

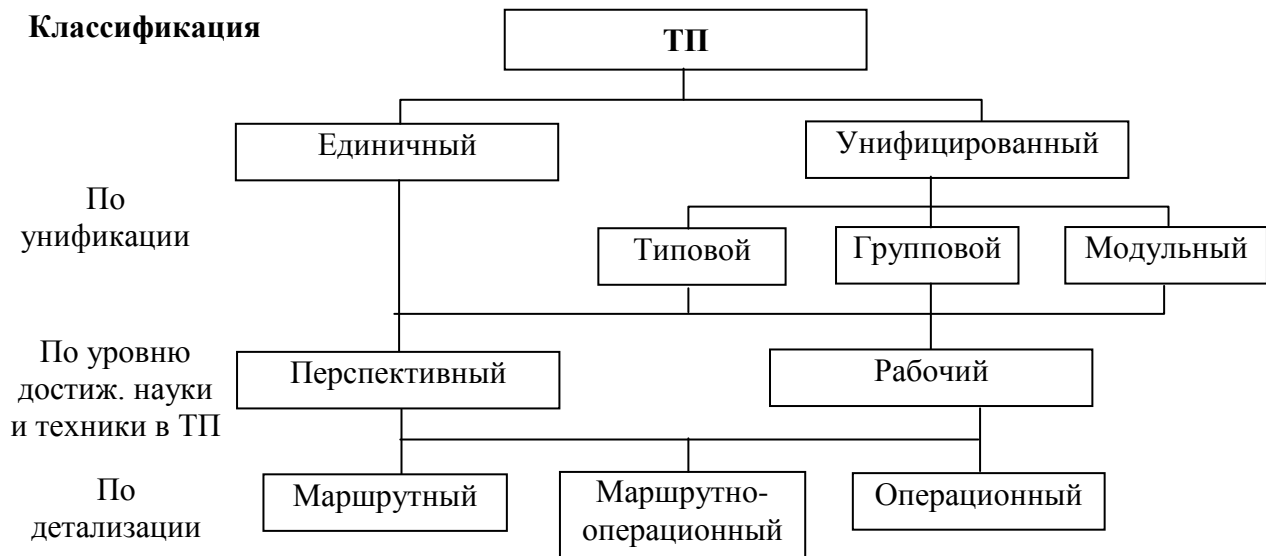
## Тема 2. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАШИН

### Лекция 1. ИСХОДНАЯ ИНФОРМАЦИЯ И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАШИН

#### Классификация технологических процессов

В зависимости от условий производства и назначения проектируемого технологического процесса (ТП) применяются различные виды и формы организации ТП. В зависимости от количества изделий, охватываемых ТП, различают два основных вида ТП: *единичный* и *унифицированный*.

В свою очередь *унифицированный ТП* разделяется на *типовой*, *групповой* и *модульный*.



**Единичный ТП** – это ТП изготовления или ремонта изделия одного наименования, типоразмера и исполнения независимо от типа производства (ГОСТ 3.1109-82). Характерен для оригинальных изделий.

**Унифицированный ТП** – это ТП, относящийся к группе изделий, характеризующихся общностью конструктивных и технологических признаков. Находит широкое применение в мелкосерийном и серийном производствах. Редко – в крупносерийном.

**Типовой ТП** – это ТП изготовления группы изделий с общими конструктивными и технологическими признаками. Используют как информационную основу при разработке рабочих ТП, а иногда и просто как рабочие процессы.

**Групповой ТП** – это ТП изготовления группы изделий с разными конструктивными, но общими технологическими признаками. Групповые ТП в основном разрабатываются на уровне предприятия.

**Модульный принцип технологического проектирования** – это проектирование ТП на базе разработанных технологических решений по обработке типовых конструктивно-технологических модулей. Конструктивно-технологические модули представляют собой сочетание типовых элементарных поверхностей детали, имеющих строго определенное геометрическое, точностное и параметрическое описание.

Модульные технологии имеют гораздо более широкое применение по сравнению с типовыми и групповыми методами производства изделий и включают последние в свою структуру.

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

**Рабочий ТП** – это ТП, выполняемый по рабочей технологической и (или) конструкторской документации.

**Маршрутное описание ТП** – сокращенное описание в маршрутной карте без указания переходов и режимов. Применяют в единичном, мелкосерийном, опытных производствах.

**Операционное описание ТП** – полное описание всех операций с указанием переходов и режимов в массовом, крупносерийном и серийном производствах, для сложных деталей в единичном и мелкосерийном производствах.

**Маршрутно-операционное описание ТП** – сокращенное описание операций в маршрутной карте некоторых операций описываются отдельно. Применяется в мелкосерийном, серийном производствах и опытных производствах для сложных деталей.

## **Исходная информация для разработки ТП изготовления машины**

### *1. Базовая информация:*

- конструкторская документация на машину (рабочий проект);
- программа выпуска машины (годовая);
- общее количество машин, подлежащих изготовлению (по неизменным чертежам);
- условия, в которых предполагается организовать и осуществить ТПП, изготовление машин (вновь создаваемый или действующий завод и т.д.);
- организационные условия: возможность кооперирования с другими предприятиями; условия снабжения; наличие и перспективы получения кадров всех рангов;
- плановые сроки ТПП.

Все эти данные необходимы для детального выяснения задачи, которая ставится перед технологическим процессом, и условий, в которых должна производиться ТПП.

*2. Руководящая информация:*

Стандарты всех уровней на ТП, оборудование и оснастку; перспективные ТП; производственные инструкции и др.

*3. Справочная информация:*

Действующие ТП; описание передовых ТП, прогрессивных методов обработки и сборки; каталоги, номенклатурные справочники технологического оборудования и оснастки; материалы по техническому нормированию; прогнозы НТП производства; методические материалы по расчету точности ТП и др.

## **Стадии разработки ТП**

*1. Техническое задание.* Устанавливают технические требования (ТТ) к технологической документации, степень ее детализации, исполнителей, источники финансирования. Здесь же производят предварительные расчеты технико-экономической эффективности проектных решений.

*2. Технический проект.* Разрабатывается проектный, маршрутный ТП и принимаются основные принципиальные технические и организационные решения.

*3. Рабочий проект.* Разрабатывается маршрутно-операционный или операционный ТП.

## **Последовательность разработки ТП изготовления машины**

### ***1. Технология сборки.***

#### *1.1. Анализ конструкторской документации:*

– изучение служебного назначения машины; норм точности, жесткости и др. ТУ;

– критический анализ ТУ и внесение соответствующих коррективов в конструкторскую документацию;

#### *1.1. Разработка ТП общей сборки машины.*

Отработка конструкции машины и ее сборочных единиц на технологичность производится в соответствии с ГОСТ 14.203-73 «Правила обеспечения технологичности конструкции сборочных единиц».

#### *1.3. Разработка технологии сборки всех сборочных единиц машины.*

### ***2. Технология изготовления деталей машины***

#### *2.1. Анализ конструкторской документации*

При анализе конструкторской документации необходимо учитывать требования технологии сборки.

*2.2. Разработка наиболее экономичных вариантов ТП изготовления деталей*

Последовательность разработки типовых ТП регламентирована ЕСТПП – ГОСТ 14.303-73 будем рассматривать ниже.

### **3. Выбор средств технологического оснащения (ТО):**

- технологического оборудования;
- технологической оснастки;
- средств технологического оснащения процессов технологического контроля;
- средств механизации и автоматизации процессов перемещения.

Часть средств ТО (стандартных) может быть приобретена у специализированных предприятий в установленном порядке. Все нестандартные средства ТО должны быть спроектированы и изготовлены или самим машиностроительным заводом, или по его заказам другими предприятиями.

### **4. Проектирование участков, цехов и заводов**

Вся работа по созданию ТП изготовления машины регламентируется стандартами ЕСТПП, а оформление документации – стандартами ЕСТД.

До начала разработки ТП и на всех стадиях его проектирования производится отработка конструкции изделия на технологичность.

#### **Отработка конструкции изделия на технологичность**

*Примеры отработки на технологичность на станках с ЧПУ СТМ 1 с. 543-546.*

Технологичность конструкций изделий: Справочник / Под ред. Ю.Д. Амирова. – М.: Машиностроение, 1986. – 384 с.

*См. стр. 4 ГОСТ 14.201-83.*

Карев Е.А., Муслина Г.Р., Джавахия Ж.К. Отработка конструкций изделий на технологичность. Ульяновск: УлПИ, 1984. 42 с.

Карев Е.А., Муслина Г.Р., Джавахия Ж.К. Отработка конструкций изделий на технологичность в курсовых и дипломных проектах: Учебное пособие. Ульяновск: УлПИ, 1989. 80 с.

**Цель отработки на технологичность** – повышение производительности труда, снижение затрат и сокращение времени на ТПП, изготовление, техническое обслуживание и ремонт изделия при обеспечении заданного качества этого изделия.

При отработке на **технологичность** следует руководствоваться **рядом общих положений**:

1. Широкое использование унифицированных сборочных единиц, стандартных и нормализованных деталей и элементов деталей.

2. Минимальное количество деталей оригинальной сложной конструкции и возможно бóльшая повторяемость одноименных деталей, а также деталей стандартных и деталей, использованных в предшествующих конструкциях.

3. Уменьшение общего количества звеньев в кинематических и размерных цепях.

4. Создание конструкций изделий, позволяющих вести сборку по принципу ПВЗ и НВЗ.

5. Создание конфигураций деталей и подбор их материалов, которые позволяют использовать наиболее совершенные заготовки, т.е. заготовки, форма и размеры которых максимально приближаются к форме и размерам деталей.

6. Простановка размеров на чертежах с учетом особенностей обработки заготовок на станках с ЧПУ и автоматической сборки изделий.

7. Создание конфигураций деталей, позволяющих применять наиболее прогрессивные методы механической обработки.

Существуют два метода оценки технологичности: качественный и количественный.

**Качественная оценка** допускается на всех стадиях проектирования как предварительная и характеризуется следующими показателями: хорошо-плохо, допустимо-недопустимо.

При **количественной оценке** показатели новой конструкции сравниваются с аналогичными показателями базовой конструкции.

Одним из основных показателей технологичности конструкции является **уровень технологичности конструкции** по трудоемкости изготовления:

$$K_{\text{ут}} = T_{\text{и}} / T_{\text{би}},$$

где  $T_{\text{и}}$  – трудоемкость изготовления изделия;  $T_{\text{би}}$  – базовый показатель трудоемкости изготовления.

## Лекция 2. ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ ТП СБОРКИ МАШИНЫ

Под *сборкой* понимают *ТП*, при помощи которого производится соединение и фиксация в пределах соответствующих норм точности всех деталей, составляющих ту или иную сборочную единицу. Доля сборки в ТП изготовления машины составляет 20 – 40 %.

*Согласно ГОСТ 3.1109-82 – «сборка – образование соединений составных частей изделия».*

Процесс сборки является заключительным этапом изготовления машины, в значительной степени определяющим ее основные эксплуатационные качества.

**По своему объему сборка** подразделяется:

- на общую сборку, объектом которой является изделие в целом;
- на узловую сборку, объектом которой является составная часть изделия, т.е. сборочная единица или узел.

В условиях единичного и мелкосерийного типов производства основная часть сборочных работ выполняется на общей сборке и лишь их малая доля осуществляется над отдельными сборочными единицами. С увеличением серийности производства сборочные работы все больше раздробляются по отдельным сборочным единицам, а в условиях крупносерийного и массового типов производства объем узловой сборки становится равным или даже превосходит объем общей сборки. Это в значительной мере способствует механизации и автоматизации сборочных работ и повышает их производительность.

*В единичном производстве узловая сборка составляет 5-10 %. В массовом – 45-60 %.*

По стадиям процесса сборка подразделяется на следующие виды:

- *Предварительная сборка* – сборка заготовок, составных частей или изделия в целом, которые в последующем подлежат разборке.

Пример: предварительная сборка узла с целью определения размера неподвижного компенсатора.

- *Помежуточная сборка* – сборка заготовок, выполняемая для дальнейшей их механической обработки.

Пример: сборка корпуса редуктора с крышкой для последующей совместной обработки отверстий под штифты (например, левая и правая чашки дифференциала, корпус и крышка раздаточной коробки автомобиля).

- *Сборка под сварку* – сборка заготовок для последующей сварки.

Пример: изготовление кабин и кузовов автомобиля.

- *Окончательная сборка* – сборка изделия или его части, после которой не предусмотрена его последующая разборка при изготовлении.

**По методу образования соединений сборка** подразделяется на:

- *слесарную сборку*, т.е. сборку изделия или его составной части при помощи слесарно-сборочных операций;

– *монтаж*, т.е. установку изделия или его составных частей на месте использования (например, монтаж станка с ЧПУ на предприятии-потребителе и т.д.);

– *электромонтаж*, т.е. монтаж электроизделий;

– *сварка, пайка, клепка, склеивание*.

**(50-85) %** сборочных работ представляет собой ручные работы, требующих большие затраты физического труда и рабочих высокой квалификации.

### Организационные формы сборки

Выбор рациональной организации сборки во многом определяет эффективность всего производства изделий в машиностроении.

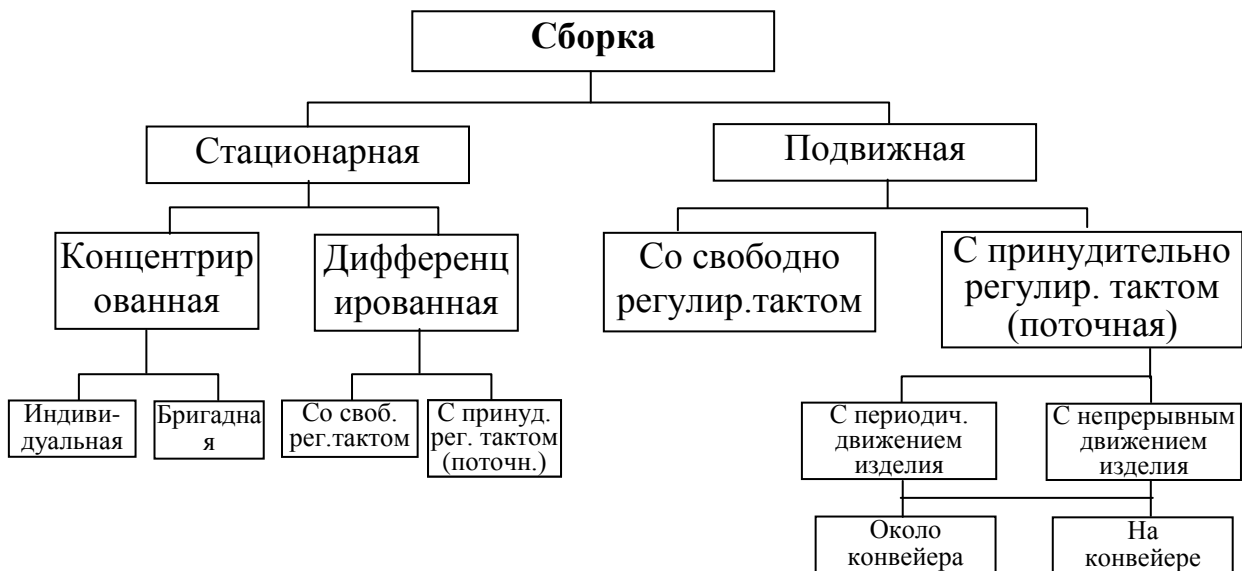
#### **Основные организационные формы сборки:**

– *стационарная;*

– *подвижная.*

*При стационарной сборке* собираемое изделие полностью собирают на одном сборочном посту. Все детали и сборочные единицы поступают на этот пост.

*При подвижной сборке* собираемое изделие последовательно перемещается по сборочным потокам от одной позиции к другой, на каждом из которых выполняется определенная операция.



Стационарная сборка:

#### **Преимущества:**

– сокращение неизменного положения основной базирующей детали в продолжении всего цикла сборки, что особенно важно при недостаточной жесткости базирующих деталей;

- возможность использования универсального технологического оснащения. Это обеспечивает экономию средств и сокращение цикла ТПП;
- высокое качество сборки, когда она выполняется от начала до конца одним рабочим.

*Недостатки:*

- требуются рабочие высокой квалификации;
- увеличивается длительность производственного цикла;
- потребность в большой площади;
- низкая производительность труда ввиду малой механизации сборочных работ;
- применяется главным образом ручной труд.

*Стационарная сборка* осуществляется *без расчленения* (концентрированная сборка) и *с расчленением* (дифференцированная сборка) сборки на операции.

*Концентрированная* стационарная сборка может быть *индивидуальной* и *бригадной*.

В первом случае сборку осуществляет один рабочий высокой квалификации от начала до конца (число операций до 30); он проводит и испытание изделия. Это значительно повышает его ответственность за сборку и надежность изделия.

Во втором случае (бригадный метод) сборку крупногабаритного изделия выполняет бригада рабочих. Внутри бригады имеет место некоторое разделение работ (рабочие специализируются на определенных видах операций).

*Область применения концентрированной стационарной сборки:* единичное и мелкосерийное производства, когда весь процесс состоит из небольшого числа операций.

Производственная программа выполняется неравномерно, такт регулируется стихийно (свободно).

*Стационарная сборка с расчленением работ (дифференцированная):* процесс делится на узловую сборку изделия. При этом возможно совмещение во времени выполнения узловой и общей сборки. В результате участия в процессе сборки большого числа рабочих длительность процесса сборки может быть значительно сокращена.

*Преимущества: по сравнению с концентрированной*

- сокращается длительность общего цикла сборки;
- сокращается потребность в рабочей силе;
- сокращается потребность в производственных площадях;
- уменьшается трудоемкость; специализация рабочих, лучшая организация труда;
- увеличивается выпуск машин;
- снижается себестоимость сборочных работ.



*Стационарная дифференцированная сборка с принудительно регулируемым тактом.*

В ряде производств объект сборки остается на одном рабочем месте. Рабочий (или группа рабочих) выполняет у каждого объекта сборочную операцию, после окончания которой переходит к следующему объекту, где продельывает ту же операцию, и т.д.

Переход бригады от одного объекта сборки к другому должен сопровождаться одновременно через определенный промежуток времени.

*Выпуск изделия осуществляется через определенный промежуток времени (такт). Такт регулируется принудительно. Сборка поточная.*

*Область применения:* серийное и крупносерийное производства главным образом машин больших размеров.

*Подвижная сборка* происходит с расчленением сборочных работ: рабочие находятся на определенных рабочих местах (постах), к которым подаются соответствующие узлы и детали, объект же производства последовательно перемещается от одного поста к другому. Это перемещение может быть *свободным* (на тележках, например) и *принудительным*, когда изделия перемещаются при помощи механических транспортных средств *непрерывного* или *прерывного действия*.

Свободное перемещение осуществляют обычно в мелкосерийном производстве, принудительное в крупносерийном и массовом.

*Преимущества подвижной сборки:*

- больший (чем при стационарной сборке) выпуск машин или сборочных единиц с единицы площади цеха;
- более короткий производственный цикл (благодаря расширению фронта сборочных работ);
- более высокая производительность труда;
- меньшая потребность в рабочей силе.

*Недостатки:*

необходимость в специальном транспортном и слесарно-сборочном оборудовании.

*Область применения:* серийное, крупносерийное и массовое производства.

*Подвижная сборка с принудительно регулируемым тактом; мелкосерийное производство со свободно регулируемым тактом.*

*Подвижная сборка со свободно регулируемым тактом* характеризуется тем, что изделие или сборочная единица в процессе сборки перемещается от одного рабочего места к другому после выполнения соответствующих операций на каждом из них.

В качестве транспортных средств используются тележки и рольганги.

Этот вид сборки обеспечивает несколько большую равномерность выполнения программы по сравнению со стационарной сборкой, т.к. при разработке ТП сборки все операции распределяются так, чтобы они по возможности укладывались в одинаковые промежутки времени.

*Применяется при серийном выпуске машин.*

*Подвижная сборка с принудительно регулируемым тактом* собираемое изделие в процессе сборки перемещается от одного рабочего к другому с заранее заданным тактом. Это – **поточная сборка**.

Основные *факторы*, характеризующие поточную сборку:

- закрепление за каждым рабочим местом вполне определенных сборочных операций, чередующихся по ходу ТП сборки;
- передача собираемого изделия на каждую следующую операцию после окончания предыдущей;
- ритмичная, синхронная работа на всех рабочих местах сборочной линии;
- четкая работа всех смежных и обслуживающих поток служб и производств;
- возможность широкого внедрения средств механизации и автоматизации.

По своим технико-экономическим показателям это **наиболее прогрессивный вид сборки**.

*Область применения:* серийное, крупносерийное и массовое производства.

*Более подробно с. 441-446 А.А. Маталин ОТМ.*

При сборке с периодическим движением изделия вдоль линии рабочих мест собираемые изделия во время выполнения сборочных операций находятся в неподвижном состоянии на конвейере или на стоящем около него стенде (верстаке). По истечении времени, равного такту сборки, конвейер перемещается на величину расстояния между соседними рабочими местами (шаг конвейера).

Шаговые конвейеры, конвейеры грузоподъемность до 5 т;  $t_{шт}$  – 20 – 120 мм. На воздушной подушке.

Область применения пульсирующего конвейера крупные изделия (например, станки) в крупносерийном и серийном производствах.

С  $t_{шт} \geq 15 - 20$  мин.

Для этих  $t_{шт}$  должно укладываться в величину, равную разности времени такта  $t_m$  и времени быстрого  $t_8$  (холостого) перемещения конвейера:

$$t_{шт} = t_m - t_8 .$$

Допустимые потери на **холостой ход** конвейера – **2 ÷ 5 %**.

При работе на пульсирующем конвейере есть и другие недостатки:

- рабочий не чувствует такта и не имеет наглядного представления о времени, установленном для выполнения операции (не успевает собирать, сборку некачественно производит).

От указанных недостатков свободна сборка с непрерывным движением изделия. Конвейеры непрерывного действия обычно бывают вертикально-замкнутые.

Непрерывная работа сборочного конвейера возможна только при непрерывном обеспечении его всеми необходимыми деталями и узлами.

Поэтому конвейер имеет большое организующее значение для всех других участков завода.

## **Разработка маршрутного ТП сборки изделия** **Основы разработки последовательности сборки машины**

Для установления последовательности общей сборки машины необходимо прежде всего произвести анализ ее конструкции для выявления всех составляющих машину сборочных единиц и отдельных деталей, которые должны поступать на общую сборку.

### ***Последовательность разработки ТП сборки машины***

1. *Устанавливают номенклатуру сборочных единиц, из которых состоит машина.*

Анализ удобно начинать с выявления *номенклатуры подразделений сборочных единиц, из которых состоит конструкция машины. Обычно конструкция состоит из узлов, подузлов, комплектов и отдельных деталей (сборочные единицы 3-го, 2-го и 1-го порядков)*. Конструкция более сложных машин состоят из сборочных соединений более высокого порядка *Сборочные единицы 2-го и более высокого порядка должны содержать не менее одной сборочной единицы низких порядков.*

Деление на отдельные сборочные единицы позволяет осуществлять их изготовление и регулирование одновременно, независимо одна от другой и, следовательно, сократить сроки изготовления машины или другого изделия, увеличить оборачиваемость оборотных средств.

2. В каждой сборочной единице должна быть найдена базирующая деталь, определяющая положение всех составляющих данную сборочную единицу и других сборочных единиц и деталей.

Последовательность общей сборки машины определяется конструктивными особенностями машины и заложенными в конструкцию методами получения требуемой точности машины.

3. *Общая сборка машины должна начинаться с установки базирующей детали* машины, роль которой обычно выполняют рамы, станина, основание и т.д.

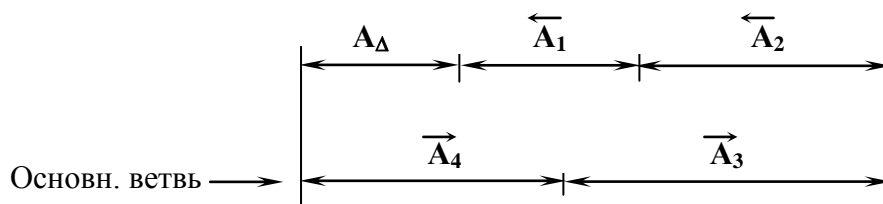
При этом базирующую деталь можно установить в любом удобном для сборки положении, если ее упругие деформации в процессе сборки настолько малы, что их влиянием на точность машины можно пренебречь. В противном случае жесткость базирующей детали необходимо увеличить путем ее установки на сборочный стенд, обеспечив в пределах требуемой точности относительное положение ее вспомогательных баз.

При подвижной сборке базирующую деталь или перемещают вместе со сборочными приспособлениями, увеличивающими ее жесткость («спутник» в виде плиты и т.д.) или производят выверку требуемой точности относительного положения ее вспомогательных баз на тех сборочных позициях, где это требуется по ходу процесса.

4. После установки базирующей детали возникает необходимость разработки последовательности установки на нее всех сборочных единиц и деталей. Для этого можно воспользоваться схемами размерных цепей, построенных на основе размерного анализа машины и руководствоваться следующими основными положениями:

а) сборку следует начинать с тех сборочных единиц и деталей, линейные и угловые размеры которых являются общими звеньями, принадлежащими наибольшему количеству размерных цепей;

б) в каждой из размерных цепей сборку следует начинать с тех сборочных единиц и деталей, линейные и угловые размеры которых являются звеньями основной ветви размерной цепи, т.е. ветви, не содержащей исходного (или замыкающего) звена;



в) при всех прочих равных условиях сборку следует начинать с той размерной цепи, при помощи которой решается наиболее ответственная задача;

г) в размерных цепях, где конструкцией машины намечено получать требуемую точность замыкающего звена методом регулировки или пригонки необходимо найти компенсирующие звенья и детали;

д) в размерных цепях, точность замыкающего звена которых намечено получить МГВ, необходимо проверить правильность расчета допусков и количество намеченных групп деталей.

5. Наметив на основе перечисленных положений последовательность общей сборки машины, необходимо проверить возможность ее соблюдения на реальной машине, имеющей надлежащие конструктивные формы, габаритные размеры, массу сборочных единиц и деталей.

В ряде случаев реальные возможности вносят существенные поправки в теоретически разработанную последовательность сборки.

### Построение схемы сборки машины

Разрабатывая последовательность сборки машины очень удобно изображать ее в виде графической схемы сборки.

Схема сборки не только помогает в разработке последовательности сборки машины, но и является основным оперативным документом, по которому административно-технический и рабочий персонал сборочного цеха знакомится с последовательностью сборки новой машины, организует выполнение сборочного процесса, производит комплектование машины, подачу сборочных единиц и деталей в надлежащей последовательности к местам сборки, ведет учет, расставляет рабочих, планирует производство и позволяет

вносить усовершенствования в конструкцию, ТП и организацию производства машины.

При построении *схемы сборки* в нее необходимо включать и все *необходимые по ходу ТП разборки сборочных единиц*.

Для машин, которые посылаются потребителю в разобранном виде, строятся специальные *схемы их демонтажа* у изготовителя и *повторной сборки* у потребителя (поскольку в таких случаях сборочные единицы обычно значительно укрупняются).

Схемы сборки и разборки должны отличаться наглядностью, показывать последовательность и служить оперативным документом. Она является основой для разработки маршрутного ТП сборки изделия.

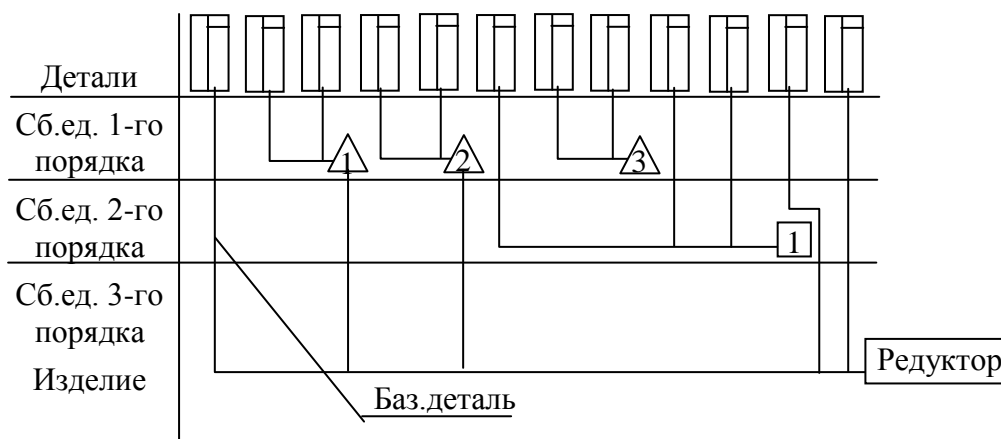
**При разработке схемы сборки следует обратить внимание на следующее:**

1. Располагать схему сборки рекомендуется по горизонтали.
2. Изображение общей сборки изделия, а также любой сборочной единицы следует начинать с базирующей детали.
3. Следить за последовательностью установки сборочных единиц во времени, а также за последовательностью основных и вспомогательных работ, выполняемых при сборке, делая соответствующие надписи на схеме сборки (сверлить и развернуть 2 отв. под штифты, запрессовать штифты, шабрить и т.д.).

Лист бумаги делят на несколько зон: деталей, сборочных единиц 1-го порядка (комплектов), 2-го порядка (подузлов), 3-го порядка (узлов) и т.п. Для крупных изделий сборку разделяют на общую и узловую.

Каждому из составляющих машину элементов дается условное обозначение, например, деталь обозначается небольшим прямоугольником, в котором указывается наименование и номер детали по чертежу. На схему общей сборки машины наносятся только условные обозначения деталей и сборочных единиц, непосредственно поступающих на общую сборку. Для обозначения характера сборочной операции (например, установки, правки шабрения, регулировки, сверления и т.д.) используют стрелки, на линиях которых вводят добавочные условные обозначения в виде букв, слов или фигур.

<b>Корпус</b>	
<b>ТМ 01.009</b>	<b>1</b>



*Схема сборки является* основной для проектирования маршрутного технологического процесса сборки изделия, устанавливающего последовательность и содержание технологических и вспомогательных операций сборки. Схема сборки является основным оперативным документом для административного технического и рабочего персонала.

### Разработка технологических операций

Установив перечень сборочных работ, наиболее производительные, экономичные и технически целесообразные способы соединения, проверки положения и фиксации всех составляющих изделия сборочных единиц и деталей, на основе схемы сборки определяют содержание операций, выбирают для их выполнения средства технологического оснащения (верстаки, стенды, прессы), устанавливают способ транспортирования и ориентации сборочных единиц и деталей, задают метод контроля и окончательных испытаний изделия, разрабатываются ТЗ на нестандартную технологическую оснастку.

Для *формирования операций из переходов* производят *нормирование* сборочных работ.

В *массовом производстве* ТП сборки разделяют на операции исходя из условия, чтобы  $t_{шт}$  операции было *равно или кратно такту*. Поэтому на данном этапе проектирования возможны частичные изменения последовательности сборки изделия, совмещение и расчленение операций, изыскание более производительных методов сборки. Коэффициент загрузки всех рабочих мест должен быть не менее 0,9 ... 0,95.

Для *серийного производства* содержание операций принимают из расчета достаточно высокой загрузки рабочих мест узловой и общей сборки данного изделия. Если  $K_3 < (0,5 \dots 0,7)$ , то следует или уменьшить число станков общей сборки путем сокращения  $t_{шт}$  сборки каждого изделия партии, или догрузить сборочный станок сборкой других изделий.

Уточнив структуру и содержание операций, переходят к их техническому нормированию, корректируя ранее установленные нормы времени. Составляют циклограмму сборки и определяют число рабочих мест и число сборщиков.

*Циклограмма сборки служит:*

- 1) для установления наименьшего возможного цикла сборки путем совмещения во времени выполнения отдельных переходов;
- 2) для соединения переходов ТП сборки с целью формирования операций по возможности равных или кратных установленному такту;
- 3) для внесения необходимых для этого изменений в конструкцию машины (технологичность), в ТП сборки или технологическую оснастку.

№ опер.	Наименование операции	$T_{шт}$ , мин	$T_{ц}$ цикл сборки
5		2,05	
10		2,20	



Как видно из циклограммы сокращение цикла сборки может осуществляться двумя путями:


15		2,0	
20		2,15	

### Циклограмма сборки

1. Совмещением

выполнения отдельных переходов или целых операций во времени; 

2. Сокращением трудоемкости выполнения отдельных переходов.

Совмещение выполнения отдельных переходов возможно за  перераспределения переходов ТП между операциями.

Вслед за составлением циклограммы сборки разрабатываются технологические карты; маршрутные, операционные, КТП (по ГОСТ 3.1119-83 и ГОСТ 3.1121-84).

Из изложенного выше видно, что технические условия, описывающие служебное назначение машины, сборочные и рабочие чертежи, схемы размерных цепей, схемы сборки-разборки и монтажа, циклограмма сборки и технологические карты сборки и технологические карты сборки являются основными оперативными документами, служащими для разработки и оформления ТП сборки изделия.

## Технико-экономические показатели сборки

### Трудоемкость сборки

Трудоемкость сборки изделия  $T_{сб}$  при сборке изделий партиями (абсолютный показатель)

$$T_{сб} = \sum_{i=1}^m T_{шт-к_i},$$

где  $m$  – число операций, необходимых для сборки изделия или сборочной единицы;

$T_{шт-к}$  – штучно-калькуляционное время, мин.

$$T_{шт-к} = T_{шт} + T_{п.з}/n,$$

где  $T_{п.з}$  – затраты времени на подготовку сборочных работ для данной партии;

$n$  – размер партии;

$T_{шт}$  – штучное время, мин.

$$T_{шт} = (T_0 + T_в) \left( 1 + \frac{A_{обс} + A_{отд}}{100} \right) K_1,$$

где  $T_0$  – основное технологическое время, мин;

$T_в$  – вспомогательное время, мин;

$A_{обс}$  – время на обслуживание рабочего места в % от оперативного времени ( $T_0 + T_в$ ); (2 – 6) %;

$A_{отд}$  – время на отдых и личные надобности в % от оперативного времени; (4 – 6) %;

$K_1$  – поправочный коэффициент, учитывающий число приемов, выполняемых сборщиком.

В нормативах на слесарно-сборочные работы дано  $T_{он}$ !

При поточной сборке в состав  $T_{шт}$  – включают время  $T_n$  перемещения собираемого изделия.

Для массового производства

$$T_{сб} = \sum_{i=1}^m T_{шт_i} .$$

Производительность сборочного рабочего места

$$Q = t \cdot B_n / T_{шт} ,$$

где  $t$  – рабочее время, мин;

$B_n$  – число рабочих, выполняющих операцию на данном рабочем месте.

### Коэффициент загрузки рабочих мест

$$K_z = T_{шт} / T_t \cdot B_n ,$$

где  $T_t$  – такт работы.

Коэффициент трудоемкости сборочного процесса

$$K_{тр} = T_{сб} / T_m ,$$

где  $T_m$  – трудоемкость обработки заготовок деталей, мин.

Коэффициент расчлененности сборочного процесса

$$K_{расч} = T_{сб,уз} / T_{сб} ,$$

где  $T_{сб,уз}$  – суммарная трудоемкость узловой сборки, мин.

Коэффициент совершенства сборочного процесса изделия

$$K_{сов.сб} = \frac{T_{сб} - T_{пр}}{T_{сб}} ,$$

где  $T_{пр}$  – трудоемкость пригоночных работ, мин.

**Пути сокращения трудоемкости выполнения переходов** служат:

- <sup>\*)</sup> механизация и автоматизация сборки;
- внедрение новых видов технологической оснастки;
- увеличение точности механической обработки сборочных единиц и деталей, поступающих на сборку;
- изменение конструкции машины для перехода на достижение требуемой точности методами взаимозаменяемости и регулировки;
- дополнительное деление машины на сборочные единицы;
- повышение квалификации работающих;
- лучшая организация рабочих мест;
- и т.д.

<sup>\*)</sup> Транспортное и подъемно-транспортное оборудование, сборочные станки и автоматы.



### Лекция 3. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК

Правильно спроектированный ТП должен полностью обеспечивать выполнение всех требований рабочего чертежа и технических условий на изготовление изделий. В то же время ТП должен обеспечивать наиболее высокие производительность и экономические показатели. ТП разрабатывают по некоторым правилам (алгоритмам), в которых заложена методическая последовательность решения большого комплекса взаимосвязанных задач. При этом учитывается большое число противоречивых факторов, ограничений, с тем чтобы разработанный ТП оказался оптимальным.

*Исходную информацию для разработки* унифицированных и единичных ТП подразделяют на *базовую, руководящую и справочную*.

#### 1. *Базовая информация.*

1.1. Сведения о целевом назначении технологических разработок (проектирование нового предприятия, производство изделий на действующем предприятии и т.д.).

1.2. Служебное назначение изделий и деталей. Сборочные и рабочие чертежи.

1.3. ТТ, нормы точности и другие данные, характеризующие служебное назначение детали.

1.4. Объем выпуска изделий, в состав которых входят изготавливаемые детали, с учетом выпуска запасных частей.

Планируемый интервал времени выпуска изделий по неизменным чертежам.

При проектировании ТП для действующих предприятий необходимо учитывать общую производственную обстановку (состав и степень загрузки оборудования, возможности обеспечения инструментами и приспособлениями, обеспеченность предприятия квалифицированной рабочей силой).

#### 1.5. Производственная обстановка.

Кроме перечисленной базовой информации, при проектировании ТП используют:

2. *Руководящая информация.* Содержит требования отраслевых стандартов к ТП и методам управления ими, стандартов на оборудование и оснастку, документация на действующие единичные, типовые и групповые ТП, классификаторы деталей и т.д.

3. *Справочная информация.* Технологическая документация опытного производства, описание прогрессивных методов изготовления, каталоги ина оборудование, оснастку и инструмент, справочники и др.

## Основные этапы разработки ТП обработки заготовок

1. Критическое изучение служебного назначения сборочных и рабочих чертежей изделия (машины); служебного назначения, технических требований, которым должны удовлетворять составляющие изделие (машину) детали.

2. По величине программного задания и размерам производственной партии определяют тип и организационную форму будущего производства.

3. Выбор полуфабриката или заготовки. Выбор ТП получения заготовки, если невозможно или неэкономично ее получение из полуфабриката.

4. Выбор способа обработки каждой элементарной поверхности.

Устанавливаются переходы и их количество. Разработка нескольких вариантов маршрутных ТП механической обработки.

5. Выбор схемы обработки и уточнение структуры операции.

6. В результате точностного и экономического анализа выбирается оптимальный вариант ТП.

7. Проектирование ТО. Выбирают оборудование и средства технологического оснащения; рассчитывают и устанавливают межпереходные припуски, размеры, допуски и режимы резания.

8. Разработанные ТП оформляются соответствующей технологической документацией. При обработке заготовок на станках с ЧПУ создается управляющая программа.

9. Разработка ТЗ на проектирование нового оборудования, специальной технологической оснастки, режущего и мерительного инструмента.

10. Разработанный ТП апробируется в производственных условиях. При необходимости в ТП и управляющую программу (при обработке на станках с ЧПУ) вносятся коррективы.

Если деталь сложная и ответственная, разрабатывают несколько вариантов ТП, из которых выбирают оптимальный на основе сопоставления трудоемкости, достигаемой точности, технологической себестоимости и срока окупаемости капитальных затрат.

## Определение типа и организационной формы производства

Согласно ГОСТ 14.004-83 тип и серийность производства определяется по коэффициенту закрепления операций

$$K_{з.о} = P_o / c,$$

где  $P_o$  – число операций, выполненных или подлежащих выполнению на участке (линии) в течение месяца;  $c$  – число рабочих мест на участке.

Коэффициент  $K_{з.о}$  характеризует степень специализации рабочих мест. При  $K_{з.о} \leq 1$  тип производства массовый, если  $10 \geq K_{з.о} > 1$  – крупносерийный, при  $40 \geq K_{з.о} > 20$  – мелкосерийный, при  $K_{з.о} > 40$  – единичный.

Однако, на начальном этапе проектирования данные по  $P_o$  и  $c$  отсутствуют. Поэтому ориентировочно тип производства можно определить по

программе выпуска базовых деталей изделия и массы деталей (см. наши учебные пособия).

После окончательной разработки ТП тип производства уточняется. Каждому типу производства соответствует определенная форма его организации: *поточная* или *непоточная* (по ГОСТ 14.312-74 *поточная* или *групповая*). Форма организации производства определяет порядок выполнения операций технологических процессов, направление движения деталей в процессе их изготовления, расположения технологического оборудования и рабочих мест.

*Целесообразность применения* поточной формы организации производства как наиболее эффективной можно установить на основе сопоставления среднего штучного времени  $T_{шт.сп}$  для нескольких основных операций с расчетным тактом выпуска, т.е. *по числу рабочих мест  $R_M$ , приходящихся на одну операцию*

$$R_M = T_{шт.сп} / T_T \cdot$$

**При  $R_M \geq 0,6$**  принимают ***поточную форму*** организации производства.

Относительно просто решается вопрос организации поточного производства в крупносерийном и массовом производстве, где естественной является целевая предметная специализация цехов и участков (например, участок изготовления деталей и сборки коленчатого вала с маховиком, цех по производству КПП и др.).

*Преимущества* поточного производства необходимо максимально использовать и в проектах со среднесерийным и мелкосерийным типами производства *путем* (отходя от технологической специализации участков, выполняющих однотипные операции, например, участок станков одинакового технологического назначения):

- применение групповых методов обработки заготовок;
- создание многономенклатурных поточных линий для обработки заготовок, имеющих общие конструктивно-технологические признаки;
- организация на основе использования станков с ЧПУ (в т.ч. и многоцелевых) гибкие производственные системы типа ГАЛ и ГАУ.

В условиях серийного, мелкосерийного и единичного производства по технологическим классификаторам заготовок, обрабатываемых на данном предприятии, анализируется возможность изготовления данной заготовки по существующим на предприятии типовым или групповым ТП или на действующих групповых переменного-поточных или автоматических линиях.

При отсутствии такой возможности технолог приступает к проектированию единичных ТП.

При использовании поточной формы организации производства необходимо формировать ТП из одинаковых или кратных по трудоемкости ТО с продолжительностью цикла ТО, равной или кратной такту выпуска изделий. В противном случае организация поточного производства становится неэффективной. Один из вариантов достижения  $T_{ц} = T_T \cdot k$  (где  $k = 1, 2, 3, 4 \dots$ ) – отработка конструкции на технологичность.

## Выбор исходной заготовки

Выбор ТП получения заготовки и метода ее формообразования определяется *следующими факторами*:

### 1. *Технологическими свойствами материала.*

Обладает литейными свойствами или способен претерпевать пластические деформации (СЧ, Сталь ... Л и сталь ..., литейные алюминиевые сплавы АЛ9, АЛ11 или деформируемые - Д16 и др.). Структурные изменения (расположение волокон в поковках, величина зерна в литых заготовках и т.д.

### 2. *Конфигурацией и размерами заготовки.*

Литье в оболочковые формы обеспечивает получение тонкостенных отливок из цветных и черных сплавов сложной конфигурации; литью по выплавляемым моделям получил распространение для отливок от 1 г до 100 кг и более сложной конфигурации из стали. В кокиль – АЛ до 5 кг, СЧ – до 14 т, сталь – до 12 т. Толщина стенки для СЧ не менее 8-10 мм, АЛ – 2,5-5 мм. Литье под давлением – тонкостенные отливки из цветных сплавов до 90 кг; центробежное литье – детали типа тел вращения из всех сплавов и т.д.

3. *Требуемая точность выполнения заготовки и качества ее поверхности.* Чем точнее заготовка, тем меньше трудоемкость механической обработки. Например, в песчаные формы 16-18 квалитет, в кокиль – 13-16 квалитет; под давлением – 9-11 квалитет. Горячая штамповка в закрытых штампах – *ЖТ* 13-14; холодная объемная штамповка высадкой – *ЖТ* 8-12.

При литье по выплавляемым моделям образуется обезуглероженный слой 1-1,5 мм. Наличие этого слоя обуславливает для ответственных деталей сохранение припуска на последующую механическую обработку даже в тех случаях, когда точность отливки соответствует требуемой точности готовой детали (8-11 *ЖТ*).

При литье в кокиль чугуна образуется отбеленная поверхность с плотной структурой металла.

4. *Величина программного задания.* При больших партиях наиболее выгодны способы, обеспечивающие получение заготовок с минимальными припусками – точная штамповка, литье под давлением, литье по выплавляемым моделям. Применение в массовом и крупносерийном производстве механизацию ТП изготовления сырых песчаных форм.

5. *Производственными возможностями заготовительных цехов* (наличием соответствующего оборудования, возможностью быстрой переналадки оборудования).

*В первую очередь* выбирают такой способ получения заготовки, который полностью обеспечивает *качество детали*. При наличии нескольких вариантов выбор делают исходя из условий обеспечения максимальной производительности и минимальной себестоимости изготовления заготовки.

Трудоемкость изготовления детали должна определяться комплексно с учетом операций в заготовительных и механических цехах.

*Оценку правильности выбора заготовки можно выполнить по минимальной величине приведенных затрат*

$$P_3 = M_3 \cdot C_3 - M_0 \cdot C_0 + \sum_{i=1}^n P_{3,ч_i} \cdot T_{шт_i},$$

где  $M_3$  – масса заготовки, кг;  $C_3$  – расчетная цена заготовок, руб/кг;  $M_0$  – масса реализуемых отходов, кг;  $C_0$  – цена реализуемых отходов, руб/кг;  $P_{3,ч_i}$  – нормаль приведенных затрат, приходящихся на 1 ч работы оборудования при выполнении  $i$ -ой операции;  $T_{шт}$  – норма штучного времени на механическую обработку заготовки.

При выборе исходной заготовки особое значение придается экономии материала. Общие потери металла при изготовлении деталей в значительной мере зависят от точности размеров, формы и шероховатости исходной заготовки, качества поверхностного слоя. Эти параметры непосредственно влияют на вели-

### Характеристика основных методов получения заготовок литьем

Метод получения	Масса заготовки, кг	Наименьшая толщина стенок, мм	Точность выполнения	Шероховатость $Ra$ , мкм	Материал	Тип производства
Разовые формы						
Литье в песчано-глинистые формы: ручная формовка по деревянным моделям	до 100	чугун 3...5 сталь 5...8 цветные сплавы 3...8	$IT$ 17	80...20	чугун, сталь, специальные сплавы	единичное и мелкосерийное
Машинная формовка	до 10		$IT$ 16...17	20...5		серийное
Машинная формовка по металлическим моделям	3...5		$IT$ 14...16	20...5		крупносерийное и массовое
Литье по выплавляемым моделям (выжимаемым, растворяемым, замораживаемым)	до 0,15	0,5	$IT$ 11...12	10...2,5	труднообрабатываемые сплавы	серийное
Литье в оболочковые формы: (песчано-смоляные, химически твердеющие)	до 0,15	сталь 3...5 алюминий 1...1,5	$IT$ 13...14	10...2,5	чугун, сталь, цветные сплавы	серийное и массовое
Многократные формы						
Центробежное литье	0,01...1	5...6	$IT$ 12...14	40...10	чугун, сталь, цветные сплавы	крупносерийное и массовое
Литье под давлением	до 0,1	0,5	$IT$ 8...12	5,0...0,63	цветные сплавы	крупносерийное и массовое
Литье в кокиль	7(чугун) 4(сталь) 0,5(цветные сплавы)	чугун 15 сталь 10	$IT$ 12...15	20...2,5	чугун, сталь, цветные сплавы	серийное и массовое

чину припусков. Показателем экономии является коэффициент использования материала

$$K_u = M_d / M_{исх.з.}$$

### Выбор технологических баз

Выбор технологических баз (ТБ) является ответственным этапом разработки ТП. Правильность принятия решения на этом этапе технологического проектирования во многом определяет достижение требуемой точности детали в процессе ее изготовления.

Выбор ТБ основывается на основании анализа служебного назначения детали, выявления соответствующих размерных связей, определяющих точность положения одних поверхностей детали относительно других.

**Выбор ТБ осуществляют в следующей последовательности:**

– в первую очередь выбирают ТБ для обработки большинства поверхностей заготовки;

– затем выбирают ТБ для первой или первых операций, когда создаются базы для выполнения большинства операций ТП.

**При выборе ТБ для обработки большинства поверхностей** следует придерживаться следующих основных положений:

1. *В максимальной степени использовать принципы совмещения и постоянства баз.*

**Принцип совмещения баз** – в качестве ТБ следует принимать поверхности, которые одновременно являются конструкторскими и измерительными базами детали, а также используются в качестве баз при сборке изделий. При несовмещении технологической базы (ТБ) и конструкторской базы (КБ) появляется дополнительная погрешность  $\omega_{н.б.}$ .

**Выбирая ТБ с точки зрения устранения  $\omega_{н.б.}$ , в первую очередь** следует исходить из необходимости достижения точности относительного поворота **поверхностей детали**, а затем точности линейных размеров. Это объясняется тем, что точность расположения поверхностей обеспечивается на станках методами взаимозаменяемости, что практически исключает возможность коррекции, а точность расстояния – методом регулирования, при котором возможна компенсация отклонений.

**Принцип постоянства баз** – при разработке ТП необходимо стремиться к использованию одной и той же ТБ, не допуская без особой необходимости смены ТБ (не считая смены черновой базы). В наибольшей степени реализуется при обработке деталей на автоматической линии в спутнике.

Иногда от этого принципа приходится отказываться (в том случае, когда из-за появления  $\omega_{н.б.}$  не выдерживается заданный размер). Приходится в качестве новых ТБ выбирать те поверхности, от которых непосредственно заданы требуемые размеры.

Например, для корпусных деталей в качестве общих ТБ используют основные базы (от которых задано большинство размеров). У станин: вспомогательные базы – направляющие или основные базы.

2. **При отсутствии у заготовки надежных ТБ** (позволяющие обеспечить правильное базирование и надежное закрепление заготовки), можно создавать искусственные базы, например, в виде бобышек, приливов,

технологических и центровых отверстий, изменив при необходимости конструкцию заготовки (отработка на технологичность).

**3. При обработке заготовок**, полученных литьем или штамповкой, необработанные поверхности можно использовать в качестве технологических баз *только на первой операции*.

Решив задачу выбора баз для обработки большинства поверхностей заготовки, необходимо определить ТБ для выполнения первой или первых операций. **При выборе ТБ на первой операции** необходимо исходить из решения следующих задач:

1. **Обеспечения распределения** фактического **припуска** на поверхностях, подлежащих обработке.

2. **Обеспечение точности** взаимного **расположения** обрабатываемых поверхностей заготовки относительно необрабатываемых.

*Равномерное распределение припуска способствует:*

– более полному использованию возможностей режущего инструмента и повышению производительности обработки за счет применения оптимальных режимов резания;

– повышению точности обработки (устранение неравномерности припуска уменьшает рассеяние размеров, связанное с колебаниями отжатый в упругой технологической системе);

– повышению качества поверхностного слоя обработанной поверхности (неравномерность припуска приводит к неравномерности твердости поверхности и, как следствие, к неравномерности износа при эксплуатации, например, направляющих).

В большинстве случаев требования задач обоих видов противоречивы. Например, в литой заготовке исходная погрешность расстояний и поворотов поверхностей должна быть исправлена снятием неравномерного припуска, либо при обеспечении равномерного припуска исходная погрешность заготовки превратится в погрешность относительного положения поверхностей обработанной детали (например, неравномерность толщины стенки).

В общем случае при выборе технологических баз следует руководствоваться положениями выбора ТБ, рассмотренными в курсе ОТМ.

Пример возможных вариантов базирования заготовки на первой операции (см. в лекциях).

## **Разработка технологического маршрута обработки заготовки**

*Технологический маршрут обработки разрабатывают следующим образом:*

- выбирают методы обработки поверхностей;
- назначают число и последовательность переходов;



- определяют содержание операций;
- определяют типаж применяемого оборудования.

Для обработки заготовки составляют обычно несколько конкурирующих вариантов маршрутного ТП, сопоставив которые, выбирают оптимальный.

В начале проектирования технолог предварительно устанавливает виды обработки отдельных поверхностей заготовки и методы достижения их точности, соответствующие требованиям чертежа, серийности производства и существующего на предприятии оборудования. Одновременно с этим разрабатывается последовательность обработки поверхностей, т.е. технологический маршрут обработки заготовки.

Для предварительного выбора вида обработки отдельных поверхностей заготовки используются данные справочных таблиц экономической точности обработки различными способами и на различных станках, которые приводятся в справочной и учебной литературе [СТМ, Матвеев В.В. и др. Размерный анализ технологических линий и др.].

В связи с тем, что одинаковые точность обработки и качество обработанной поверхности могут быть достигнуты различными способами, после предварительного выбора нескольких возможных видов обработки следует произвести их сопоставление по экономическим показателям.

При назначении вида обработки следует стремиться к тому, чтобы число переходов при обработке каждой поверхности заготовки было бы минимальным. Желательно, чтобы одним и тем же способом обрабатывалось возможно большее количество поверхностей заготовки. Последнее дает возможность разрабатывать высокопроизводительные концентрированные операции (что особенно важно в мелкосерийном и серийном производствах).

Окончательное решение вопроса о выборе метода обработки дает сопоставление данных по экономичности обработки.

Выбранный метод окончательной обработки не всегда обеспечивает получение требуемого качества и точности поверхности после однократной обработки непосредственно из исходной заготовки. При изготовлении ответственных деталей возникает необходимость создания промежуточных операций (или переходов), по мере выполнения которых достигается постепенное повышение точности заготовки до требуемой точности готовой детали.

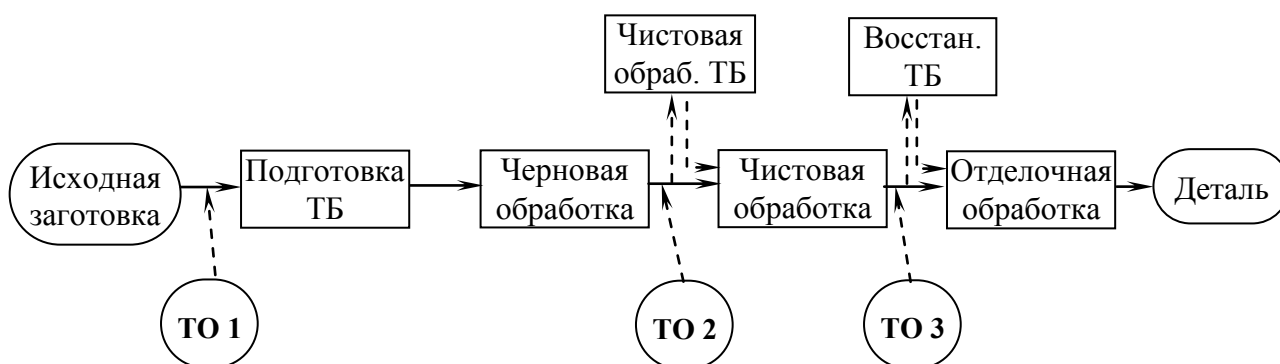
**В зависимости от точности исходной заготовки и точности готовой детали** обработку наиболее важных поверхностей обычно осуществляют в три или два этапа.

**Первый этап – предварительная (черновая) обработка**, имеющая целью приблизить форму заготовки к форме детали (согласно ГОСТ 3.1109-82 ЕСТД *Черновая обработка* – обработка, в результате которой снимается основная часть припуска). При этом снимаются наибольшие припуски. Черновую обработку целесообразно выполнить на высокопроизводительном, но сравнительно не очень точном оборудовании.

**На втором этапе (чистовая обработка)** устраняются погрешности, возникающие при черновой обработке (согласно ГОСТ 3.1109-82 ЕСТД *Чистовая обработка* – обработка, в результате которой достигаются заданные точность размеров и шероховатость обрабатываемых поверхностей). Основная цель этого этапа – обеспечение требуемой точности обработки, шероховатости поверхностей и состояние поверхностного слоя для подавляющего большинства поверхностей.

**На третьем этапе (отделочная обработка)** – обеспечивается достижение требуемой точности обработки, шероховатости и предписанного чертежом качества поверхностного слоя для ответственных поверхностей детали.

При таком делении маршрутный технологический процесс обработки ответственных деталей можно представить в виде следующей схемы



### При проектировании ТП обработки заготовок важно правильно установить место ТО в ТП:

**ТО 1** – проводят для улучшения обрабатываемости заготовок (поковок или отливок) до первого этапа.

Например, для стальных заготовок (для стальных отливок обязательно) применяют отжиг или нормализацию. Для отливок из серого чугуна – низкотемпературный отжиг. Иногда для снижения вязкости стальных заготовок (например, сплав 36НХТЮ) выполняют закалку.

**ТО 2** – в наиболее ответственных случаях после черновой обработки проводят дополнительную ТО (отжиг, нормализацию – для стальных, старение – для чугунных заготовок), способствующую релаксации остаточных напряжений, стабилизации размеров заготовки.

**ТО 3** – для повышения прочности или износостойкости заготовки перед заключительным этапом подвергают объемной или поверхностной закалке (в т.ч. ТВЧ, лазером и др.), цементации с последующей закалкой и низким отпусканием (15, 20, 15Х, 18ХГТ, 30ХГМ и др.  $HRC_{\text{э}} = 58 - 64$ ,  $h = (0,5 - 2,0)$  мм; азотированию (40 Х, 40 ХФА, 20 ХЗМВФ, 40 ХГМ и др.); содержание углерода (0,1-0,2) % –  $h = (0,1 - 0,4)$  мм; (0,3-0,4) % –  $h = (0,4 - 0,7)$  мм; нитроцементации (одновременное насыщение углеродом и азотом).

Для определения числа технологических переходов может быть использована методика, основанная на определении уточнения заготовки. Методика основана на том, что каждый последующий метод обработки должен быть точнее предыдущего. Исходя из этого число ступеней обработки можно рассчитать по формуле:

$$\varepsilon_0 = \frac{T_{\text{заг}}}{T_{\text{дет}}} = \frac{T_{\text{заг}}}{T_1} \cdot \frac{T_1}{T_2} \cdot \dots \cdot \frac{T_{n-1}}{T_{\text{дет}}} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \dots \cdot \varepsilon_n = \prod_1^n \varepsilon_{i_1},$$

где  $\varepsilon_0$  – общее уточнение;  $\varepsilon_i$  – отдельные ступени уточнения;  $n$  – число ступеней обработки;  $T_{\text{заг}}$ ,  $T_{\text{дет}}$ ,  $T_i$  – допуски рассматриваемого параметра соответственно для заготовки, детали, отдельной ступени обработки.

**При разделении** общего уточнения на сомножители (ступени) следует учитывать типовые рекомендации:

- для предварительной (черновой) обработки –  $\varepsilon \leq 6$ ;
- для окончательной (чистовой, получистовой) обработки –  $\varepsilon = 3 \dots 4$ ;
- для отделочной обработки с допусками **IT5 – IT7** –  $\varepsilon = 1,5 \div 2$ .

*Пример:* (см. лекцию).

В общем случае при определении *последовательности обработки* отдельных поверхностей необходимо придерживаться *следующих рекомендаций*: [см. с. 326-328 Маталин]

1. Прежде всего следует обработать ТБ, затем обработать наиболее ответственные поверхности детали.

2. При невысокой точности исходной заготовки ТП следует начинать с предварительной обработки поверхностей, имеющих наибольшие припуски, для раннего выявления литейных и других дефектов (раковин, трещин). Это позволяет забраковать или исправить заготовку в самом начале ТП.

3. Операции обработки поверхностей, имеющих второстепенное значение и не влияющих на точность основных размеров детали, как правило, выполняют в конце ТП до операций окончательной обработки ответственных поверхностей.

4. Наиболее легко повреждаемые поверхности (наружные резьбы, особо точные шлифованные и доведенные поверхности) обрабатывают в заключительной стадии ТП.

В маршрутной технологии в процессе обработки предусматривают контроль с целью технологического обеспечения заданных параметров качества обрабатываемой детали. Технолог устанавливает объект контроля и его место, обращая внимание на операции, при которых точность обеспечивается наиболее трудоемко.

## Выбор схемы обработки и уточнение структуры

### технологической операции

Операционную технологию разрабатывают с учетом места каждой операции в маршрутной технологии. К моменту проектирования каждой операции известно, какие поверхности и с какой точностью были обработаны на предшествующих операциях, какие поверхности и с какой точностью нужно обрабатывать на данной операции.

*Проектирование операций включает в себя следующие этапы:*

- разработка структуры операции;
- составление схем наладок;
- расчет настроенных размеров и ожидаемой точности обработки;
- расчет припусков на обработку и назначение режимов обработки;
- определение норм времени и сопоставление их с тактом работы ( в поточном производстве).

При расчете точности и проверке производительности может возникнуть необходимость в некоторых изменениях маршрутной технологии.

При формировании структуры ТО используют *концентрацию и дифференциацию* технологических переходов и операций.

**Концентрацией ТО** называется соединение нескольких простых технологических переходов в одну сложную ТО. Технологический процесс, построенный по принципу концентрации ТО, состоит из небольшого числа сложных операций.

*Концентрация ТО позволяет:*

- повысить точность взаимного расположения поверхностей заготовок, обрабатываемых за один установ;
- повысить производительность обработки за счет совмещения во времени нескольких технологических переходов (сокращается основное  $T_0$ ) и сокращения вспомогательного времени  $T_v$  (на установку и снятие заготовки, на управление ТС, смену РИ и др.);
- сократить длительность цикла и объем незавершенного производства.

Концентрации ТО свойственны и *недостатки*: возрастают требования к качеству ТС (станки должны быть высокой жесткости) и к квалификации рабочих.

ТП строят по принципу концентрации операций при обработке достаточно жестких заготовок, имеющих сравнительно небольшие обрабатываемые поверхности.

**Концентрацию операций применяют** во всех типах производства. Наиболее яркого выражения концентрация операций достигла при обработке заготовок на многоцелевых станках (последовательная концентрация), на сложных многошпиндельных автоматах и агрегатных станках (параллельная концентрация).

**Дифференциацией ТО** называется построение операции из небольшого числа простых технологических переходов. Дифференциация ТП состоит из большого числа простых ТО.

*Дифференциация ТО позволяет:*

– отделить черновую обработку от чистовой. Разделение обработки на черновую, после которой может произойти коробление заготовки, и на чистовую, устраняющие погрешности, вызванные релаксацией остаточных напряжений, *позволяет* добиться *высокой точности формы и расположения поверхностей* обрабатываемой заготовки. *Увеличивается точность линейных размеров* и качества поверхностного слоя, т.к. при чистовой обработке снижается минимальный припуск и развиваются сравнительно небольшие силы резания и температура;

– более рационально использовать оборудование. Черновая обработка производится на производительных станках нормальной точности, чистовая – на станках повышенной точности.

*Недостаток:* увеличивается общее количество операций, а, следовательно, и производственный цикл. В массовом производстве этот недостаток компенсируется созданием поточных, и особенно автоматических линий, с автоматизацией межоперационного контроля и транспортирования заготовок на конвейерах, исключающего необходимость складирования, и межоперационного пролеживания заготовок.

**Дифференциация ТП** применяется в основном в серийном и массовом производствах, при обработке ответственных и сложных заготовок деталей, когда между черновой и чистовой обработкой необходимо включить ТО.

Одним из основных источников повышения производительности механической обработки является совершенствование структуры ТО.

**Структуры ТО** различаются по следующим признакам:

1. По количеству одновременно обрабатываемых заготовок:

- одноместная обработка;
- многоместная обработка.

2. По количеству инструментов, используемых для выполнения ТО:

- одноинструментальная обработка;
- многоинструментальная обработка.

3. По последовательности работы режущего инструмента:

- последовательная;
- параллельная;
- последовательно-параллельная обработка.

**Наибольшая производительность** при многоместной, многоинструментальной, параллельной обработке. Поэтому указанное сочетание наиболее эффективно при предварительной (черновой) обработке. Следует иметь в виду, что возможность совмещения технологических переходов зависит от жесткости обрабатываемой заготовки, взаимного расположения обрабатываемых поверхностей, требуемого размещения РИ, удобства удаления стружки.

Следует иметь в виду, что **окончательную обработку точных поверхностей**, как правило, выделяют в отдельную операцию, применяя одноместную, одноинструментальную, последовательную схемы обработки.

Существует большое многообразие схем обработки. Рассмотрим некоторые из них и влияние структуры операции на производительность.

## Выбор средств технологического оснащения

При проектировании операций механической обработки необходимо выбирать оборудование, на котором будет выполняться операция, технологическую оснастку (приспособления, режущий и мерительный инструмент и др. средства). При этом предусматривается полное удовлетворение всех требований в отношении достижения заданных качества детали, достижения наивысшей производительности и наименьшей себестоимости операции.

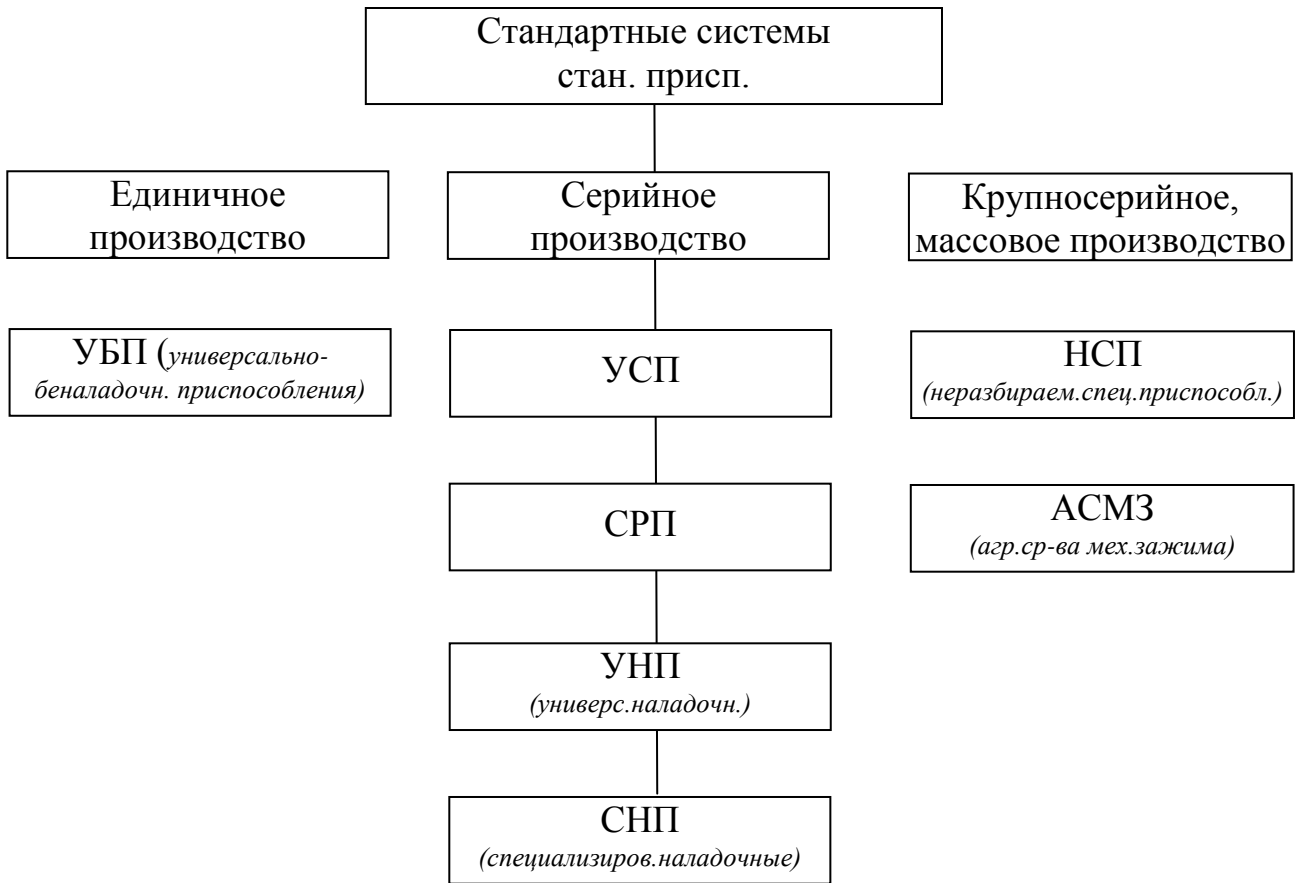
**Оборудование.** В условия *единичного* производства используют, как правило, универсальные станки. Операции стремятся делать максимально концентрированными. При *серийном* производстве применяют универсальные станки, станки с ЧПУ, агрегатные станки (в зависимости от размеров серии, масштаба выпуска и условий производства).

Перспективным в серийном производстве является применение ГПС (линий, участков, цехов), особенно при наличии условий для групповой организации производства.

В *массовом* производстве широко используют специальное и специализированное оборудование, а также автоматические линии.

**Приспособления.** В единичном и мелкосерийном производствах широко применяют универсально-сборные приспособления (УСП), а также приспособления, являющиеся принадлежностями станков (тиски, делительные головки и т.д.). При использовании специальных приспособлений необходимо экономическое обоснование.

В крупносерийном и массовом производствах применяют главным образом специальные приспособления.



## Лекция 4

### ПРОЕКТИРОВАНИЕ УНИФИЦИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Одним из наиболее прогрессивных направлений совершенствования технологии крупносерийного и серийного производства является типизация технологических процессов.

#### ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТИПОВЫХ ТП

Целью *типизации* является стандартизация технологического процесса на основе применения наиболее совершенных и эффективных технологических методов обработки заготовок, многообразия ТП.

Согласно ГОСТ 14.301-83 *типовой технологический процесс* разрабатывается для изготовления в конкретных производственных условиях типового представителя группы изделий, обладающих общими конструктивно-технологическими признаками.

К *типовому представителю* группы изделий относят изделие, обработка которого требует наибольшего количества основных и вспомогательных операций, характерных для изделий, входящих в эту группу.

Типизация ТП развивается по трем направлениям:

1. Типизация ТП обработки отдельных поверхностей;
2. Типизация ТП обработки типовых сочетаний поверхностей;
3. Типизация ТП обработки заготовок.

Работа по типизации ТП обычно начинается с классификации поверхностей и их сочетаний. Признаками классификации являются:

- форма поверхностей;
- требуемая точность (по линейным и угловым размерам, форме, качеству поверхности и др.);
- материал детали.

Различают плоские, цилиндрические, наружные и внутренние, фасонные и др. поверхности, для которых в зависимости от габаритов, точности, материала назначают типовые маршруты обработки поверхностей, содержащиеся во многих справочниках, руководящих материалах и инструкциях, например, смотри справочники технолога–машиностроителя и др.

Например, типовой маршрут обработки наружной цилиндрической поверхности заготовки из закаленной стали ( $JT\ 6; Ra = 0,32 \div 0,16$ ) будет следующим:

1. Точение;
2. Шлифование предварительное;
3. Термообработка;
4. Шлифование тонкое;
5. Суперфиниширование.



Для заготовок из незакаленной стали с теми же параметрами точности:

1. Точение;
2. Шлифование предварительное;
3. Шлифование тонкое;
4. Полирование;

или

- 1, 2, 3. Точение предварительное, чистовое, тонкое.
4. Полирование.

Типизация обработки элементарных поверхностей, как и их сочетаний, не решает задачу в целом и не всегда однозначно определяет последовательность обработки отдельных поверхностей конкретной заготовки. При наличии у заготовки нескольких сочетаний типовых поверхностей, связанных технологическими базами, при построении маршрута обработки заготовки может возникнуть необходимость изменить последовательность обработки отдельных типовых сочетаний.

Окончательная задача типизации ТП решается только на уровне обработки заготовки в целом.

Признаки классификации деталей

1. Конфигурация детали;
2. Ее размеры;
3. Точность обработки и качество обработанных поверхностей;
4. Материал заготовки.

Кроме того на построение ТП оказывают влияние условия его осуществления:

1. Объем общего производственного задания и размеры отдельных партий обрабатываемых заготовок;
2. Общая производственная обстановка;
  - оборудование;
  - наличие инструмента и возможности инструментального цеха;
  - расположение оборудования;
  - система организации производства в цехе и т.д.

Эти дополнительные признаки учитываются при типизации ТП созданием нескольких технологически равноценных вариантов ТП.

В основе построения технологической классификации лежат классы.

Классом называют совокупность заготовок, характеризуемых общностью технологических задач, решаемых в условиях определенных конфигураций этих заготовок. Основоположником типизации ТП и классификации деталей является профессор Соколовский А.П. В классификаторе детали разбиты на 14 классов: валы, втулки, диски и т.д., каждый класс разбит на подклассы, группы, подгруппы, типы (виды).

Под конструктивно-технологическим типом подразумевается совокупность заготовок одного класса, имеющих в определенных производственных условиях одинаковый маршрут типовых операций.

В настоящее время в стране установлена единая государственная классификационная система обозначения изделий, которая включает классификатор ЕСКД (М.: Изд. стандартов, 1986 г.) и технологический классификатор деталей машиностроения и приборостроения (М.: Изд. стандартов, 1987 г.). Технологический классификатор является логическим продолжением конструкторского классификатора ЕСКД.

Классификатор ЕСКД состоит из 100 классов 71 и 72 – детали – тела вращения, 73 – не являются телами вращения. Пример обозначения см. на рис. Код – 14 знаков. Конструкторско-технологическая классификация детали на примере втулки представлена на рис. 1 – 3.

**Типовая технологическая операция** (ГОСТ 3.1109-82) характеризуется единством содержания последовательности технологических переходов для группы изделий с общими конструкторскими и технологическими признаками.

Практически к одному типу относятся заготовки, для которых можно составить общую карту типового процесса. В пределах типа допускаются некоторые отклонения в порядке обработки, возможны исключения и добавления некоторых (нехарактерных) переходов и даже операций.

Типовая деталь объединяет совокупность деталей, имеющих одинаковый маршрут операций, осуществляемых на однородном оборудовании с применением однотипных приспособлений.

Для типовой заготовки разрабатывают ТП с указанием типовой последовательности операций, типовых схем базирования и типовых конструкций оснастки.

При разработке типового ТП стремятся максимально использовать типовые решения по обработке отдельных поверхностей и их сочетаний. На базе типовых ТП разрабатывают техпроцесс для конкретных заготовок. По мере совершенствования технологии типовые ТП периодически пересматриваются.

Таким образом, *основой проектирования типовых процессов являются конструктивное сходство деталей*, а не общность орудий и средств производства (станков, приспособлений и инструментов).

При разработке типовых ТП унифицируют средства технологического оснащения, применяемые на конкретном предприятии. В настоящее время в связи с внедрением компьютерных технологий возможности унификации и типизации ТП значительно расширяются. Компьютерная *CAD/CAM/CAPP*-система может содержать классификационную схему и электронную базу данных, в которую заносят действующее на предприятии классификационное дерево и поля записей для данного типового ТП, соответствующие карты эскизов, маршрутные и операционные описания по ГОСТ 3.1121-84 ЕСТД.

При поступлении в технологические службы завода новой детали проводят поиск ее места (поля) в классификационной структуре. По мере накопления в данном информационном поле некоторого числа наименований *CAD/CAM/CAPP*-система выдает соответствующее сообщение. После этого возможна разработка нового типового ТП. Использование технологических и конструкторских классификаторов в электронном виде позволяет значительно

ускорить разработку технологических процессов, относящихся к классу типовых, и облегчить их использование в производстве.

Применение компьютерных классификационных систем обеспечивает и обратное влияние на характер конструкторской документации в режиме параллельного инжиниринга, когда конструктор может при разработке чертежей использовать базу данных типовых технологических процессов и унифицировать конструктивно-технологические параметры проектируемой детали (линейные размеры, поля допусков, шероховатость и т.п.).

Документация типовых ТП включает в себя классификатор заготовок и типовые процессы обработки. Последние могут быть рабочими и перспективными.

**Разработку типовых ТП** проводят по следующим этапам.

1. Классификация объектов производства (создаются группы объектов производства, выбираются типовые представители).

2. Количественная оценка групп (здесь определяется тип производства для каждого представителя групп изделий (единичное, серийное, массовое)).

3. Анализ конструкций типовых представителей объектов производства. Разрабатывают основные маршруты изготовления типовых представителей.

4. Выбор заготовки и метода ее изготовления.

5. Выбор технологических баз.

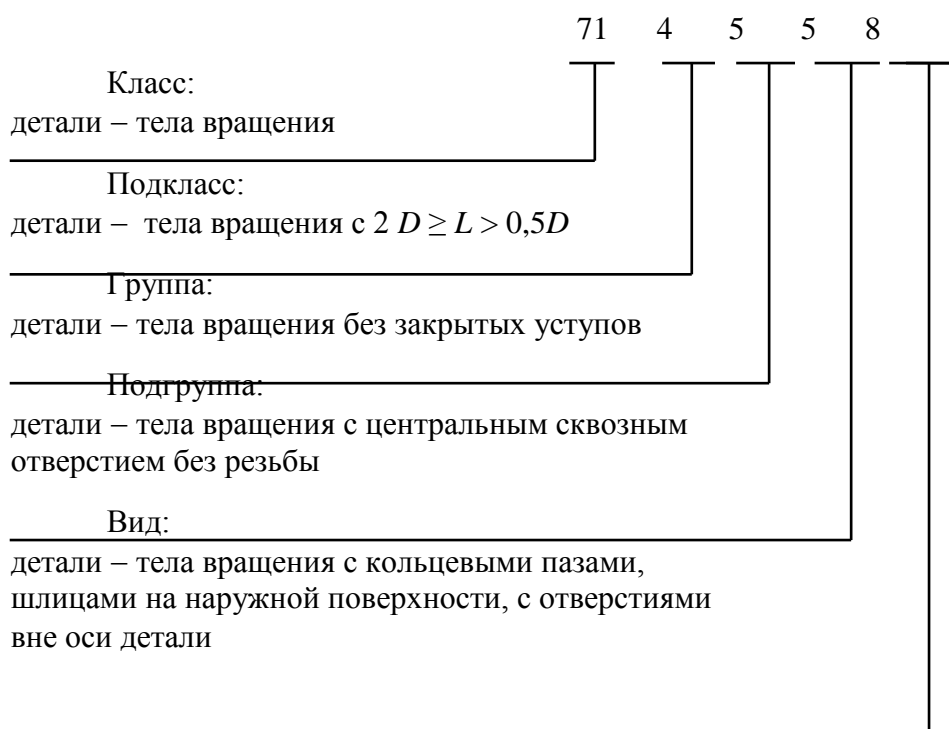
6. Выбор метода обработки.

7. Составление технологического маршрута обработки.

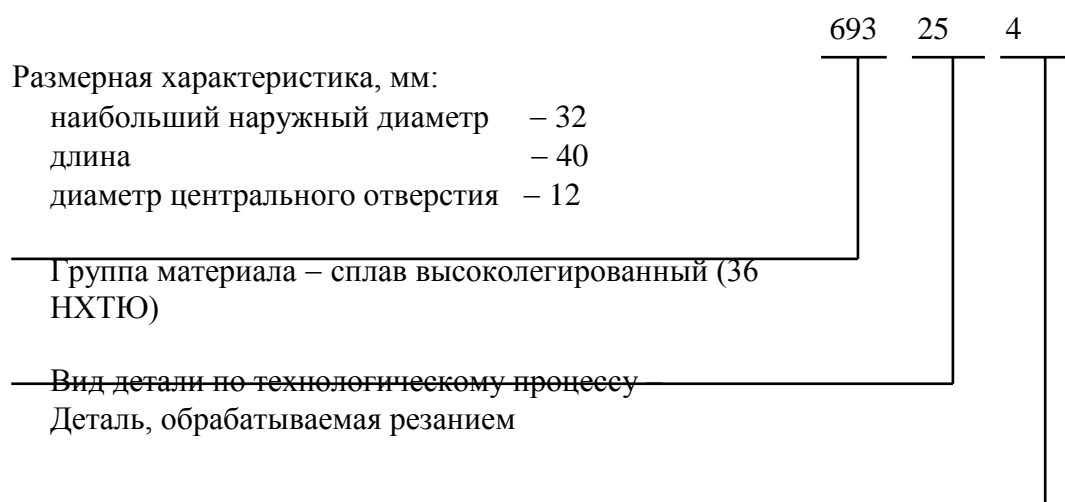
8. Разработка технологических операций.

9. Расчет точности, производительности и экономической эффективности вариантов типовых ТП. Выбор оптимального варианта.

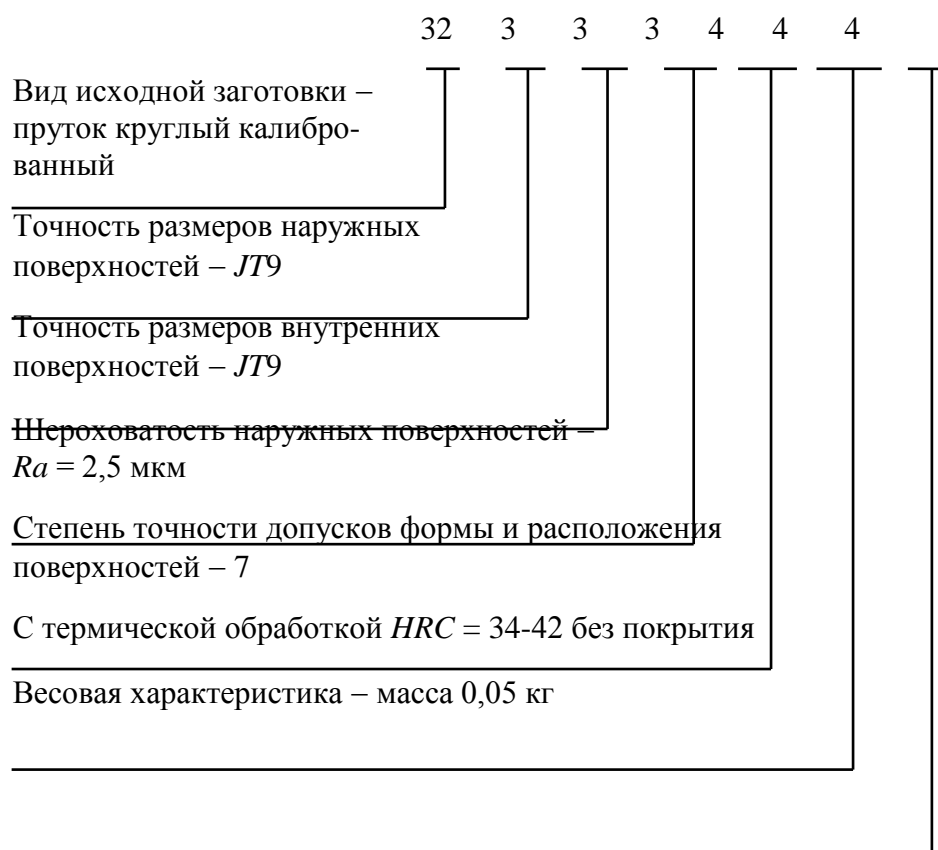
10. Оформление документации на типовые ТП.



**Рис. 1.** Построение кода конструкторской классификации втулки



**Рис. 2.** Основные признаки технологической классификации втулки



**Рис. 3.** Технологическая классификация втулки, обрабатываемой резанием

**Преимущества типовых ТП:** использование прогрессивных методов изготовления деталей; сокращение сроков ТПП до 2,5 раз; сокращение времени на разработку ТП; специализация рабочих мест; организация переменноточных линий; высокий уровень оснащённости.

Развитием идей типизации ТП является созданный профессором С.П. Митрофановым метод групповой обработки.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ГРУППОВОЙ ОБРАБОТКИ

Литература: Митрофанов С.П. Групповая технология машиностроительного производства. В 2-х т. Л.: Машиностроение. 1983 г.

Правиков Ю.М. Групповая технология машиностроительного производства в дипломных проектах. Методические указания. Ульяновск, УлПИ, 1990 г.

Согласно ГОСТ 14.004-83 *групповой метод* – это такой метод унификации ТП, при котором для групп однородной по тем или иным конструктивно-технологическим признакам продукции устанавливаются однотипные высокопроизводительные методы обработки с использованием однородных и быстроперенастраиваемых орудий производства.

Организация групповой технологии целесообразна при изготовлении деталей или сборке изделий в основных и вспомогательных цехах в условиях единичного, мелкосерийного и серийного производства. В крупносерийном и массовом производствах метод групповой обработки целесообразно применять при коротком цикле изготовления изделия или при коэффициенте закрепления операций  $K_{з0} \geq 2$ .

*Отличие между типовой и групповой обработкой заключается в том, что при групповой обработке под классом понимают совокупность деталей, характеризующую общностью типа применяемого оборудования и средств технологического оснащения.*

## **ОБРАЗОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ГРУПП**

Классификация деталей позволяет ускорить их поиск по заданным признакам, т.к. сравнение заданного шифра с шифром других деталей проводится быстрее, чем прямое сравнение заданных признаков с признаками других деталей. Визуальное сравнение чертежей по заданным признакам – во много раз более трудоемкий процесс, чем сравнение по классификационным цифрам. Кроме того, классификация необходима для автоматизированного решения задач технологической подготовки производства, особенно при группировании деталей. Используя разработанные системы кодирования и классификации деталей, можно выявить общие конструктивные, размерные, точностные и технологические признаки и свести детали в определенные конструктивно-технологические группы.

*Группой (операционной)* называется совокупность деталей, характеризующаяся при обработке общностью оборудования, оснастки, наладки и технологического процесса (операционного). При создании групп принимают во внимание габариты детали, т.к. они определяют типаж оборудования и размеры технологической оснастки. Кроме того, учитываются: геометрическая форма деталей, общность подлежащих обработке поверхностей, точность и шероховатость обрабатываемых поверхностей, однородность заготовок, серийность выпуска, экономичность процесса.

Создание унифицированных (групповых) процессов изготовления деталей может базироваться на различных методах их группирования:

- по конструктивно-технологическому сходству деталей; наиболее типичными совокупностями в этом случае являются группы шестерен, втулок, валиков, шпинделей и др.;

- по элементарным поверхностям деталей, что позволяет установить варианты обработки этих поверхностей, а из комбинации элементарных процессов получить технологический процесс обработки любой детали;

- по преобладающим видам обработки деталей (типам оборудования), единству технологического оснащения и общности наладки станка.

Групповой метод допускает использование всех указанных методов группирования деталей, если они целесообразны в условиях данного производства. На одном и том же предприятии можно применять несколько или все методы классификации и группирования деталей и процессов.

В условиях серийного и мелкосерийного производства наибольшее распространение получил метод группирования деталей по применяемому для обработки типу оборудования, единству технологического оснащения и общности настройки станка.

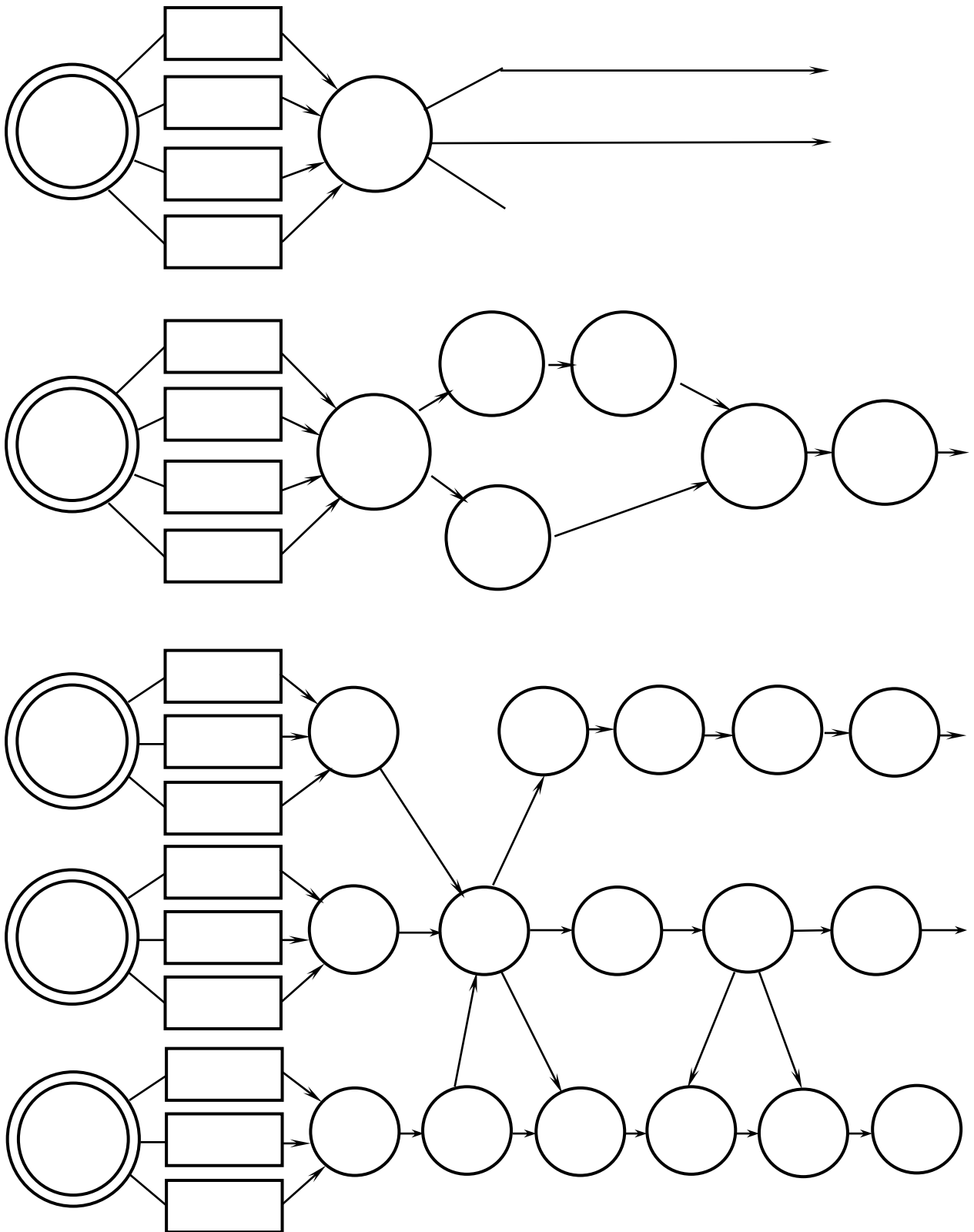
Группирование деталей для построения групповых процессов рекомендуется выполнять по общности маршрутных групповых процессов, групповых деталеопераций.

В практике встречаются в основном *три варианта группирования деталей*. **Первый вариант** (рис. 4, а) – цикл обработки начинается и заканчивается на одном и том же типе оборудования (заготовительные процессы, обработка на автоматах, револьверных станках, а также отделочные процессы). Детали с незаконченным циклом обработки, совместно обработанные на одной групповой операции, на остальных операциях (если это требуется) входят в другие группы или изготавливаются по единичным процессам. Этот метод группирования охватывает наибольшее количество деталей и особенно эффективен, если технологический процесс всех входящих в данную группу деталей однооперационный.

**Второй вариант** - детали группы имеют общий многооперационный процесс, выполненный на разнотипном оборудовании (рис. 4, б). Они проходят последовательно либо через все операции технологического процесса, либо имеют как общие, так и отдельные специфические операции.

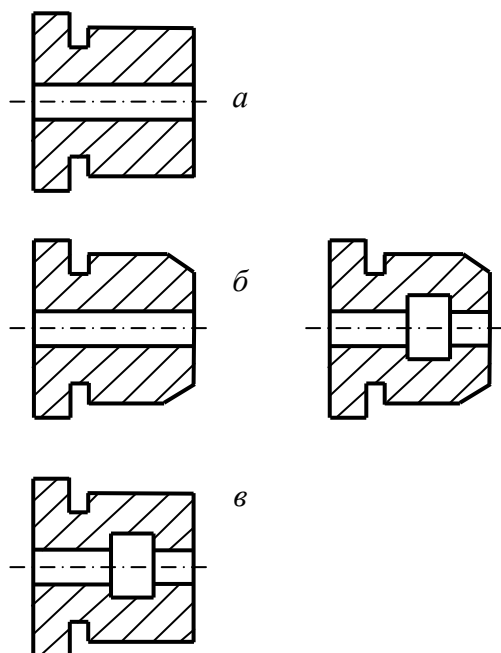
**Третий вариант** – объединяются детали нескольких групп, имеющих общность технологического маршрута, выполняемого на разнотипном оборудовании (рис. 4, в). В этом случае на некоторых технологических операциях обрабатываются детали не только одной группы, но и нескольких групп.

Во втором и третьем вариантах обработки деталей обычно ведется на оборудовании, расположенном в порядке последовательности операций. Эти два варианта создают благоприятные условия для внедрения групповых (многопредметных) поточных линий.



**Рис. 4.** Схема объединения деталей в группы: *a* – обработка ведется на оборудовании одного типа; *б* – на различном оборудовании; *в* – несколько групп деталей, имеющих сходный технологический маршрут

За основу при построении групповых процессов берется либо реальная деталь данной группы, либо создается комплексная (условная) деталь, имеющая все геометрические элементы деталей данной группы (рис. 5).



**Рис. 5.** Формирование комплексной детали:  
*a, б, в* – детали группы; *г* – комплексная  
 деталь

## РАЗРАБОТКА ГРУППОВОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

После формирования банка данных о детали разрабатывают технологические процессы и выбирают оборудование для их обработки с учетом оптимизации загрузки станков. Основным критерием при выборе маршрута обработки и формирования обрабатывающих ячеек является геометрическое подобие деталей. Вторым критерием является подобие технологических маршрутов, что важно при подборе оборудования.

**Групповым технологическим процессом** называется совокупность групповых технологических операций, обеспечивающих обработку различных деталей группы (или нескольких групп) по общему технологическому маршруту. При групповом технологическом маршруте некоторые детали или их группы могут пропускать отдельные операции.

**Групповой технологической операцией** называется общая для группы различных по конструктивным признакам деталей операция, выполняемая с определенной групповой оснасткой, обеспечивающей обработку деталей на данном оборудовании.

**Деталеоперация** представляет собой дифференцированный план переходов при обработке конкретной детали определенной группы, для которой разработана групповая операция. Таким образом, групповая операция охватывает столько деталеопераций, сколько деталей различных типов скомплектовано в группу.

Такое технологическое решение способствует специализации рабочих мест. При оснащении рабочих мест групповой оснасткой [1] для перехода к обработке новой детали требуется лишь незначительная подналадка станка, на



что затрачивается в 10-15 раз меньше времени, чем на полную его переналадку. Это весьма важно в случае часто меняющейся номенклатуры в условиях серийного и единичного производства.

При разработке групповых технологических процессов механической обработки за базовую берут комплексную деталь или деталь – представитель группы. Накопленный промышленностью опыт по внедрению групповой обработки и наличия большого количества уже разработанных классификационных групп дают возможность составлять классификаторы комплексных деталей, групповых маршрутных технологических процессов и деталиеопераций и на этой основе с помощью ЭВМ осуществлять адресование новых деталей к соответствующему технологическому процессу.

Стандарт ЕСТПП 14.316-75 определяет правила разработки групповых технологических процессов, предназначенных для совместного изготовления или ремонта групп изделий различной конфигурации, в конкретных условиях производства на специализированных рабочих местах:

1. Принятая последовательность технологических операций при групповом маршруте или переходов групповой операции должна обеспечивать обработку любой детали группы в соответствии с чертежом и техническими требованиями.

2. Технологическая оснастка должна быть групповой или универсально-переналаживаемой, пригодной для изготовления любой детали группы.

3. Применяемое оборудование должно обеспечивать высокопроизводительную обработку при минимальных затратах на его переналадку при переходе к обработке деталей другого наименования. При выборе оборудования необходимо стремиться к максимальной концентрации операций.

4. Технологическая документация должна быть простой по форме, исчерпывающей по содержанию и удобной для пользования на рабочих местах.

Групповой технологический процесс обычно разрабатывается как единичный на основе использования ранее принятых решений, содержащихся в действующих единичных технологических процессах изготовления аналогичных деталей. Методика проектирования технологических процессов изготовления деталей, а также оформление технологической документации достаточно полно изложены в литературе, указанной в начале раздела.

На практике различают следующие основные **формы организации группового производства**:

- цехи и участки с поддетальной и поддетально-групповой специализацией;
- многономенклатурные групповые поточные линии.

При **поддетальной специализации** цехи и участки специализируются по возможно максимальному изготовлению конструктивно-технологически сходных деталей, сгруппированных независимо от их принадлежности к изделию.

При проектировании **поддетально-групповых** замкнутых участков особенно эффективно использование многооперационных станков. Уменьшение числа установов деталей и соответствующих переналадок

сокращает производственный цикл и объем заделов при улучшении качества изготавливаемых деталей.

В условиях поддетально-специализированных участков и цехов создаются реальные предпосылки для организации и внедрения более совершенных форм производства – гибких автоматизированных участков и многопредметных (групповых) поточных линий.

**Групповые поточные линии** характеризуются закреплением за ними партий нескольких типов деталей. На таких линиях осуществляется параллельно-партионное чередование изделий. Различают групповые потоки с переналадкой и без переналадки оборудования с элементами подналадки при переходе к обработке деталей другого типа.

Групповая линия с переналадкой оборудования является промежуточной формой между поточными и непоточными серийными методами работы. От принципов поточной работы они заимствуют прямоточность расположения оборудования, от серийных – работу партиями при периодической повторяемости их производства.

Групповые поточные линии без переналадки оборудования характеризуется закреплением за каждым станком (рабочим местом) определенной группы (групп) деталей, обрабатываемые на данной детали операции, оснащенной специализированной групповой оснасткой, позволяющей без переналадки станка (с элементами подналадки) вести обработку деталей различных конструктивно-технологических групп при партионной или поштучной передаче последних. В этих условиях обеспечивается специализация рабочих мест мелкосерийных и серийных потоков подобно условиям массового производства.

Прежде чем приступить к проектированию поточной линии, необходимо обосновать выбор ее типа, т.к. это определяет методику расчета линии и технико-экономическую эффективность ее работы. Согласно [2], для предварительного выбора типа поточной линии рекомендуется пользоваться определяемым по каждой  $j$ -ой детали показателем серийности – средней относительной трудоемкости операции  $K_{M_j}$ , которая определяется по формуле

$$K_{M_j} = K_{D_j}/k_{0j} \approx 1/K_{30},$$

где  $K_{D_j}$  - относительная трудоемкость изготовления  $j$ -ой детали группы;

$k_{0j}$  – число операций технологического процесса  $j$ -ой детали группы;

$K_{30}$  – коэффициент закрепления операций по ГОСТ 3.1108-74.

Установлено, что при значениях  $K_{M_j} \geq 0,75$  возможна организация однономенклатурных непрерывных или прерывных поточных линий; при  $0,2 \leq K_{M_j} < 0,75$  – многономенклатурных переменнo-поточных (непрерывных или прерывных) линий и при  $0,005 \leq K_{M_j} < 0,2$  – многономенклатурных групповых поточных линий. Соответственно за переменнo-поточными линиями закрепляются для обработки от двух до пяти, а за групповыми – от шести до 200 деталей в месяц.

**Проектирование групповой обработки** выполняют в следующей последовательности.

1. По чертежам изделий завода производят отбор деталей, которые могут быть изготовлены на одинаковом оборудовании при установке в однотипных приспособлениях с применением одинакового инструмента.

2. Определяют фактическую трудоемкость обработки отобранных заготовок деталей в количестве, обеспечивающем полное выполнение месячной программы.

3. Устанавливают окончательный состав группы деталей исходя из необходимости загрузки оборудования в течение месяца при минимальных переналадках для других групп заготовок.

4. После уточнения состава группы создают комплексную деталь, устанавливают последовательность и содержание переходов групповой обработки, операции и разрабатывают схему групповой наладки станка.

5. После разработки схем групповой наладки и уточнения содержания технологических переходов проектируют и изготавливают групповую оснастку.

### **Преимущества групповой обработки**

1. Повышение производительности обработки за счет:

– перевода обработки заготовок с менее производительных на более производительные станки (например, с токарных на токарно-револьверные);

– применения высокопроизводительных групповых приспособлений и групповой оснастки;

– применения средств автоматизации и механизации ТП;

– сокращения затрат на подготовительно-заключительное время (настройка и переналадка станка) и вспомогательное время (уменьшение продолжительности наладки – на 60-70 %).

2. Сокращение сроков технологической подготовки производства (на 20 %).

3. Сокращение цикла производства (на 70 %) и снижение незавершенного производства (на 60 %).

### **1. Сопоставление унифицированных ТП**

Область рационального применения	Типовые ТП Серийное и крупносерийное производство небольшого количества наименований деталей (шестерни, валы, кольца и т.д.), изготовление нормалей	Групповые ТП Единичное, мелкосерийное и серийное производство различных заготовок
Перспективный	Деталей общего	Деталей

охват деталей	машиностроения 15-20 %	машиностроения 40-50 %, приборостроения 50-60 %
---------------	------------------------	--

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОДУЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Анализ конструкций и технологий изготовления изделий машиностроения показывает, что многие *конструктивно-технологические элементы* (КТЭ) деталей и сборочных единиц, даже если они относятся к разным классам, совпадают. Так, поверхности валов, предназначенные под установку на них стандартных подшипников качения, имеют идентичные геометрические размеры и требования по точности и шероховатости. Применяемые для тех же целей расточки в различных корпусных деталях, выполненных для установки наружных колец подшипников, также имеют повторяющиеся параметры. Подобные поверхности изделий, изготавливаемые на различных предприятиях, выполняют с использованием одинаковых технологических операций и переходов.

Большинство деталей можно выполнить из КТЭ, имеющих ту или иную степень унификации. Каждый из унифицированных КТЭ будет изготавливать по совокупности заранее установленных операций и переходов. Тогда процессы изготовления изделий возможно проектировать на основе комбинаций унифицированных для каждого такого элемента технологических совокупностей.

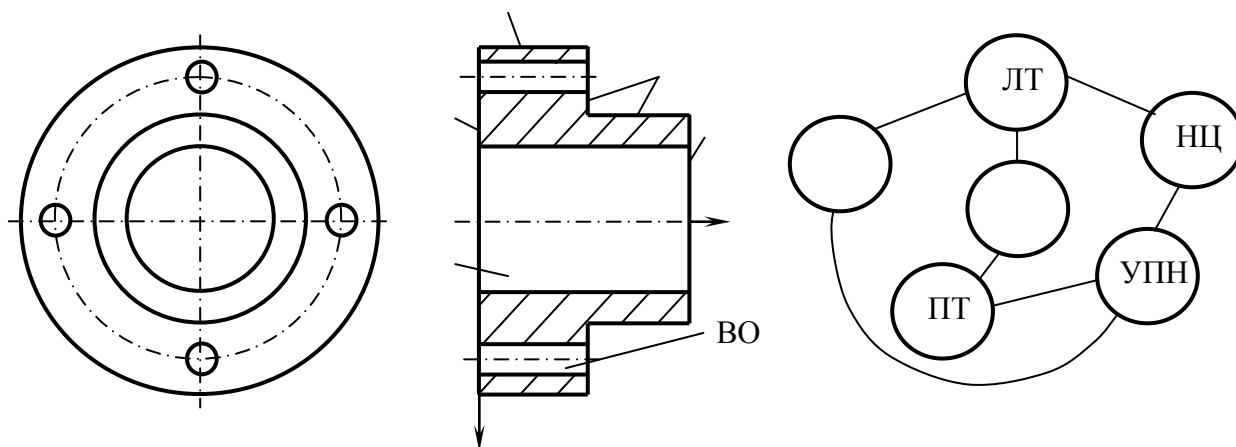
Профессор Б.М. Базров разработал и развил научно-технические принципы создания и производства изделий на основе модульной системы конструкторско-технологического проектирования. *Конструкторско-технологический модуль* (КТМ) представляет собой явно выраженный элемент изделия, имеющий строго определенное геометрическое, точностное и параметрическое описание, изготовление которого ведется по заранее установленной для данного модуля технологии.

*Модульный принцип технологического проектирования* обеспечивает применительно к каждой детали или сборочной единице разработку технологических процессов из готовых блоков. В качестве КТМ могут служить сборочная единица, часть сборочной единицы, деталь или ее составной элемент. ТП или его части, если их применяют к различным элементам изделия или совокупности изделий с использованием принципов унификации, также могут относиться к модульным технологиям. По модульному принципу могут разрабатываться технологические процессы сборки, механообработки, изготовления заготовок, термообработки, нанесения покрытий, контроля, испытаний изделий и т.п.

В промышленной практике применяют различные методы формирования КТМ (КТЭ). На рис. 6, а проиллюстрирована методика проф. Б.М. Базрова на примере детали «фланец» типа тела вращения, имеющая одно центральное и четыре отверстия, расположенные с радиальным смещением параллельно оси.

Деталь представляет собой совокупность из шести составляющих модулей: левого торца (ЛТ), правого торца (ПТ), центрального отверстия (ЦО), внеосевого отверстия (ВО), уступа правого наружного УПН), наружного цилиндра (НЦ). Граф взаимосвязи технологических модулей приведен на рис. 6, б.

Дополнительно для условий, приведенных на рис. 7, может быть использован, например, мнимый модуль, а именно ось тела вращения (ОТВ), уступ левый наружный (УЛН), уступы внутренние правый (УПВ) и левый



(УЛВ).

Рис. 6. Представление конструкции детали в виде совокупности модулей

Модули типа ОТВ и им подобные, например оси симметрии (ОС), служат для определения пространственного положения иных КТМ в деталях, заготовках и сборочных единицах. Каждый модуль после статистического анализа всей номенклатуры чертежно-технической документации в зависимости от геометрических, точностных и физико-механических параметров сводится к унифицированным подтипам в соответствующую таблицу (табл. 2), которая составлена на примере модуля ЦО с указанием основных размерных параметров.

## 2. Параметры технологических модулей отверстия

Подтип модуля	$d$ , мм	$L$ , мм	$IT$ , мкм	Шероховатость		Отклонение формы, мм	Отклонение расположения, мм
				$Ra$	$Rz$		
ЦО4-4-12	4	1...4	12	–	$Rz$ 40	0,05	0,1
ЦО4-4-10	4	1...4	10	–	$Rz$ 10	0,05	0,08
ЦО4-8-12	4	4...8	12	$Ra$ 6,3	–	0,06	0,1
ЦО4-8-20	4	8...20	10	–	$Rz$ 10	0,05	0,08

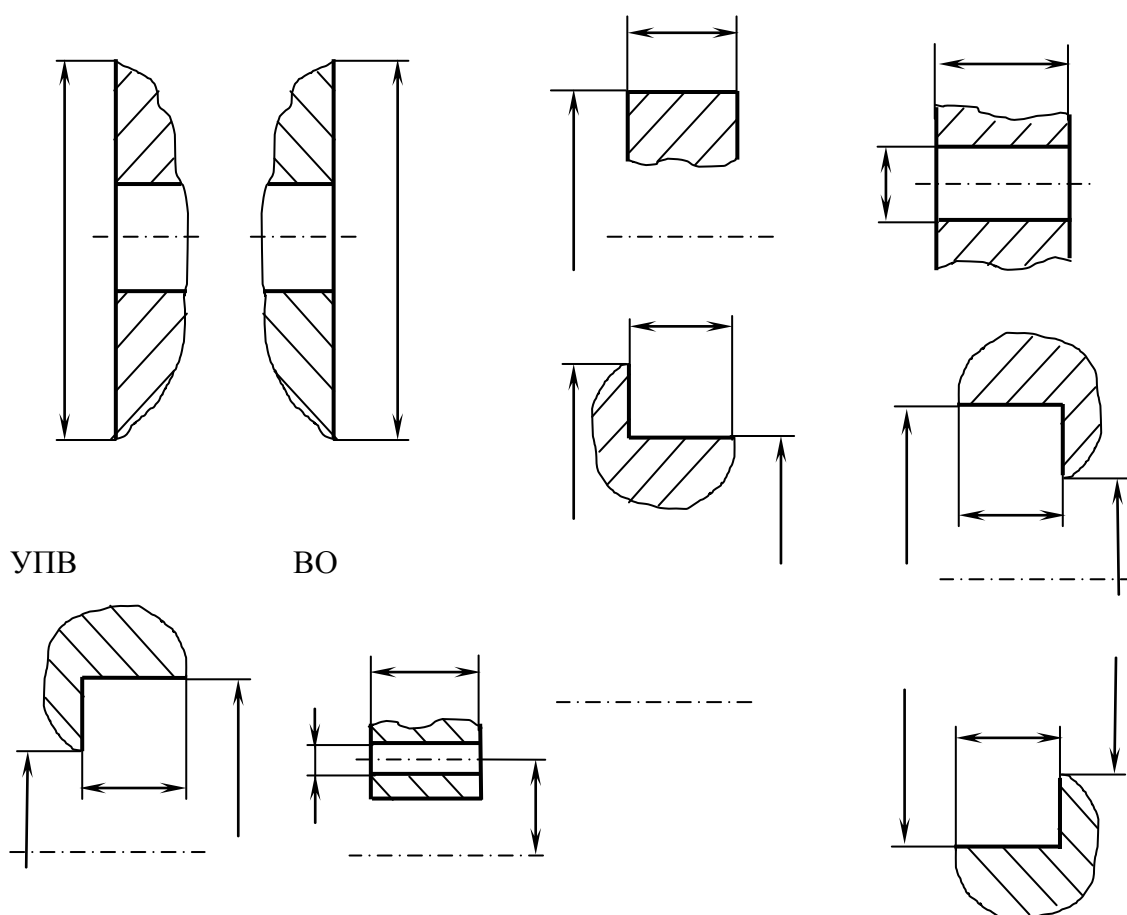
Для каждого подтипа модуля применительно к особенностям конкретного предприятия выбирают приемлемую технологию обработки, которая

классифицируется в соответствии с предназначением. Для каждого подтипа создают идентификационную таблицу методов обработки или сборки. Так, для КТМ типа ЦО рассматриваемого фланца с параметрами, приведенными в табл. 2, технологические описания переходов сведены в табл. 3. Подтип данного КТМ имеет следующую структуру кодирования: «тип модуля – диаметр отверстия – длина отверстия – качество точности».

Рис. 7. Примеры технологических модулей

### 3. Содержание модульного технологического процесса

Подтип модуля	Технологический процесс	Содержание технологического процесса
ЦО4-4-12	ЦО2-4-12Тп	Сверлить отверстие $\varnothing 4$ на длину 4 мм
ЦО4-4-10	ЦЩ2-4-10Тп	Сверлить и зенкеровать отверстие $\varnothing 4$ на длину 4 мм
ЦО4-8-12	ЦО2-8-12Тп	Сверлить отверстие $\varnothing 4$ на длину 8 мм
ЦО4-8-20	ЦО2-8-20Тп	Сверлить и зенкеровать отверстие $\varnothing 4$ на длину 8 мм с периодическим выводом сверла



При подобном представлении изделия в виде совокупности КТМ составление технологического процесса обработки детали достаточно привести карты эскизов с указанием схем базирования и установки, а в маршрутной или операционной карте – дать указания по применению модульных технологических процессов обработки.

Внедрение модульных технологических процессов весьма перспективно. Оно сопровождается на предприятиях комплексными работами по формированию перечня модулей, их симплификации (устранению излишнего многообразия), унификации на уровне стандартов предприятия и сборников КТМ, созданию электронных графических и технологических баз данных для использования конструкторскими и технологическими службами предприятия. Внедрение модульных технологий способствует уменьшению номенклатуры режущих инструментов и других средств технологического оснащения, сокращению сроков конструкторской и технологической подготовки производства, а также длительности производственных циклов по выпуску изделий.

Более подробно модульные технологии см. Базров Б.М. Основы технологии машиностроения. М.: Машиностроение, 2005.

## Лекция №5

## РАСЧЕТ ПРИПУСКОВ НА МЕХАНИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ И ОПЕРАЦИОННЫХ РАЗМЕРОВ

Значительное сокращение расхода конструкционных материалов (повышение  $K_{\text{им}}$ ) может быть достигнуто путем уменьшения припусков на механическую обработку. Уменьшение припусков обеспечивается повышением точности заготовок, уменьшением шероховатости их поверхности и толщины дефектного слоя.

При обработке заготовок на металлорежущих станках в *условиях единичного и мелкосерийного производства 50–60 % массы металла уходит в стружку*; в условиях крупносерийного и массового производства отходы металла в стружку составляют до 20 % для *литых деталей* и до 30 % для *кованых*. Правильно выбранные припуски обеспечивают стабильность качества выпускаемой продукции при наименьшей себестоимости.

Минимизация припусков позволяет исключить предварительную (черновую) обработку заготовок из ТП механической обработки.

Чертеж исходной заготовки отличается от чертежа готовой детали прежде всего тем, что на всех обрабатываемых поверхностях предусматриваются припуски (*исходной заготовкой называется заготовка перед первой ТО (ГОСТ 3.1109-82)*).

**Припуском** называют ту часть удаляемого материала, наличие которого на заготовке вызвано необходимостью обеспечения заданных требований по точности деталей и качеству поверхностных слоев в процессе обработки резанием.

Различают *общий* и *операционный припуски*.

Согласно **ГОСТ 3.1109-82** *операционный припуск* – это слой материала, удаляемый с заготовки при выполнении одной технологической операции.

**Общим припуском** на обработку называется слой материала, удаляемый с поверхности исходной заготовки в процессе механической обработки с целью получения готовой детали.

Общий припуск на обработку  $Z_0$  равен сумме операционных припусков  $Z_i$  по всем ТО

$$Z_0 = \sum_{i=1}^n Z_i,$$

где  $n$  – число операций.



Общий припуск между предварительной и окончательной (чистовой) обработкой распределяется  $\sim$ : 60 %  $Z_0$  – предварительную и 40 % – на чистовую

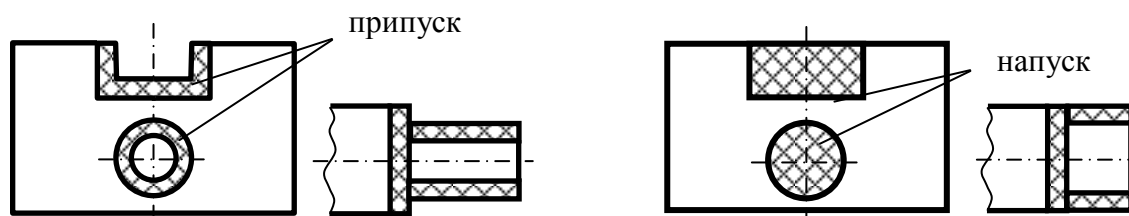
или 45 %  $Z_0$  – предварительную;

30 %  $Z_0$  – на полчистовую;

25 %  $Z_0$  – на чистовую.

Оптимальный припуск обеспечивает получение высококачественной детали при минимальной себестоимости.

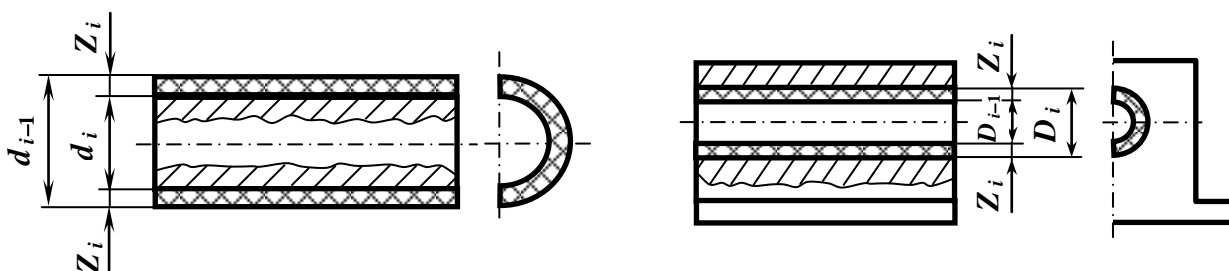
**Напуском** принято называть ту часть материала заготовки, необходимость удаления которой при последующей обработке вызвана упрощением формы заготовки по отношению к форме готовой детали (объем металла, который подлежит удалению с исходной заготовки при образовании отверстий, пазов и углублений в сплошном металле).



### Классификация припусков

В зависимости от конфигурации заготовок припуски бывают *симметричными* и *асимметричными*.

**Симметричные** припуски имеют место при обработке наружных и внутренних поверхностей вращения, а также при обработке с одного *установа* противоположащих параллельных поверхностей.

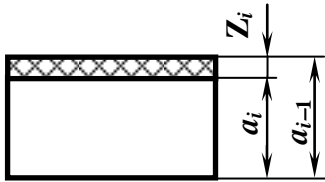


$$2 Z_i = d_{i-1} - d_i$$

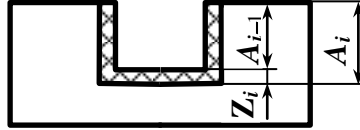
$i - 1$  – заготовка;  $i$  – деталь

$$2 Z_i = D_i - D_{i-1}$$

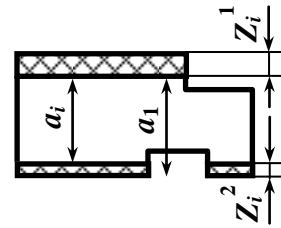
**Асимметричные** припуски имеют место тогда, когда противоположащие поверхности заготовки обрабатываются последовательно одна за другой.



$$Z_i = a_{i-1} - a_i$$



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



$$Z_i^1 \neq Z_i^2$$

$$Z_i^1 = a_{i-1} - a_i;$$

$$Z_i^2 = a_1 - a_i$$

При обработке *поверхностно-пластическим деформированием* (ППД) за величину припуска принимают остаточные деформации.

При расчете операционных размеров различают следующие припуски:

– *минимальный операционный*  $Z_i^{min}$  – разность наименьшего предельного размера до обработки и наименьшего предельного размера после обработки на данной операции

$$\text{для наружных поверхностей: } Z_i^{min} = a_{i-1}^{min} - a_i^{max};$$

$$\text{для внутренних поверхностей: } Z_i^{min} = A_i^{min} - A_{i-1}^{max}.$$

Для тел вращения

$$2 Z_i^{min} = d_{i-1}^{min} - d_i^{max} \text{ и } 2 Z_i^{min} = D_i^{min} - D_{i-1}^{max}.$$

*Минимальный припуск должен быть таким, чтобы при его снятии были ликвидированы погрешности предшествующей операции (перехода) или заготовки, а также погрешности установки обработанной заготовки на выполняемой операции (переходе);*

– *максимальный операционный*  $Z_i^{max}$  – для наружных поверхностей разность наибольшего предельного размера до обработки и наименьшего предельного размера после обработки на данной операции

$$Z_i^{max} = Z_i^{min} + T a_{i-1} + T a_i;$$

$$2 Z_i^{max} = 2 Z_i^{min} + T d_{i-1} + T d_i$$

и для внутренних поверхностей

$$Z_i^{max} = Z_i^{min} + T A_{i-1} + T A_i;$$

$$2 Z_i^{max} = 2 Z_i^{min} + T D_{i-1} + T D_i.$$

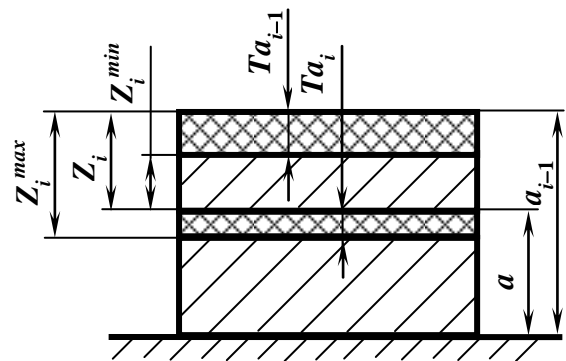


Схема и расчет приведены для методов обработки, исключая влияние упругих отжаты в технологической системе.

По максимальному припуску назначают *глубину резания*, т.е.  $t_i = Z_i^{max}$ .

По максимальному припуску (по  $t_i = Z_i^{max}$ ) выбирают *мощность привода оборудования*,  $Z_i^{max}$  еще называют *гарантированный припуск*;

– *номинальный операционный (расчетный) припуск*  $Z_i$  – разность номинальных размеров изделия до и после обработки

$$Z_i = Z_i^{min} + Ta_{i-1} \quad (TA_{i-1}, Td_{i-1}, TD_{i-1}).$$

Общий  $Z_0$  равен сумме номинальных (расчетных) припусков на отдельные операции  $Z_i$  (см. выше).

Номинальные припуски, в частности, необходимы для определения *номинальных размеров заготовки*, по которым изготавливают технологическую оснастку.

Последняя формула показывает, что *любое расширение допусков на предшествующих операциях неизбежно вызывает увеличение припуска на обработку для последующих операций, что ведет к снижению производительности обработки. И, наоборот, при уменьшении припуска на обработку для данной операции (при  $Z_i^{min} = const$ ) приходится соответственно повышать точность, а следовательно и стоимость предшествующей обработки.*

Припуски должны быть *достаточными* для получения заданных размеров, микрогеометрии и формы детали и в то же время *минимальными* для уменьшения расхода металла и снижения затрат на обработку.

*Завышенные припуски* на обработку приводят к:

– неоправданному перерасходу материала и увеличению стоимости заготовки;

– увеличению трудоемкости обработки;

– необходимости введения дополнительных технологических переходов;

– удалению (в некоторых случаях) наиболее износостойких поверхностных слоев;

– снижению точности обработки в связи с упругими деформациями ТС.

*Заниженные припуски* на обработку могут вызвать:

– неприемлемые технологические условия для работы режущего инструмента в зоне твердой литейной корки или окалины;

– предпосылки к некачественному изготовлению деталей – дефектам и браку (например, неудаленный дефектный слой);

– повышения требований к заготовкам, что повлечет их удорожание.

Установление оптимальных припусков на обработку по всем переходам является одной из основных задач, правильное решение которых имеет большое технико-экономическое значение.

### Методы назначения припусков на обработку

В практике машиностроения применяют два основных метода определения припусков на обработку: *опытно-статистический* и *расчетно-аналитический*.

При *опытно-статистическом методе* используются табличные данные, составленные на основании обобщения и систематизации опыта передовых заводов (станкостроения). Причем в таблицах даны значения *номинального припуска*  $Z_i$ . Значения  $Z_i^{min}$ , и  $Z_i^{max}$ , и межпереходные, и межоперационные размеры определяются по формулам (рассмотрены выше).

*Достоинства метода:*

1. Сокращаются сроки проектирования ТП. Опытно-статистический метод позволяет определить размеры заготовки до обработки технологического процесса.
2. Исключает возможность грубых просчетов и упрощает нормирование расхода материалов.

*Недостаток:*

Назначение припуска без учета требований конкретного ТП, что, как правило, влечет за собой применение завышенных припусков (1 % экономии проката черных металлов в станкостроительной и инструментальной промышленности сохраняет такое его количество, которое достаточно для изготовления 10 тыс. токарно-револьверных станков).

Завышенный припуск ориентирован на условия обработки, при которых припуск должен обеспечить работу без брака.

*Опытно-статистический метод* можно использовать в условиях единичного и мелкосерийного производства при изготовлении небольших, недорогих деталей и когда ТП разрабатываются укрупнённо.

Во *всех остальных случаях* следует определять припуск *расчетно-аналитическим методом*.

При *расчетно-аналитическом методе* определения припуска основной расчетной величиной является  $Z_{i min}$ .

Согласно методу расчета припусков, разработанному проф. В.М. Кованом и основанному на учете факторов, действующих в процессе обработки, *промежуточный припуск* на каждой выполняемой операции (переходе) должен быть таким, чтобы при его снятии были ликвидированы погрешности

предшествующей операции (перехода) или заготовки, а также погрешности установки обработанной заготовки на выполняемой операции (переходе).

На величину  $Z_{i \min}$  влияют

$$Rz_{i-1}; h_{i-1}; \Delta_{\Sigma i-1}; \varepsilon_i.$$

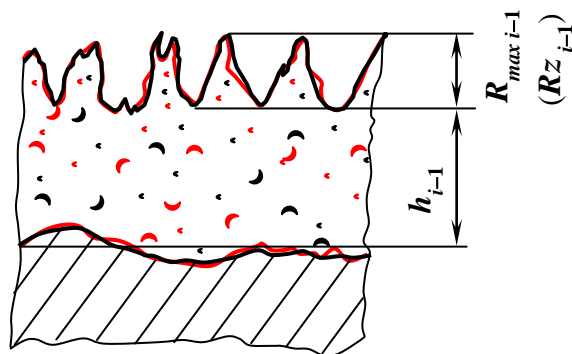
$Rz_{i-1}$  – высота микронеровности обрабатываемой поверхности, образовавшейся на предыдущей технологической операции (технологическом переходе).

$h_{i-1}$  – глубина дефектного слоя, образовавшегося на предыдущей технологической операции (технологическом переходе).

Дефектным поверхностным слоем называется слой, отличающийся от основного металла механическими свойствами, наличием остаточных напряжений.

У заготовки из серого чугуна поверхностный слой состоит из перлитной корки, наружная зона которой имеет следы формовочного песка.

Стальные поковки и штампованные заготовки имеют обезуглероженный поверхностный слой, который снижает износостойкость и сопротивление усталости деталей (до 1,3 мм) (особенно важно для инструмента).

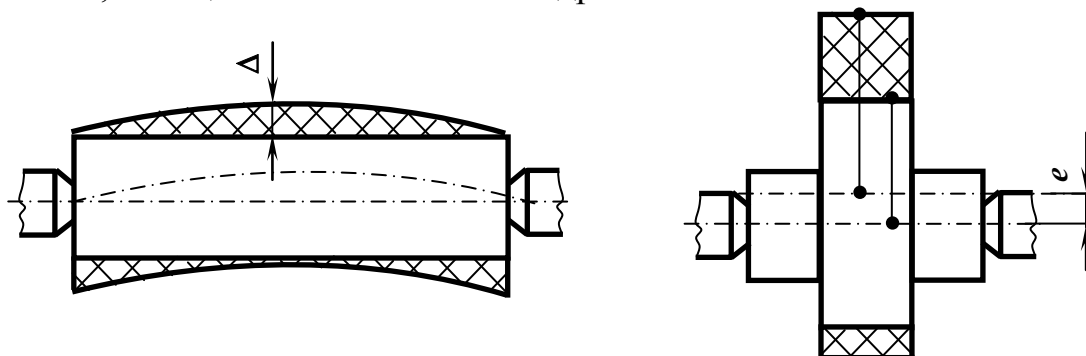


Поковки, полученные свободной ковкой, имеют окалину, которую также следует удалить на первой операции.

$\Delta_{\Sigma i-1}$  – суммарное пространственное отклонение расположения обрабатываемых поверхностей относительно баз заготовки, образовавшихся на предшествующей технологической операции (технологическом переходе).

Учитывают на всех стадиях обработки, кроме отделочной.

Примеры:  $\Delta_{i-1}$ : отклонение от соосности обработанных поверхностей; коробление поверхностей деталей (заготовок); радиальное, торцовое биение поверхностей; позиционное отклонение и др.



Эти отклонения формы и расположения не входят составной частью в погрешность размера и не выявляются при контроле деталей (размера).

Если есть несколько частных отклонений  $\Delta_{i-1}$ , то их суммирование производится как суммирование векторных величин

$$\vec{\Delta}_{\Sigma i-1} = \vec{\Delta}_{1i-1} + \vec{\Delta}_{2i-1} + \dots + \vec{\Delta}_{ni-1}.$$

Если сложно определить направления векторов, то производится квадратичное суммирование

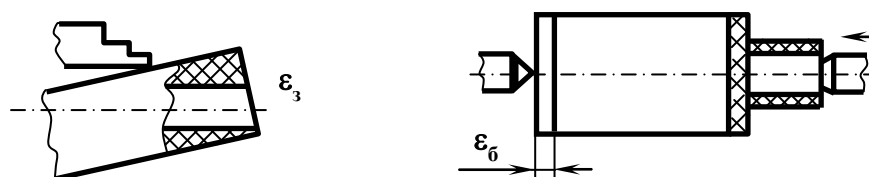
$$\Delta_{\Sigma i-1} = \sqrt{(\Delta_{1i-1})^2 + \dots + (\Delta_{ni-1})^2}.$$

Например, для деталей класса «круглые стержни»

$$\Delta_{\Sigma i-1} = \sqrt{\Delta_{\text{см}}^2 + \dots + \Delta_{\text{кор}}^2},$$

где  $\Delta_{\text{см}}$  – отклонение вследствие смещения;  $\Delta_{\text{кор}}$  – отклонение вследствие коробления.

$\varepsilon_i$  – погрешность установки заготовки на выполняемой операции (переходе). Включает погрешности закрепления и базирования.



Суммирование величин  $\Delta_{\Sigma i-1}$  и  $\varepsilon_i$  производится, как суммирование векторных величин

$$\vec{\Delta}_{\Sigma i-1} + \vec{\varepsilon}_i.$$

При обработке плоских поверхностей суммирование арифметическое

$$\Delta_{\Sigma i-1} + \varepsilon_i.$$

При обработке поверхностей вращения суммирования квадратическое

$$\sqrt{\Delta_{\Sigma i-1}^2 + \varepsilon_i^2}.$$

В итоге для плоских поверхностей

$$Z_{i \min} = (Rz_{i-1} + h_{i-1}) + (\Delta_{\Sigma i-1} + \varepsilon_i) - \text{односторонний припуск.}$$

$$2Z_{i \min} = 2[(Rz_{i-1} + h_{i-1}) + (\Delta_{\Sigma i-1} + \varepsilon_i)] - \text{двухсторонний припуск.}$$

Для поверхностей вращения

$$2Z_{i \min} = 2[(Rz_{i-1} + h_{i-1}) + \sqrt{\Delta_{\Sigma i-1}^2 + \varepsilon_i^2}].$$

Записанные расчетные зависимости могут в частных случаях упрощаться: из формулы могут исключаться те элементы припуска, которые не удаляются на данном переходе (операции).

1. После 1-го технологического перехода для заготовок из чугуна и цветных сплавов исключают  $h_{i-1}$ .

2. После термообработки поверхностный слой стальных заготовок должен быть сохранен: исключают  $h_{i-1}$ .

3. Развертывание плавающей разверткой исключают  $(\Delta_{\Sigma i-1} + \varepsilon_i)$ .

4. При протягивании отверстий в деталях, устанавливаемых на шаровую опору станка, увод оси не устраняется: погрешности установки не возникают; в этом случае  $2Z_{i \min} = 2(Rz_{i-1} + h_{i-1})$ .

Этот метод применим при обработке резанием методом автоматического получения размеров на настроенных станках и обработке резанием методом индивидуального получения размеров, особенно при обработке крупных деталей, например, в тяжелом машиностроении.

### Расчет операционных предельных размеров

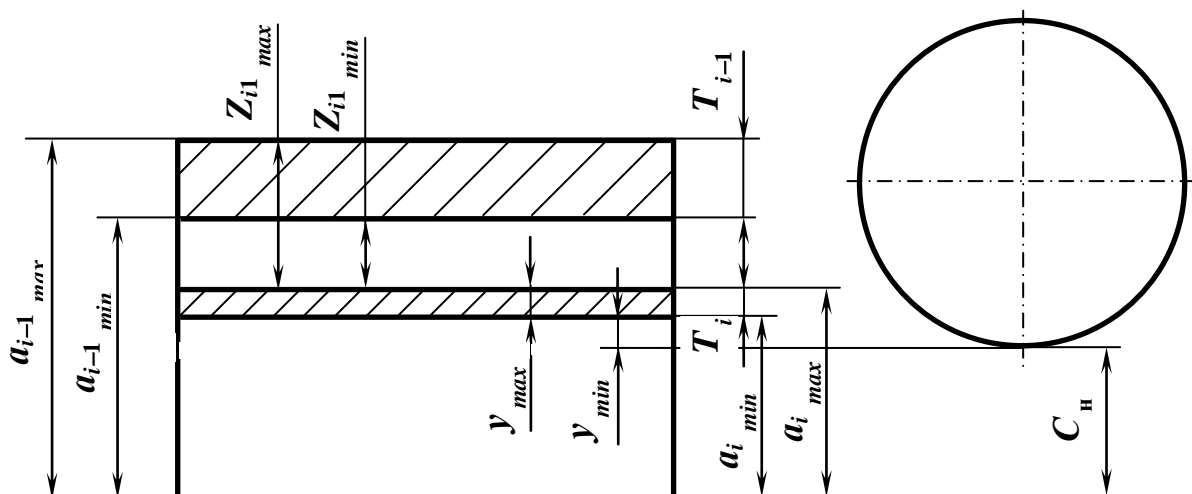
Промежуточные размеры, так же, как припуски и допуски, для каждой операции рассчитывают, начиная с последней операции и кончая первой, т.е. в направлении, обратном последовательности прохождения детали по технологическому процессу.

Предельные размеры заготовки (наибольший предельный размер для отверстия и наименьший предельный размер для вала) по технологическим операциям (переходам) получают округлением расчетного размера путем их увеличения для наружных поверхностей и уменьшения – для внутренних. Округление следует выполнять с точностью до того же знака десятичной дроби, с каким дан допуск на размер для каждого перехода.

Предельные значения припуска и промежуточные размеры при обработке за один переход на предварительно настроенных станках с учетом влияния упругих отжатий в технологической системе определяются по следующим формулам.

1. Для наружных поверхностей.

Заготовки с различными предельными размерами, обрабатываемые с настроенным на размер  $C_H$  инструментом, в связи с меняющимися значениями упругих перемещений  $y$  будут иметь различный выдерживаемый размер.



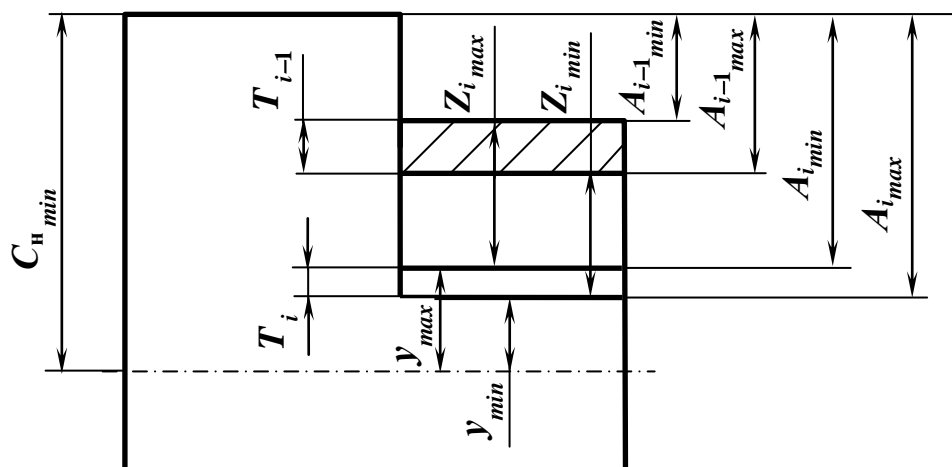
При простановке на ТЭ номинальный размер –  $a_{max-T}$  !

$$Z_{i min} = a_{i-1 min} - a_{i min};$$

$$Z_{i max} = a_{i-1 max} - a_{i max};$$

$$a_{i-1 min} = Z_{i min} + a_{i min}; \quad a_{i min} - \text{расчетный размер}$$

$$a_{i-1 max} = a_{i-1 min} + T_{i-1}$$



2. Обработка внутренних (охватывающих) поверхностей.



Для отверстия

$$2 Z_{i \min} = D_{i \max} - D_{i-1 \max};$$

$$2 Z_{i \max} = D_{i \min} - D_{i-1 \min};$$

$$D_{i-1 \max} = D_{i \max} - 2 Z_{i \min};$$

$$D_{i-1 \min} = D_{i-1 \max} - T_{i-1};$$

$A_{i \max}$  ( $D_{i \max}$ ) – расчетный размер

Для уступа (см. рис.)

$$Z_{i \min} = A_{i \max} - A_{i-1 \max};$$

$$Z_{i \max} = A_{i \min} - A_{i-1 \min}$$

$$A_{i-1 \max} = A_{i \max} - Z_{i \min};$$

$$A_{i-1 \min} = A_{i-1 \max} - T_{i-1};$$

Допуск может быть расположен симметрично  $a \pm \frac{T}{2}$ ,  $a = \frac{a_{\max} + a_{\min}}{2}$ .

При получении размеров по методу пробных ходов и промеров  $Z_{i \min}$  рассчитывается по формулам, аналогичным вышеприведенным, но с заменой  $\varepsilon_i$  на погрешность выверки положения режущего инструмента  $\varepsilon_{vi}$ . Все остальные формулы те же.

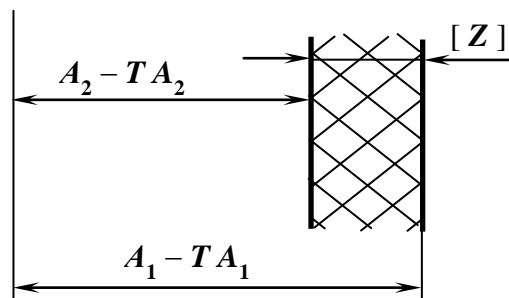
Для проверки правильности проведенных расчетов необходимо сопоставить разность припусков  $Z_{i \max} - Z_{i \min}$  ( $2Z_{i \max} - 2Z_{i \min}$  для симметричных припусков) и допусков  $Td_{i-1} - Td_i$ . При этом разность операционных припусков должна быть равна разности допусков на операционные размеры, а разность общих припусков – разности допусков на размеры исходной заготовки и готовой детали.

Все промежуточные размеры, будучи связаны друг с другом, образуют технологические размерные цепи. Размеры, входящие в качестве звеньев, являются расчетными (номинальными). Припуск является замыкающим звеном определенной размерной цепи, так как с его помощью формируется контур размеров, в частности промежуточных размеров на предшествующей и выполняемой операции (переходе).

Простейшая РЦ

Уравнение РЦ в этом случае

$$[Z] = A_1 - A_2.$$



### Назначение допусков на размеры

Установление целесообразных допусков на размеры в технологических операциях имеет важное значение и оказывает существенное влияние на *качество ТП и себестоимость изготовления. Конечной целью* назначения допусков на технологических операциях является обеспечение *годности детали* в соответствии с чертежом. Однако необходимо предусмотреть возможность обеспечения допусков на выбранном (имеющемся) оборудовании.

После назначения допусков на размеры в соответствии с возможностями выбранного оборудования возникает необходимость проверки – обеспечит ли предполагаемый вариант обработки точность по заданным конструктором размерам. Это требует размерного анализа ТП в целом.

В общем случае *при назначении допуска размера* на любой технологической операции должно соблюдаться *следующее условие*:

$$T_{A_{\text{оп}}} \geq \omega_A,$$

где  $T_{A_{\text{оп}}}$  – задаваемый на операции допуск на размер  $A_i$ ;  $\omega_A$  – погрешность размера  $A$ , которая может возникнуть на данной операции при нормальном состоянии технологической системы.

При рассмотрении правил назначения допусков на размер необходимо рассмотреть два случая:

1.  $T_{A_{\text{оп}}} = \omega_A$ . *Этот случай наиболее простой.*

По таблицам точности или иным справочным материалам допуск  $T_{A_{\text{оп}}}$  назначается равным статистической точности (погрешности обработки  $\omega_A$ ). *Однако, при этом может возникнуть брак.*

Технологический процесс является надежным при втором способе.

2.  $T_{A_{\text{оп}}} > \omega_A$ . *При расширении допуска стоимость операции может уменьшиться.* Это происходит вследствие того, что более широкие допуски обеспечивают возможность работы на повышенных режимах, меньшие затраты времени на наладку станка, менее частые его подналадки, переточку инструмента и т.д. *Однако расширение допуска на какой-либо операции приводит к увеличению средних припусков, и как следствие – к увеличению размеров заготовки и стоимости ее последующего изготовления.*

*Надежность обеспечения требуемой точности обработки заготовок характеризуется технологическим запасом точности  $K_{Т.Т}$  данной операции, которое определяется по формуле*

$$K_{Т.Т} = \frac{T_{A_{\text{оп}}}}{\omega_A}.$$

Технологический процесс считается надежным при  $K_{Т.Т} \geq 1,2$ .

В процессе размерного анализа ТП следует различать *напуски* и *припуски* на обработку, так как припуски участвуют в формировании размерных цепей, а напуски не участвуют.

### Используемая литература

1. Маталин А.А. Технология машиностроения : учебник / А.А. Маталин. – СПб.: Лань, 2008. – 512 с.

2. Справочник технолога-машиностроителя : в 2-х т. Т.1 / А.М. Дальский, А.Г. Косилова и др.; под. ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Сулова. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение-1, 2001.  
– 912 с.

3. Современные методы расчета припусков : Учебное пособие для слушателей курсов повышения квалификации ИТР по технологии машиностроения / А.М. Кузнецов, В.В. Клепиков. – М.: Машиностроение, 1988, – 44 с.