

# Основы технологии машиностроения

## Введение

Курс изучает основные закономерности, протекающие при выполнении различных технологических процессов.

*Технология машиностроения* – это наука об изготовлении и сборке машин требуемого количества, заданного качества в установленные сроки при наименьших затратах живого и общественного труда, т.е. при наименьшей себестоимости.

## 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

**Объектом производства** машиностроительных заводов являются машины.

**МАШИНА** – механизм или сочетание механизмов, осуществляющих целесообразные движения для преобразования энергии или производства работ.

Машины, механизмы и установки, в процессе производства их на машиностроительном предприятии, являются изделиями.

**ИЗДЕЛИЕ** – это предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии.

В зависимости от назначения делятся на изделия основного и вспомогательного производства.

К изделиям **основного** производства относятся изделия, предназначенные для реализации, а к изделиям **вспомогательного** производства – предназначенные для собственных нужд.

В соответствии с ГОСТ 2.10-88 установлено 4 вида изделий:

1. **Детали** – изделия, изготовленные из однородного по наименованию и марке материала без применения сборочных операций.

2. **Сборочные единицы** – изделия, составные части которых подлежат соединению между собой на предприятии изготовителе путем сборочных операций (свариванием, пайкой, клепкой, свинчиванием, запрессовкой).  
Например: редуктор, станок.

3. **Комплексы** – несколько изделий, не соединенных на предприятии - изготовителе сборочными операциями, но предназначенных для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций.

4. **Комплекты** – изделия не соединенные на предприятии – изготовителе сборочными операциями и представляющие собой набор изделий, который имеет общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера. Например : комплект запасных частей, инструмента.

## 2 Производственный процесс в машиностроении

Под **производственным** процессом понимают совокупность отдельных процессов для получения из материалов и полуфабрикатов готовых изделий.

В производственный процесс входят не только основные (непосредственно связанные с изготовлением деталей и сборкой из них машин), но и вспомогательные процессы, обеспечивающие возможность изготовления продукции. Это транспортирование материалов, контроль деталей, изготовление инструмента.

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ** процесс – последовательное изменение форм, размеров, свойств материала для получения готовой детали с заданными техническими характеристиками [18,19].

Согласно ГОСТ 3.1109-82 различают следующие виды технологических процессов (ТП):

**ЕДИНИЧНЫЙ ТП** – ТП изготовления или ремонта изделия одного наименования, типоразмера и исполнения, независимо от типа производства.

**ТИПОВОЙ ТП** – ТП изготовления группы изделий с общими конструктивными и технологическими признаками (зубчатые колеса, валы).

**ГРУППОВОЙ ТП** – ТП изготовления группы изделий с различными конструктивными, но общими технологическими признаками.

**ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ТП** – ТП, соответствующий современным достижениям науки и техники, методы и средства осуществления которого полностью или частично предстоит освоить на предприятии.

**РАБОЧИЙ ТП** – ТП, выполняемый по рабочей технологической или конструкторской документации.

**ПРОЕКТНЫЙ ТП** – ТП, выполняемый по предварительному проекту технологической документации.

**ВРЕМЕННЫЙ ТП** – ТП, применяемый на предприятии в течение ограниченного периода времени из-за отсутствия надлежащего оборудования или в связи с аварией до замены более современным.

**СТАНДАРТНЫЙ ТП** – ТП, установленный стандартом. Выполняется по рабочей технологической и (или конструкторской) документации, оформленной стандартом (ОСТ, СТП) и относящийся к конкретному оборудованию, режимам обработки и технологической оснастке.

**КОМПЛЕКСНЫЙ ТП** – ТП, в состав которого включаются не только технологические операции, но и операции перемещения, контроля и очистки обрабатываемых заготовок по ходу технологического процесса. Проектируются при создании автоматических линий и ГАП.

### **СТРУКТУРА ТП:**

Технологический процесс имеет следующие составные части:

- технологические операции;
- установки;
- переходы;
- позиции;

- ходы;
- приемы.

**Технологическая операция** – это часть ТП, выполняемая непрерывно на одном рабочем месте, включая все последовательные действия рабочего и оборудования, направленные на качественные изменения объекта производства. Условие непрерывности операции означает выполнение предусмотренной ею работы без перехода к обработке другого изделия. Например, обработка ступенчатого вала на токарном станке с переустановкой является одной операцией если между переустановками нет перерыва для обработки других заготовок партии. Если все заготовки обрабатываются сначала с одного конца, а затем – с другого, то это 2 разные операции. Таким образом, состав операции устанавливается не только на основе технологических соображений, но и с учетом организационной целесообразности.

**Наименования операции** получают по наименованию применяемого оборудования. Например, токарно-винторезная, радиально-сверлильная операции.

Технологическая операция является основной единицей производственного планирования и учета. На основе операций определяется трудоемкость изготовления изделий, устанавливаются нормы времени и расценки; задается требуемое количество рабочих, оборудования, приспособлений и инструментов; определяется себестоимость обработки; производится календарное планирование производства и осуществляется контроль качества и сроков выполнения работ.

В ряде случаев (на ГАЛ, ГАП) в состав технологического процесса включают **вспомогательные операции** – транспортные, контрольные, маркировочные, не изменяющие размеров, формы, внешнего вида или свойств обрабатываемого изделия, но необходимые для осуществления технологических операций.

**Установ** – часть технологической операции, выполняемая при неизменном закреплении обрабатываемых заготовок или собираемой сборочной единицы.

Например: точение вала с одного конца; переустанов заготовки и точение ее с другого конца .

**Позиция** – фиксированное положение, занимаемое неизменно закрепленной обрабатываемой заготовкой или собираемой сборочной единицей совместно с приспособлением относительно инструмента или неподвижной части оборудования, для выполнения определенной части операции.

Например, при обработке на многошпиндельных полуавтоматах деталь при одном ее закреплении занимает различные положения относительно станка путем вращения стола, последовательно подводящего деталь к разным инструментам.

**Технологический переход** – законченная часть технологической операции, выполняемая над одной или несколькими поверхностями

заготовки, одним или несколькими одновременно работающими инструментами без изменения или при автоматическом изменении режимов работы станка.

Автоматическое изменение режимов работы станка внутри одного технологического перехода имеет место в период обработки заготовок на станках с программным управлением.

Из определения следует, что одним переходом является не только часть операции, относящаяся к обработке одной простой поверхности или фасонной поверхности простым или фасонным инструментом, но и обработка нескольких поверхностей комплектом режущих инструментов (набором фрез, многорезцовая обработка), а также обработка криволинейных поверхностей простым инструментом, движущимся по контуру или по заданной программе.

**Вспомогательный переход** – законченная часть технологической операции, состоящая из действия человека и (или) оборудования, которые не сопровождаются изменением формы, размеров и шероховатости поверхности, но необходимых для выполнения технологического перехода.

Например: установка заготовки, смена инструмента. Изменение одного из элементов (обрабатываемой поверхности, инструмента, режима обработки) определяет новый переход.

**Рабочий ход** – законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, сопровождаемая изменением формы, размеров, качества поверхности и свойства заготовки. Например: снятие одного слоя металла на строгальном станке.

**Вспомогательный ход** – законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, не сопровождаемая изменением формы, размеров, шероховатости или свойств заготовки, но необходимая для выполнения рабочего хода.

**Прием** – законченное действие рабочего. Например: пуск станка, переключение скорости или подачи. Понятие «прием» используется при техническом нормировании операции.

При составлении ТП каждой операции присваивают порядковый номер (обычно трехзначный). Номер последующей операции увеличивают на 5. Например: 005, 010, 015 и т.д. содержание переходов формируют в соответствии с ГОСТ 3.1702-83. Для более ясного и полного представления плана и способа обработки детали документация на ТП иллюстрируется графическими изображениями (эскизами) переходов, установов.

### 3 Характеристика машиностроительного производства

**Программа выпуска** – установленный для данного предприятия перечень изготавливаемых или ремонтируемых изделий с указанием объема выпуска по каждому наименованию на планируемый период.

На основании общей производственной программы завода составляется подетальная производственная программа по цехам. В зависимости от размера программы выпуска характера продукции различают 3 типа производства: единичное, серийное, массовое.

**Единичное** – производство, при котором изделия изготавливаются единичными экземплярами, разнообразными по конструкции и размерам. Единичное производство универсально. Оно охватывает разнохарактерные типы деталей, поэтому оно должно быть очень гибким. Для этого завод должен располагать комплектом универсального оборудования и приспособлений, режущего и измерительного инструмента. Для обработки деталей без специальной оснастки требуются рабочие высокой квалификации. Поэтому в единичном производстве производительность труда ниже, чем в серийном и массовом, а себестоимость продукции выше.

Одной из основных характеристик типа производства является **коэффициент закрепления операций** – отношение числа всех возможных операций, подлежащих выполнению в течение месяца, к числу рабочих мест:

$$K_{zo} = O/P, \quad (8.1)$$

где  $O$  – число рабочих операций,

$P$  – число рабочих мест на которых выполняется эта операция.

Для единичного типа производства  $K_{zo} > 40$ .

Тип производства можно определить и по **коэффициенту серийности**:

$$K_c = T/T_{шт}, \quad (8.2)$$

где  $T$  – такт выпуска,

$T_{шт}$  – среднее штучное время, мин/шт.

$$T = 60P_d \cdot K/N, \quad (8.3)$$

где  $P_d$  – действительный годовой фонд времени, час.

$K$  – коэффициент, учитывающий потери по организационно-техническим причинам;

$N$  – производственная программа на планируемый период.

Зная **такт** выпуска можно определить **ритм** выпуска – число изделий и заготовок определенных наименований, выпускаемых в единицу времени.

В **серийном** производстве машины изготавливают сериями, а детали запускаются в производство партиями. В зависимости от числа изделий в партии или серии и значения коэффициента закрепления операций различают мелко-, средне-, и крупносерийное производство.

При

$20 < K_{zo} < 40$  – тип производства мелкосерийный;

$10 < K_{zo} < 20$  – среднесерийный;

$1 < K_{zo} < 10$  – крупносерийный.

**Серийное** производство является основным типом производства в машиностроении. На его долю приходится 80% всей продукции машиностроения. При таком типе производства ТП изготовления деталей построен по принципу дифференциации операций, т.е. отдельные операции закреплены за отдельным рабочим местом. Для выполнения различных работ используется различное универсальное оборудование, в т.ч. и станки с ЧПУ, специальный режущий и измерительный инструменты.

Средняя квалификация рабочих ниже чем в единичном типе производства.

**Массовое** производство характеризуется большим объемом выпуска одинаковых изделий.  $K_{zo} = 1$  т.е. на каждом рабочем месте выполняется одна постоянно повторяющаяся операция. При этом используются специальное высокопроизводительное оборудование, которое устанавливается в соответствующем поточном порядке и связывается транспортирующими устройствами, с постами автоматического контроля.

Опытным путем была установлена гиперболическая зависимость себестоимости изделия  $C$  от количества деталей  $N$  в партии. Как видно из

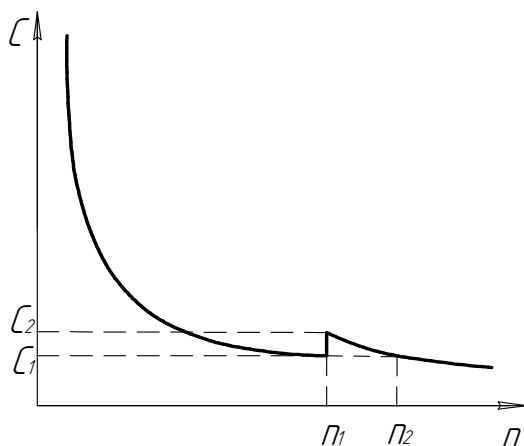


рис.8.1 в серийном производстве выгодно увеличивать величину партии. Но начиная с определенного количества деталей в партии  $n_1$  себестоимость изготовления может вырасти (с  $C_1$  до  $C_2$ ) из-за увеличения расходов на хранение, ввода дополнительной дорогой оснастки или оборудования.

**Рисунок 3.1 – Зависимость себестоимости от величины партии.**

Распределение по типам производства иногда удобнее сделать по количеству машин в серии (см.график 3.1)

## 4 Способы получения заготовок в машиностроении

В качестве заготовок деталей машин в обрабатывающей промышленности используют литье, поковки, штамповки и прокат [1,18,19,20,21]. Рассмотрим эти заготовки подробнее.

### 4.1 Способы изготовления отливок

Современное литейное производство располагает следующими способами изготовления отливок.

1. В песчано-глинистых формах с ручной и машинной формовкой;
2. В металлических формах;
3. Под давлением;
4. По выплавляемым моделям;
5. В оболочковых формах;
6. Центробежным литьем;
7. Электрошлаковым литьем;
8. Под низким давлением;
9. Вакуумным всасыванием;
10. Выжиманием;
11. Жидкой штамповкой.

Для этих целей применяют следующие разновидности литейных форм.

1. **Разовые формы** изготавливают из песчано-глинистых смесей. Формы служат для получения 1 отливки. Разовые формы могут быть толстостенными (толщина стенок 30...250 мм), тонкостенными (10-20 мм) и оболочковыми (до 10 мм). Разовую форму, как правило, изготавливают разъемной. После заливки разовую форму разрушают для освобождения отливки.

2. **Многократные разъемные формы** изготавливают из асбеста, алебастра, цемента. Такие формы выдерживают несколько десятков и сотен заливок. После залива форму раскрывают, не разрушая ее, извлекают отливку и вновь собирают.

3. **Многократные формы (кокили)** изготавливают из чугуна. Такие формы являются дорогостоящими, поэтому используются в серийном и массовом производствах. Отливка извлекается из кокиля специальным толкателем.

**Литейная форма** (рис. 8.2.) обычно состоит из нижней 1 и верхней 2 полуформ, которые изготавливают в опоках 4 – приспособлениях для удержания формовочной смеси. Нижнюю и верхнюю полуформы взаимно ориентируют с помощью металлических штырей 5, вставляемых в отверстиях, опок.

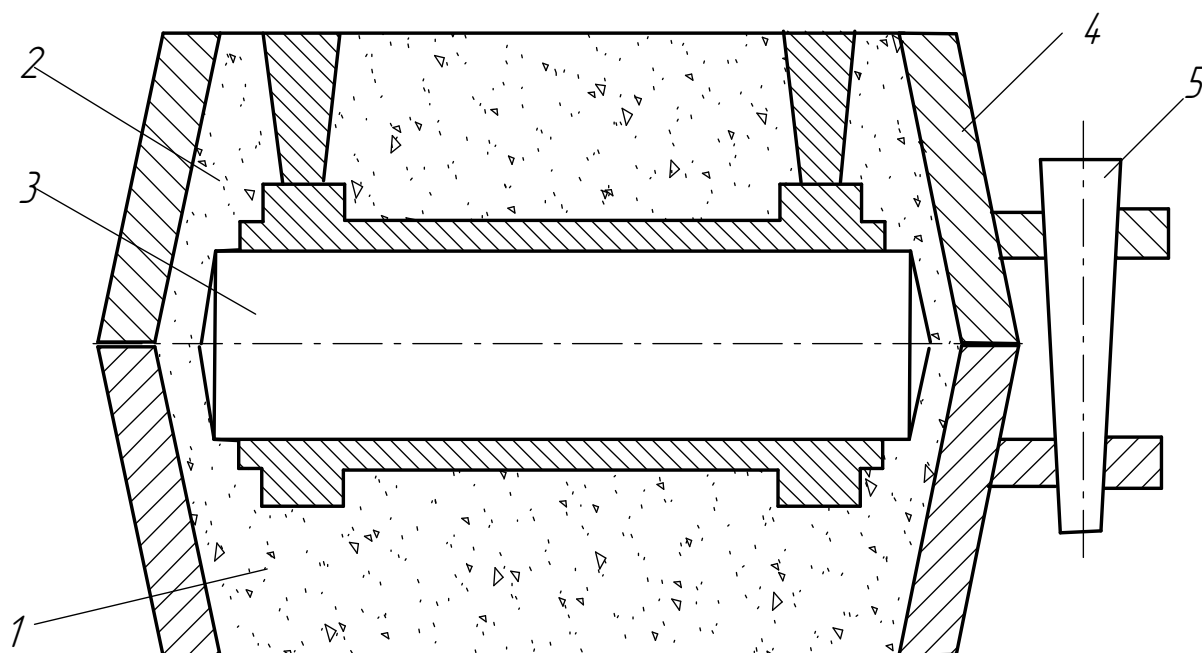


Рисунок 8.2 – Вид формы

Для образования отверстий в формы устанавливают литейные стержни 3, которые фиксируются посредством выступов. Литейную форму заливают расплавленным металлом через литниковую систему, рис.8.3.

**Литниковая система** – совокупность каналов и резервуаров, по которым расплав поступает из разливного ковша в полость формы. Основные элементы литниковой системы: чаша 6 – которая служит для приема расплавленного металла и подачи его в форму. Стояк 7 – канал для подвода металла из чаши непосредственно в рабочую полость. Шлакоуловитель 8 – для удержания шлака и примесей, питатель 9 – полость через которую металл поступает в форму. Для вывода газов, контроля заполнения формы служит прибыль 10.

**Литейная модель** – приспособление, с помощью которого в литейной форме получают отпечаток, соответствующий конфигурации и размерам отливки. Модели бывают неразъемные, разъемные, специальные.

### Литье в оболочковые формы.

Литье в оболочковые формы – это процесс получения отливок из расплавленного металла в формы, изготовленные по горячей модельной оснастке из специальной смеси. Формовочная смесь представляет собой мелкозернистый кварцевый песок и терморезистивные связующие. При изготовлении форм модель нагревают в печи до  $260^{\circ}\text{C}$ ., pulverизатором



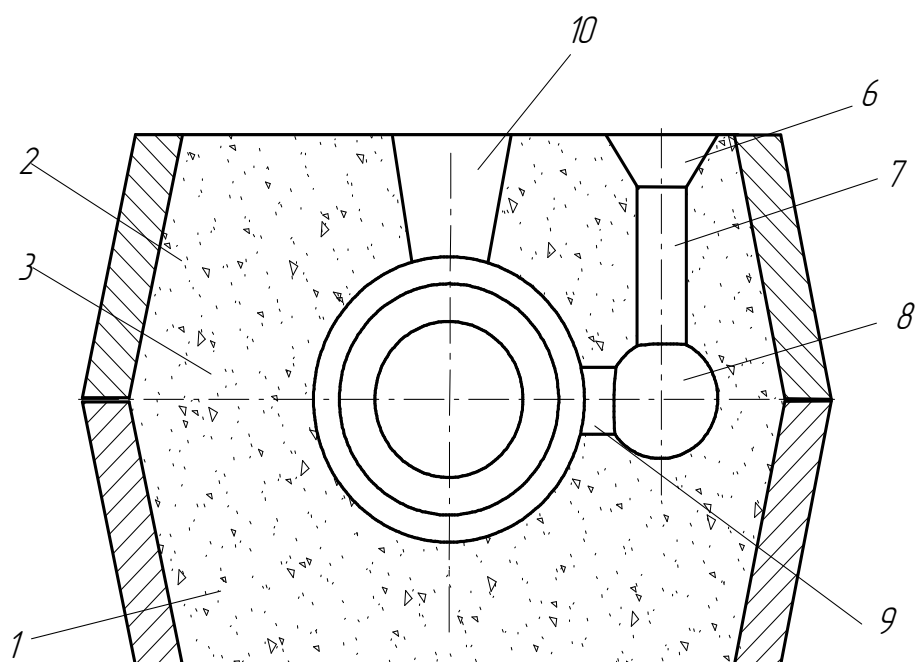


Рисунок 8.3 – Сечение формы.

наносит смазочный материал, для облегчения снятия формы. Затем модель поворачивают. Под действием теплоты от модели формовочная смесь в пограничном слое расплавляется, склеивает песчинки и отвердевает с образованием смоляной оболочки толщиной 5—15 мм. Излишки формовочной смеси осыпаются. Модель с оболочкой прокаливается в печи при  $t = 300..350^{\circ}\text{C}$ . При этом смола переходит в твердое необратимое состояние. Затем оболочка снимается. Заливка форм производится в горизонтальном или вертикальном положении. Выбивка заготовки производится на виброрешетках, или на специальных выбивных устройствах.

Литье в оболочковые формы обеспечивает высокую точность, малую шероховатость поверхности, снижает расход формовочных материалов и объем механической обработки. Такой вид литья является высокопроизводительным процессом. Так способом изготавливают отливки массой 0,2 – 50 кг.

### Литье в металлические формы

Подразделяется на различные виды. Наибольшее распространение получили литье в кокиль, под давлением и центробежное.

Литье в **кокиль** – изготовление отливок из расплавленного металла в металлических формах – кокилях. Рабочую поверхность кокиля предварительно нагревают до  $t = 150..180^{\circ}\text{C}$ , покрывают слоем огнеупорного покрытия толщиной 0,3 – 0,8 мм. Огнеупорное покрытие защищает рабочую поверхность кокиля от резкого нагрева и схватывания с отливкой и позволяет регулировать скорость охлаждения отливки, обеспечивая высокое качество. Половинки кокиля соединяют и заливают

расплав. После затвердевания отливки и охлаждения ее до температуры выбивки, кокиль раскрывают и удаляют заготовку.

Несложные отливки с небольшими выступами и впадинами изготавливают в кокилях с вертикальным разъемом. Крупные, но простые по конфигурации детали изготавливают в кокилях с горизонтальным разъемом. Для сложных конфигураций применяют кокили с комбинированным разъемом.

### **Литье под давлением**

Литье под давлением – процесс получения отливок в металлических формах, при котором заливка расплавленного металла в форму и формирование отливки осуществляется под давлением. Отливку изготавливают на специальных машинах литья. Давление составляет 10 -30 МПа. Литье под давлением позволяет получить отливки максимально приближенные по форме и размерам к готовой детали, дает возможность изготовления сложных тонкостенных отливок с толщиной стенки 0,8 – 6 мм и массой от нескольких граммов до 50 кг.

Недостаток метода – высокая стоимость изготовления, ограниченный срок службы форм, опасность появления трещин в заготовке.

### **Центробежное литье**

Центробежное литье – процесс получения отливок из расплавленного металла во вращающихся формах. Отливка осуществляется под воздействием центробежных сил. При этом измельчается структура металла; очищается расплав от металлических включений; улучшаются механические свойства металла.

Литье осуществляется на специальном оборудовании с частотой вращения заготовки – 200...1400 об/мин. При таком способе литья расход металла на литниковую систему уменьшается, улучшается заполняемость форм металлом; повышается плотность отливки, чем при литье в песчаные формы.

## **4.2 Обработка металлов давлением**

Обработка металлов давлением основана на использовании одного из свойств металлов – пластичности. Это свойство проявляется в необратимом изменении формы и размеров тела под действием внешних сил без нарушения его целостности, которое сопровождается изменением структуры и механических свойств материала.

Основными видами обработки давлением являются:

- прокатка;
- прессование;
- волочение;

- ковка;
- штамповка (объемная и листовая).

**Прокаткой** называют обжатие металла вращающимися валками. Ею получают изделия с постоянным по длине поперечным сечением (прутки, рельсы, листы, трубы) или с периодически изменяющейся по длине формой.

**Прессование** – заключается в продавливании нагретого металла, находящегося в замкнутом объеме, через отверстие в матрице. Формы и размеры поперечного сечения выдавливаемых прутков соответствуют форме и размерам отверстия.

**Волочение** представляет собой протягивание заготовки через отверстие в волочильной матрице. Волочением получают тонкие сорта проволоки, прутки, тонкостенные трубы.

**Ковка** – процесс деформирования нагретой заготовки между бойками молота или процесса.

Изменение формы и размеров заготовки достигается последовательным воздействием бойков или инструмента на различные участки заготовки.

**Объемная штамповка** заключается в одновременном деформировании заготовки в специализированном инструменте – штампе. Формы и размеры внутренней полости штампа определяют форму и размеры заготовки.

**Листовая штамповка** – предназначена для получения плоских и объемных полых деталей из листа или полосы с помощью штампов на холодноштамповочных прессах.

## 5 Припуски на механическую обработку

**Припуском** называется слой материала, удаляемый в процессе механической обработки заготовок для достижения заданного качества обрабатываемой поверхности.

Номинальный **операционный** припуск – слой материала, который снимается при выполнении технологической операции механической обработки. Номинальное значение припуска определяется как разность размеров, полученных на  $i-1$  и  $i$  – том переходах.

$$Z_i = A_{i-1} - A_i;$$

**Общим** пропуском называется сумма промежуточных пропусков по всем операциям механической обработки. Определяются как разность размеров заготовки и детали

$$Z_{общ} = A_{заг} - A_{д}$$

Установление рациональной величины припусков тесно связано с установлением предельных промежутков размеров детали и исходных

размеров заготовки. В свою очередь эти размеры необходимы для проектирования линейной кузнечной оснастки, конструкции приспособления, режущего и измерительного инструмента.

В настоящее время существует 2 метода определения припусков:

- Опытно-статистический;
- Расчетно-аналитический.

### **5.1 Опытно-статистический метод определения припусков**

Метод заключается в том, что значение общих и промежуточных припусков выбирают по таблицам, которые составлены на основе обобщения систематизации производственных данных передовых заводов.

Такой метод определения припусков широко используется в машиностроении из-за малой трудоемкости, простоты и доступности.

К недостаткам метода относятся:

- не учитываются конкретные условия построения ТП;
- во многих случаях значения припусков завышены, для того, чтобы не было брака.

### **5.2 Расчетно-аналитический метод определения припусков**

Метод основан на конкретных условиях выполнения технологического процесса и выявляет возможности экономии материала и снижения трудоемкости. Согласно этому методу промежуточный припуск должен быть таким, чтобы при его удалении устранять погрешность обработки и дефекты поверхностного слоя, полученные на предшествующих переходах, а также погрешности установки обрабатываемой заготовки, возникающие на выполняемом переходе. Назовем его **минимальным припуском**.

Минимальный промежуточный припуск  $Z_{\min}$  определяются следующими **факторами**:

1. Высотой неровностей  $R_{zi-1}$  полученной на предшествующем переходе. При выполнении первой операции по механической обработке выбирается по исходной заготовке. На второй операции необходимо удалить неровности, полученные на первой операции и т.д.

2. Состоянием и глубиной  $H_{i-1}$  поверхностного слоя, полученного на предыдущем переходе. Этот слой материала по физико-механическим свойствам отличается от основного материала. Он подлежит полному или частичному удалению на выполняемом переходе.

- При штамповке – это обезуглероженный слой – он удаляется полностью;

- При отливке - остатки формовочной смеси, термитная корка – удаляется полностью или частично;

- При обработке резанием – слой наклепа (поверхностного упрочнения), раздробление зерна.

3. Пространственным отклонением  $\Delta_{\Sigma}$  расположения обрабатываемой поверхности относительно базовых поверхностей заготовки:

- не соосность;
- не перпендикулярность;
- не параллельность и т.д.

Этот слой подлежит полному удалению.

$$\bar{\Delta}_{\Sigma} = \bar{\Delta}_1 + \bar{\Delta}_2 + \dots + \bar{\Delta}_n \quad (5.1)$$

4. Погрешность установки  $E_y$  на  $i$ -м переходе (т.е. текущая погрешность установки заготовки).

Все составляющие припуска – векторные величины, т.е.

$$\bar{Z}_{i\min} = \bar{R}_{zi-1} + \bar{H}_{i-1} + \bar{\Delta}_{zi-1} + \bar{E}_{yi} \quad (5.2)$$

Скаляр минимального промежуточного припуска определяется по формуле:

1. При последовательной обработке противоположных или отдельно расположенных поверхностей

$$Z_{i\min} = R_{zi-1} + H_{i-1} + \Delta_{\Sigma i-1} + E_{yi}; \quad (5.3)$$

2. Припуск на сторону при параллельной обработке противоположных поверхностей

$$2Z_{imin}=2[R_{zi-1} + H_{i-1}+\Delta_{i-1}+E_{yi}]; \quad (5.4)$$

3. При обработке поверхностей – тел вращения (наружных или внутренних)

$$2Z_{imin}=2[R_{zi-1} + H_{i-1}+ \sqrt{\Delta_{i-1}^2 + E_{yi}^2} ]. \quad (5.5)$$

При определении припуска удобно использовать таблицу. Вычислив величины минимального припуска на механическую обработку поверхности номинальные, максимальные значения припусков, а также операционные размеры детали удобно определять из схемы полей допусков и припусков.

Максимальный припуск при методе автоматического получения размеров определим как:

$$Z_{imax}=Z_{imin}+T_{i-1}+T_i . \quad (5.6)$$

Разность между максимальным и минимальным значением припусков составляет допуск припуска:

$$T_{zi}= Z_{imax} - Z_{imin}. \quad (5.7)$$

## 6 Базирование деталей при механической обработке

При обработке деталей на металлорежущих станках их заготовки должны быть правильно сориентированы относительно узлов станка, определяющих траектории движения подачи инструментов. Эти задачи решаются базированием.

Под **базированием** понимают придание заготовке требуемого положения. Однако при выполнении технологической операции требуется не только базирование обрабатываемой заготовки, но и придание ей неподвижности относительно приспособления на весь период обработки.

В связи с этим при установке заготовок в приспособление решаются 2 различные задачи: **ориентирование** (осуществляется базированием) и **придание неподвижности** (достигается закреплением заготовок).

Несмотря на различие этих задач, они решаются теоретически одинаковыми методами – наложением связей на возможные перемещения заготовки. Для полного исключения подвижности твердого тела в пространстве необходимо лишить его **6** степеней свободы. Это достигается

наложением двухсторонних связей. **Двухсторонние идеальные связи** препятствуют перемещению материальных точек в некоторых направлениях и в направлениях им прямо противоположных.

Реальные связи можно представить как составляющие, включающие идеальную и фрикционную связь, порождаемую трением в точках контакта.

Фрикционная связь реализуется при выполнении условия:

$$P_{cd} < F_{mp}; \quad (6.1)$$

и

$$M_{cd} < M_{mp}, \quad (6.2)$$

где  $P_{cd}$  – проекция усилия сдвига на касательную к поверхности трения;

$F_{mp}$  – сила трения;

$M_{cd}$  – момент активных сил относительно оси к поверхности трения;

$M_{mp}$  – момент сил трения.

При установке заготовки в приспособлении имеет значение не только наличие фрикционных связей, но и число, и расположение идеальных опорных точек.

Определенность базирования определяется положением идеальных, а не фрикционных связей. Возникающие при установке заготовок фрикционные связи лишают ее подвижности и способствуют ее закреплению, но не участвуют в базировании заготовок.

**Для полного базирования заготовки** в приспособлении необходимо и достаточно создать в нем **6** опорных точек, расположенных определенным образом относительно базовых поверхностей заготовки. В этом суть **правила 6 точек**.

## 6.1 Базы и типовые схемы базирования

Поверхности заготовок, используемые при установке последних в приспособлении, называют **базами**. Заготовки любой конфигурации в общем случае состоят из сочетания простейших элементарных поверхностей – плоских, цилиндрических, конических. Эти поверхности можно использовать при базировании заготовок. Рассмотрим типовые схемы базирования заготовок.

### Схема базирования призматических деталей

В качестве примера рассмотрим деталь, в которой необходимо просверлить отверстие. В качестве оборудования принимаем

вертикально-сверлильный станок. Призматическая деталь рассматривается здесь как представитель многих реальных деталей самых различных форм и размеров (плиты, коробки, крышки и т.п.), которые с точки зрения базирования являются призматическими.

При установке заготовки на столе станка необходимо обеспечить определенное ее положение относительно режущего инструмента – сверла. Это достигается путем применения приспособления, лишаящего заготовку 6 степеней свободы.

В зависимости от числа идеальных опорных точек, с которыми базируются поверхности заготовки находятся во взаимодействии, различают **базы**:

- **установочную;**
- **направляющую;**
- **опорную.**

В качестве **установочной** базы заготовки используется поверхность заготовки наибольшей площади. Для реализации этого правила заготовку устанавливают наибольшей нижней частью на 3 опорные точки (штифта). При этом (рис. 6.1) заготовка лишается 3 степеней свободы. Прижав заготовку к 2 направляющим опорам, мы лишаем ее еще 2х степеней свободы. Для лишения заготовки последней шестой степени свободы достаточно прижать заготовку гранью с меньшей площадью к опоре.

Однако опорные точки являются представителем идеальной односторонней связи. Поэтому для обеспечения

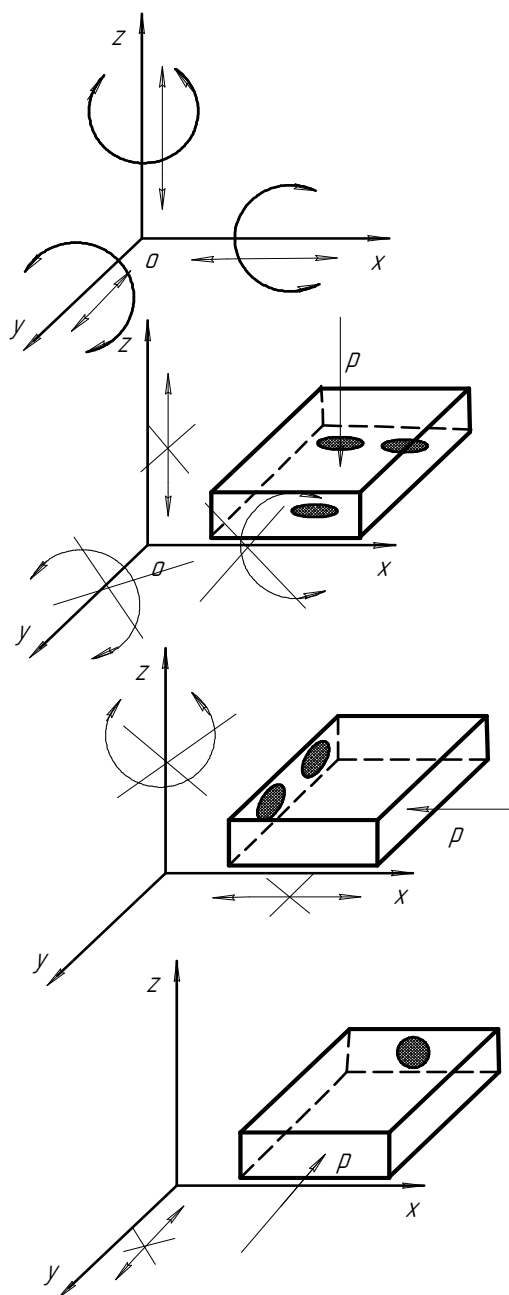


Рисунок 6.1 – Схема базирования призматических деталей



контакта баз с опорными точками приспособление дополняют прижимами. Посредством них реализуется фрикционная связь.

### Схема базирования цилиндрической детали

Ориентирование положения **длинного цилиндрического тела** (у которого длина больше диаметра, т.е.  $l > d$ ) в пространстве достигается наложением на цилиндрическую поверхность 4 связей – 2-х с плоскости  $XOY$  и 2-х с плоскости  $YOZ$ . Лишение перемещения тела вдоль оси  $OY$  реализуется наложением 1-й двухсторонней связи. При этом цилиндрическое тело лишено 5 степеней свободы (рис.6.2). Для лишения 6-й степени свободы (поворота вокруг собственной оси) должна быть предусмотрена шестая двухсторонняя связь в виде опорной точки, расположенной, например, на поверхности шпоночной канавки.

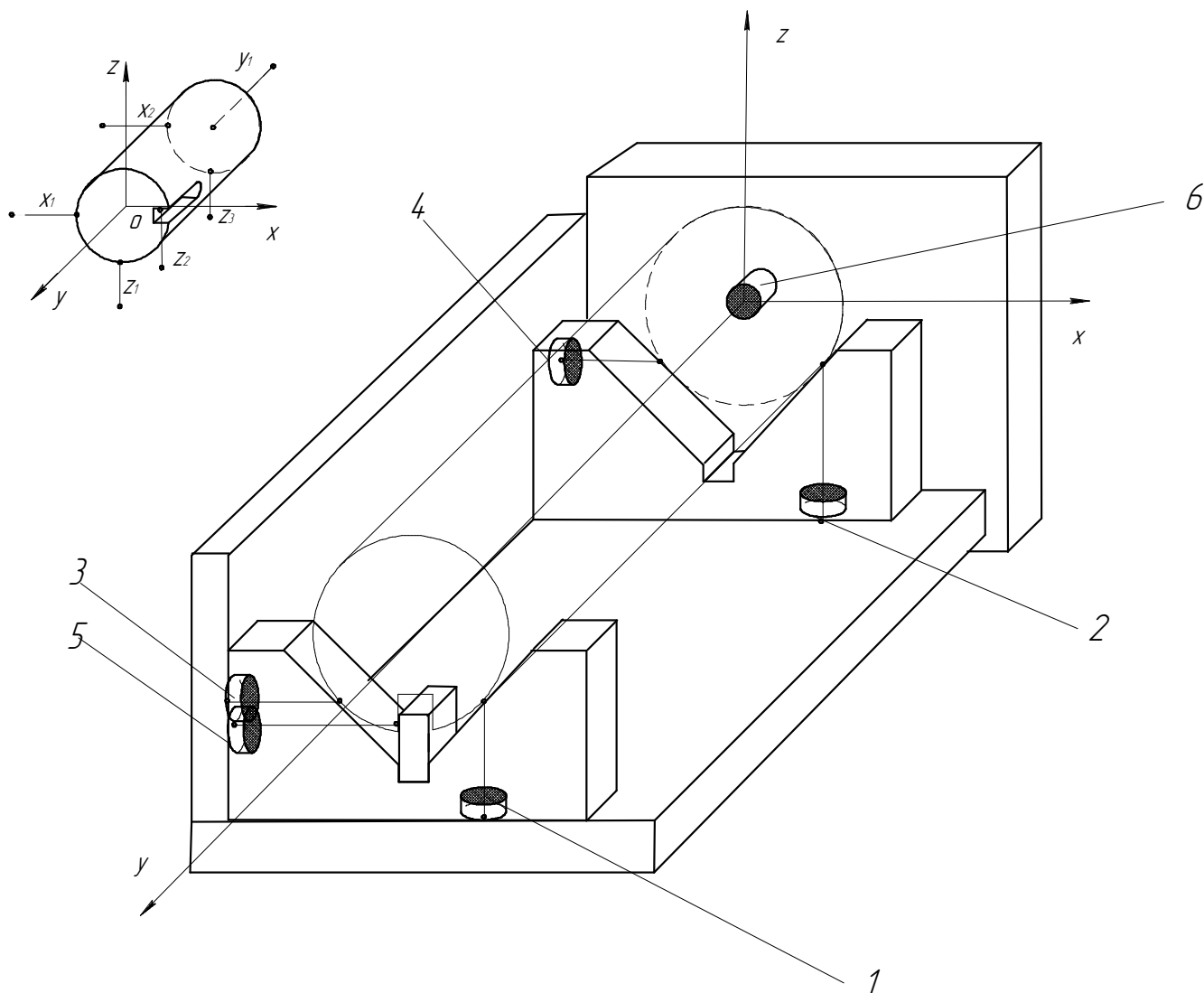


Рисунок 6.2 – Схема базирования длинного цилиндрического тела

Четыре двухсторонние связи, наложенные на цилиндрическую поверхность, называются **двойной направляющей базой**. Реализуется такая база двумя призмами или удлиненной призмой.

Рассмотрим ориентирование цилиндрических заготовок типа **дисков** ( $l < d$ ) (рис.6.3). В этом случае цилиндрическая поверхность заготовки не может выполнять функции двойной направляющей и находится в контакте с 4 опорными точками. С другой стороны, относительно большие раз

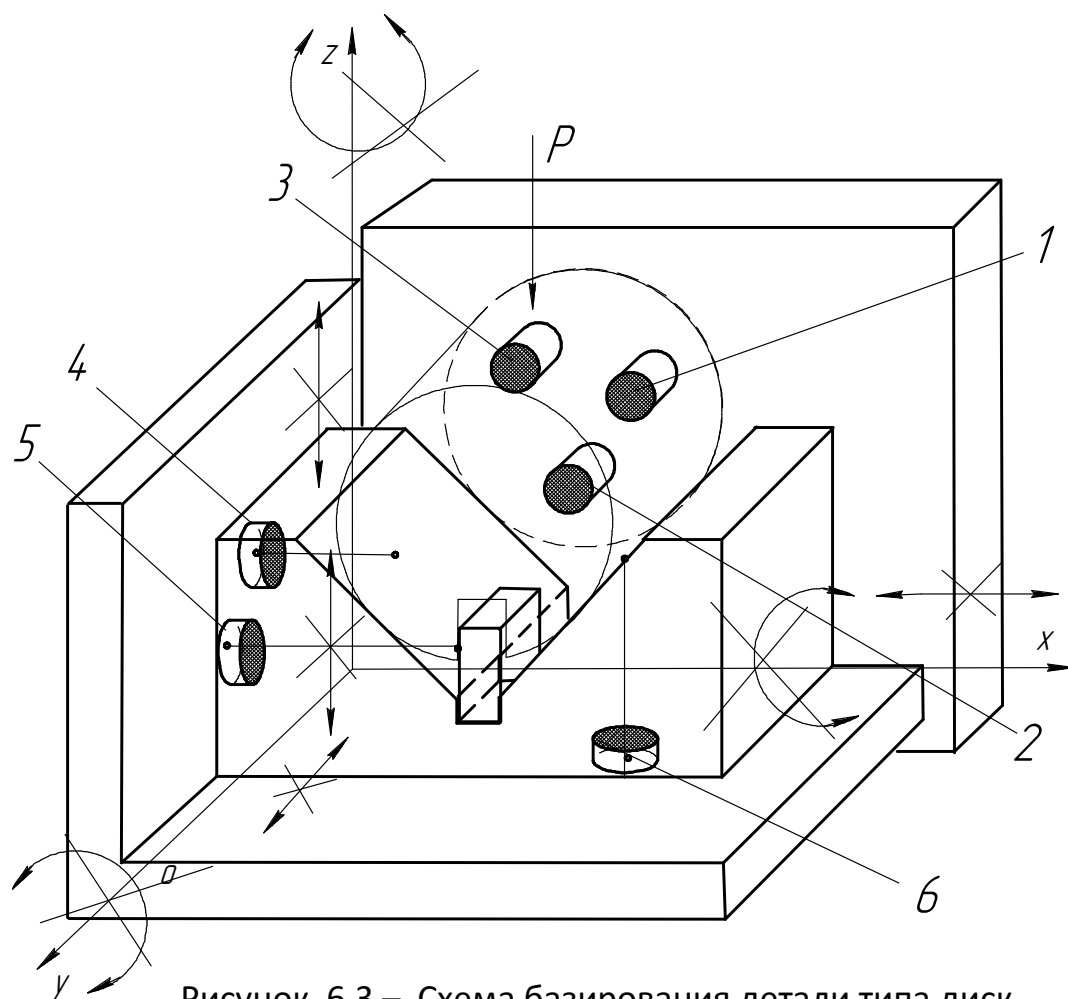


Рисунок 6.3 – Схема базирования детали типа диск

меры торцовой поверхности делают возможным размещение на ней 3 опорных точек. Поэтому в качестве **установочной** базы в этом случае выступает торцовая поверхность заготовки, лишая диск 3 степеней свободы.

Цилиндрическая поверхность диска «отбирает» при базировании две степени свободы и называется **двойной опорной базой**. Поверхность шпоночного паза лишает диск шестой степени свободы и является **опорной базой**.

## Базирование по конической поверхности

Установка детали с длинной конической поверхностью и относительно небольшой конусностью (например, сверло с конусным хвостовиком, вставленное в конусное отверстие патрона станка) лишает заготовку 5 степеней свободы. При этом остается только 1 степень свободы – поворот вокруг собственной оси.

Таким образом, в приведенном примере, коническая поверхность совмещает в себе функции двойной направляющей и опорной поверхности цилиндрической детали и называется **опорно-направляющей**. Шестую степень свободы тела можно лишить методом, изложенным при рассмотрении базирования цилиндрического тела.

Базирование по короткой конической поверхности с большим углом конуса рассмотрим на примере базирования детали по центровым отверстиям. Левое центровое отверстие, которое соприкасается с подвижным в осевом направлении центром передней бабки, выполняет функции центрирования и определяет положение заготовки в осевом направлении. Таким образом, оно лишает заготовку 3 степеней свободы и несет на себе 3 опорные точки. По выполняемой функции коническая поверхность переднего центрального отверстия называется **опорно – центрирующей базой**.

Функции правого центрального отверстия, которое соприкасается с неподвижным в осевом направлении центром задней бабки, ограничены осуществлением центрирования. Эта поверхность конуса находится в контакте с 2 опорными точками и лишает заготовку 2 степеней свободы. Поэтому коническая поверхность правого центрального отверстия называется **центрирующей базой**.

Таким образом, установка заготовки в центрах лишает ее 5 степеней свободы и сохраняет возможность вращения вокруг собственной оси.

## 6.2 Выбор необходимого количества баз

Не всегда необходимо полностью ориентировать заготовку или деталь в пространстве, т.е. лишать ее всех 6-ти степеней свободы.

Выбор комплекта баз, необходимых для базирования заготовки осуществляется в зависимости от решаемой технологической задачи. При базировании могут быть использованы 1, 2 или 3 базы, несущие на себе в общей сложности 3, 4, 5 или 6 опорных точек.

Задача выбора баз решается при проектировании ТП на этапе составления операционных эскизов. На карте эскизов указываются условные обозначения идеальных точек контакта заготовок и приспособлений или

условное обозначение элементов приспособлений. В качестве примера

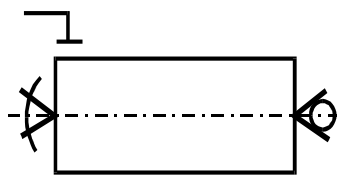


Рисунок 6.4 – Схема базирования детали в центрах.

зарисуем эскиз вала с простановкой условных обозначений (рис 6.4). Кроме условных обозначений по ГОСТ, применяемых на картах эскизов (КЭ), существуют обозначения элементарных точек контакта заготовки с поверхностями приспособления для обозначения теоретической схемы базирования.

Такие обозначения удобно применять для анализа возможных теоретических схем базирования на этапе разработки технологической операции и выбора баз.

Эти точки обозначают значками  

с нумерацией каждой из них. Например, рис. 6.5.

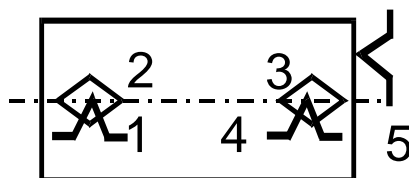















Рисунок 6.5 – Схема базирования детали в призмах

Все разработанные варианты схем рассчитываются и в производство принимается та схема, у которой погрешность базирования минимальна.

Рассмотрим примеры разработки схем базирования:

1. При обработке поверхностей заготовки  $d_1$  и  $d_2$ , необходимо обеспечить соосность с поверхностью  $d$ , рис.6.6 а.
2. Растачивание отверстия заготовки напроход, рис. 6.6 б.
3. Фрезерование плоскости заготовки, рис.6.7 а.
4. Фрезерования уступа с размерами  $b$  и  $h$  в детали, рис. 6.7 б.
5. Фрезерования шпоночного паза, рис. 6.7 в.

Таблица 6. 1 – Графические обозначения устройств

Наименование	Обозначение	
	Вид сверху	Вид спереди
Неподвижная	<u>Опоры</u> 	
	Подвижная 	
Регулируемая		
	Установочные устройства Одиночный 	
Центр неподвижный		
Центр вращающийся		
Центр плавающий		
Патрон поводковый		
Патрон цанговый		

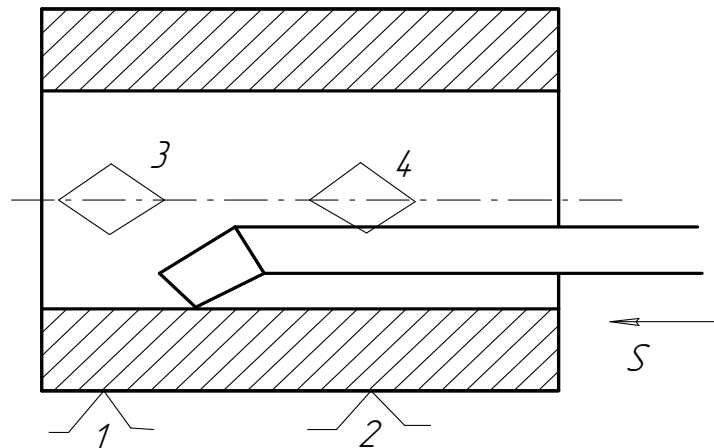
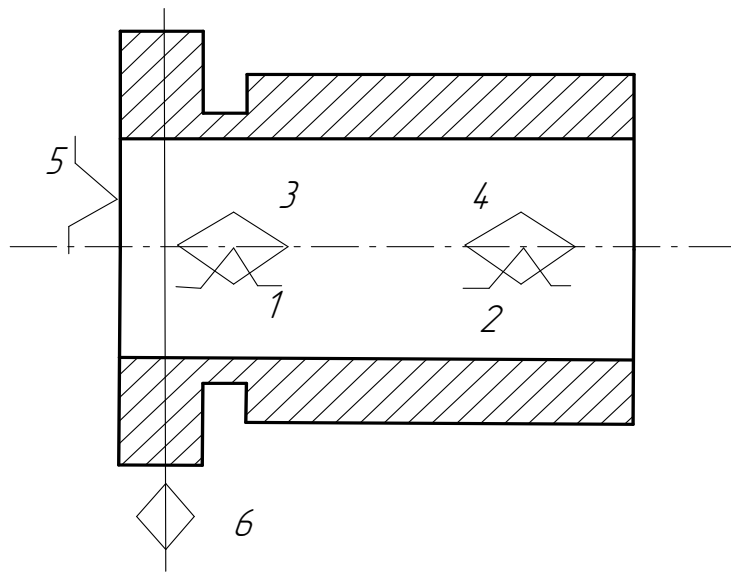
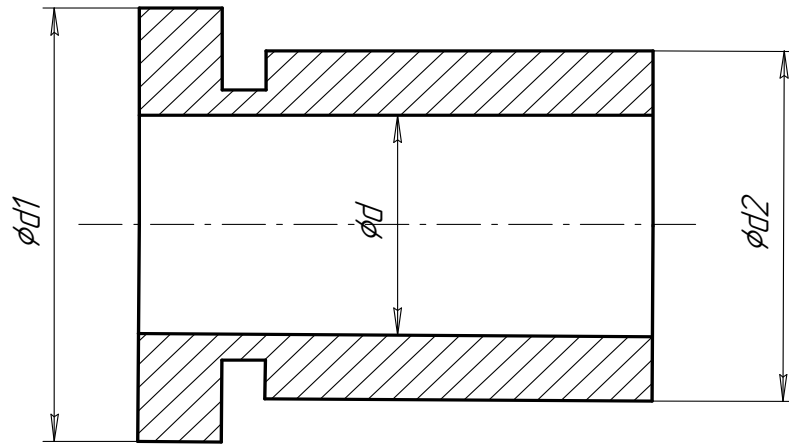


Рисунок 6.6 – Теоретические схемы базирования деталей – тел вращения

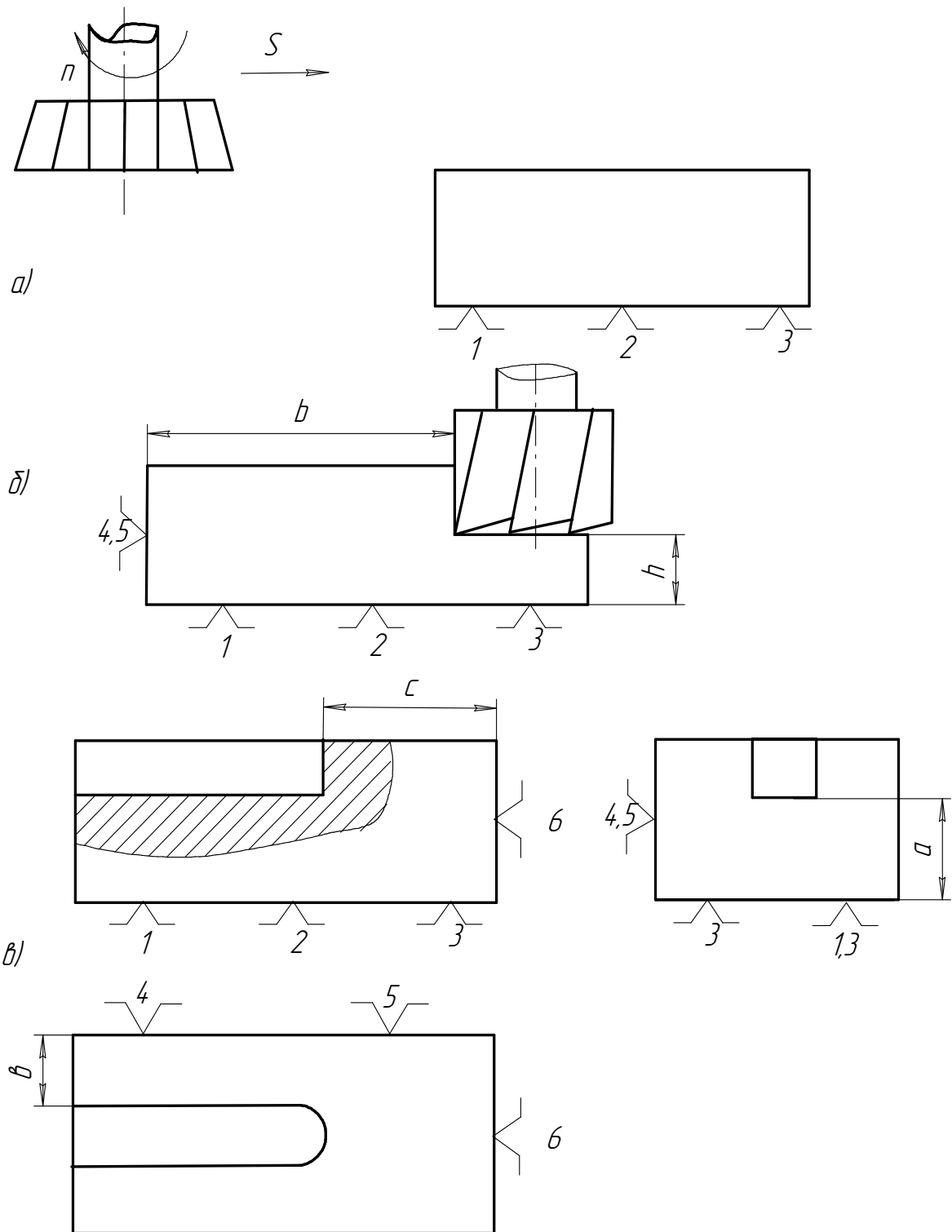


Рисунок 6.7 – Теоретические схемы базирования призматических деталей при фрезеровании а) плоскости; б) уступа; в) паза.

### 6.3 Классификация баз

Как правило, базирование осуществляется непосредственно контактом заготовки с соответствующими элементами станка. Однако во многих практических случаях проектирования технологического процесса

оказывается удобно располагать отдельные элементы детали или деталей в сборочном узле не по указанным реальным поверхностям, а по некоторым условным поверхностям, линиям и т.п.

Например: взаимное расположение валов удобно показывать расстоянием между их осями.

**Условной базой** – называется воображаемая линия, точка, плоскость, удобные для определения взаимного расположения деталей в узлах или сборочных единицах.

Применение условных баз дает возможность при расчете технологических цепей не учитывать качественные характеристики реальных поверхностей (шероховатость, точность изготовления), обеспечивает возможность повышения точности расчета.

При регулировке, сборке, механической обработке с выверкой положения заготовки на станке базирование может осуществляться и по самим условным базам, которые в этом случае материализуются с помощью специальных устройств (отвесов, центрирующих устройств и др.)

По назначению, базы подразделяют на (рис.6.8):

- **конструкторские;**
- **измерительные;**
- **технологические.**

**Конструкторская база** – поверхность, линия или точка детали, которая используется для определения ее положения в сборочной единице или сборочной единицы в изделии.

**Измерительная база** – поверхность, линия или точка от которой производится отсчет размеров при обработке заготовки или измерении, рис.6.9.

**Технологической** называется база, используемая для определения положения заготовки или изделия в процессе изготовления или ремонта. Технологические базы используются при обработке заготовки и при сборке изделий. условно разделяют на: *черновые, получистовые и чистовые.*





Рисунок 6.8 - Классификация баз

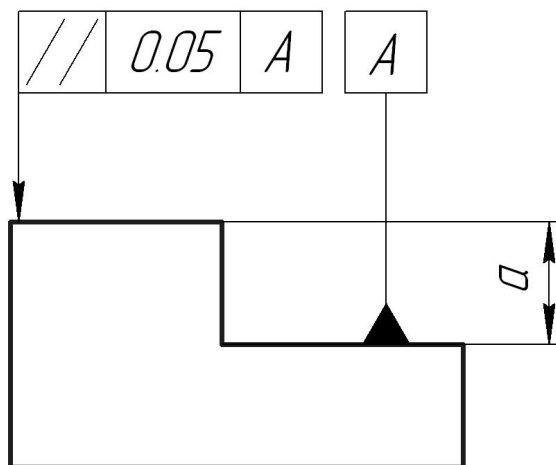


Рис. 6.9 – Пример измерительной базы

**Технологической базой при обработке** называют поверхность, линию или точку заготовки относительно которой ориентируются ее поверхности при обработке на данной установке.

**Технологической базой при сборке** называют поверхность, линию или точку детали или сборочной единицы относительно которых ориентируются другие детали или сборочные единицы.

По **особенностям применения** технологические базы при обработке заготовки делятся на:

- контактные;
- настроенные;
- проверочные;

Кроме перечисленных видов баз имеются также **искусственные базы**. К услугам таких баз прибегают в случаях, когда конфигурация заготовки не дает возможность выбрать технологическую базу, которая позволяла бы удобно и надежно ориентировать и (или) закреплять заготовку в приспособлении или на станке.

К искусственным технологическим базам относятся базы, которые обрабатываются с более высоким качеством (точности, шероховатости), чем это требуется для готовой детали.

Для полного базирования твердого физического тела достаточно лишить его 6 степеней свободы, путем создания контакта тела с 6 опорными точками. В этом случае задача является статически определимой.

Однако в некоторых случаях этого не достаточно. Например, при обработке длинного, тонкого вала и закреплением его в статически определимой системе из-за малой жесткости вала получаются большие прогибы, точность изготовления детали снижается. В этом случае прибегают к дополнительным опорным поверхностям (люнетам; дополнительным центрам).

Назначение технологических баз является одной из наиболее трудных задач в проектировании ТП, т.к. от правильности решения этого вопроса в значительной мере зависит качество обрабатываемых поверхностей, степень сложности и стоимость приспособлений, а следовательно, себестоимость продукции. Поэтому выбор технологических баз решается в начале проектирования ТП, причем одновременно с решением вопроса последовательности и видах обработки отдельных поверхностей.

#### **6.4 Выбор технологических баз**

Выбор баз начинается с выбора базы для первой операции. Базы, выбранные для первой операция, называются **черновыми**.

1. В качестве черновой технологической базы рекомендуется принимать поверхность, относительно которой при первой операции могут быть обработаны поверхности, используемые при дальнейших операции как технологические базы.

Для обеспечения возможности базирования и закрепления заготовки черновая технологическая база должна иметь большие размеры, достаточно высокую точность и малую шероховатость поверхности.

2. В качестве черновых баз рекомендуется принимать поверхности, на которых нет прибылей, литников или облоя от штамповки.

3. Черновая база должна быть использована только 1 раз, т.к. необработанная поверхность имеет низкую точность по сравнению с

обработанной. Исключение составляют заготовки, полученные методами точного литья, прессовки или другими точными методами.

4. В качестве черновых баз может быть рекомендована поверхность, с которой может быть снят минимальный припуск.

5. Если на детали остается необработанная поверхность, то для правильного взаимного расположения обработанных и необработанных поверхностей в качестве черновой базы принимают поверхность, которая остается необработанной.

6. При назначении черновой базы необходимо помнить о равномерном расположении припуска на механическую обработку. Это обеспечивает высокую точность обработки.

### **6.5 Принципы совмещения и единства баз**

Для получения детали с высокими качественными показателями в качестве баз рекомендуется принимать поверхности, которые затем служили бы в качестве конструкторских и измерительных баз.

В этом случае, когда одна и та же база является конструкторской, технологической и измерительной обработка детали осуществляется по размерам, расставленным конструктором на рабочем чертеже.

В противном случае технологу, необходимо производить замену размеров и проставить на рабочем чертеже другие размеры, полученные путем расчетов.

При этом увеличивается число размерных цепей, увеличивается погрешность расчетов, следовательно, для достижения заданной конструктором точности обрабатываемой поверхности необходимо увеличить точность составляющих звеньев.

Вторым важным принципом является принцип постоянства баз, который заключается в том, что при разработке ТП необходимо стремиться к использованию одной и той же технологической базы, не допуская без особой необходимости смены технологических баз (не считая смены черновой базы).

Этот принцип обусловлен тем, что всякая смена технологических баз вносит дополнительную погрешность взаимного расположения самих технологических баз, от которых производилась обработка поверхностей. Например, обработка ступенчатого вала с 2 установками. Принцип постоянства баз выдерживается при обработке детали типа "вал" в центрах.

Особенно успешно используется принцип постоянства баз при обработке сложных деталей на многооперационных станках (обрабатывающих центрах). На этих станках возможна обработка 5 сторон заготовок с одной базы; что позволяет устранить затраты времени на

переустановку и исключить влияние погрешности установки на точность относительного положения поверхностей заготовки. Однако иногда выполнение принципа постоянства баз приводит к усложнению и удорожанию приспособлений, а следовательно, и готовых изделий.

## 6.6 Погрешности установки заготовки

До сих пор рассматривались теоретические схемы базирования, у которых размеры – номинальные, усилия закрепления отсутствуют, установочные элементы не имеют погрешностей.

В реальных условиях при использовании приспособлений возможно появление погрешностей установки обрабатываемых заготовок.

В общем случае погрешность установки  $E$  состоит из погрешности базирования  $E_\delta$  и погрешности закрепления, т.е.

$$\bar{E} = \bar{E}_\delta + \bar{E}_z \quad (6.3)$$

**Погрешностью базирования** называют разность предельных расстояний от измерительной базы заготовки до установленного на размер инструмента. Погрешность базирования возникает при несовмещении измерительной и технологической баз заготовки. Она определяется для конкретного выполняемого размера при данной схеме установки.

Например: Необходимо определить  $E_\delta$  для призматической детали при фрезеровании уступа.

Определим погрешность базирования для размеров:

- размер  $A$ :  $E_\delta = 0$  (измерительная и технологическая базы совпадают);
- размер  $B$ :  $E_\delta = T_c$  (поскольку базы не совпадают);
- размер  $E$ :  $E_\delta = 0$  (базы совпадают)

Для уменьшения  $E_\delta$  следует:

- совмещать технологические и измерительные базы;
- повышать точность выполнения технологических баз;
- выбирать рациональное расположение установочных элементов и правильно назначать их размеры;

- устранять или уменьшать зазоры при посадке заготовок на установочные элементы (пальцы; втулки).

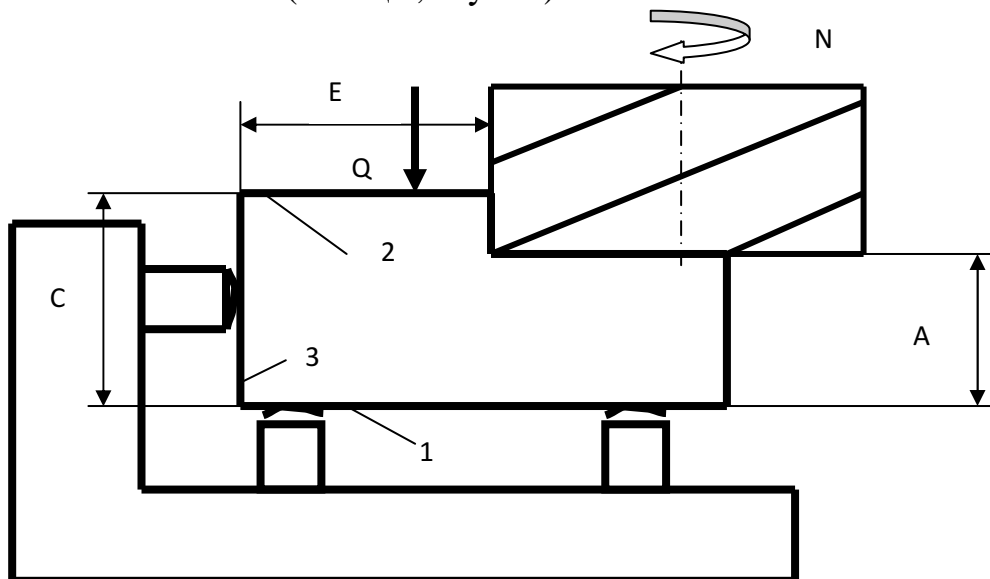


Рисунок 6.10 – Схема обработки детали

**Погрешность закрепления  $E_3$**  – разность предельных расстояний от измерительной базы до установленного на размер инструмента в результате смещения обрабатываемых заготовок под действием силы закрепления.

Погрешность закрепления  $E_3$  заготовки относительно размера  $A$  (см. рис. 6.10) не равна 0, тогда как для размера  $E$  имеем  $E_3 = 0$ , т.к. измерительная база 3 не перемещается при закреплении заготовки в горизонтальном направлении.

Измерительная база заготовки смещается в результате деформации звеньев цепи (заготовки, установочные элементы и корпус приспособления), через которые передаются силы закрепления. В этой цепи наибольшие перемещения наблюдаются в стыке заготовки – установочные элементы. В остальных звеньях перемещения малы.

Зависимость контактных деформаций для стыков *заготовка – установочные элементы* выражается в виде нелинейной зависимости

$$y = C \cdot Q^n, \quad (6.4)$$

где  $C$  – коэффициент, характеризующий вид контакта (контакт плоскостей, контакт плоскости со сферой и т.п.), материал заготовки, шероховатость и структуру ее поверхности. Для партии заготовок при данной схеме установки этот коэффициент в зависимости от шероховатости, твердости поверхностей, изменяется от  $C_{\min}$  до  $C_{\max}$ .

$Q$  – усилие, действующее на опору. В зажимах приспособления

$Q \neq \text{const}$ ;

$$Q_{\min} \leq Q \leq Q_{\max}. \quad (6.5)$$

Погрешность закрепления заготовки  $E_3$  часто сопоставима с  $E_6$ . Ее можно уменьшить, путем применения зажимных устройств, обеспечивающих постоянную силу закрепления заготовок, повышения однородности поверхностного слоя и материала заготовок.

## **6.7 Точность механической обработки и методы ее достижения**

Точность является важнейшей характеристикой качества изделий машиностроения. Повышение точности изготовления деталей и сборки узлов увеличивает долговечность и надежность эксплуатации механизмов и машин. Этим и объясняется непрерывное ужесточение требований к точности изготовления деталей и машин.

Если недавно считались точными детали с допусками в 0,01 мм, то в настоящее время изготавливались детали с допуском в 1-2 мкм или даже долей мкм. Например, при изготовлении плунжерных пар допуск сопрягаемых деталей составляет 1-2 мкм. При повышении точности деталей шарикоподшипника и уменьшении его зазора от 20 мкм до 10 мкм срок его службы увеличивается тоже почти в 2 раза.

**Точность детали** – соответствие ее требованиям чертежа: по размерам, геометрической форме, правильности взаимного расположения обрабатываемых поверхностей. Точность детали можно достичь двумя принципиально различными методами – методом пробных ходов и промеров и методом автоматического получения размеров на настроенном оборудовании.

### **Метод пробных проходов и промеров**

Метод пробных проходов и промеров заключается в следующем. К обрабатываемой поверхности заготовки, установленной на станке, подводят режущий инструмент, и с короткого участка заготовки снимают пробную стружку. Затем станок останавливают, делают пробный замер, определяют величину его отклонения от чертежа и вносят поправку в положение инструмента по лимбу станка. Затем цикл повторяют. Таким образом, путем пробных ходов и промеров устанавливается положение инструмента относительно заготовки, при которой обеспечивается требуемый размер. После этого выполняют обработку по всей длине. При обработке следующей заготовки всю процедуру установки инструмента пробными ходами и промерами повторяют.

При этом методе часто применяют разметку. В этом случае рабочий стремится совместить траекторию движения инструмента с линией разметки. **Достоинствами** метода являются:

- 1) позволяет получить высокую точность при неточном оборудовании; легко исправить небольшую погрешность.

2) исключает влияние износа режущих инструментов неточность размеров; при пробных проходах и промерах определяют и вносят необходимые коррективы в положение инструмента, требующиеся в связи с износом;

3) позволяет правильно распределить припуск при неточной заготовке и тем самым предотвратить брак; из маломерной заготовки при разметке часто удается выкроить контур детали и получить годные изделия;

4) освобождает от необходимости изготовления сложных и дорогостоящих приспособлений.

#### **Недостатки метода:**

1) низкая производительность обработки из-за больших затрат времени на пробные промеры и разметку;

2) высокая себестоимость обработки вследствие низкой производительности обработки в сочетании с высокой квалификацией рабочего;

3) частый брак из-за невнимания рабочего; от внимания рабочего зависит достигаемая точность обработки;

4) зависимость достигаемой точности обработки от минимальной толщины снимаемой стружки; при токарной обработке обычно заточенными резцами (не доведенными) это 0,02 – 0,05 мм. Следовательно, при работе пробными проходами рабочий не может внести поправку меньше этой величины. А это значит, что и погрешность не может быть меньше этой величины.

Метод используется, как правило, в единичном и мелкосерийном производстве, в опытном, ремонтном и инструментальном производстве. Часто применяется в тяжелом машиностроении. При серийном производстве находит применение при “спасении” бракованных литых и штамповочных заготовок.

В условиях крупносерийного и массового производства используется при шлифовании, т.к. позволяет легко компенсировать износ абразивного инструмента. Однако при повышении качества абразивов и достижении их однородности, а также при создании систем автоматической компенсации износа кругов этот метод будет вытеснен и из шлифовки.

#### **Метод автоматического получения размеров на настроенных станках**

При обработке по этому методу станок предварительно настраивается таким образом, чтобы требуемая точность достигалась бы автоматически, т.е. независимо от квалификации и внимания рабочего.

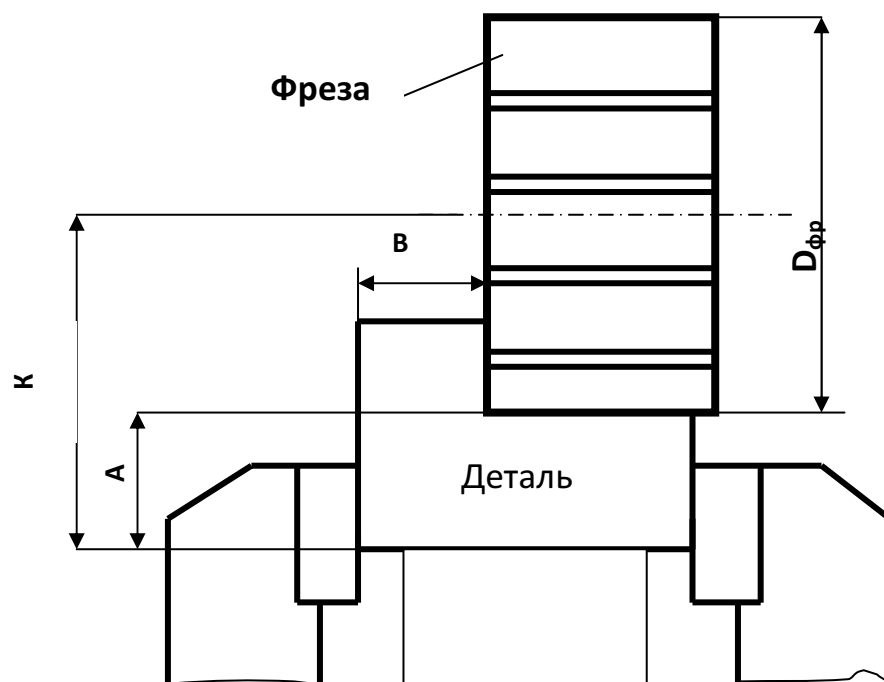


Рисунок 6.9 – Схема настройки станка

Так, например, при фрезеровании заготовок на размеры “а” и “в”, рис.6.9 стол фрезерного станка устанавливают по высоте так, чтобы опорная поверхность неподвижной губки тисков отстояла от оси вращения фрезы на расстоянии,  $K = 0,5D_{фр} + \alpha$ .

При этом боковую поверхность фрезы удаляют (поперечным перемещением стола) от вертикальной поверхности неподвижной губки на расстояние “в”.

Эту предварительную настройку станка производят по методу пробных проходов и промеров.

После такой настройки производят обработку всей партии заготовок без их промежуточных промеров (исключая контрольные промеры).

#### **Преимущества метода:**

1) повышение точности обработки и снижение брака – точность обработки не зависит от минимально возможной толщины стружки (припуск на обработку устанавливают заведомо больше этой величины); точность не зависит от квалификации и внимания рабочего;

2) рост производительности труда за счет устранения потерь времени на разметку и осуществление пробных ходов и промеров;

3) рациональное использование рабочих высокой квалификации – они работают настройщиками; на станках – малоквалифицированные операторы – в дальнейшем автоматы и роботы;



4) повышение экономичности вследствие перечисленных выше причин.

## 7. Влияние качества поверхности на эксплуатационные свойства деталей машин

Качество поверхности оказывает существенное влияние на эксплуатационные свойства деталей машин: износостойкость, усталостную прочность, стабильность посадок, коррозионную стойкость и другие.

Формирование качества поверхности связано с влиянием следующих групп факторов:

### 1. Геометрии инструмента и особенностей процесса резания;

Увеличение подачи, главного и вспомогательного угла в плане приводит к росту микронеровностей. Поэтому при чистовом точении не рекомендуются подрезные резцы.

Увеличение радиуса закругления резцов, их доводка по передней и задней поверхности – снижают шероховатость.

### 2. Соотношением между упругими и пластическими деформациями поверхности;

### 3. Возникающими вибрациями инструмента относительно заготовки.

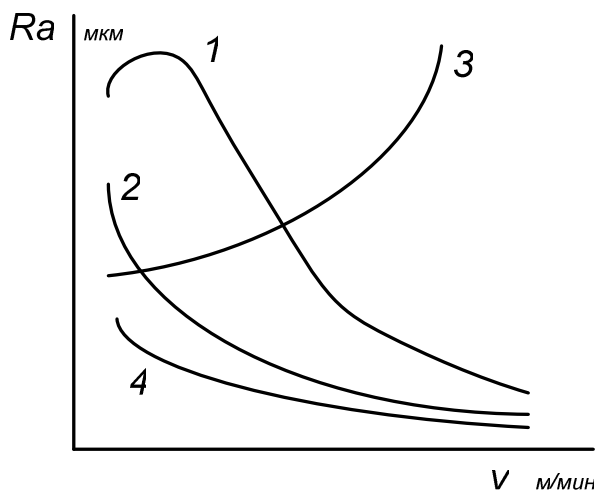


Рисунок 7.1 - Зависимость шероховатости от скорости резания.

- 1-перлитно-ферритные стали;
- 2-коррозионно-стойкие и жаропрочные стали;
- 3-легкоплавкие сплавы;
- 4-среднеуглеродистые стали.

При скоростях резания  $V = 20 - 40 \text{ м/мин}$  для среднеуглеродистых сталей (20-40 по ГОСТ1050-94) наблюдается значительное наростообразование, которое увеличивает (за счет царапин) шероховатость поверхности; при  $V > 70 \text{ м/мин}$  нарост как правило отсутствует.

Кроме того, существует диапазон подач приводящий к образованию «заторможенного слоя» на передней поверхности инструмента, который также увеличивает высоту микронеровностей поверхности. Если величина подачи  $S < 0.01 \text{ мм/об}$ , возможны упругие отжатия режущего инструмента, что также ухудшает качество поверхности. Известна зависимость

В.Л.Чебышева между шероховатостью и подачей  $Rz = \frac{S^2}{8r}$  ( $r$ - радиус закругления резца).

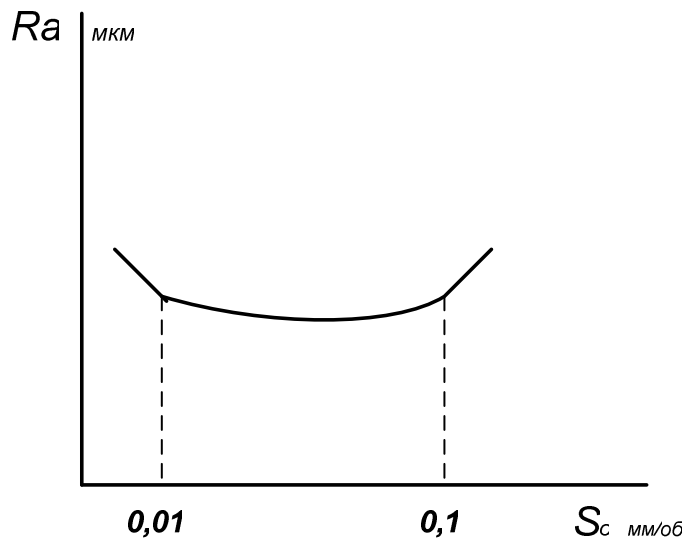


Рисунок 7.2 - Зависимость шероховатости от подачи.

Трение и износ деталей в значительной степени связаны с высотой и формой неровностей поверхности.

В начальный период работы трущихся поверхностей их контакт происходит по вершинам неровностей.

Под действием этих давлений в точках контакта происходят упругое сжатие и пластическая деформация смятия неровностей, срез, отламывание и пластический сдвиг вершин неровностей, что приводит к интенсивному начальному износу трущихся деталей. В точках контакта могут возникать высокие мгновенные температуры, срыв окисной пленки, сопровождающиеся молекулярным сцеплением и образованием узлов схватывания трущихся металлов.

В период начального износа высота неровностей уменьшается, что приводит к увеличению фактической поверхности их контакта и к снижению фактического давления.

Дальнейший процесс изнашивания протекает значительно медленнее и этот период времени определяет *срок службы детали*.

Если оптимальную для данных условий трения высоту неровностей удастся создать в процессе механической обработки, то в процессе износа она практически не изменяется, а время приработки и износ окажется наименьшим.

Увеличение высоты неровностей по сравнению с оптимальным значением повышает износ за счет возрастания механического зацепления, скалывания и среза неровностей поверхности.

Уменьшение высоты неровностей против оптимального значения приводит к резкому возрастанию износа в связи с возникновением молекулярного сцепления и заедания плотно соприкасающихся поверхностей повышенной гладкости, этому способствует выдавливание смазки и плохая смачиваемость смазкой зеркально-чистых поверхностей.

Таким образом, при проектировании машин важно назначить оптимальную шероховатость, когда износ и коэффициент трения при данных условиях изнашивания являются наименьшими.

Износ и коэффициент трения связаны и с направлением неровностей. При перпендикулярном направлении неровностей трущихся поверхностей или при их беспорядочном расположении, что наблюдается при суперфинишировании, коэффициент трения минимален.

Точность сопряжения, определяемая зазором в соединении также зависит от шероховатости поверхностей. В период начального износа высота неровностей может уменьшиться на 65-75%. Если высота неровностей соизмерима с полем допуска на изготовление детали, то в период начального износа дополнительный зазор может достигнуть значения допуска и точность соединения будет нарушена.

Значительное влияние на износ оказывают волнистость и макрогеометрия сопряженных поверхностей. Износ происходит неравномерно, так как вначале изнашиваются выступающие части. Для обеспечения необходимой точности сопряжений в техническую документацию при проектировании вводят ограничения погрешностей формы и расположения: отклонения от плоскостности, цилиндричности, круглости, параллельности, перпендикулярности и соосности.

От качества поверхности зависит контактная жесткость стыков сопрягаемых деталей в неподвижных соединениях. Волнистость и шероховатость снижают фактическую площадь контактов, а значит и жесткость стыков. В неподвижных соединениях за счет предварительной затяжки происходит смятие неровностей и увеличение поверхности контакта, что повышает жесткость стыка.

*Усталостная прочность* деталей также зависит от шероховатости их поверхностей. Наличие на поверхности детали, работающей в условиях циклической и знакопеременной нагрузок, отдельных дефектов и неровностей способствует концентрации напряжений, которые могут превысить предел прочности металла. В этом случае поверхностные дефекты играют роль очагов возникновения субмикроскопических нарушений, то есть способствуют образованию усталостных трещин.

*Влияние шероховатости поверхности* на концентрацию поверхностных напряжений характеризуют коэффициентом концентрации напряжений:

Существенно влияние концентраторов в местах резкого изменения площади сечения детали, поэтому необходимо уменьшать шероховатость в этих местах.

*Повышению износостойкости деталей* способствует упрочнение поверхностного слоя, наклеп. Наклеп уменьшает амплитуду циклической пластической деформации, что сдерживает развитие усталостных трещин, Но чрезмерное упрочнение поверхности приводит к разрывам межатомных связей по плоскостям скольжения, что вызывает *шелушение* металла и ускоренный износ трущихся поверхностей.

Таким образом, упрочнение металла поверхностного слоя в процессе механической обработки или при специальных упрочняющих операциях (обкатка роликами, шариками, дробеструйной обработке и т.д.) следует производить до определенной величины.

Износостойкость деталей машин во многих случаях можно повысить изменением методов обработки, режимов резания или геометрии режущего инструмента.

Значительное влияние шероховатость поверхности оказывает на коррозию, которая возникает и интенсивнее распространяется на более грубых поверхностях.

С уменьшением шероховатости поверхности увеличивается антикоррозийная стойкость детали. Причем, из-за пластической деформации в металле при механической обработке образуются микронеоднородности, способствующие коррозии.

Шероховатость поверхности оказывает существенное влияние на условия смазки в сопрягаемых узлах и на коэффициент трения. Кроме этого, шероховатость поверхностей деталей оказывает влияние: на теплопроводность, герметичность стыков, отражательную способность поверхностей, на сопротивление протеканию жидкостей и газов и т.д.

## **8. Нормирование технологического процесса**

При рассмотрении вопроса нормирования операции необходимо дать некоторые определения.

**Производственный цикл** – календарное время, необходимое для осуществления периодически повторяющегося производственного процесса.

**Производственная партия** – группа заготовок одного наименования и типоразмера, запускаемая в обработку одновременно или непрерывно в течение определенного интервала времени.

**Операционная партия** – производственная партия или часть ее, поступающая на рабочее место для выполнения технологических операций.

Технологические процессы в массовом и крупносерийном производствах характеризуются тактом и ритмом выпуска.

**Такт выпуска** – интервал времени, через который периодически производится выпуск изделий определенного наименования, типоразмера и исполнения:

$$t_e = Fg60/N \quad (8.18)$$

где  $Fg$  – действительный годовой фонд времени работы оборудования в планируемый период, час.;  $N$  – программа выпуска изделий в планируемом периоде, шт.

**Ритм выпуска** – количество изделий определенного наименования, типоразмера и исполнения выпускаемое в единицу времени. Величина, обратная такту выпуска.

Производственная программа завода – годовое количество выпускаемых изделий, а также включает номенклатуру изготавливаемых изделий, т.е. каких изделий и сколько предприятий должно выпустить в течение года.

Подетальная программа выпуска составляется на основе производственной программы:

$$P = P_1 m [1 + (n/100)], \quad (8.1)$$

где  $P$  – годовая производственная программа по данной детали;

$P_1$  – годовая производственная программа изделий;

$m$  – число данных деталей в изделии;

$n$  – процент запасных частей для данного изделия.

Определение меры соответствующего вознаграждения является основной задачей нормирования. Величина затраты времени на изготовление продукции – один из основных критериев оценки совершенства, технологического процесса.

В машиностроительном производстве при обработке деталей на металлорежущих станках определяется норма времени на отдельные операции или норма выработки деталей в штуках в единицу времени (час, смену).

Под технической нормой времени понимают время (в мин. или долях мин.), устанавливаемое на выполнение данной операции при определенных организационно – технических условиях и наиболее эффективном использовании всех средств производства с учетом передового производственного опыта.

Рассмотрим структуру нормы времени, рис.8.1.

$T_{n.з}$  – подготовительно – заключительное время – устанавливается на всю партию деталей. В  $T_{n.з}$  входит:

- а) время на ознакомление рабочего с работой и на чтение чертежа;
- б) время на подготовку рабочего места, настройку станка, инструмента, приспособления;
- в) время обработки инструмента и приспособлений по окончании обработки партии деталей.

Определяется по нормативам с учетом типа станка, массы заготовки и других факторов.

$T_{шт.}$  – штучное время – норма времени на изготовление одной штуки изделия.

$T_{он}$  – оперативное время – сумма основного  $T_o$  и вспомогательного  $T_v$  времени.

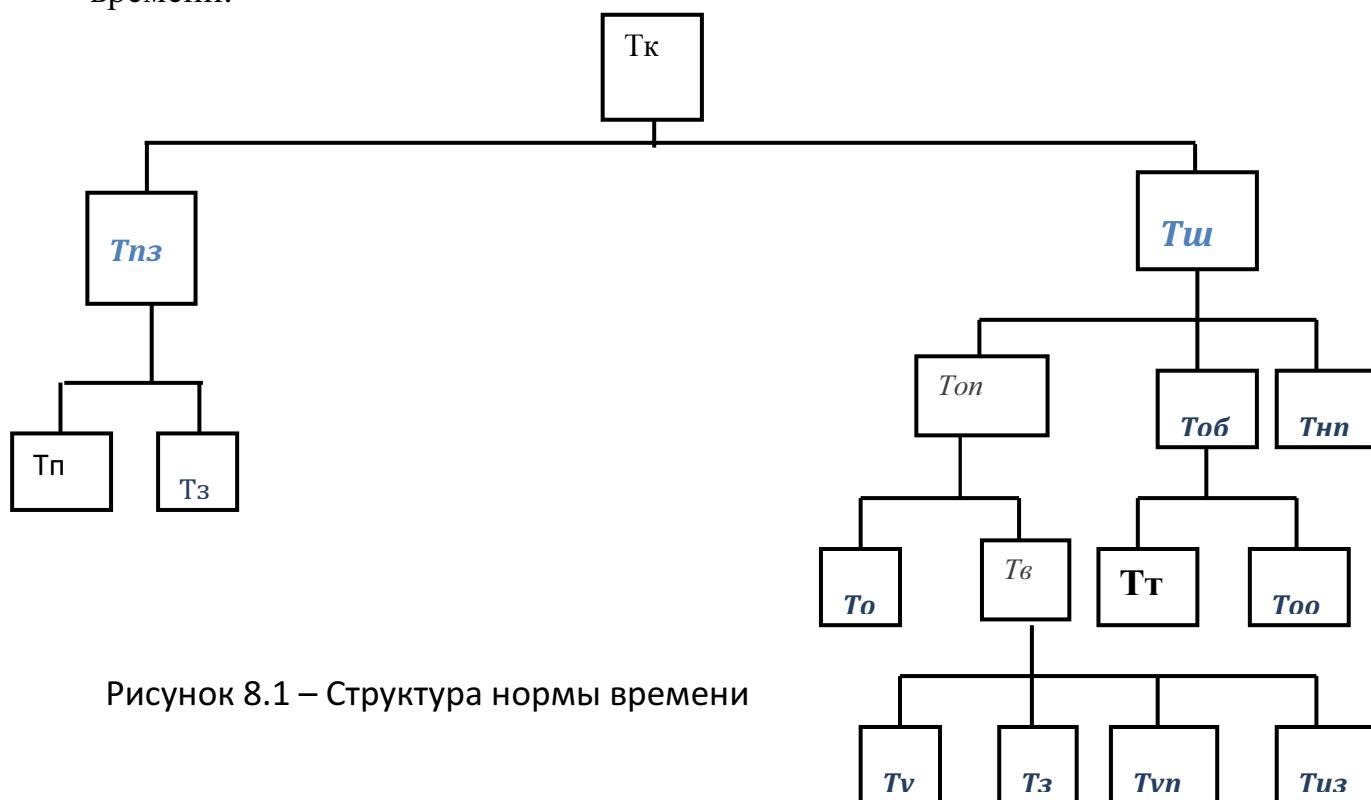


Рисунок 8.1 – Структура нормы времени

$T_o$  – основное время – время, в течение которого происходит изменение формы, размеров, внешнего вида изделий, т.е. производится механическая обработка заготовки. В  $T_o$  входит время, затрачиваемое на врезание и перебег (подход и выход инструмента), на проход инструмента при взятии пробных стружек.

При всех станочных работах  $T_o$  определяется отношением пути, пройденного режущим инструментом, к его минутной подаче.

Для токарных, сверлильных, резьбонарезных работ, зенкерования, развертывания, фрезерования  $T_o$  (основное или машинное время) определяется по формуле:

$$T_o = T_m = \frac{Li}{S_m} = \frac{Li}{nS} = \frac{LZ}{nSt}; \quad (8.2)$$

где  $T_m$  – машинное время, мин;

$L$  – длина пути инструмента, мм;

$$L = l + l_1 + l_2, \quad (8.3)$$

где  $l$  – длина обрабатываемой поверхности, мм;

$l_1$  – величина врезания инструмента, мм;

$l_2$  – величина перебега (схода) инструмента, мм;

$i$  – число проходов;

$S_m$  – подача, мм/мин (минутная подача);

$N$  – частота вращения шпинделя или фрезы, об/мин;

$S$  – подача на 1 оборот шпинделя или фрезы мм/об;

$Z$  – припуск на сторону, мм;

$t$  – глубина резания на сторону, мм.

$T_e$  – вспомогательное время. В  $T_e$  входит:

а) пуск станка, останов его, изменение скорости и подачи и т. д., – время управления станком;

б) время на перемещение инструмента;

в) время на установку, закрепление и снятие приспособления, инструмента и детали во время работы;

г) время на измерения детали.

В целях экономии времени следует по возможности совмещать действия, входящие в  $T_e$ , с действиями, входящими в  $T_o$ , т.е. вспомогательное время перекрывать машинным.

Таким образом

$$T_e = T_{yc} + T_{zo} + T_{изм} + T_{уп} \quad (8.4)$$

где  $T_{yc}$  – время на установку и снятие детали;

$T_{zo}$  – время на закрепление и открепление детали;

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

$T_{изм}$  – время на измерение детали

$T_{об}$  – время обслуживания рабочего места – подразделяется на техническое и организационной.

$T_{m.o}$  – время технического обслуживания – затрачивается рабочим на уход за рабочим местом в процессе данной работы.

В  $T_{m.o}$  входит:

- а) время на подналадку и регулировку станка в процессе работы;
- б) время на замену затупившегося инструмента;
- в) время на правку резца оселком шлифовального круга алмазом;
- г) время на удаление стружки во время работы.

Определяется в процентах к  $T_o$  или по формуле

$$T_{To} = \frac{T_o T_{cp}}{T_u}, \quad (8.5)$$

где  $T_{cp}$  – время на смену и регулирование инструмента;

$T_o$  – основное время;

$T_u$  – период стойкости инструмента,

$T_{o.o}$  – время организационного обслуживания – затрачивается рабочим на уход за рабочим местом в течение смены.

В  $T_{o.o}$  входит:

а) время на раскладку инструмента в начале смены и уборку его по окончанию смены;

б) время на чистку и смазку станка;

в) время на осмотр и опробования станка.

$T_{o.o}$  определяется в процентах к  $T_{on}$

$T_{n.n}$  – время нормируемых перерывов – время перерывов на отдых и физические потребности. Время перерывов на отдых вводится только в случае тяжелых или утомительных работ. Определяется в процентах к  $T_{on}$  (обычно не более 2% продолжительности рабочей смены).

Норма времени на партию заготовок определяются по формуле

$$T_{нар} = T_{nz} + T_{шт} \cdot n, \quad (8.6)$$

где  $n$  – число штук в партии заготовок определяются по формуле

Норма общего калькуляционного времени на 1 штуку  $T_k$ , или штучно-калькуляционного времени.

$T_{шт-к}$ , определяются по формуле:

$$T_k = T_{шт-к} = T_{nz}/n + T_{шт}, \quad (8.7)$$

где  $n$  – число штук в партии деталей.

Для серийного и еденичного производства  $T_{об}$  не подразделяется на  $T_{o.o}$  и  $T_{m.o}$ , а определяется также, как и  $T_{шт}$ , в % от  $T_{on}$ .



$$\text{Поэтому} \quad T_{ум} = T_{он} \left(1 + \frac{K}{100}\right) = (T_o + T_е) \left(1 + \frac{K}{100}\right), \quad (8.8)$$

где  $K$  – доля оперативного времени на  $T_{об}$  и  $T_{нп}$ .

В условиях массового производства в связи с редкой сменой работы на отдельных рабочих местах величина  $T_{п.з}$  в общей структуре нормы времени незначительна и ею пренебрегают. Поэтому для массового производства определяют только  $T_{ум}$ , а  $T_k$  не определяют.

$$\begin{aligned} T_{ум} &= T_{он} + T_{об} + T_{нп} = T_o + T_е + T_{мо} + T_{оо} + T_{нп} = \\ &= T_o + T_е + \frac{b_{мо}}{100} T_o + \frac{a_{оо}}{100} (T_o + T_е) + \frac{a_{нп}}{100} (T_o + T_е) = \\ &= T_o + T_е + \frac{b_{мо}}{100} T_o + \frac{a_{оо} + a_{нп}}{100} (T_o + T_е) \end{aligned} \quad (8.9)$$

## 8.2 Сравнение вариантов технологического процесса изготовления детали

Поскольку технология машиностроения является инвариантной, т.е. имеется большое число возможностей достижения нужного качества деталей, то в распоряжении технолога имеется выбор станков, приспособлений, инструментов, методов обработки, который позволяет спроектировать большое количество вариантов ТП.

Например. Необходимо в детали выполнить отверстие  $\varnothing 50H9$ , что может быть достигнуто:

- 1) сверлением, зенкерованием, протягиванием;
- 2) сверлением, зенкерованием, развертыванием;
- 3) сверлением, растачиванием, шлифованием;
- 4) сверлением, растачиванием, раскатыванием

При этом могут применяться и различные станки.

Оценка лучшего варианта производится по экономическим показателям, в качестве которых выступает технологическая себестоимость.

Для определения себестоимости применяют следующие методы:

- бухгалтерский;
- элементный.

### 8.2.1 Бухгалтерский метод определения себестоимости

Технологическая себестоимость по этому методу определяется как

$$C = A \cdot n + B, \quad (8.10)$$

где  $A$  – текущие затраты, т.е. затраты, которые повторяются при изготовлении каждой отдельной заготовки;

$n$  – число обработанных заготовок;

$B$  – единовременные затраты, производимые один раз на всю партию заготовок (на приобретение станков, инструментов, оснастки).

Себестоимость обработки одной заготовки:

$$C_3 = A + B/n. \quad (8.11)$$

Графически это выглядит в виде гиперболы, рис.8.2.

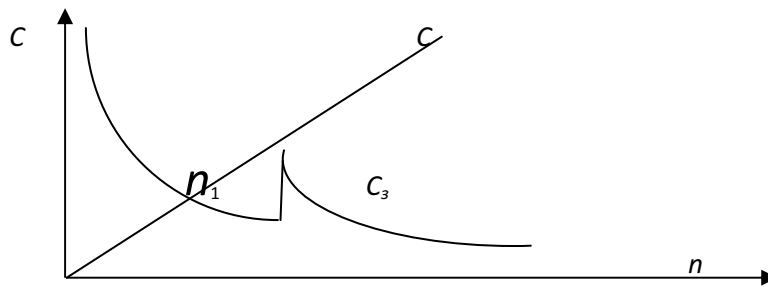


Рисунок 8.2 – Графики себестоимости изготовления изделий

Т.е. с увеличением  $n$   $C_3$  уменьшается.

Однако бесконечного уменьшения  $C_3$  с увеличением  $n$  не происходит. Это обусловлено тем, что при увеличении  $n$  наступает момент, когда  $C_3$  уже не изменяется. Достигнув какого-то граничного  $n_1$ , для данного ТП невозможно увеличение числа заготовок, обрабатываемых в заданный период времени без увеличения единовременных затрат на совершенствования ТП (новое оборудование, приспособления, инструмент и т.д.).

Текущие затраты  $A$  включают в себя:

- стоимость исходной заготовки;
- зарплату основных рабочих;
- цеховые расходы, связанные с амортизацией и ремонтом оборудования, содержанием здания, освещения, отоплением;
- затраты на силовую электрическую энергию;

- затраты на режущий, мерительный, вспомогательный инструмент и универсальные приспособления;
- затраты на зарплату ИТР и вспомогательных рабочих.

При определении себестоимости цеховые расходы определяют в % от зарплаты основных рабочих.

Тогда:

$$A = M_0 + Z_0 (1+P), \quad (8.12)$$

где  $M_0$  – стоимость исходной заготовки;  
 $Z_0$  – зарплата основных рабочих;  
 $P$  – сумм всех цеховых расходов.

$$1,5 \leq P \leq 8 \quad (8.13)$$

Достоинства метода расчета:

- простота;
- доступность;
- наглядность.

Недостатки: Методом не учитывается разница в расходах по эксплуатации и амортизация оборудования и оснастки в сопоставляемых вариантах ТП.

При расчетах получается, что более производительные методы оказываются экономичными даже в случае применения дорогого оборудования.

Описанный метод может быть использован при оценочных расчетах для однородной продукции и технологии.

### 8. 2.2 Элементный метод расчета себестоимости

Элементный метод свободен от недостатков бухгалтерского метода и заключается в расчете всех составляющих себестоимости.

$$C = M_0 + Z_0 + Z_B + A_0 + A_{ТО} + P_0 + И + П_Э + П_П + П_{ПР}, \quad (8.14)$$

где  $M_0$  – стоимость исходной заготовки;  
 $Z_0$  – заработная плата основного рабочего;  
 $Z_B$  – зарплата наладчика;

$A_0$  – амортизационные отчисления от оборудования;  
 $A_{ТО}$  – амортизационные отчисления от технологической оснастки;  
 $P_O$  – затраты на ремонт и обслуживание оборудования;  
 $I$  – затраты на инструмент;  
 $ПЭ$  – затраты на силовую электроэнергию;  
 $ПП$  – затраты на содержание производственных площадей и их амортизацию;  
 $П_{ПП}$  – затраты на подготовку программ и эксплуатацию программ для станков с ЧПУ.  
 Стоимость исходной заготовки.

$$M_0 = G_3 \cdot G_M \cdot K_{ТЗ} - g \cdot C_0, \quad (8.15)$$

где  $G_3$  – масса заготовки;  
 $G_M$  – стоимость единицы массы заготовки;  
 $K_{ТЗ}$  – коэффициент, характеризующий транспортно-заготовительные расходы;  
 $g$  – масса отходов на одну деталь;  
 $C_0$  – стоимость отходов;  
 $K_{мз} = 1,04 - 1,08$  – для черных металлов;  
 $K_{мз} = 1,0 - 1,02$  – для других металлов.

Заработная плата станочника с учетом всех видов доплат и начислений

$$З_о = H_{оэ} \cdot K_m \cdot t_{шт.к} / 60, \quad (8.16)$$

где  $H_{оэ}$  – норматив часовой зарплаты станочника;  
 $K_m$  – коэффициент доплат за многостаночное обслуживание;  
 $t_{шт.к}$  – штучно-калькуляционное время на операцию, мин.

Заработная плата наладчика с учетом всех видов доплат и начислений

$$З_в = H_{н.г} \cdot m \cdot t_{шт.к} / 60 \cdot K_{он} \cdot Fg, \quad (8.17)$$

где  $H_{н.г}$  – норматив годовой зарплаты наладчика;  
 $m$  – число смен работы станка;  
 $K_{он}$  – коэффициент станков, обслуживания наладчиком за I смену;  $Fg$  – действительный годовой фонд времени работы оборудования.

Амортизационные отчисления от стоимости оборудования

$$A_0 = \Phi \cdot H_a \cdot t_{шт.к} / 100 \cdot 60 \cdot Fg, \quad (8.18)$$

где  $\Phi$  – стоимость оборудования,  $\Phi = 1,12 \dots 1,15C$ ;  
 $C$  – оптовая цена оборудования;  
 $1,12 \dots 1,15$  – коэффициент, учитывающий затраты на транспортировку и монтаж оборудования;  
 $H_a$  – общая норма амортизационных отчислений, %.

Амортизационные отчисления от стоимости технологического оснащения, приходящегося на одну деталь при расчетном сроке службы оснастки 2 года.

$$A_{mo} = \Phi_{mo} / 2 N_2, \quad (8.19)$$

где  $\Phi_{mo}$  – стоимость технологического оснащения;  
 $N_2$  – годовая программа выпуска;

Затраты на ремонт и обслуживание оборудования

$$P_o = (H_m \cdot K_m + H_э \cdot K_э) \cdot t_{ум.к} / 60 \cdot Fg \cdot K_m, \quad (8.20)$$

где  $H_m$  и  $H_э$  – нормативы годовых затрат на ремонт соответственно механической и электрической частей оборудования;  
 $K_m$  и  $K_э$  – категория сложности ремонта соответственно механической и электрической частей оборудования;  
 $K_m$  – коэффициент, зависящий от класса точности оборудования.

Затраты на режущий инструмент

$$I = 1,4 \cdot \Phi_u \cdot \eta_m \cdot t_{ум.к} / T_{сл.н}, \quad (8.21)$$

где  $\Phi_u$  – цена единицы инструмента;  
 $\eta_m$  – коэффициент машинного времени;  
 $\eta_m = t_0 / t_{ум.к}$ ;  
 $T_{сл.н}$  – срок службы инструмента до полного износа, мин.

Затраты на электроэнергию

$$P_э = N_э \cdot \eta_{30} \cdot C_э \cdot t_{ум.к} / 7200, \quad (8.22)$$

где  $N_э$  – мощность эл. двигателя;  
 $\eta_{30}$  – коэффициент загрузки электродвигателя;  
 $C_э$  – цена 1кВт.ч электроэнергии.

Затраты на содержание и амортизацию

производственных площадей

$$P_n = H_n \cdot P_c \cdot K_{cy} \cdot t_{ум.к} / 60 \cdot Fg, \quad (8.23)$$

где  $H_n$  – норматив издержек, приходящихся на  $1\text{ м}^2$  производственной площади;

$P_c$  – площадь, занимаемая станком;

$K_{cy}$  – коэффициент, учитывающий площадь для систем управления станков с ЧПУ;

$$K_{cy} = 1,5 \dots 2,0.$$

Затраты на подготовку и эксплуатацию управляющих программ

$$P_{np} = \chi \cdot K_6 / N_z \cdot T_\delta, \quad (8.24)$$

где  $\chi$  – стоимость программы;

$K_6$  – коэффициент, учитывающий потребность в восстановлении программносителя;

$T_\delta$  – срок выпуска данной детали (год).

При  $K_6 = 1,1$  и  $T_\delta = 3$ :

$$P_{np} = \chi \cdot K_6 / N_z \cdot T_\delta = 0,37 * \chi / N_z. \quad (8.25)$$

Есть еще один способ определения технологической себестоимости - **нормативный.**

Технологическая себестоимость варианта ТП определяется как

$$C = Z_o + Z_{ep} + H_o * K_{мч} * t_{ум.к} / 6000, \quad (8.26)$$

где  $Z_o$  и  $Z_{ep}$  – зарплата станочника и наладчика;

$H_o$  – средние затраты на содержание и эксплуатацию оборудования, имеющего коэффициент машино-часа  $K_{мч} = 1,0$ ;

$K_{мч}$  – коэффициент машино-часа для данного станка.

Величины  $H_o$  и  $K_{мч}$  определяются по таблицам

Таким образом, для выполнения расчета технологической себестоимости необходимы следующие исходные данные:

- модель станка;
- штучно-калькуляционное время;
- разряд станочника;
- разряд наладчика;
- число станков, обслуживаемых в смену станочником и наладчиком;
- действительный, годовой фонд времени работы станка;
- оптовая цена станка;
- масса и габариты станка;
- мощность электродвигателя станка;

- категория ремонтной сложности частей станка.

Таким образом определяют технологическую себестоимость  $C$  различных вариантов ТП.

Для того чтобы ответить на вопрос какой же из вариантов ТП наилучший, с точки зрения  $C \Rightarrow \min$ , необходимо учесть еще и капитальные затраты. Тогда эффективность сравниваемых вариантов ТП можно определить по формуле:

$$\mathcal{E} = (C_1 - C_2) N + E_n (K_1 - K_2), \quad (8.27)$$

где  $C_1$  и  $C_2$  – технологическая себестоимость 1 и 2 вариантов ТП;

$N$  – годовая программа;

$K_1$  и  $K_2$  – удельные капитальные вложения;

$E_n$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений,  $E_n = 0,15$  грн. в год на 1 грн. капитальных вложений.

Если сравниваемые варианты не требуют для своего выполнения существенных капитальных вложений, то сравнение вариантов технологических процессов проводят на основе величин их технологической себестоимости.

Т.е.

$$\mathcal{E} = C_1 - C_2. \quad (8.28)$$