

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

# **ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

*Конспект лекций*

*Составитель*  
**Е.Г. Лещинер**

Издательство  
Томского политехнического университета  
2015

УДК 621.002  
ББК 34.4я73  
О-75

О-75

**Основы технологии машиностроения:** конспект лекций / сост. Е.К. Лещинер; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 85 с.

**В авторской редакции**

Конспект лекций состоит из восьми глав, предусмотренных программой курса. На базе современных научных данных в адаптированной форме дается представление об основах технологии машиностроения.

Конспект лекций подготовлен на кафедре технологии автоматизированного машиностроительного производства и предназначен для студентов ИнЭО, обучающихся по направлению 220700 «Автоматизация технологических процессов и производств».

**УДК 621.002**  
**ББК 34.4я73**

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ КУРСА «ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ».....</b>	<b>4</b>
1.1. Историческая справка .....	4
1.2. Основные понятия и определения .....	5
1.3. Структура технологического процесса .....	6
1.4. Элементы технологического процесса .....	7
1.5. Типы производств.....	8
<b>2. ОСНОВЫ ДОСТИЖЕНИЯ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЯ.....</b>	<b>10</b>
2.1. Техничко-экономические показатели качества.....	10
2.2. Точность изделия.....	12
2.3. Точность детали .....	15
2.3.1. Погрешности макрогеометрии .....	16
2.3.2. Погрешности микрогеометрии.....	28
<b>3. ЭКОНОМИЧЕСКИ ДОСТИЖИМАЯ ТОЧНОСТЬ ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ.....</b>	<b>33</b>
<b>4. ЭТАПЫ КОНСТРУКТОРСКОЙ РАЗРАБОТКИ ИЗДЕЛИЯ .....</b>	<b>44</b>
4.1. Основы базирования .....	46
4.1.1. Полное базирование твердого тела .....	47
<b>5. ВИДЫ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ .....</b>	<b>50</b>
5.1. Основные понятия и определения теории размерных цепей.....	51
5.2. Расчет линейных размерных цепей .....	52
5.3. Основное уравнение размерной цепи.....	53
<b>6. ВИДЫ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ (МЕТОДЫ ДОСТИЖЕНИЯ ТОЧНОСТИ ЗАМЫКАЮЩИХ ЗВЕНЬЕВ)....</b>	<b>56</b>
<b>7. РАЗМЕРНЫЕ РАСЧЕТЫ СБОРОЧНОЙ ЕДИНИЦЫ .....</b>	<b>59</b>
7.1. Анализ работы сборочной единицы «вал в сборе» .....	59
7.2. Анализ базирования деталей сборочной единицы.....	60
<b>8. ОСНОВЫ ДОСТИЖЕНИЯ КАЧЕСТВА ДЕТАЛЕЙ ИЗДЕЛИЯ.....</b>	<b>65</b>
8.1. Принципы и порядок проектирования технологических процессов.....	65
8.2. Структура технологического процесса .....	68
8.3. Выбор оборудования и технологической оснастки .....	70
8.4. Группы инструментальных материалов .....	74
8.5. Расчет припусков и технологических размеров.....	76
8.5.1. Пример расчета технологических размеров (размеров заготовки).....	76
8.6. Нормирование технологического процесса .....	82
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>84</b>

# 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ КУРСА

## «ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ»

### 1.1. Историческая справка

Человеку для существования необходимы материальные и культурные блага. Источник их получения – природа и человеческий труд. Человек приспособливает предметы природы для удовлетворения своих потребностей. Качественное изменение предметов природы, осуществляемое человеком, получило название технологического прогресса.

Технология – греческое слово, *techne* – ремесло, мастерство, *logos* – учение. Машиностроение – производство орудий производства. Орудия производства развивались, начиная с первобытного топора и кончая современными цехами-автоматами. Производство орудий производства, т.е. машиностроение является главным технологом всех отраслей промышленности.

XI век – Киевская Русь. Производство оружия.

1587 г. – Андреем Чеховым отлита царь-пушка памятник литейного искусства русских оружейников.

1632 г. – близ Тулы построены заводы для изготовления литых пушек, стволы которых сверлились и растачивались.

1680–1755 гг. – годы жизни А.К. Нартова. Им разработаны ряд новых технологических процессов изготовления артиллерийского оружия, монет, постройки кораблей; для этого им были созданы новые оригинальные станки и инструменты, принципиальные схемы которых используются до сих пор. А.К. Нартовым создан первый в мире станок с механическим суппортом. Существенный вклад в эти годы в развитие оружейного производства внесли умельцы Тульского оружейного завода М.В. Сидоров, Я. Батищев, П.Д. Захава, создавшие значительное количество станков и инструментов.

1761 г. – на Тульском заводе впервые в мире было разработано и внедрено изготовление взаимозаменяемых деталей и их измерение при помощи калибров.

1765 г. – И.И. Ползуновым под г. Барнаулом была построена паровая машина, уменьшенная копия английской паровой машины.

1807 г. – весь накопленный опыт на заводах России был впервые описан профессором Московского университета И. Двигубским в книге «Начальные основания технологии или краткое описание работ на заводах и фабриках производимых».

Дальнейшее развитие опыта и технологии машиностроения нашло в капитальном труде профессора И.И.Тиме (1838–1920 гг.).

Труд профессора А.П. Гавриленко «Технология металлов» стал учебником, используя который учились несколько поколений русских инженеров.

В начале 30-х годов 20 в. курс «Технология машиностроения» вводится как общеинженерная дисциплина во всех технических институтах и университетах.

В эти годы публикуется ряд трудов в области технологии машиностроения:

- В.М. Кован «Технология автотракторостроения», 1938 г.
- Б.С. Балакшин «Технология станкостроения», 1943 г.
- А.П. Соколовский «Технология машиностроения», 1940 г.
- М.Е. Егоров «Технология механической обработки металлов», 1944 г.
- А.Б. Яхин «Технология точного приборостроения», 1940 г.

В настоящее время существует два самостоятельных курса, первый получил название «Основы технологии машиностроения», в котором излагаются вопросы общие для всех отраслей машиностроения, и он постепенно превратился в общеинженерную дисциплину: второй получил название «Специальная часть технологии машиностроения», и в нем излагаются специфические вопросы для данной отрасли машиностроения.

## 1.2. Основные понятия и определения

**Изделие** – любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии.

ГОСТ 2.101-68 устанавливает следующие виды изделий (их четыре):

1. Деталь.
2. Сборочная единица.
3. Комплекс.
4. Комплект.

**Деталь** – изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала (винт, гайка, вал, втулка, шестерня и т.д.).

**Сборочная единица** – изделие, составные части которого подлежат соединению между собой сборочными операциями (свинчивание, запрессовка, клепка, сварка, и т.д.) на заводе-изготовителе (подшипник, редуктор, автомобиль и т.д.).

**Комплекс** – два и более изделий, не соединенных на заводе-изготовителе сборочными операциями, но предназначенные для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций (бурильная установка, корабль и т.д.), т.е. сборка на месте эксплуатации.

**Комплект** – два и более изделия не соединенных на заводе-изготовителе сборочными операциями и предназначенные для вспомогательных эксплуатационных функций (комплект инструментов, комплект тары, комплект измерительной аппаратуры и т.д.).

**Технологический процесс** – качественное изменение предметов природы на пути их превращения в готовое изделие.

**Производственный процесс** – совокупность всех этапов, которые проходят предметы природы на пути их превращения в готовое изделие: получение металла, заготовок, транспортирование, различные виды обработки, хранение, сборка, упаковка и т.д.

### 1.3. Структура технологического процесса

**Технологический процесс** делится на три стадии, каждая которых имеет свою специфику работ, определенную квалификацию рабочих и оборудование (рис. 1.1).

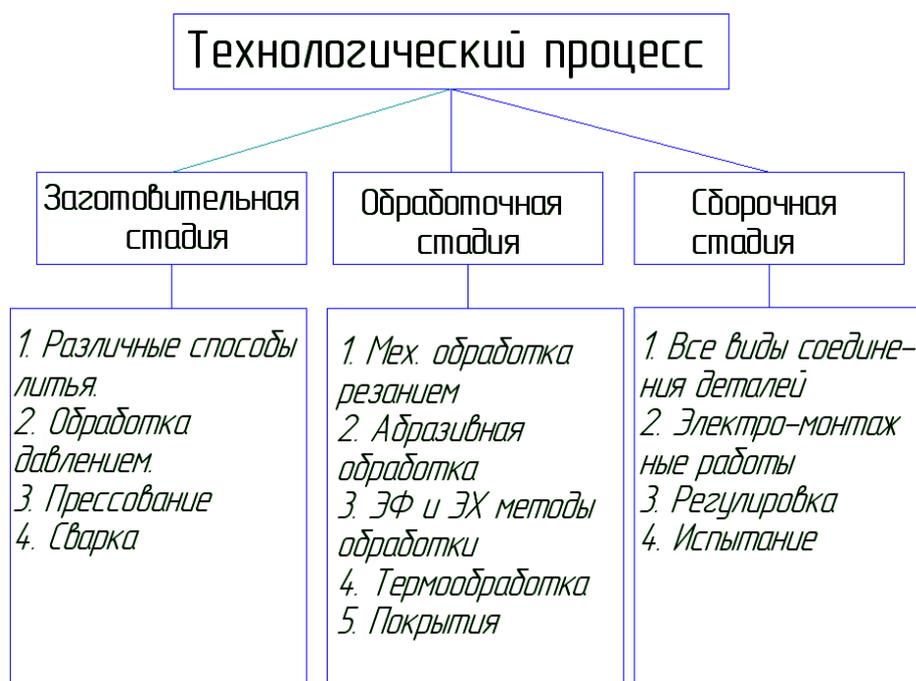


Рис. 1.1. Структура технологического процесса

Все стадии технологического процесса могут выполняться на одном предприятии или каждая стадия, или по две стадии на отдельном предприятии. На каждой стадии технологический процесс делится на элементы, которые определяются системой ГОСТов ЕСТПП (Единая Система Технологической Подготовки Производства) (рис. 1.2).

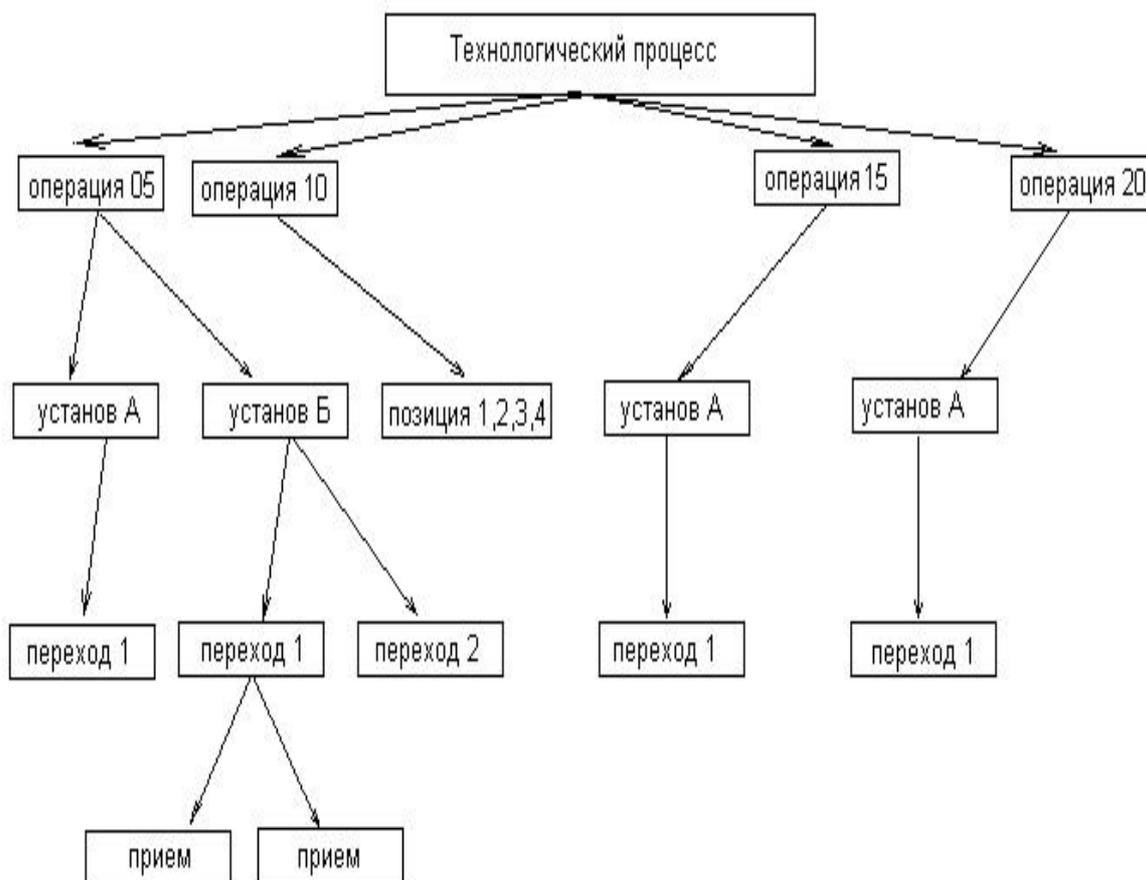


Рис. 1.2. Элементы технологического процесса

#### 1.4. Элементы технологического процесса

Рассмотрим элементы технологического процесса.

**Операция** – часть технологического процесса, которая выполняется над определенной деталью, на одном рабочем месте, непрерывно, одним рабочим.

**4 признака операции:**

- 1) одна деталь;
- 2) один рабочий;
- 3) одно рабочее место;
- 4) непрерывность работы.

Примечание: операция может выполняться над группой деталей; бригадой рабочих (сборочные операции).

**Операция** – основной элемент технологического процесса, по которому ведется нормирование, планирование и организация производства.

**Установ** – часть операции, которая выполняется при неизменном закреплении детали.

**Переход** – часть операции, на которой обрабатывается одна элементарная поверхность, одним инструментом при неизменной настройке режимов резания.

**3 признака перехода:**

- 1) одна элементарная поверхность;
- 2) один инструмент;
- 3) неизменная настройка инструмента.

Переход выполняется путем удаления одного или нескольких слоев металла одним и тем же инструментом, отсюда понятие прохода.

**Проход** – однократное относительное движение режущего инструмента и обрабатываемой детали, в результате которого с поверхности снимается один слой металла.

**Позиция** – часть операции, выполняемая на различных положениях детали относительно станка при одном ее установе. Понятие позиции применяется при использовании многоместных поворотных приспособлений на многошпиндельных станках.

## 1.5. Типы производств

В зависимости от объема производства судят о большом и малом масштабе производства, а также о типах производства.

**Объем производства** определяется общим количеством изделий, подлежащим изготовлению на данном предприятии за весь планируемый период времени и определяет целесообразную величину затрат на подготовку освоение производства.

**Программа выпуска** – количество изделий, изготавливаемых данным предприятием за определенный отрезок времени (годовая программа, месячная программа, недельная программа).

**Существует три типа производства:**

- 1) *единичное*;
- 2) *массовое*;
- 3) *серийное*.

Тип производства определяет построение и степень детализации разработки технологических процессов.

**Единичным** называется производство, при котором процесс изготовления одного или нескольких изделий либо не повторяется, либо повторяется через неопределенный промежуток времени.

**Характерные особенности единичного производства:**

- 1) универсальное оборудование и технологическая оснастка;
- 2) высокая квалификация рабочих;
- 3) расположения оборудования по типам (токарные станки, фрезерные станки, столярка).

**Массовым** называется производство, при котором непрерывно изготавливаются изделия узко ограниченной номенклатуры.

*Характерные особенности массового производства:*

- 1) специальное оборудование и технологическая оснастка;
- 2) низкая квалификация рабочих;
- 3) оборудование устанавливается по ходу технологического процесса (автоматические линии, поточные линии).
- 4) высокая квалификация среднетехнического персонала (наладчики).

**Серийным** называется производство, при котором изготовление изделий ведется партиями (сериями) регулярно повторяющимися через определенный промежуток времени.

*Серийное производство подразделяется:*

- 1) на мелкосерийное;
- 2) среднесерийное;
- 3) крупносерийное.

*Мелкосерийному* производству присущи характерные черты единичного производства, *крупносерийному* – характерные черты массового производства, *среднесерийному* – характерные черты и единичного и массового производства.

Для всех серийных производств характерно применение быстроперенастраиваемого оборудования (станки с программным управлением, обрабатывающие центры).

## 2. ОСНОВЫ ДОСТИЖЕНИЯ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЯ

### 2.1. Техничко-экономические показатели качества

Под качеством изделий понимается совокупность свойств и показателей, обуславливающих их пригодность для удовлетворения определенных потребностей в соответствии с назначением.

Все технико-экономические показатели классифицируются по следующим группам:

- 1) **показатели назначения;**
- 2) **показатели надежности;**
- 3) **показатели технологичности;**
- 4) **показатели стандартизации и унификации;**
- 5) **эргономические показатели;**
- 6) **эстетические показатели;**
- 7) **патентно-правовые показатели.**

В особых случаях могут формироваться и дополнительные группы показателей качества (показатели безопасности, показатели точности, экономические показатели и т.д.).

**Показатели назначения** – одна из важнейших групп показателей, характеризующих назначение изделия, область применения, производительность, транспортабельность, точность, конструктивные и другие особенности изделия.

В машиностроении используются чаще всего следующие показатели назначения:

- 1) **универсальность;**
- 2) **производительность;**
- 3) **материалоемкость;**
- 4) **энергоёмкость;**
- 5) **точность** и т.д.

Показатели назначения записываются обычно в паспорт изделия и используются в качестве основы для классификации.

**Показатели надежности.** Надежность – сложное свойство изделия, определяемое четырьмя безразмерными показателями:

1) **показатели безотказности** характеризуют свойство изделия сохранять работоспособность в течение некоторой наработки без вынужденных перерывов;

2) **показатели долговечности** характеризуют свойства изделия сохранять работоспособность до предельного состояния с необходимыми перерывами для техобслуживания и ремонта;

3) **показатели ремонтпригодности** характеризуют приспособленность изделия к предупреждению, обнаружению и устранению отказов и неисправностей;

4) **показатели сохраняемости** характеризуют свойство изделия сохранять эксплуатационные показатели в течение и после срока хранения и транспортирования, установленного в технической документации.

**Показатели технологичности** характеризуют степень соответствия изделия оптимальным условиям современного производства, рациональному использованию материалов, приспособленность конструкции к применению прогрессивных технологий, возможность использования централизованного производства и рациональной организации труда. Количественная оценка технологичности – это срок запуска изделия в производство и себестоимость изделия при одном уровне производства (самолетостроение или сельскохозяйственное машиностроение или автомобилестроение).

Технический уровень машиностроения напрямую зависит от вложенных в отрасль средств и определяет в изделии:

- 1) совершенство конструкции;
- 2) степень автоматизации;
- 3) качество применяемых материалов;
- 4) качество топлива и смазки;
- 5) уровень технологий средств производства;
- 6) уровень стандартизации;
- 7) уровень взаимозаменяемости и измерительной техники;
- 8) уровень организации производства.

**Показатели стандартизации и унификации** характеризуют степень использования в данном изделии стандартных и унифицированных деталей и сборочных единиц.

Стандартизация – это процесс установления и применения правил с целью упорядочения деятельности в данной области на пользу и при участии всех заинтересованных сторон. Стандартизация основывается на результатах науки, техники и практического опыта.

Объектами стандартизации являются производственная продукция, нормы, правила, требования, методы, понятия, обозначения и т.д. Стандартизация проводится в международном масштабе, в пределах страны, отрасли, предприятия и фирмы.

Унификация – разновидность стандартизации, заключающаяся в установлении оптимального количества объектов одинакового назначения, путем создания новых или изменения существующих на основе достижений науки и техники.

**Эргономические показатели качества** оценивают степень приспособленности изделия к взаимодействию с человеком с точки зрения создания оптимальных условий для эффективной эксплуатации, соблюдения необходимых норм гигиены и техники безопасности. Термины и определения эргономики сведены к следующим четырем подгруппам показателей:

- 1) гигиенические;
- 2) антропометрические;
- 3) физиологические;
- 4) психологические.

**Эстетические показатели качества** характеризуют внешний вид продукции, ее соответствие современному стилю, соответствие формы цвету и качество внешней отделки.

**Патентно-правовые показатели** включают два безразмерных показателя:

- показатель патентоспособности;
- показатель патентной чистоты.

Патентоспособным изделие является в том случае, если оно содержит технические решения, которые могут быть признаны изобретением.

Изделия обладают патентной чистотой, если оно не содержит технических решений, подпадающих под действие патентов.

## **2.2. Точность изделия**

Точность изделия – это такой показатель качества обеспечение которого вызывает наибольшие трудности и затраты в процессе создания и изготовления изделия.

**Под точностью изделия** понимается степень его приближения к геометрически правильному прототипу.

Точность изделия складывается из следующих основных показателей:

- 1) точности относительного движения исполнительных поверхностей изделия, т.е. максимального приближения действительного характера движения исполнительных поверхностей к теоретическому закону движения;
- 2) точности расстояний между исполнительными поверхностями и их размеров;
- 3) точности геометрических форм исполнительных поверхностей;
- 4) точности относительных поворотов исполнительных поверхностей;
- 5) точности микрогеометрии исполнительных поверхностей (шероховатость, волнистость).

Исполнительные поверхности – это поверхности, которыми изделие выполняет свое служебное назначение.

В данном случае подразумеваются исполнительные поверхности всех сборочных единиц изделия, так как часто исполнительные поверхности сборочных единиц точнее на порядок, чем исполнительные поверхности самого изделия (например: точность колес автомобиля и точность двигателя или коробки скоростей автомобиля).

### **Виды геометрических структур**

Геометрически правильный прототип изделия будем называть **геометрической структурой изделия**.

Геометрическая структура формируется на следующих стадиях создания изделия (рис. 2.1):

- 1) разработка технического задания;
- 2) разработка конструкции;
- 3) разработка технологического процесса;
- 4) производство изделия;
- 5) контроль изделия.

На каждой стадии создания изделия формируется как бы своя геометрическая структура и точность изделия.

Между геометрическими структурами устанавливается два вида связей: сверху-вниз – директивная и снизу-вверх – исполнительская.

По своей принадлежности к той или иной геометрической структуре размерные связи и соответствующие им базы носят названия:

- 1) конструкторские базы, конструкторские размеры;
- 2) технологические базы, технологические размеры;
- 3) измерительные базы, измерительные размеры.

Существует принцип единства баз:

***Конструкторские, технологические и измерительные базы должны совпадать, при этом погрешность изготовления будет минимальная.***

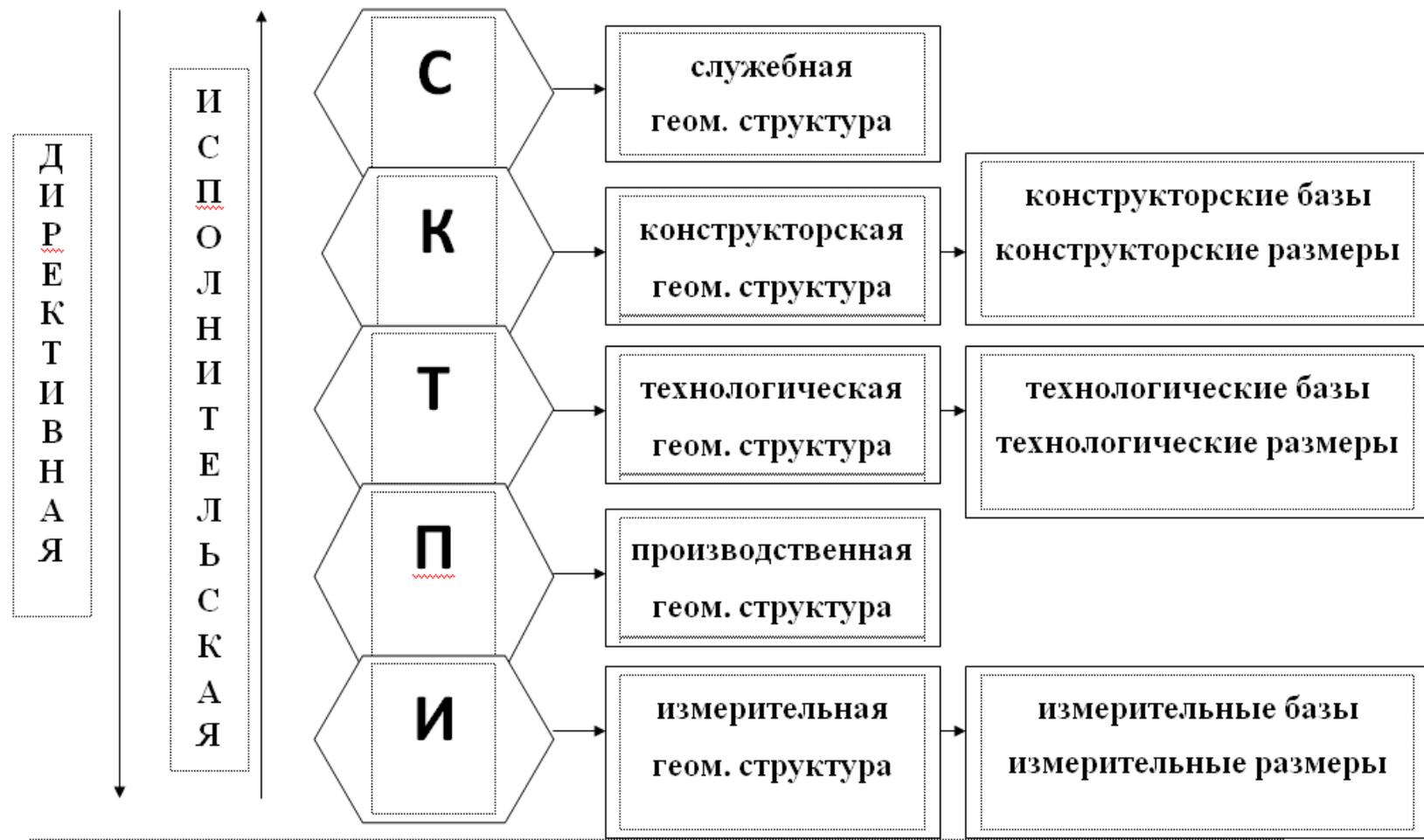


Рис. 2.1. Стадии создания изделия

### 2.3. Точность детали

**Под точностью детали** понимается степень ее приближения к геометрически правильному прототипу.

Изготовить любую деталь абсолютно точно практически невозможно, поэтому за меру точности любого параметра принимают **величины отклонений от теоретических значений**.

Погрешность – это величина обратная точности, она представляет собой разность между установленным (теоретическим) и действительным параметром.

$W = A_T - A_D$  – погрешность параметра (рис. 2.2).

$IT$  – допуск (поле допуска) – регламентированная погрешность, разность между предельными допустимыми границами погрешности.

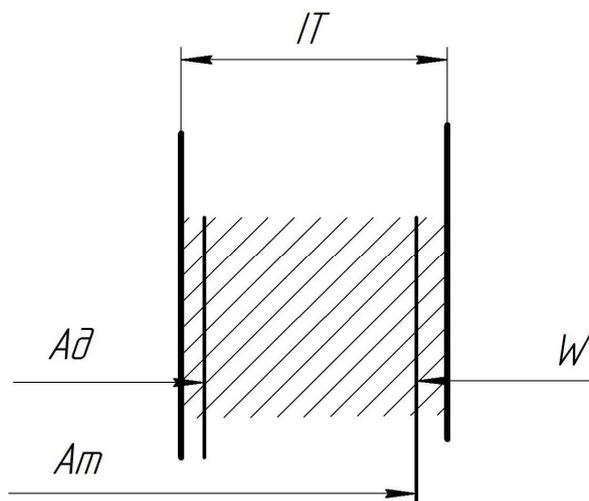


Рис. 2.2. Понятие допуска

Все погрешности, на которые установлены допуски, делятся на два класса:

1. Погрешности макрогеометрии.
2. Погрешности микрогеометрии.

Классы, в свою очередь делятся на подклассы:

1. Погрешности макрогеометрии:
  - погрешности размеров;
  - погрешности формы поверхностей деталей;
  - погрешности расположения поверхностей деталей;
2. Погрешности микрогеометрии:
  - шероховатость поверхности;
  - волнистость поверхности.

### 2.3.1. Погрешности макрогеометрии

#### Погрешности размеров

Самая высокая точность размеров в соединениях, которые могут быть подвижными или неподвижными, характер соединения деталей называется *посадкой*. В посадке общий размер для отверстия и вала, который называется *номинальным*.

Размер, установленный измерением, называется *действительным*.

*Предельные размеры* – максимальный и минимальный размеры, между которыми должен находиться действительный размер.

Точность размеров определяется системой допусков и посадок, закономерно построенных на основании опыта теоретических и экспериментальных исследований и оформленных в виде стандартов.

В промышленности разработаны и действуют системы допусков и посадок на различные типы соединений:

- гладкие цилиндрические;
- конические, резьбовые;
- шпоночные;
- шлицевые;
- зубчатые.

Принципы построения системы наглядно видны на примере гладких цилиндрических соединений.

Принципы построения системы гладких цилиндрических соединений:

#### 1. Основание системы.

Все посадки в системе образуются в *системе отверстия* или в *системе вала*, которые формально равноправны, однако система отверстия является предпочтительной, как более экономичная, так как вал обрабатывается легче, чем отверстие.

*Система отверстия* – все посадки образуются за счет предельных отклонений вала при одном основном отклонении отверстия ( $H$ ) (рис. 2.3, 2.4, 2.6).

*Система вала* – все посадки образуются за счет предельных отклонений отверстия при одном основном отклонении вала ( $h$ ) (рис. 2.3, 2.4, 2.7).

Система отверстия является предпочтительной, так как более экономична, при размерной обработке отверстий размерным инструментам требуется большое количество сложного инструмента, чем при обработке вала резцами.

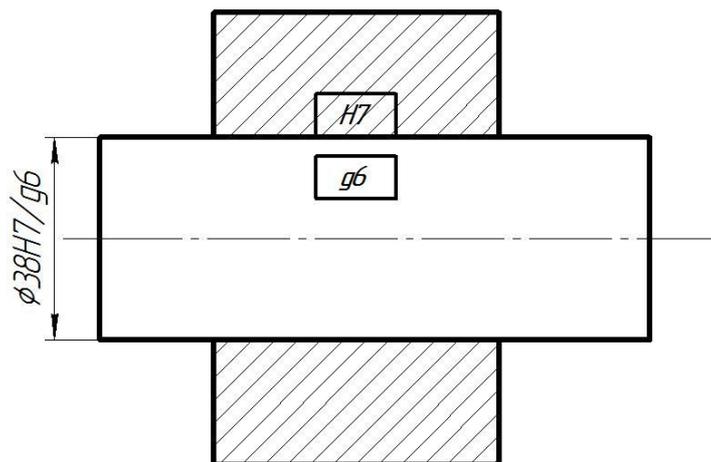


Рис. 2.3. Посадка в системе отверстия

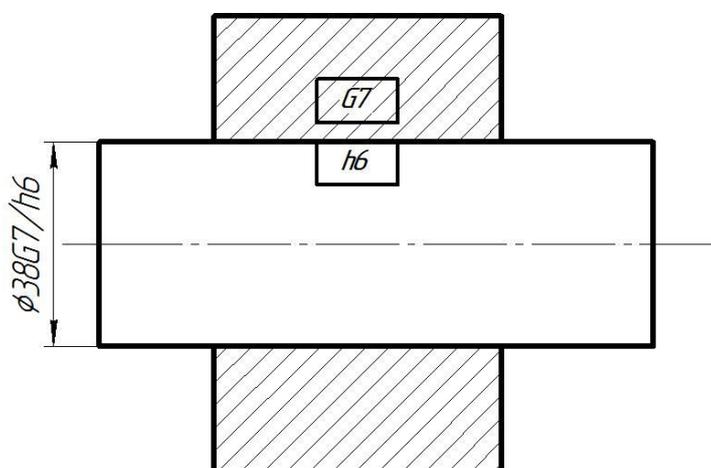


Рис. 2.4. Посадка в системе вала

## 2. Система односторонняя предельная.

Поле допуска основного отверстия и вала ( $H, h$ ) расположено в одну сторону «в металл» от номинальной линии, одно отклонение равно нулю. Согласно этому принципу допуски всех размеров, не обусловленные посадкой, проставляются с одним отклонением «в металл» или с симметричным расположением допуска (расположение осей отверстий или осей симметрии).

## 3. Единица допуска.

Начиная с 5 квалитета, допуск определяется по формуле

$$IT = i \cdot a, \quad (2.1)$$

где  $i$  – единица допуска – функция номинального размера;  
 $a$  – безразмерный коэффициент, зависящий от квалитета (рис. 2.5).

$i = 0,45\sqrt{D} + 0,001D$  – для размеров до 500 мм.

$i = 0,004D + 2,1$  – для размеров свыше 500 мм.

#### 4. Квалитеты.

Квалитеты – ступени градации точности, для гладких цилиндрических соединений установлено 19 квалитетов точности.

приборостроение	машиностроение	заготовки
0 10 12 3 4	5 6 7 8 9 10 11 12 13 14	15 16 17
<i>a</i> по индивидуал. зависимостям	<i>a</i> <u>7 10 16 28 40 64 100 160 250 400</u>	<i>a</i> 640 1000 1600

Рис. 2.5. Значение коэффициента *a*

#### 5. Основные предельные отклонения.

Установлено 21 основное предельное отклонение (все буквы латинского алфавита) и 6 промежуточных (*cd*, *ef*, *fg*, *za*, *zb*, *zc*), которые обозначаются буквами латинского алфавита, заглавными – для отверстий, строчными – для валов.

Условное обозначение полей допусков состоит из сочетания латинских букв и номера квалитета *h7*, *g6*, *m5*, *H7*, *G6*, *F5* и т.д.

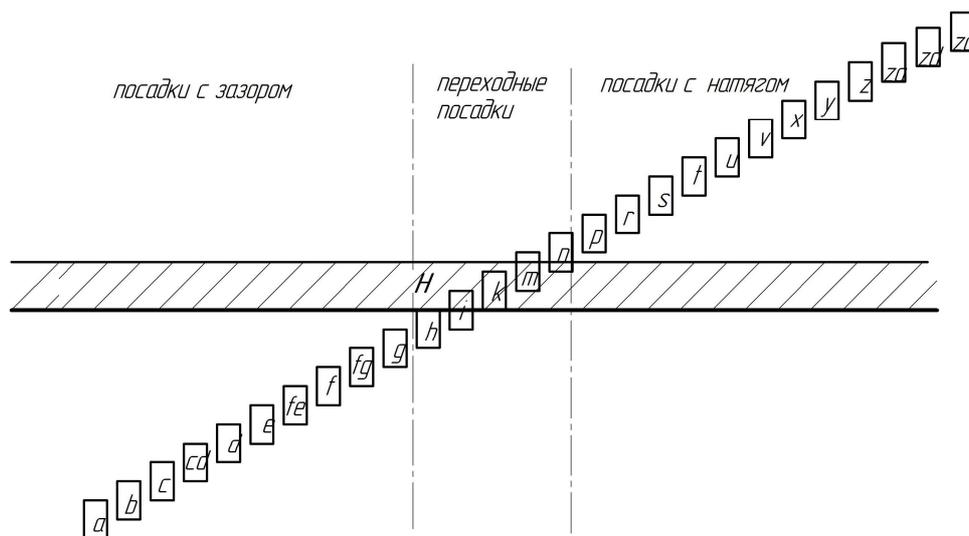


Рис. 2.6. Предельные отклонения вала в системе отверстия



Виды погрешностей формы поверхностей:

- 1) *отклонения от прямолинейности;*
- 2) *отклонения от плоскостности;*
- 3) *отклонения от круглости;*
- 4) *отклонения от цилиндричности;*
- 5) *отклонения профиля продольного сечения.*

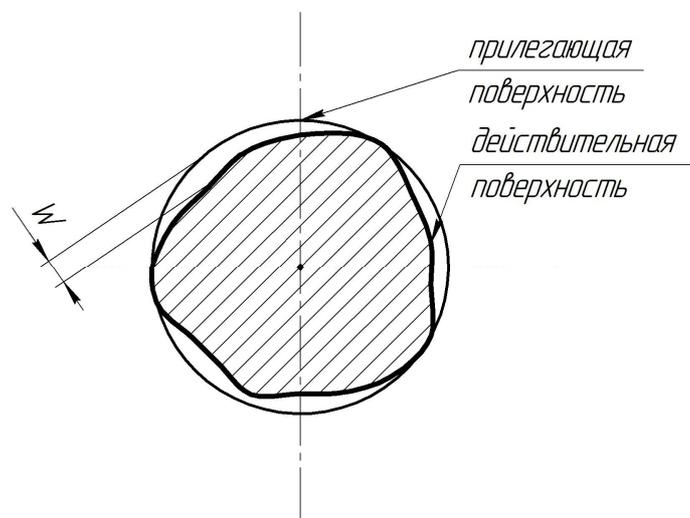
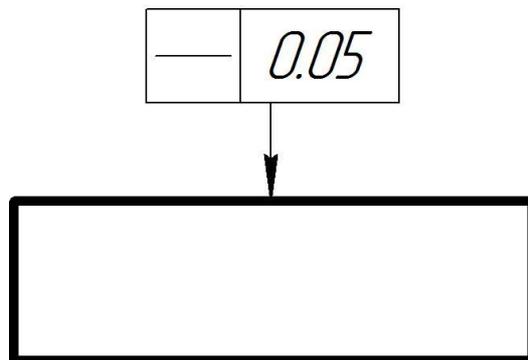


Рис. 2.8. Погрешность формы:

$W$  – погрешность формы, наибольшее расстояние между идеальной (прилегающей) и действительной поверхностью

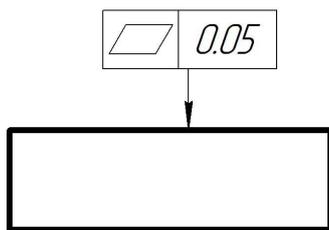
Условное обозначение погрешности формы на чертежах:

- 1) *отклонения от прямолинейности*



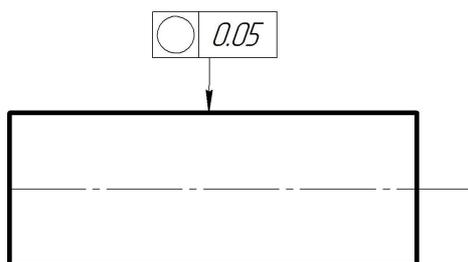
Допуск прямолинейности поверхности 0.05 мм

2) *отклонения от плоскостности*



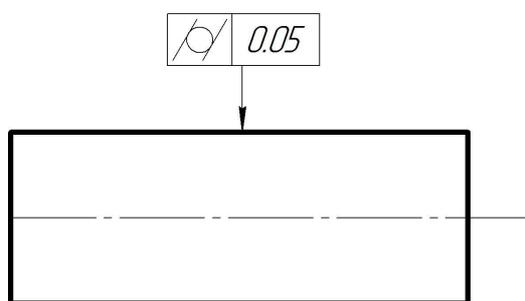
Допуск плоскостности поверхности 0.05 мм

3) *отклонения от круглости*



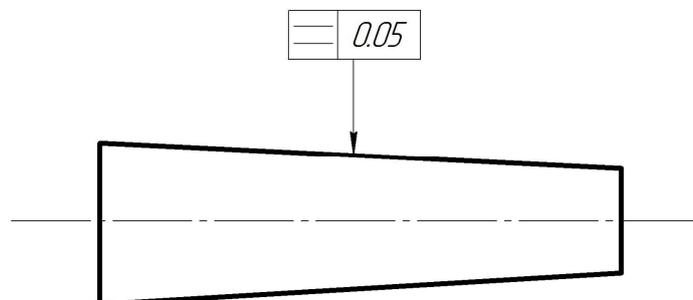
Допуск круглости поверхности 0.05 мм

4) *отклонения от цилиндричности*



Допуск цилиндричности 0.05 мм

5) *отклонения профиля продольного сечения*



Допуск профиля продольного сечения поверхности 0.05 мм

## Погрешности расположения поверхностей деталей

**Отклонением расположения** называется отклонение рассматриваемой поверхности от ее номинального расположения.

При этом действительные поверхности заменяются прилегающими (идеальными). Отклонения расположения следует относить к заданной длине или ко всей длине рассматриваемой поверхности (если длина не задана).

Отклонения расположения поверхности деталей следующие:

1) **отклонение от параллельности плоскостей** – разность наибольшего и наименьшего расстояния между прилегающими плоскостями;

2) **отклонение от параллельности осей** – не параллельность проекций осей на их общую теоретическую плоскость  $a$ , проходящую через одну ось и одну из точек другой оси;

3) **перекос осей** – отклонение от параллельности проекций осей на плоскость перпендикулярную к плоскости  $a$ ;

4) **отклонение от перпендикулярности плоскостей и осей** – отклонение действительного угла от прямого. Выражается в линейных единицах на заданной длине или на всей длине детали;

5) **отклонение от соосности:**

а) относительно базовой поверхности, наибольшее расстояние между осью рассматриваемой поверхности и осью базовой поверхности;

б) относительно общей оси. За общую ось принимается прямая пересекающая оси поверхностей вращения в средних сечениях;

6) **радиальное биение** – разность показаний измерительной головки, возникающее при вращении детали вследствие несоосности;

7) **торцевое биение** – разность показаний измерительной головки на диаметре, возникающее при вращении детали вследствие не перпендикулярности;

8) **отклонение от симметричности** – наибольшее расстояние между действительными осями двух симметричных фигур;

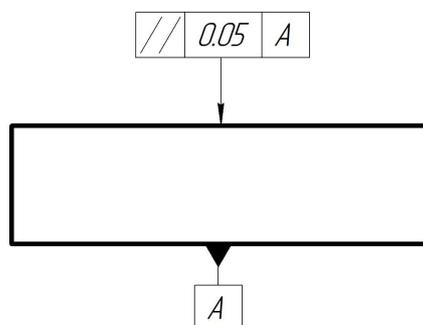
9) **позиционное отклонение** (смещение от номинального расположения).

Отклонение от номинального расположения – это наибольшее расстояние между реальным расположением элемента (его оси, центра или плоскости симметрии) и его номинальным расположением. Смещение осей отверстий от номинального расположения не более 0,2, это значит, что действительная ось может лежать в пределах окружности диаметром 0,2 ( $\varnothing 0,2$ );

10) **отклонение от пересечения** (непересечение). Наименьшее расстояние между осями, номинально пересекающимися.

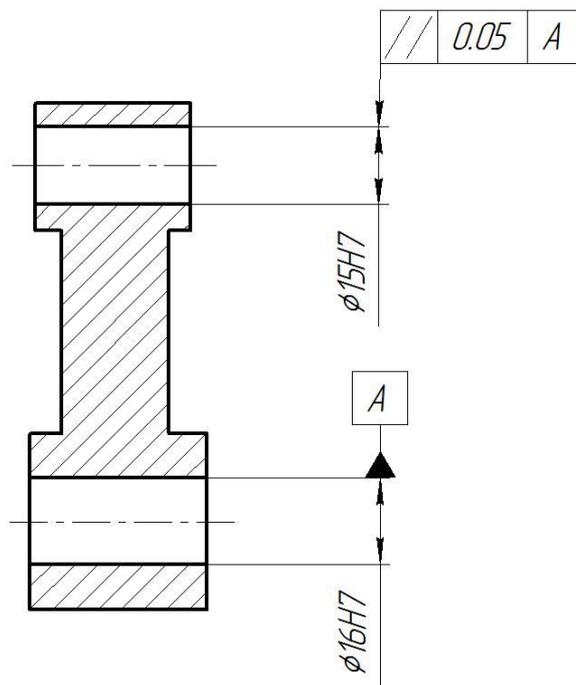
Условное обозначение погрешности расположения поверхностей на чертежах:

1) *отклонение от параллельности плоскостей*



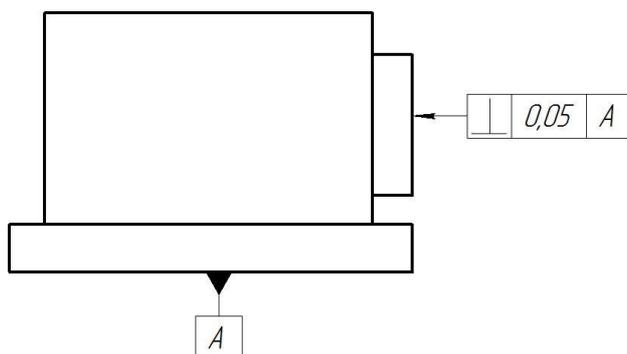
Допуск параллельности плоскостей 0.05 мм

2) *отклонение от параллельности осей*

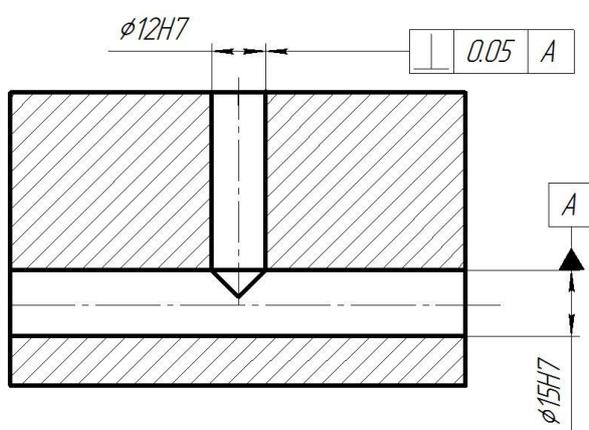


Допуск параллельности осей 0.05 мм

3) *отклонение от перпендикулярности плоскостей и осей*



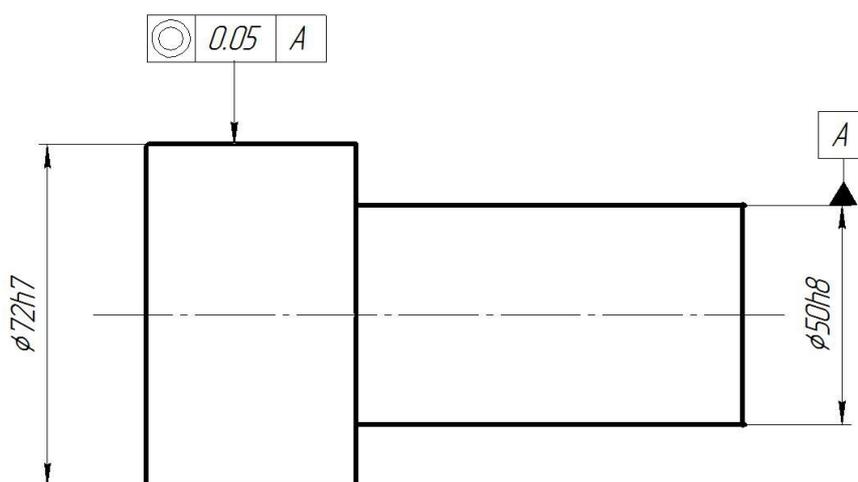
Допуск перпендикулярности поверхностей 0.05 мм



Допуск перпендикулярности осей 0.05 мм

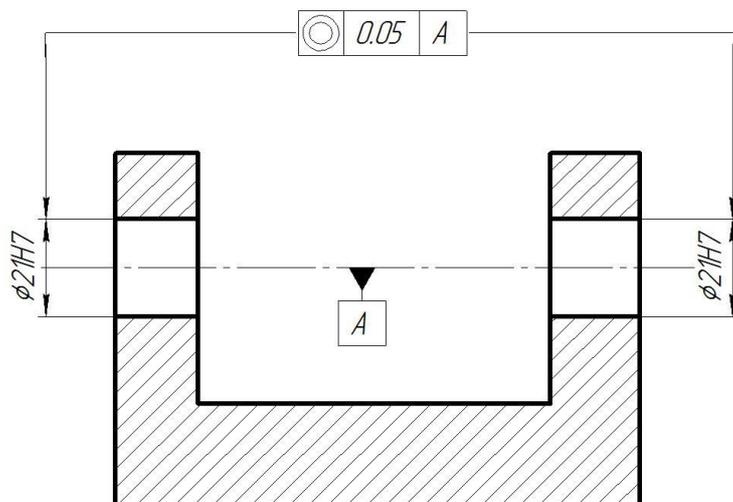
4) *отклонение от соосности:*

а) относительно базовой поверхности



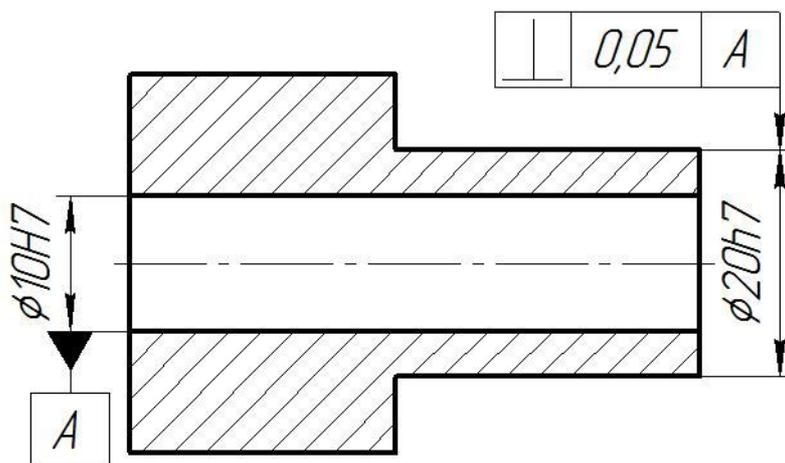
Допуск соосности относительно базовой поверхности 0.05 мм

б) относительно общей оси



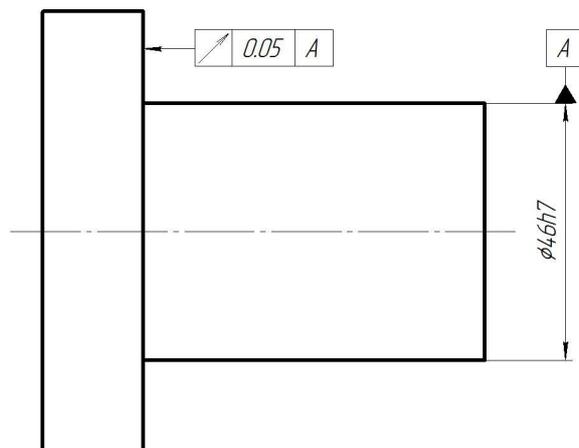
Допуск соосности относительно общей оси  $0.05$  мм

5) радиальное биение



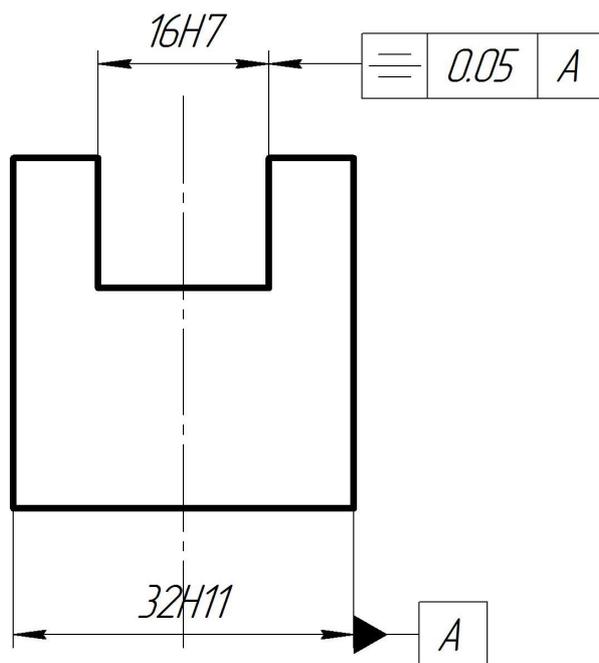
Допуск радиального биения  $0.05$  мм

6) *торцевое биение*



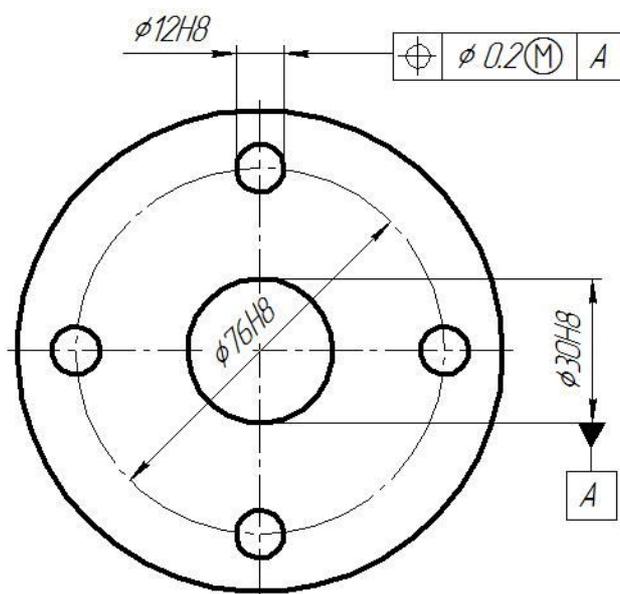
Допуск торцевого биения  $0.05$  мм

7) *отклонение от симметричности*



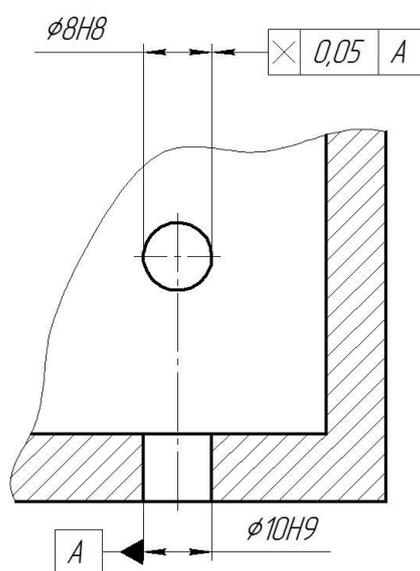
Допуск симметричности паза относительно  
наружного контура (база А)  $0.05$  мм

8) *позиционное отклонение (смещение от номинального расположения)*



Позиционный допуск осей отверстий относительно базы A 0.2 мм  
(допуск зависимый)

9) *отклонение от пересечения (непересечение) осей*



Допуск пересечения осей отверстий 0.05 мм

### *Допуски отклонений расположения и формы поверхностей детали*

Самостоятельные допуски на отклонения расположения и формы поверхностей детали назначаются не всегда, а при наличии особых требований, вытекающих из условий работы детали. Во всех остальных случаях отклонения расположения ограничиваются полем допуска на расстояния между поверхностями или осями, а отклонения формы ограничиваются полем допуска на размер.

Для всех видов нормируемых отклонений предусмотрено 16 степеней точности, от 1 до 16. Предусмотрено три уровня относительной геометрической точности (связь с допуском на размер):

- А – нормальная – 60 % от допуска на размер;
- В – повышенная – 40 % от допуска на размер;
- С – высокая – 25 % от допуска на размер.

Отклонения формы и расположения поверхностей деталей машин и механизмов снижает:

1. Точность взаимного расположения составных частей изделия.
2. Точность их относительного перемещения при работе.
3. Повышают износ, из-за нарушения целостности смазочного слоя и местного возрастания контактных напряжений.
4. Снижает прочность соединений с натягом.

### **2.3.2. Погрешности микрогеометрии**

#### **Шероховатость поверхности**

Шероховатость поверхности играет большую роль в подвижных соединениях, влияя на трение и износ трущихся поверхностей.

Уменьшение шероховатости поверхности вносит большую определенность в характер соединения деталей.

Шероховатость поверхности связана с рядом важных функциональных показателей изделия таких как:

- 1) плотность и герметичность соединений;
- 2) контактная жесткость поверхности;
- 3) прочность сцепления при притирании и склеивании;
- 4) качество гальванических и лакокрасочных покрытий;
- 5) качество смазки.

Уменьшение шероховатости поверхностей деталей значительно повышает:

- 1) их усталостную прочность;
- 2) улучшает антикоррозийную стойкость;
- 3) уменьшает трение деталей;
- 4) улучшает отражательную способность поверхности;
- 5) точность измерения.

### Параметры шероховатости

**Шероховатостью поверхности** называют совокупность неровностей с относительно малыми шагами, образующих рельеф поверхности детали и рассматриваемых на базовой длине (рис. 2.9).

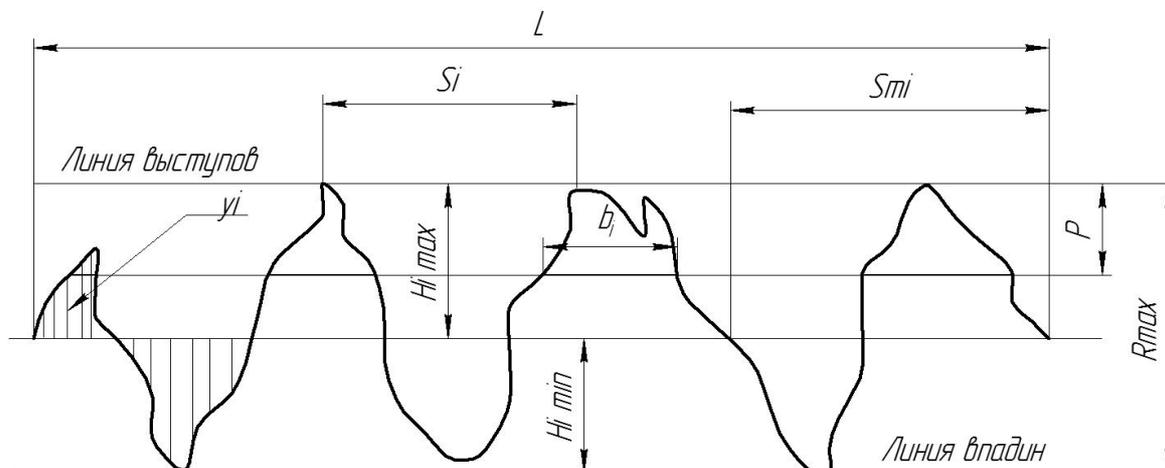


Рис. 2.9. Параметры шероховатости

При отношении шага к высоте:

$$\frac{S}{H} \leq 50 - \text{шероховатость};$$

$$50 \leq \frac{S}{H} \leq 1000 - \text{волнистость};$$

$$\frac{S}{H} \geq 1000 - \text{отклонение форм.}$$

Шероховатость обработанной поверхности является следствием пластической деформации поверхностного слоя металла детали при литье, образовании стружки, копировании неровностей режущих кромок инструмента, трении его о деталь, вырывании частиц металла, вибрации детали и других причин.

Представление о реальном профиле шероховатости дают профилограммы, полученные на профилографах в результате ощупывания поверхности алмазной иглой либо путем фотографирования ее на специальном микроскопе.

На шероховатость поверхности разработан комплекс стандартов, который соответствует международным рекомендациям.

Установлено 6 параметров шероховатости:

1.  $R_a$  – среднеарифметическое отклонение профиля:

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l y(x) dx \cong \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i.$$

2.  $R_z$  – высота неровностей по 10 точкам:

$$R_z = \frac{1}{5} \left( \sum_{i=1}^5 H_{i\max} + \sum_{i=1}^5 H_{i\min} \right).$$

3.  $R_{\max}$  – наибольшая высота неровностей профиля (рис. 2.9).

4.  $S_m$  – средний шаг неровностей профиля:

$$S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{mi}.$$

$S_{mi}$  – шаг неровностей, равный длине отрезка средней линии между точками пересечения ее с одноименными сторонами соседних неровностей  $n$  – число средних шагов в пределах базовой длины.

5.  $S$  – средний шаг неровностей профиля по вершинам:

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i.$$

6.  $t_p$  – относительная опорная длина профиля – отношение опорной длины профиля  $h_p$  к базовой длине  $l$  в процентах.

$$h_p = \sum_{i=1}^n b_i.$$

$$t_p = \frac{h_p}{l} = \frac{h}{l} 100\%.$$

$$P = \frac{P}{R_{\max}} 100\%.$$

$b_i$  – длины отрезков, отсекаемых на выступах профиля линией эквидистантной средней линии в пределах базовой длины (рис. 2.9).

$P$  – уровень сечения профиля, значение уровня сечения профиля отсчитывается от линии выступов в процентах к наибольшей высоте неровностей профиля  $R_{\max}$  (рис. 2.9).

$T_{50} 80 \pm 10\%$ ; это значит, что относительная опорная длина профиля составляет 80 % от базовой длины  $l$ , на уровне 50 % от  $R_{\max}$ .

#### *Обозначение шероховатости поверхностей на чертежах*

Шероховатость обозначают на чертеже для всех выполняемых по данному чертежу поверхностей независимо от метода их обработки (рис. 2.10–2.13).

*Знак, применяемый для обозначения шероховатости на чертеже*



*Поверхность образована без удаления поверхностного слоя (литье, штамповка, прессование)*



*Поверхность образована удалением слоя материала (точение, шлифование, полирование)*



*Метод образования поверхности чертежом не регламентируется*

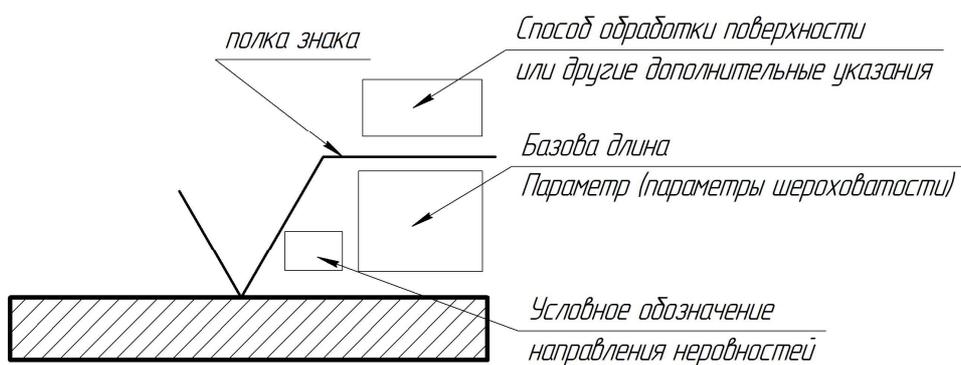


Рис. 2.10. Поля параметров шероховатости

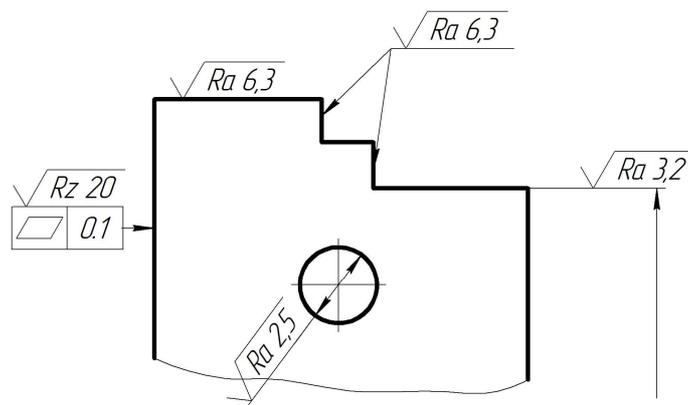


Рис. 2.11. Простановка шероховатости на чертежах

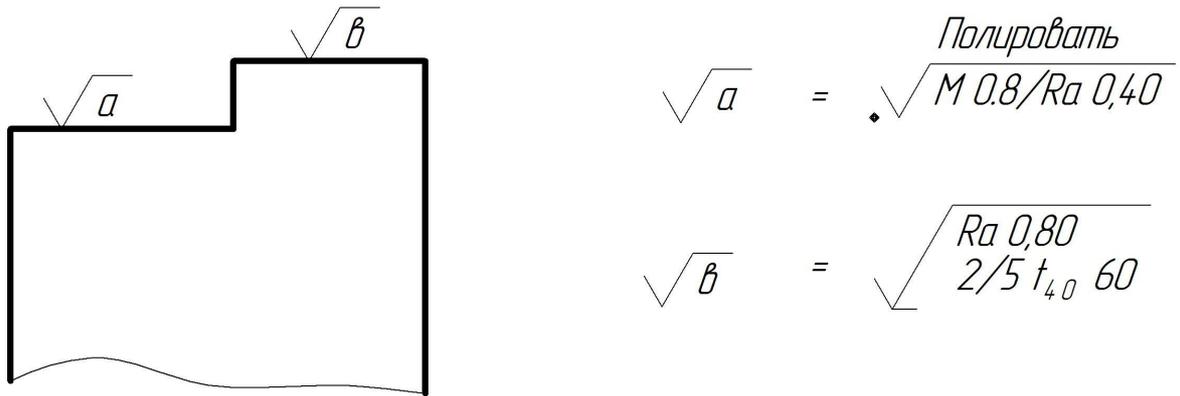


Рис. 2.12. Расшифровка параметров шероховатости

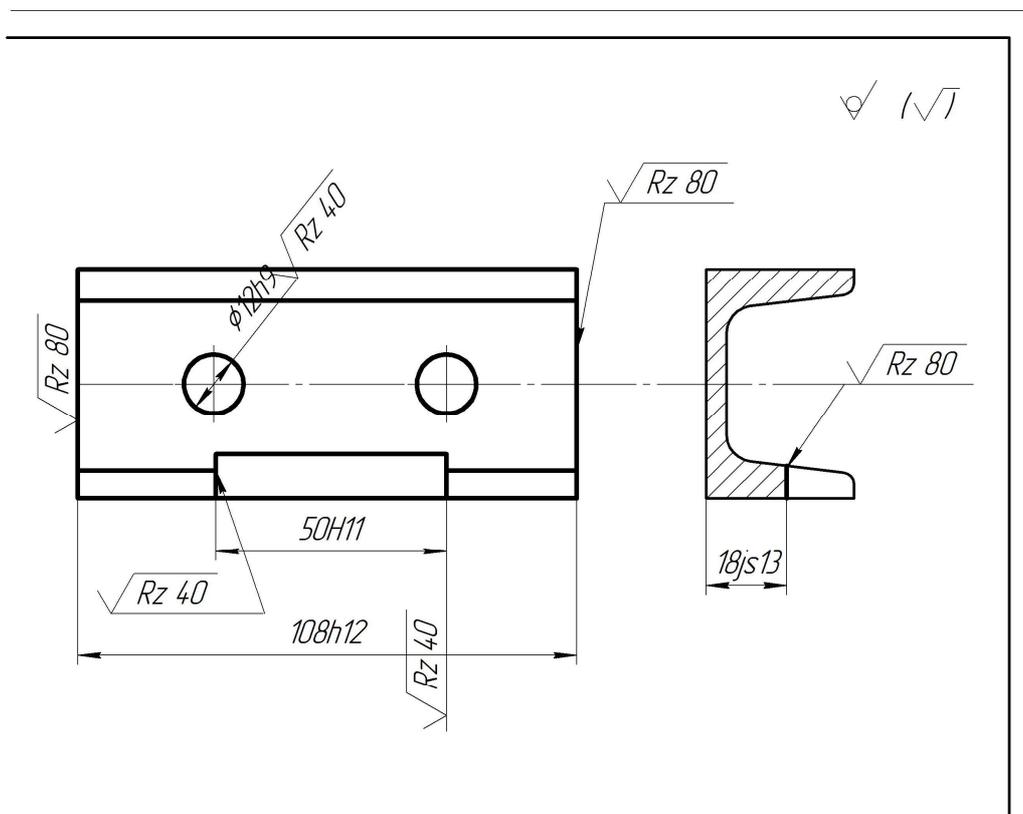


Рис. 2.13. Обозначение шероховатости остальных поверхностей

### 3. ЭКОНОМИЧЕСКИ ДОСТИЖИМАЯ ТОЧНОСТЬ ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ

Экономически достижимая точность – это точность, которая получается на соответствующем оборудовании автоматически без дополнительных затрат (табл. 3.1, 3.2).

Припуск – слой металла, который необходимо удалить, чтобы получить поверхность лучшего качества и точности. Припуск не должен быть большим и маленьким, а должен быть оптимальным. Определяется припуск аналитическим и статистическим способом.

Минимально необходимая величина припуска должна обеспечивать удаление микронеровностей, слоя материала с измененными физико-механическими свойствами и структурой и пространственными отклонениями взаимосвязанных поверхностей, полученными при предшествующей обработке. На рис. 3.1 представлены основные составляющие припуска.

Минимальный припуск, который необходимо снять на  $I$  операции определяется по формуле:

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

где  $R_{z i-1}$  – максимальная высота неровностей предшествующей операции;

$T_{i-1}$  – наибольшая глубина дефектного слоя материала, полученного на предшествующей обработке;

$\rho_{i-1}$  – пространственные отклонения взаимосвязанных поверхностей; получившихся на предшествующем переходе;

$\varepsilon_i$  – погрешность базирования на данном переходе.

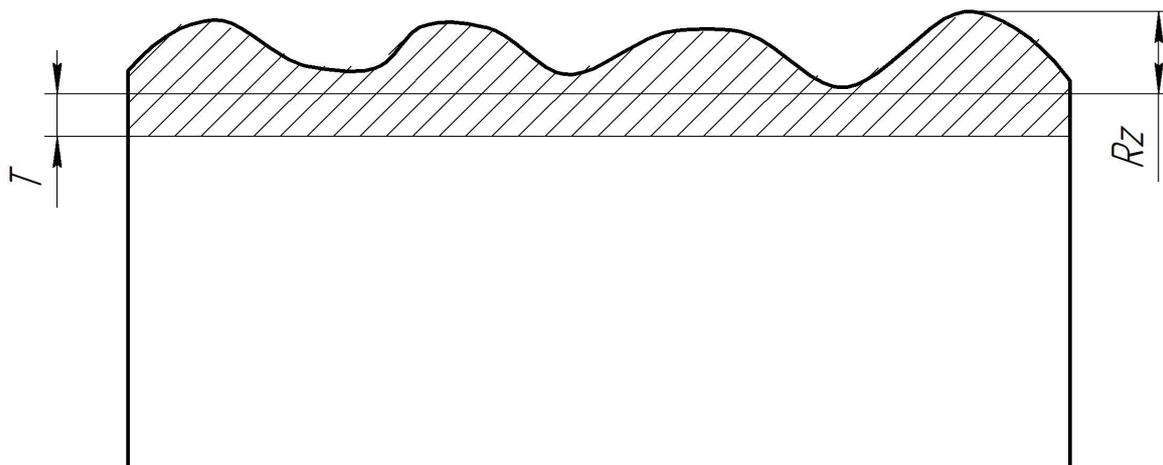


Рис. 3.1. Основные составляющие припуска

Таблица 3.1

**Экономически достижимая точность  
основных методов обработки**

<u>Вид обработки</u>		шероховатость Ra(мкм)	Глубина дефектного слоя (мкм)	Квалитет допуска размера	Степень точности и расположения поверхностей	Припуск на данную обработку
Наружное обтачивание	черновое	25 – 50	120–60	14–15	11–13	1.5–3
	получистовое	6.3–12.5	50–20	12–14	10–12	0.3–0.5
	чистовое	1.6–3.2	30–20	6–9	7–9	0.2–0.5
Растачивание	черновое	25–50	50–20	14–15	10, 11	1.5–3
	получистовое	12.5–25	25–10	12–14	7–9	0.2–0.5
	тонкое	1.6–3.2	10–5	7–9	4–6	0.1–0.3
Сверление		6.3–25	70–15	12–14	9–12	D/2
Зенкерование	черновое	12.5–25	50–20	12–13	10–12	0.5–0.7
	чистовое	3.2–6.3	30–10	10–11	6–8	0.3–0.5
Развертывание	Чистовое	6.3 - 12.5	25–15	9–10	8–10	0.2–0.4
	тонкое	1.6–3.2	15–5	7–8	6–7	0.15–0.25
Протягивание	черновое	6.3	25–10	8–9	8–10	расч.
	Чистовое	0.8–3.2	10–5	7–8	6–8	расч.
Строгание	черновое	12.5–25	150–100	12–14	10–11	2–4
	Чистовое	3.2–6.3	30–20	8–10	9–10	1–1.5
Фрезерование	черновое	6.3–40	100–80	12–14	9–10	1.5–3
	получистовое	3.2–6.3	60–40	10–11	7–8	0.7–1.5
	тонкое	0.8–1.6	30–10	8–9	6–7	0.5–1
Шлифование	получистовое	3.2–6.3	20	8–11	6–8	0.25–0.8
	Чистовое	0.8–1.6	15–5	6–8	4–6	0.05–1
	тонкое	0.2–0.4	5	5–7	3–5	0.04–0.08
Суперфиниш Хонингование	предварительное	0.1–0.4	3–6	5–7	2–4	0.02–0.1
	Чистовое	0.05–0.20.	3–1	5–6	1–3	0.01–0.02
Доводка	предварительное	0.1–0.2	5–6	5–6	2–4	0.02–0.05
	тонкая	0.012–0.05	3–4	5 и точнее	1–3	0.005–0.015
Раскатывание. Дорнование		0.4–1.6	–	6–9	2–7	–

**Экономически достижимой точности  
обработки зубчатых колес**

<b>Вид обработки зубчатых колес</b>	<b>Степень точности</b>	<b>Окружная скорость м/сек</b>	<b><u>Вид изделия</u></b>
<b>Метод копирования</b>	9-12	2-4	<b>Зубчатые передачи для грубой работы, ненагруженные передачи</b>
<b>Метод обкатки</b>	8-9	6-10	<b>Общее машиностроение Грузоподъемные механизмы Нормальные редукторы</b>
<b>Шевингование</b>	5-6-7	10-15	<b>Металлорежущие станки, скоростные редукторы, авто и авиастроение</b>
<b>Шлифование</b>	5-6	15-30	<b>Турбинные передачи, измерительные колеса для изм. зубчатых колес 8 - 9 ст. точ. Отв. зуб. перед. авто и авиастроения</b>
<b>Доводка Притирка</b>	3-4	40-75	<b>Прецизионные делительные мех. Высокоскоростные турбины</b>
<b>Обкатка на прецизионных станках</b>	3-4	40-75	<b>Измерительные колеса для контроля зубчатых колес 5 - 6 ст. точ.</b>

По точности изготовления все зубчатые колеса и передачи разделены на 12 степеней точности.

Точность изготовления зубчатых и конических колес и передач задается по нормам:

1. Кинематической точности.
2. Плавности работы.
3. Контакта зубьев в передаче.
4. Видом сопряжения и видом допуска бокового зазора.

При одной степени точности (1-3) условное обозначение 7 - В ГОСТ1643-81

В – вид сопряжения, в – вид допуска бокового зазора

При разных степенях точности 8 - 7 - 6 - Ва ГОСТ 1648-81

8 – степень точности по нормам кинематической точности

7 – степень точности по нормам плавности

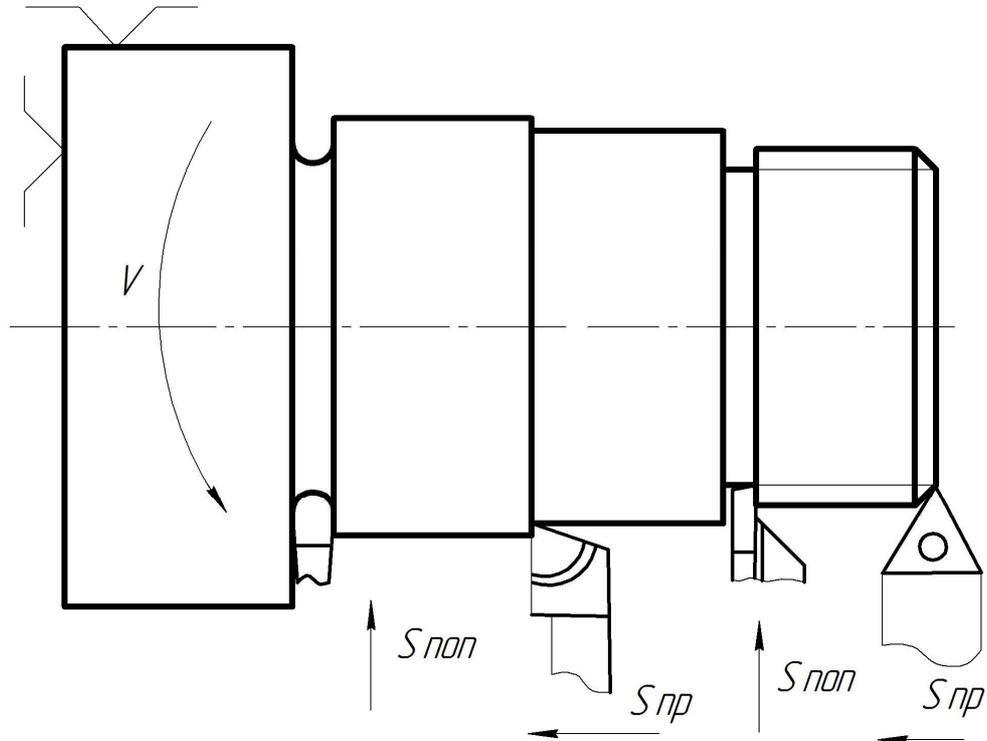
6 – степень точности по нормам контакта зубьев

В – вид сопряжения

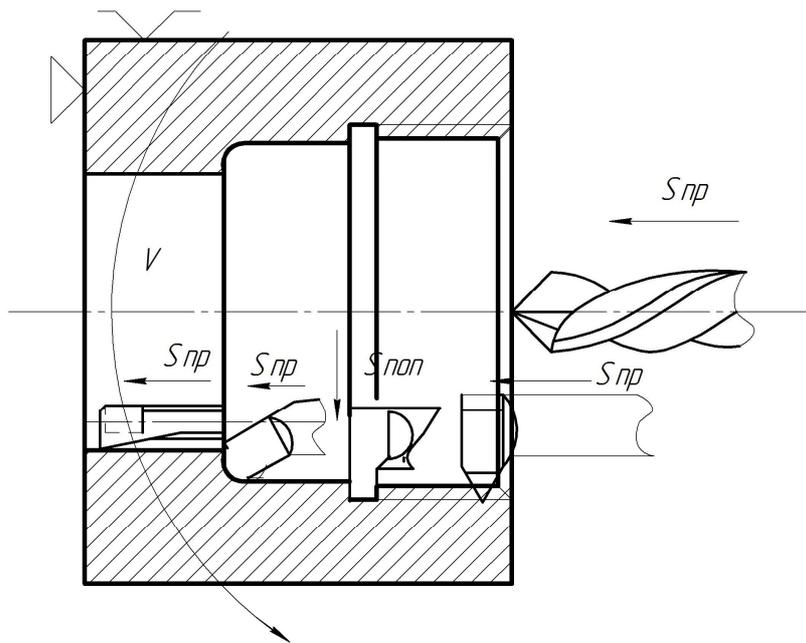
а – вид допуска бокового зазора

## Примеры технологических эскизов различных видов обработки

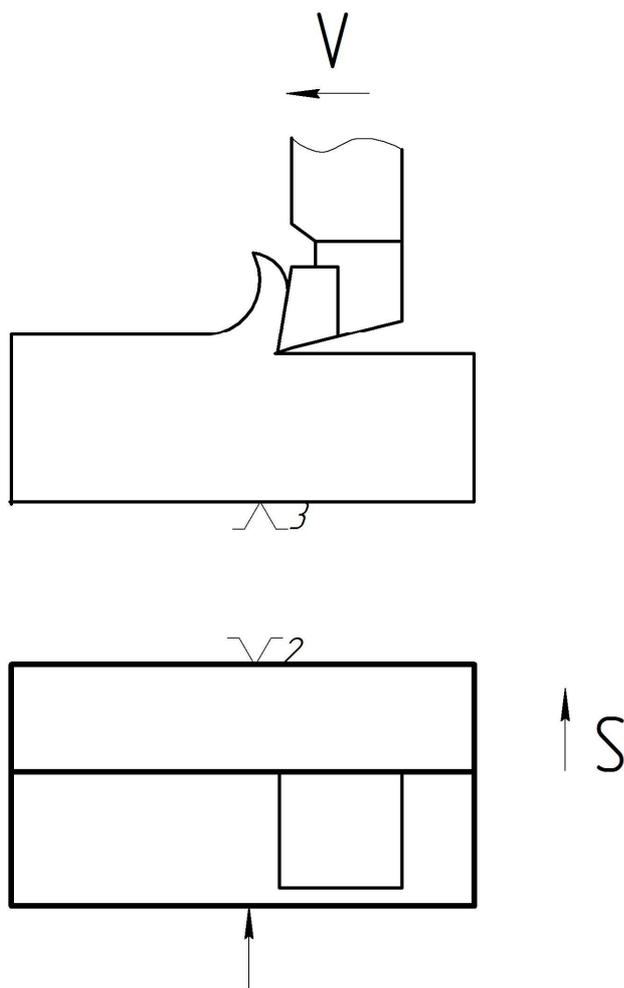
### Наружное точение



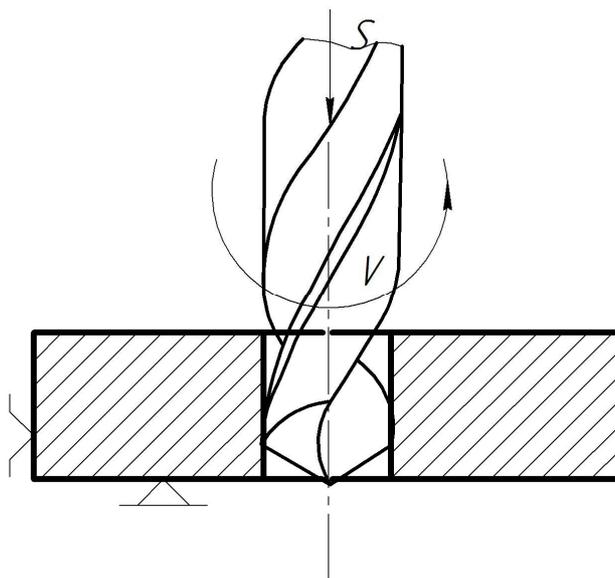
### Растачивание



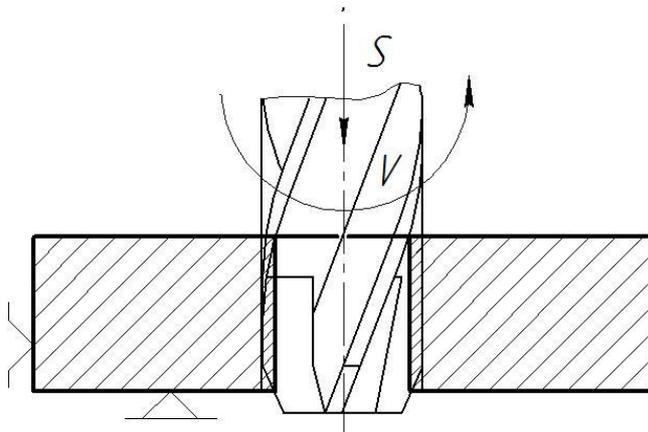
## Строгание



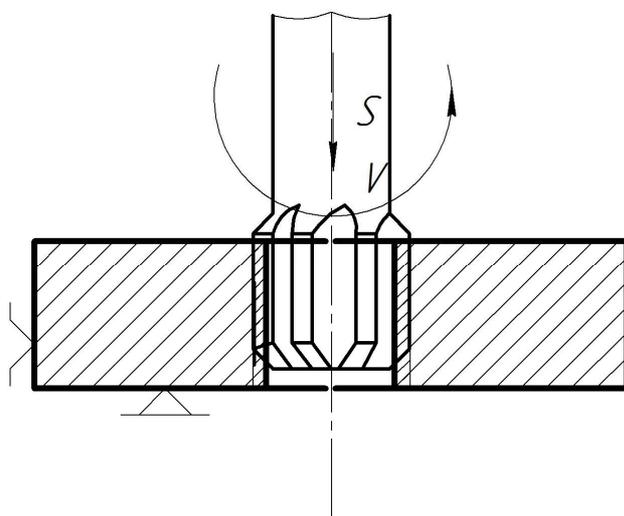
## Сверление



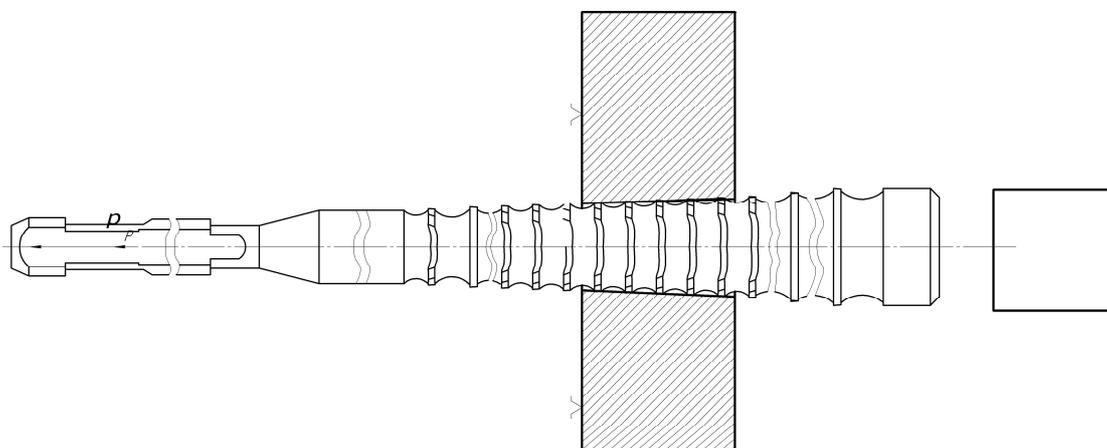
## Зенкерование



## Развертывание

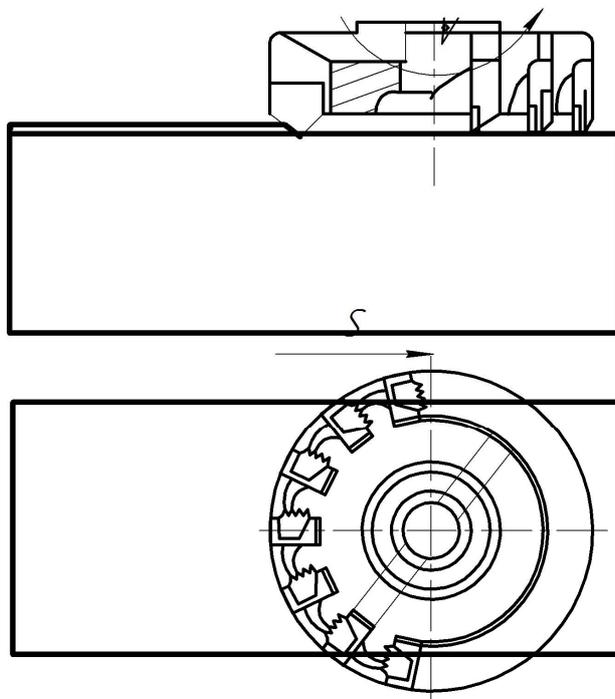


## Протягивание

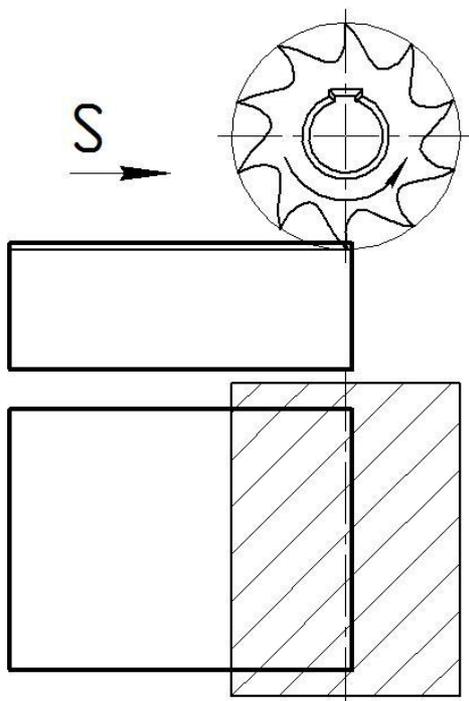


## Фрезерование плоскостей

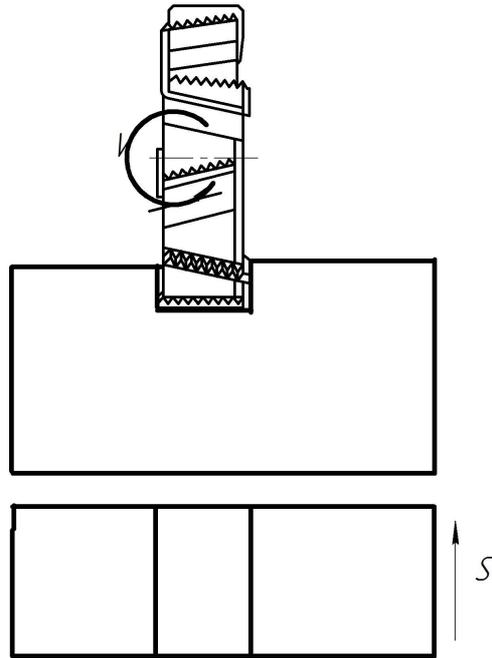
1) торцевыми фрезами



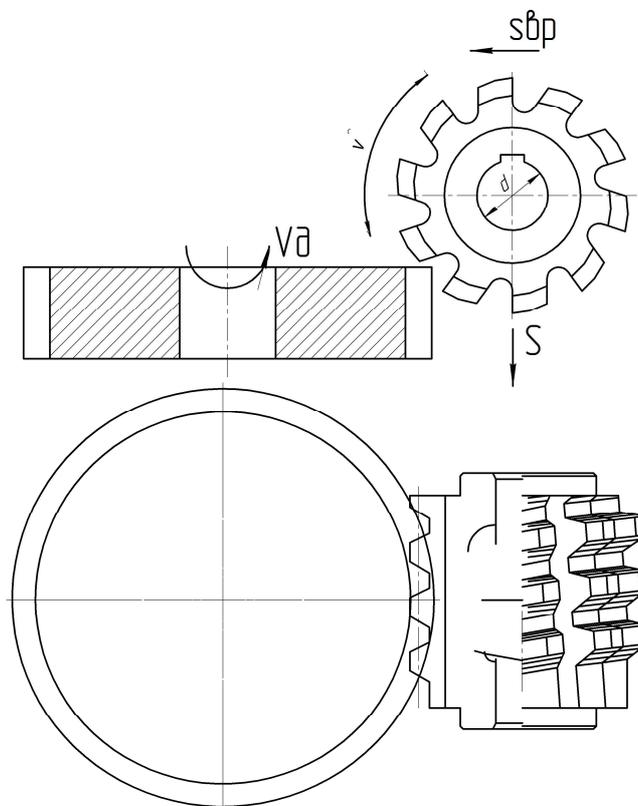
2) цилиндрическими фрезами



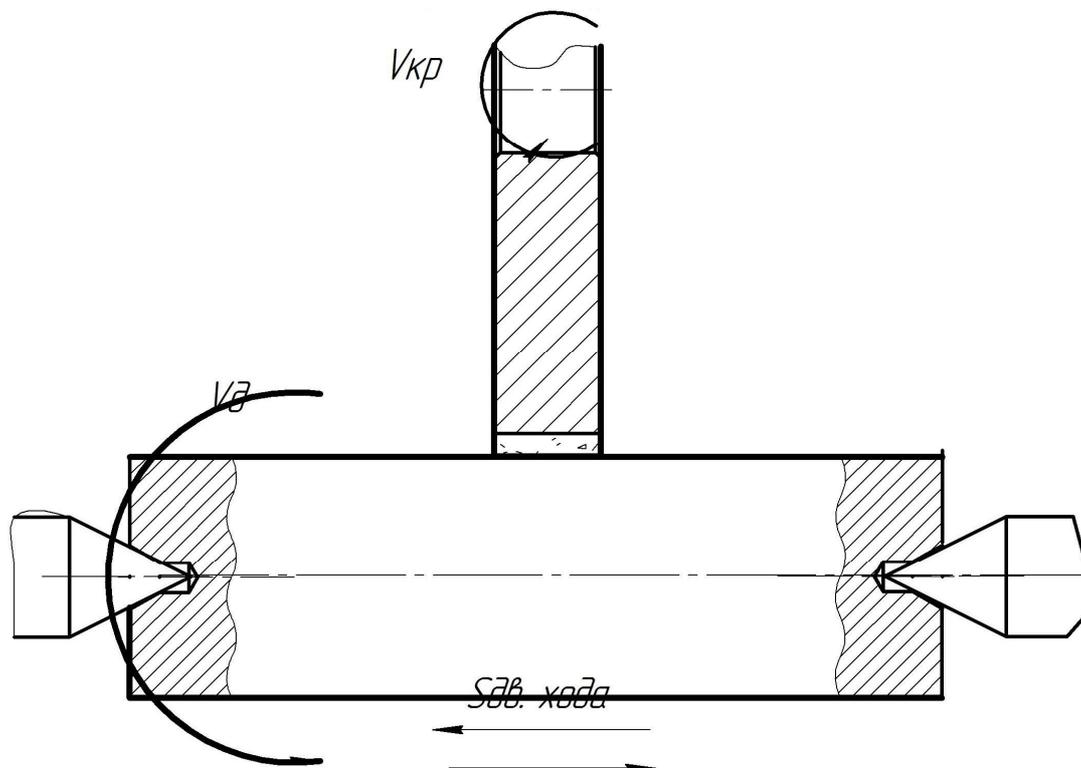
3) фрезерование паза трехсторонней фрезой



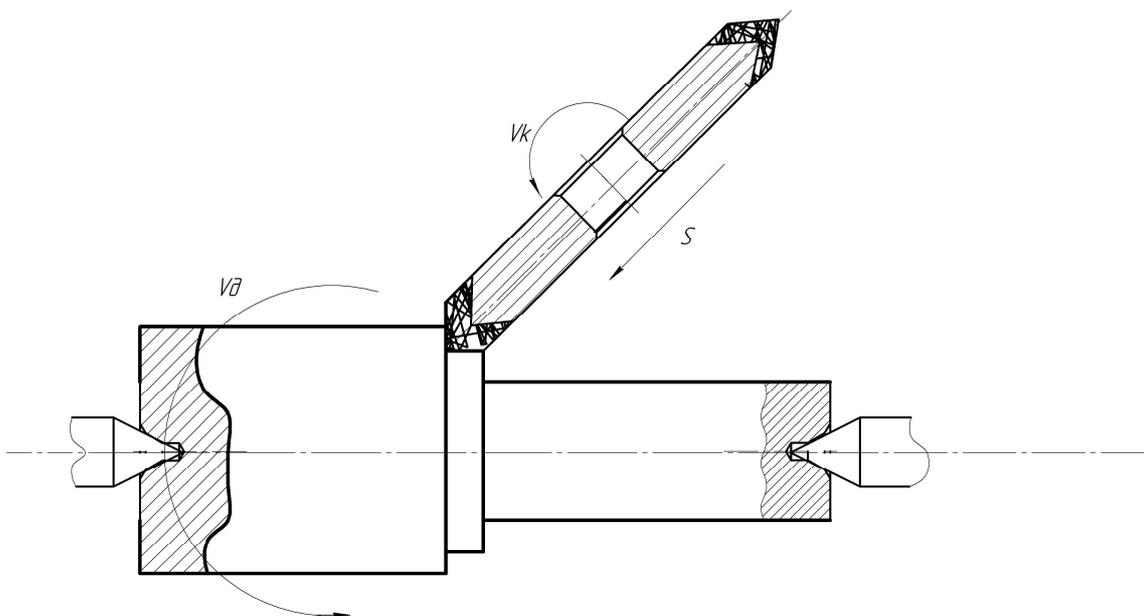
4) фрезерование зубчатых колес, метод обката



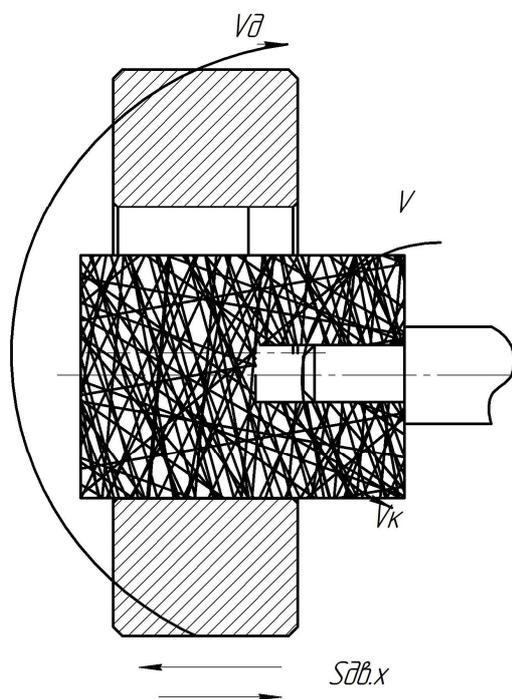
## Шлифование круглое



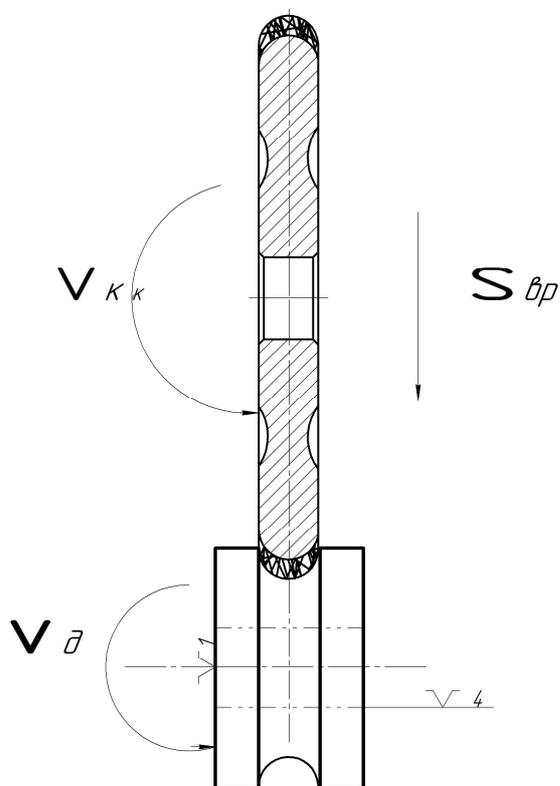
## Шлифование врезанием



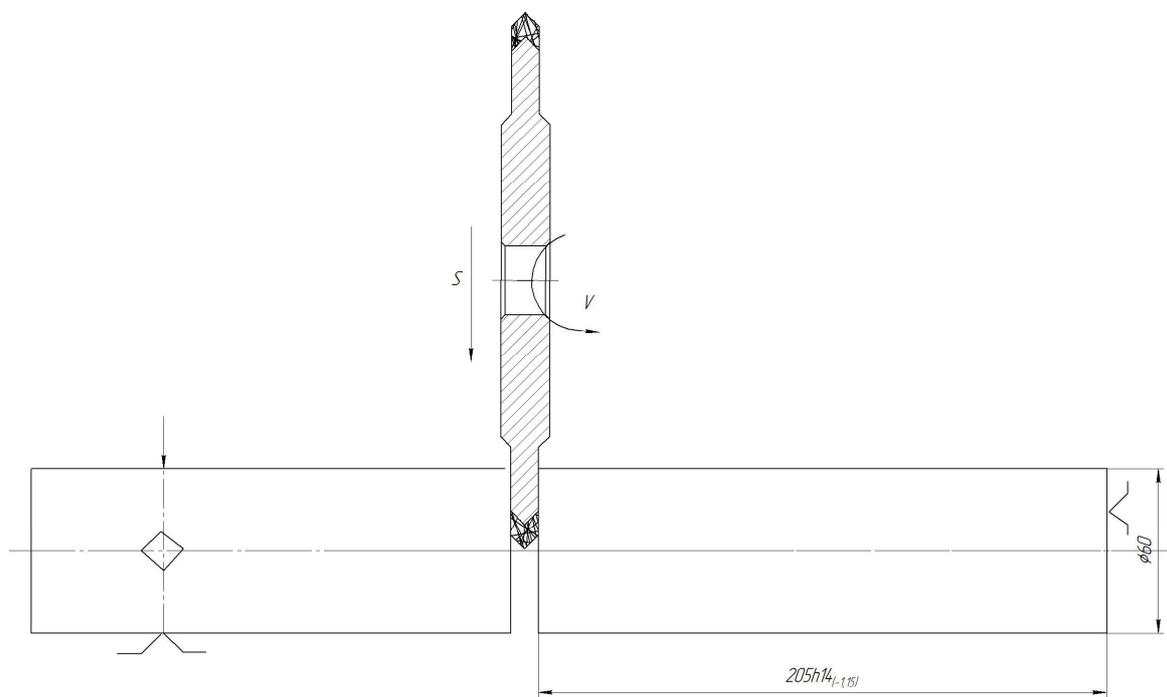
## Шлифование внутреннее продольным ходом



## Фасонное шлифование



# Абразивная отрезка



#### 4. ЭТАПЫ КОНСТРУКТОРСКОЙ РАЗРАБОТКИ ИЗДЕЛИЯ

Этапы конструкторской разработки изделия представим в виде схемы, которая называется действие-результат, по вертикальной оси действия, а по горизонтальной – результат этих действий (рис. 4.1).

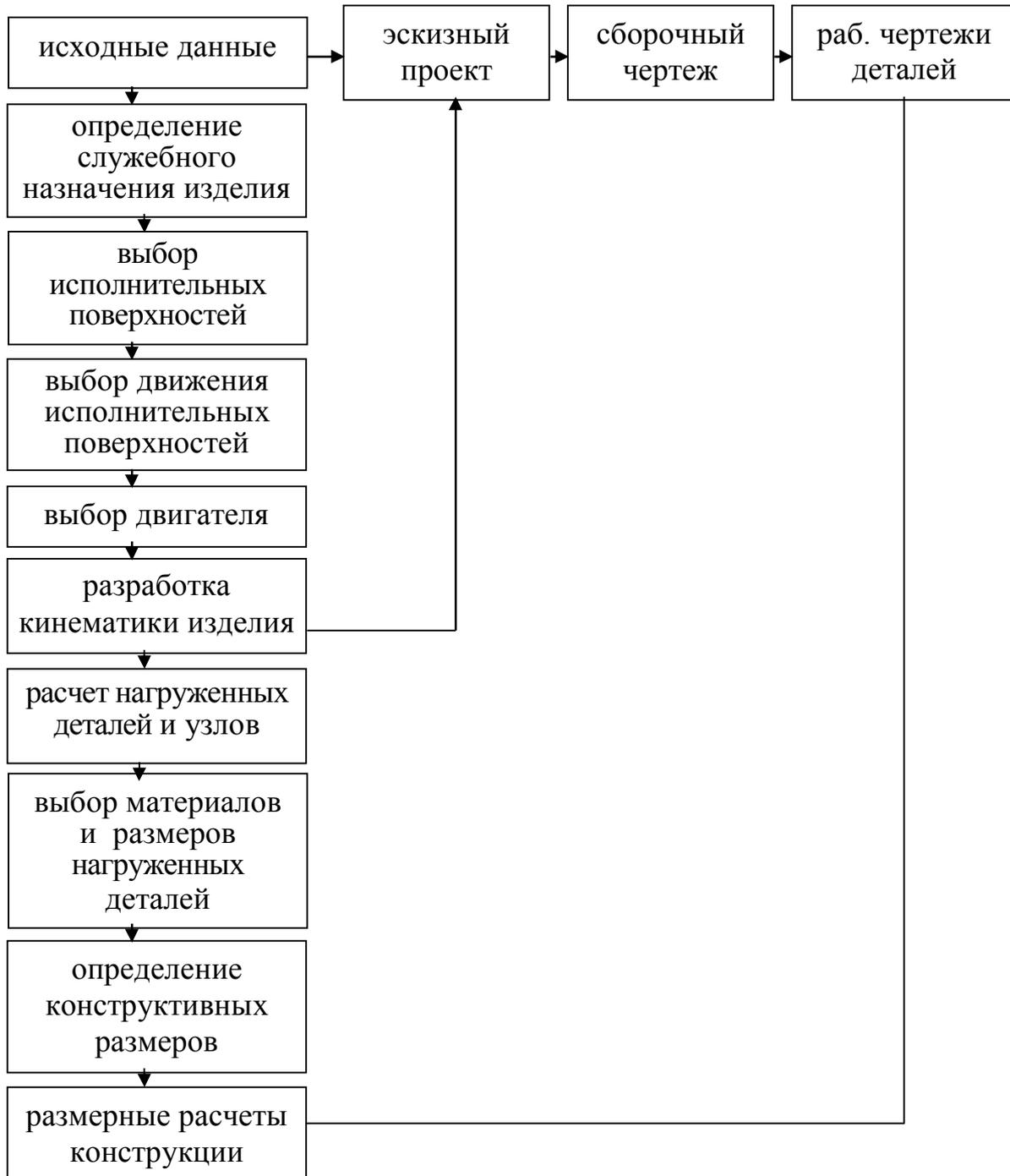


Рис. 4.1. Схема действие-результат (этапы конструкторской разработки)

Исходные данные:

- 1) техническое задание;
- 2) идея конструктора;
- 3) потребность общества;
- 4) обработка информации.

### Два вида связей в изделии

Точность изделия характеризуется величиной отклонений относительного движения и положения исполнительных поверхностей изделия и ее механизмов от теоретических, т.е. требуемых ее служебным назначением. В процессе изготовления изделия складывается два вида связей между исполнительными поверхностями изделия и ее механизмов.

1. **Кинематический вид связи**, образующий требуемое относительное движение исполнительных поверхностей изделия и ее механизмов.

2. **Размерный вид связи**, образующий требуемое положение исполнительных поверхностей изделия и ее механизмов.

Размерный вид связи делится на два подвида:

- 1) определяющий расстояния;
- 2) определяющий повороты поверхностей.

Расстояния между исполнительными поверхностями изделия образуются при помощи размеров, принадлежащих целому ряду деталей, на которые базируются детали, несущие исполнительные поверхности.

Величины относительных поворотов исполнительных поверхностей изделия обеспечиваются в каждой из координатных плоскостей надлежащими величинами поворотов поверхностей ряда деталей, на которые базируются детали, несущие исполнительные поверхности. Все размеры деталей, сбазированных на детали с исполнительными поверхностями включая и размер между ними, образуют замкнутый контур размеров, которые называется размерной цепью.

**Совокупность размеров, образующих замкнутый контур и участвующих в решении поставленной задачи называется размерной цепью** (рис. 4.2).

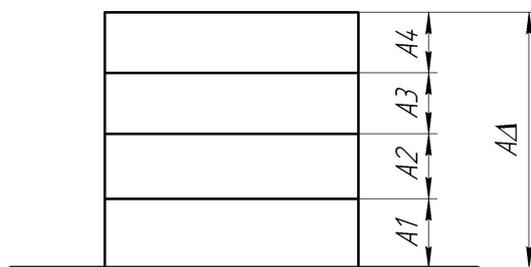


Рис. 4.2. Размерная цепь

Задача – построить башню определенной высоты (рис. 4.2). Размер башни  $A_{\Delta}$  складывается из 4 размеров кубиков  $A_1, A_2, A_3, A_4$ , размеры

кубиков от базы до базы образуют с размером между исполнительными поверхностями замкнутый контур, в котором все размеры можно рассчитать и увязать по точности.

Задачи, которые необходимо решать для достижения требуемой точности изделия, а также точности деталей в процессе изготовления и измерения, сводятся к нахождению, рассмотренных видов связей или к их созданию и к управлению ими в требуемом направлении.

#### 4.1. Основы базирования

С вопросами базирования вплотную приходится сталкиваться:

- 1) при разработке конструкции изделия и при сборке;
- 2) при обработке детали на станке, когда необходимо установить деталь в приспособление, закрепить и обработать с определенной точностью;
- 3) при установке на станок приспособлений и режущего инструмента;
- 4) при измерении всех точностных параметров детали.

Совокупность элементарных поверхностей, связанных между собой определенным образом, образует геометрическую структуру изделия. Элементарные поверхности в изделии координируются от других поверхностей, которые называются базирующими, а сам процесс координирования называется базированием. Для координирования положения поверхностей используются два вида координат – линейные и угловые, проставленные от базы они называются размерными связями или размерами, если проставлены на чертеже.

По своей принадлежности к той или иной геометрической структуре размеры и соответствующие им базы носят название:

- 1) конструкторские базы и размеры;
- 2) технологические базы и размеры;
- 3) измерительные базы и размеры.

1. **Конструкторские базы** – поверхности, которые используются для определения положения поверхностей и деталей изделия при разработке конструкции.

Конструкторские размеры определяют взаимное положение поверхностей и осей относительно конструкторской базы.

Конструкторские базы бывают основные и вспомогательные.

Основные конструкторские базы – это поверхности, которыми деталь базируется в общей сборке. Вспомогательные базы – это поверхности, на которые базируются другие детали.

2. **Технологические базы** – это поверхности, от которых определяются положение поверхностей в процессе обработки.

Технологические размеры назначаются для изготовления детали и контроля (измерительные размеры) от технологических баз.

3. **Измерительные базы** – поверхности, которые используются для контроля положения данных поверхностей.

Существует принцип единства баз, который гласит: необходимо стремиться к тому, чтобы конструкторские, технологические и измерительные базы совпадали, в этом случае будет минимальная погрешность изготовления.

#### 4.1.1. Полное базирование твердого тела

Из теоретической механики известно, что каждое свободное тело имеет 6 степеней свободы в трех координатной системе, 3 – перемещения вдоль координатных осей, 3 – вращения вокруг этих осей. При любом варианте применяемых координатных связей, каждая из них лишает тело одной степени свободы.

**Основное правило базирования:** для полного базирования свободного тела необходимо и достаточно связать его поверхности шестью координатными связями с трех координатной системой.

Наличие координатных связей более шести не только не нужно, но и вредно, так как возникает неопределенность базирования.

#### Базирование призмы

Классическая схема базирования призмы представлена на рис. 4.3.

По этой схеме базируются корпусные детали, платформы, крышки кронштейны или в сочетании с другими схемами базирования.

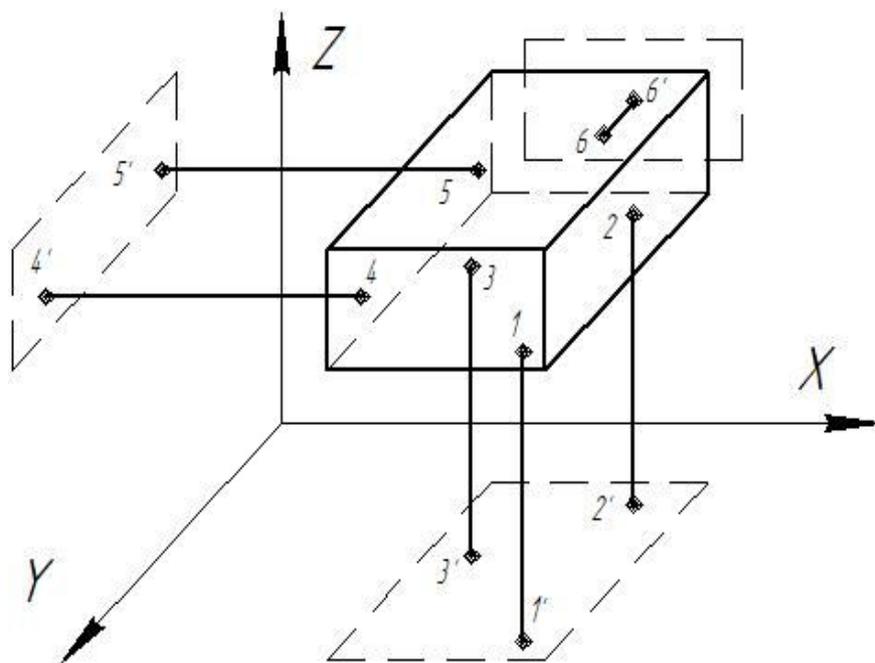


Рис. 4.3. Схема базирования призмы

Координаты точек	Лишенные степени свободы		Количество лишенных степеней свободы
	перемещения	вращения	
1 – 1'; 2 – 2'; 3 – 3'	по Z	относительно оси OX; OY	3
4 – 4'; 5 – 5';	по X	относительно оси OZ	2
6 – 6'	по Y		1
	3	3	6

Поверхность, на которой можно разместить 3 точки и которая лишает тело 3-х степеней свободы, называется – *установочной*.

Поверхность, на которой можно разместить 2 точки и которая лишает тело 2-х степеней свободы, называется – *направляющей*.

Поверхность, на которой размещается 1 точка и которая лишает тело одной степени свободы, называется – *опорной*.

### Базирование длинного цилиндра

По схеме длинного цилиндра базируются валы, втулки, крышки и другие детали (рис. 4.2).

Длинным считается цилиндр, если на его оси можно разместить 2 точки, удаленные друг от друга.

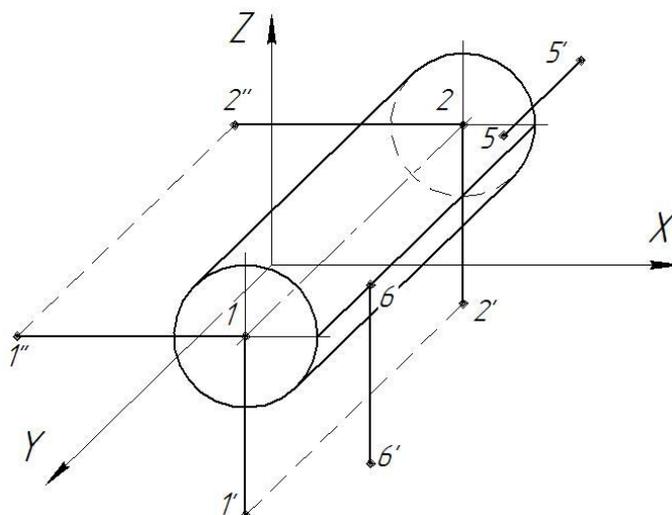


Рис. 4.2. Схема базирования длинного цилиндра

Координаты точек	Лишенные степени свободы		Количество лишенных степеней свободы
	перемещения	вращения	
1 – 1', 2 – 2'	по Z	относительно оси OX	2
1 – 1''; 2 – 2''	по X	относительно оси OZ	2
2 – 5'	по Y		1
6 – 6'		относительно оси OY	1
	3	3	6

Цилиндрическая поверхность в технологии машиностроения называется двойной направляющей, и лишает деталь 4 степени свободы.

### Базирование короткого цилиндра

По схеме короткого цилиндра базируются детали типа дисков, крышек, прокладок и др. Короткий цилиндр используется для центрирования в других схемах базирования (рис. 4.3).

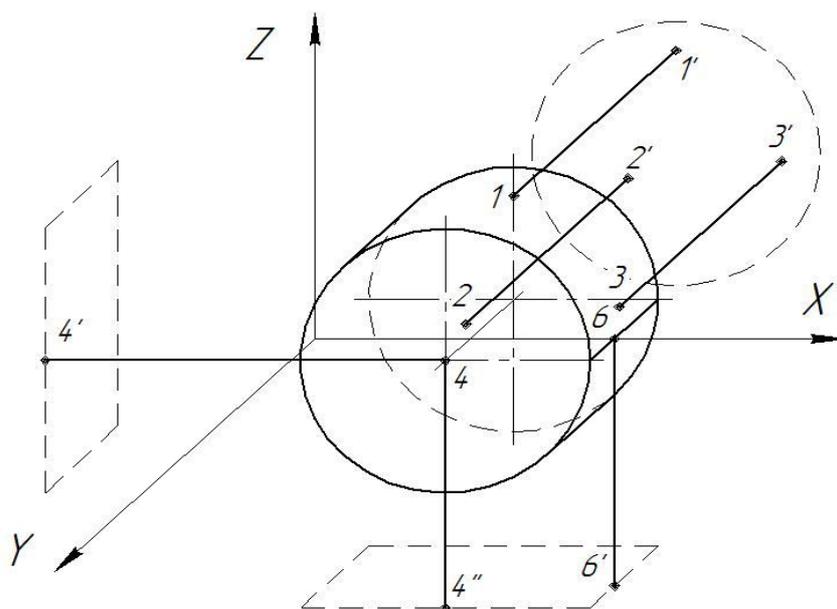


Рис. 4.3. Схема базирования короткого цилиндра

Координаты точек	Лишенные степени свободы		Количество лишенных степеней свободы
	перемещения	вращения	
1-1'; 2-2'; 3-3'	по $Y$	относительно оси $OX$ ; $OZ$	3
4-4'; 4-4''	по $X$ ; $Z$		2
6-6'		относительно оси $OY$	1
	3	3	6

## 5. ВИДЫ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ

Размерные цепи бывают **конструкторские** (сборочные); **технологические**; **измерительные**.

**Конструкторские (сборочные) размерные цепи** – это размерные цепи, связывающие при сборке изделия исполнительные поверхности (рис. 5.1).

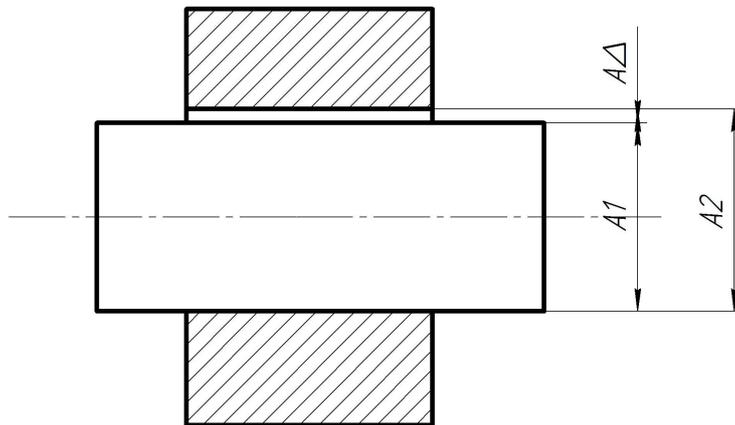
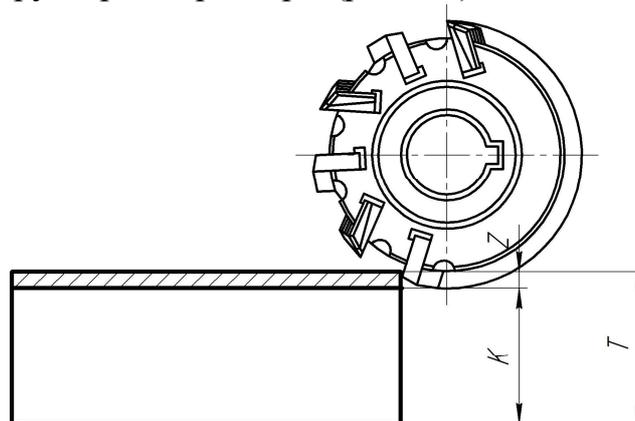


Рис. 5.1. Конструкторская размерная цепь (посадка):  
 $A_1$  – диаметр вала;  $A_2$  – диаметр отверстия;  $A_\Delta$  – зазор или натяг в посадке.

**Технологические размерные цепи** делятся на два вида:

1) **технологические сборочные**, связывающие обрабатываемый размер и размерные цепи станка, приспособления и инструмента при помощи которых он получается.

2) **чисто технологические**, связывающие межпереходные размеры, припуски и конструкторские размеры (рис. 5.2).



$Z$  – припуск, замыкающее звено размерной цепи  
 $K$  – конструкторский размер  
 $T$  – технологический размер

Рис. 5.2. Технологическая размерная цепь

**Измерительные размерные цепи** – цепи, при помощи которых осуществляется измерение величин, характеризующих точность деталей или изделия (рис. 5.3).

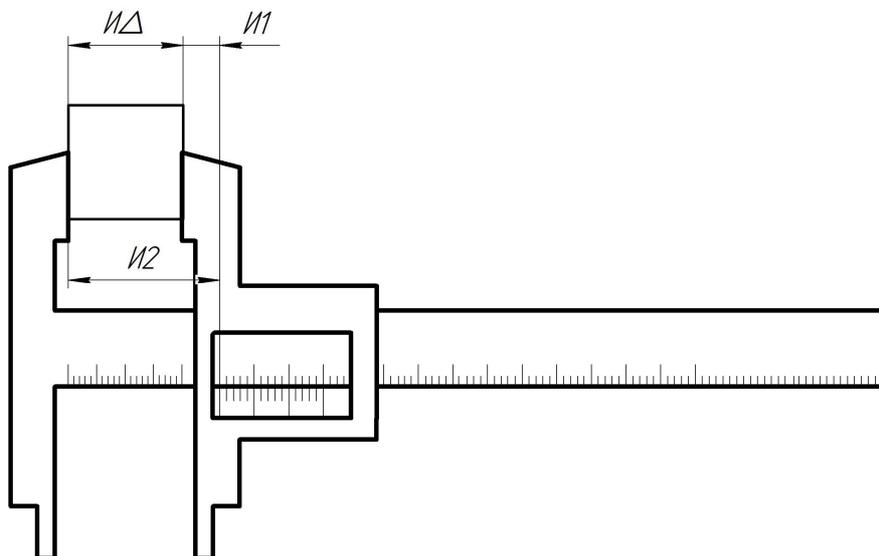


Рис. 5.3. Измерительная размерная цепь

Задачи, которые необходимо решать для достижения требуемой точности изделия, а также точности деталей в процессе изготовления и измерения, сводятся к нахождению, рассмотренных видов связей или к их созданию и к управлению ими в требуемом направлении.

### 5.1. Основные понятия и определения теории размерных цепей

Размеры в размерной цепи называются звеньями.

Существует 4 вида звеньев:

1. **Исходное звено** – звено размерной цепи, которое возникает в результате постановки задачи. Обозначаются исходные звенья заглавной буквой русского алфавита с индексом  $\Delta$  –  $A_{\Delta}$ ,  $B_{\Delta}$ . Исходное звено всегда задается числовым значением.

2. **Замыкающее звено** – звено размерной цепи, которое получается последним в результате решения поставленной задачи и обозначается заглавной буквой русского алфавита с индексом  $A_{\Delta}$ ,  $B_{\Delta}$ ,  $V_{\Delta}$ , и т.д.

Замыкающие звенья не задаются числовым значением, а рассчитываются по известным составляющим звеньям.

3. **Составляющие звенья** – это звенья размерной цепи, с изменением размера которых изменяется размер замыкающего звена. Состав-

ляющие звенья обозначаются заглавными буквами русского алфавита с индексами 1, 2, 3 и т.д. т.е.  $A_1, B_2, B_3$  и т.д. Составляющие звенья, в свою очередь, могут быть:

а) **увеличивающие** – когда с увеличением размера звена увеличивается замыкающее звено;

б) **уменьшающие** – когда с увеличением размера звена уменьшается замыкающее звено.

4. **Компенсирующее звено** – это одно из составляющих звеньев, изменением размера которого достигается точность исходного звена в процессе сборки.

Размерные цепи бывают: линейные, плоские и пространственные.

**Линейная** размерная цепь, звенья которой расположены в одной плоскости и параллельны между собой.

**Плоская** размерная цепь, звенья которой расположены в одной или нескольких параллельных плоскостях.

**Пространственная** размерная цепь, звенья которой расположены в непараллельных плоскостях.

## 5.2. Расчет линейных размерных цепей

Параметры каждого звена размерной цепи. Каждое звено размерной цепи имеет несколько параметров (рис. 5.4).

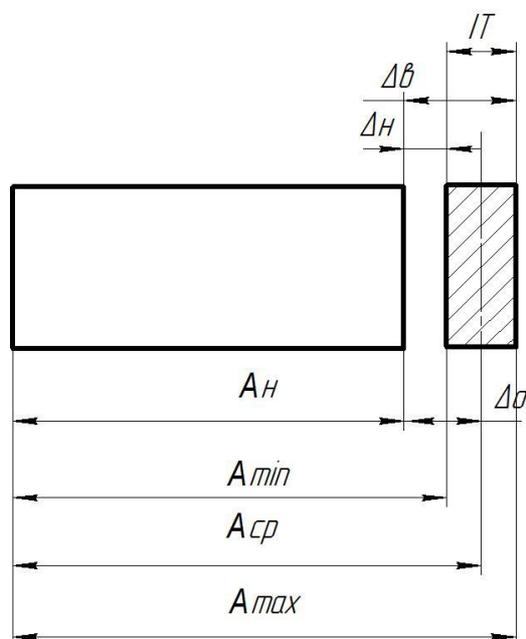


Рис. 5.4. Параметры звена размерной цепи

$A$  – номинальный размер – размер, принятый за начало отсчета отклонений;

$IT$  – поле допуска;

$A_{\min}$  – минимальный предельный размер;

$A_{\max}$  – максимальный предельный размер;

$A_{\text{ср}}$  – средний размер;

$\Delta_{\text{н}}$  – нижнее предельное отклонение;

$\Delta_{\text{в}}$  – верхнее предельное отклонение;

$\Delta_0$  – среднее отклонение, координата середины поля допуска.

Соотношения между параметрами (рис. 5.4):

$$A_{\text{ср}} = A + \Delta_0;$$

$$IT = \Delta_{\text{в}} - \Delta_{\text{н}};$$

$$\Delta_0 = 1/2 (\Delta_{\text{в}} + \Delta_{\text{н}});$$

$$A_{\text{пред}} = A_{\text{ср}} \pm IT/2;$$

$$A_{\text{пред}} = A_{\text{ср}} \pm IT/2;$$

$$A_{\max} = A + \Delta_0 + IT/2;$$

$$A_{\min} = A + \Delta_0 - IT/2.$$

### 5.3. Основное уравнение размерной цепи

Расчет плоских и пространственных размерных цепей может быть сведен к расчету линейных размерных цепей с параллельными звеньями, если спроектировать звенья размерной цепи на координатные оси (рис. 5.5).

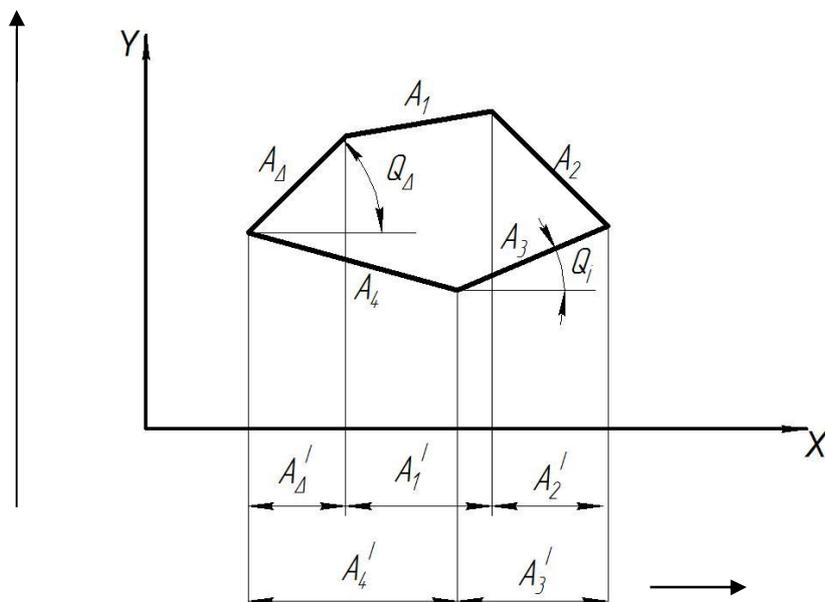


Рис. 5.5. Плоская размерная цепь

Плоская размерная цепь представляет собой замкнутый многоугольник размеров:

$A_i$  – составляющие звенья;

$A_{\Delta}$  – замыкающее звено;

$A_i^1$  – проекции составляющих звеньев на ось  $X$ ;

$A_{\Delta}^1$  – проекция замыкающего звена на ось  $X$ ;

$\theta_{\Delta}$  – угол между замыкающим звеном и осью  $X$ ;

$\theta_i$  – угол между составляющим звеном и осью  $X$ .

В замкнутом контуре геометрическая сумма всех звеньев равна нулю.

$$\boxed{A_{\Delta}} = \sum_{i=1}^n \boxed{A_i} = 0 \text{ – основное уравнение размерной цепи, } n \text{ – количество составляющих звеньев.}$$

Для решения уравнения проектируем многоугольник на координатные оси  $X$  и  $Y$ . Уравнения проекций будут алгебраическими.

По оси  $X$ :

$$A_{\Delta} \cdot \cos \theta_{\Delta} + \sum_{i=1}^n A_i \cdot \cos \theta_i = 0.$$

По оси  $Y$ :

$$A_{\Delta} \cdot \sin \theta_{\Delta} + \sum_{i=1}^n A_i \cdot \sin \theta_i = 0.$$

В линейных размерных цепях с параллельными звеньями угол  $\theta$  равен  $0^\circ$  или  $180^\circ$ ;  $\sin \theta = 0$ , а  $\cos \theta = +1; -1$ .

Уравнение проекций на ось  $Y$  теряет смысл, а в уравнении на ось  $X$   $\cos \theta$  называется передаточным отношением и обозначается  $\xi$ , принимая значение  $\xi = \pm 1$  характеризует направленность влияния составляющего звена на замыкающее.

Основное уравнение линейной размерной цепи по средним размерам (как постоянным размерам) получается таким:

$$\xi A_{\Delta}^{\text{cp}} + \sum_{i=1}^n \xi A_i^{\text{cp}} = 0;$$

$$A_{\text{cp}} = A_{\text{н}} + \Delta_0.$$

Основное уравнение расписывается на два уравнения:

**1) уравнение номиналов**

$$\xi A_{\Delta \text{н}} + \sum_{i=1}^n \xi A_{i \text{н}} = 0;$$

**2) уравнение средних отклонений**

$$\xi\Delta_{\Delta} + \sum_{i=1}^n \xi\Delta_i = 0;$$

**3) уравнение допусков**

$$IT_{\Delta} = \sum_{i=1}^n |IT_i|.$$

Допуск замыкающего звена равен сумме допусков составляющих звеньев по абсолютной величине.

## 6. ВИДЫ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ (МЕТОДЫ ДОСТИЖЕНИЯ ТОЧНОСТИ ЗАМЫКАЮЩИХ ЗВЕНЬЕВ)

Точность замыкающих звеньев достигается двумя методами:

- 1) методом полной взаимозаменяемости;
- 2) методом неполной взаимозаменяемости.

**Полная взаимозаменяемость** – это свойство независимо изготовленных с заданной точностью деталей и сборочных единиц обеспечивать возможность беспригонной сборки или замене при ремонте сопрягаемых деталей и сборочных единиц при соблюдении предъявляемых к изделию требований.

Условие достижения точности замыкающего звена при полной взаимозаменяемости следующее:  $IT_{\text{и}} \geq IT_{\Delta}$ .

Допуск исходного звена больше или равен допуску замыкающего звена, при этом допуск замыкающего звена рассчитывается на max-min по формуле

$$IT_{\Delta} = \sum |IT_i|. \quad (6.1)$$

Достоинства метода полной взаимозаменяемости:

- 1) упрощается процесс сборки;
- 2) сборочный процесс точно нормируется;
- 3) упрощается ремонт.

Полная взаимозаменяемость применяется в несложных изделиях невысокой точности с небольшим количеством звеньев.

**Неполная взаимозаменяемость** – в ряде случаев, когда нецелесообразно или технически трудно выполнимо изготовление деталей высокой точности, применяют неполную взаимозаменяемость, при которой по отдельным параметрам точность достигается следующими способами:

- 1) способ группового подбора (селективная сборка);
- 2) метод компенсации (доводка, пригонка);
- 3) способ регулирования.

Условие достижения точности замыкающего звена при неполной взаимозаменяемости следующее:  $IT_{\text{и}} \leq IT_{\Delta}$ .

Допуск исходного звена меньше или равен допуску замыкающего звена, при этом допуск замыкающего звена рассчитывается на max-min или вероятностным способом.

$$IT_{\Delta} = \sum_{i=1}^n |IT_i| - \text{расчет на max-min.}$$

$$IT = \sqrt{\sum_{i=1}^n k_i^2 \cdot IT_i^2} - \text{расчет вероятностным методом,}$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий способ распределения погрешности,  $k=1,2$ , если способ распределения не известен,  $k=1,7$  для несоосностей.

### Способ группового подбора

Способ группового подбора применяется в основном в посадках и заключается в следующем: детали изготавливаются со сравнительно широкими технологически выполнимыми допусками, а затем сортируются на группы с более узкими групповыми допусками и сборка осуществляется только деталей определенных групп (рис. 6.1).

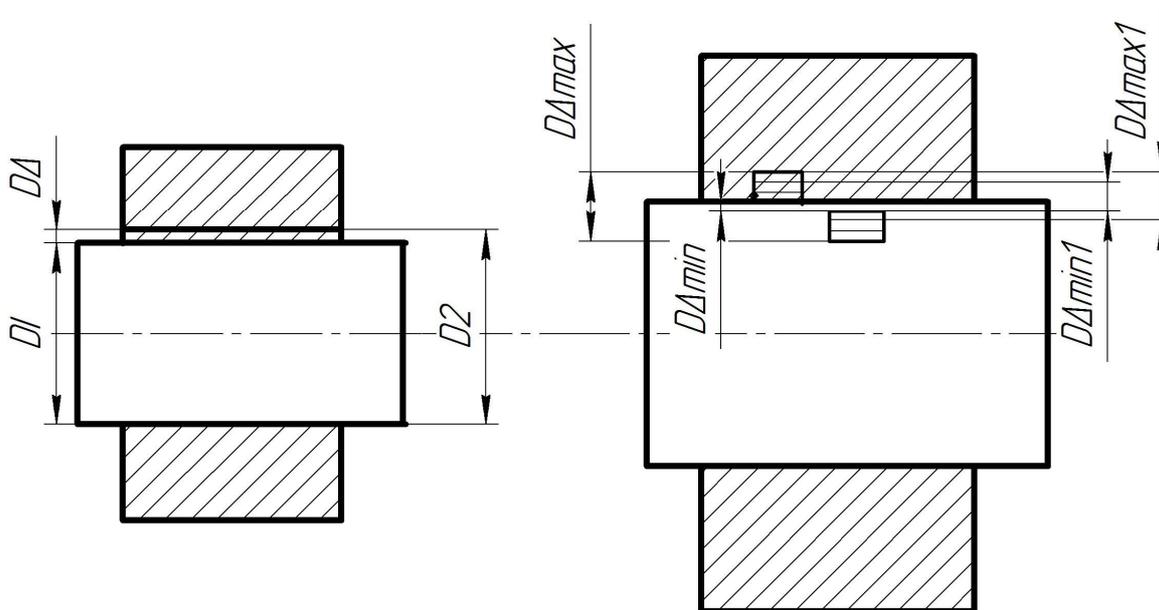


Рис. 6.1. Метод подбора при неполной взаимозаменяемости

$IT_{\Delta} = IT_{D_1} + IT_{D_2}$  – допуск зазора при широких полях допусков.

$IT_{\Delta 1} = D_{\Delta \max 1} - D_{\Delta \min 1}$  – допуск зазора первой группы.

$IT_{\Delta} > IT_{\Delta 1}$  в 3 раза или в  $n$  раз,  $n$  – число групп, на которые делятся поля допусков.

**Достоинства** селективной сборки: в  $n$  раз повышается точность сборки без уменьшения допуска на изготовление.

**Недостатки** селективной сборки:

- 1) усложняется контроль, необходима сортировочная машина или контролер;
- 2) растет трудоемкость сборки.

Применяется селективная сборка в основном при обеспечении внутренней взаимозаменяемостью. Целесообразна селективная сборка в массовом и крупносерийном производстве, когда дополнительные затраты на сортировку окупаются высоким качеством соединений.

### **Способ компенсации**

При этом способе точность замыкающего звена достигается путем изменения на необходимую величину одного из составляющих звеньев, которое называется звено-компенсатор.

Звено-компенсатор выбирается из составляющих звеньев, оно должно находиться в конце сборки и легко обрабатываться.

Величина компенсации определяется по формуле

$$IT_k = IT_{\Delta} - IT_{и}. \quad (6.2)$$

Компенсируется разность допуска замыкающего и исходного звеньев. Изменение величины звена-компенсатора производится путем снятия необходимого слоя металла или наращивания, в этом случае компенсаторы неподвижны.

*Преимущество* способа пригонки – возможность достижения высокой точности исходного звена при экономически приемлемых величинах допусков составляющих звеньев.

*Недостатки* способа компенсации – требуются трудоемкие пригоночные работы, увеличивается трудоемкость и цикл сборки, и возникают трудности при замене быстро изнашиваемых деталей. Применяется этот способ в мелкосерийном производстве.

### **Способ регулирования**

Точность исходного звена достигается путем перемещения одной поверхности звена-компенсатора относительно другой за счет специальных регулирующих устройств.

Способ регулирования позволяет достигать высокой точности исходного звена и поддерживать ее во время эксплуатации при экономически достижимых допусках составляющих звеньев.

*Недостатки* способа регулирования – значительно усложняется конструкция изделия и сборка, увеличивается число деталей в изделии.

## 7. РАЗМЕРНЫЕ РАСЧЕТЫ СБОРОЧНОЙ ЕДИНИЦЫ

### 7.1. Анализ работы сборочной единицы «вал в сборе»

Шестерня 4 вращается вместе с валом 1, в подшипниках 6, на которые базируется корпус 3. Втулка 2, закрепленная на валу служит для исключения возможности осевого перемещения подшипников. Шестерня и втулка на валу крепятся с помощью штифтов 7 (рис. 7.1). Схема сборки сборочной единицы представлена на рис. 7.2.

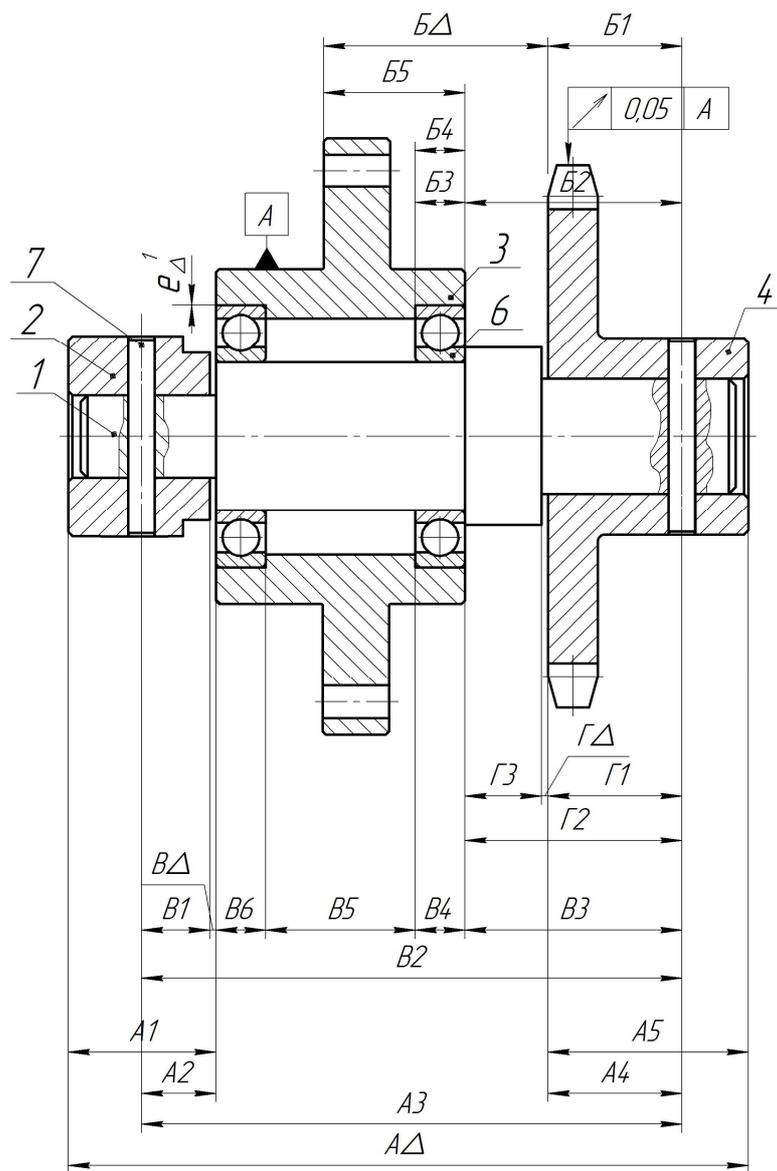


Рис. 7.1. «Вал в сборе»

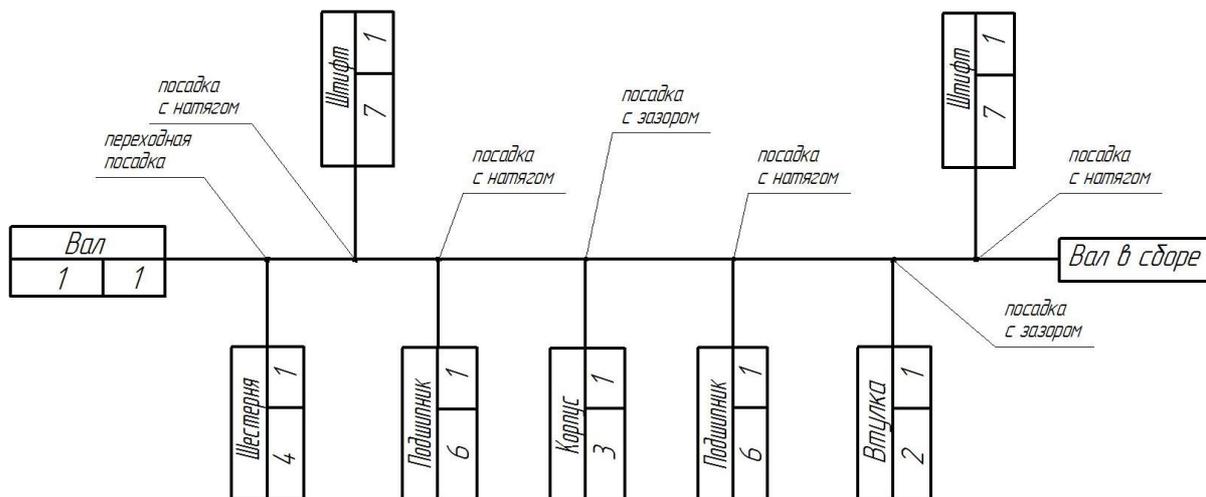


Рис. 7.2. Схема сборки сборочной единицы

## 7.2. Анализ базирования деталей сборочной единицы

Анализируется базирование основных деталей сборки при помощи основного правила базирования.

Базирование деталей сборки в радиальном направлении осуществляется в основном по длинному цилиндру, а в осевом – по упору.

Результаты анализа базирования сведены в табл. 7.1.

Таблица 7.1

### Анализ базирования деталей в сборке

№ поз.	Базиремая деталь	№ поз.	База	Базирование в осевом направлении		Базирование в радиальном направлении	
				Схема базирования	Число лишней степеней свободы	Схема базирования	Число лишней степеней свободы
6	Подшипник	1	Вал	Опора	1	Длинный цилиндр	4
3	Корпус	6	Подшипник	Опора	1	Длинный цилиндр	4
6	Подшипник	1	Вал	Опора	1	Длинный цилиндр	4
4	Шестерня	1	Вал	Штифт	2	Длинный цилиндр	4
2	Втулка	1	Вал	Штифт	2	Длинный цилиндр	4

## Определение замыкающих звеньев сборки

Построение размерной цепи начинают с замыкающего звена, предварительно проанализировав базирование деталей, между которыми находится замыкающее звено. Например, осевой люфт – замыкающее звено между подшипником и втулкой. Подшипник и втулка между собой не базируются, а занимают определенное положение по оси  $x$  через базирование в корпус и на вал соответственно, корпус на второй подшипник, подшипник на вал. Таким образом, каждое звено размерной цепи должно быть размером между базирующими поверхностями. В этом случае цепь будет оптимальной, так как в ней от каждой детали присутствует по одному размеру.

Сборка диаметральных поверхностей не меняет их размеров, а в результате нее происходит смещение осей этих поверхностей. Эти смещения и будут замыкающими звеньями в радиальном направлении. Содержание замыкающих звеньев и методы достижения их точности сведены в табл. 7.2, 7.3.

Таблица 7.2

Таблица замыкающихся звеньев в осевом направлении

Индекс	Содержание звена	Метод достижения точности	Числовое значение, мм
A ↕	Габаритный размер	Полная взаимозаменяемость	390 <sup>+0.6</sup> <sub>-2.21</sub>
B ↕	Положение шестерни относительно корпуса	Полная взаимозаменяемость	85 <sup>+1.18</sup> <sub>-0.85</sub>
B ↕	Зазор между втулкой и подшипником	Не полная взаимозаменяемость (Метод компенсации)	0 <sup>+104</sup> <sub>-0.8</sub>
Г ↕	Зазор между шестерней и валом	Не полная взаимозаменяемость (Метод компенсации)	0 <sup>+0.6</sup> <sub>-0.35</sub>

Таблица 7.3

Таблица замыкающих звеньев в радиальном направлении

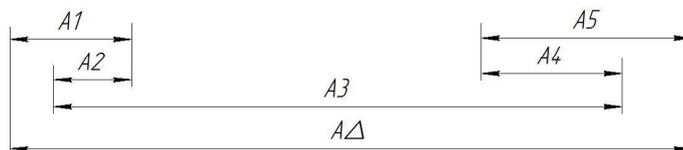
Индекс	Содержание звена	Метод достижения точности	Числовое значение, мм
$e_{\Delta}^1$	Нарушение посадки корпуса и подшипника	Полная взаимозаменяемость	0.151
$e_{\Delta}^2$	Биение шестерни относительно посадочной поверхности корпуса	Полная взаимозаменяемость	0.288

Расчет линейных размерных цепей методом полной взаимозаменяемости.

1. Решение обратной задачи.

По заданным номинальным размерам, допускам и предельным отклонениям составляющих звеньев A1, A2, A3, A4, A5.

Определить номинальный размер, допуск и предельные размеры замыкающего звена AΔ.



Расчетная таблица

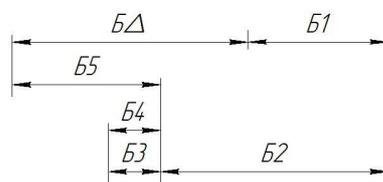
Индекс	Пред. размер, мм	Допуск, мм	Средн. откл., мм	Средн. размер, мм
A1	70 <sup>-0.74</sup>	0.74	-0.37	69.63
A2	45 <sup>+0.15</sup>	0.3	0	45
A3	325 <sup>+0.3</sup>	0.6	0	325
A4	80 <sup>+0.15</sup>	0.3	0	80
A5	120 <sup>-0.87</sup>	0.87	-0.435	119.565
AΔ	390 <sup>+0.6</sup> -2.21	2.81	-0.805	389.195

Последовательность расчетов при решении обратной задачи

Содержание этапа	Формула	Расчет
1. Формулировка задачи, выделение замыкающего звена.	Определение габаритного размера сборки.	
2. Составление схемы размерной цепи и определение знака звена.		
3. Составление основного уравнения размерной цепи и расчет номинального размера замыкающего звена.	$\xi A_{\Delta} + \sum_{i=1}^n \xi A_{iH} = 0$	$A_1 - A_2 + A_3 - A_4 + A_5 - A_{\Delta} = 0$ $A_{\Delta} = A_1 - A_2 + A_3 - A_4 + A_5$ $A_{\Delta} = 70 - 45 + 325 - 80 + 120 = 390$
4. Расчет величины поля допуска замыкающего звена.	$IT_{\Delta} = \sum IT_i$	$IT_{\Delta} = IT_1 + IT_2 + IT_3 + IT_4 + IT_5$ $IT_{\Delta} = 0.74 + 0.3 + 0.6 + 0.3 + 0.87 = 2.81$
5. Расчет среднего отклонения поля допуска замыкающего звена.	$\xi \Delta_{\Delta} + \sum_{i=1}^n \xi \Delta_i = 0$	$\Delta_1 - \Delta_2 + \Delta_3 - \Delta_4 + \Delta_5 - \Delta_{\Delta} = 0$ $\Delta_{\Delta} = \Delta_1 - \Delta_2 + \Delta_3 - \Delta_4 + \Delta_5$ $\Delta_{\Delta} = (-0.37) - 0 + 0 + (-0.435) = -0.805$
6. Определение предельных отклонений и предельных размеров замыкающего звена.	$A_{\Delta}^{np} = A_{\Delta H} + \Delta_{\Delta} \pm \frac{IT_{\Delta}}{2}$	$A_{max} = 390 + (-0.805) + \frac{2.81}{2} = 390.6$ $A_{min} = 390 + (-0.805) - \frac{2.81}{2} = 387.79$

## 2. Решение прямой задачи.

По заданным номинальному размеру и допуску (отклонениям) исходного звена  $B_5$ . Определить номинальные размеры, допуски и предельные размеры всех составляющих звеньев размерной цепи  $B_1, B_2, B_3, B_4, B_5$ .



Поскольку решить уравнение с пятью неизвестными невозможно, поэтому назначают экономически целесообразные размеры с допусками на все составляющие звенья размерной цепи, кроме одного, который и рассчитывается по уравнениям.

Расчетная таблица

Индекс	Пред. размер, мм	Допуск, мм	Средн. откл., мм	Средн. размер, мм
$B_5$	$135 \pm 0.6$	1.2	0	135
$B_1$	$80 \pm 0.15$	0.3	0	80
$B_2$	$130 \pm 0.2$	0.4	0	130
$B_3$	$30_{-0.12}$	0.12	-0.06	29.94
$B_4$	$30_{+0.21}$	0.21	+0.105	30.105
$B_5$	$85_{+0.25, -0.08}$	0.17	+0.165	85.165

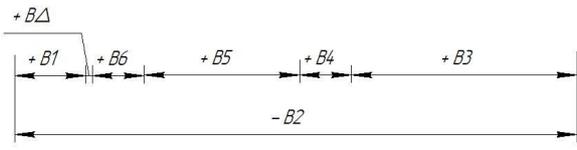
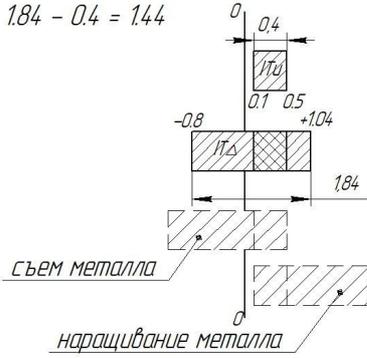
Последовательность расчетов при решении прямой задачи

Содержание этапа	Формула	Расчет
1. Формулировка задачи, выделение исходного звена, установление его номинального размера, предельных отклонений и допуска.		Определение размера, определяющего положение шестерни относительно корпуса.
2. Составление схемы размерной цепи и определение знака звена.		
3. Составление основного уравнения размерной цепи и расчет номинального размера замыкающего звена.	$\xi B_{\Delta} + \sum_{i=1}^n \xi B_i = 0$	$B_5 + B_1 - B_2 - B_3 + B_4 - B_5 = 0$ $B_5 = B_5 + B_1 - B_2 - B_3 + B_4$ $B_5 = 135 + 80 - 130 - 30 + 30 = 85$
4. Расчет величины поля допуска замыкающего звена.	$IT_{\Delta} = \sum IT_i$	$IT_5 = IT_{\Delta} - (IT_1 + IT_2 + IT_3 + IT_4)$ $IT_5 = 1.2 - 0.3 + 0.4 + 0.12 + 0.21 = 0.17$
5. Расчет среднего отклонения поля допуска замыкающего звена.	$\xi \Delta_{\Delta} + \sum_{i=1}^n \xi \Delta_i = 0$	$\Delta_{\Delta} + \Delta_1 - \Delta_2 - \Delta_3 + \Delta_4 - \Delta_5 = 0$ $\Delta_5 = \Delta_{\Delta} + \Delta_1 - \Delta_2 - \Delta_3 + \Delta_4$ $\Delta_5 = 0 + 0 - 0 - (-0.06) + 0.105 = +0.165$
6. Определение предельных размеров замыкающего звена.	$B_5^{ps} = B_5 + \Delta_5 \pm \frac{IT_5}{2}$	$B_{\max 5} = 85 + 0.165 + 0.17/2 = 85.25$ $B_{\min 5} = 85 + 0.165 - 0.17/2 = 85.08$

## Расчетная таблица

Индекс	Пред. размер, мм	Допуск, мм	Средн. откл., мм	Средн. размер, мм
$B_1$	$45 \pm 0.15$	0.3	0	45
$B_2$	$325 \pm 0.3$	0.6	0	325
$B_3$	$130 \pm 0.2$	0.4	0	130
$B_4$	$30_{-0.12}$	0.12	-0.06	29.94
$B_5$	$90 \pm 0.15$	0.3	0	90
$B_6$	$30_{-0.12}$	0.12	-0.06	29.94
$B_{\Delta}$	$0_{-0.8}^{+1.04}$	1.84	+0.12	0.12

### Последовательность расчетов при решении задачи методом компенсации

Содержание этапа	Формула	Расчет
1. Формулировка задачи, выявление исходного звена, установление его номинального размера, предельных отклонений и значения допуска.		Определить величину зазора между подшипником и втулкой
2. Выявление составляющих звеньев цепи. 3. Построение схемы размерной цепи и определение знака звена. 4. Назначение номинальных размеров, допусков и предельных отклонений на размеры составляющих звеньев цепи. Составление основного уравнения размерной цепи и его расчет.	$\xi B_{\Delta n} + \sum_{i=1}^n \xi B_{in} = 0$	 $B_{\Delta} + B_1 + B_3 + B_4 + B_5 + B_6 - B_2 = 0$ $B_{\Delta} = B_2 - B_1 - B_3 - B_4 - B_5 - B_6$ $B_{\Delta} = 325 - 45 - 130 - 30 - 90 - 30 = 0$
5. Расчет величины поля допуска замыкающего звена.	$IT_{\Delta} = \sum IT_i$	$IT_{\Delta} = IT_1 + IT_2 + IT_3 + IT_4 + IT_5 + IT_6$ $IT_{\Delta} = 0.3 + 0.6 + 0.4 + 0.12 + 0.3 + 0.12 = 1.84$
6. Расчет среднего отклонения поля допуска замыкающего звена.	$\xi \Delta_{\Delta} + \sum_{i=1}^n \xi \Delta_i = 0$	$\Delta_{\Delta} + \Delta_1 + \Delta_3 + \Delta_4 + \Delta_5 + \Delta_6 - \Delta_2 = 0$ $\Delta_{\Delta} = \Delta_2 - \Delta_1 - \Delta_3 - \Delta_4 - \Delta_5 - \Delta_6$ $\Delta_{\Delta} = 0 - 0 - 0 - (-0.06) - 0 - (-0.06) = +0.12$
7. Определение предельных размеров замыкающего звена.	$B_{\Delta}^{пр} = B_{\Delta n} + \Delta_{\Delta} \pm \frac{IT_{\Delta}}{2}$	$B_{max} = 0 + 0.12 + \frac{1.84}{2} = 1.04$ $B_{min} = 0 + 0.12 - \frac{1.84}{2} = -0.8$
8. Определение величины компенсации.	$IT_k = IT_{\Delta} - IT_{u.з}$	$IT_k = 1.84 - 0.4 = 1.44$ 

## **8. ОСНОВЫ ДОСТИЖЕНИЯ КАЧЕСТВА ДЕТАЛЕЙ ИЗДЕЛИЯ**

### **8.1. Принципы и порядок проектирования технологических процессов**

В основу проектирования технологических процессов положены два принципа:

1. Первый принцип технический – технологический процесс должен обеспечивать качество изделия.

2. Второй принцип экономический – технологический процесс должен обеспечивать минимальную себестоимость изделия.

Порядок проектирования технологических процессов представляется в виде схемы, которая называется действие-результат; по вертикали в строгой последовательности расположены действия технолога, а по горизонтали – результат этих действий, т.е. технологические документы (рис. 8.1). Исходными данными для проектирования технологических процессов являются:

- 1) рабочий чертеж детали;
- 2) программа выпуска;
- 3) справочная и нормативная литература.

Проектирование проводится с использованием программ САПР ТП и часть вопросов решается в автоматическом режиме (выбор режимов резания, нормирование технологического процесса) обозначим буквой (П – программа); часть вопросов технолог решает самостоятельно (анализ чертежа детали, определение структуры техпроцесса, расчет припусков и технологических размеров) обозначим буквой (Т); а часть вопросов разрабатывается технологом с использованием баз данных программы САПР ТП (выбор заготовки, выбор оборудования и технологической оснастки) обозначим (П+Т).

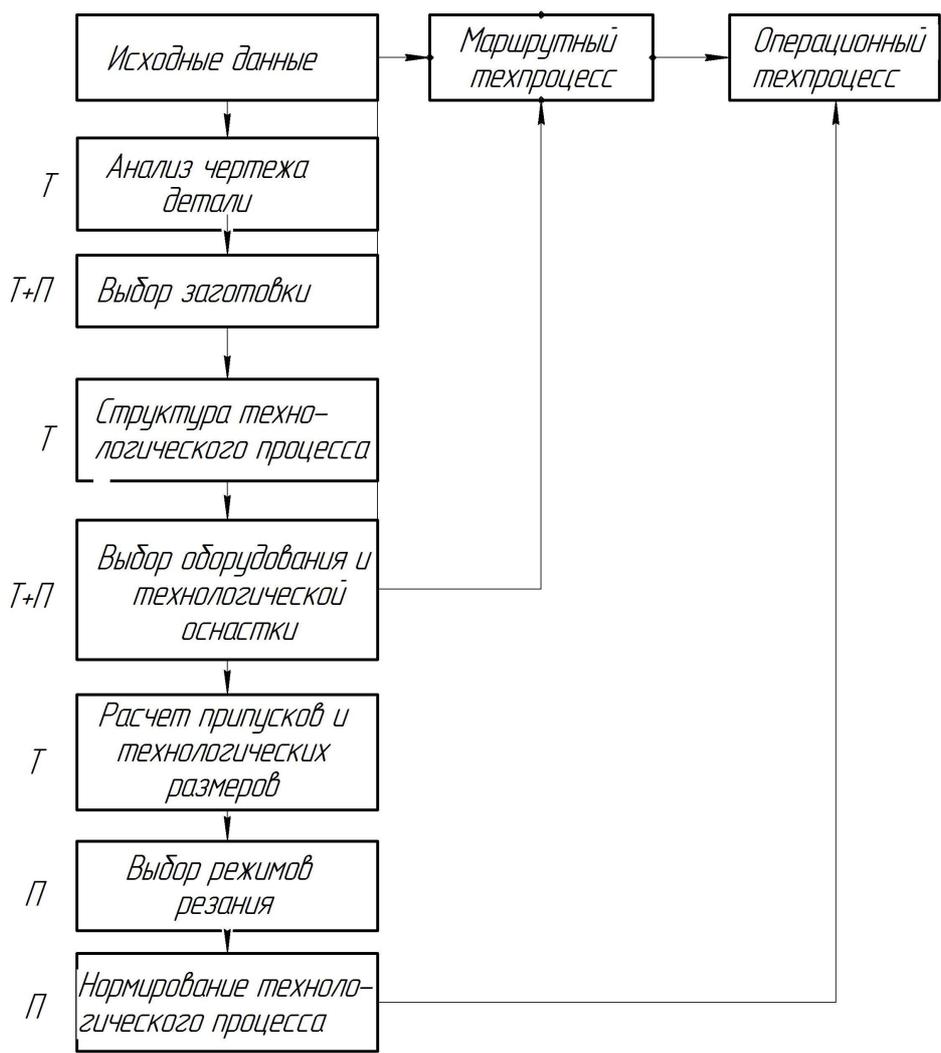


Рис. 8.1. Схема действие – результат при проектировании технологических процессов

**Анализ чертежа детали**

Анализ чертежа детали производится в следующей последовательности:

- 1) габариты детали;
- 2) конфигурация детали;
- 3) точность детали:
  - анализируются технические требования (термообработка, покрытие, погрешность формы, погрешность расположения, шероховатость);
  - отмечаются самые точные размеры;
  - в) дается заключение о свободных размерах и о шероховатости остальных поверхностей;
- 4) материал, из которого изготовлена деталь;
- 5) технологичность детали (обрабатываемость детали, удобство базирования и закрепления, уровень точности).

## *Выбор заготовки*

Факторы, влияющие на выбор заготовки следующие:

- a) конфигурация детали;
- b) материал детали;
- c) программа выпуска;
- d) наличие заготовительного оборудования и оснастки.

Существует два пути выбора заготовки:

1. *Точная заготовка*, когда конфигурация детали близка к конфигурации заготовки (точное литье, объемная штамповка, прессование, профильная штамповка).

Преимущества точной заготовки:

- a) небольшой расход материала;
- b) небольшой процент механической обработки, обрабатываются только точные поверхности;
- c) сложная конфигурация.

Недостатки точной заготовки:

- a) сложное, дорогое и высокопроизводительное оборудование;
- b) дорогая заготовка.

Точная заготовка характерна для массового, крупносерийного производства и среднесерийного производства.

2. *Грубая заготовка*, когда конфигурация заготовки не повторяет конфигурацию детали и только 2–3 размера заготовки близки к размерам детали.

Преимущества грубой заготовки:

- 1) доступность;
- 2) дешевизна.

Недостатки грубой заготовки:

- 1) большой расход материала;
- 2) большой процент механической обработки.

Грубая заготовка характерна для единичного и мелкосерийного производства.

Существует третий путь выбора заготовки, который называется «заготовка на заказ», при этом точная заготовка заказывается на специализированное предприятие, на котором имеется дорогое и высокопроизводительное заготовительное оборудование. В этом случае заготовка будет дешевле, чем точная заготовка на данном предприятии и обладать всеми преимуществами точной заготовки.

## 8.2. Структура технологического процесса

Структура технологического процесса – это количество и последовательность операций, установов и переходов. Структура технологического процесса обуславливается:

- 1) видом обработки;
- 2) подготовкой технологических баз;
- 3) видом заготовки;
- 4) программой выпуска;
- 5) точностью обработки (точность размеров, формы, расположения поверхностей и шероховатостью);
- 6) наличием термообработки;
- 7) наличием покрытия;
- 8) видом контроля.

Рассмотрим влияние этих факторов на структуру:

1. По виду обработки грубо определяются операции: например, токарные, фрезерные, сверлильные.

2. Если необходимо подготовить технологическую базу, вводится, например, фрезерно-центровальная операция, или переход для обработки базировочного буртика, чтобы все поверхности детали обрабатывались от чистой базы.

Особенно важно правильное базирование, если заданы погрешности расположения поверхностей.

3. Вид заготовки определяет количество операций механической обработки.

В «точной» заготовке обрабатываются только точные поверхности, неточные поверхности получаются литьем или штамповкой. В «грубой» заготовке вся конфигурация детали получается механической обработкой резанием.

4. От программы выпуска в первую очередь зависит глубина проработки технологической документации: в единичном производстве квалифицированный рабочий может работать без технологической документации по чертежу; в мелкосерийном производстве составляются только маршрутные технологические процессы; а в массовом и крупносерийном – операционные. В зависимости от программы выпуска технологические процессы могут быть:

а) дифференцированные, состоят из большого количества простых операций; такие технологические процессы характерны для массового и крупносерийного производства, там, где полная автоматизация обработки;

б) интегрированные, которые состоят из небольшого количества сложных операций. Такие технологические процессы характерны для серийного производства.

4. Самые точные детали или поверхности обрабатываются по такой схеме:



Существует понятие уточнения – это отношение допуска точного параметра заготовки к допуску готовой детали:

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{IT_3}{IT_d}$$

Если  $IT_3 = 1$ , а  $IT_d = 0.01$ , то общее уточнение равно:

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{1}{0.01} = 100,$$

такое уточнение может быть достигнуто на 4 технологических системах, при этом допуск размера *после черновой обработки получится*  $IT_{\text{чер}} = 0.5$ , *после чистовой обработки*  $IT_{\text{чис}} = 0.1$ , *после отделочной*  $IT_{\text{отд}} = 0.01$ , уточнение тех. процесса 2-го приближения:

$$\varepsilon_2 = \frac{IT_3}{IT_{\text{чер}}}; \quad \varepsilon_2 = \frac{1}{0.5} = 2;$$

уточнение технологического процесса 3-го приближения:

$$\varepsilon_3 = \frac{IT_{\text{чер}}}{IT_{\text{чис}}}; \quad \varepsilon_3 = \frac{0.5}{0.1} = 5;$$

уточнение технологического процесса 4-го приближения:

$$\varepsilon_4 = \frac{IT_{\text{чис}}}{IT_{\text{отд}}}; \quad \varepsilon_4 = \frac{0.1}{0.01} = 10,$$

общее уточнение технологического процесса равно произведению уточнений технологических процессов 2, 3, 4 приближений:

$$\varepsilon_{\Sigma} = \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 \cdot \varepsilon_4 = 2 \cdot 5 \cdot 10 = 100.$$

Прежде всего, обеспечивается точность расположения поверхностей и осей и формы поверхностей, для этого выбирается оборудование повышенной точности. Затем обеспечивается точность размеров и шероховатость.

В связи с этим техпроцесс увеличивается на несколько операций (чистовые токарные, отделочные, шлифовальные, полировальные и т.д.).

6. Термообработка включается в технологический процесс и выполняется в определенном его месте, например, закалка перед шлифованием, старение после черновой обработки,

7. Покрытие, улучшение свойств поверхностного слоя деталей, выполняется после всей механической обработкой .

8. Контрольные операции назначаются или после каждой операции или в конце обработки или после сложных и ответственных операций.

Определение структуры техпроцесса это только решение технолога, возможности и особенности реального производства. Это решение оформляется в виде маршрутного техпроцесса, в котором еще указывается оборудование и технологическая оснастка.

### **8.3. Выбор оборудования и технологической оснастки**

Выбор типа станка, прежде всего, определяется его возможностью обеспечить точность размеров, формы, расположения и качество поверхности, если эти требования можно обеспечить на различных станках, то определенный станок выбирается из следующих соображений:

- 1) соответствие станка габаритам обрабатываемой детали;
- 2) соответствие станка по производительности принятому типу производства;
- 3) рациональное использование станка по режимам резания и полное использование по мощности;
- 4) реальная возможность приобретения станка.

#### ***Классификация и нормы точности станков:***

##### ***1. Классификация по виду обработки.***

Все станки в зависимости от вида обработки делятся на 10 групп, а каждая группа на 10 типоразмеров (десятичная система классификации).

В основу деления положены следующие признаки:

- технологическое назначение;
- расположение главных органов;
- количество главных органов,
- степень автоматизации.

В десятичной системе складывается марка станка 1620, 1 – группа станков токарная, 6 – тип станка универсальный винторезный, 200 – типоразмер станка, наибольший диаметр, обрабатываемый над станиной.

### *2. Классификация по степени специализации.*

По степени специализации металлорежущие станки подразделяются:

1) на станки широкого назначения (универсальные станки), с широким диапазоном скоростей, подач и размеров обрабатываемых деталей. Целесообразно применять в единичном и мелкосерийном производстве.

2) станки высокой производительности – автоматы и полуавтоматы, имеющие большие ограничения по размерам обрабатываемых деталей, по скорости и подачам. Целесообразно применение в серийном и массовом производстве.

3) специализированные станки – агрегатные станки, приспособленные для обработки определенной уникальной детали. Целесообразно применение в серийном и массовом производстве.

4) специальные станки, которые проектируются и изготавливаются для обработки определенной детали на одной операции. Станки этой группы очень высокой точности, производительности, автоматизации и стоимости. Целесообразно применение в массовом производстве.

### *3. Классификация по массе и габаритам.*

По массе и габаритам станки делятся:

- 1) на обычные;
- 2) крупные;
- 3) тяжелые;
- 4) уникальные.

### *4. Классификация по точности.*

По точности станки делятся на 5 классов:

- 1) нормальной точности (Н);
- 2) повышенной точности (П);
- 3) высокой точности (В);
- 4) особо высокой точности (А);
- 5) сверхвысокой точности (С) прецизионные.

После выбора режимов резания и нормирования операции следует подтвердить целесообразность выбранного оборудования расчетами коэффициентов использования станка по времени, по мощности и технологической себестоимости:

$$\eta_0 = \frac{T_0}{T_{шт}} - \text{коэффициент использования оборудования по времени;}$$

$T_0$  – основное время;

$T_{шт}$  – штучное время.

$\eta_0$  должно стремиться к 1, это значит, что меньшую часть составляет вспомогательное и дополнительное время, т.е. выше механизация и автоматизация операции.

$$\eta_n = \frac{N_{рез}}{N_{шп}} - \text{коэффициент использования оборудования по мощности;}$$

$N_{рез}$  – мощность, затрачиваемая на резание в кВт;

$N_{шп}$  – мощность на шпинделе станка;

$$N_{шп} = N_{дв} \eta;$$

$\eta$  – КПД станка;

$\eta_N$  – коэффициент использования оборудования по мощности должен стремиться к 1, чтобы обеспечить хорошее использование электроэнергии ( $\cos\phi$ ).

Технологическая себестоимость операции равна:

$$C_T = Z_p + A_{ст} + L_{ст} + A_{пр} + И + E + Д + P_n,$$

$Z_p$  – зарплата рабочему;

$A_{ст}$  – амортизация станка;

$L_{ст}$  – затраты на ремонт, проверку и осмотр станка;

$A_{пр}$  – амортизация и ремонт приспособления;

$И$  – расходы на инструмент;

$E$  – затраты на силовую энергию на данной операции;

$Д$  – доплаты к основной зарплате;

$P_n$  – затраты на наладку станка.

### ***Выбор технологической оснастки***

Технологическая оснастка – это приспособления, вспомогательный инструмент, режущий и мерительный инструмент.

### ***Выбор приспособлений***

Приспособления – это дополнительные устройства к станкам, служащие для базирования и закрепления деталей при обработке на станках.

По виду обработки приспособления классифицируются на токарные, фрезерные, сверлильные и т.д.

В зависимости от программы выпуска и типа производства приспособления классифицируются на универсальные, специальные и специализированные.

*Универсальные приспособления* предназначены для широкого диапазона размеров и конфигураций деталей и используются в единичном и мелкосерийном производстве.

Достоинство: доступность, дешевизна.

Недостатки: невысокая точность, невысокая автоматизация.

*Специальные приспособления* проектируются и изготавливаются для обработки одной детали на одной операции. В комплексе работ по подготовке производства более половины средств расходуется на изготовление специальных станочных приспособлений.

Достоинства: высокая точность и автоматизация.

Недостатки: дороговизна и невозможность использовать, если деталь сходит с производства или изменяется конструкция детали. Используются в массовом и серийном производстве.

*Специализированные приспособления* – это переналаживаемые приспособления или УСП универсально-сборные приспособления, которые могут переналаживаться после схода изделия с производства. Они собираются из нормализованных деталей и узлов для различных видов работ. После использования их разбирают на отдельные узлы и детали, из которых потом многократно собирают другие приспособления. Специализированные приспособления занимают промежуточное место между специальными и универсальными приспособлениями.

Любое приспособление должно обеспечивать:

- точность изготовления;
- надежность закрепления;
- безопасность и удобство работы;
- экономичность использования.

Выбор конкретного приспособления обуславливается вышеизложенным.

### ***Выбор режущего инструмента***

Резание металла производится за счет относительного движения инструмента и детали, которое осуществляется на станках. Многообразие видов обработки (точение, растачивание, сверление, фрезерование, протягивание, шлифование и т.д.) породило еще большее разнообразие режущих инструментов. Кроме того, различают стандартный инструмент и специальный. Предпочтение отдается стандартному инструменту, который изготавливается в соответствии с ГОСТами или нормами на специализированных заводах.

Специальный инструмент проектируется и изготавливается для обработки определенных поверхностей, которые невозможно или невыгодно обрабатывать стандартным инструментом, на заводе-изготовителе или по заказу.

При выборе режущего инструмента необходимо учитывать:

- 1) материал обрабатываемой детали и его физическое состояние;
- 2) материал режущей части инструмента;
- 3) оптимальные геометрические параметры режущей части инструмента.

Материал обрабатываемой детали может быть легкообрабатываемым, вязким, твердым, со сливной стружкой или вообще не обрабатываемым.

Материал режущей части инструмента должен обладать следующими свойствами:

- 1) высокая твердость;
- 2) износостойкость;
- 3) красностойкость, (работоспособность при высоких температурах);
- 4) прочность;
- 5) обрабатываемость.

#### 8.4. Группы инструментальных материалов

1. *Углеродистые стали*, стали с большим содержанием углерода (У7А–У13А).

Содержание углерода от 0,7 до 1,3 % , высокая поверхностная твердость при мягкой сердцевине, работа при температуре 150–200 °С, допустимые скорости резания, красностойкость 200–250 °С. Применяются для слесарных инструментов (топоры, стамески, напильники, метчики, развертки, ножовки, хирургические инструменты т.д.).

2. *Легированные стали*, содержащие легирующие элементы: хром, вольфрам, молибден, ванадий др. (низколегированные не выше 3 % легирующих элементов; среднелегированные стали от 3 до 5,5 % легирующих элементов; высоколегированные свыше 5,5 % легирующих элементов) 9ХС, Х6ВФ, 9ХВГ, Х12, Х12Ф1, 9ХС, ХГС, ХВГ, Х12ТФ.

Состав химический для группы небольшой прокаливаемости:

хром (0,2–0,7 %);

ванадий (0,15–0,3 %);

вольфрам (до 4 %).

Состав химический для группы повышенной прокаливаемости:

хром (0,8–1,7 %),

марганец,

кремний,

вольфрам.

Скорость резания  $V = 25 - 30 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$ .

*Быстрорежущие стали*, стали нормальной теплостойкости, ванадия не более 2 %: Р9, Р18, Р6М5.

Р6М5: Р – быстрорежущая сталь, 6 % вольфрама, 5 % молибдена.

Стали повышенной теплостойкости, более высокое содержание ванадия и кобальт Р18Ф3, Р6М5Ф3, Р18К5Ф2, Р9К5, Р6М5К5, Р9М4К8 и др. Безвольфрамовые 11М5ФЮС с 1 % алюминия. Работа при темпе-

ратуре 600–650 °С, твердость HRC68-70, скорость резания в 2–4 раза больше, чем у инструментов 1, 2 групп,  $V = 30\text{--}60$  м/мин.

4. *Твердые сплавы* – спеченные гетерогенные материалы из зерен тугоплавких соединений (карбидов, нитридов или боридов) и связки пластичного металла.

Вольфрамовые ВК3, ВК4, ВК6, ВК8, ВК10, ВК15.

Титановые Т5К10, Т5К12, Т14К8, Т15К6, Т14К8, Т30К4.

Титанотанталовые ТТ17К12, ТТ8К6, ТТ8К6, ТТ10К8, ТТ20К6.

Т15К6 (15 % – карбида титана, 6 % – кобальта, остальное 79 % – карбид вольфрама).

ВК8 (8 % – кобальта, 92 % – карбид вольфрама).

ТТ7К12 (7 % – карбид титана и карбида тантала, 12 % – кобальта, остальное карбид вольфрама 71 %).

Работа при температуре 900–1000 °С, твердость HRC80-92,

$V=100\text{--}300$  м/мин.

В 1923 г. в Германии был получен твердый сплав, в России в 1929 г.

5. *Сверхтвердые материалы*:

Алмазы натуральные и искусственные, нитрид бора, оксид алюминия  $Al_2O_3$ .

Цирконид  $ZrO_3$ , нитрид кремния ТСС. Это материалы кристаллической формы, используются в абразивных кругах, пастах, порошках, шлифовальных шкурках и т.д.

### ***Выбор вспомогательного инструмента***

Вспомогательный инструмент – это устройства, на которые базируется и крепится режущий инструмент.

Вспомогательный инструмент должен быть надежным, точным, быстросменным и безопасным.

### ***Выбор измерительного инструмента***

Измерительный инструмент должен обеспечивать:

1) удобство измерения;

2) точность измерения (цена деления инструмента меньше допуска в 3 раза);

3) минимальные затраты времени на измерение.

В массовом производстве применяются приборы активного контроля, приборы для одновременного контроля нескольких параметров и предельные калибры.

В единичном и серийном производстве универсальные измерительные инструменты.

## 8.5. Расчет припусков и технологических размеров

Припуск – слой металла, который необходимо удалить, чтобы получить поверхность лучшего качества и точности. Припуск не должен быть большим и маленьким, а должен быть оптимальным. Определяется припуск аналитическим и статистическим способом.

Минимально необходимая величина припуска должна обеспечивать удаление микронеровностей, слоя материала с измененными физико-механическими свойствами и структурой и пространственными отклонениями взаимосвязанных поверхностей, полученными на предшествующей обработке.

Минимальный припуск, который необходимо снять на  $I$  операции определяется по формуле:

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

где  $R_{zi-1}$  – максимальная высота неровностей предшествующей операции;

$T_{i-1}$  – наибольшая глубина дефектного слоя материала, полученного на предшествующей обработке;

$\rho_{i-1}$  – пространственные отклонения взаимосвязанных поверхностей, получившихся на предшествующем переходе;

$\varepsilon_i$  – погрешность базирования на данном переходе.

Две последние составляющие припуска могут суммироваться вероятностным способом:

$$Z_{\min i} = R_{zi-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}.$$

Все составляющие припуска определяются по справочно-статистическим данным.

Технологические размеры совпадают с конструкторскими или включают припуск и рассчитываются по средним величинам по теории размерных цепей, в которых конструкторские размеры являются исходными звеньями, припуски – замыкающими звеньями, а технологические размеры составляющими звеньями.

### 8.5.1. Пример расчета технологических размеров (размеров заготовки)

На рис. 8.2 изображена комплексная схема, включающая в себя конструкторские размеры, припуски и технологические размеры.

Расчет технологических размеров ведется по средним размерам:

$$L_T^{\text{cp}} = L_K^{\text{cp}} + 2Z^{\text{cp}} \text{ – при съеме двухстороннего припуска по длине;}$$

$$D_T^{\text{cp}} = D_K^{\text{cp}} + 2Z^{\text{cp}} \text{ – при съеме двухстороннего припуска по диаметру;}$$

$$Z_{cp} = \frac{Z_{max} + Z_{min}}{2} \text{ – величина среднего припуска;}$$

$$Z_{max} = Z_{min} + IT_z / 2 \text{ – величина максимального припуска;}$$

$$IT_z = IT_k + IT_T \text{ – допуск на припуск.}$$

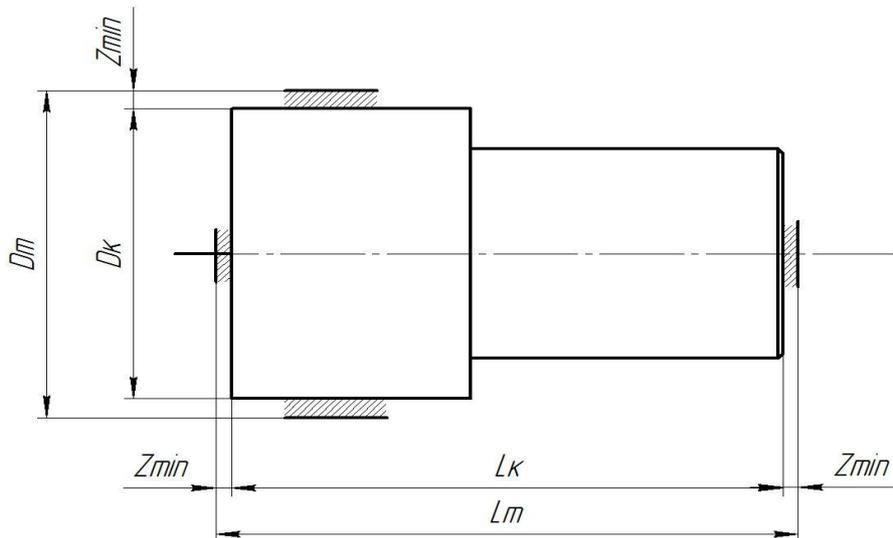


Рис 8.2. Комплексная схема

Допуск припуска равен сумме допусков конструкторского и технологического размеров, так как припуск является замыкающим звеном технологической размерной цепи.

Таблица 8.1

Таблица данных

Обозначение	Предельный размер	Допуск	Среднее отклонение	Средний размер
$D_k$	$80_{-0.2}$	0.2	-0.1	79.9
$L_k$	$100_{-0.5}$	0.5	-0.25	99.75
$Z_{min}$	1.5			
$IT_m$	0.87			

**Расчет диаметра заготовки (табл. 8.1)**

$$D_m^{cp} = D_k^{cp} + 2Z_{cp} \text{ – средний технологический размер;}$$

$$Z_{cp} = \frac{Z_{max} + Z_{min}}{2} \text{ – средний припуск;}$$

$$Z_{max} = Z_{min} + IT_z / 2 \text{ – максимальный припуск;}$$

$$IT_z = IT_k + IT_m \text{ – допуск на припуск;}$$

$$IT_z = 0.2 + 0.87 = 1.07; \quad Z_{\max} = 1.5 + 1.07 = 2.57;$$

$$Z_{\text{cp}} = \frac{1.5 + 2.57}{2} = 2.03; \quad D_T^{\text{cp}} = 79.9 + 2 \times 2.035 = 73.97.$$

Принимаем ближайший по сортаменту размер заготовки  $D_3 = 74 \pm 0.435$ .

### **Расчет длины заготовки** (табл. 8.1)

Приблизительно длину заготовки можно просчитать как при съеме двухстороннего припуска.

$$L_T^{\text{cp}} = L_K^{\text{cp}} + 2Z^{\text{cp}} - \text{средний технологический размер длины};$$

$$Z_{\text{cp}} = \frac{Z_{\max} + Z_{\min}}{2} - \text{средний припуск длины технологической};$$

$$Z_{\max} = Z_{\min} + IT_z - \text{максимальный припуск технологической длины};$$

$$IT_z = IT_K + IT_T - \text{допуск на припуск};$$

$$IT_z = 0.5 + 0.87 = 1.37;$$

$$Z_{\max} = 1.5 + 1.37 = 2.87;$$

$$Z_{\text{cp}} = \frac{1.5 + 2.87}{2} = 2.185;$$

$$L_T^{\text{cp}} = 99.75 + 2 \cdot 2.185 = 104.12.$$

Принимаем размер длины заготовки  $104 \pm 0.435$ .

### **Расчет режимов резания**

В основе работы всякого режущего инструмента лежит работа клина (рис. 8.3). Если к инструменту, имеющему форму клина, приложить усилие  $P$ , то клин врезается в металл, осуществляя отрыв стружки, когда приложенное усилие превышает силы сцепления частиц металла.

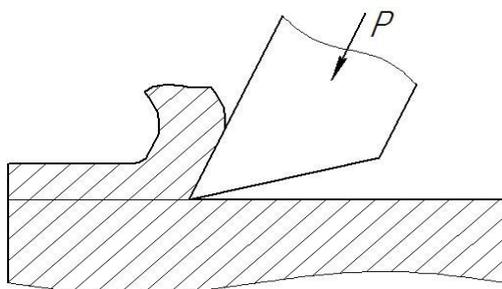


Рис. 8.3. Работа клина при резании

Обработка резанием осуществляется на металлорежущих станках при использовании различных металлорежущих инструментов, за счет относительного движения инструмента и детали.

*Основное движение*, при котором снимается стружка это сочетание двух движений: главного движения (движение резания) и движения подачи.

*Вспомогательное движение*, при котором снятие стружки не производится, подвод и отвод инструмента и др.

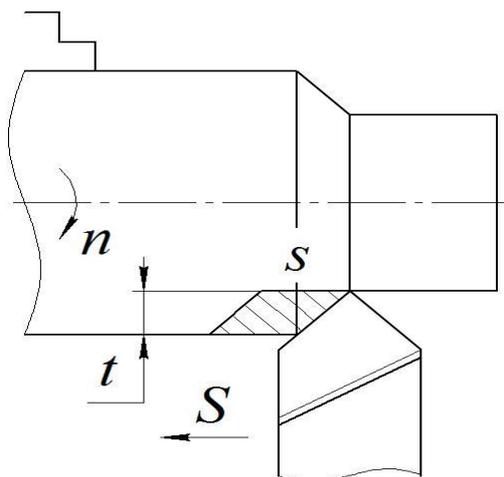


Рис. 8.4. Режим резания при токарной обработке

$T$  – *глубина резания* – величина снимаемого слоя металла, измеренная в направлении, перпендикулярном обрабатываемой поверхности. Глубина резания в идеале равна припуску или зависит от вида и стойкости инструмента, если снимается напуск, и тогда он делится на несколько проходов (рис. 8.4).

$S$  – *подача* скорость главного движения (рис. 8.4), при токарной обработке подача измеряется в  $\frac{\text{мм}}{\text{об}}$ ; при фрезерной обработке в  $\frac{\text{мм}}{\text{мин}}$ ,

или в  $\frac{\text{мм}}{\text{зуб}}$ . Все подачи связаны между собой такой зависимостью:

$$S_M = S_0 \cdot N = S_Z \cdot Z \cdot N,$$

где  $S_M$  – минутная подача;

$S_0$  – подача в мм на оборот;

$N$  – число оборотов в минуту;

$Z$  – число зубьев фрезы.

Шероховатость поверхности зависит от подачи, поэтому при чистовой обработке подача лимитируется шероховатостью поверхности, а в остальных случаях лимитируется видом и стойкостью инструмента.

### **Скорость главного движения ( $V$ ) (рис. 8.4)**

На величину скорости влияют следующие факторы:

1. Свойства обрабатываемого материала.
2. Сечение среза ( $S \cdot T$ ).
3. Материал режущего инструмента.
4. Стойкость инструмента.

$$\text{Эмпирическая зависимость } V = \frac{C_v \cdot k_v}{T^m \cdot S^{X_v} \cdot T^{Y_v}} \frac{\text{м}}{\text{мин}}.$$

Коэффициенты и показатели степени выбираются по нормативам,

$C_v$  – коэффициент, зависящий от обрабатываемого материала;

$K_v, X_v, Y_v$  – коэффициенты и показатели степени, зависящие от условий обработки;

$T$  – стойкость инструмента;

$m$  – показатель относительной стойкости инструмента ( $m = 0,1-0,3$ ).

### **Износ и стойкость режущего инструмента**

В результате трения передняя и задняя грани резца изнашиваются и в определенный момент резец становится непригодным для работы.

На рис. 8.5  $T = T_2 - T_1$  – стойкость инструмента, время работы инструмента от заточки до затупления.

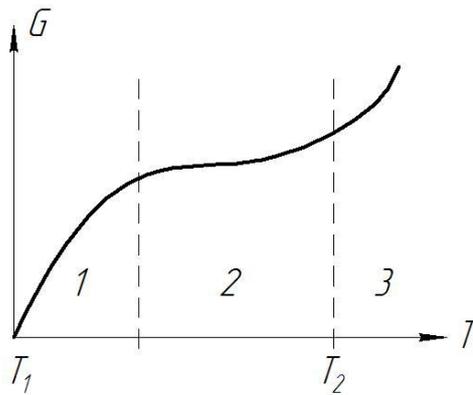


Рис. 8.5. Кривая износа инструмента;

1 – зона приработки; 2 – зона нормального износа; 3 – зона катастрофического износа;  $G$  – величина износа;  $T$  – время работы инструмента

**Число оборотов шпинделя** рассчитывается по выбранной скорости на данном диаметре по формуле:

$$V = \frac{\pi D N}{1000}; \quad N = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D};$$

$N$  – число оборотов детали в мин;

$D$  – диаметр детали в мм.

На станке устанавливаются обороты.

**Силы резания.** Стружка снимается под действием силы резания  $P$ . Основные факторы, влияющие на силу резания:

- 1) свойства обрабатываемого материала (прочность, твердость и др.);
- 2) размеры сечения срезаемого слоя ( $t, s$ );
- 3) геометрия режущего инструмента.

Результирующая сила резания раскладывается на 3 составляющие силы:  $P_z, P_y, P_x$ .

$P_z$  – тангенциальная сила или сила резания, совпадает с направлением скорости резания:

$$P_z = C_p \cdot S^{X_p} \cdot t^{Y_p},$$

где  $C_p$  – коэффициент, характеризующий свойства обрабатываемого материала;  $S$  – подача;  $t$  – глубина резания;  $X_p, Y_p$  – показатели степени, зависящие от свойств обрабатываемого материала и условий обработки.

$$\frac{P_y}{P_z} = 0.4 - 0.5; P_y - \text{нормальная или радиальная сила.}$$

$$\frac{P_x}{P_z} = 0.3 - 0.4; P_x - \text{сила подачи.}$$

$$\text{Сила } P_z \text{ создает крутящий момент } M; \quad M = \frac{P_z \cdot D}{2};$$

$D$  – диаметр детали в мм.

### **Мощность резания**

Мощность резания определяется по формуле

$$N_{\text{рез}} = P_z V \text{ Вт,}$$

где  $P_z(\text{Н}), V(\frac{\text{М}}{\text{сек}})$ .

$$N_{\text{рез}} = \frac{PV}{75 \cdot 60} \text{ л.с.};$$

$$N_{\text{рез}} = \frac{PV}{60 \cdot 102} \text{ кВт.};$$

$N_{\text{п}}$  – необходимая мощность;  $N_{\text{п}} = N_{\text{рез}} / \eta$ ;

$\eta$  – КПД станка,  $\eta = 0,75 - 0,9$ .

## 8.6. Нормирование технологического процесса

Нормирование – это оценка работы временем. В технологическом процессе нормируется операция, как законченная часть технологического процесса, которая производится на одном рабочем месте, одним рабочим, над одной деталью.

Время обработки одной детали на одной операции называется штучным и обозначается  $T_{шт.}$ :

$$T_{шт.} = T_o + T_B + T_{обс} + T_{отд.},$$

где  $T_o$  – основное время или машинное, время работы станка;

$T_B$  – вспомогательное время, время управления станком;

$T_{обс}$  – время обслуживания станка; оно включает время технического обслуживания оборудования и время организационного обслуживания;

$$T_{обс} = T_{т.обс} + T_{о.обс},$$

где  $T_{т.обс}$  – время подготовки станка к работе, смазка, проверка, уборка стружки и др.;

$T_{о.обс}$  – время на организацию работы; инструктаж мастера, знакомство с чертежами и инструкциями, получение инструмента, материалов и др.;

$T_{отд.}$  – время отдыха рабочего и время на естественные надобности.

Рассчитывается только основное время:

$$T_o = \frac{L_{р.х} \cdot i}{S_m} = \frac{L_{р.х} \cdot i}{S_o \cdot N} \text{ (мин)},$$

$L_{р.х}$  – длина рабочего хода инструмента,

$S_m$  – скорость вспомогательного движения, перемещения инструмента или детали, минутная подача, мм/мин.

$S_o$  – подача в миллиметрах на оборот, мм/об.

$N$  – число оборотов шпинделя.

$i$  – количество рабочих ходов.

### ***Расчет длины рабочего хода суппорта***

Длина рабочего хода включает длину обработки и длину врезания и перебега инструмента (рис. 8.6):

$$L_{р.х.} = l + (l_{врез} + l_{переб}),$$

где  $l$  – длина детали;

$l_{врез}$  – подвод, врезание инструмента;

$l_{переб}$  – перебег инструмента.

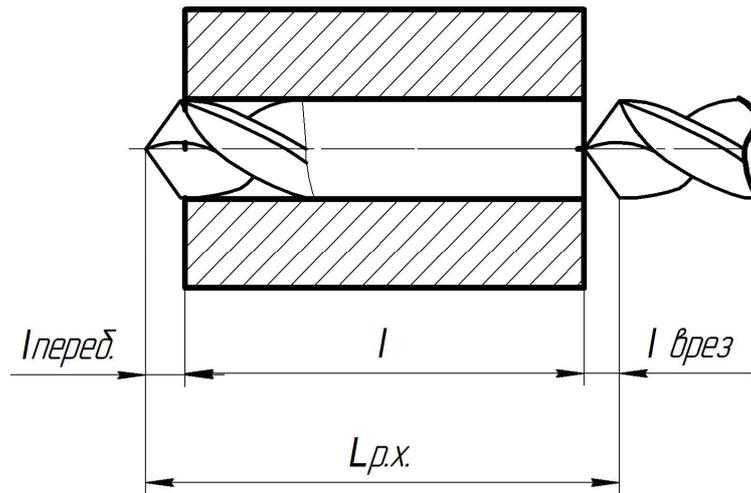


Рис. 8.6 Длина рабочего хода инструмента

**Определение вспомогательного времени  $T_B$ :**

$$T_B = T_{у.с} + T_{з.о} + T_{уп} + T_{и.з},$$

где  $T_{у.с}$  – время установки и снятия детали;

$T_{з.о}$  – время закрепления и открепление детали;

$T_{уп}$  – время на управления станком;

$T_{и.з}$  – время на измерение.

Все составляющие вспомогательного времени определяются по нормативам.

Сумма основного и вспомогательного времени называется оперативным:

$$T_{оп} = T_o + T_B \text{ – оперативное время.}$$

Время отдыха и обслуживания определяется по следующим соотношениям:

$$T_{от} = (4-6)\% T_{оп};$$

$$T_{орг} = (4-6)\% T_{оп};$$

$$T_{тех} = (4-6)\% T_{оп}.$$

**Определение штучно-калькуляционного времени:**

$$T_{шт-к} = T_{шт} + T_{п-з} / n,$$

где  $T_{п-з}$  – подготовительно-заключительное время, время наладки станка;

$n$  – число деталей в партии, обрабатываемых на настроенном оборудовании.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колесов И.М. Основы технологии машиностроения: учеб. для машиностроит. спец. вузов. – 3-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2001. – 591 с.
2. Махаринский Е.И. Основы технологии машиностроения / Е.И. Махаринский, В.А. Горохов: – М.: Высш.шк., 1997. – 423 с.
3. Маталин А.А. Технология машиностроения. – Л.: Машиностроение, 1985. – 512 с.
4. Технология машиностроения: сборник задач и упражнений: учеб. пособие / В.И. Аверченков и др.; под общ. ред. В.И. Аверченкова и Е.А. Польского. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 288 с. – (Высшее образование).
5. Справочник технолога-машиностроителя. Т. 1 / под ред. А.Г. Косиловой и Р.К.Мещерякова. – М.: Машиностроение, 2001. – 656 с.
6. Справочник технолога-машиностроителя. Т. 2 / под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 2001. – 496 с.
7. Режимы резания металлов: справочник / под ред. Ю.В. Барановского. – 4-е изд. – М.: НИИТАвтопром, 1995. – 456 с.

Учебное издание

# ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Конспект лекций

Составитель  
ЛЕЩИНЕР Екатерина Георгиевна

**В авторской редакции**

Компьютерная верстка *Е.А. Руденко*



---

Национальный исследовательский  
Томский политехнический университет  
Система менеджмента качества  
Издательства Томского политехнического университета сертифицирована  
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2008

---



**ИЗДАТЕЛЬСТВО**  **ТПУ**. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.  
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, [www.tpu.ru](http://www.tpu.ru)