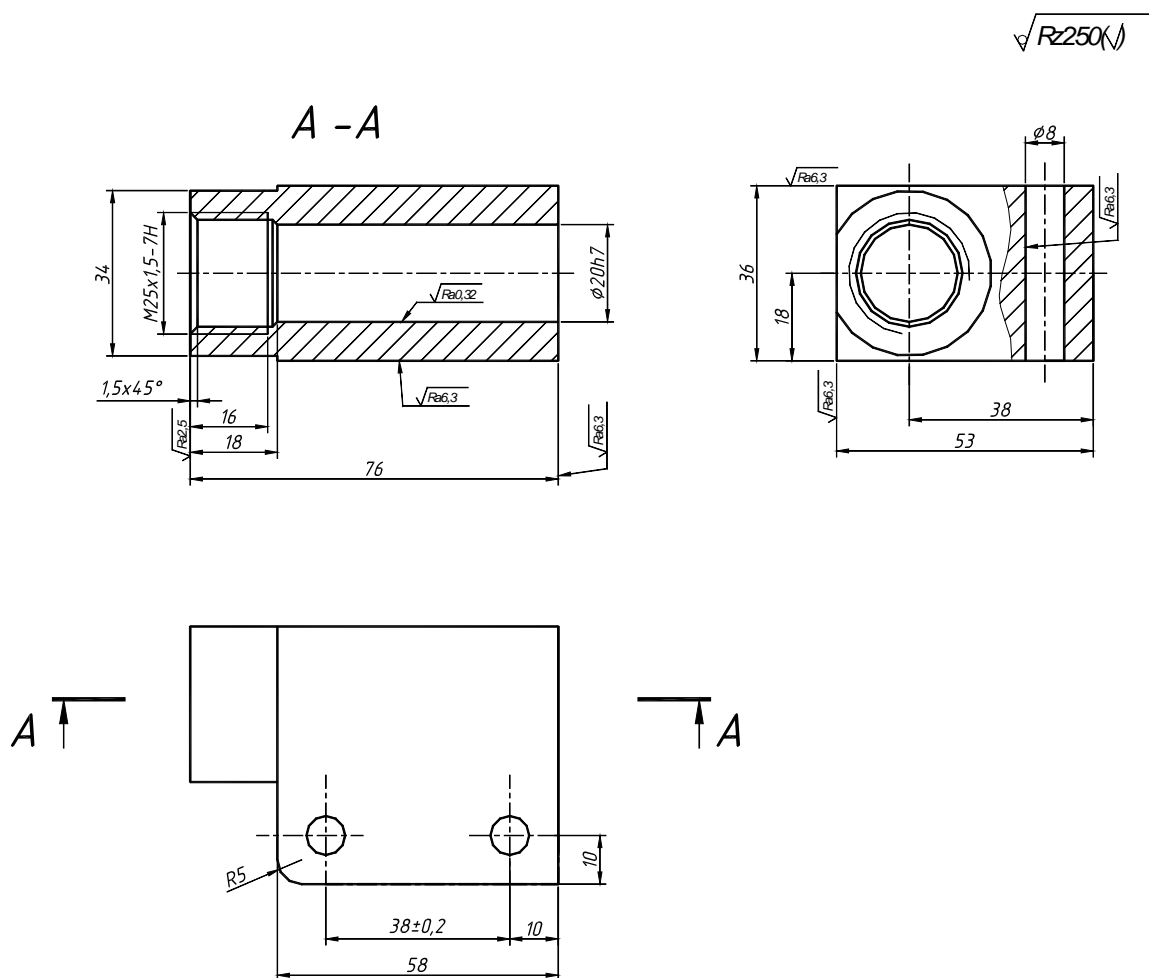


Рисунок 6.3 – Корпус гидронасоса

3 Поверхности, обрабатываемые фрезерованием.

Разрабатываем эскиз детали с указанием всех поверхностей, обрабатываемых фрезерованием (рисунок 6.4).

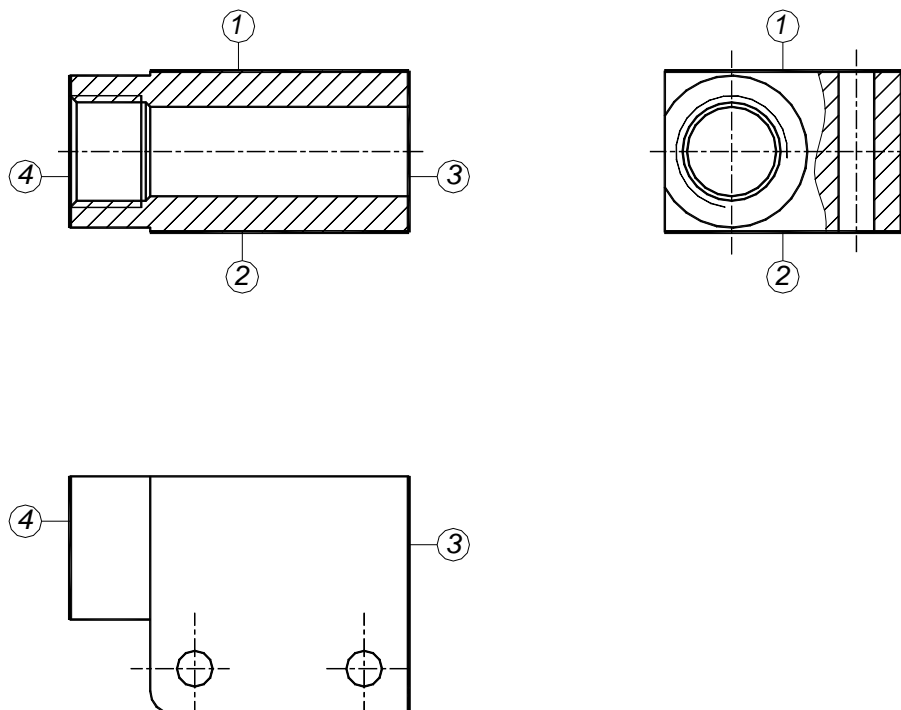


Рисунок 6.4 – Поверхности, требующие фрезерной обработки

4 Выбор черновой и чистовых баз при обработке поверхностей, разработка последовательности обработки поверхностей.

В качестве схемы базирования принимаем плоскость и два пальца (рисунок 6.5): плоскость основания – установочная база; первое отверстие – двойная опорная база; второе отверстие – опорная база. Тогда черновыми базами будет отверстие (двойная направляющая база), плоскость крышки и торец цилиндрической ступени (опорные базы) (рисунок 6.6).

5 Разработка операционного эскиза обработки поверхности.

В качестве поверхности для обработки принимаем 1 (рисунок 6.7).

6 Расчет затрат времени на выполнение обработки при условии односторонней обработки и с учетом разработанных мероприятий.

Устанавливаем:

- способ обработки – торцовое фрезерование;
- характер обработки – черновая;
- подача  $S_o = 0,15$  мм/об;
- диаметр и число зубьев фрезы  $D = 80$ ;  $z = 16$ ;
- скорость резания  $V = 52$  м/мин,  $n = 200$  мин<sup>-1</sup>.

Основное время при односторонней обработке

$$T_{ог} = \frac{53 + 0,5(100 - \sqrt{100^2 - 78^2}) + 2 + 3}{0,15 \cdot 200} = 2,55 \text{ мин.}$$

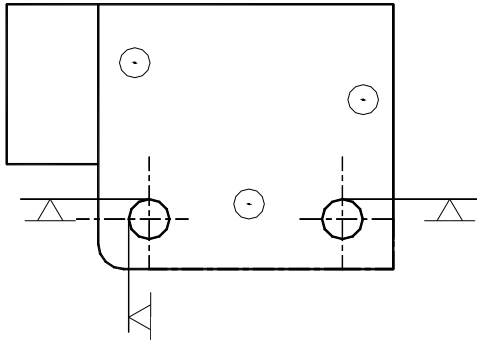
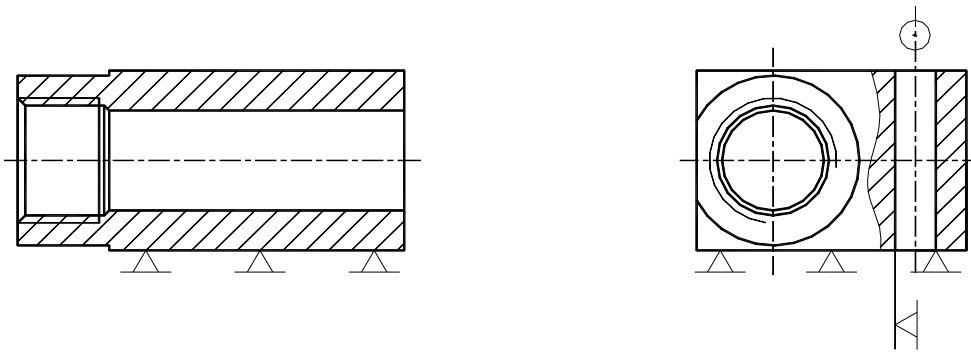


Рисунок 6.5 – Комплект чистовых баз

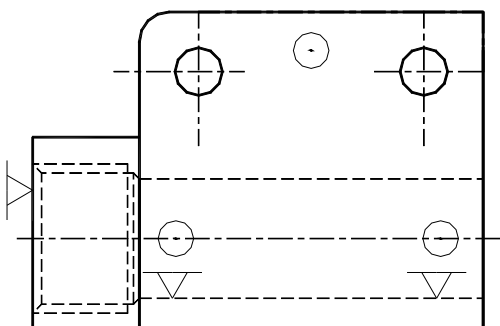
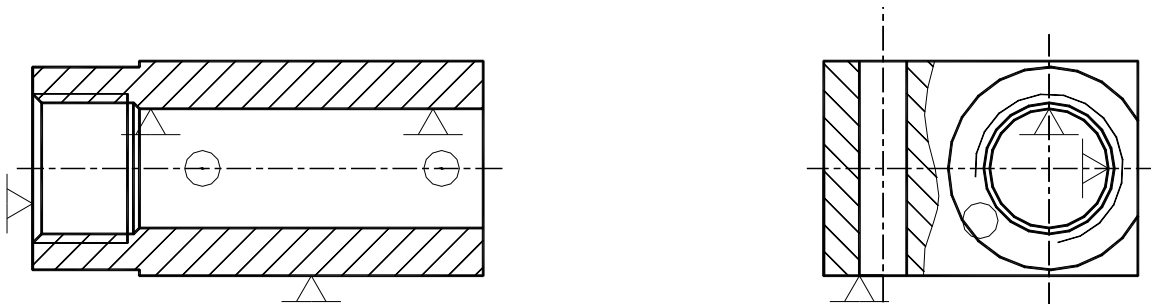


Рисунок 6.6 – Комплект черновых баз

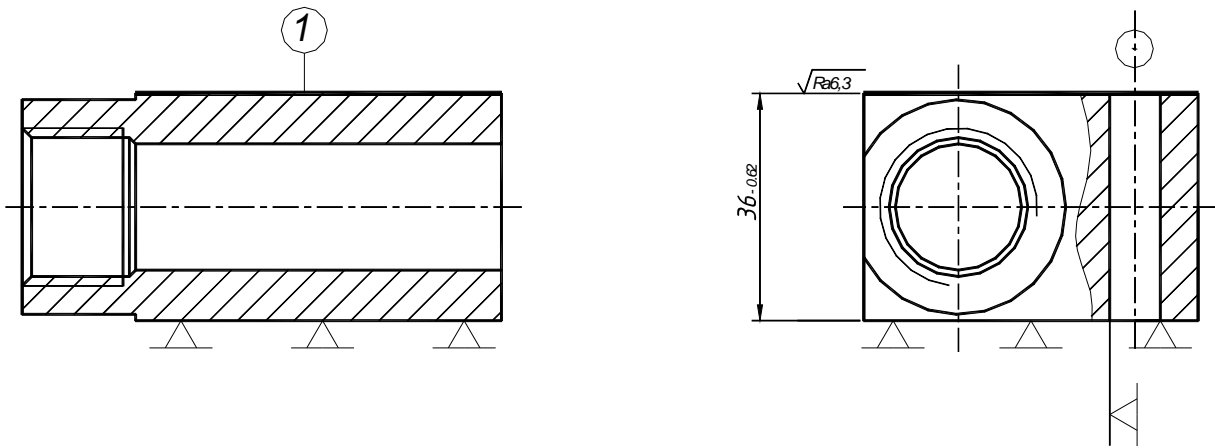


Рисунок 6.7 – Операционный эскиз фрезерования плоскости

7 Разработка мероприятий по сокращению затрат оперативного времени и расчет затрат времени на выполнение многоместной обработки.

Определяем максимальное количество рядов заготовок поперек стола:

$$N_y = \frac{L_y}{L + 10} = \frac{160}{76 + 10} = 1,8 \approx 1.$$

Определяем максимальное количество рядов заготовок вдоль стола:

$$N_x = \frac{L_x}{L + 10} = \frac{400}{53 + 10} = 6,3 \approx 6.$$

Схема размещения заготовок на столе станка представлена на рисунке 6.8.

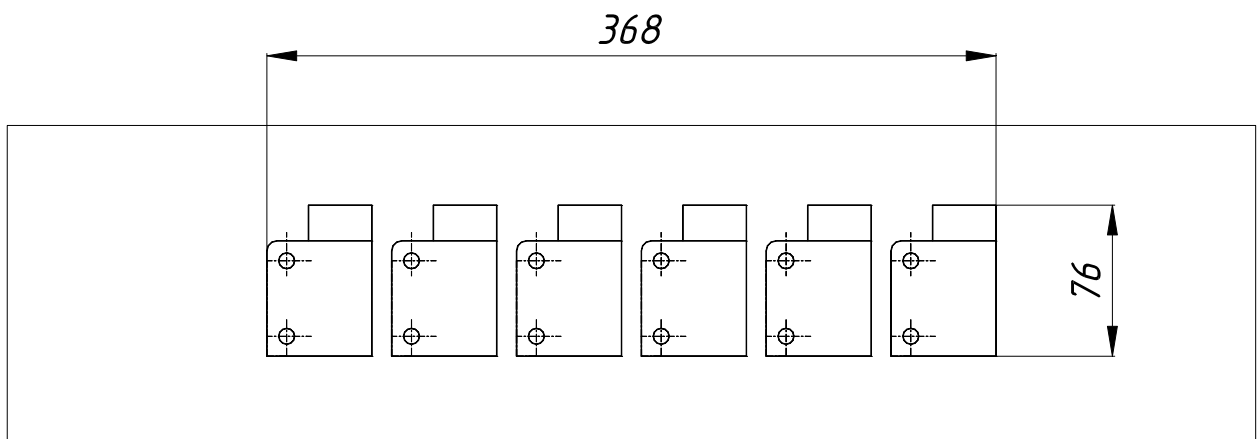


Рисунок 6.8 – Схема укладки заготовок на стол станка

Для условий многоместной обработки:

- подача  $S_o = 0,15$  мм/об;
- диаметр и число зубьев фрезы  $D = 80$ ;  $z = 16$ ;
- скорость резания  $V = 52$  м/мин,  $n = 200$  мин<sup>-1</sup>.

Основное время обработки группы заготовок

$$T_{ог} = \frac{53 \cdot 6 + 10 \cdot 5 + 0,5 \left( 100 - \sqrt{100^2 - 78^2} \right) + 2 + 3}{0,15 \cdot 200} = 13,05 \text{ мин.}$$

Время обработки приходящееся на одну заготовку:

$$T_{о1} = \frac{T_{ог}}{N_x N_y} = \frac{13,05}{6 \cdot 1} = 2,175 \text{ мин.}$$

8 Оценка эффективности мероприятий.

Сокращение времени обработки в процентном выражении

$$\mathcal{E}_T = \frac{T_o - T_{о1}}{T_o} \cdot 100 = \frac{2,55 - 2,175}{2,55} \cdot 100 = 14,7 \%$$

9 Выводы.

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Правила выбора черновых баз при фрезеровании.
- 2 Правила выбора чистовых баз при фрезеровании.
- 3 Особенности последовательного, параллельного и параллельно-последовательного методов фрезерования плоскостей.

## **7 Практическая работа № 7. Проектирование операций обработки резьб**

***Цель работы:*** приобретение практических навыков разработки операций формирования резьб резцами.

### ***7.1 Теоретические сведения***

Основные методы обработки резьб и их характеристики приведены в таблицах 7.1 и 7.2.

#### ***Нарезание резьб резцами***

*Радиальное врезание (А)* (рисунок 7.1) – наиболее распространенный способ нарезания резьбы. Резец, оснащенный сменной многогранной пластиной, врезается в заготовку нормально к ее оси (по радиусу) и стружка формируется обеими сторонами режущего зуба в виде буквы V. Процесс износа протекает равномерно по всей длине режущей кромки. Метод наиболее

предпочтителен для мелких резьб и материалов, упрочняемых резанием, закаленных сталей.

Таблица 7.1 – Способы формирования резьб в зависимости от типа производства

Способ обработки резьб	Производство		
	единичное	серийное	массовое
Нарезание резцами и гребенками	+	+	–
Нарезание плашками	+	+	–
Нарезание резьбонарезными головками	–	+	+
Нарезание метчиками	+	+	+
Фрезерование	–	+	+
Накатывание роликами и плашками на специальных станках	–	+	+
Накатывание резьбонакатными головками	–	+	+

Таблица 7.2 – Выбор способов обработки в зависимости от параметров резьбы

Способ обработки	Параметры резьбы					Твердость заготовки, HRC, не более	Производительность, шт./мин
	Диаметр $d_n$ , мм	Шаг $P$ , мм	Длина $L_p$ , мм, не более	Степень точности	Сбег, не менее		
Нарезание: головками с тангенциальными гребенками головками с круглыми гребенками резцами вихревое круглыми плашками	1,6...235	0,35...6	6300	4–7	1,5P	37	До 20
	4...400	0,5...6	6000	5–8	1,5P	37	До 20
	10...1000	0,25...100	6000	6–8	0,5P	46	До 5
	20...1000	2,5...100	2000	7–9	P	46	До 5
	0,2...72	0,08...3	2000	5–8	1,5P	34	До 5
Фрезерование: дисковой фрезой гребенчатой фрезой винтовой (червячной) фрезой	10...400	0,5...100	2000	6–8	0	46	До 2
	3...200	0,5...6	100	6–8	0	37	До 5
	5...100	0,75...5	75	6–8	0	37	До 10
Шлифование: врезное продольное	10...400	0,4...6	100	Св. 2	0,5P	71	До 3
	0,5...400	0,04...100	6000	Св. 2	0,5 P	71	До 1
Накатывание: роликом-сегментом плоскими плашками двумя роликами тремя роликами осевыми головками тангенциальными головками	1,6...27	0,4...2,5	100	2–6	1,5P	34	100...2000
	2...70	0,25...3	250	6–8	1,5P	34	40...800
	2...250	0,35...20	8000	2–6	P	36	10...400
	6...100	0,5...5	2000	3–6	P	34	10...100
	1,4...150	0,35...8	6000	4–7	1,5P	34	5...150
	2...52	0,4...2,5	20	4–7	0,5P	26	До 20
Литье под давлением (пластмасс)	2,8...180	0,7...6	100	6–10	0	–	–

Одностороннее боковое врезание (В) (см. рисунок 7.1) является предпочтительным методом обработки резьбы, и многие станки с ЧПУ имеют этот цикл



в стандарте. Пластина врезается в заготовку под углом меньшим, чем угол профиля резьбы. При таком варианте обработки можно контролировать сход стружки, процесс похож на обыкновенное точение, максимально эффективно используются стружколомающие возможности геометрии. На вершине пластины образуется меньшее количество тепла, растет стойкость пластины и надежность процесса обработки. Кроме того, этот метод менее подвержен возникновению вибраций при обработке крупных и длинных резьб.

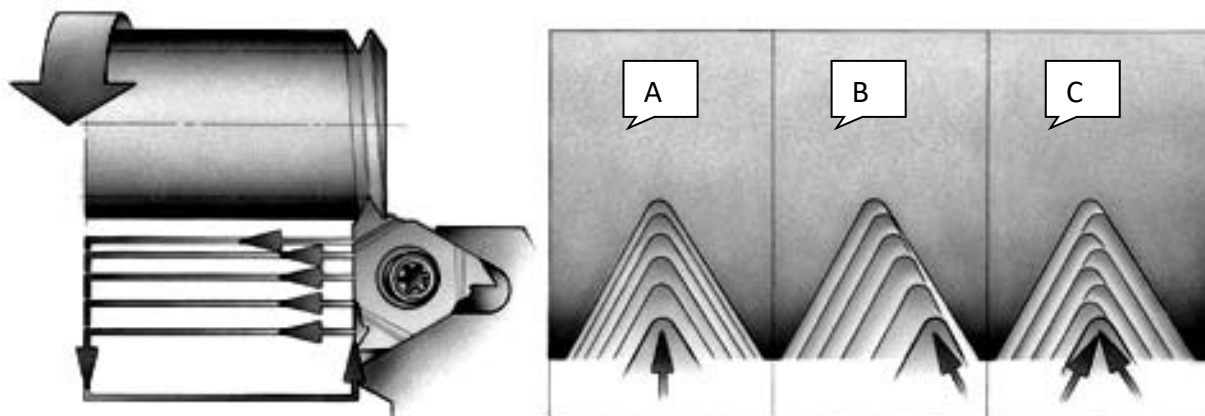


Рисунок 7.1 – Способы врезания при обработке резьбы резцом

*Боковое двустороннее врезание (С)* (см. рисунок 7.1) чаще всего применяется для обработки резьб с большим шагом, и, следовательно, крупным профилем. Направление врезания изменяется для каждого последующего рабочего хода инструмента, пока весь профиль резьбы не будет сформирован. Режущие кромки резца (пластины) при этом методе изнашиваются равномерно.

*Распределение припуска между черновыми рабочими ходами.* Распределение осуществляется следующими способами.

1 Соблюдается принцип одинаковой глубины резания на всех рабочих ходах

$$t_i = \frac{t_1}{i}, \quad (7.1)$$

где  $t_1$  – глубина впадины резьбы (таблица 7.3);

$i$  – количество ходов (см. таблицу 7.3).

Данный метод наиболее широко применяется на практике в связи с простыми вычислениями расчета припуска и координат опорных точек при программировании обработки. Однако в данном случае сечение срезаемой стружки постепенно увеличивается на каждом рабочем ходе и приводит к увеличению нагрузки на резец. Режимы резания назначаются исходя из условий обработки на последнем рабочем ходе и в итоге на первых ходах резец оказывается не догружен.

Таблица 7.3 – Определение общей глубины резания  $t_1$  и числа проходов  $i$  при точении наружных и внутренних метрических резьб на деталях из конструкционных сталей

Шаг резьбы $P$ , мм	Рабочая высота профиля резьбы $h$ , мм	Значение $t_1$ , мм				Значение $i$
		при подаче под углом $27^\circ$		при радиальной подаче		
		наружная резьба	внутренняя резьба	наружная резьба	внутренняя резьба	
0,50	0,270	0,38	0,35	0,34	0,31	4
0,75	0,406	0,57	0,52	0,51	0,46	4
1,00	0,541	0,76	0,68	0,68	0,61	5
1,25	0,677	0,96	0,86	0,86	0,77	6
1,50	0,812	1,16	1,03	1,03	0,92	6
1,75	0,947	1,35	1,20	1,20	1,07	8
2,00	1,082	1,54	1,38	1,37	1,23	8
2,50	1,353	1,92	1,72	1,71	1,53	10
3,00	1,624	2,31	2,06	2,06	1,84	12
3,50	1,894	2,69	2,41	2,40	2,15	12
4,00	2,165	3,07	2,75	2,74	2,45	12
4,50	2,436	3,47	3,10	3,09	2,76	14
5,00	2,706	3,85	3,44	3,43	3,07	14
6,00	3,248	4,61	4,13	4,11	3,68	14

## 2 Делением припуска на основе закона геометрической прогрессии

$$t_i = \frac{t_1}{\sqrt{i-1}} \sqrt{\varphi_i}, \quad (7.2)$$

где  $i$  – количество ходов;

$\varphi_i$  – коэффициент, зависящий от номера рабочего хода (таблица 7.4).

Таблица 7.4 – Значения коэффициента  $\varphi$

Номер рабочего хода $i$	$\varphi_i$
1	0,3
2	1
$i$	$i - 1$

## 7.2 Пример выполнения практической работы

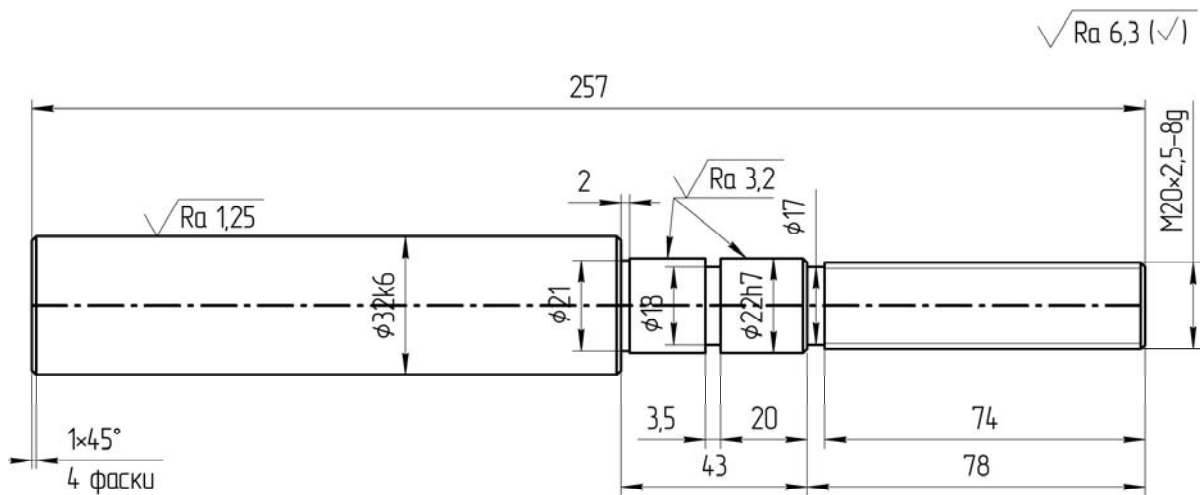
1 Цель практической работы.

2 Чертеж детали представлен на рисунке 7.2, тип производства – среднесерийный.

3 Установление технологических параметров обрабатываемой резьбы.

По обозначению резьбы (M20x2,5-8g) устанавливаются диаметр, шаг и степень точности резьбы:

- номинальный диаметр резьбы – 20 мм;
- шаг резьбы мелкий – 2,5 мм;
- степень точности резьбы – 8g.



Сталь 40X ГОСТ 4543-71

1. 230...260 HB

2. Неуказанные отклонения размеров по ГОСТ 3.0893.1 : H14; h14; ±IT14/2

3. Остальные технические требования по СТБ 1014-95

Рисунок 7.2 – Чертеж детали для проектирования операции нарезания резьбы резцом

По таблице 7.3 устанавливается рабочая высота профиля резьбы, общая глубина резания (включает рабочую высоту профиля резьбы и глубину впадины закругленной формы), число ходов для нарезания резцом с использованием подачи под углом  $27^\circ$  (является предпочтительной по сравнению с радиальной подачей):

- рабочая высота профиля резьбы  $h = 1,082$  мм;
- общая глубина резания  $t_1 = 1,54$  мм;
- количество ходов  $i = 8$ .

С использованием формулы (7.2) и данных таблицы 7.4 рассчитывается припуск, срезаемый резцом за каждый рабочий ход, и заполняется таблица 7.5.

Таблица 7.5 – Припуск, снимаемый за рабочий ход

Номер рабочего хода $i$	$t_i$	$\varphi_i$	Припуск на рабочий ход
1	0,32	0,3	0,32
2	0,58	1	0,26
3	0,82	2	0,24
4	1,00	3	0,18
5	1,16	4	0,16
6	1,30	5	0,14
7	1,42	6	0,12
8	1,54	7	0,12

Определяется характер предшествующей токарной обработки поверхности шейки под резьбу.

Устанавливаем диаметр и поле допуска стержня вала под нарезание резьбы резцом –  $\varnothing 19,8_{-0,29}$  мм.

По полю допуска устанавливается 12-й квалитет точности поверхности, достигаемый однократной токарной обработкой.

#### 4 Разработка карты эскизов.

Эскиз токарной обработки перед резьбонарезанием – точение стержня, зарезьбовой канавки для выхода резца и фаски для плавного увеличения глубины резьбы с целью лучшего свинчивания с гайкой (рисунок 7.3) и токарной чистовой обработки (рисунок 7.4).

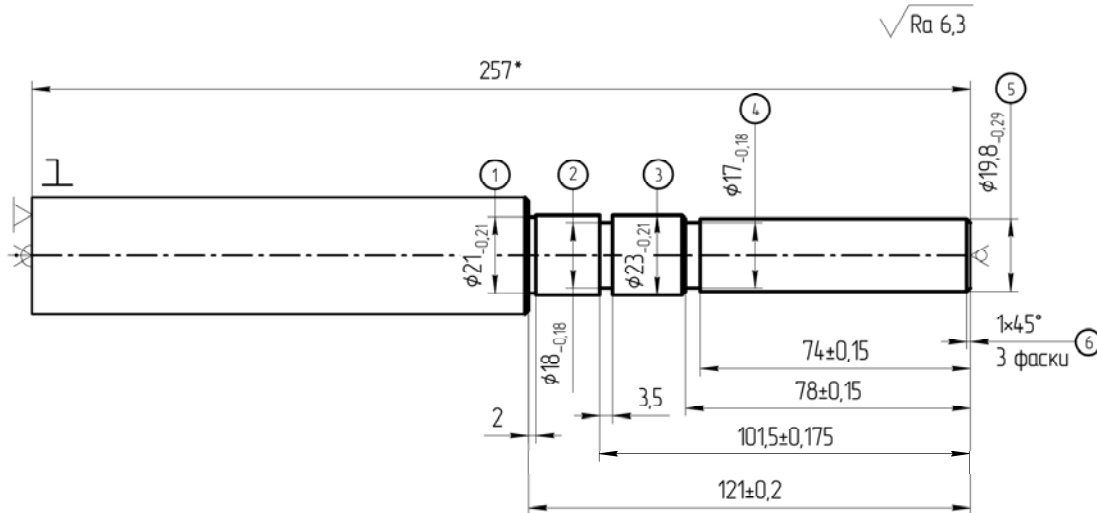


Рисунок 7.3 – Эскиз токарной черновой обработки вала (черновое точение шеек, прорезание канавок, снятие фасок)

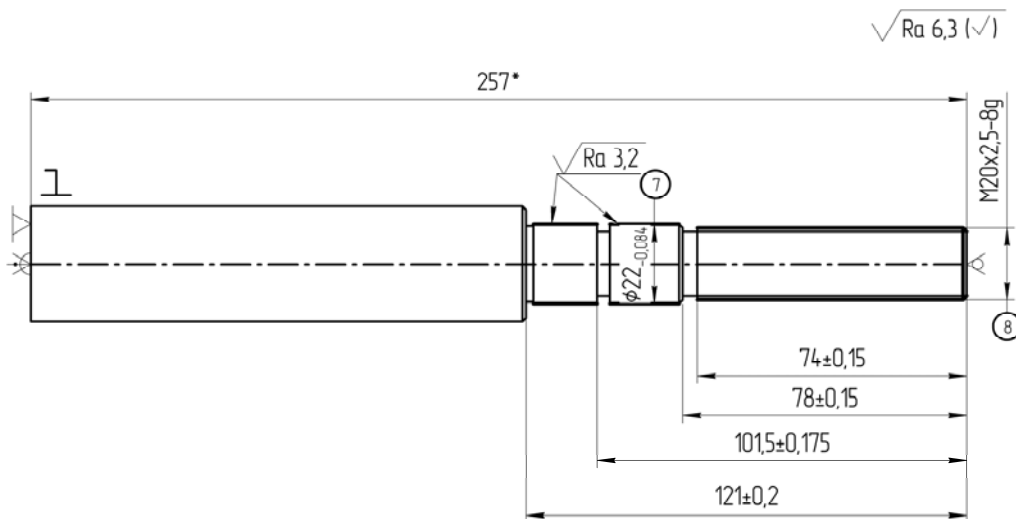


Рисунок 7.4 – Эскиз токарной чистовой обработки вала (чистовое точение шеек, нарезание резьбы)

#### **Контрольные вопросы**

- 1 Как классифицируется резьба?
- 2 Какие существуют схемы нарезания треугольной резьбы?
- 3 Какие используются методы врезания резца при нарезании резьбы на токарных станках резцом?

## 8 Практическая работа № 8. Проектирование отделочной обработки зубчатых колес

**Цель работы:** приобретение практических навыков разработки операций формирования резьб резцами.

### 8.1 Теоретические сведения

Основные методы обработки и их характеристики приведены в таблицах 8.1–8.5.

Таблица 8.1 – Области применения различных методов обработки зубчатых поверхностей

Параметры	Способ обработки			
	Фрезерование пальцевыми модульными фрезами	Фрезерование дисковыми модульными фрезами	Зубодолбление одним резцом	Зубодолбление резцовой головкой
Точность	10	10	10	9 (предв.)
Модуль	> 10			> 8
Единичное производство	+	+	+	–
Мелкосерийное производство	+	+	–	–
Среднесерийное производство	– (+предв.)	– (+предв.)	–	–
Крупносерийное производство	–	–	–	+
Массовое производство	–	–	–	+

Продолжение таблицы 8.1

Параметры	Способ обработки			
	Протягивание секторов	Зубодолбление долбяками	Зубофрезерование червячными фрезами	Зуботочение
Точность	8	7–8	8	8
Модуль	> 0,3	< 2,25	> 2,25	$z > 80$
Единичное производство	–	–	–	–
Мелкосерийное производство	–	+	+	–
Среднесерийное производство	–	+	+	–
Крупносерийное производство	+	+	+	+
Массовое производство	+	+	+	+

Таблица 8.2 – Типовые маршруты обработки зубчатых колес

Производство	Степень точности		
	12–9	8	7–6
Единичное	Нарезание. Термообработка	Нарезание. Термообработка. Шлифование	Нарезание. Термообработка. Шлифование
Мелкосерийное		Нарезание. Шевингование. Термообработка	
Серийное			
Крупносерийное			
Массовое			

Таблица 8.3 – Области применения различных методов шевингования

Параметры	Способ шевингования			
	параллельное	диагональное	тангенциальное	врезное
Модуль	< 5	< 5	< 5	< 5
Длина зубчатого венца		< 50	< 30 (закрытый венец)	< 40
Единичное производство	+	–	–	–
Мелкосерийное производство	+	–	–	–
Среднесерийное производство	– (+ / l > 50)	+	+	–
Крупносерийное производство	– (+ / l > 50)	+	+	+
Массовое производство	– (+ / l > 50)	+	+	+

Таблица 8.4 – Области применения различных методов шлифования зубчатых поверхностей

Параметры	Способ шлифования			
	Червячным кругом	Конический дву- сторонний круг	Фасонный круг	Два тарель- чатых круга
Модуль	<10			>4
Единичное производство	–	+	–	–
Мелкосерийное производство	–	+	+	+
Среднесерийное производство	+	+	+	+
Крупносерийное производство	+	–	–	–
Массовое производство	+	–	–	–

Таблица 8.5 – Маршрут обработки зубчатого венца колеса

Номер операции	Наименование операции	Содержание операции	Инструмент (степень точности)
030	Зубофрезерная	Фрезеровать поверхность зубьев начерно	Фреза червячная черновая
040	Зубофрезерная	Фрезеровать поверхность зубьев начисто	Фреза червячная чистовая
050	Термическая	Закалка + низкий отпуск	
...	...	...	...

## 8.2 Пример выполнения практической работы

1 Цель практической работы.

2 Исходные данные: чертежом (рисунок 8.1) и техническими требованиями установлено: сталь 45; термообработка закалка (47...52 HRC); степень точности колеса – 7-С; модуль –  $m = 3$  мм.

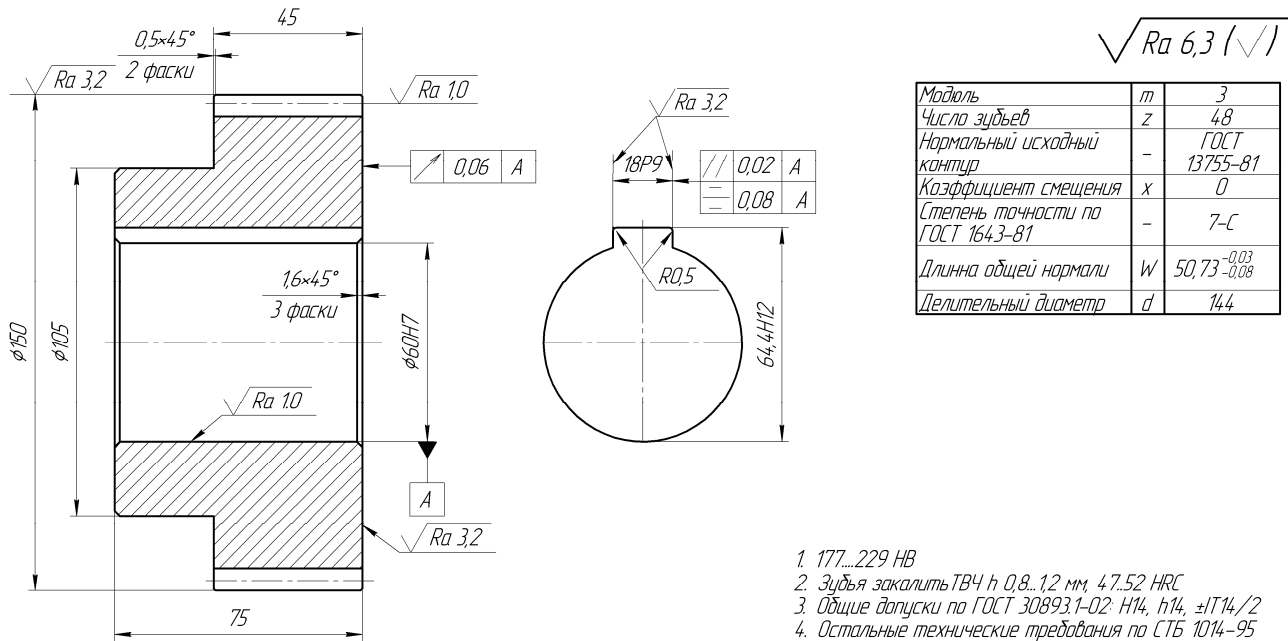


Рисунок 8.1 – Чертеж зубчатого колеса

3 Разработка маршрута обработки зубчатой поверхности.

На основании анализа таблиц 8.1–8.4, среднесерийного типа производства и характеристик обрабатываемой поверхности разрабатывается маршрутная технология и оформляется в виде таблицы 8.5 (см. рисунок 8.1).

4 Разработка карты эскизов.

На операции обработки зубчатых поверхностей выполнить эскизы обработки (рисунок 8.2).

5 Выводы

### Контрольные вопросы

1 Основные методы нарезания цилиндрических зубчатых колес.

2 Основные методы отделочной обработки цилиндрических зубчатых колес.

3 В чем отличие зубодолбления от зубофрезерования?

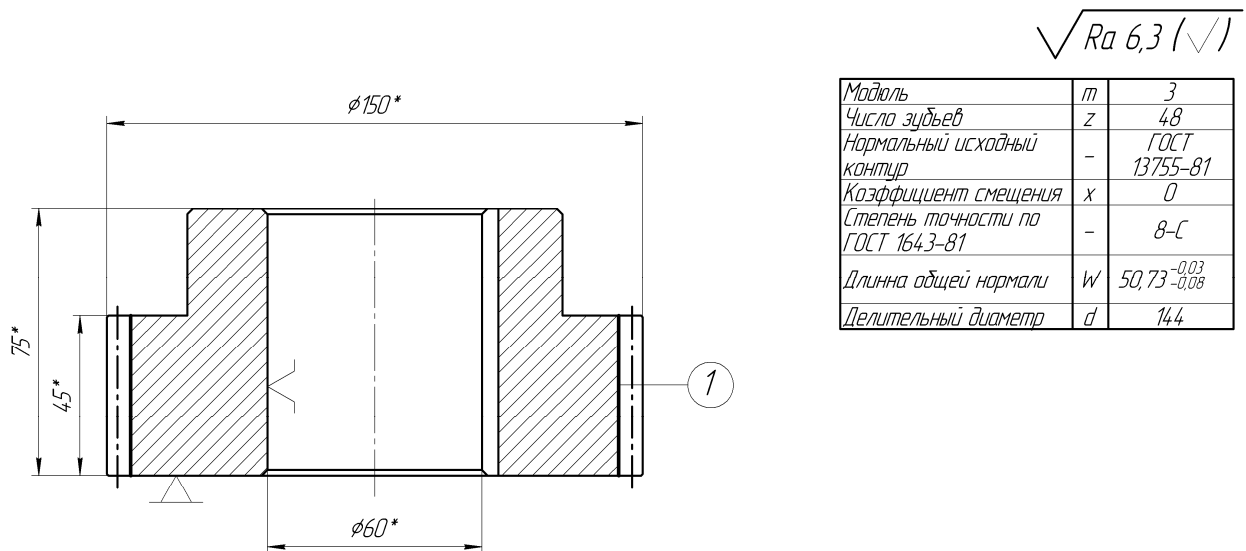


Рисунок 8.2 – Операционный эскиз зубофрезерной обработки

## Список литературы

1 Технология машиностроения. Практикум: учебное пособие / А. А. Жолобов [и др.]; под ред. А. А. Жолобова. – Минск: Вышэйшая школа, 2015. – 335 с.: ил.

2 **Жолобов, А. А.** Практикум по технологии машиностроения : учебное пособие / А. А. Жолобов, И. Д. Камчицкая, А. М. Федоренко ; под ред. А. А. Жолобова. – Минск : РИВШ, 2020. – 316 с.