

*∞ Технологии обработки заготовок  
на автоматических станках и линиях ∞*

*∞ Конспект лекций ∞*

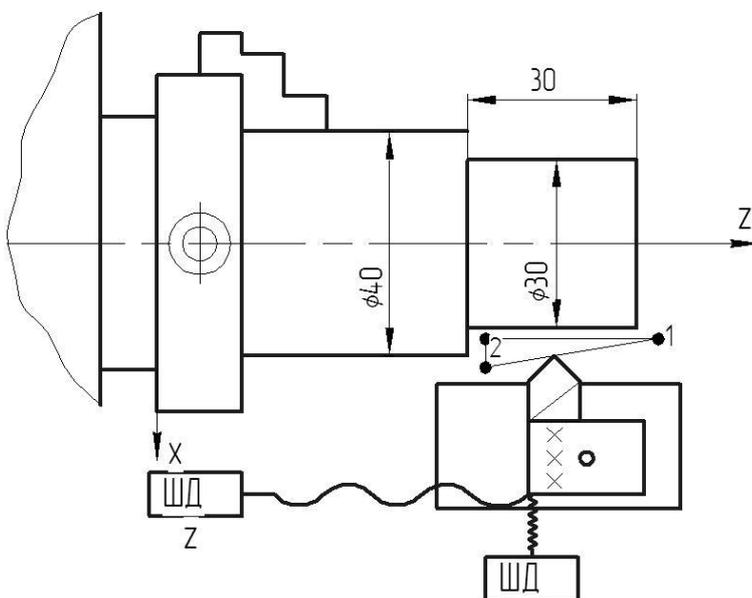
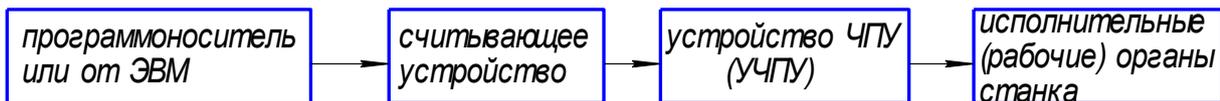
# Основы программирования

## Сущность ЧПУ

ЧПУ – управление обработкой заготовки на станке по управляющей программе (УП), в которой информация задана в цифровом виде.

УП – совокупность команд на языке программирования, представляет алгоритм функционирования станка по обработке конкретной заготовки.

Сущность ЧПУ рассмотрим на примере шаговой импульсной системы.



Дискретность перемещения – то минимальное перемещение или минимальный угол поворота рабочего органа станка за 1 импульс электрического тока.

Дискрета = 0,01 мм/имп.

$$\frac{30 \text{ мм}}{0,01} = 3000 \text{ имп.}$$

$$\frac{5 \text{ мм}}{0,01} = 500 \text{ имп.}$$

z -3000

x 500

Расстояние, которое должен пройти рабочий орган станка, определяется количеством импульсов, подаваемых на ШД, а частота вращения (подача) определяется числом импульсов в единицу времени.

## Особенности станков с ЧПУ

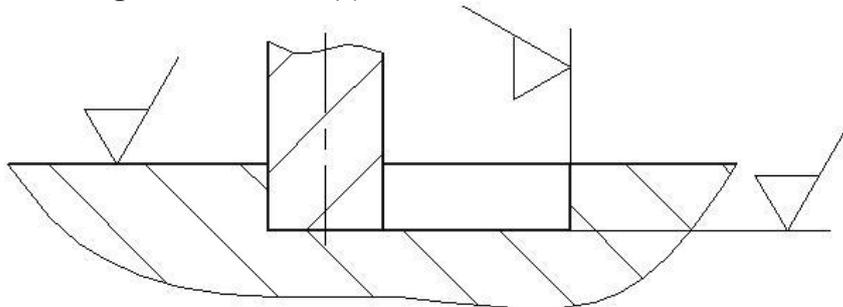
### Виды станков с ЧПУ

Технологические возможности станков с ЧПУ при прочих равных условиях определяется числом управляющих координат.

По числу управляющих координат станки подразделяются:

1. двух координатные (x, y)

## 2. 2,5-координатные (x,y) и отдельно по z



## 3. трехкоординатные (x,y,z)

## 4. четырех- и более координатные/многоцелевые станки (обрабатывающие центры)

### Маркировка станков с ЧПУ

Маркировка остается как и для обычных станков, а для обозначения степени вводится буква «Ф» с цифрой:

Ф1 – система с ЧПУ с преднабором

Ф2 – позиционная система с ЧПУ (сверлильные, расточные)

Ф3 – контурная система с ЧПУ (токарные, фрезерные)

Ф4 – комбинированная система с ЧПУ (Ф1+Ф2), - все многоцелевые станки

16K20Ф3

2P135Ф2            P- револьверная головка

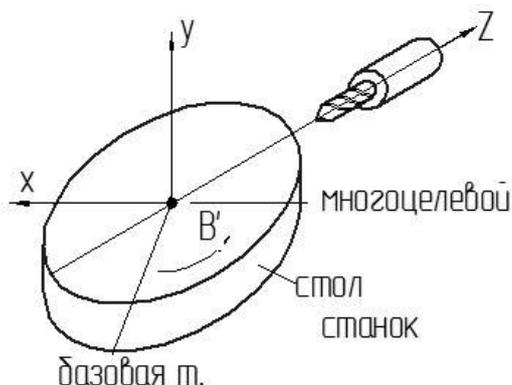
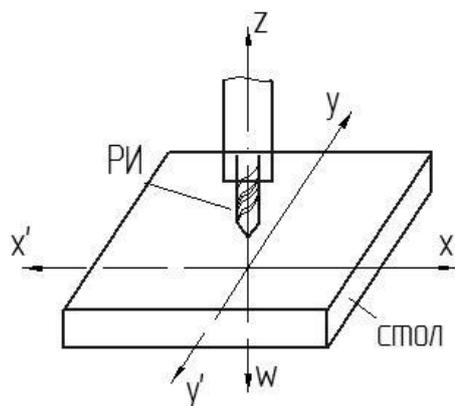
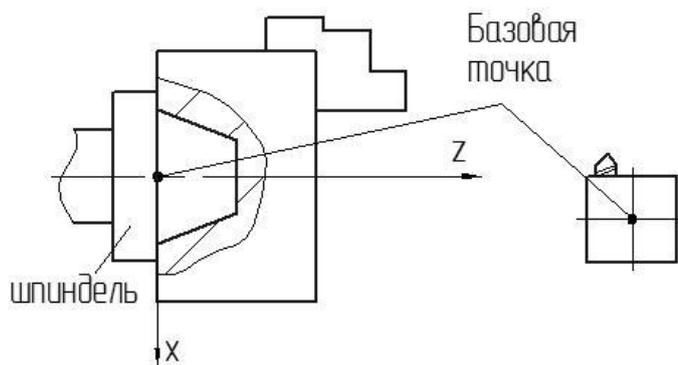
2451ПМФ4            M- магазин

### Система координат станков с ЧПУ

Каждому направлению оси координат присваивается с свой адрес (x,y,z) и знак (+, -).

Положительным направлением оси считается то, при котором инструмент (или его держатель) или заготовка отступают друг от друга.

Для программирования принята декартова (прямоуг.) система координат:



### Виды систем координат:

1. Система координат станка (гл. расчетная система)  $(x, y, z)$ ;  $(A, B, C)$
2. Система координат детали  $(x', y', w)$ ;  $(A', B', C')$
3. Система координат РИ

Связь между этими системами координат осуществляется через базовые точки МРС

*Система координат станка* определяет начальное, конечное и текущее положение любого рабочего органа станка

*Система координат детали* определяет положение детали относительно систем координат станка. Чаще программирование производят в системе координат детали. Если система координат с плавающим нулем, то это означает, что начало системы координат станка можно перемещать в любую точку системы координат. Направление осей системы координат детали противоположно осям координат станка.

Кроме линейных перемещений по осям  $x, y, z$  есть вращательные движения вокруг каждой оси. Положительным вращательным движением является вращение по часовой стрелке, если смотреть из начала координат в положительном направлении оси.

Ось  $z$  всегда связана с РИ или шпинделем станка (с главным движением станка).

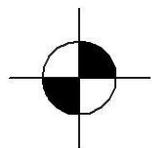
Ось  $x$  всегда находится в плоскости закрепления заготовки и, как правило, наиб. направлении перемещении стола.

При программировании, наладке, и эксплуатации станков с ЧПУ используют следующие характерные точки:

1. нулевая точка
2. исходная точка
3. фиксированная точка

Нулевая точка всегда связана с началом координат станка. Из нее все перемещения рабочих органов положительны.

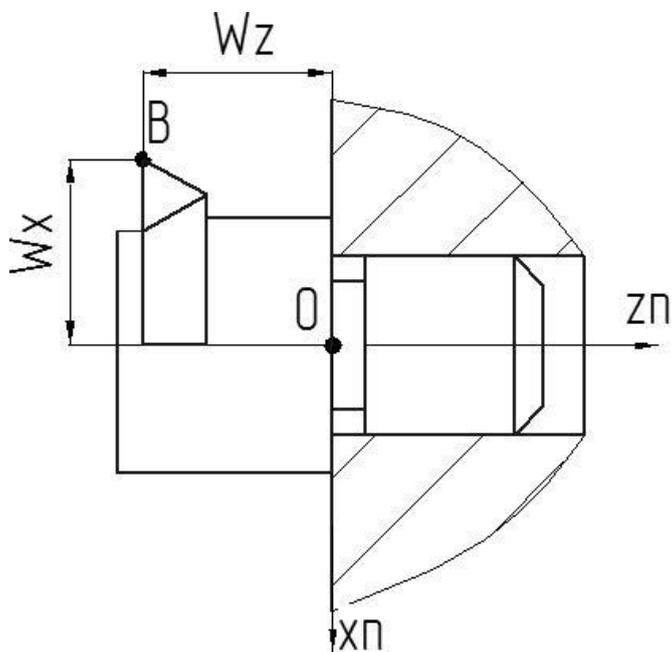
Исходная точка – определяется относительно нулевой точки, из которого начинается движение рабочих органов станка по УП.



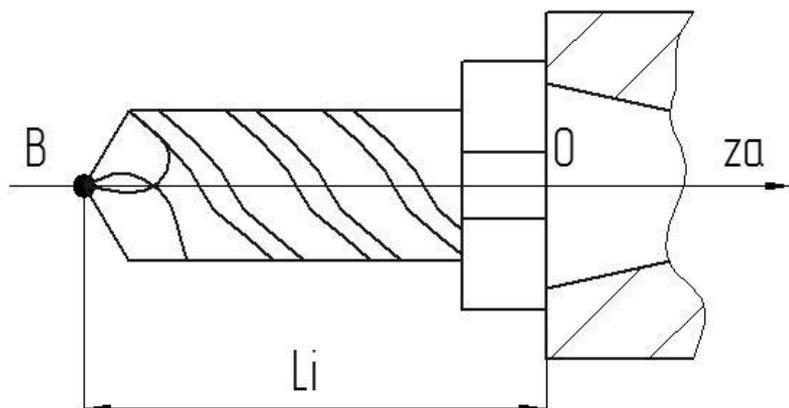
Фиксированная точка – определяется относительно нулевой точки и, как правило, связана с базовыми точками станков. Она используется только при наладке станка на первую деталь группы.

При программировании обычно не обязательно знать, что перемещается (заготовка, РИ). Принимается, что заготовка – неподвижна, а относительно нее перемещается РИ.

Система координат РИ определяет положение держателя вместе с РИ в системе координат станка.



$v_x, W_z$  -настроечные размеры РИ. Вносится как const в память УЧПУ станка по каждому РИ.



$L_i$  по каждому РИ также вводится в память УЧПУ станка

### Кодирование информации

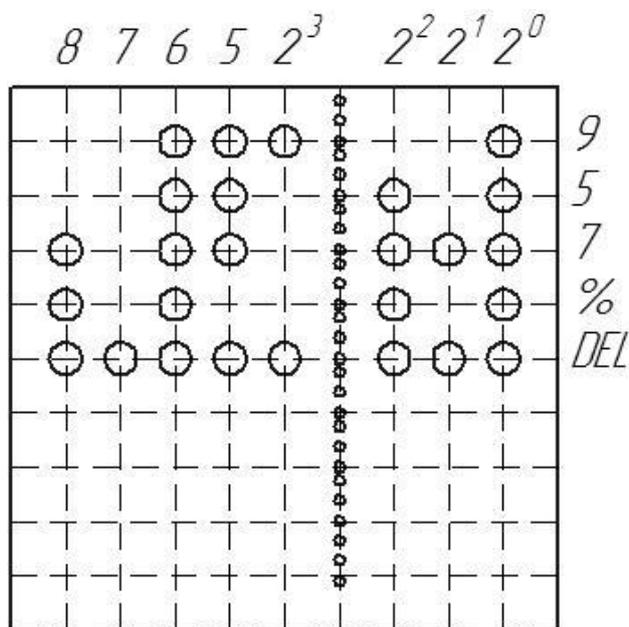
Вся информация, представленная на программносителе подразделяется на 3 вида:

1. геометрическая (координаты)
2. технологическая (режимы, инструм.)
3. логическая (вкл.-откл. станка, вкл.-откл. охлаждения)

957<sub>10</sub>

$2^3 \ 2^2 \ 2^1 \ 2^0$   
8 - 4 - 2 - 1

**ISO-7 bit**



Данный код основывается на двоично-десятичной системе.

Признаком цифры в данном коде является пробивка дополнительное отверстие к четверем первым на 5 и 6 дорожке.

Признаком знака (символа) является пробивка дополнительное отверстие на 6 дорожке (% , + , - , /).

Признаком буквы (с А по N) является отверстие на 7 дорожке.

Признаком буквы (с S по R) является отверстие на 5 и 7 дорожке.

Восьмая дорожка - проверка четности (в каждой строке количество отверстий – четное).

### ***Структура УП***

УП состоит из кадров. Каждый кадр должен нести определенную информацию по выполнению какого-либо перехода (лог. команды).

N001 G00 X+004000 T01 F40 S38 M05 LF

G- подготовительная функция. Управляет режимом УЧПУ;

X- геометрия;

T- функция РИ;

F- подача (F00L);

S- частота вращения (SPEED);

M- вспомогательная функция, управляет работой станка (вкл.-выкл. охл.; сменить инструмент);

LF- конец кадра.

Код *ISO-7 bit* кадры УП задает адресным способом.

### **Кодирование частоты вращения и подачи**

Осуществляется следующими способами:

1. способ арифметической прогрессии
2. способ геометрической прогрессии
3. прямое непосредственное кодирование

*Способ арифметической прогрессии:*

S=100мм/мин.

Первая цифра кода получается: к числу 3 прибавляется число целых разрядов до запятой: 3+3=6.

Далее к этой цифре дописываем кодируемую подачу (с точностью 2 или 3 цифры): F610 или F6100.

N=100 об/ мин — S610

Если число меньше 1, то из числа 3 вычитается число нулей, стоящих после запятой, и получается первая цифра кода:

S=0,12 мм/об: 3-0=3 — F312

S=0,012 мм/об: 3-1=2 — F212

Если 3,4,5 цифр — (F610; S6100).

### *Способ геометрической прогрессии по табл.*

число	0	1,12	1,25	1,4	1,6	...	...
Код	0	01	02	03	04	...	99

В коде -две цифры (F40 ; S38).

*Прямое непосредственное кодирование*

S=0,12 мм/об — F0,12

n=250 об/мин — S2 250 (диапазон скоростей).

# Программное управление оборудованием

## Классификация систем ЧПУ

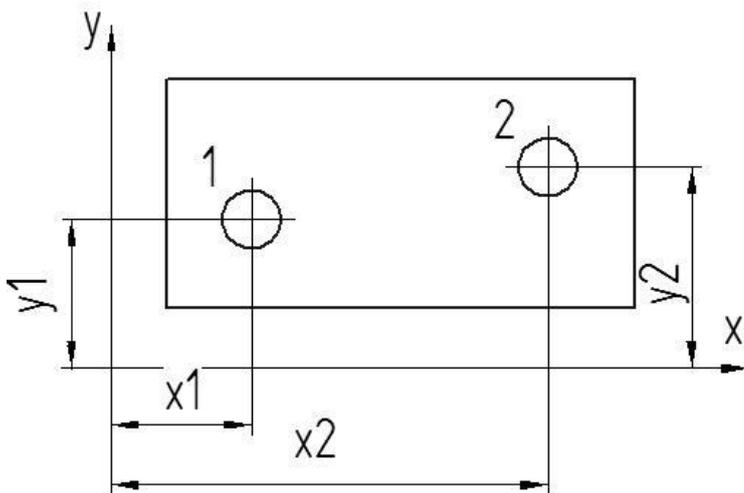
В настоящее время станки с ЧПУ находят применения в трех направлениях:

1. обычные станки с ЧПУ, не связанные ни с какими другими (НС)
2. многоцелевые станки
3. использование станков с ЧПУ в ГПС (ГАЛ, ГПЯ, ГПУ, АТСС)

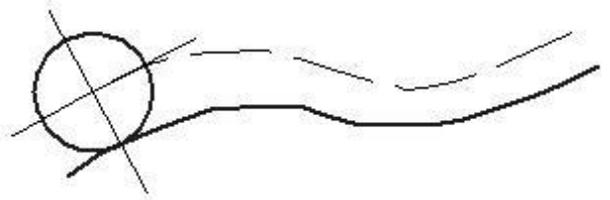
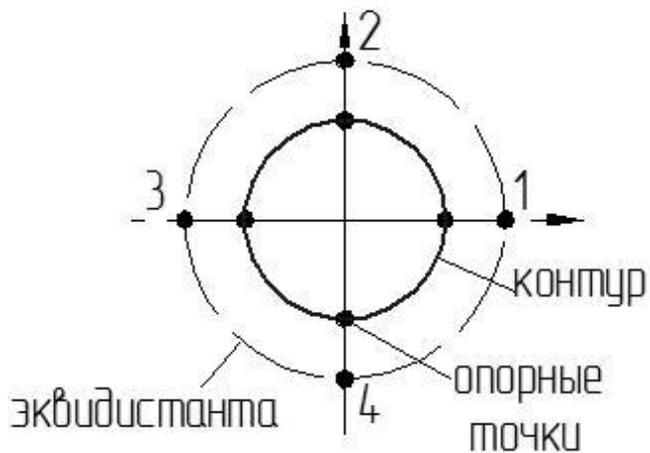


*Система ЧПУ* – совокупность функционально взаимосвязанных и взаимодействующих технических и программных средств по управлению станком с ЧПУ

*Позиционные системы с ЧПУ* – системы, при которых ЧПУ обеспечивает вывод РИ в заданную точку. Траектория движения не задается. В этом случае для отсчета перемещений (координат) используется абсолютная система отсчета.



*Контурная система ЧПУ* обеспечивает движение РИ по заданной траектории и заданной скоростью для получения данного контура детали. В этом случае система отсчета перемещений РИ может быть как абсолютной, так и относительной.



*Замкнутые системы ЧПУ* – системы с обратной связью (следающая система), которые имеют датчики положения и сравнения. Точность этих систем высокая, но надежность ниже по сравнению с разомкнутыми.

*Разомкнутые системы с ЧПУ*, в которых перемещение рабочих органов осуществляются с помощью мерных элементов привода, например, ШД. Отсюда и точность этих систем определяется точностью ШД

*ЧПУ с постоянной структуры (НС)* реализуется аппаратно (т.е. блоками электронных систем (жестко)). Обычно работают от перфоленты.

*ЧПУ переменной структуры* реализуется программа с помощью встроенной, как min, одной мини ЭВМ. Данная система позволяет редактировать УП, работают от перфоленты, ..., а также диагностировать станок или отдельные его части.

*ННС* – оперативная СЧПУ. Она позволяет оператору непосредственно с пульта управления станком в диалоге с ЭВМ вводить УП на клавиатуре.

*ДНС* – централизованное групповое управление станками с ЧПУ от ЭВМ. Функции диспетчеризации, транспортирования, АТСС, ..., применяется в ГПС.

- для корпусных деталей используется: АСК

- для обработки тел вращения используется: АСВ (АС - автоматизированная система)

- для сложных деталей используется: спец.

### ***Технологическая подготовка производства (ТПП) обработки заготовок на станках с ЧПУ***

ТПП включает в себя следующие этапы:

1. Определение номенклатуры обрабатываемой детали на станках ЧПУ с точки зрения технологичности их обработки и лучшей организации производства; классификацию деталей.
2. технологический контроль чертежей (рабочих чертежей) деталей.
3. выбор заготовок
4. проектирование маршрутного ТП обработки детали
5. проектирование операционного ТП обработки детали
6. разработка расчетно-технологической карты (РТК), (только при ручном программировании)
7. расчет траекторий движения РИ
8. кодирование информации и нанесение ее в программноноситель

## 9. отработка УП непосредственно на станке

### 1 этап - определение номенклатуры обрабатываемых деталей для станков с ЧПУ

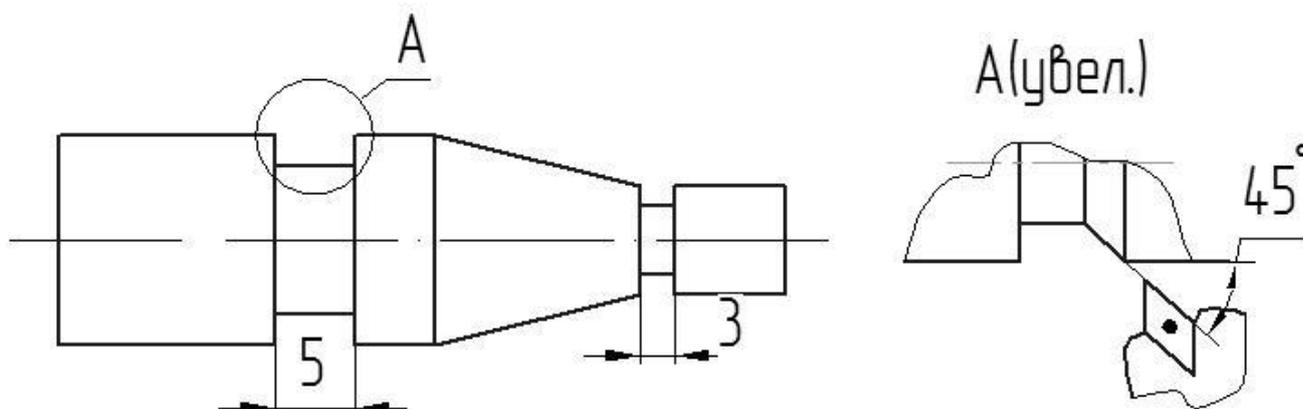
Экономический эффект применения станков с ЧПУ правильным набором номенклатуры обрабатываемых деталей. Наиболее рациональным для обработки на станках с ЧПУ являются детали, при обработке которых наиболее полно используются все технологические возможности станка, а также создаются предпосылки для эффективной организации производства.

*Организационно-технические требования, предъявляемые к детали для станков с ЧПУ:*

Наиболее эффективными для обработки на станках с ЧПУ являются детали сложной формы, имеющие большое количество обрабатываемых поверхностей, а также участки плоскостей и прямых линий в контуре непараллельные осям координат станка. В отдельных случаях могут обрабатываться детали простой формы, которые входят в кинематические цепи изделия и стыкуются при сборке с деталями, обработанными на станках с ЧПУ.

Как правило, если для детали требуется специальная технологическая оснастка, а также фасонный РИ, тогда всегда ..... переводить детали на станки с ЧПУ.

Для токарных станков с ЧПУ детали, которые будут обрабатываться на них, в первую очередь должны отрабатываться на технологичность размеров канавок.



Для фрезерно-сверлильно-расточных работ в детали для обработки их на станках с ЧПУ надо унифицировать диаметральные и линейные размеры.

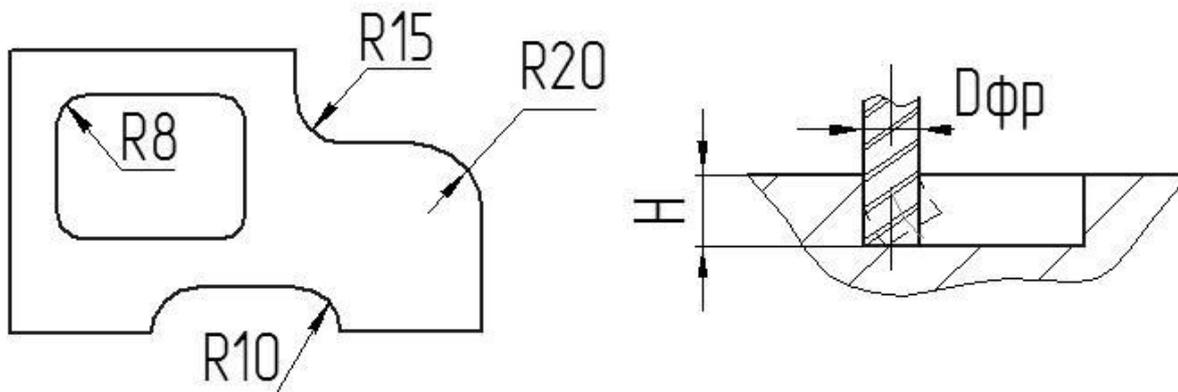
Резьбы меньше М5 нежелательно нарезать на станках с ЧПУ.

Для фрезерных работ, особенно при обработке полок, сопряжение полок со стенками корпусов, необходимо также унифицировать радиусы как внутренних так и наружных поверхностей сопрягаемых деталей. Лимитирующим радиусом будет внутренний радиус сопряженных поверхностей.

$$R \geq (1/5 \dots 1/6) H$$

H- глубина фрезерования (глубина паза)

$$H \geq (2 \dots 2,5) D_{\text{фр}}$$



Немаловажное значение имеет серийность производства. Экономически целесообразно для перевода на станки с ЧПУ является партия деталей от 30 до 80 шт. при числе запуска в году 8...10 раз.

$$\text{Партия запуска} : P_c = a \cdot P_c$$

a- коэффициент; a=3; 6; 12; 24; 48.

$P_c$  - суточное задание, шт.

$$\text{Время машинной обработки} : T_o \geq 0,6 \cdot T_{\text{шт}}$$

$T_{\text{шт}}$  - штучное время обработки, мин.

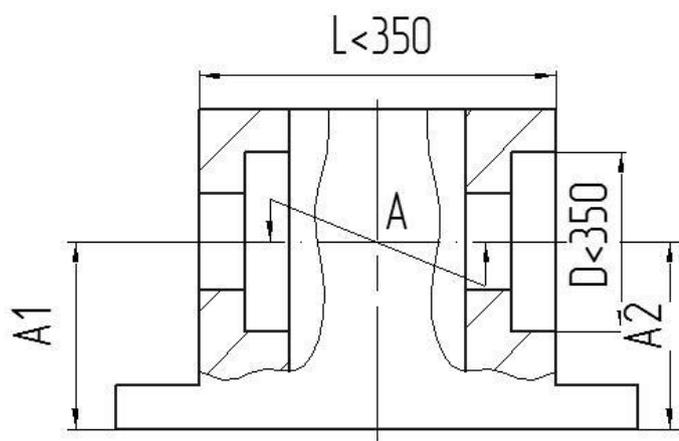
Квалитет точности обработки деталей должны соответствовать классу точности станков ЧПУ

### **Требования технологичности, предъявляемые к детали для станков с ЧПУ**

Технологичными являются детали, обрабатываемые в непрерывном цикле, желательно за один установ с имеющимися на цикле интерполятором

Если обрабатываемая деталь на станке с ЧПУ производится без автоматической загрузки заготовок, то время обработки должно быть не менее 0,1 часа (6 минут), чтобы организовать многостаночное обслуживание.

Максимальная длина расточки отверстия на станке с ЧПУ  $\leq 350$  мм.



(если с поворотом стола то  $A=2A_1=A_1+A_2$ )

Зеркальные детали левые и правые должны иметь одинаковую простановку размеров от осей симметрии, чтобы обработать по одной УП.

### 2 этап - технологический контроль чертежей

Требования к рабочим чертежам деталей, обработанных на станках с ЧПУ, остаются теми же, что и для обычных деталей. Однако для уменьшения пересчета

размеров при программировании и облегчения программирования, размеры удобнее задавать координатным способом.

### 3 этап - выбор заготовок

Так как станки с ЧПУ обеспечивают достаточно высокую точность размеров, необходимо применять заготовки, полученные прогрессивным способом. Это позволит уменьшить число переходов и увеличить КИМ.

$$КИМ = \frac{M_{дет}}{M_{заг}}$$

### 4 этап - проектирование маршрутного ТП

*Особенности ТП обработки деталей для станков с ЧПУ:*

Проектирование ТП обработки деталей для станков с ЧПУ, по сравнению с обычными ТП, отличаются более высоким качеством проектирования:

1. точность формообразования деталей обеспечивается на стадии подготовки УП
2. стоимость подготовки программ и стоимость станков с ЧПУ велика и их применение требует ТЭ обоснование
3. Высокая трудоемкость нахождения ошибок в УП

*Цель маршрутного ТП (МТП)-дать общую последовательность в выполнении операций, в том числе и вне станка с ЧПУ.*

В общем виде МТП может включать следующие стадии:

1. подготовка тех баз непосредственно на станке с ЧПУ(или на универсальных станках)
2. непосредственно обработка деталей на станках с ЧПУ
3. доработка деталей( слесарным путем или на универсальных станках в случае если детали требуют ТО( закалка, искусственное старение, ХТО). ТП разделяют на 2 стадии: – до ТО  
– после ТО

*При проектировании МТП необходимо руководствоваться следующими принципами:*

1. разделение мех. обработки на стадии (предварительную и окончательную)
2. концентрация и дифференциация переходов и операций
3. обработка на первой операции наиболее ответственных базовых поверхностей заготовок, определяющих точность деталей в узле
4. выбор оптимальной схемы базирования
5. максимальная производительность и экономичность обработки

*Производительность (количество деталей в единицу времени):*

$$Q = \frac{1}{T} ; T = t_o + t_v ; T_o = \frac{L}{n \cdot S} \cdot i, i - \text{число проходов РИ}$$

6. соблюдение охраны труда и технику безопасности работы оператора, а также охрану окружающей среды.

При проектировании МТП весьма важно выбрать схему установки заготовок на 1 операции и определить последовательность обработки заготовки по зонам. Схему базирования на первой операции выбирают обычно, исходя из удобства базирования заготовок и распределить максимальное количество обрабатываемых поверхностей для обработки за один установ. Если не удастся закончить обработку за 1 операцию, то подготавливаются на 1 тех. операции ТБ, за 2 операцию завершают обработки заготовки(принцип единства и постоянства).



- КЗ/П (карта заказа УП)

### ***Проектирование фрезерной операции, выполняемой на станках с ЧПУ***

Заготовкой может быть деталь, полученная литьем, сваркой или др. методами или же заготовка пришедшая с предыдущей операции.

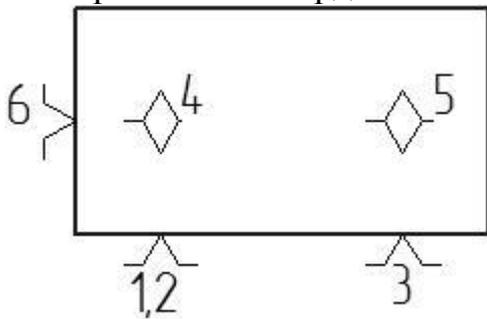
#### ***1. Выбор схемы базирования и закрепления заготовки***

Требования к ТБ при выборе схемы базирования остаются теми же, что и для обычных фрезерных станков. Специфичным является:

- оси симметрии заготовки должны совпадать с осями координат станка (или быть параллельным).
- исходная точка обработки должна находиться в определенном месте системы координат станка.

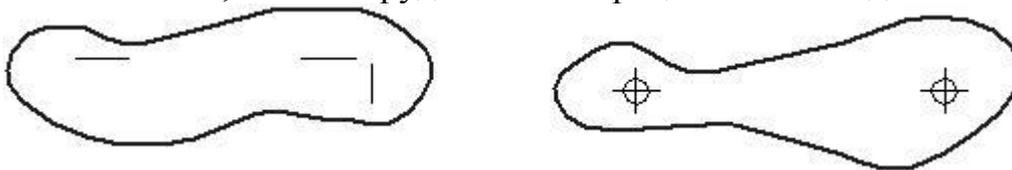
Основными схемами базирования заготовок на фрезерной операции являются:

- базирование в координатный угол (черновые базы обычно)

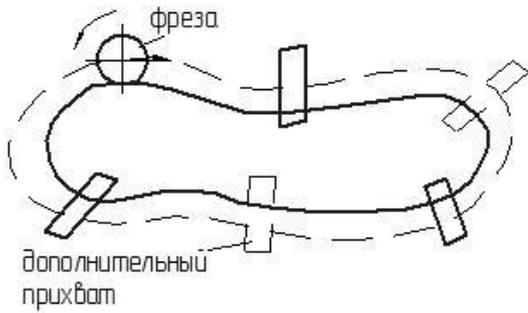


- по плоскости и двум отверстиям (чистые базы).

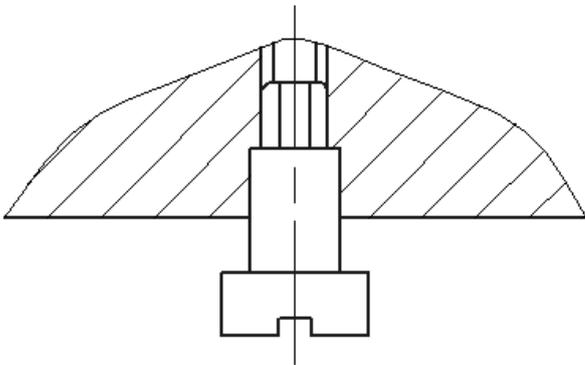
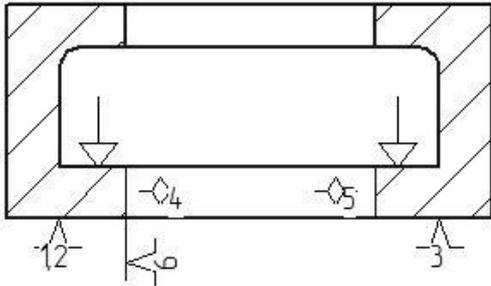
В тех случаях, когда в заготовках отсутствует явная направляющая ТБ используется операция разметки. Если риска наносится на необработанную поверхность, то точность разметки 0,5...0,6 мм на 1000 мм длины. Разметку делать нежелательно, т.к. это трудоемкая операция. Либо же делают искусственные ТБ:



Заготовки, требующие обработку по наружному контуру, как правило, должны быть открытыми. Поэтому нужно выбирать с учетом этого необходимую схему базирования:

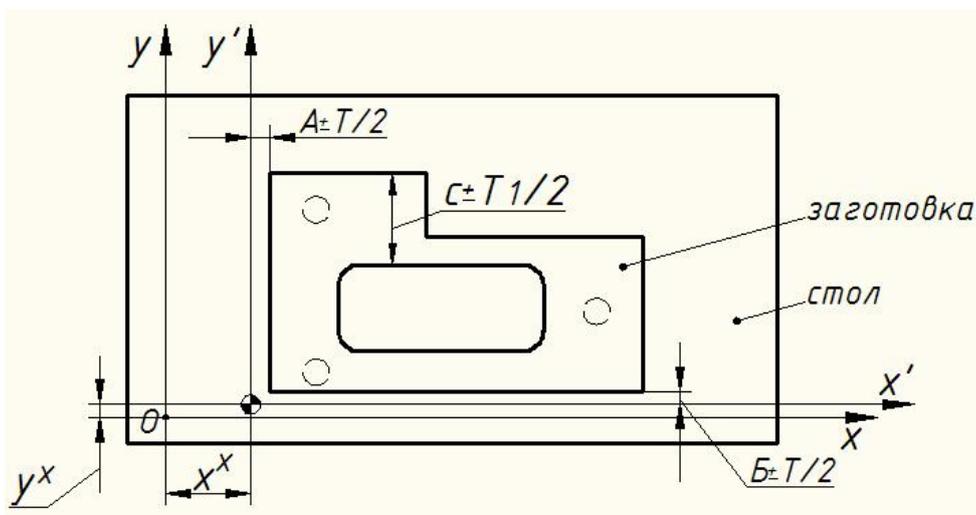


- произвести перезакрепление прихватов (только после перезакрепления дополнительных, чтобы не произошло полного раскрепления заготовки).



- в случае, когда не имеет внутри поверхностей, а треб. всего внешнего контура, делают установочные и крепежные отверстия в нижней части корпусных деталей.

## 2. Выбор исходной точки



$x^*$ ,  $y^*$  - расстояние смещения нуля.

Исходную точку выбирают исходя из следующих соображений:

1. подход к заготовке из этой точки и выход после обработки РИ в эту точку должен производиться по  $\min$  расстоянию
2. врезание РИ в заготовку из этой точки должно происходить по касательной или близко к ней, особенно для чистовых переходов, чтобы исключить зарезы

3. в исходной точке оператор должен хорошо просматривать заготовку. Она не должна мешать контролю размеров заготовки и не мешать оператору при закреплению заготовок

4. исходная точка должна быть жестко связана жесткими размерами с ТБ

Допуски на размеры А и Б назначаются:

-для чистых баз :  $T = \pm(0,02..0,05) \text{ мм}$

-для черных баз:  $T = \pm(0,1..0,5) \text{ мм}$

### 3. Выбор РИ

Для фрезерных станков с ЧПУ при обработке заготовок обычно используют стандартный РИ, в первую очередь калиброванные по наружному диаметру, концевая лево или праворежущая фреза.

Торцевые фрезы применяются также при обработке плоскостей. Диаметр фрезы выбирается по паспорту станка.

В отдельных случаях проектируют специальный РИ.

### 4. Проектирование переходов

- определение состава переходов на данной операции

- расчет траектории движения РИ по каждому переходу

Чтобы рассчитать траекторию, необходимо определить координату опорных точек.

Переходы, выполняемые на фрезерной операции, разделяются на :

- предварительные (черновые, получистовые)

- окончательные (чистовые)

Черновые переходы связаны с большим съемом припуска и подготовке равномерность припуска под отделочную обработку.

В зависимости от выполнения съема металла, различают рабочие и вспомогательные хода РИ:

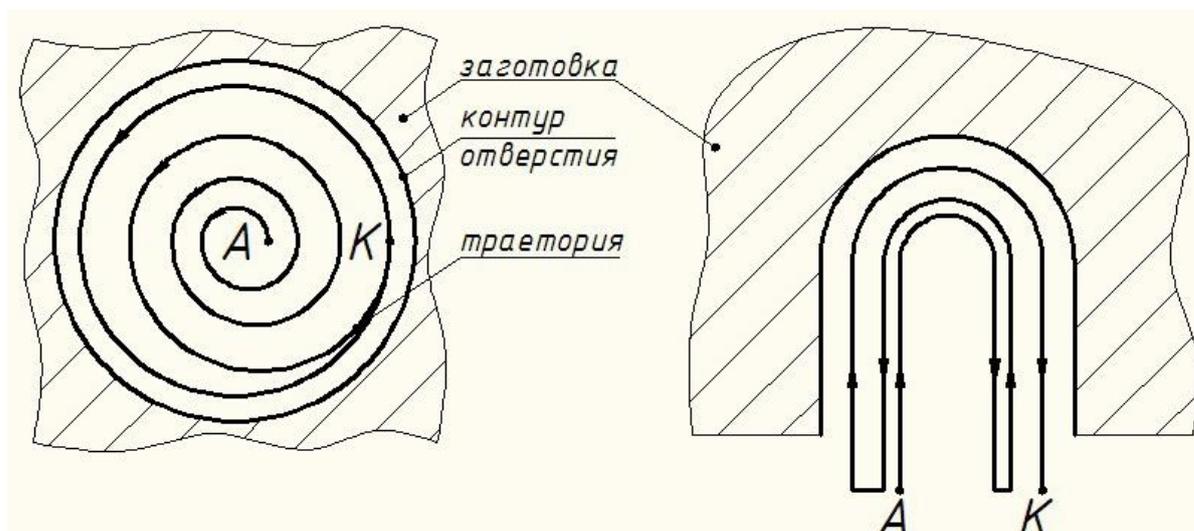
### Траектория рабочих ходов РИ:

1. архимедова спираль с

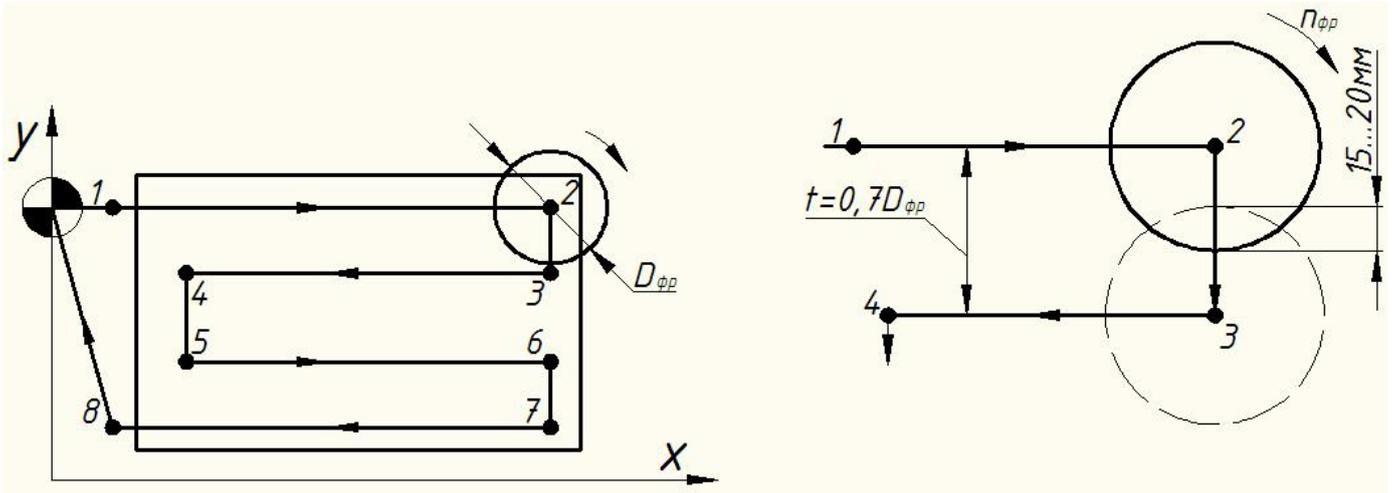
эквидистантными проходами:

2. ленточная спираль с

эквидистантными проходами:

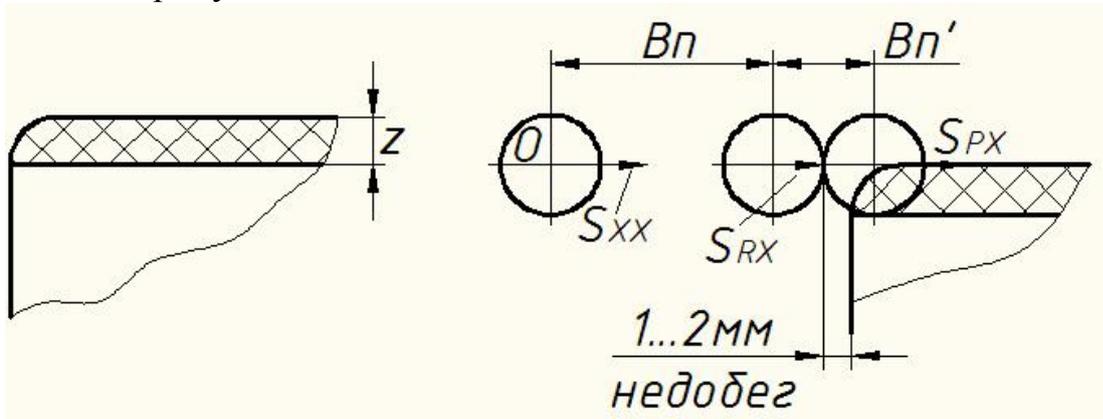


3. типа «строка» (ленточная спираль с неэквилидистантными проходами):



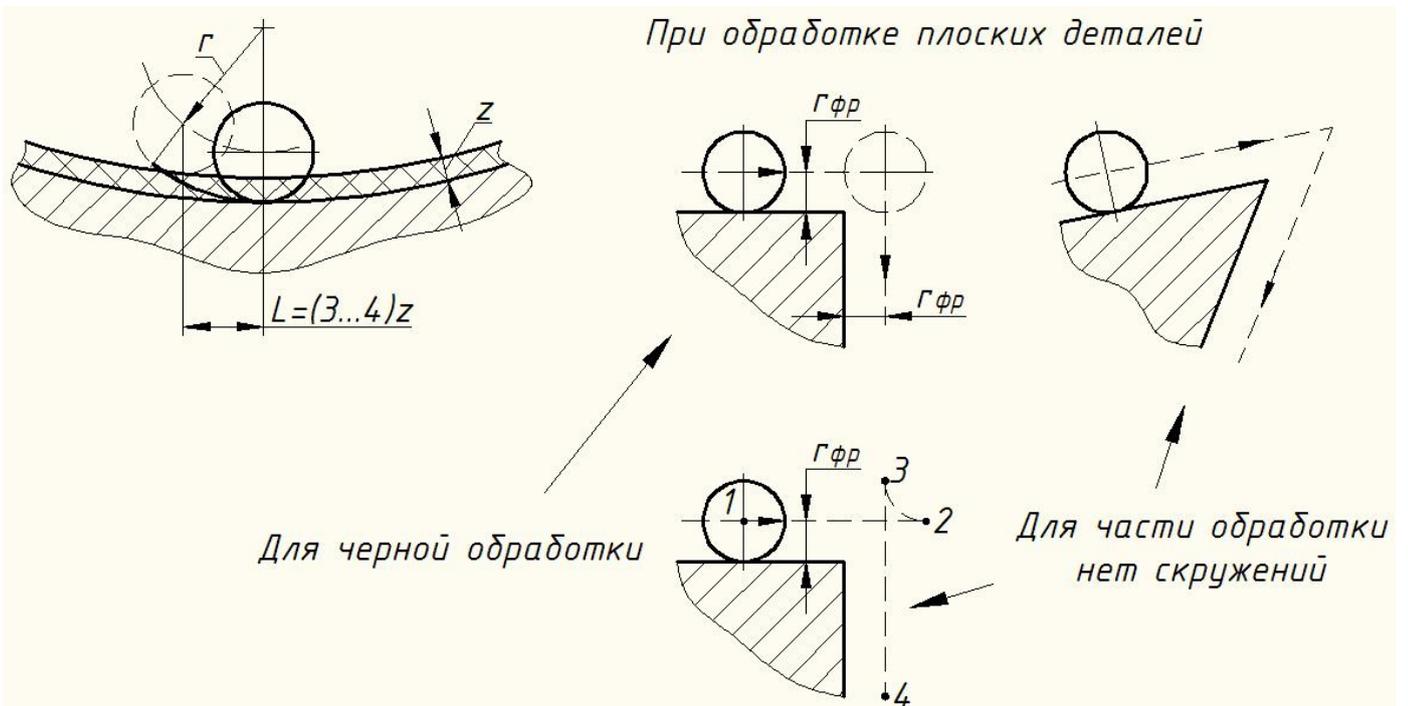
Траектория вспомогательных ходов РИ

1. подход- отход к заготовке:  
z - припуск



На участке  $B_{п}$  (подхода) со скоростью  $x.x$  РИ тормозится практически до нуля или до  $S_{раб}$ .

Для криволинейных участков (по R, эллипсу,...) врезание должно осуществляться по радиусу, который определяется из соотношения снимаемого припуска и длины врезания РИ



# Проектирование токарной операции, выполняемой на станке с ЧПУ

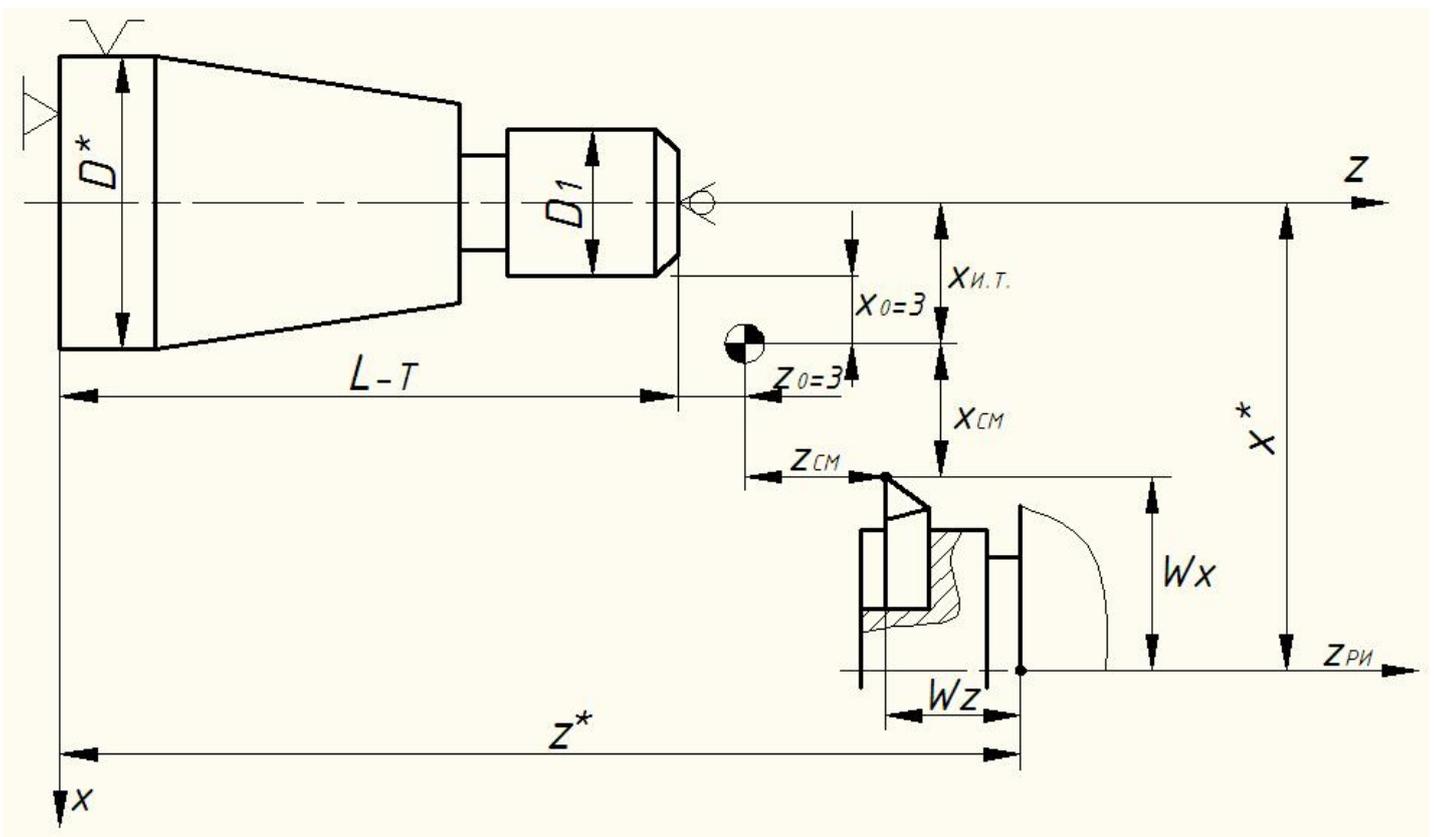
## 1. Требования к заготовкам:

- Твердость заготовки должна находиться в определенном диапазоне ( $\pm 5$  ед.)
- Заготовки, обрабатываемые на токарных станках для будущих деталей, должны иметь сложную форму.
- Квалитет точности обработанных деталей на токарном станке должен соответствовать точности МРС.
- Базовые поверхности (торец или ножка вала) должны быть при базировании гладкими, ровными.
- Число станков с ЧПУ должно быть  $<$  по сравнению с обработанной деталью на универсальном оборудовании.

## 2. Выбор схемы установки заготовок

Для базирования заготовок на токарных станках с ЧПУ используют центра, патроны, а также цанговые ЗУ, которые автоматически совмещают ось вращения заготовки с координатной осью станка Z.

Для определения положения заготовки по оси Z в ней должен быть обработанный торец, который позволяет ставить заготовки на одинаковом расстоянии до исходной точки

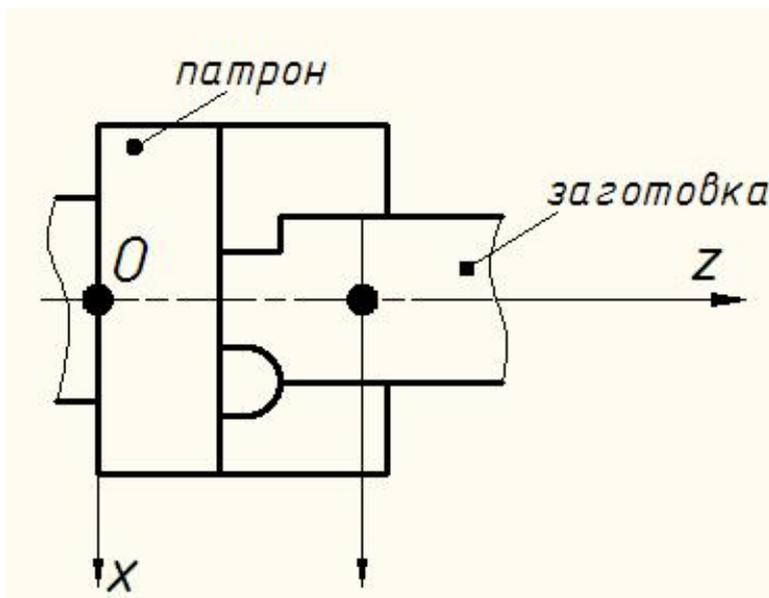


Положение нуля станка:

$$Z^* = Z_0 + Z_{cm} + L + W_z$$

Отсюда  $Z_{cm} = Z^* - L - Z_0 - W_z$

$Z^*, X_z$  задаются в паспорте станка



$$X^* = \frac{D_1}{2} + X_0 + X_{см} + W_x;$$

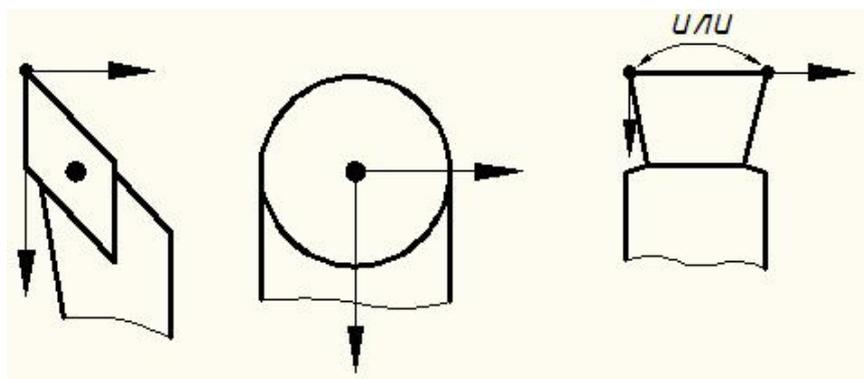
$$X_{см} = X^* - \frac{D_1}{2} - X_0 - W_x.$$

Настроечные размеры  $W_z$  и  $W_x$  по каждому РИ вносятся как константы в память в УЧПУ станка.

Исходную точку выбирают с учетом максимального вылета одного из РИ. По одному из них (по наибольшему вылету) и выбирается одна исходная точка.

### 3. Выбор РИ

Требования к РИ, по сравнению с обычными станками более жесткие, в частности, по качеству заточки РИ, а также стружколоманию

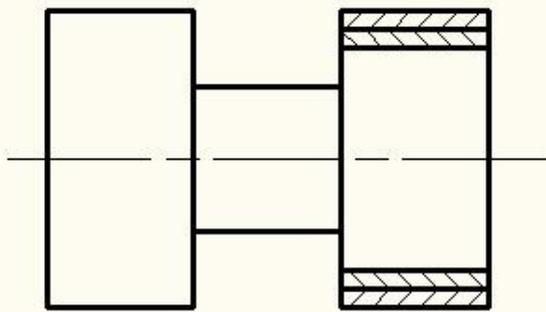


Обычно, для увеличения стойкости РИ, используют пластины с СМП, и в большинстве случаев наносят покрытие. РИ настраиваются на размер, обычно, вне станка, на специальных приборах (БВ-2010; 2011).

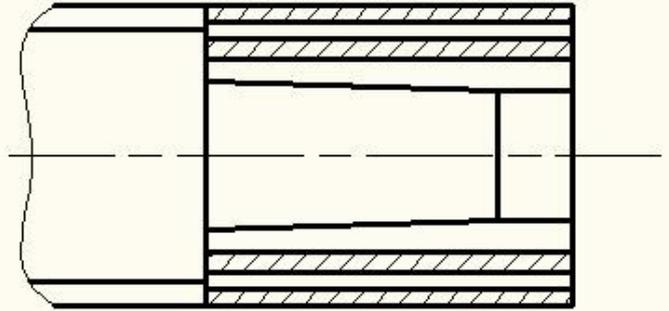
### 4. Проектирование переходов

Включает определение состава переходов и расчет траектории движения по каждому переходу. Переходы разделяются на предварительные и окончательные. Также как и на фрезерной операции, различают конструктивные зоны (зоны выборки материала). Они бывают:

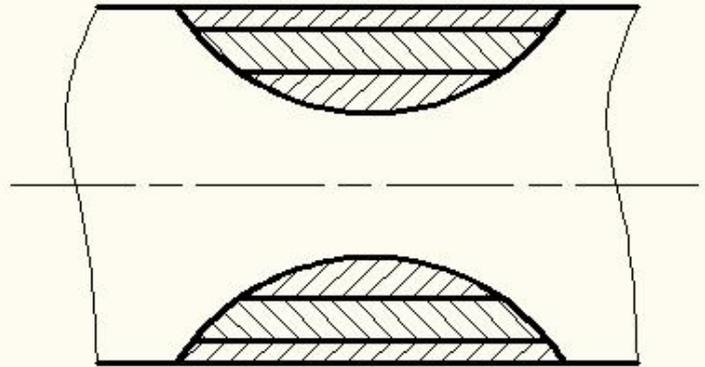
- открытые (а);
- полужакрытые (б);
- закрытые (в);



а)



б)

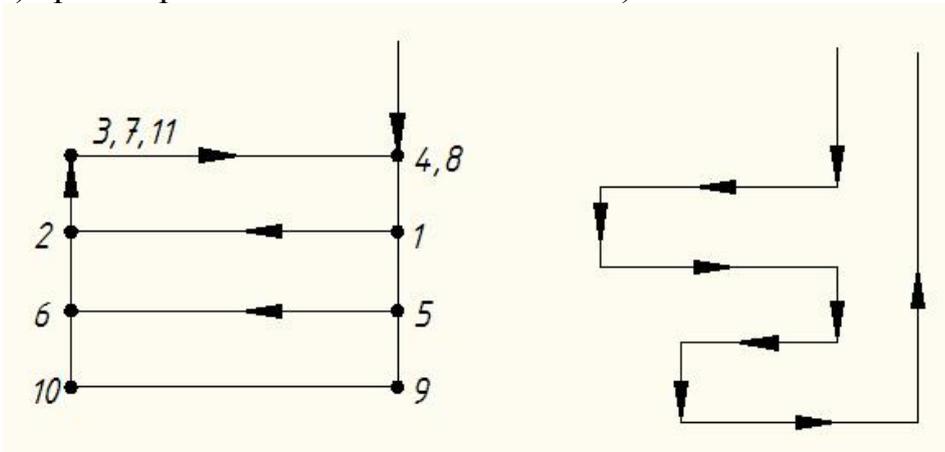


в)

Применяют следующие стандартные траектории движения РИ:

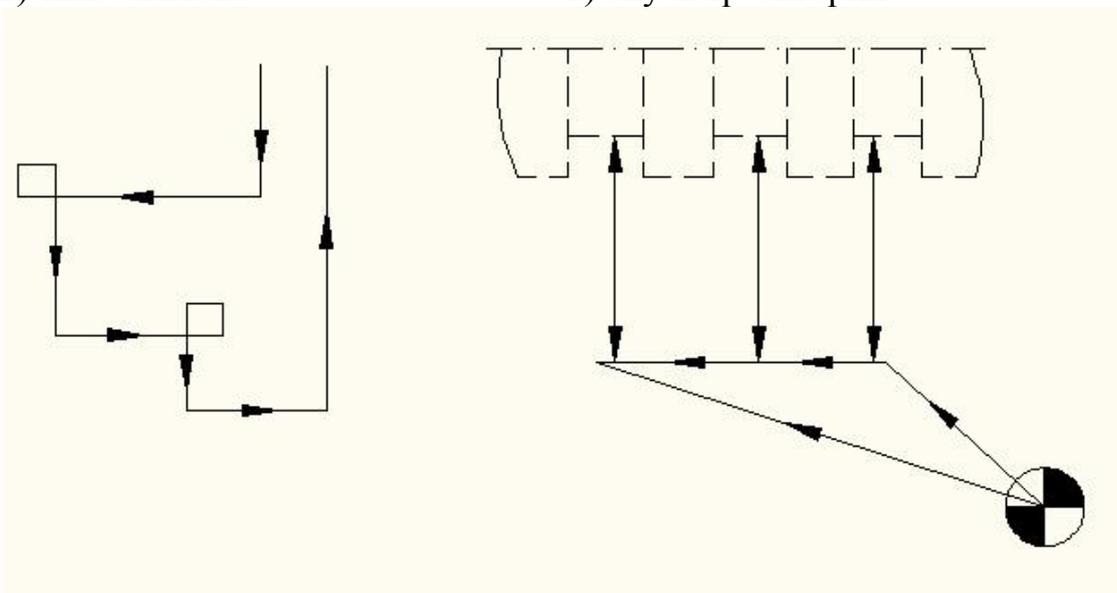
а) траектория типа «петля»

б) типа «зигзаг»



в) типа «виток»

г) спуск траектории



Траектория типа «зигзаг» применяется для обработки глубоких зон

Траектория типа «виток» для менее глубоких зон.

$$t_{\text{черн}} = 2...3 \text{ мм}$$

$$t_{\text{чис}} = 0,3...1 \text{ мм}$$

## ***Проектирование сверлильно-расточной операции, выполняемой на станках с ЧПУ***

Так как на этих станках используются позиционные системы ЧПУ, проектирование этой операции имеет особенности по сравнению с фрезерной и токарной. Однако общие принципы проектирования те же.

1. Заготовки на данную операцию обычно приходят с предыдущей операции.

Заготовки могут быть: - корпусные

- плоскостные

- тела вращения (диски...)

2. Выбор схемы установки заготовки

Требования к базам, выбору их см. фрезерную операцию.

Специфичными вопросами являются:

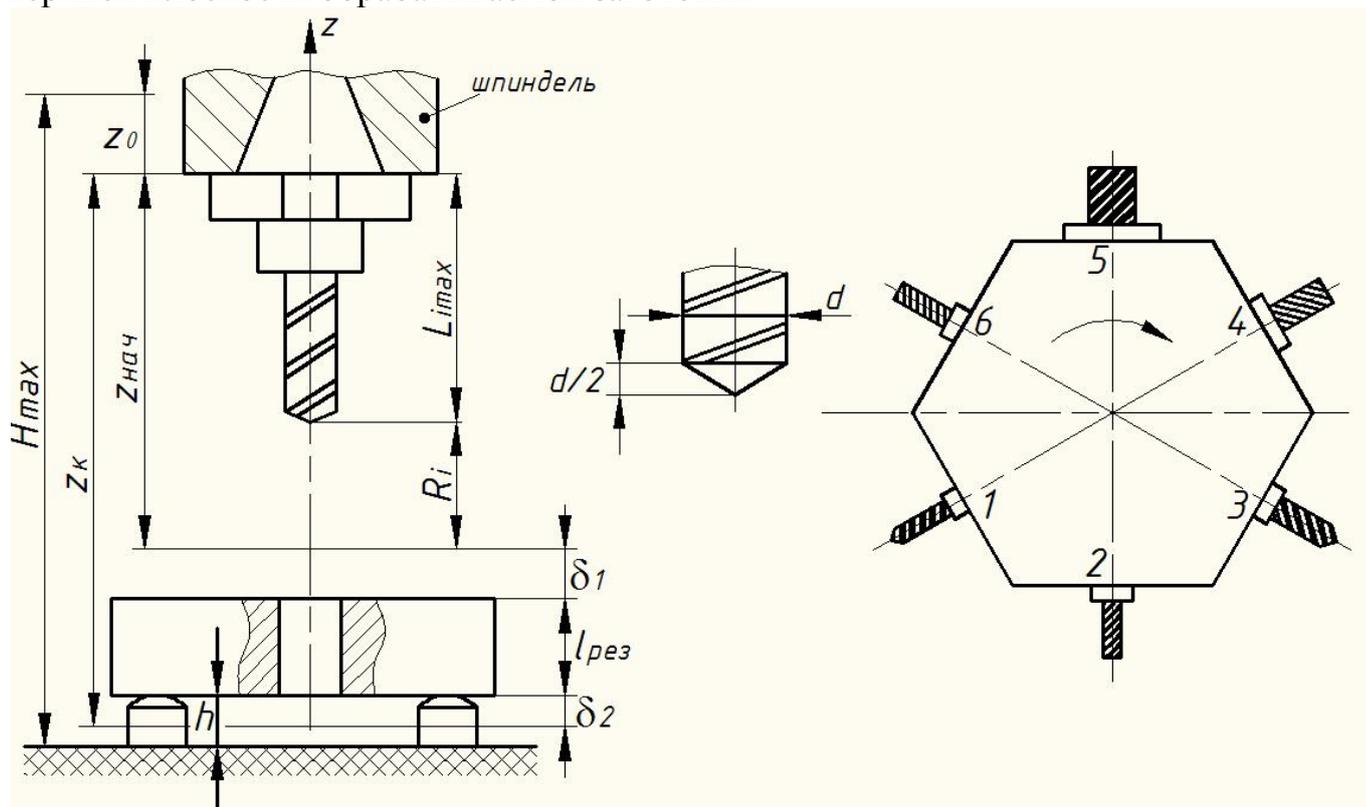
- для обеспечения данного межцентровое расстояния двух и более отверстий, необходимо совмещать межцентровое расстояния отверстий хотя бы с одной из координатных осей МРС ( $X$  или  $Y$ ), чтобы исключить погрешность позиционно второй оси.

- ось симметрии детали должна совпадать с центром поворота оси стола станка.

- приспособление на столе станка с ЧПУ должно ориентироваться в продольном и поперечном направлениях.

3. Выбор исходной точки обработки

По оси  $x$  и  $y$  осуществляют из условия минимализации холостого хода аналогично фрезерной операции. Особенностью является выбор исходной точки по оси  $z$ . Её выбирают по максимальному вылету РИ  $L_{i \max}$  и расстоянию  $R$  РИ до верхней плоскости обрабатываемой заготовки



$R_i$  - путь проходимый РИ на быстрой подаче  $R_i = 15...20(30)$  мм

$$Z_0 = H_{\max} - H_{\min}$$

$$H_{\min} = L_{i\max} + R_i + \delta_1 + \ell_p + h$$

В УП необходимо знать координату по  $z$  ( $R_i, Z_k$ ).  $L_i$  по каждому РИ вводят в память УЧПУ или набирают на корректорах.

#### 4. Выбор РИ

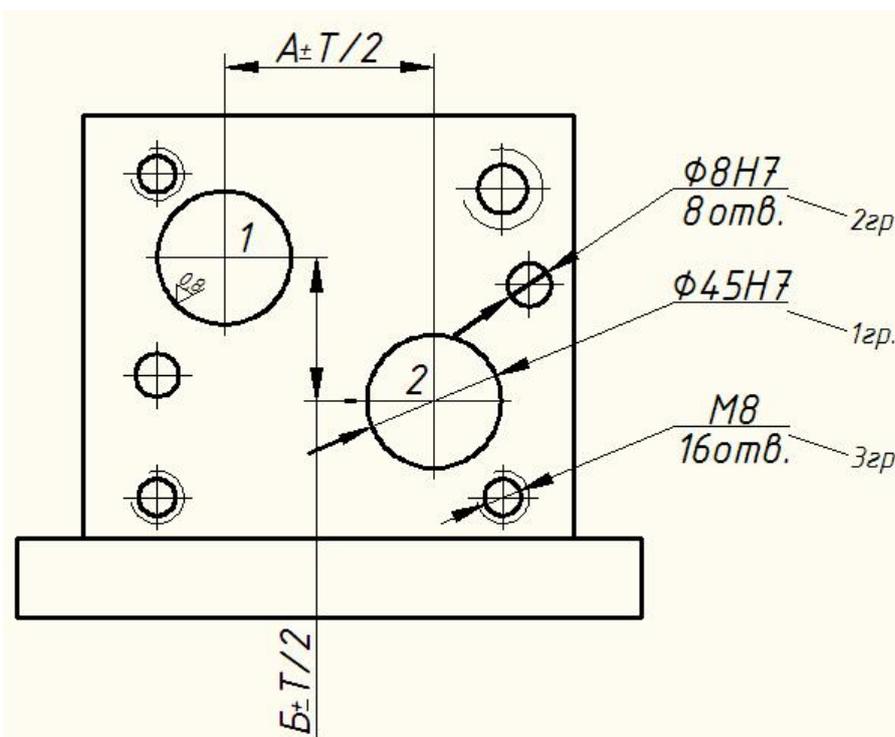
Применяют в основном стандартный. В основном РИ крепится в конусных оправках (см. рис. сверления). Если РИ имеет хвостовик цилиндрической формы, то используются цанговые патроны для крепления РИ. (max диаметр 30...40 мм).

(лит-ра: Кузнецов. «Оснастка для станков с ЧПУ» Справочник.)

#### 5. Выбор последовательности выполнения переходов

Различают следующие возможные варианты обработки отверстий в заготовках:

а) применение при обработке отверстий с точным межцентровым расстоянием по 6...8 кв.



В этом случае отверстия первой группы начинают после позиционирования по всем переходам. Делаем сначала 1 отверстие, и, после позиционирования на второе отверстие, обрабатываем его по всем переходам. далее если есть на другой стенке отверстия первой группы, обрабатываем их.

б) применение при обработке отверстий с точн. межцентр. расст. по 9-10 кв. (отверстия второй группы в данном примере:  $\pm 0,05$ )

В этом случае обрабатываются отверстия второй группы сначала по первому переходу (на одной грани), затем эти же отверстия по второму переходу. Закончив обработку на этой поверхности, производят поворот стола, и в той же последовательности обрабатывают отверстия (эти) в той же последовательности,...

в) применение при обработке отверстий с точн. межцентр. расст. по 11-14 кв. (третья группа отверстий).

Здесь сначала обрабатывают по первому переходу все грани (плоскости), затем обрабатывают по второму переходу все плоскости,...

Для увеличения производительности необходимо выполнить условие:

Для этого желательно работать с min числом смен РИ и поворотов стола станка.

## 6. Проектирование переходов

При проектировании переходов необходимо учитывать следующие положения:

- как правило, сложные ступенчатые поверхности обрабатывают стандартным набором РИ. Если требуется повышенная производительность, то применяют комбинированный специальный РИ(ступенчатый зенкер, например)
- так как на станках с ЧПУ отсутствуют кондукторы и направляющие втулки в приспособлении, то при обработке отверстий диаметром  $\leq 15...20$  мм необходимо предусматривать дополнительный переход- центровка отверстий, тем более, когда
  - для стали допуск  $=0,2$  мм (на межцентровое расстояние).
  - для чугуна допуск  $=0,3$  мм(на межцентровое расстояние).
- при сверлении глубоких отверстий ( $L/D > 5$ ) необходимо предусматривать уменьшения скорости резания на 15% и подачи на 10%. При этом необходимо предусматривать необходимые выводы сверла.

Количество выводов сверл:

L/D	5	5-7	до 10
n вывода	1-2	2-3	4-5

- резьбу на станках ЧПУ нарезают двумя методами:

а) методом самозатягивания

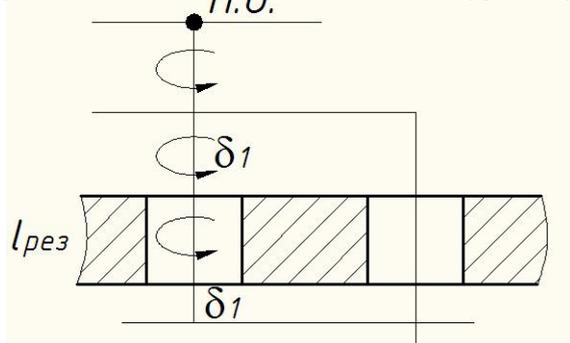
б) по резьбовому копиру

-при обработке больших отверстий необходимо отдавать предпочтение растачиванию перед зенкерованием и развертыванием. Развертки могут крепиться либо жестко, либо плавающим патроне.

### Автоматические циклы

Так как на МРС сверлильно- расточной группы осуществляются практически однотипные переходы(сверление, зенкерование, развертывание), то цикл работы РИ одинаков( быстрый подвод, рабочая подача, быстрый вывод РИ). Поэтому на этих станках с использованием подготовительных функций G и вспомогательной M, применяют автоматические циклы работы РИ, которые являются подпрограммами в общей УП

G81 G91 – отмена цикла



### ***Проектирование ТП обработки заготовок на многоцелевом станке***

6÷7 кв., в основном горизонтальные компоновки.

#### *Особенности проектирования ТП*

Так как на многоцелевых станках обычно выполняют ...? переходов и операций(зенкерование, сверление, фрезерование, растачивание,...)поэтому ТП обработки заготовок на данных станках синтезируется из вышеуказанных переходов

и операций. Поэтому, весьма важно на многоцелевых станках правильно выбрать последовательность обработки поверхностей(наружных, внутренних поверхностей, пазов, отверстий...).

На многоцелевых станках, в основном обрабатываются сложные корпусные детали

( иногда и плоскостные детали).

*Выбор схемы базирования* исходной точки- см. фрезерную и сверлильную операции.

Выбор последовательности обработки поверхностей заготовок- см. сверлильно-расточную операцию. Рассматриваются те же 3 схемы обработки в зависимости от точности межцентрового расстояния отверстий и производительности. Критерием выбора той или иной схемы обработки поверхностей являются условия:

При  $\sum_1^n T_{0i} = const$  должно быть  $\sum_1^n t_{XXi} \rightarrow \min$

$$T_u = \sum_1^n T_{0i} + \sum_1^n t_{XXi}$$

$$T_0 = \frac{L + y + \delta}{n \cdot S_0} \cdot i$$

$$t_{XX} = t_{n.u} + t_{noz} + t_{пов.с} + t_{см.РИ}$$

*n.u* – подвод РИ

*noz* – позиционирование

*пов.с.* – поворот стола  $\leq 3$ сек

*см.РИ* – смена РИ 5–15 сек

При работе на многоцелевых станках особую роль играет ведение инструментального хозяйства. Так как РИ используется большое количество, предъявляются жесткие требования по качеству РИ( заточка, доводка, установка вне станка); смена РИ, как и в автоматизированном производстве, должно производиться между сменами, в перерывах. Меняют, как правило, весь комплект.

При выборе стойкости многоинструментальной наладки важно выровнять стойкость каждого РИ(по количеству деталей, обработке на станке):

$$\frac{T_1}{T_{01}} = \frac{T_2}{T_{02}} = \dots = \frac{T_i}{T_{0i}} = Q$$

*Q* - количество деталей обработанных каждым РИ

*T<sub>1</sub>* - стойкость 1-го РИ

*T<sub>01</sub>* -машинное время работы 1-го РИ

Стойкость многоинструментальной наладки:

$$T_M = K_M \cdot \sum T_{Mi},$$

где *K<sub>M</sub>* - коэффициент многоинструментальности: *K<sub>M</sub>*=0,4...1

*T<sub>Mi</sub>* -нормированная стойкость каждого *i*-го РИ (из справочника).

### Выбор режимов резания

90 % ошибок в УП происходит из-за неправильного назначения режимов резания. Они должны назначаться как для автоматизированного производства. Вводят поправочный коэффициент на скорость *K<sub>v</sub>* = 0,7...0,6 и на подачу *K<sub>s</sub>* = 0,75...0,8. Для

труднообрабатываемых материалов  $K_v = K_v = 1$  (так как режимы резания на них и так сильно занижены).

### Повышение эффективности УП

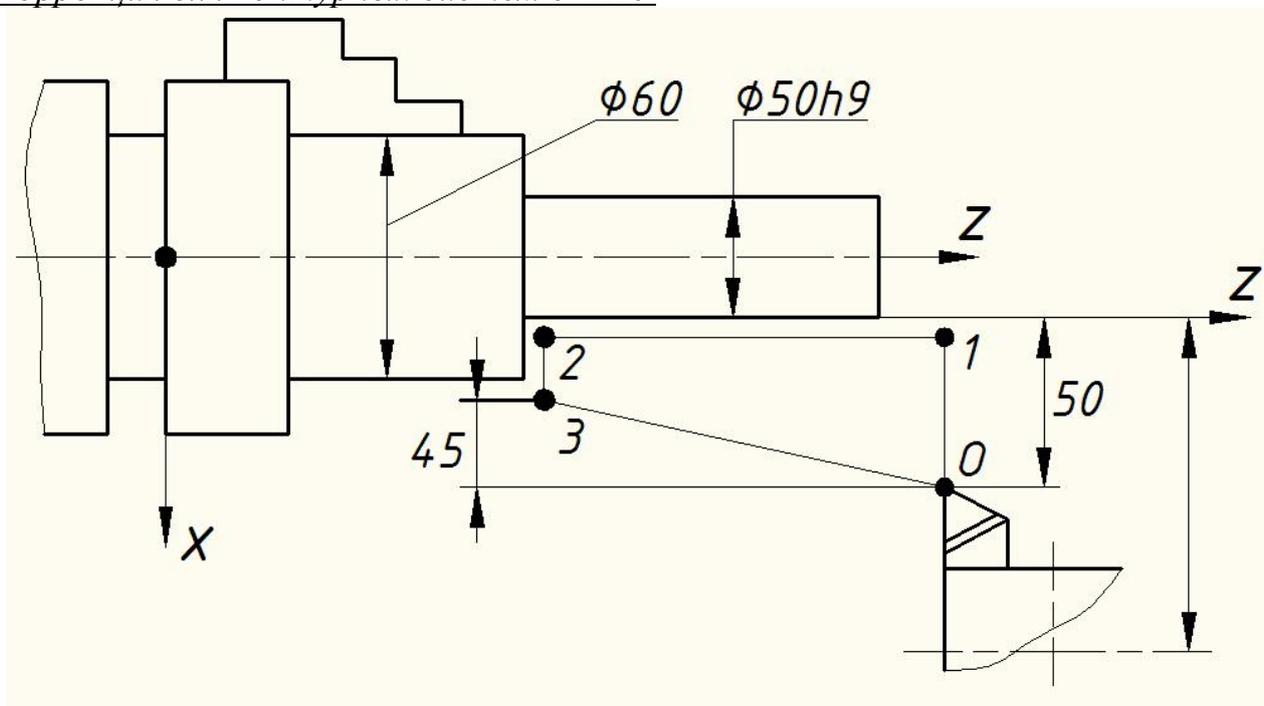
Так как УП рассчитывается исходя из номинальных размеров РИ, а также учитываются конкретные условия обработки (упругие отжатия технологий, разброс припусков...) и другие факторы, любая УП требует введение в нее коррекции.

Из-за действия указанных факторов фактическая траектория движения РИ отклоняется от заданной. Коррекцию вводят на координату перемещения РИ, на подачу, на смещение исходной точки из-за колебания припусков заготовок. Саму УП в этом случае не переделывают, а вносят коррекцию на ту или иную величину.

Коррекцию вводят в ручную с помощью специального корректора, расположенных на ПУ(или в стойке), или в УП вводят кадр коррекции и соответствующий номер корректора.

Коррекцию вводят после обработки первой детали с учетом измеряемых размеров.

### Коррекция для контурных систем с ЧПУ



В УП на участке 01 по координате X вместо 50 мм координату перемещения вводят 49.5 мм. После этого обрабатывается эта деталь, и проверяются размеры по L и D. Величину компенсации определяют величиной коррекции:

$$K = 0,5 \cdot (D_{\phi} - D_o),$$

где  $D_{\phi}$  - фактический (действительный) размер после обработки

$D_o$  - оптимальный настроечный размер.

Для валов  $D_o = k$  к нижнему предельному размеру прибавляют 1/3 допуска, а для отверстий  $D_o =$  от верхнего предельного размера отнимают 1/3 допуска ( на диаметр).

$$K = 0,5 \cdot (50,49 - 49,9) = 0,59 \cdot 0,5 \approx 0,3 \text{ мм}$$

Для ввода коррекции в УП используется подготовительная функция G, инструментальная T, корректор L (№ корректора).

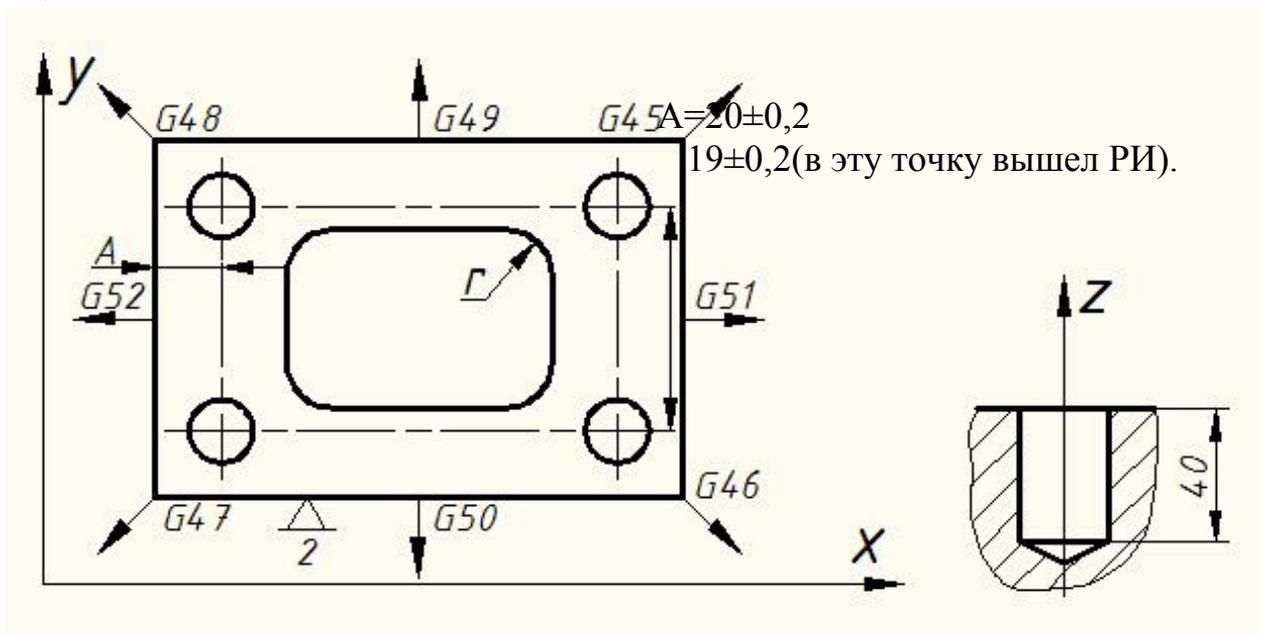
G54 T01 L01

После того, как в УП введена коррекция, а на корректорах набрали величину коррекции, на второй детали будет отработана величина коррекции.

На участке 3-0 коррекция должна быть отменена с помощью подготовительной функции G, т.е. на этом участке отработана величина 45,3мм.

### Коррекция для позиционных систем с ЧПУ

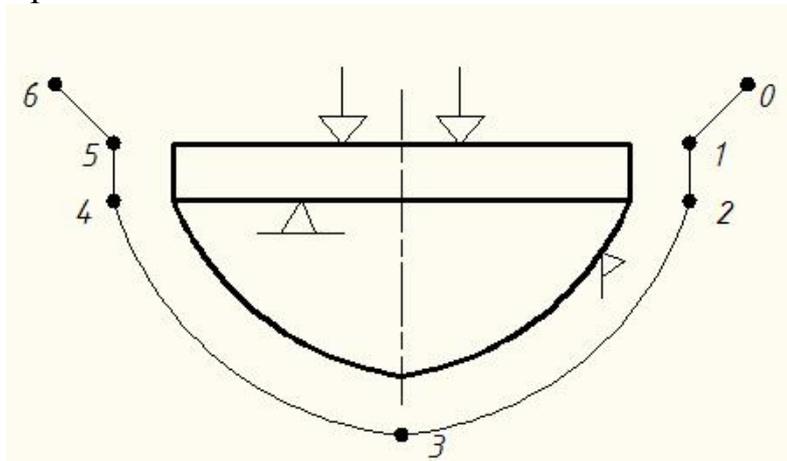
Коррекцию вводят на размеры РИ, на координату перемещения РИ и на длину РИ. Корректоры также располагаются на стойках управления и вводят с помощью вспомогательной функции G, функции РИ T и корректора L, соответствующего № РИ.



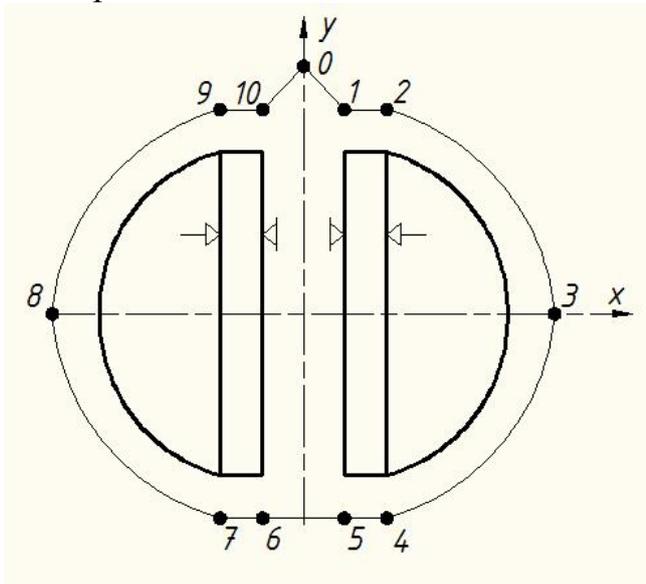
### Организационные методы повышения эффективности использования УП

Для повышения производительности и упрочнения программирования применяют челночный метод обработки на станках с ЧПУ. По этому методу обычно обрабатываются большие по длине заготовки с незамкнутым контуром обработки.

Если время на перегон стола из точки 6 в точку 0  $t_{xx} = 0,2 T_0$ , то этот метод применим.



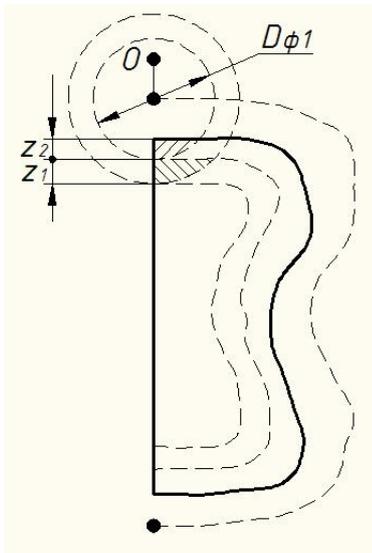
Разновидностью челночного метода является обработка двух заготовок одновременно



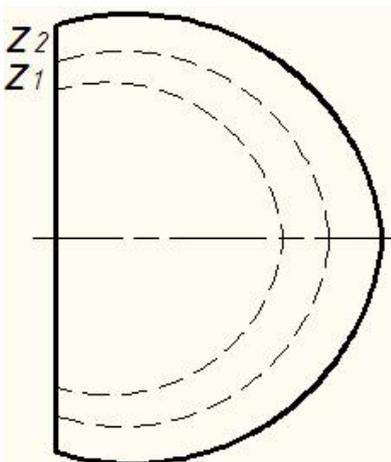
На фрезерном станке, как правило, производят предварительную и окончательную обработку. Часто нет необходимости разрабатывать разные программы для предварительной и чистовой обработки. Делают все по одной программе.

$$D_{\phi 1} = 50 \text{ мм}$$

$$D_{\phi 2} = D_{\phi 1} + 2Z_1 = 50 + 2Z_1$$



Второй случай (одной фрезой) применяют, когда контур обработки незамкнутый и используется система безэвидантного программирования



Для левой и правой детали разрабатывают также одну УП. Но необходимо заменить леворежущую фрезу на праворежущую и поменять направление вращения.

# *Автоматизированная подготовка УП*

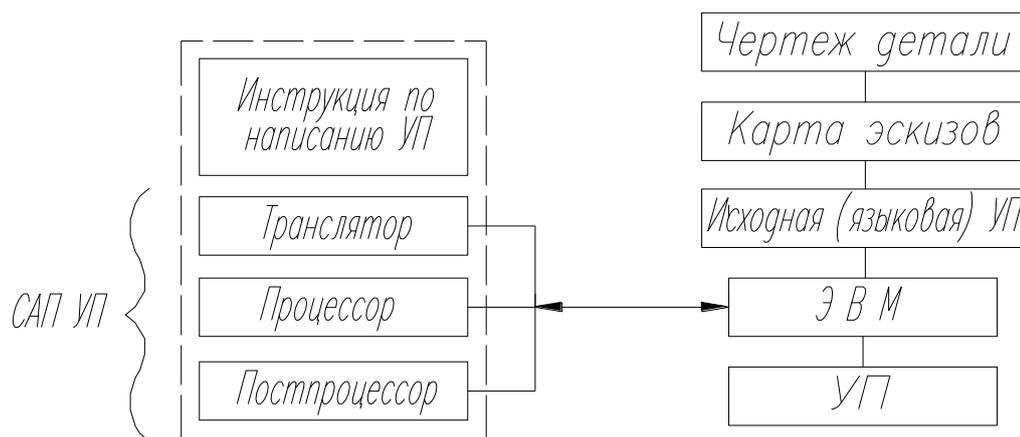
## *Система автоматизированной подготовки (САП) УП*

Для эффективного использования станков с ЧПУ необходима своевременная подготовка УП и обеспечение их для станков. Примерно 1/3 стоимости обработки деталей на станках с ЧПУ приходится на подготовку УП.

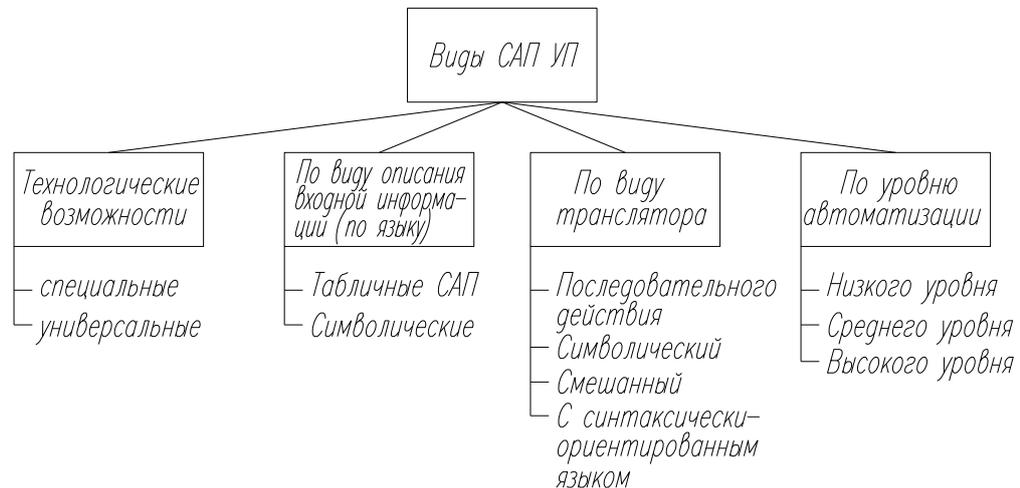
САП УП представляет собой комплекс программ для ЭВМ, с помощью которых решается весь комплекс работ по разработке УП, т.е. от расчета траектории движения РИ, кодирования информации до подготовки перфоленты. Т.к. основная задача - рассчитать траекторию движения РИ, которая состоит из опорных точек, то необходимо описать конфигурацию детали на специальном языке программирования, так называемые «проблемно-ориентируемые» языки, которые близки к разговорной речи технолога. Эти языки включают в себя символы или их сочетания.

Любая деталь машиностроительного производства может быть описана с помощью трех элементов: точка, прямая, окружность.

### Структура САП УП



В любой САП УП по рабочему чертежу детали, которая будет обрабатываться, с имеющейся на нем информацией составляется описание геометрии детали. Кроме того, разрабатывается карта эскизов, где выбирается система координат и исходная точка обработки. Описание геометрии детали производят с помощью исходной (языковой) программы, разрабатывают с помощью инструкции на соответствующем языке программирования. Исходная (языковая) программа разрабатывается на языке ЭВМ. После разработки исходной программы, она вводится в ЭВМ, и далее начинается поэтапная обработка этих исходных данных. Здесь вступает в работу транслятор, который представляет собой совокупность программ для ЭВМ, с помощью которых исходная информация переводится на язык ЭВМ. Затем вступает в работу процессор, который представляет собой совокупность программ, с помощью которых на языке ЭВМ непосредственно рассчитывается УП. Постпроцессор представляет собой пакет программ, с помощью которого УП на языке ЭВМ адаптируется к конкретному станку с ЧПУ, т.е. информация кодируется, а УП разбивается на кадры. Чем больше постпроцессоров имеет САП УП, тем более широки ее технологические возможности.



Технологические возможности любой САП в первую очередь определяются постпроцессорами. Чем их больше, тем более универсальна САП.

Входной язык любой САП должен быть удобен и понятен пользователю, и занимать минимум ресурсов ЭВМ.

Табличные языки используются в САП, где исходная информация задается в виде таблиц.

Символический язык близок к разговорному языку технолога. При использовании символического языка увеличивается расход ресурсов ЭВМ.

Как правило, геометрию удобнее описывать табличным языком, а технологию – символическим.

САП последовательного действия, в которой в строгой последовательности в порядке обработки заготовки, сначала описывается геометрия, а затем (в том же порядке) – технология обработки.

Символические САП, в которых исходная программа записывается с помощью символов в любой последовательности геометрии, а затем технологии.

Смешанные САП= Последовательные САП+Символические САП.

С синтаксически ориентированным языком- новые.

САП низкого уровня позволяет с помощью технолога-программиста автоматизировать расчет траектории движения РИ.

САП среднего уровня кроме расчета траектории движения РИ позволяет разделить обработку на предварительную и окончательную, выбирать режимы, РИ и т.д.

САП высокого уровня позволяет по чертежу детали практически без участия технолога разделять обработку по видам, рассчитывать траектории движения РИ, выбирать режимы резания и РИ.

### ***Система автоматизированной подготовки программ «PEPS» №2»***

[Гурьянихин, Булыгина «Автоматизированная подготовка УП для станков с ЧПУ», Ульяновск 2000 г.]

PEPS – производственно-технологичная, высокопроизводительная система, предназначенная для 2, 5 -координатной обработки, для обработки различных по конфигурации деталей на токарном, фрезерном станках с ЧПУ, а также на станках электро-эрозионной и лазерной групп с системой ЧПУ NC, CNC.

Система PEPS имеет символический язык. Реализуется на ПК «IBM». Имеет один постпроцессор и гибкий микропроцессор, с помощью которого пользователь, используя постпроцессор PEPS, формирует кадры УП для различных систем ЧПУ.

PEPS позволяет задать геометрию в любой детали с помощью определения точек, прямых и окружностей. Имеется 19 способов задания точки, 15 – прямой и 15 – окружности. Кроме того, дополнительно придается 11 определений скаляров и команда проверки размеров.

УП на языке PEPS содержит 3 части:

1) «Шапка» программы, в которой выбирается пост-процессор, задаются размеры рабочего окна, материал и параметры заготовки.

2) Геометрия детали, где описывается траектория движения РИ.

3) Технология, включающая в себя назначение параметров РИ, режимов резания и команды, задающие положение РИ относительно заготовки, а также перемещение рабочих органов станка во время Х.Х. и Р.Х.

УП в системе PEPS может создаваться в текстовом режиме (используется текстовый редактор) или в режиме меню, где выбор команд осуществляется из меню различного уровня.

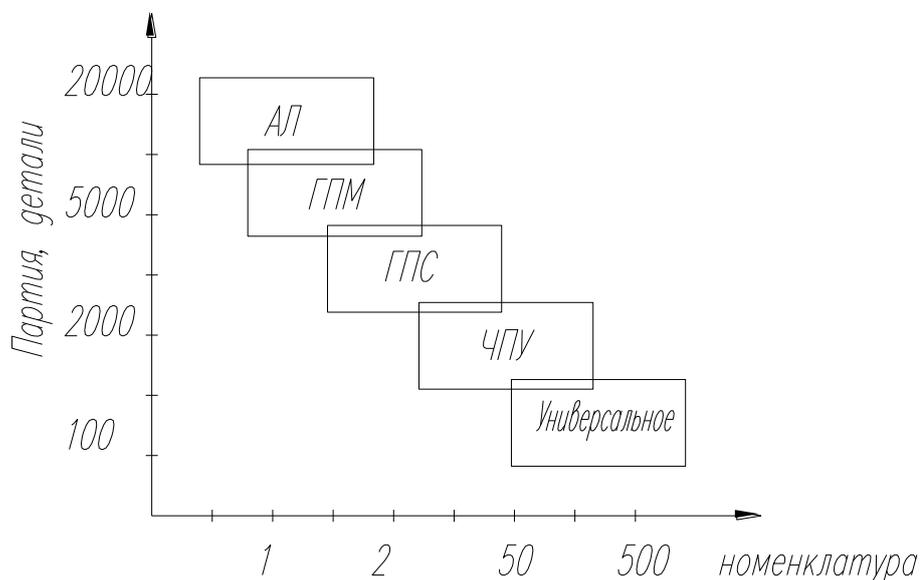
## ***Технология обработки заготовок в ГПС***

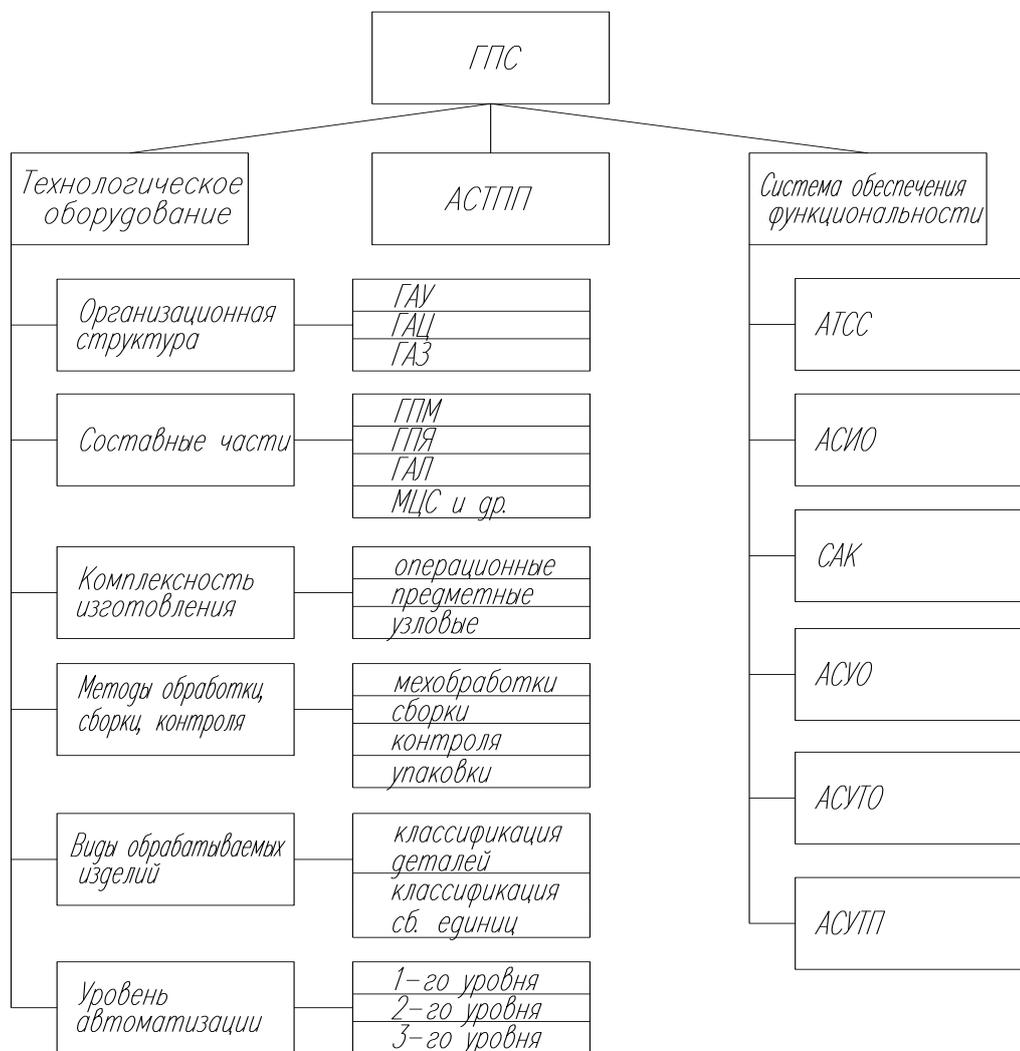
### ***ГПС. Их назначение и классификация.***

Одной из тенденций развития технологии изготовления деталей в серийном производстве является применение и использование в промышленности ГПС (гибких производственных систем).

Гибкие системы создавались для автоматизации мелкосерийного, серийного производства. При этом выравнивалась разница по производительности и мобильности с КС и массовым производством до определенного оптимума.

ГПС позволяет ликвидировать незавершенное производство, увеличить рентабельность его за счет увеличения производительности в 4 ... 8 раз, а также позволяет осуществлять принцип в технологии «Делай вовремя».





ГАУ – гибкий автоматизированный участок.

ГАЦ – гибкий автоматизированный цех.

ГАЗ – гибкий автоматизированный завод.

ГПМ – гибкий производственный модуль.

ГПЯ – гибкая производственная ячейка.

ГАЛ – гибкая автоматическая линия.

ТО – технологическое оборудование.

Согласно ГОСТ 26.228-90 ГПС представляет собой управляемую средствами вычислительной техники совокупность технологического оборудования (ТО), состоящую из ГПМ в сочетании ГПЯ и других видов, автоматических систем технологической подготовки производства и системы обеспечения, функционирования, обладающая свойством автоматизированной переналадки при изменении программы производства изделий, разновидность которой ограничена технологическими возможностями оборудования.

ГПМ – единица ТО, автоматически осуществляющая технологические операции, в пределах его технических характеристик, способная работать автономно или в составе ГПС, или ГПЯ.

ГПЯ – управляемая средствами ВТ совокупность нескольких ГПМ и системы обеспечения функционирования, осуществляется комплекс технологических

операций, способных работать автономно и в составе ГПС при изготовлении изделий в пределах подготовки запаса заготавливают и РИ.

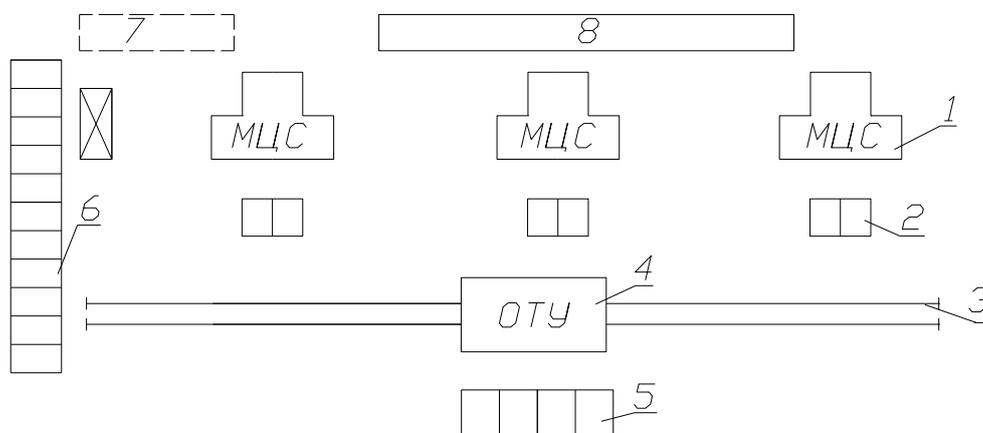
Промежуточным элементом ГПС является ГАЛ. ГАЛ отличается от ГАУ тем, что в ней операции располагаются в строгой последовательности ТП.

Операция ГПС служит для выполнения одной или нескольких операций обработки деталей. Предметная ГПС изготавливает отдельные детали, сб. единицы, а узловая изготавливает компоненты деталей, сб. единиц и осуществляет их сборку.

1-ый уровень автоматизации: При нем осуществляется автоматизированная переналадка оборудования при изготовлении освоенных изделий.

2-ой уровень автоматизации: Характеризуется автоматической переналадкой при изготовлении освоенных изделий.

3-ий уровень автоматизации: Когда производится автоматизированная переналадка при изготовлении новых изделий.



- 1 – МЦС – многоцелевой станок
- 2 – Тактовые (приемные) столы
- 3 – монорельс
- 4 – трансробот
- 5 – промежуточный накопитель
- 6 – автоматизированный склад
- 7 – диспетчерский пункт (ЭВМ)
- 8 – участок сборки приспособлений

Основным оборудованием ГПС являются МЦС, ГПЛ, ГПЯ, модули, сборочные автоматы, установки ТД и т.д.

Оборудование АТСС, принадлежит автоматизированному складу.

Вспомогательное оборудование – это промышленные роботы, тактовые столы, моечные машины, верстаки, тумбы и т.д.

Цель создания ГПС: ГПС создается в МС, СС, КС производствах с целью:

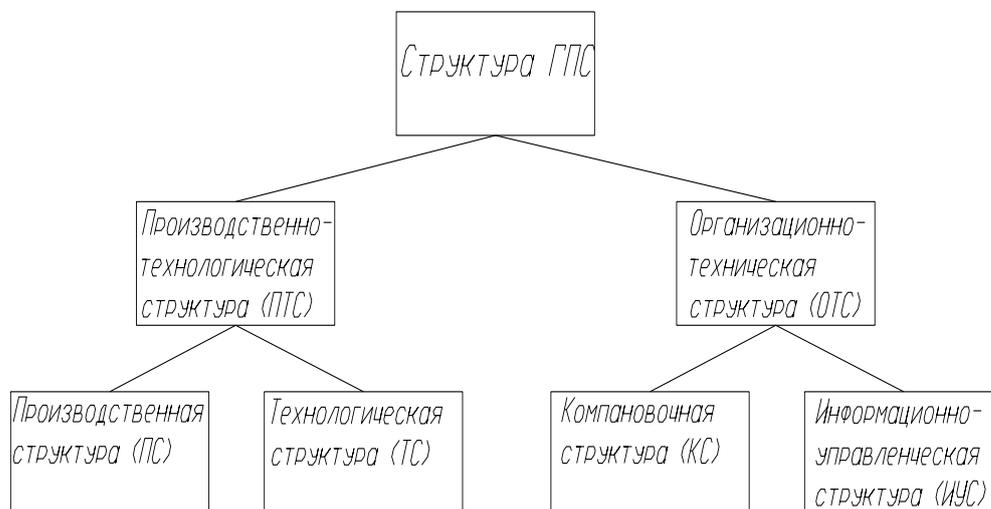
1. увеличения производительности труда.
2. улучшения условий труда.
3. снижения себестоимости изготавливаемой продукции при заданных программах производства и требований качества продукции.

Первая цель достигается уменьшением  $t_{шт.}$ , увеличением эффективного времени работы оборудования

Третья цель достигается уменьшением себестоимости изготовления - за счет устранения брака и незавершенного производства, а также уменьшением затрат при обновлении продукции.

### Структуры ГПС

Структуры ГПС являются инструментом проектирования ГПС и служат для расчета ГПС. По функционально-целевому назначению структуры ГПС делятся:



→ ПС определяет состав операций, а, следовательно, состав МТП (маршрутного технологического процесса) по обработке конкретного изделия.

→ ТС определяет состав технологического оборудования.

Между ПС и ТС имеются только горизонтальные связи (функциональные, технологические связи и д.р.)

→ КС определяет состав вспомогательного оборудования и его взаимосвязь с основным технологическим оборудованием.

→ ИУС – система обеспечения управления ГПС. Управление происходит материальными потоками (поток заготовок, готовых изделий, РИ) и информационными потоками.

Между КС и ИУС есть как горизонтальные, так и вертикальные связи. ИУС работает по иерархической системе управления.

Задача ПТС – определить состав основного технологического оборудования и его технологические возможности. ПТС характеризуется ПТ Потенциалом, под которым понимается совокупность производительностей при изготовлении  $n$  – групп деталей или  $k$ –х деталей на данной ГПС, а также их технологические возможности.

$$\bar{P} \Phi_k \geq \bar{P} \Phi_1 \geq \dots \geq \bar{P} \Phi_k \geq \dots \geq \bar{P} \Phi_n$$

где  $n$  – число конструктивно-технологических групп;

$k$  –  $k$ -ая деталь группы;

$P$  – потенциал;

$\bar{P} \Phi_1$  – производительность  $D_1$ -детали:

$$\bar{P} \Phi_k \geq \frac{60 \cdot K_{т.и.}}{T_{ок}}; \quad / \text{за 1 час} /$$

$K_{т.и.}$  – коэффициент технического использования;

$$\bar{P} \Phi_k \geq \frac{\Phi_{д.о.} \cdot K_{т.и.}}{T_{ок}}; \quad / \text{годовая} /$$

ОТС – ее задачей является определение состава вспомогательного оборудования и расчет площадей, необходимых для размещения основного и вспомогательного оборудования ГПС.

ОТС характеризуется ОТ Потенциалом, определяющим степень автоматизации будущей ГПС и ее универсальность.

$$\bar{P} \approx n \cdot A,$$

где  $n$  – число групп, которые можно обработать на данной ГПС;

$A$  – коэффициент, определяющий степень механизации ГПС в ТС;

$$A = \frac{K_o}{C_{зп} + E_n + K_o},$$

где  $K_o$  – капитальные затраты на основное технологическое оборудование;

$C_{зп}$  – затраты на ЗП всех рабочих в ГПС;

$E_n$  – нормативный коэффициент,  $E_n = 0,6 \dots 0,9$ ;

Т.к. основу любой ГПС составляет выбор ПТС, в которой в основном ~50% стоимости составляет технологическое оборудование, поэтому выбор любой ГПС уже определяется стоимостью технологического оборудования.

ГПС: 50% – технологическое оборудование;

25% – технологическая оснастка (РИ, приспособления, ...)

15% – транспортные системы;

10% – ЭВМ, управление структуры.

Целевой функцией при ТЭО выбора ПТС являются превентивные затраты по тому или иному варианту ГПС.

$$Z_n = C_3 + E_n \cdot K_o,$$

где  $C_3$  – себестоимость (технологическая) изготовления продукции в ГПС,

$E_n$  – нормативный коэффициент,  $E_n = 0,15$ ,

$K_o$  – капитальные затраты на оборудование.

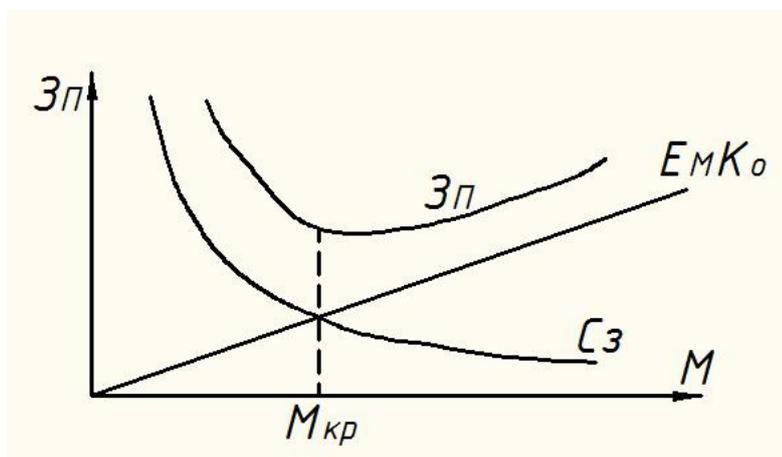
Для малолюдной технологии критерием является приведенные народно-хозяйственных затраты:

$$Z_{п.н} = C_3 + E_n \cdot K_o + E_n \cdot H \cdot L;$$

где  $E_n$  – нормативный коэффициент использования трудовых резервов;

$H$  – ЗП одного высвобожденного рабочего;

$L$  – число высвобожденных рабочих.



$M$  – число МТП для той или иной структуры ГПС.

## Основные характеристики ГПС

Характеристики ГПС используются при организационно-технологическом проектировании ГПС, а также при оценке качества эксплуатации объекта ГПС. Данные характеристики обычно используются для разработки ТЗ на проектирование ГПС.

Основными характеристиками являются:

1. Продукция (тип, номенклатура, серийность (партия запуска, % обновления начинки деталей в ГПС)).
2. Производительность ГПС.
3. Гибкость ГПС.
4. Надежность ГПС.
5. Масштаб ГПС (по количеству технологического оборудования:  
2-3 МРС – низкая ГПС;  
4-6 МРС – средняя ГПС;  
7-13 МРС – высокая ГПС.
6. Уровень автоматизации (1, 2, 3 (смотреть классификацию ГПС)).
7. Технологические возможности ГПС (состав операций, качество обработанных деталей).
8. Безопасность.
9. Эксплуатационные характеристики (режим работы ГПС, численность работающих в ГПС, занимаемая площадь ГПС, продолжительность работы в автоматическом режиме, и т.д.)

Производительность ГПС – продолжительность производственного цикла (чем <, тем >).

Цикловая производительность:

$$Q_c = \frac{1}{T} = \frac{1}{T_o + T_s},$$

Технологическая производительность:

Если  $T_b = 0$ , то:

$$Q_c = \frac{1}{T_o} = K,$$

Фактическая производительность:

$$Q_{c(\phi)} = \frac{1}{T} \cdot \eta,$$

где  $\eta$  – коэффициент использования ГПС. При  $\eta=0,7$  – простой ГПС = 30%.

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{\sum t_n}{T}},$$

где  $\sum t_n$  – сумма простоев, мин;

$$Q_\phi = \frac{1}{T_o + T_s} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\sum t_n}{T}} = \frac{1}{T_o + T_s + \sum t_n},$$

Производительность можно увеличить, если: уменьшить  $T_o$ ,  $T_b$ ,  $\sum t_n$ ; применять высокопроизводительное оборудование; автоматизировать; организационными путями; применять перспективный РИ.

В ГПС синхронизация операций обработки деталей базируется на теории расписаний.

Гибкость ГПС – реакция ГПС на изменение номенклатуры обрабатываемых деталей на данной ГПС.

ГОСТ не устанавливает требований к терминам «гибкость». В общем случае, гибкость ГПС характеризуется несколькими свойствами (формами) гибкости:

1. Технологическая гибкость.
2. Техническая гибкость.
3. Структурная гибкость.
4. Организационная гибкость.

Технологическая гибкость характеризует возможность ГПС подстраиваться на изготовление новой номенклатуры обрабатываемых деталей ? или с минимальной переналадкой оборудования. Она характеризуется индексом гибкости: **FMS ↔ ГПС**

$$F_{TECH} = \frac{K \cdot N}{n \cdot 100} \leq 1,0$$

где K – % обновления деталей на ГПС (в год или период);

N – программа (партия) обработанных деталей;

n – типовая партия запуска деталей.

Техническая гибкость характеризует скорость перехода ГПС на изготовление новой продукции, т.е. оценивает потери времени при переналадке.

$$F_T = \frac{T_o}{T_o + T_g} = \frac{C_B}{C_o + C_g},$$

где T<sub>o</sub> – основное время;

T<sub>в</sub> – вспомогательное время;

C<sub>o</sub> – стоимость переналадка основного оборудования;

C<sub>в</sub> – стоимость переналадка вспомогательного оборудования.

Структурная гибкость характеризует возможность ГПС перестраиваться по модульному принципу, т.е. можно добавить оборудование и нарастить ГПС; изменить маршрут движения заготовки.

Организационная гибкость характеризуется организационно-технической структурой ГПС. Задача проектировщика – обеспечить максимальную загрузку оборудования и минимальную производственный цикл.

Различают 2 принципа:

1. Предметный – рассчитан на выпускаемую продукцию.
2. Технологический.

Если используется 1-ый принцип, то получаем увеличенную загрузку оборудования, снижаются заделы, но при этом повышается качество МРС.

По 2-му принципу обеспечиваем максимальную производительность, уменьшаем количество людей, но не обеспечивают приемлемую загрузку.

Для ГПС – второй принцип при условии, чтобы увеличить уровень загрузки надо использовать ЭВМ для диспетчеризации и планирования на данной ГПС.

Загрузка ГПС:

K<sub>з</sub> = 0,7 – нормальная;

K<sub>з</sub> = 0,75...0,8 – оптимальная;

K<sub>з</sub> = 0,85 – предельная;

Гибкость ГПС – свойство ГПС переходить из одного состояния в другое, при определенных технологических возможностях оборудования, на выпуск новой продукции или осуществлять новую функцию.

Надежность ГПС – имеет большое значение на всех этапах производства. ~15-20 % эффективного фонда оборудования – простои (отказы) основного или вспомогательного оборудования.

В соответствии с ГОСТ 26.228-90, надежность ГПС оценивается коэффициентом технического использования:

$$K_{Т.И.} = \frac{T_{oi}}{T_{oi} + T_{vi} + T_{орг.Т.О.и}},$$

где  $T_{oi}$  – время наработки основного технологического оборудования до отказа при выполнении  $i$  – го задания;

$T_{vi}$  – время, связанное с ремонтом или восстановлением вспомогательного оборудования при выполнении  $i$  – го задания;

$T_{орг.Т.О.и}$  – время на обслуживание основного и вспомогательного оборудования.

Данный коэффициент используется при проектировании ГПС.

Надежность ГПС определяется следующими методами:

- Расчетный;
- Экспериментальный;
- Экспериментально-расчетный.

На стадии проектирования используется расчетный метод, который может быть успешно реализован моделированием на ЭВМ.

При сдаче ГПС в эксплуатацию, а также при ее эксплуатации используется экспериментальный метод; проводят 20-30 испытаний по выпускаемой продукции и фиксируют выход основного оборудования из строя, вспомогательное оборудование и по организационно-техническим причинам. Далее определяют коэффициент  $K_{Т.И.}$ :

$$K_{Т.И. \text{ эксп.}} \geq [K_{Т.И.}]_{тз}$$

## ***ТПП обработки деталей в ГПС***

Технологическое проектирование ГПС начинается с проектирования производственно-технологической структуры (ПТС), а заканчивается организационно-технической (ОТС).

ТПП включает в себя следующие этапы:

1. Определение номенклатуры обрабатываемых деталей в ГПС с учетом организационно-технических требований и требований технологичности деталей не обрабатываемых в ГПС. Классификация и группирование деталей. Определение оптимальной партии деталей для обработки в ГПС.
2. Отработка деталей на технологичность.
3. Выбор метода получения заготовок (проектирования заготовок).
4. Проектирование оптимальных (групповых) маршрутов, и операций ТП обработки деталей.
5. Выбор оптимального состава основного технологического оборудования. Разработка ТЗ на проектирование технологической оснастки.
6. Разработка УП (на каждую деталь не менее двух).
7. Определение оптимального уровня автоматизации ГПС.
8. Выбор системы обеспечения функционирования ГПС, АТСС, САК, СУО, ОТУ, ..., средств контроля и диагностики.
9. Разработка вопросов организации ГПС и управления ГПС ( расчет грузопотоков, материалов, и информации, ... потоков, ...).
10. Оформление технологической документации.

Отработка деталей на технологичность, требования к деталям, получение заготовки и обработка деталей на станках с ЧПУ (смотри учебное пособие – «Проектирование ТП обработки деталей для ГПС»).

Особенностью ТПП является пример АСТПП в ГПС используемые групповые ТП.

В ГПС используют оптимальный ТП, который характеризуется следующим:

1. Безусловное обеспечение ТП заданной производительности, качества (линейных размеров, точности взаимного расположения, качества поверхностного слоя).
2. Запас точности ТП в ГПС  $\geq 1,25 \dots 1,3$ .
3. Многообразии реализуемых маршрутов обработки для обработки каждой детали группы.
4. Обеспечение единства базирования деталей в ТП.
5. Минимальные затраты на ТО (режущий, мерительный, вспомогательный инструменты, приспособления, ...).
6. Минимальные затраты времени на переналадку и простои оборудования.
7. Максимальное время работы в автоматическом режиме.

Особенностью группового ТП для ГПС, в отличии от универсальных станков является:

- Отсутствие жестких требований по конструированию технического подобия деталей.
- одновременно с этим усложняются машинные классификации деталей. Требуется более формализованный подход к группированию и классификации признаков.

- Упрощается формирование МТП по отношению к деталям группы за счет применения станков с ЧПУ.
- Предъявляются более жесткие требования к ТБ детали и базам для захвата заготовки промышленными роботами. Эти базы должны быть едиными для всех деталей группы.
- Контроль размеров деталей должен производиться едиными измерительными средствами, общими для всех деталей группы (КИМ)

Применение станков с ЧПУ, КИМ позволяют делать группирование деталей в виде «открытых» групп, позволяющих водить в эти группы новые детали при обновлении продукции, что нельзя сделать при группировании деталей для универсальных станков, где группы считаются закрытыми, т.е. составными (количество деталей в группе определяется количеством РИ в наладке станка).

### ***Определение номенклатуры деталей***

Допустим, для ГПС необходимо спроектировать ТП изготовления редукторов или коробок передач.

Т.к. в данное изделие входят различные детали сборочные единицы, то возможно несколько ТП изготовления. Т.к. механическая обработка имеет большую трудоёмкость, поэтому разделяют ГПС на сборку и механическую обработку. Далее анализируются по среднегодовым показателям программы, номенклатуры, процент обновления, средняя партионность детали. Разделяют детали на корпусные (плоскостные) и ротационные. В каждом классе (корпусные, плоскостные, ротационные) уточняются группы этих деталей. Желательно во всех случаях укрупнять группы.

### ***Методы группирования в ГПС***

Для ГПС важно определить минимальный размер партии деталей, экономически выгодной для обработки в ГПС:

1. Размер партии деталей для обработки в ГПС определяют из условия min. время простоя и переналадки оборудования.
2. Размер партии деталей для обработки в ГПС определяют из условия min. времени хранения (на складе).
3. Размер партии деталей для обработки в ГПС определяют из условия min. времени изготовления, хранения и переналадки оборудования.
4. Методы пакетирования.

Одним из критериев определения размера детали в группе на стадии эскизного проектирования ГПС может быть критерий соотношения времени подготовки производства в ГПС и на универсальных МРС.

(Смотри учебное пособие)

Определение размера партии деталей производства из условия:

$$\underbrace{T_{п1} + T_{пз1} + T_{шт1} * n}_{T_1} \geq \underbrace{T_{п2} + T_{пз2} + T_{шт2} * n}_{T_2}; \quad (1)$$

где  $T_1$  – Время подготовки производства на универсальных станках;  
 $T_2$  – Время подготовки производства в ГПС;  
 $T_{пп}$  – Время подготовки производства деталей на универсальных станках и в ГПС;

$T_{пз}$  – Подготовка (заключительная) время обработки заготовки;

$T_{шт}$  – Штучное время обработки заготовки;

$n$  – Количество деталей в группе (размер партии);

Если  $T_2 < T_1$ , то выгодно перевести обрабатываемую деталь в ГПС.

Если  $T_1 < T_2$ , то выгодно перевести обрабатываемую деталь на универсальные МРС.

Из (1) определения размер партии:

$$n = \frac{T_{пз}n_2 + T_{пз_2} - (T_{пз_1} + T_{пз_1})}{T_{шт_2} + T_{шт_1}};$$

$T_{пз_1} = 0$ ;

$T_{шт_1} = k * T_{шт_2}$

$k = 2 \div 4$  ( коэффициент производительности)

$$n = \frac{T_{пз}n_2 + T_{пз_2} - T_{пз_1}}{T_{шт_2} \cdot (k - 1)};$$

### ***Метод пакетирования***

Является одним из разновидностью методов группирования деталей в ГПС. Его применяют в основном для обработки деталей типа тел вращения. Суть метода состоит в том, что по условиям и требованиям пакетирования составляется суточный пакет.

*Признаками пакетирования являются:*

1. Примерно одинаковые диаметры обрабатываемых заготовок, что бы в одном патроне можно было закрепить все детали пакетом без переналадки.
2. Материал обрабатываемой детали должен быть одинаковым или со схожими свойствами.
3. Число РИ в наладке должно позволить производить обработку любой детали в пакете.

Наладку станка производить по тестовой детали, которая имеет все элементы обрабатываемых деталей в группе (в пакете). Наладку производить 1 раз в смену.

Суточный пакет формируют по признакам пакетирования с помощью ЭВМ. ЭВМ здесь организует выполнение суточного (сменно-суточного) задания.

### ***Особенности и методы проектирования ТП для ГПС***

При технологическом проектировании обработки деталей в ГПС ТП проектируют по 2-м направлениям:

- ТП разрабатывают для вновь создаваемой ГПС;
- ТП проектируют под функционирующую ГПС.

По первому направлению ТП проектируют укрупнено, допускаются приближенные решения и разрабатывается групповой МТП под деталь – представитель каждой группы. В этот ТП включены и операции, которые выполняют не ГПС (ТО, рихтовка, маркировка, контроль), также маршрутно-

операционные или операционные. Комплексные ТП при проектировании операций ТП включаются в состав операций как основных так и вспомогательные переходы или операции. Во всех случаях, при проектировании ТП надо стремиться использовать минимальное число операций исполняемых вне ГПС. По этому направлению проектируют ТП для узкономенклатурных ГПС типа ГАЛ или ГПЯ. Для широкономенклатурных ГПС проектируют многовариантные ТП, которые характерны однообразием операций, составом их и порядком исполнения. По этому направлению проектируют ТП для ГАУ.

При проектировании ТП для ГПС в первую очередь необходимо знать программу выпуска изделий и их номенклатуру.

В основу стратегии ТП при проектировании закладывают каноническую оправданную производительность, надежность и уровень автоматизации.

В единичном и мелкосерийном производстве важным является высокая загрузка оборудования и высокая гибкость. В этом случае, время, затраченное на переналадки, перекрывает экономию, получаемую за счет высокой производительности (интенсификации режимов резания).

В серийном и крупносерийном производстве ( $N=100, 1000, \dots$  деталей) важным становится уже не гибкость, а производительность обработки, т.к. в этом случае меньше переналадок, и экономия, получаемая за счет производительности (интенсификации режимов резания) перекрывает затраты от простоев ГПС.

*При проектировании ТП для ГПС необходимо учитывать следующие принципы:*

1. Безлюдская или мало людская технология ГПС требует максимум степени автоматизации как основных операций, так и вспомогательных за счет использования адаптивных систем управления, ЭВМ, ....

2. Полная компьютеризация ТП на всех этапах ТПП и управления ТП.

3. Многовариантные (альтернативные) ТП для групп деталей.

Многовариантные (альтернативные) ТП – для одной и тоже группы деталей проектируют сразу несколько альтернативных вариантов, из которых есть основной (оптимальный) и обходные.

4. ТП должны быть малооперационными, т.е. должна быть повышаться концентрация переходов или операций в ТП и минимальное количество установов в ТП.

5. Должна быть модульно-групповая технология в ГПС, т.е. производство полностью автоматизирует подготовку ТП обработки деталей, в которой выделены типовые конструктивные элементы, их описание, и ТП формируется из типовых унифицированных технологических решений по обработке необходимого элемента обрабатываемой детали.

6. Комплектность изготовления деталей (предварительная и окончательная обработка) должна выполняться полностью на данной ГПС. Кроме того, на этой же ГПС должна выполняться обработка деталей различной формы (и тела вращения, и корпуса).

7. Переналаживаемая безотладочная технология обработки деталей в ГПС.

8. Технология должна быть безбумажной.

*Для ГПС проектирование ТП осуществляется по двум основным методам:*

1. Метод проектирования единичных ТП.

2. Метод проектирования унифицированных, групповых и типовых ТП.

В основе проектирования ТП для ГПС лежат групповые ТП обработки заготовки.

### ***Проектирование МТП для ГПС***

МТП для ГПС разрабатываются как групповые ТП для представителя детали группы.

Если деталь представитель является типовой, и для неё существует типовой ТП, то при разработке МТП его необходимо учитывать.

Если МТП проектируют для функционирующей (действующей) ГПС, то учитывают технологию под действующее технологическое оборудование.

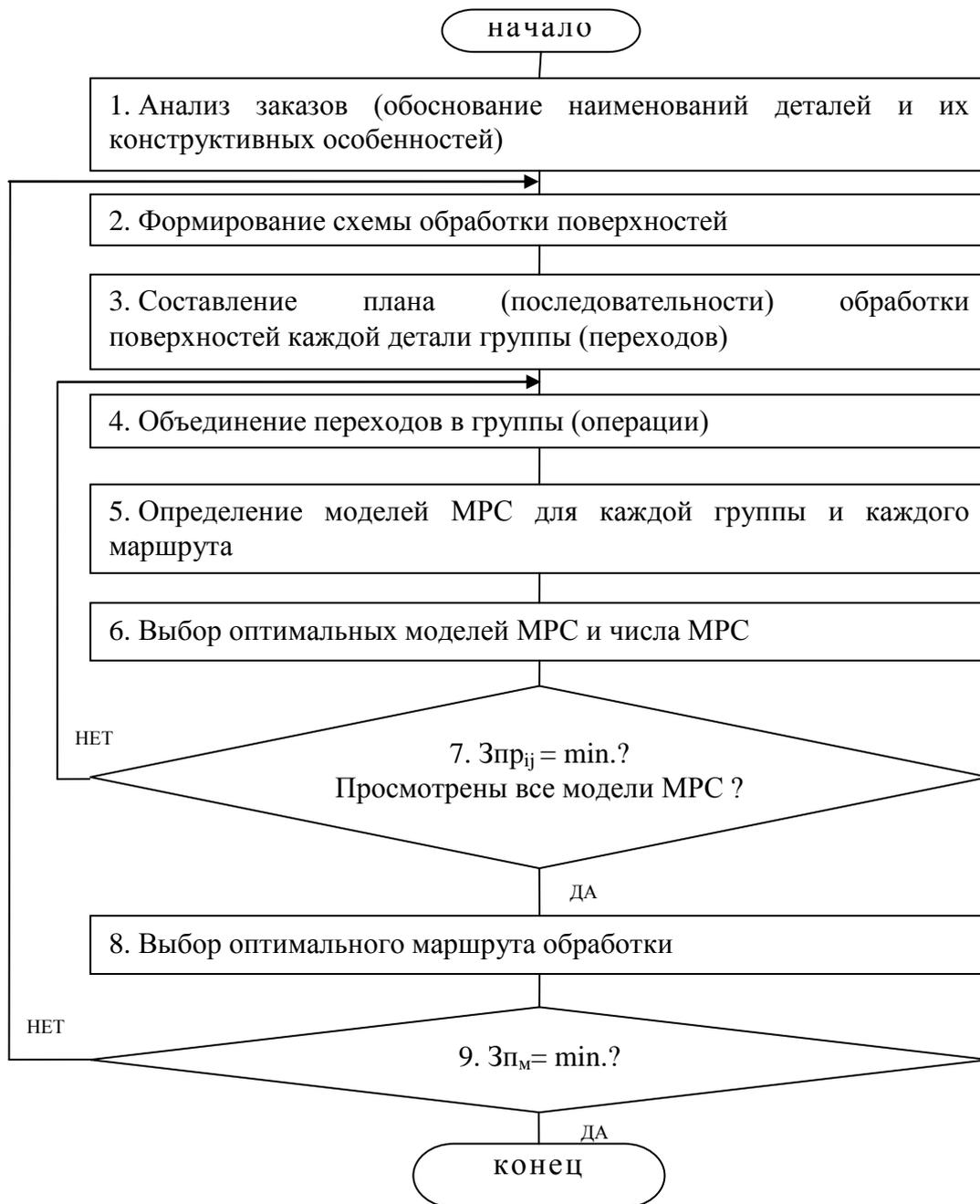
МТП в ГПС большой концентрации переходов и операций, большой многовариантности ТП, позволяет обеспечить высокую производительность обработки заготовки и улучшение качества выпускаемой продукции.

При проектировании МТП используют единый критерий оптимизации ТП на всех этапах разработки технологии. (min. приведенные затраты, или min. циклов изготовления детали).

Несмотря на то, что при проектировании МТП применяют укрупненные, приближенные технические решения, на этом этапе закладывается вся стратегия проектирования ТП в ГПС, который позволит получить соответствующую рентабельность ГПС.

Проектирование МТП под отобранную номенклатуру обрабатываемых деталей выполняют в 2 этапа:

1. Формируют общий для заготовок всех деталей набор переходов, групповых операций и вариантов группового маршрута обработки.
2. Выбирают оборудование для каждой групповой операции и определяют оптимальный групповой маршрут по общему критерию минимальных приведенных затрат.



$Z_{пр_{ij}}$  - приведенные затраты на  $i$  – ю операцию, выполняемую на  $j$  – м станке;  
 $Z_{п_m}$  - приведенные затраты по  $m$  – му варианту МТП;  
 $m$  – число маршрутов обработки

$$Z_{П_M} = \min \sum S_{П_{ij}}$$

В результате анализа заказов определяются наборы последовательных (общих по размерам и расположению для всех деталей группы) переходов и переменных переходов (различных для деталей группы) обрабатываемых поверхностей и соответствующих им переходов, т.е. переходы будут постоянные и переменные.

При формировании схем обработки для постоянных переходов обрабатываемых поверхностей применяются одинаковые технические решения (схемы базирования и установки заготовок, РИ, режимы обработки, MPC).

Для переменных обрабатываемых поверхностей и переходов применяют лишь настроечные размеры оборудования, режим обработки и более универсальные методы обработки поверхностей.

Последовательность обработки поверхностей задают единую для всей группы деталей с учетом их приоритета. Например, в порядке возрастания длительности циклов поставки партии деталей сборочному цеху.

Сформировав предварительно постоянный и переменный переходы для каждой детали группы; и общий перечень переходов для всех деталей группы, их объединяют в групповые операции по принципу выполнения на МРС одной модели за один установ, при коэффициенте загрузке оборудования  $k_3 = 0,65 \dots 0,80$  (меньшие значения  $k_3$  – для постоянных переходов).

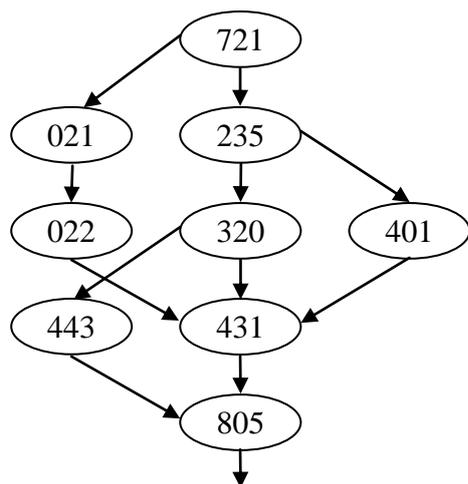
Первый вариант МТП формируют из условия максимальной концентрации переходов в групповой операции, а последующие получают путем выделения переходов в самой операции с учетом вышеизложенного (т.е.  $k_3$ ).

Оптимальный вариант находят по формуле (1) (см. выше).

При проектировании МТП для узкономенклатурной ГПС типа ГАЛ обычно имеют незначительные различия в исполнении ТП (т.к. изготавливаются группы деталей одного типа). При этом транспортировка системы, накопители, схема базирования и установки заготовок остаются постоянными.

Для ГПЯ и ГАУ, наоборот, МТП отличается большей многовариантностью альтернативных ТП, вследствие большей перестройки ТП для обеспечения ритмичного выпуска изделий (из-за обновления продукции, перестройки отдельных операций, перегрузки отдельных станков, изменения программы выпуска). Поэтому экономически выгодным становится реализация такой перестройки ТП с помощью многовариантных МТП.

Анализ многовариантных ТП маршрута обработки выполняется с помощью теории Графов в основе представления МТП (многовариантного) в виде ориентированной циклической сети. Вершина каждого графа соответствует определенной УП. Сеть имеет один вход (операция запуска производства) и один выход (отправка готовой продукции). УП кодируется под своим номером. В номере УП кодируется номер детали, для которой предназначен УП, модель станка и порядковый номер УП в МТП, а также номер заготовки.



Анализ МТП по этому графу позволяет из 5 возможных МТП выбрать оптимальный, (721-401-431-805), а также обходные варианты

### ***Проектирование операционного ТП (ОТП)***

Особенностью ОТП для ГПС является обеспечение повышение производительности при повышении надежности заготовок, в т.ч. и тех заготовок, которые будут по проценту обновления на линии.

Проектирование ОТП включает следующие этапы:

1. Определение структуры операций, порядок выполнения которых установлен ранее МТП.
2. Уточнение полных переходов обработки каждой обрабатываемой поверхности заготовки, последовательность их выполнения и составление переходов по каждой операции.
3. Выбирают тип оборудования, а далее – ножики РИ, мерительного инструмента и ВИ для каждого перехода.
4. Исключают из выбранной номенклатуры повторяющиеся РИ.
5. Объединяют РИ одного назначения, совмещают переходы выполняемые одинаковыми РИ.
6. Оптимизируют режимы резания для каждого РИ на каждой операции. Рассчитывают межоперационные припуски.
7. Проектируют траекторию движения РИ по каждому переходу в операции.
8. Разрабатывают УП для программируемого оборудования.
9. Нормируют операции, рассчитывают трудоемкость операций, вносят коррекцию в отдельные операции.
10. Оформляют технологическую документацию.

После проектирования операций разрабатывают Т<sub>з</sub> на проектирование специальной оснастки и МРС.

Расчет трудоемкости (Т) операций производится после нормировки операций.

$$T = \sum_{i=1}^k N_k \cdot T_{umki} ;$$

N<sub>к</sub> - программа к-той группы деталей,

T<sub>шт.ki</sub> – штучное- время i-той детали к-той группы.

Расчетное число станков:

$$C_p = \frac{T}{60 \cdot K_3 \cdot \Phi_{д.о.}} ;$$

Φ<sub>д.о.</sub> – фонд времени работы оборудования,

K<sub>з</sub> – коэффициент загрузки,

### ***Выбор оборудования***

После расчета трудоемкости выполнения операций, формирования их структуры, производственных уточнений производят выбор технологического оборудования.

Выбор оборудования производят с учетом следующих требований:

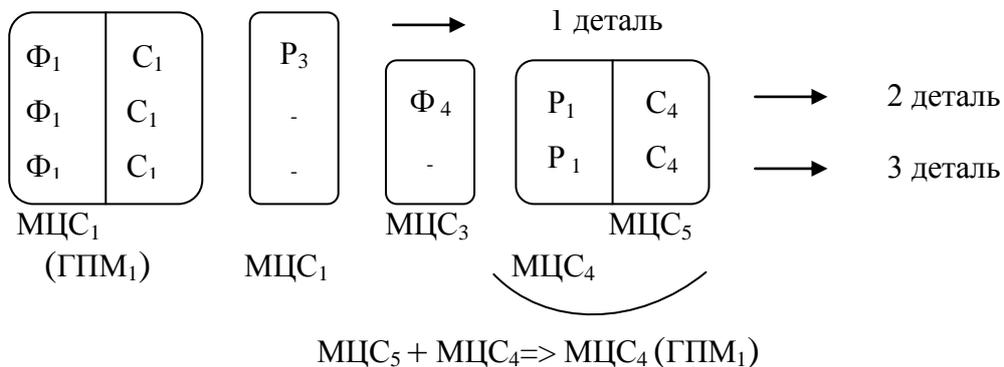
1. Технологические требования (габариты, масса заготовки, точность размеров).
2. Планово-организационные требования (программа выпуска, партия запуска, срок изготовления).
3. Функциональные требования (модульность, гибкость, надежность оборудования, возможность сопряжения со щитом управления более высокого ранга, возможность использования универсальной технологической оснастки).

*Исходными данными для выбора оборудования являются:*

- наименование операции и составление переходов на данной операции;
- входные данные о заготовке и выходные данные о готовой детали;
- планово-экономические требования.

Рассмотрим выбор оборудования на примере обработки групповых операций ТП тех деталей:

$\Phi_1, C_2, P_3$  – название операций (фрезерование, сверление, расточная); индексы обозначают взаимозаменяемое оборудование.



На 1 этапе – для обработки 3-х деталей необходимо оборудование 5-ти типов (без моделей). В случае, если МЦС<sub>1</sub> недогружен, можно разъединить станки  $\Phi_1$  и  $C_2$ .

На 2 этапе – после выбора типа оборудования уточняется модель станка по каждой операции.

На 3 этапе – под выбранные модели МРС рассчитывают по критерию приведённых затрат ЗП, выбирают наиболее экономический станок по каждой операции.

Исходя из коэффициента загрузки оборудования ( $K_3=0,7...0,8$ ) выбирают количество станков по каждой операции.

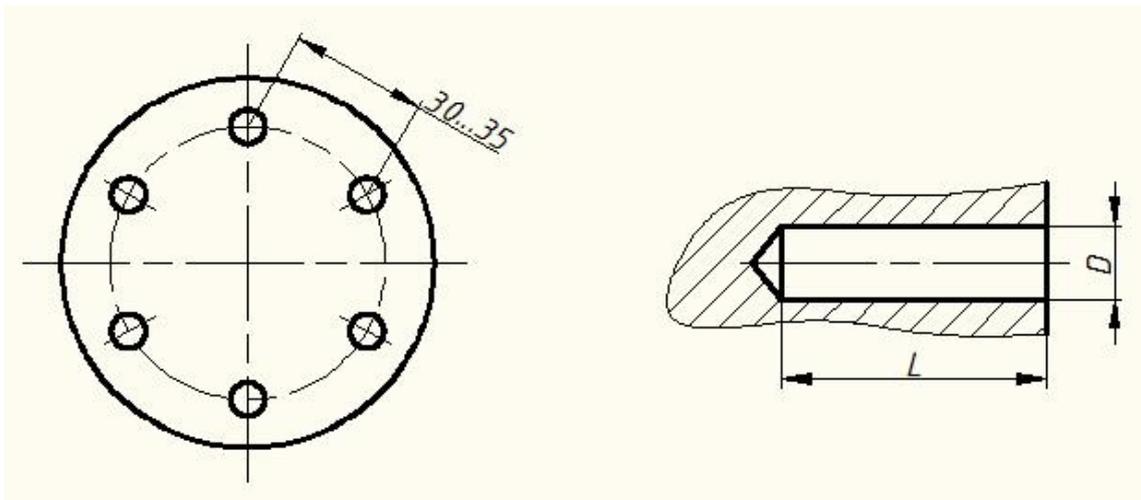
## **Проектирование ТП для жестких АЛ**

Проектирование ТП для АЛ крупносерийного и массового производства включает те же этапы разработки, что и для единичных ТП.

При разработке ТП для АЛ специфичными вопросами являются:

1. Выбор структуры АЛ и расчленение её на участки.
2. Расчёт вместимости промежуточных накопителей .
3. Установление концентрации технологических переходов по каждой операции (станции, позиции).
4. Установление концентрации периода групповой смены РИ (1/2 смены, смен,....)

Обработка на технологичность ( базы, унификация размеров, ...)



### **Технологические базы и их выбор**

Подготовку ТБ выполняют вне АЛ.

### **Назначение режимов резания**

Режимы резания уменьшаются на (10...30)% от табличных (для универсальных МРС), и в то же время режимами резания можно регулировать такт, при этом необходимо повысить стойкость РИ.

Запас точности, надёжности ТП в АЛ должен быть  $\geq (1,2 \dots 1,25)$ .

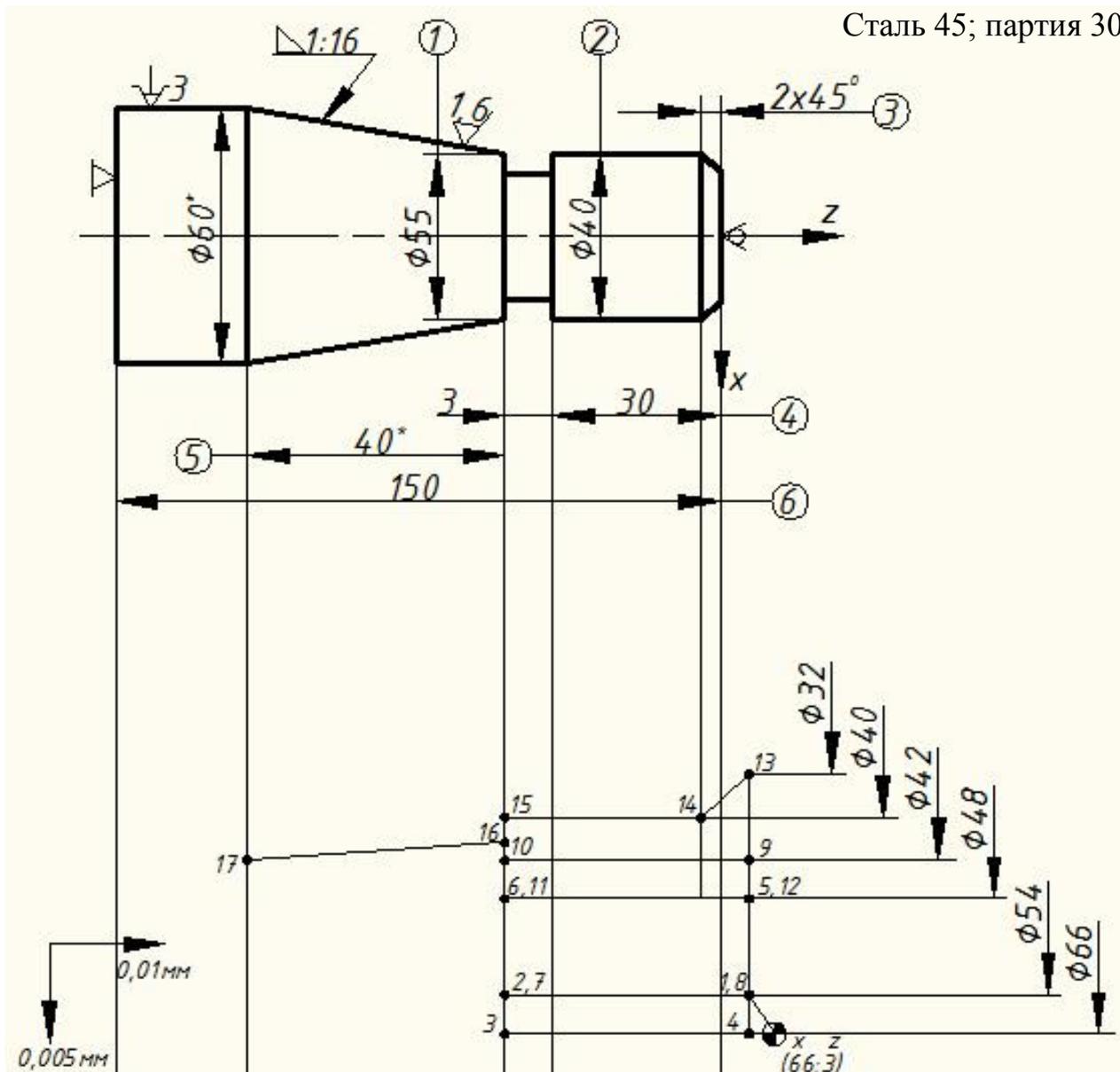
{ Маталин « ТМ » }

При разработке единичных ТП желательно использовать типовые ТП.

# ПРАКТИКА

Разработка УП для токарных станков с ЧПУ

Сталь 45; партия 30 шт.



Применяем штучную заготовку. т.к. из прутка нельзя из-за малого диаметра шпинделя станка – диаметр 55мм. Отрезаем из прутка – диаметр 60 мм.

Операция токарная с ЧПУ:

Выбираем схему установки заготовки. Переносим ось X на торец готовой детали(правый). Вылет проходного РИ считаем больше канавочного и исходную точку выбираем по проходному резцу.

Составляем расчетно- технологическую карту

участок	контур	X	$\Delta X$	Z	$\Delta Z$
0-1	наклон.	54	0	2	-35
1-2	прямая	54	6	-33	0
2-3	прямая	60	0	-33	35
3-4	прямая	60	-12	2	0
4-5	прямая	48	0	2	-35
5-6	прямая	48	6	-33	0

6-7	прямая	54	0	-33	35
7-8	прямая	54	-12	2	0
8-9	прямая	42	0	2	-35
9-10	прямая	42	6	-33	0
10-11	прямая	48	0	-33	35
11-12	прямая	48	-12	2	0
12-13	прямая	32	8	2	-4
13-14	наклон.	40	0	-2	-31
14-15	прямая	40	15	-33	0
15-16	прямая	55	5	-33	-40
16-17	наклон.	60	6	-73	75
17-0	наклон.	66	12	3	

$S_o = 0,1..0,2 \text{ мм/об}$

$S = 0,15 \text{ мм/об}$

$V = 70 \text{ м/мин}$

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 70}{3.14 \cdot 60} = 330 \text{ об/мин}$$

УП имеет вид:

%

N001 F015 S2 330 T1

N002 X66 Z3 E

N003 X54 Z2 M08

N004 V6 W0

.....  
N016 X40 Z-2

N017 Z-33

N018 X55

N019 X60 Z-73 M09

N020 X66 Z3 E

N021 M02

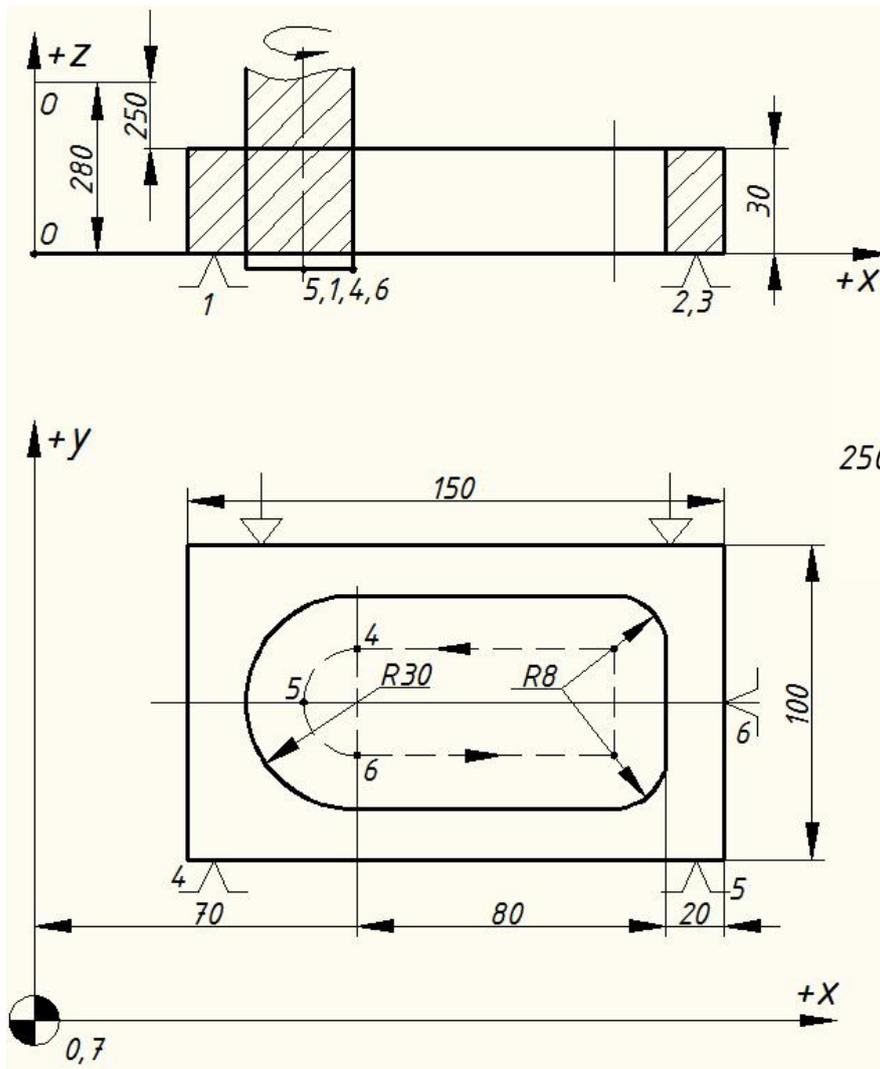
Цикловая УП:

N003 L08 A1 P3

N004 X40 C2

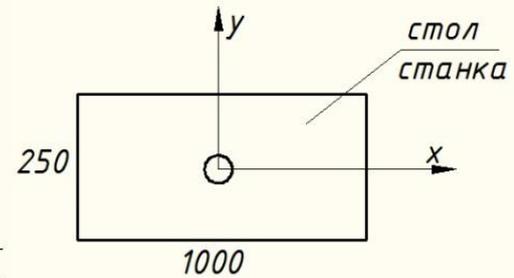
N005 Z-33

# ПРАКТИКА

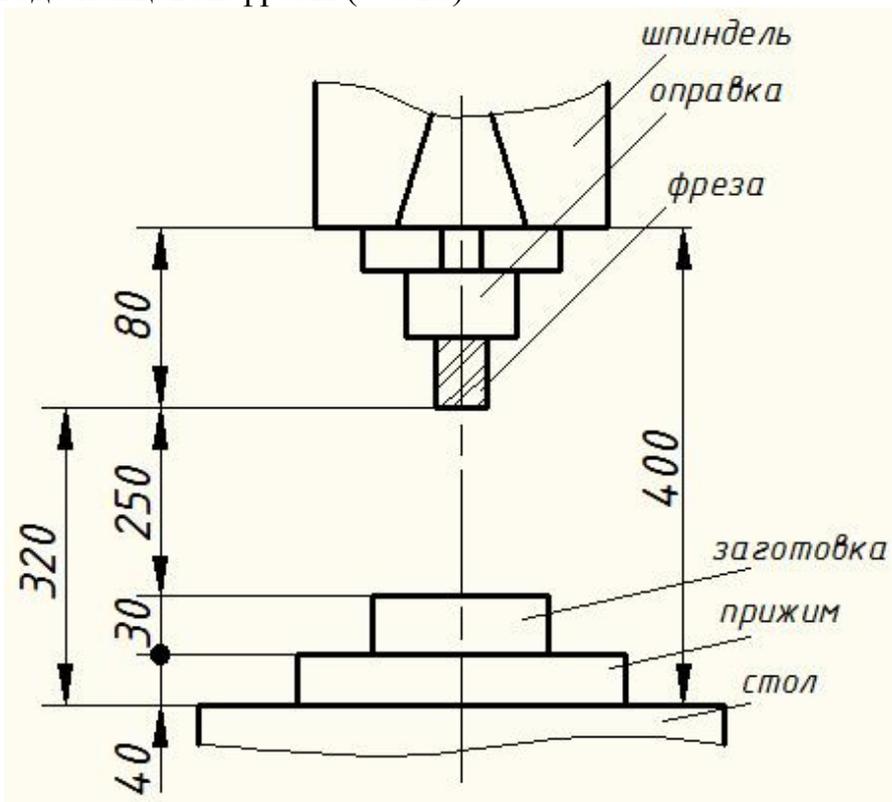


Сталь 45

6P11Ф3-01



Для фрезерования в сплошном материале необходимо просверлить отверстия для ввода концевой фрезы (~ Ø18)



Индекс	Контур	X	Y	Z	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$
0'	-	0	0	0	0	0	0
0' – 1'	прямая	70	48	0	+70	48	0
1' – 1'	прямая	70	48	-283	0	0	-283
1' – 2'	прямая	142	48	-283	72	0	0
2' – 3'	прямая	142	92	-283	0	44	0
3' – 4'	прямая	70	92	-283	-72	0	0
4' – 5'	окружность	48	70	-283	-22	-22	0
5' – 1'	окружность	70	48	-283	22	-22	0
1' – 1'	прямая	70	48	0	0	0	283
1' – 0'	прямая	0	0	0	-70	-48	0

Р6М5 – фреза концевая  $\varnothing 16$  мм.

$V = 30$  м/мин.

$n = 600$  об/мин.

$S_z = 0,02$  мм.

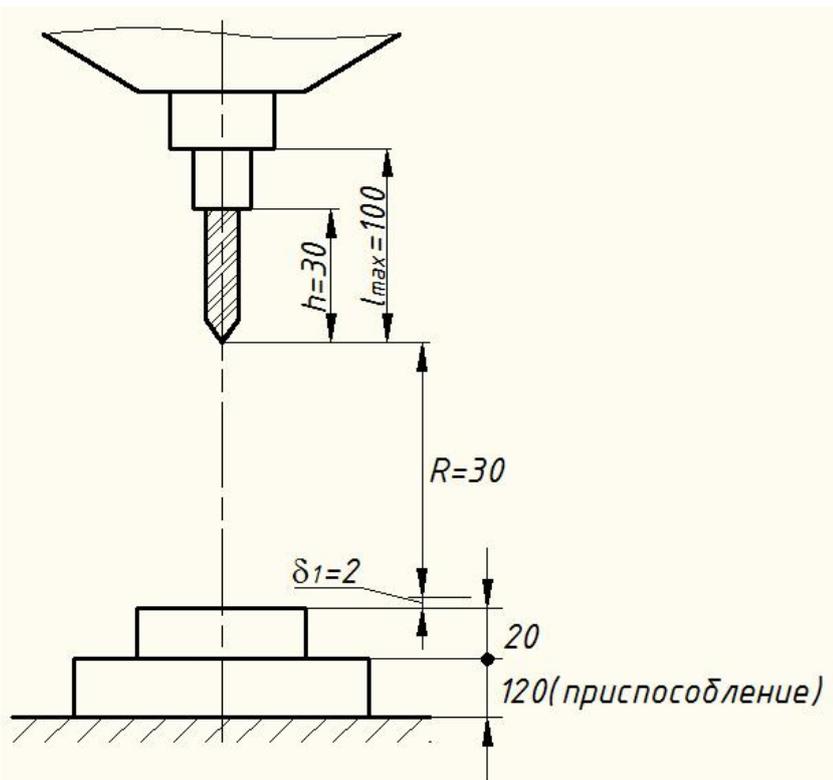
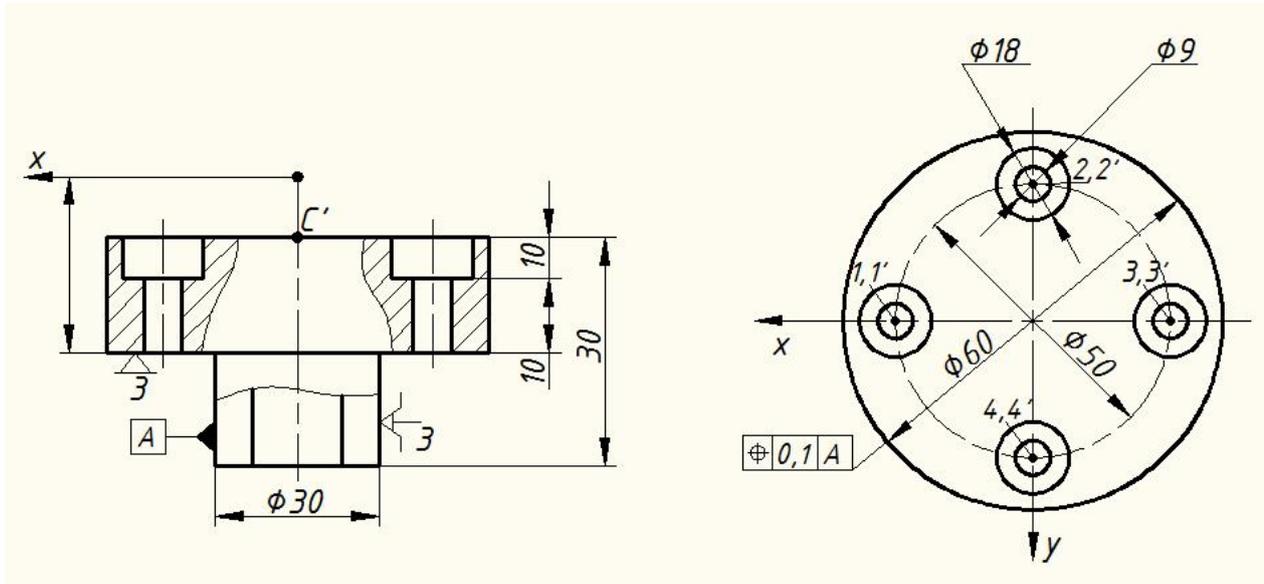
Примем, что по паспорту станка  $n = 500$  об/мин.

$z = 4$

# Практика

Подготовка УП для сверлильного станка с ЧПУ

Сталь 45; Ra3.2



№	X	Y	относ. пов-ти заг-к			относ. остатки		
			Zц	Zсв	Zцк	Zц	Zсв	Zцк
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0'	0	0	-2	-2	-2	130	130	130
1	25	0	-2	-2	-2	130	130	130
1'	25	0	5	23	10	135	157	142
2	0	-25	-2	-2	-2	130	130	130
2'	0	-25	5	23	10	135	157	142
3	-25	0	-2	-2	-2	130	130	130
3'	-25	0	5	23	10	135	157	142

4	0	25	-2	-2	-2	130	130	130
4'	0	25	5	23	10	135	157	142

%

: 001 G81 T01 S10 F14 L01 M08

R 000000 Z+000500 X000000 Y 000000 ПС

№ 002 X+002500 ПС

№ 003 X 000000 Y-002500 ПС

№ 004 X-002500 Y 000000 ПС

№ 005 X 000000 Y+002500

№ 006 G91 M09 ПС

: 007 G81 T02 S04 F12 L03 M08 R000000

Z+002800 X 000000 Y 000000 ПС

