



Государственное образовательное учреждение высшего образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»



Дисциплина «Технология машиностроения»


Лекция 3 «Построение технологических процессов и проектирование операций,
выполняемых на станках с ЧПУ»

Область применения станков с ЧПУ

В современных условиях одним из главных направлений автоматизации процессов механической обработки заготовок в условиях среднесерийного и мелкосерийного производства является применение станков с ЧПУ.

Это объясняется следующими причинами.

1. Более 60% парка металлорежущих станков в машиностроительной и приборостроительной промышленности работает в условиях среднесерийного и мелкосерийного производства.



2. Удельный вес основного времени составляет не более 20-30% всех затрат времени, а на вспомогательное время приходится 70-80%.

3. Автоматизация производственных процессов в условиях среднесерийного и мелкосерийного производства с целью сокращения затрат вспомогательного времени посредством применения высокопроизводительных станков традиционного исполнения (автоматы, агрегатные станки, автоматические линии и т.п.) практически невозможна и экономически нецелесообразна.


Поэтому необходимо использовать станки с ЧПУ.

Числовое программное управление

Под числовым программным управлением (ЧПУ) понимается управление обработкой заготовки на станке по управляющей программе (УП), в которой данные приведены в цифровой форме.


УП представляет собой совокупность команд на языке программирования, соответствующих заданному алгоритму функционирования станка по обработке конкретной заготовки.

УП заранее составляется человеком или другой специальной программой, называемой постпроцессором.



Программное управление производится специальным устройством числового программного управления (УЧПУ) без участия человека по управляющей программе.

УЧПУ формирует команды на перемещение управляемого объекта (режущего инструмента, заготовки, схвата сварочного робота и т.д.) по заранее рассчитанной траектории при заданной скорости и точности движения, а также включение и выключение различных устройств (двигателей, электромагнитных муфт, реле, пускателей и т.д.) на различных этапах работы технологического оборудования.



Станки с ЧПУ представляют собой автоматы или полуавтоматы, все подвижные органы которых совершают рабочие и вспомогательные движения автоматически по заранее установленной программе, записанной на перфоленте, магнитном диске или управляемые непосредственно от ЭВМ.


Сложные, дорогостоящие в изготовлении и в наладке кулачки, копиры и упоры в системах ЧПУ не требуются.

Это значительно удешевляет и ускоряет наладку станков с ЧПУ и делает рентабельным их применение при обработке малых партий заготовок и даже единичных заготовок (особенно при высокой сложности конструкции изготавливаемой детали).

Эффективность применения станков с ЧПУ

- повышается производительность труда, что связано с уменьшением доли вспомогательного времени с 70-80% для станков с ручным управлением, до 30-50%, а в некоторых случаях с интенсификацией режимов резания;
- повышается точность и однородность размеров и формы обрабатываемых заготовок, полностью определяемых правильностью программирования и точностью автоматических перемещений соответствующих узлов станка;

- исключаются предварительные разметочные операции;
- резко сокращаются слесарно-доводочные и другие работы;
- упрощается и удешевляется специальная оснастка, так как точность обработки обеспечивается точностью самих станков;
- сокращается время наладки и переустановки заготовок в среднем на 30%;
- резко сокращаются расходы на межстаночную транспортировку заготовок за счет концентрации операций на каждом станке;


- 
- значительно снижается потребность в высококвалифицированных станочниках, что связано с упрощением обработки сложных и точных заготовок на предварительно настроенных и автоматически работающих станках;
 - сокращается период освоения новых изделий в результате применения на станках с ЧПУ более простой и универсальной оснастки, а также за счет возможности широкого использования ЭВМ при технологической подготовке производства.

Направления применения станков с ЧПУ

1. Обработка очень сложных заготовок уникальных деталей, имеющих сложную конструкцию и различные фасонные поверхности, изготовление которых на традиционных станках невозможно или требует больших затрат времени и труда (турбинные лопатки, гребные винты, детали самолетов и т.п.).
2. Обработка заготовок обычных машиностроительных деталей с точностью 7...9 квалитета и шероховатостью $Ra = 5...10$ мкм (экономическая целесообразность применения станков с ЧПУ оправдывается уже при партиях в 15...20 шт. и более).

Внешние программноносители

- Перфокарты (в последнее время не используются).
- Перфоленты (используются крайне редко).
- Магнитные ленты (в последнее время не используются).
- Магнитная проволока (в последнее время не используется).
- Магнитные барабаны (в последнее время не используются).
- Магнитные диски (широко используются).



Транспортная дорожка, составленная из малых отверстий, предназначена для транспортирования ленты с помощью барабана в считывающем устройстве. Размещена она на ленте несимметрично, что препятствует неправильной установке в считывающем устройстве.

В последнее время устройства считывания с перфоленты из-за ряда своих недостатков и бурного развития вычислительной техники заменяются на устройства считывания программ с магнитных дисков (дискет).

Для ввода управляющих программ в систему ЧПУ с дискет российским производителям предлагается специальное устройство С-300.



- подключается непосредственно к системе ЧПУ;
- обеспечивает замену перфолен-точного ввода-вывода информации в УЧПУ на дискетный;
- обеспечивает возможность подключения ПК типа NoteBook;
- обеспечивает возможность подключения нескольких С-300 к удаленному компьютеру;
- обеспечивает хранение УП в собственной энергонезависимой памяти емкостью до 480 Кб.

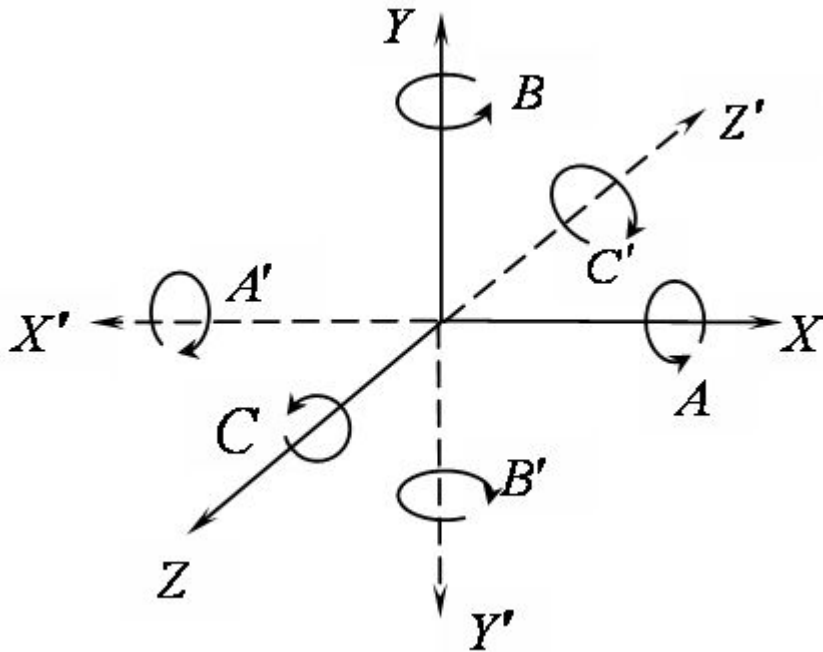
Системы координат для станков с ЧПУ

Работа станка с ЧПУ и разработка расчетно-технологических карт тесно связаны с системами координат.

В основу положена правая система координат, при которой оси X , Y , Z указывают положительные направления перемещений инструмента относительно неподвижных частей станка.

Если инструмент неподвижен, а движется заготовка относительно инструмента, то соответствующие ее положительные перемещения обозначаются буквами X' , Y' , Z' .

Стандартная система координат в станках с ЧПУ



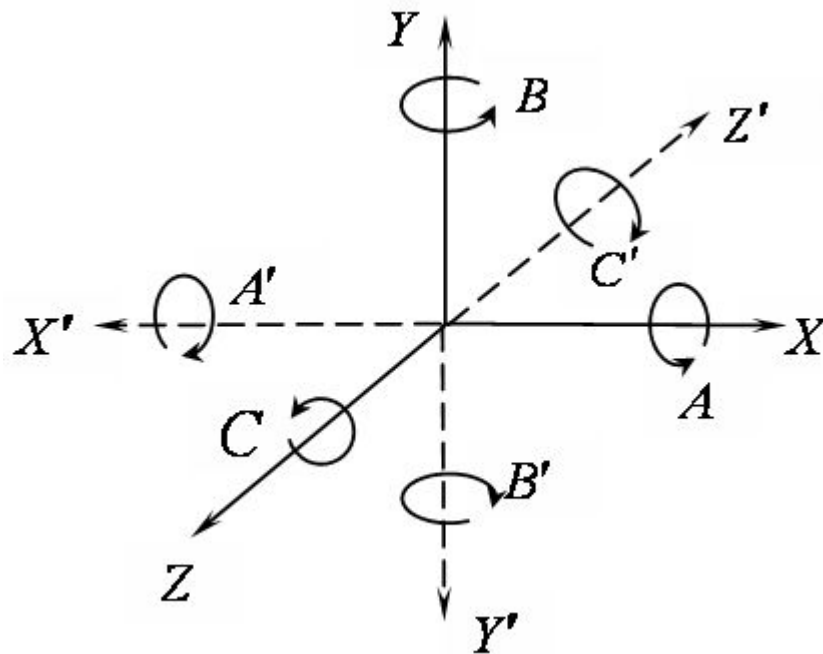
За положительные направления перемещений подвижных органов принимают такие их перемещения, при которых инструмент и заготовка удаляются друг от друга.

Кроме перечисленных принципов расположения осей пользуются еще следующими правилами: ось X всегда располагают горизонтально, а ось Z совмещают с осью вращения инструмента.

Лишь в токарных станках ось Z совмещают с осью вращения шпинделя (заготовки).

Стандартная система координат в станках с ЧПУ

Круговые перемещения инструмента относительно заготовки считаются положительными при повороте по часовой стрелке, если смотреть из начала координат в положительном направлении оси.

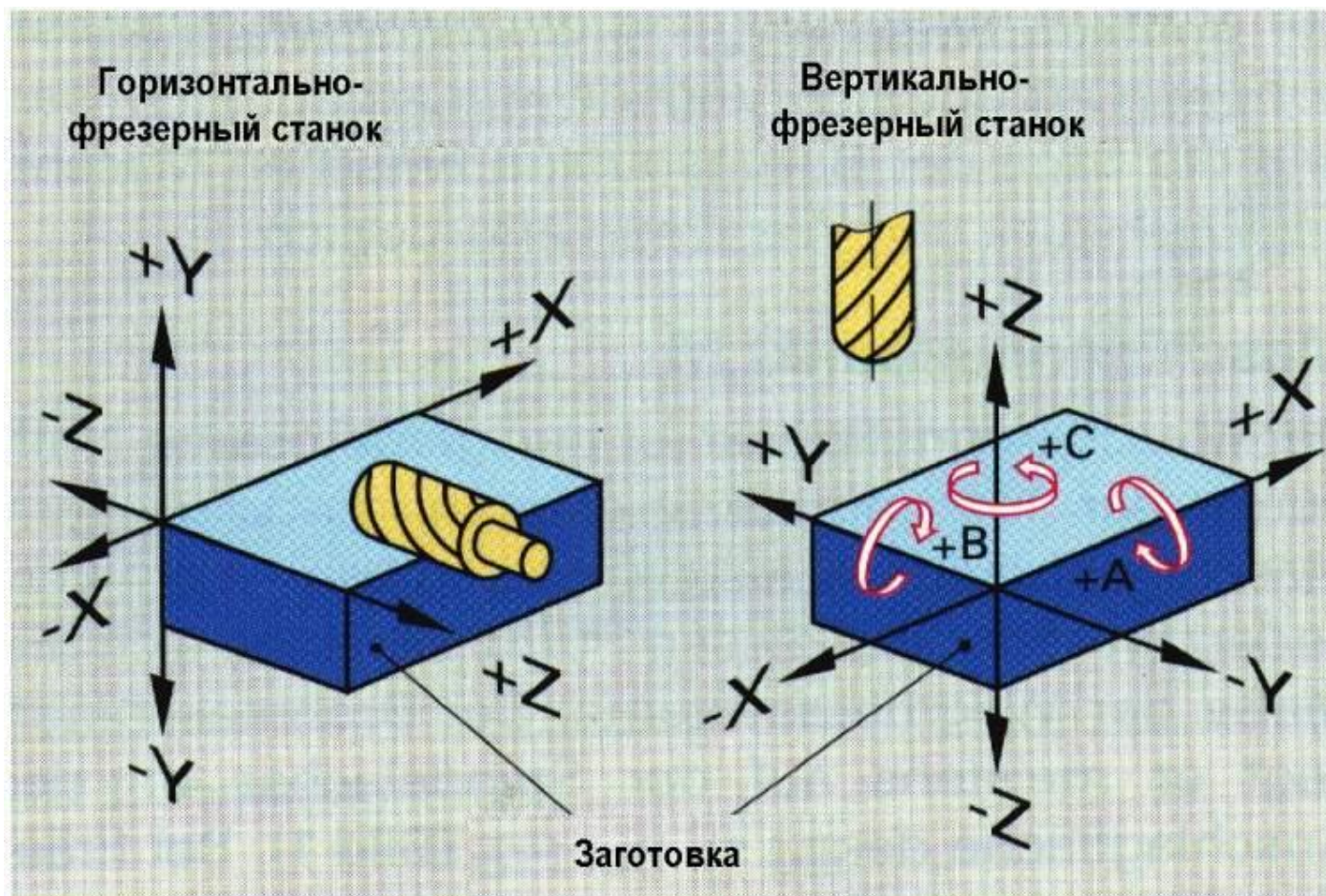


При этом поворот вокруг оси X обозначается буквой A , вокруг оси Y – буквой B , вокруг оси Z – буквой C .

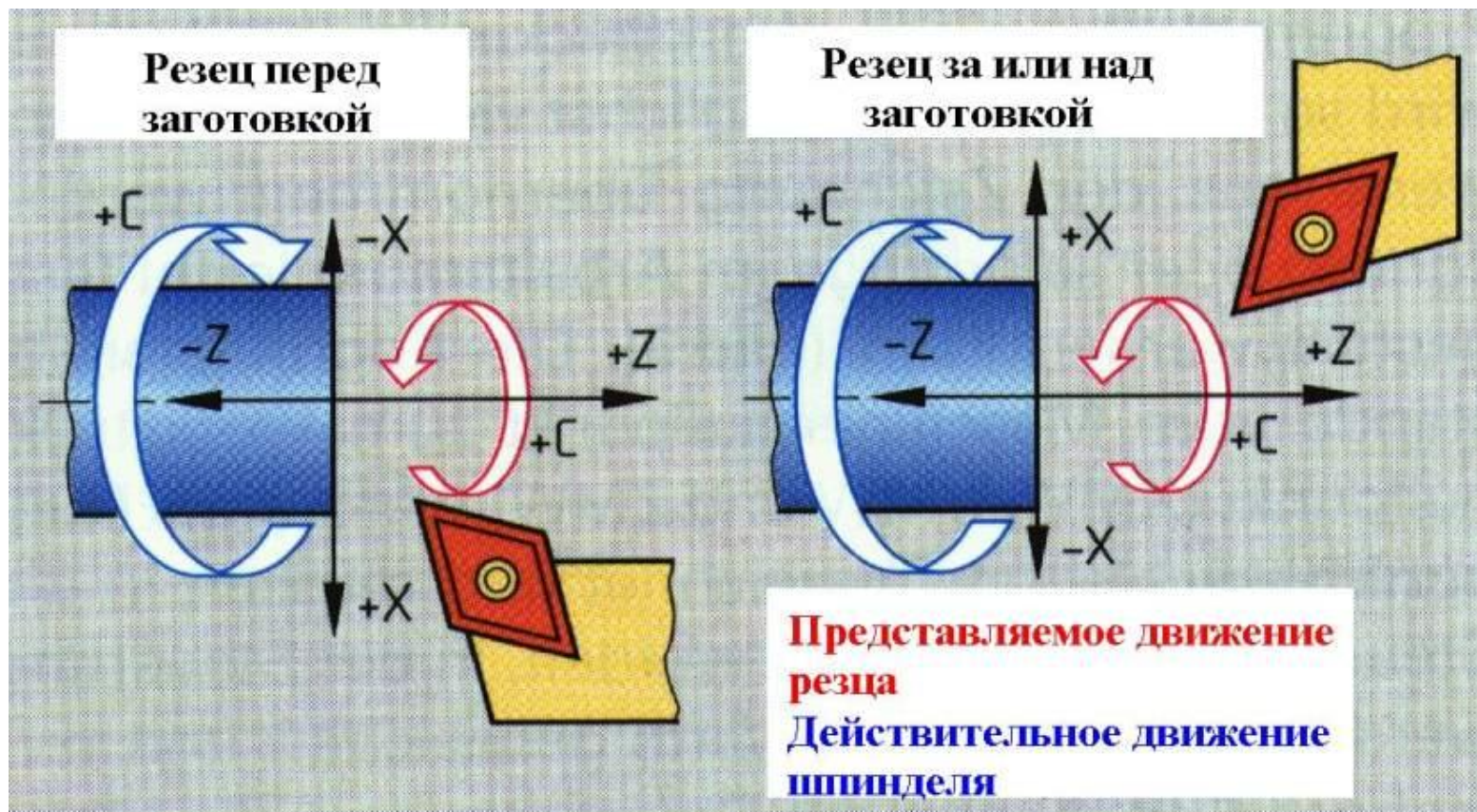
Круговые перемещения заготовки обозначаются соответственно буквами A' , B' , C' , а положительные направления меняются на обратные.

Координатные системы фрезерного станка с ЧПУ

На вертикально-фрезерном и горизонтально-фрезерном станках с ЧПУ оси координат относительно заготовки располагаются по-разному

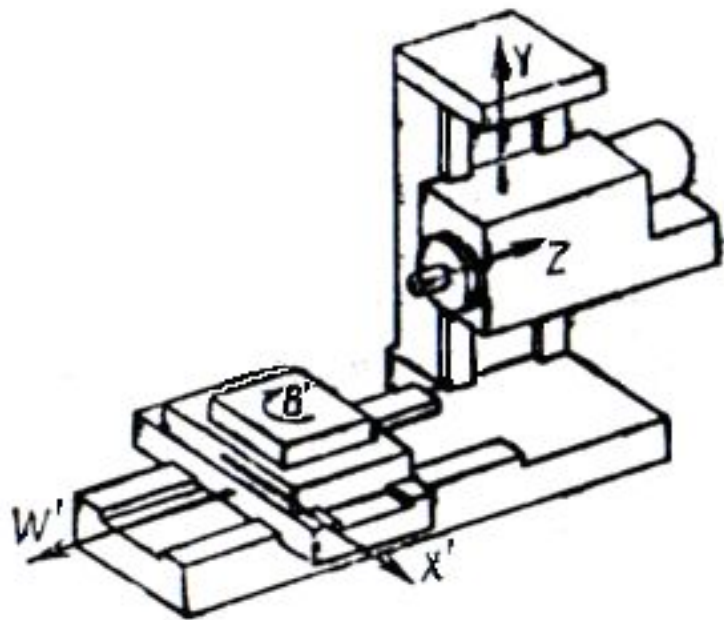


Координатные системы токарного станка с ЧПУ

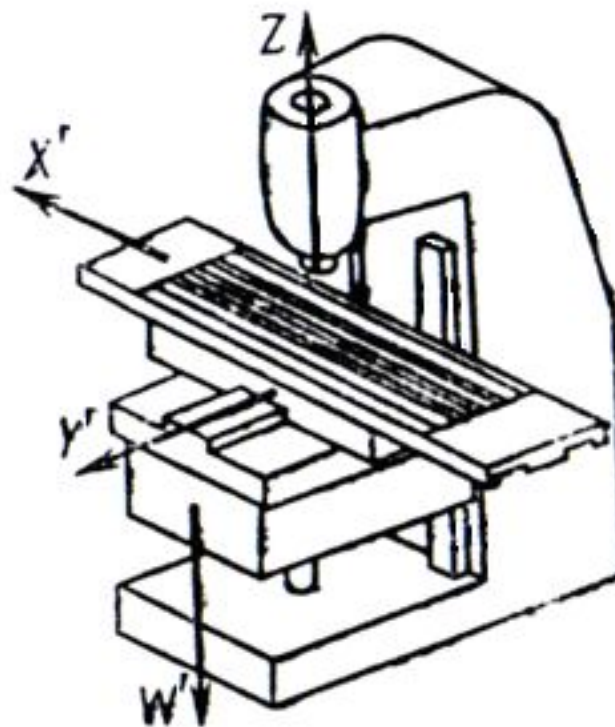


Координата X определяет диаметральные размеры заготовки и используется для их задания при программировании, а также для коррекции инструмента.

Если в станке кроме движений по трем координатам имеются программируемые перемещения других органов в параллельных направлениях, то соответствующие вторичные и третичные оси обозначаются буквами: U, V, W – вторичные оси; P, Q, R – третичные оси.



Горизонтально-расточной
станок с ЧПУ

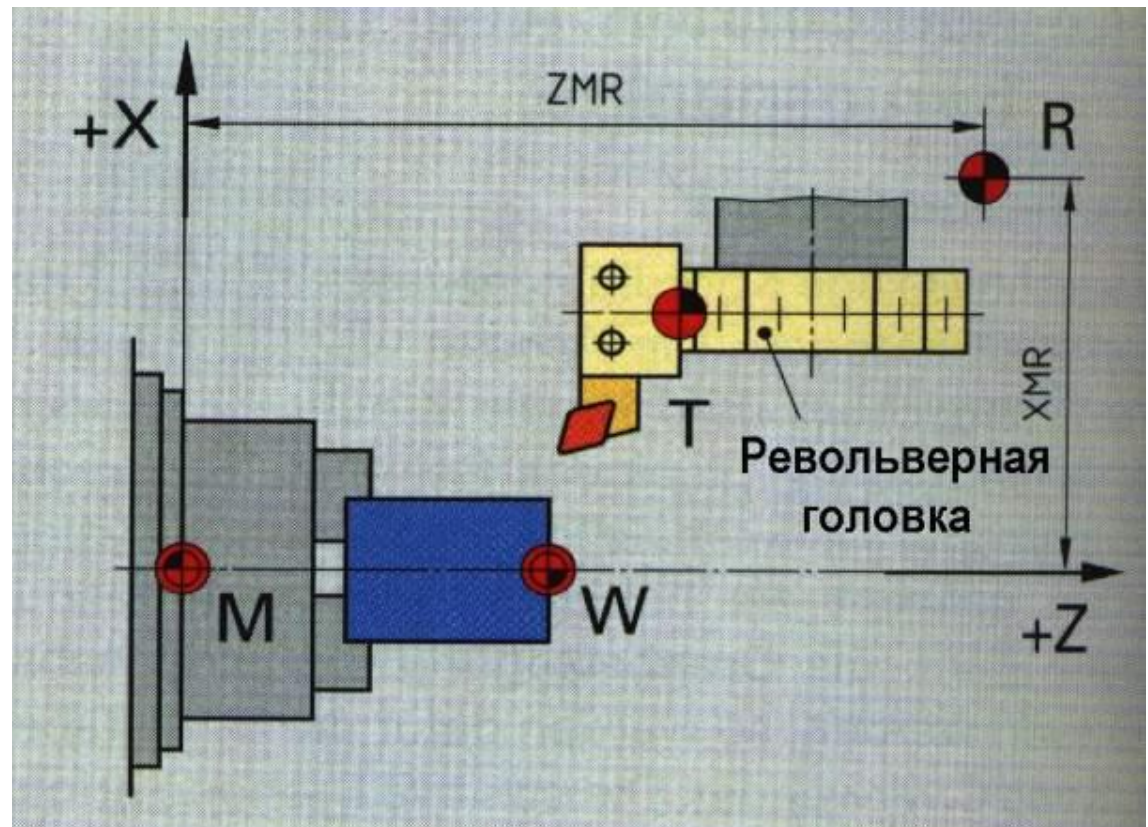


Вертикально-фрезерный
станок с ЧПУ

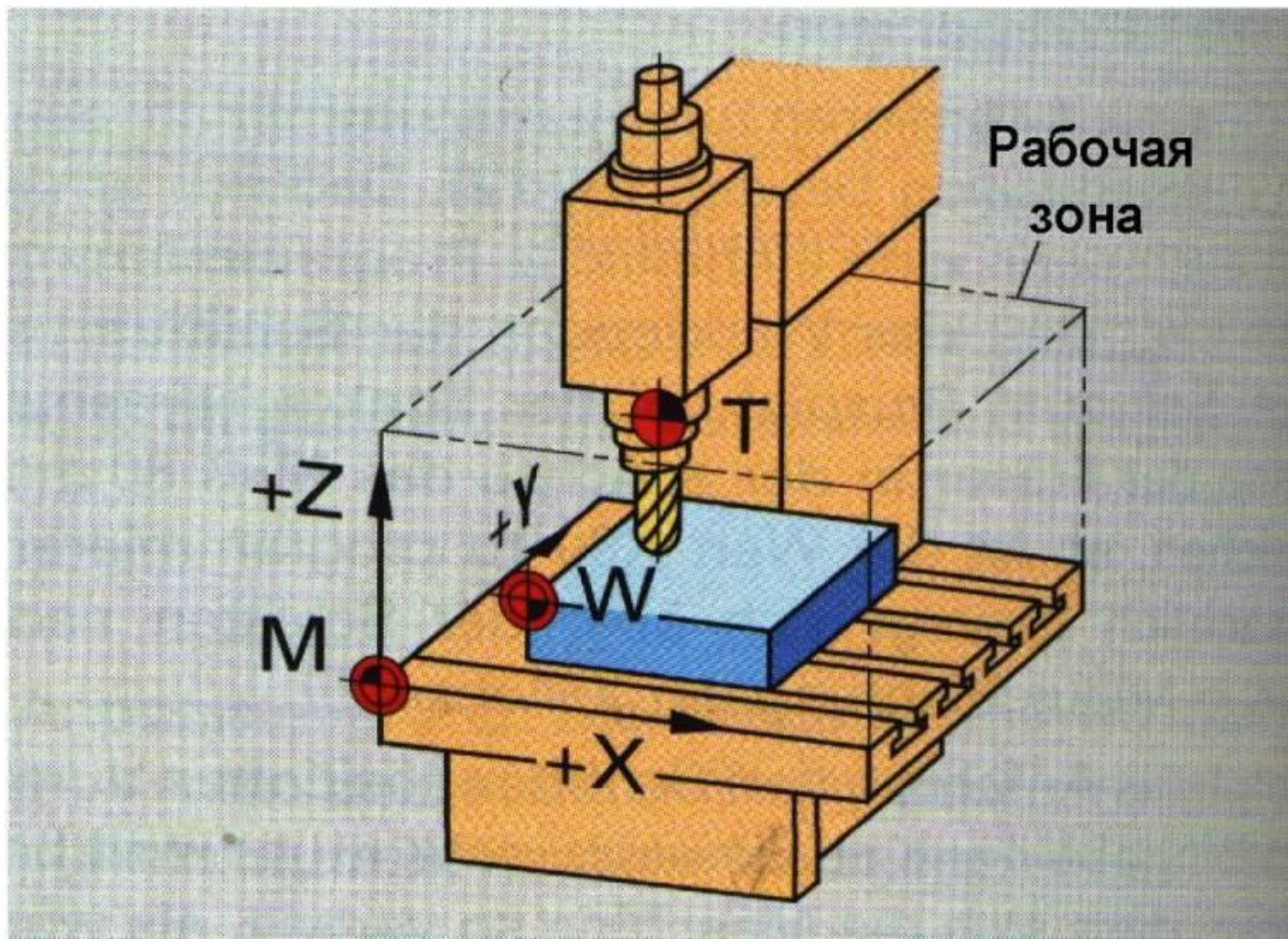
Точка начала координат станка M

Эта точка принимается за начальную точку всей системы. Ее устанавливает изготовитель станка, она заложена при проектировании и изменена быть не может.

У токарных станков эта точка обычно находится на оси шпинделя станка и на поверхности фланца шпинделя, на котором закрепляется патрон.



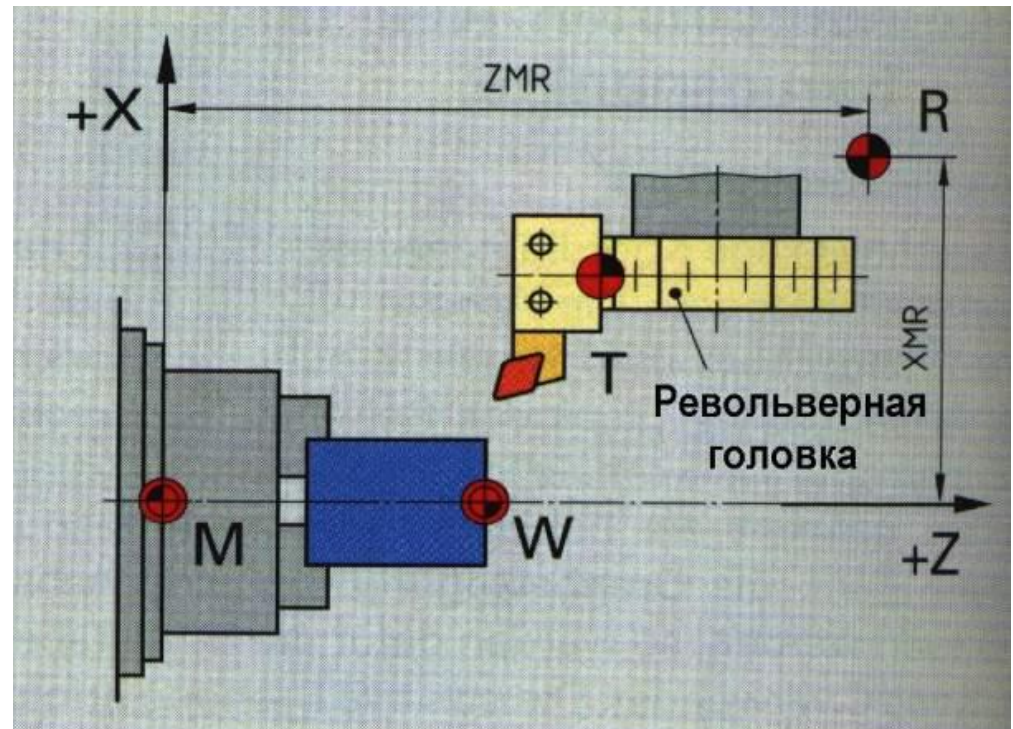
У фрезерных станков положение центра координат может быть, в зависимости от изготовителя, различным. Но обычно оно находится в углу рабочей области.



Точка начала отсчета R

На некоторых станках задается точка, в которую возвращается система (суппорт) по специальной команде системы управления. Это может быть «нулевое» положение суппорта, из которого он совершает программируемые перемещения.

Расстояния до этой точки от «нуля» системы координат станка XMR и ZMR задаются с высокой точностью и могут быть проверены.



Координаты *XMR* и *ZMR* существенно влияют на точность получаемых размеров. Так как инструмент позиционируется от этой точки, а заготовка от «нулевой» точки станка.

Точка позиционирования державки инструмента T

Это точка, определяющая положение державки инструмента.

Должны быть известны координаты этой точки относительно начала координат всего станка **M** или точки начала отсчета **R**.

Относительно этой точки производится контроль положения режущих лезвий инструмента.

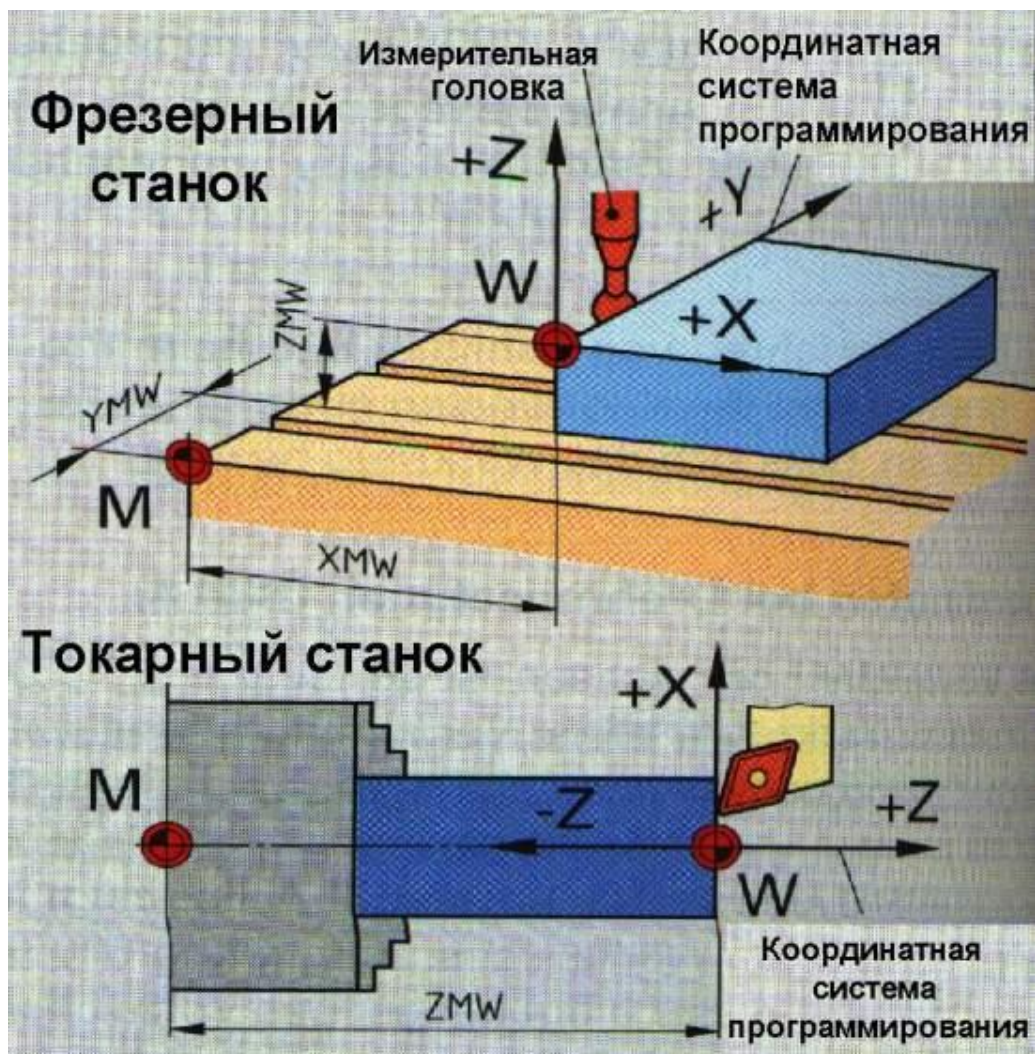
Точка начала координат заготовки **W**

При программировании геометрических параметров заготовки все размеры должны относиться к началу координат станка **M**.

Точку начала координат заготовки **W** программист выбирает так, чтобы ее положение относительно начала координат станка можно было легко устанавливать и контролировать.

Размеры до начала координат заготовки *X_{MW}*, *Y_{MW}* и *Z_{MW}* называются сдвигом начала координат и должны задаваться системой управления.

Координаты X_{MW} , Y_{MW} и Z_{MW} должны быть учтены при настройке станка и установке приспособления для закрепления заготовки.



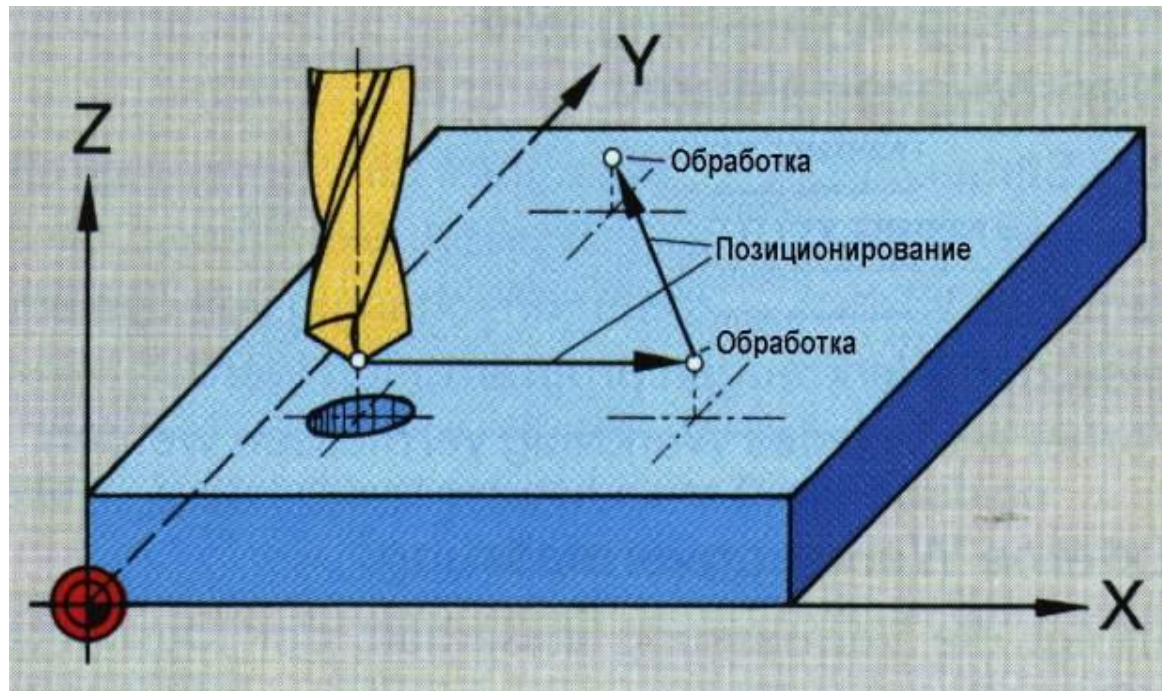
Системы ЧПУ и их возможности

По характеру управления движениями рабочих органов станка системы ЧПУ делятся на три группы :

- позиционные;
- контурные;
- смешанные.

Позиционное управление

Позиционное управление представляет собой числовое программное управление станком, при котором перемещение его рабочих органов происходит в заданные точки, причем траектории перемещения не задаются.



Задачей позиционной системы программного управления в большинстве случаев является обеспечение точной установки инструмента или заготовки в рабочую позицию, при этом перемещения от одной позиции к следующей осуществляются без функциональной связи между координатами станка.

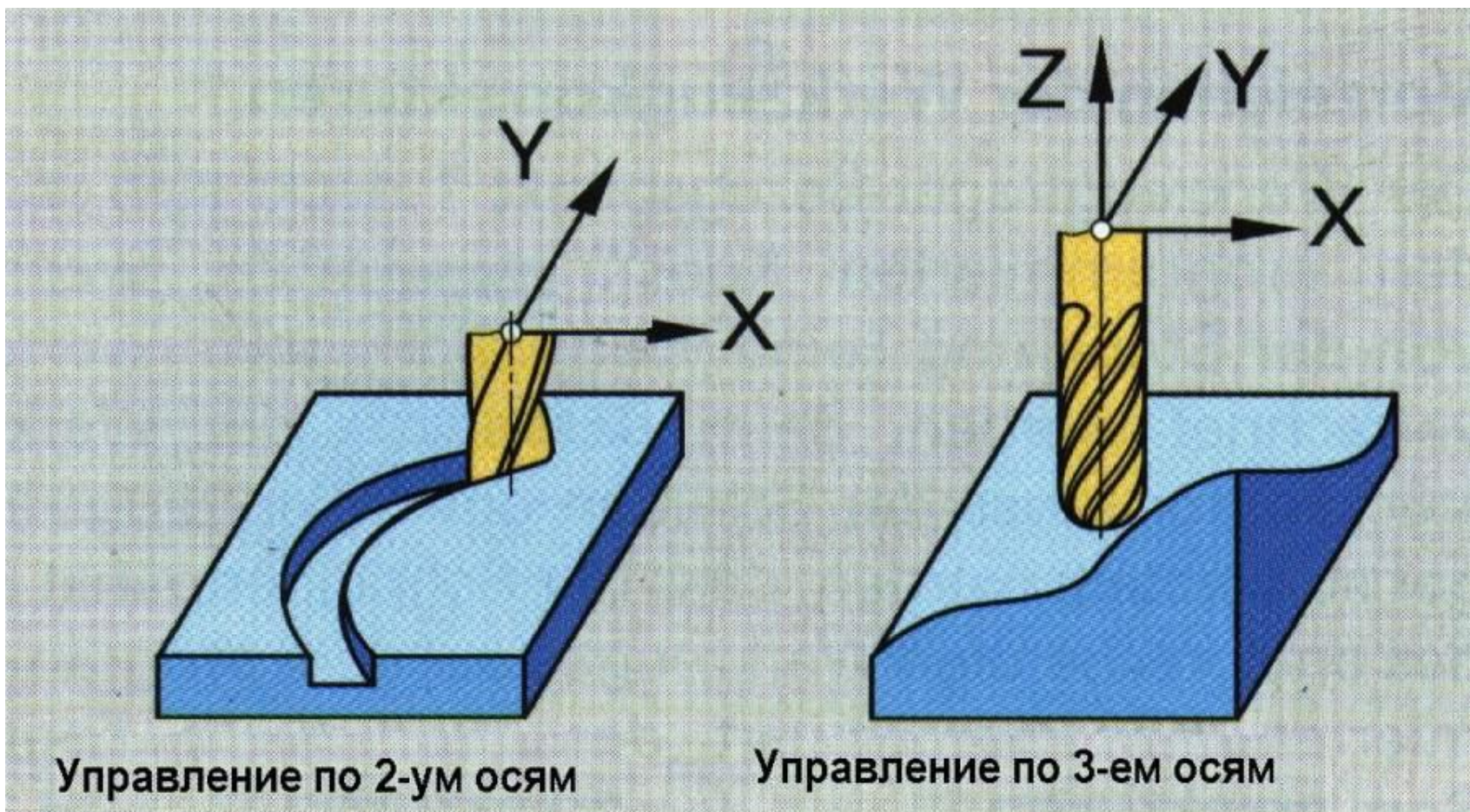
Позиционные системы применяются преимущественно на:

- расточных и сверлильных станках (где важно обеспечить только высокую точность совмещения оси шпинделя с осью обрабатываемого отверстия);
- штамповочных прессах;
- машинах для точечной сварки.

Контурное управление

Контурное управление представляет собой числовое программное управление станком, при котором перемещение его рабочих органов происходит по заданной траектории и с заданной скоростью для получения необходимого контура обработки.

Контурная система ЧПУ предназначена для управления по двум и более координатам совместными движениями одного, двух и более рабочих органов при наличии непрерывной функциональной связи между ними, что необходимо для обработки заготовок сложной конфигурации, ограниченных криволинейными поверхностями.



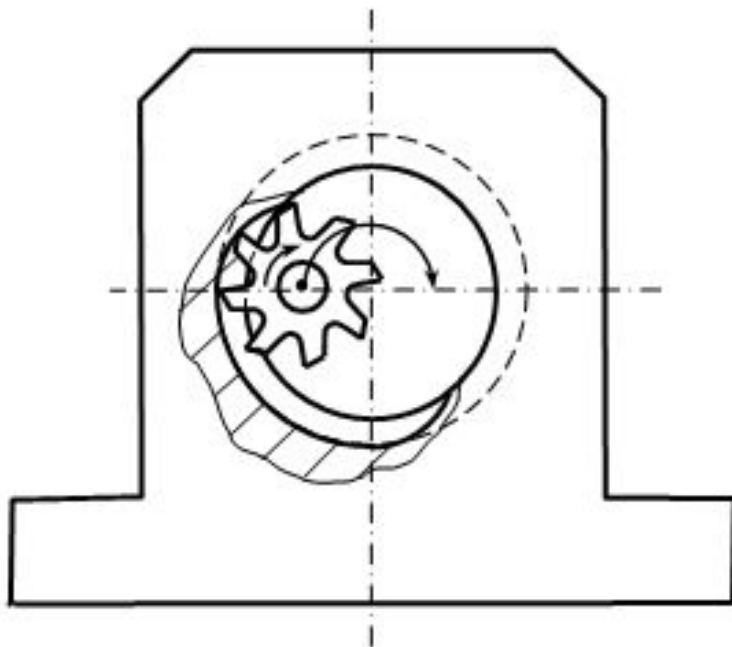
Такими системами оснащаются обычно токарные и фрезерные станки.

Смешанное управление

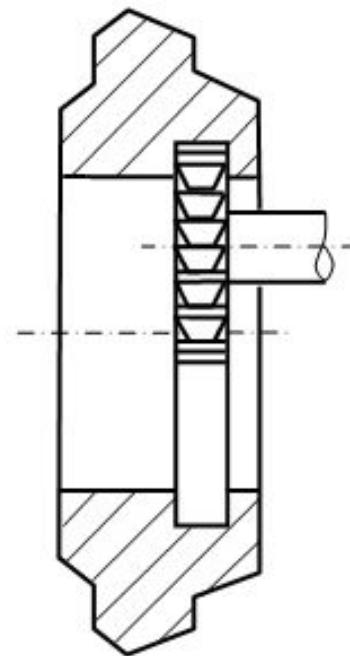
Смешанное контурно-позиционное управление станками

- аналогично по своим возможностям контурным системам;
- обладает преимуществами позиционного и контурного управления;
- применяется на многооперационных и расточных станках с целью расширения их технологических возможностей.

На расточном станке со смешанной системой управления вместо чернового растачивания отверстие можно расфрезеровать, что является более производительным.



Растачивание канавки также может быть заменено фрезерованием, причем для реализации этого процесса требуется не более трех управляемых от СЧПУ движений.



Существует еще две разновидности систем ЧПУ:

- цифровой индикации положения;
- цифровой индикации с ручным вводом данных.

Системы цифровой индикации применяются на обычных универсальных станках практически без всякой их переналадки. На экране такой системы непрерывно указываются численные значения координат подвижных органов станка.

Сигналы поступают от датчиков положения, устанавливаемых на подвижных органах. Эти сигналы после соответствующих преобразований поступают в специальное устройство, называемое визуализатором.

На световом табло визуализатора непрерывно высвечиваются численные значения координат рабочих органов станка, что позволяет оператору сократить время на выверку положений этих органов и замеры в процессе обработки.

Часто система кроме визуализатора оборудуется пультом с панелью набора значений координат, на которые должны выйти подвижные органы станка после включения движения подачи.

Такая система называется системой цифровой индикации с ручным вводом данных.

Правильность отработки набранных координат контролируется по визуализатору.

В моделях станков СЧПУ обозначаются:

- Ф1 – с цифровой индикации положения, а также с ручным вводом данных;
- Ф2 – позиционная;
- Ф3 – контурная;
- Ф4 – смешанная.

Кроме того, в модели станка используются индексы, отражающие его конструктивные особенности, связанные с автоматической сменой инструмента:

- Р – поворотом револьверной головки;
- М – из магазина инструментов.

Примеры моделей: 2Р135РФ2-1; 16К20Ф3; 6Р13РФ3; 6550РФ3; 2254ВМФ4; ИР500ПМФ4.

В соответствии с международной классификацией все системы числового программного управления по уровню технических возможностей делятся на следующие классы:

- NC – системы с покадровым чтением перфоленты на протяжении цикла обработки каждой заготовки;
- SNC – системы с однократным чтением всей перфоленты перед обработкой партии одинаковых заготовок;
- CNC – системы со встроенной мини-ЭВМ (компьютером, микропроцессором);
- DNC – системы прямого числового управления группами станков от одной ЭВМ
- HNC – операционные системы с ручным набором программ на пульте управления;
- PCNC – системы управления станком от персонального компьютера.

Способ и начало отсчета координат

Используется два способа отсчета координат:

- абсолютный;
- относительный (в приращениях).

При абсолютном способе отсчета положение начала координат остается фиксированным (неподвижным) для всей программы обработки заготовки.

На программноносителе (и при расчете) записываются абсолютные значения координат последовательно расположенных опорных точек, заданных от начала координат.

При выполнении такой программы станок каждый раз отсчитывает координаты от этого начала. В результате погрешности перемещений, неизбежные при работе любого станка, не накапливаются в процессе выполнения программы.

Для удобства проведения расчетов и настройки станков начало координат может быть выбрано в любом месте в пределах ходов рабочих органов станков.

Такое смещение начала координат называется *плавающим нулем* и используется в сверлильных и расточных станках с позиционными системами ЧПУ.

В системах с относительным способом отсчета координат за нулевое каждый раз принимается положение рабочего органа, которое он занимал перед началом очередного перемещения к следующей опорной точке.

Точность положения подвижного органа в данной точке зависит при этом от точности отработки координат всех предыдущих точек (начиная с исходной). В результате происходит накопление погрешности перемещений.

Относительный способ отсчета используется в контурных системах отсчета.

При абсолютном способе отсчета размеров целесообразно применять координатный метод простановки размеров в обрабатываемых заготовках.

При относительном способе отсчета размеров наиболее рациональной является простановка размеров в заготовке цепочкой.

Интерполяция и дискретность

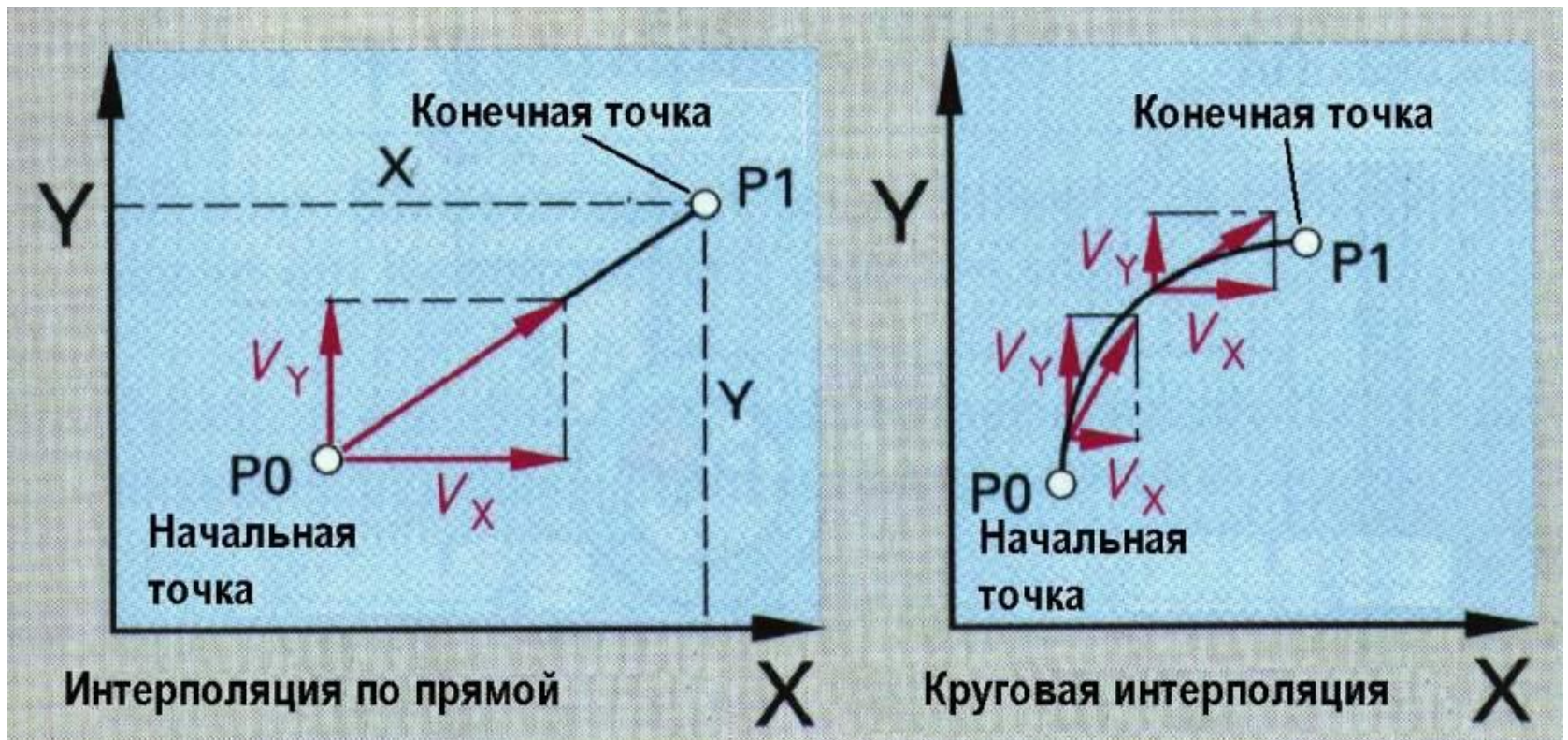
Одним из основных узлов контурных устройств числового программного управления (УЧПУ) является интерполятор.

Интерполятор – устройство, формирующее траекторию движения объекта управления по заданному закону между двумя опорными точками контура детали, координаты которых указаны в управляющей программе.

Характер движения инструмента между соседними опорными точками определяется видом интерполяции.

Различают следующие виды интерполяции:

- линейную;
- круговую.



Интерполятор обеспечивает такое распределение поступающих импульсов во времени между приводами подач, при котором инструмент перемещается с максимальным приближением к заданной прямой (или линейной интерполяции) или к дуге окружности (при круговой интерполяции) с определенными шагами движения.

Наименьший контролируемый процессом управления шаг в перемещении рабочего органа, осуществляемый от одного управляющего импульса, называется *дискретностью* отработки перемещений.

Дискретность обработки перемещений выражается в миллиметрах на один управляющий импульс и в современных станках составляет от 0,001 до 0,01 мм/имп.

Современные УЧПУ обеспечивают движение от точки к точке траектории и по более сложной кривой (например, параболическая или сплайновая интерполяция при пяти координатной обработке).

Технологические возможности фрезерных станков с ЧПУ

- Позволяют проводить обработку при встречном и попутном фрезеровании.
- Осуществляют обработку по одной программе как новыми, так и переточенными фрезами с компенсацией уменьшения их диаметра при переточке за счет работы блока смещения эквидистанты.
- В большинстве случаев управляются одновременно по трем координатам (может быть и более).

- Оснащаются устройствами автоматической смены инструментов.
- Обладают возможностью автоматического изменения скоростей вращения шпинделя.
- Оснащаются круглыми рабочими или встроенными столами с точной индексацией по углу, позволяющими выполнить сложную обработку заготовок за один установ (обрабатывать взаимно перпендикулярные (параллельные) плоскости, обеспечивая их неперпендикулярность (непараллельность) в пределах 0,05 мм на 500 мм длины, или растачивать точные соосные отверстия с двух сторон, обеспечивая их несоосность в пределах 0,05 мм на длине 500 мм).

- Позволяют производить фрезерование в автоматическом режиме плоских контуров различной кривизны (например, дисковые кулачки для станков-автоматов), объемное фрезерование, сверление, зенкерование, растачивание.
- Обеспечивают точность обработки контура в пределах $\pm 0,05$ мм, а точность получения линейных размеров до 10 квалитета.

Технологические возможности сверлильных и расточных станков с ЧПУ

Сверлильные станки

- Позволяют обрабатывать отверстия без кондукторов.
- При оснащении револьверными головками с автоматической сменой инструмента позволяют обрабатывать несколько разных отверстий разными инструментами.
- Обеспечивают точность межцентровых расстояний в пределах $\pm 0,05$ мм.

Расточные станки

- Оснащаются поворотными инструментальными стойками для ускорения поиска нужного инструмента.
- Позволяют с одного установка обрабатывать в заготовках системы точных отверстий с точными межцентровыми расстояниями, а также группы крепежных отверстий, связанные с точными отверстиями местной системой координат (отверстия для присоединения деталей типа крышек, фланцев и т.п.).
- Оснащаются поворотным столом (горизонтально-расточные станки).

- Обеспечивают высокопроизводительную обработку соосных отверстий консольным инструментом отдельно с двух сторон заготовки с использованием поворота стола на 180° .
- Используют развертки взамен расточных блоков для окончательной обработки отверстий по 7 качеству точности даже для больших диаметров (200 мм и более), что позволяет получить точное отверстие с высоким качеством поверхности без сложной и длительной настройки инструмента на размер.
- Позволяют выполнять межцентровые расстояния с точностью до $\pm 0,01$ мм (для координатно-расточных станков с ЧПУ – $\pm 0,001$ мм).

Технологические возможности многооперационных станков с ЧПУ (обрабатывающих центров)

- Позволяют проводить многокоординатную обработку (3-х, 4-х, 5-ти координатную обработку).
- Оснащаются магазинами на 30...150 инструментов для его автоматической смены.
- Могут выполнять все виды фрезерных, сверлильных и расточных работ, необходимых при обработке корпусных заготовок.

- Обеспечивают точность диаметральных размеров по 6...7 квалитетам, линейных размеров при фрезеровании по 8...10 квалитетам, линейных размеров при обработке резцами по 8...9 квалитетам, точность позиционирования $\pm 0,005...0,01$ мм.
- Обеспечивают точность установки заготовок по осям X и Y $\pm 0,01$ мм, а точность повторной установки $\pm 0,0025$ мм.

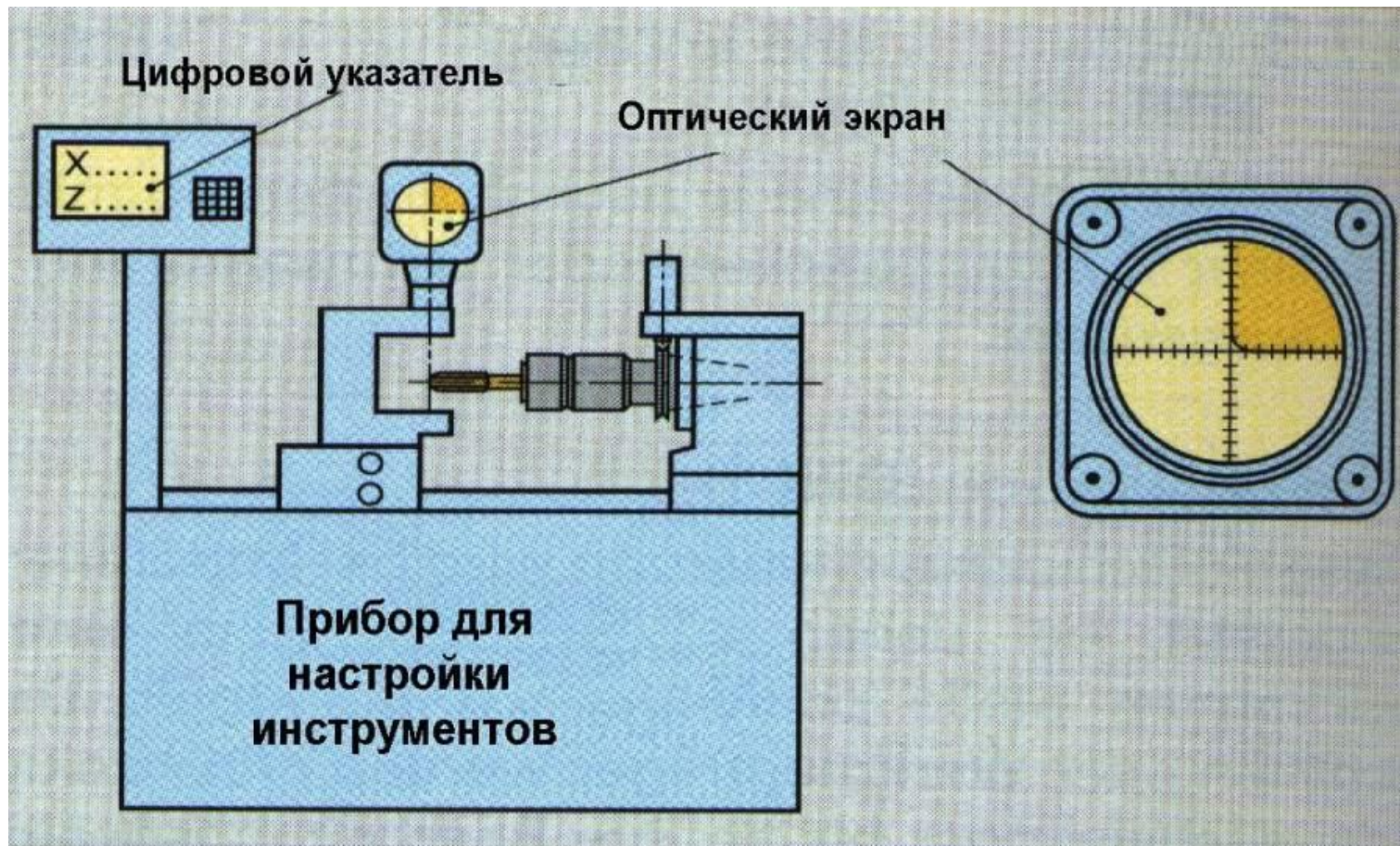
Технологические возможности токарных станков с ЧПУ

- Позволяют проводить обработку заготовок сложного профиля, нарезание резьбы, коррекцию положения режущей кромки инструмента и обеспечивают высокую скорость холостых перемещений.
- Оснащаются револьверными головками или магазинами сменных резцовых блоков, позволяющими осуществлять автоматическую смену инструмента.

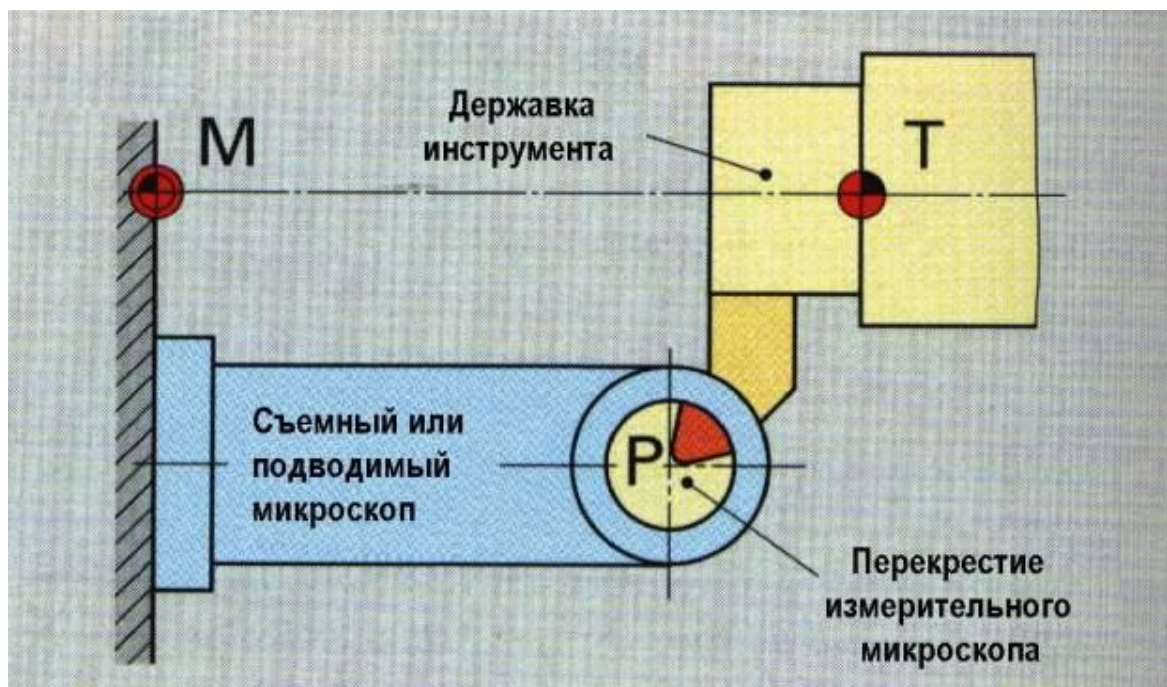
- Обеспечивают точность получения диаметральных размеров по 6 квалитету, а линейных размеров по 8 квалитету (однако, из-за быстрого размерного износа инструмента, так называемая средне-экономическая точность получения диаметральных размеров составляет 8 квалитет, а линейных размеров – 9...10 квалитет).
- Обеспечивают шероховатость обработанных поверхностей $Ra = 1,25...4$ мкм.

- Станки особо высокой точности способны обеспечить точность диаметральных размеров до 5 квалитета, а линейных до 7...8 квалитета (например, станок ТПК–125М, максимальная глубина резания на котором не должна превышать 0,5 мм).
- Обеспечивают установку инструмента в головку или резцедержатель без дополнительной выверки, при настройке инструмента на размер в специальном оптическом приспособлении вне станка с погрешностью настройки в пределах $\pm 0,02$ мм.

Настройка инструмента вне станка



Настройка инструмента вне станка иногда неудобна и вносит дополнительные погрешности, связанные с его переустановкой. Поэтому иногда применяют специальные подводимые или съемные приспособления, позволяющие контролировать положение режущих кромок инструмента непосредственно на станке.



Настройка новейших токарных станков с ЧПУ осуществляется с использованием специальных датчиков касания, которые одновременно служат и для коррекции положения инструмента в связи с его износом.

Это позволяет обеспечивать автоматическую корректировку положения инструмента, что приводит к увеличению точности обработки.