



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Авиастроение»

Методические указания
к выполнению практических занятий
**«Современное
металлообрабатывающее
оборудование с ЧПУ»**

Авторы
Сибирский В. В.,
Чигринец Е. Г.,
Чотчаева С. К.

Ростов-на-Дону, 2019

Аннотация

Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Современное металлорежущее оборудование с ЧПУ» содержат информацию о современных методах и технологических решениях в области металлообработки, принцип работы и устройства многоцелевых обрабатывающих центров. Могут быть использованы студентами кафедры «Авиастроения» всех форм обучения по направлению подготовки бакалавриата 24.03.04 - Авиастроение, профиль – Вертолетостроение.

Авторы

	К.Т.Н., доцент, доцент кафедры «Авиастроение» ДГТУ Сибирский В.В.
	К.Т.Н., начальник группы расчета управляющих программ отдела систем автоматизации технологического проектирования ПАО «Роствертол», Чигринец Е.Г.
	К.Т.Н., заведующая лабораторией «Авиастроение» ПАО «Роствертол» Чотчаева С.К.



Оглавление

Введение.....	4
1. Предмет, цели и задачи проведения практических занятий.....	4
2. Особенности деталей авиационных конструкций и обоснование необходимости применения многокоординатной обработки.....	5
3. Классификация фрезерных ОЦ.....	10
4. Основные кинематические схемы и конструктивные особенности многоцелевых обрабатывающих центров.....	13
5. Кинематика и основные узлы фрезерных и токарно-фрезерных обрабатывающих центров MAZAK.....	20
6. OMV технологии.....	41
6.1 Нулевая точка программы и рабочая система координат.....	41
6.2 Станочные датчики для привязки и измерения.....	42
6.3 Концепция OMV-измерений.....	44
6.4 Адаптивная механическая обработка.....	45
Приложение.....	48
Список использованных источников.....	58

Введение

Значение авиастроительной отрасли и вертолетостроения в частности для современного общества неопределимо, поскольку именно эти высокотехнологичные и наукоемкие области являются концентраторами знания и катализаторами прогресса в других областях промышленности, обеспечивая появление прорывных технологий. Темпы технического развития промышленности с каждым годом только увеличиваются. Появляются новые материалы, методы изготовления и обработки, конструкция узлов и сборочных единиц усложняется, требования к точности и качеству деталей возрастают. Основной же задачей технолога механообрабатывающего производства является реализация задумки конструктора с минимальными технологическими затратами, но при этом выдерживая нормы точности и показатели качества, заданные конструкторской документацией. Невозможность изготовления детали на существующем оборудовании, либо экономическая нецелесообразность ее серийного производства в виду значительных затрат является одним из сдерживающих факторов развития авиастроения.

Таким образом, для создания продукции, способной конкурировать на мировом рынке, необходимо располагать прогрессивной технологией ее изготовления. Данное требование может быть реализовано применением высокопроизводительного быстропереналаживаемого оборудования – обрабатывающих центров (ОЦ) с числовым программным управлением (ЧПУ). Использование современных фрезерных и токарно-фрезерных ОЦ вносит существенные изменения в саму технологию изготовления: увеличивается концентрация операций, уменьшается число установов, что влечет за собой повышение точности обработки, количество слесарных доработок снижается до минимума и часто ограничивается лишь снятием заусенцев.

Подготовка специалистов авиастроительного профиля невозможна без ознакомления с современными станками с ЧПУ и определенными нюансами разработки технологии металлообработки с применением многоосевых ОЦ.

1. Предмет, цели и задачи проведения практических занятий

Предметом практических занятий по дисциплине «Технология производства летательных аппаратов» является вертолет как объект производства.

Целью занятий является формирование у студентов знаний о прогрессивных методах и технологиях механической обработки деталей летательных аппаратов, возможностях современного металлообрабатывающего оборудования, формирование компетенций, позволяющих избегать необоснованные конструктивные и технологические решения, усложняющие процесс изготовления каждой конкретной детали.

Задачами практических занятий являются:

- закрепление теоретических знаний, полученных при изучении курса «Технология изготовления деталей летательных аппаратов»,
- наглядное ознакомление с основными узлами современного металлообрабатывающего оборудования, изучение принципов его работы и кинематики,
- получение практических навыков определения типа требуемого оборудования в зависимости от маршрута обработки и конструктивно-технологических особенностей детали,
- изучение технологических возможностей 3-х, 4-х и 5-ти координатных обрабатывающих центров на примере оборудования «Yamazaki Mazak» (Япония),

– приобретение навыков и технической информации для выполнения курсовой работы по дисциплине «Технология изготовления деталей летательных аппаратов» и соответствующих разделов дипломного проекта

2. Особенности деталей авиационных конструкций и обоснование необходимости применения многокоординатной обработки

Существует постоянная взаимосвязь между конструкцией летательного аппарата и технологией его изготовления. При конструировании ввиду высоких требований к надежности изделия руководствуются условием максимальной прочности и жесткости авиационной детали при минимальной массе. В результате большинство деталей вертолета имеют специфические особенности, резко отличающие их от конструкций деталей общего машиностроения. К этим особенностям относится большое количество карманов облегчений, подсечек, малок (угол сопряжения поверхностей не равен 90°), ребер жесткости малой толщины и в разных плоскостях, сложная пространственная геометрия, наличие теоретических контуров, описываемых сложными сплайновыми¹ кривыми и поверхностями, применение плазово-шаблонного метода изготовления деталей.

Детали силового набора вертолета (например, боковина шпангоута, см. рис. 2.1) имеют тонкостенные ребра жесткости с двух сторон (толщиной от 3 мм), большое количество карманов, теоретический контур поверхностей, которыми деталь прилегает к аэродинамическим обводам вертолета. Подобные детали обрабатывают на 3-х координатных станках при условии отсутствия закрытых малок.

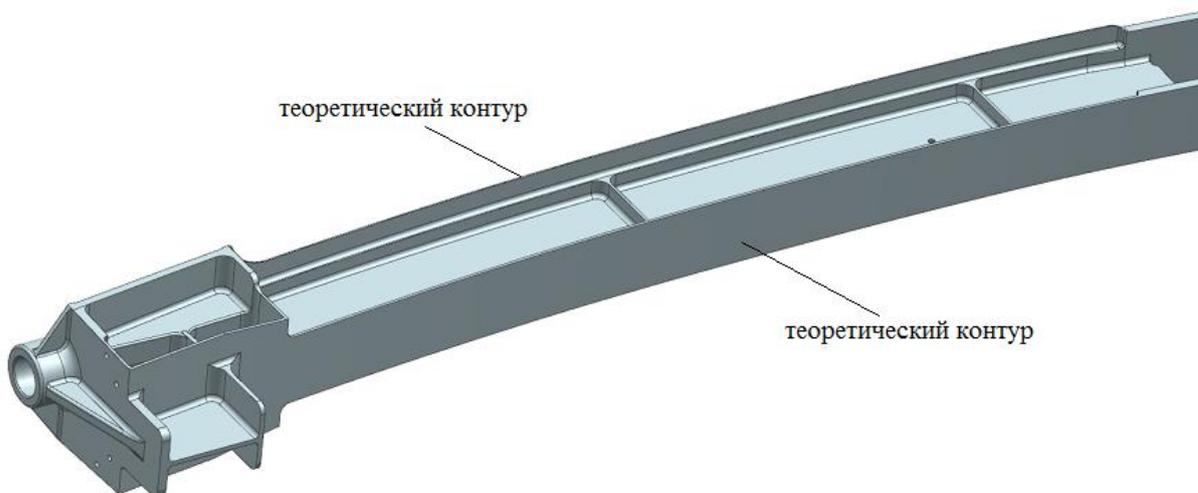


Рис. 2.1 Боковина шпангоута (АК6, габарит 1400×240×160 мм)

В процессе разработки технологических процессов механической обработки крупногабаритных деталей (рис. 2.1) необходимо использовать такие приемы и методы обработки, которые бы вызвали минимальное коробление и деформацию детали под действием внутренних напряжений. Необходимо избегать односторонней механической обработки, не допускать диспропорции в величине снимаемого припуска с обеих сторон заготовки, использовать обработку за несколько установов по схеме припусков 5 мм – 1 мм – 0 мм. Одним из способов снижения деформаций на операциях фрезерования является расчет припусков на обработку с учетом

¹ Сплайн – геометрический элемент, представляющий собой непрерывную плавную кривую линию (одномерный сплайн) или поверхность (двумерный сплайн), проходящий через заданные точки по определенному аналитическому закону.

соблюдения равновесия статических моментов частей поперечного сечения детали относительно ее центра тяжести. Для снижения максимальных остаточных напряжений и выравнивания общей эпюры распределения внутренних напряжений после операций чернового фрезерования рекомендуется применять термообработку деталей. На этапах проектирования заготовки детали, склонной к короблению, технолог может заложить в конструкцию так называемые технологические «законцовки», для использования всестороннего и равномерного растяжения заготовки с остаточной деформацией 1...3% для снижения значений коробления.

Заготовки крупногабаритных деталей вертолета из алюминиевых сплавов рекомендуется получать методом штамповки, которая по форме максимально приближена к готовой детали. В этом случае припуски на механическую обработку будут минимальны, а, следовательно, и степень коробления. Но изготавливать штамповку не всегда возможно по экономическим и производственным причинам: сложность штампа, отсутствие оборудования достаточной мощности, экономическая нецелесообразность. В этом случае для изготовления деталей используют заготовки, получаемые методомковки – поковки и вырезанные из листа.

В конструкции вертолета широко используются панели (рис. 2.2), которые образуют поверхности одинарной и двойной кривизны крыла, фюзеляжа, стабилизаторов, являются элементами топливных баков, ящиков и перегородок. Применение монолитных панелей взамен клепанных позволяет снизить количество соединений, что благоприятно сказывается на жесткости конструкции, а также уменьшить общую массу узла.

Изготовление монолитных панелей из плит методом фрезерования позволяет получать любую схему подкрепляющего набора [1].

Кроме увеличения степени коробления при замене штампованных заготовок на поковки увеличивается материалоемкость и отход металла в стружку. На рис. 2.3 представлена деталь «качалка» и ее заготовка из алюминиевого сплава АК6. При массе готовой детали 0,37 кг вес заготовки 6,3 кг. Коэффициент материалоемкости $K_M=0,06$. Для общего машиностроения такие значения K_M не допустимы (рекомендуется $K_M \rightarrow 0,9$), но в авиастроении вполне обоснованы.

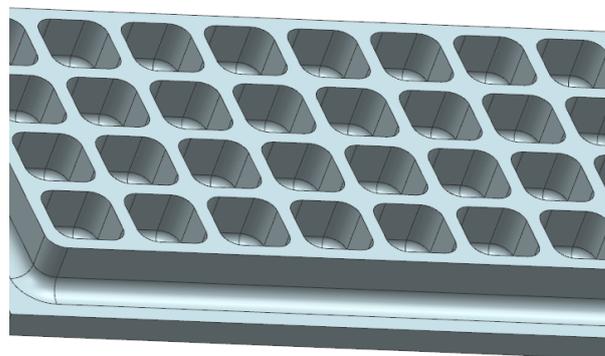


Рис. 2.2 Пример элемента монолитной панели

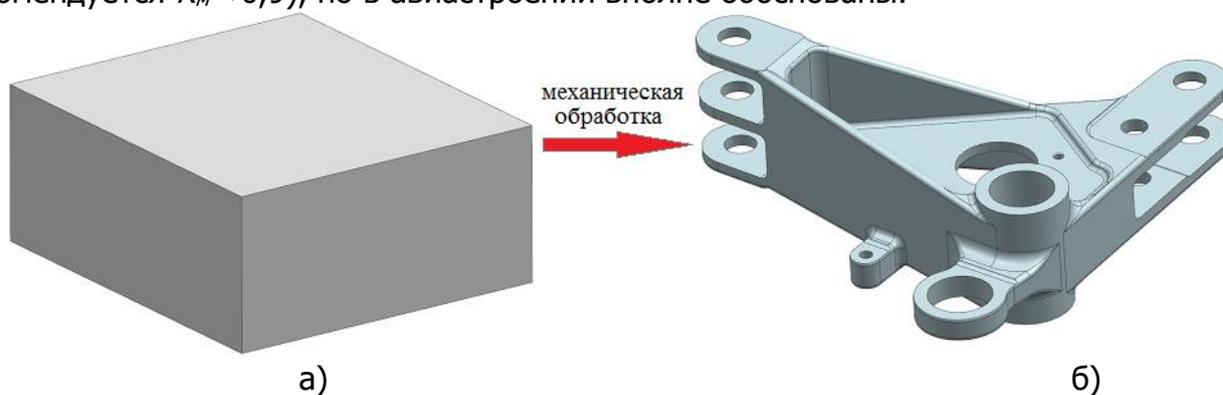
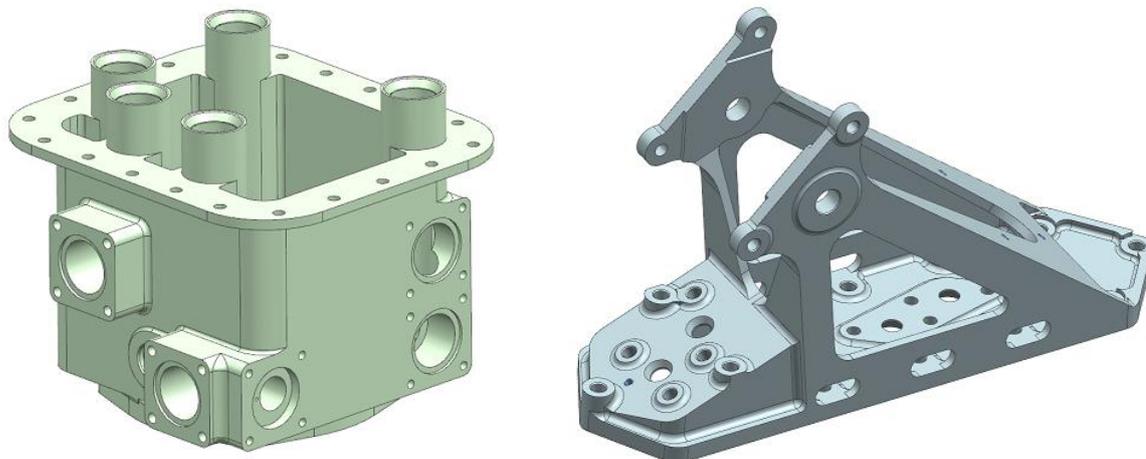


Рис. 2.3 Заготовка (а) из алюминиевого сплава АК6 (габарит 180×160×80 мм) и деталь «качалка» (б)

Применение универсального оборудования и 3-х координатных станков с ЧПУ в обработке корпусных деталей ЛА, имеющих большое количество отверстий в разных плоскостях, наклонных обрабатываемых поверхностей, ребер жесткости и поверхностей с разной степенью доступности (рис. 2.4–2.5), влечет усложнение технологии механической обработки, увеличивается цикл изготовления, расширяется номенклатура применяемого оборудования и оснастки.



а)

б)

Рис. 2.4 а) Корпус (габарит 185×185×175), б) Кронштейн (габарит 280×160×85)

Обработка точных отверстий, к которым предъявляются высокие требования к взаимному расположению, на различных приспособлениях с каждым новым установом вносится погрешность изготовления. В результате после 4-5 установов допуск взаимного расположения может выйти за установленные пределы, и, как следствие, невозможность выполнить операцию сборки с заданными показателями качества.

Применение современных 4-х и 5-ти координатных обрабатывающих центров в обработке деталей данного типа позволяет значительно сократить трудоемкость изготовления за счет снижения числа установов до двух (подготовка единой технологической базы (ЕТБ) и обработка всей детали от ЕТБ), что благоприятно сказывается на качестве детали и точности геометрических параметров.

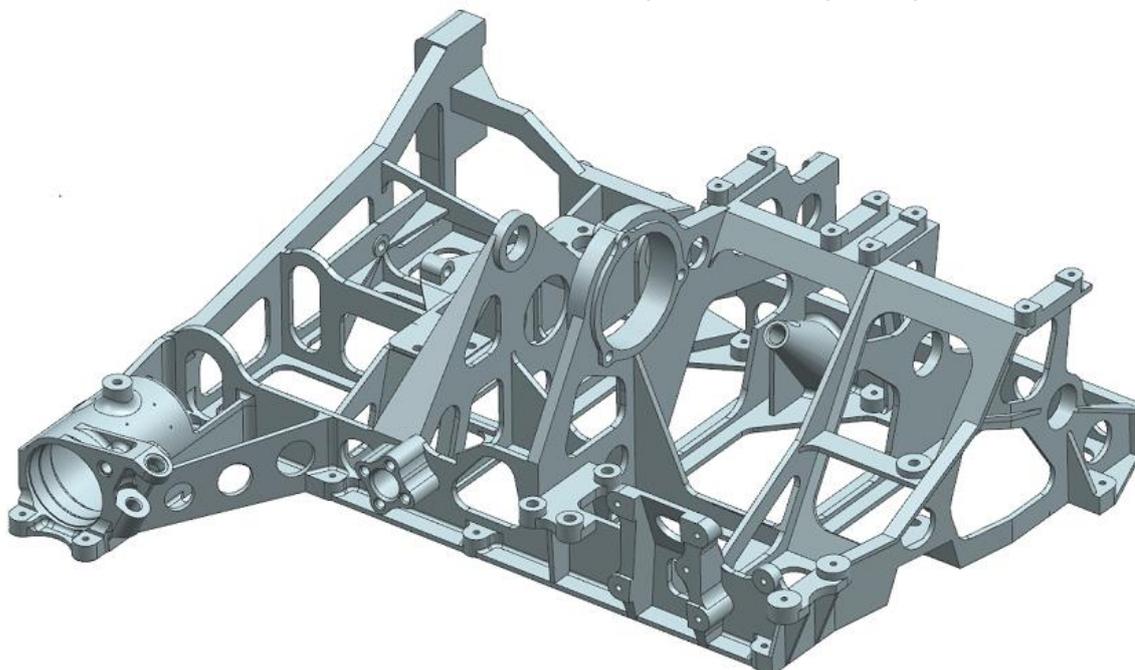


Рис. 2.5 Плита (магниевый сплав МЛ-10, габарит 755×655×285)

Определенные трудности в серийном авиационном производстве вызывает механическая обработка деталей с малкованными ребрами (рис. 2.6). В этом случае необходимо использовать широкую номенклатуру фрезерных приспособлений, кондукторов, специального инструмента (прямые и обратные конические концевые фрезы), либо большой объем трудоемкой слесарной доработки. Применение 4-х и 5-ти координатных обрабатывающих центров позволяет снизить количество технологической оснастки до минимума, использовать стандартные цилиндрические концевые фрезы, полностью отказаться от ручных доводочных операций.

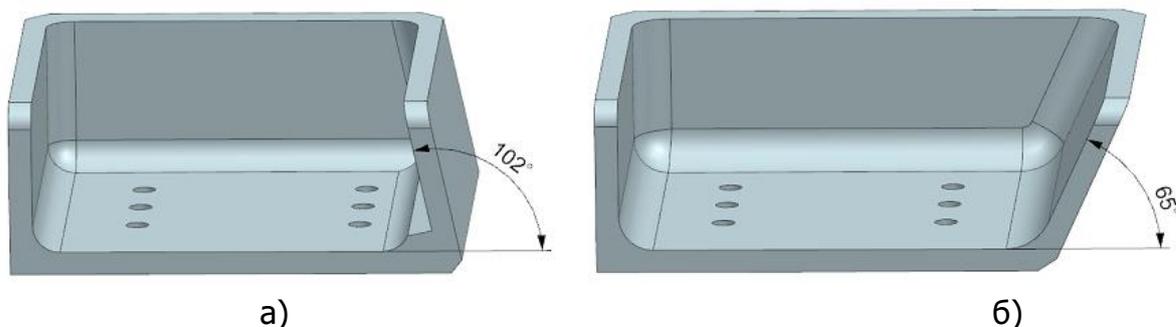


Рис. 2.6 Пример конструкции фитинга с открытой (а) и закрытой (б) малкой

В конструкции летательных аппаратов имеются детали, для которых согласно «Общероссийского классификатора деталей машиностроения и приборостроения» по признаку деления «геометрическая форма» явно невозможно провести разграничение «тело вращения – не тело вращения» (рис. 2.7). Технология изготовления деталей этого типа предусматривает применение и токарных, и фрезерных станков. Кроме снижения точности и увеличения затрат времени на переустановку и зажим, вносимые при механообработке одной детали на двух типах оборудования, добавляется сложность базирования на фрезерном станке с ЧПУ ввиду отсутствия хорошей установочной базы. Поэтому в подобных технологиях предусмотрен достаточный объем операций, выполняемых на универсальном оборудовании по разметке, что негативно сказывается как на производительности процесса изготовления, так и на качестве.



Рис. 2.7 Корпус (АК6, габарит 520×60×80)

С целью решения вышеизложенных проблем тенденцией последних лет стало объединение различных технологий обработки на одном обрабатывающем центре. Такие ОЦ оснащены несколькими инструментальными головками и шпинделями, поддерживают передачу заготовки с одного шпинделя на другой без вмешательства оператора. Токарно-фрезерные ОЦ позволяют интегрировать механическую

обработку стандартных прутковых заготовок, заготовок прямоугольной и комбинированной формы (рис. 2.7). Такое оборудование способно выполнить полную обработку заготовки сложной формы за один установ, что обеспечивает сокращение производственного цикла, технологической себестоимости, повышение точности обработки, отпадает необходимость использования дополнительных зажимных приспособлений. В настоящее время данный принцип широко распространен на серийных предприятиях и получил название «Done in one» («сделано в одном»).

3. Классификация фрезерных ОЦ

Металлообрабатывающий станок – машина для размерной обработки заготовок в основном путём снятия стружки. Кроме металлических заготовок на станках обрабатывают так же детали из других материалов. К станкам относят и технологическое оборудование, использующее для обработки электрофизические и электрохимические методы, сфокусированный электронный или лазерный луч, поверхностное пластическое деформирование и некоторые другие виды обработки.

Обрабатывающий центр – металлорежущий станок с числовым программным управлением, способный выполнять комплексную механическую обработку с применением различных операций: фрезерование, сверление, нарезание резьбы, расточка и т.д. Обрабатывающий центр оснащен многоинструментальным магазином и устройством для автоматической смены инструмента в соответствии с управляющей программой.

Фрезерные обрабатывающие центры можно классифицировать по различным признакам, рассмотрим основные из них.

1. По расположению шпинделя:

- Вертикальные
- Горизонтальные

Обрабатывающие центры с вертикальным расположением шпинделя наиболее распространены и универсальны. Применение ОЦ горизонтальной компоновки рекомендуется при обработке крупногабаритных заготовок, а благоприятные условия для эвакуации стружки при обработке полостей снижают риск повторного реза стружки, что положительно сказывается на стойкости инструмента и качестве обрабатываемых поверхностей.

2. По числу управляемых осей

- Трёхкоординатные
- Четырёхкоординатные
- Пятикоординатные и т.д.

Ось шпинделя всегда является осью Z и направлена на инструмент. Оси X и Y – перпендикулярные направления перемещения режущего инструмента в плоскости стола. У 3-х координатных ОЦ количество управляемых осей три – X, Y, Z, которые реализуют линейное перемещение инструмента. В случае многокоординатных обрабатывающих центров (4-х осевых, 5-ти и т.д.) кроме линейных перемещений добавляется вращение вокруг одной или двух осей. Вращению вокруг оси X соответствует поворотная ось A, оси Y – ось B, оси Z – ось C [2]. Устройство числового программного управления может осуществлять управление 16 осями максимально. Например, токарно-фрезерные ОЦ могут иметь управляемые подводимые люнеты (оси V, U), заднюю бабку (ось C2), устройства загрузки и выгрузки заготовок (ось W).

Здесь стоит отметить, что количество одновременно управляемых осей не может превышать значение 5, что соответствует непрерывной 5-ти координатной обработке – одновременное движение инструмента по всем пяти степеням свободы (три оси линейного перемещения и вращение вокруг двух осей, см. рис. 3.1). Непрерывная 4-х осевая обработка характеризуется одновременным движением по четырём степеням свободы. Данные виды обработок используются для фрезерования авиационных деталей сложной пространственной геометрии, снижая до минимума объём слесарных доработок. Но наибольшее распространение получили позиционные (индексированные) четырёхосевая («3+1») и пятиосевая («3+2») обработки. В этих случаях стол или шпиндель ОЦ поворачивается на ряд дискретных положений, а

обработка происходит как набор операций в несколько установов. Применение позиционной пятикоординатной обработки позволяет снизить трудоемкость и номенклатуру приспособлений как на операциях фрезерования, так и сверления.

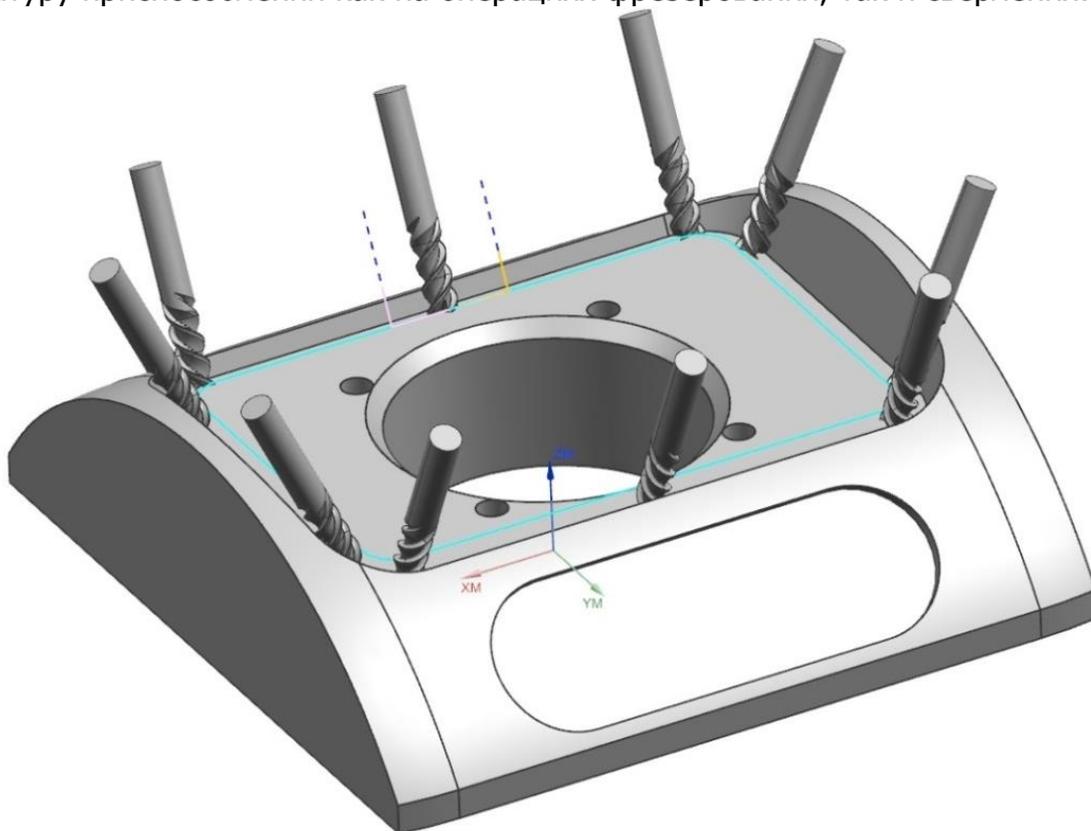


Рис. 3.1 Непрерывная 5-ти осевая обработка

На первый взгляд сверление – тривиальная операция в сравнении с фрезерованием, но если к взаимному расположению отверстий, выполненных под разными пространственными углами, предъявляются высокие требования, то для трехосевого ОЦ это достаточно сложная задача, требующая применения отдельного установа. Кроме того, характерной особенностью деталей летательного аппарата

является наличие отверстий, оси которых направлены по нормали к криволинейной поверхности. Решить данные проблемы возможно пятиосевым сверлением – шпиндель ориентируется по заданной оси и все отверстия обрабатываются за один установ (рис. 3.2).

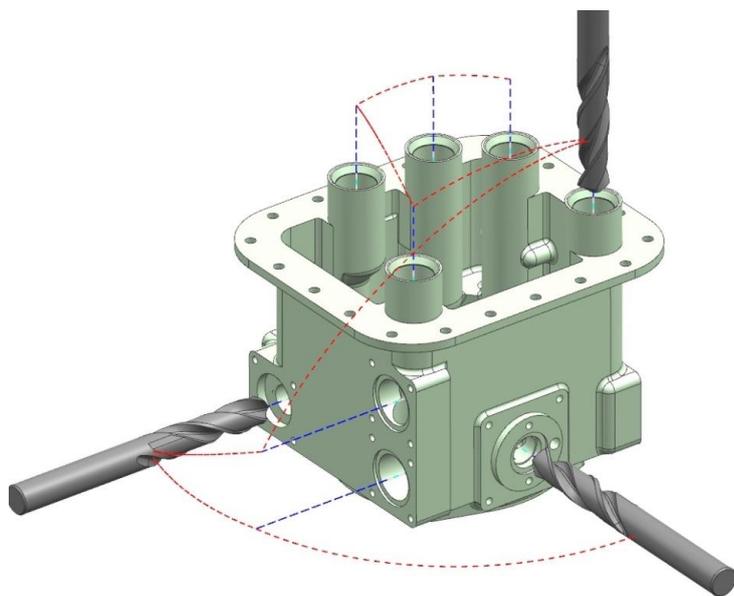


Рис. 3.2 Пятикоординатное сверление

3. По типу стола

- С неподвижным столом
- С подвижным столом

Наиболее распространенной является компоновкой станка, где оси X и Y реализованы линейным перемещением стола относительно неподвижного шпинделя. Такие станки хорошо подходят для высокоскоростной обработки (High speed machining или HSM-обработка).

Для обработки крупногабаритных деталей и тяжелого фрезерования применяют ОЦ портального (или колонного) типа, когда стол станка неподвижен, а вся шпиндельная бабка перемещается относительно него. Преимуществом обрабатывающих центров данного типа является улучшенный обзор рабочей зоны, стабильность процесса резания за счет отсутствия перемещения детали, возможность применения инструмента с увеличенным вылетом и большой массы.

4. По способу реализации 4-х и 5-ти осевой обработки:

- С поворотным столом
- С поворотным шпиндельным узлом (фрезерная головка)
- Комбинированного типа (поворотный стол + поворотная головка)

Каждый способ реализации многокоординатной обработки имеет как положительные моменты, так и отрицательные. Главным недостатком ОЦ с поворотным столом является небольшая рабочая зона станка, однако данная компоновка обеспечивает хорошую жесткость оборудования. Для обработки крупногабаритных изделий рекомендуется использовать ОЦ с поворотной фрезерной головкой, но такой тип оборудования обладает меньшей жесткостью в сравнении со станками с вращающимся столом. Существуют многоцелевые обрабатывающие центры с поворотной фрезерной головкой, имеющей возможность вращаться только вокруг одной оси. Пятая координата в таком случае реализуется вращением стола (как правило, вокруг оси Z).

5. По типу основных операций, выполняемых на ОЦ:

- Токарные
- Фрезерные
- Токарно-фрезерные

Современное металлообрабатывающее оборудование многофункционально и способно выполнять различные операции механической обработки: точение, фрезерование, растачивание, сверление, нарезание резьбы и т.д. Большинство токарных ОЦ оснащены дополнительным фрезерным шпинделем, который хотя и уступает по технологическим возможностям фрезерным и токарно-фрезерным, но позволяет выполнять простые фрезерные операции. Поэтому классификация по типу операций условна, но позволяет судить, для какого основного типа операций предназначен станок.

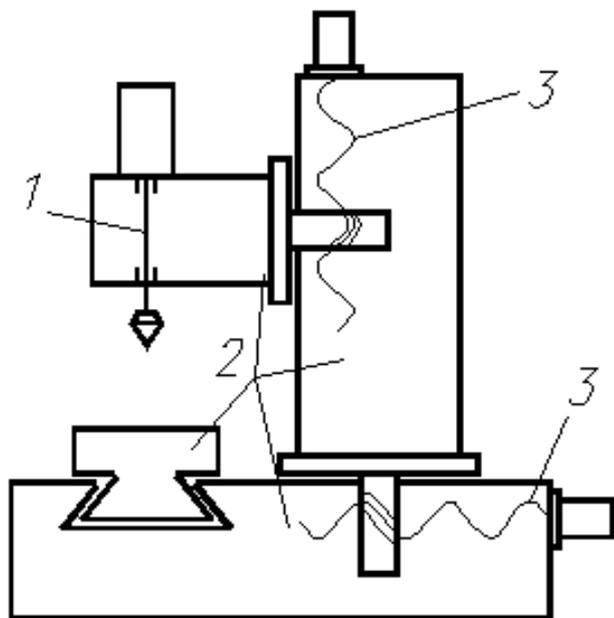
4. Основные кинематические схемы и конструктивные особенности многоцелевых обрабатывающих центров

Помимо основной рабочей операции, связанной с изменением формы и размеров заготовки, на станке необходимо осуществлять и вспомогательные операции для смены заготовок, их зажима, измерения, операции по смене режущего инструмента, контроля его состояния и состояния всего станка.

Собственно станок подразделяется на несколько важнейших частей, обычно называемых узлами.

Главный привод (1) станка сообщает движение инструменту или заготовке для осуществления процесса резания с соответствующей скоростью. У подавляющего большинства станков главный привод сообщает вращательное движение шпинделю, в котором закреплён режущий инструмент или заготовка.

Привод подачи (3) необходим для перемещения инструмента относительно заготовки (или наоборот) для формирования обрабатываемой поверхности. У подавляющего большинства станков привод подачи сообщает узлу станка прямолинейное движение. Сочетанием нескольких прямолинейных, а иногда и вращательных движений можно реализовать любую пространственную траекторию.



Привод позиционирования необходим во многих станках для перемещения того или иного узла станка из некоторой исходной позиции в другую заданную позицию, например, при последовательной обработке нескольких отверстий или нескольких параллельных плоскостей на одной и той же заготовке. Во многих современных станках с числовым программным управлением (ЧПУ) функции приводов подачи и позиционирования выполняет один общий привод.

Несущая система (2) станка состоит из последовательного набора соединённых между собой базовых деталей. Соединения могут быть неподвижными (стыки) или подвижными (направляющие). Несущая система обеспечивает правильность взаимного расположения режущего инструмента и заготовок под воздействием силовых и температурных факторов.

Манипулирующие устройства необходимы для автоматизации различных вспомогательных движений в станке, для смены заготовок, их зажима, перемещения или поворота, смены режущих инструментов, удаления стружки и т.п. Современный многооперационный станок имеет набор манипуляторов транспортёров, поворотных устройств, а в некоторых случаях обслуживается универсальным манипулятором с программным управлением (промышленным роботом).

Контрольные и измерительные устройства необходимы в станке для автоматизации и наблюдения за правильностью его работы. С помощью них контролируют состояние наиболее ответственных частей станка, работоспособность режущего инструмента, измеряют заготовки и изделие. При достаточно высоком уровне автоматизации результаты контроля измерения поступают в управляющее устройство, а оттуда в виде управляющих сигналов корректируют положение узлов

станка.

Рассмотрим возможные кинематические схемы современного металлообрабатывающего оборудования. На рис. 4.1 представлен вертикальный 3-х координатный ОЦ. Реализация линейного перемещения в плоскости ХУ осуществляется движением стола относительно шпинделя, перемещающегося вдоль оси Z. В случае горизонтального расположения шпинделя (рис. 4.2), совершающего движение вдоль оси Y, стол обрабатываемого центра перемещается в плоскости ХZ.

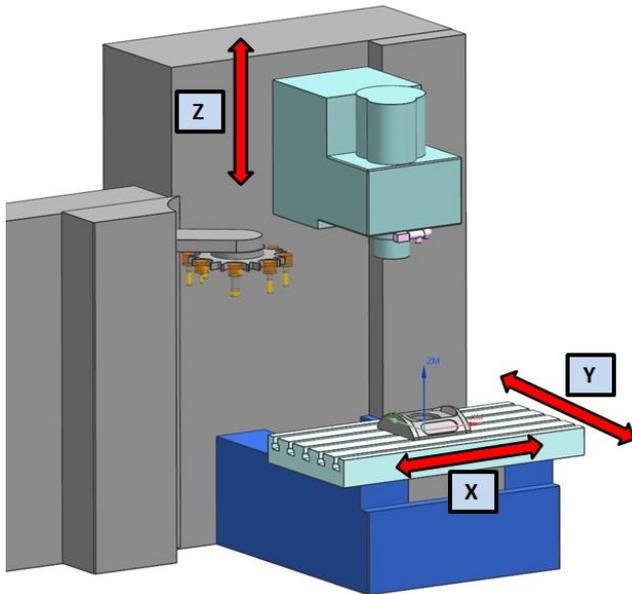


Рис. 4.1 Кинематика вертикального 3-х координатного ОЦ

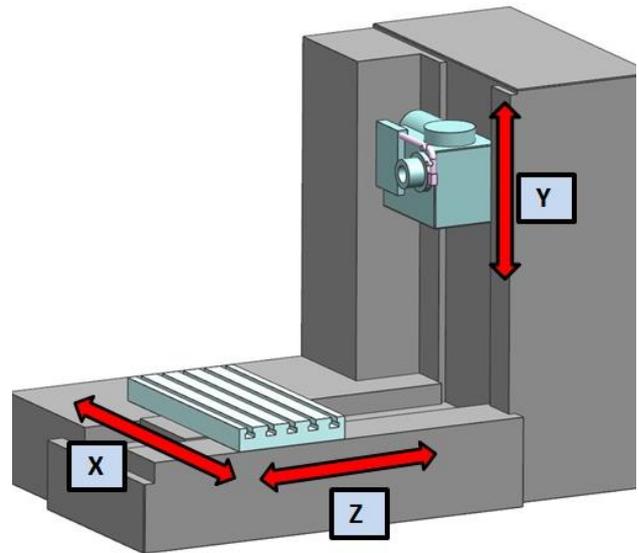


Рис. 4.2 Кинематика горизонтального 3-х координатного ОЦ

Одним из способов сделать из 3-х координатного станка 4-х или 5-ти координатный – это установить на основной стол станка дополнительный поворотный стол. На рис. 4.3 представлен вертикальный 4-х осевой станок с дополнительно установленным поворотным столом, реализующем ось А (вращение вокруг оси X). На рис. 4.4 поворотный стол горизонтально-фрезерного обрабатываемого центра встроено изначально и реализует ось В (вращение вокруг оси Y).

На рис. 4.5 представлена кинематика 5-ти координатного ОЦ с поворотными осями В (наклон стола) и С (вращение стола). Линейное перемещение по оси X реализуется продольным движением суппорта, по оси Y – поперечным движением колонны со шпиндельным узлом, Z – вертикальным движением фрезерной головки. На рис. 4.6 представлена аналогичная конструкция станка, но наклон стола выполняется вокруг оси X, т.е. реализуется поворотная ось А.

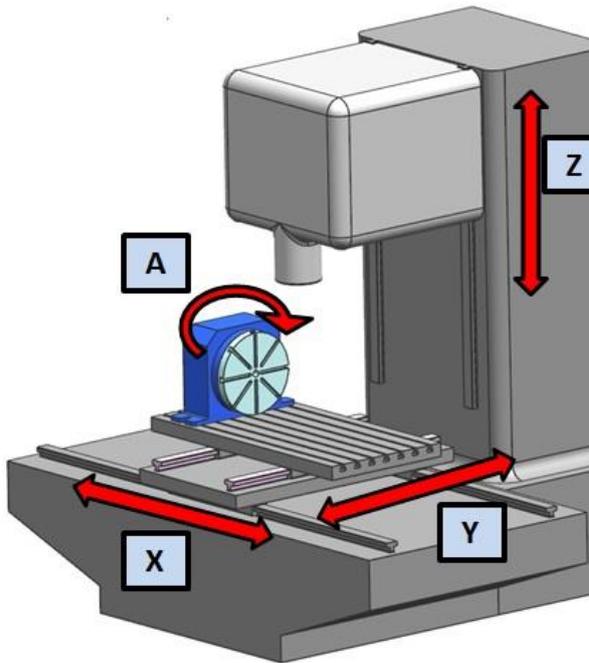


Рис. 4.3 Кинематика вертикального 4-х координатного ОЦ, с поворотным столом (ось А)

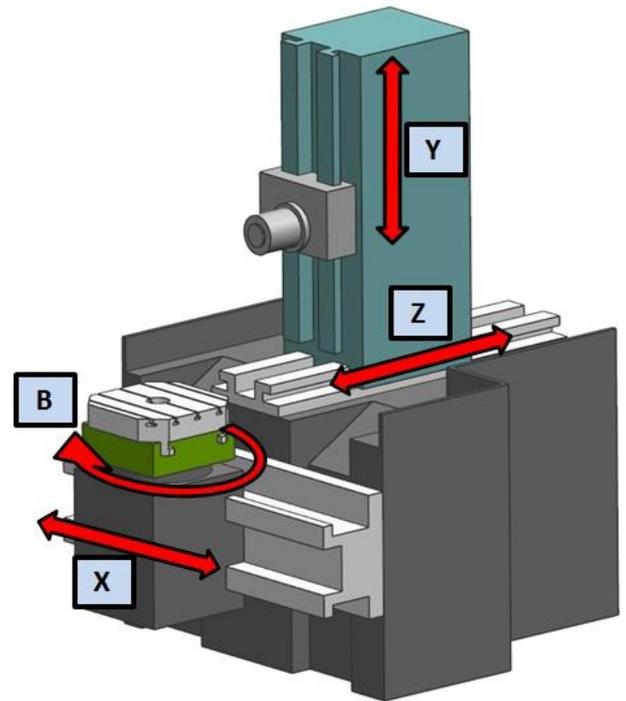


Рис. 4.4 Кинематика горизонтального 4-х координатного ОЦ, с поворотным столом (ось В)

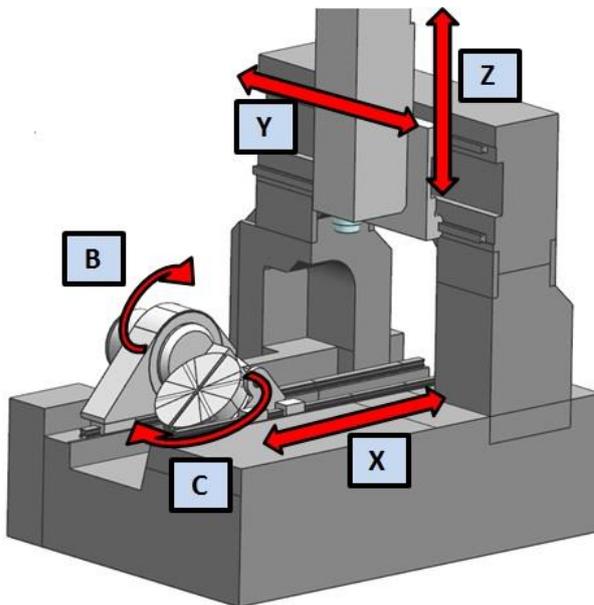


Рис. 4.5 Кинематика вертикального 5-ти координатного ОЦ с поворотным столом (оси В и С).

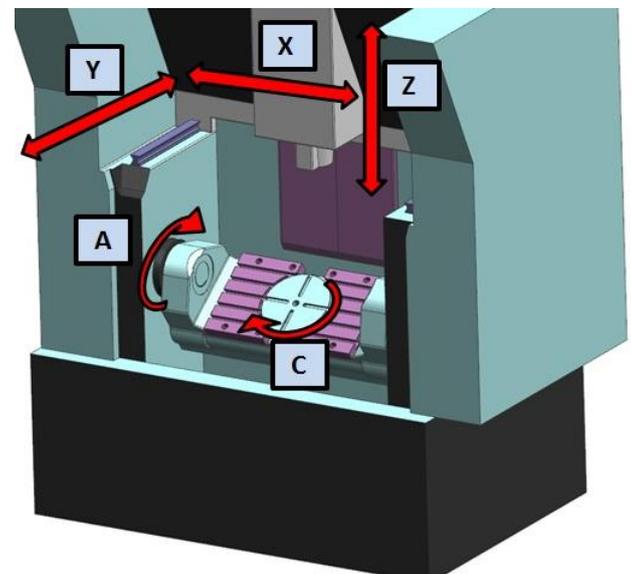


Рис. 4.6 Кинематика вертикального 5-ти координатного ОЦ с поворотным столом (оси А и С).

Отличительной особенностью представленного на рис. 4.7 ОЦ является расположение стола, реализующего координату В. Вращение по оси В происходит под углом 45° к вертикали. Отметим, что изображенные на рис. 4.5-4.7 станки имеют идентичные технологические возможности, а основным отличием является конструктивные особенности реализации вращения стола.

На рис. 4.8 представлен станок портального типа с поворотной фрезерной

головкой, имеющей две степени свободы и реализующей оси А и С. Стол станка неподвижен. ОЦ данного типа применяются, как правило, для обработки крупногабаритных деталей.

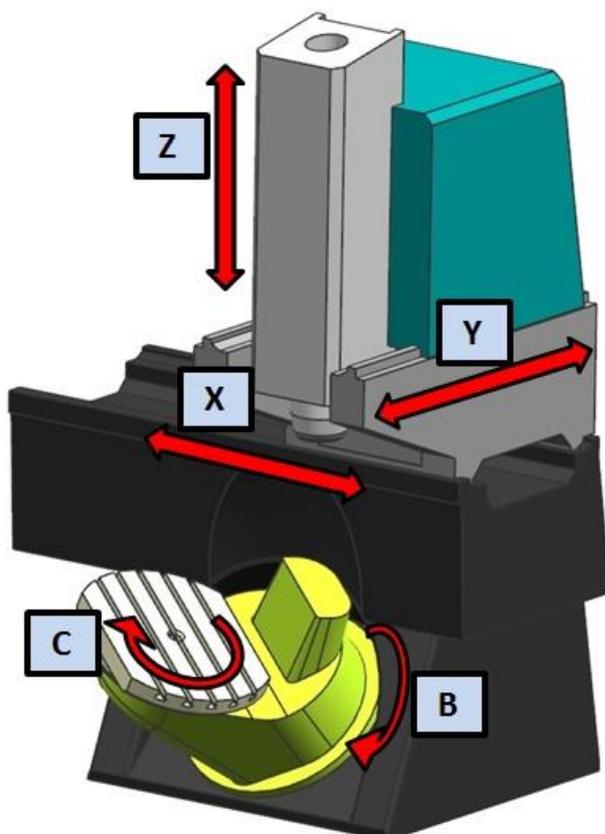


Рис. 4.7 Кинематика вертикального 5-ти координатного ОЦ с поворотным столом (оси В и С).

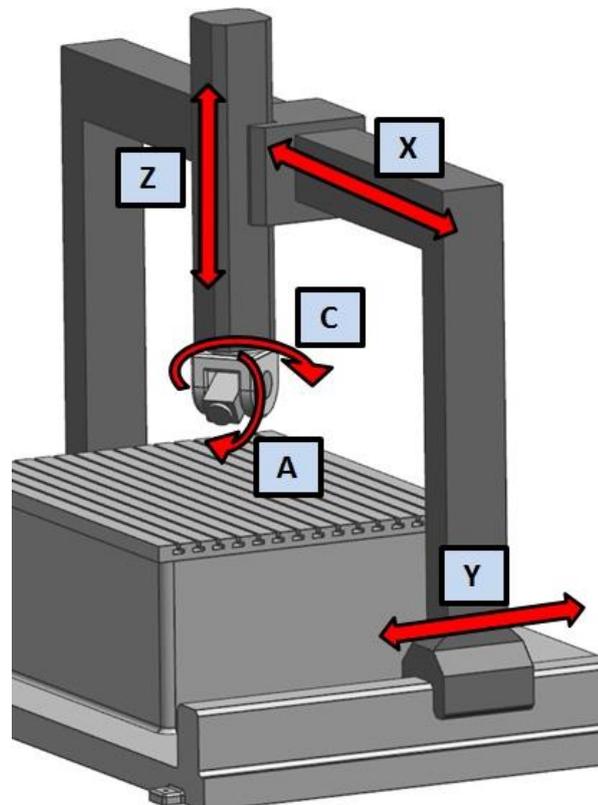


Рис. 4.8 Кинематика 5-ти координатного ОЦ с поворотной фрезерной головкой (оси А и С)

Обрабатывающие центры смешанного типа имеют в своей конструкции вращающийся стол (как правило ось С) и поворотный шпиндельный узел. Реализация вращения фрезерной головки определяется конструкцией станка и может быть различна. На рис. 4.9 ось вращения шпинделя выполнена под углом 45° к оси Z, а на рис. 4.10 под прямым углом.

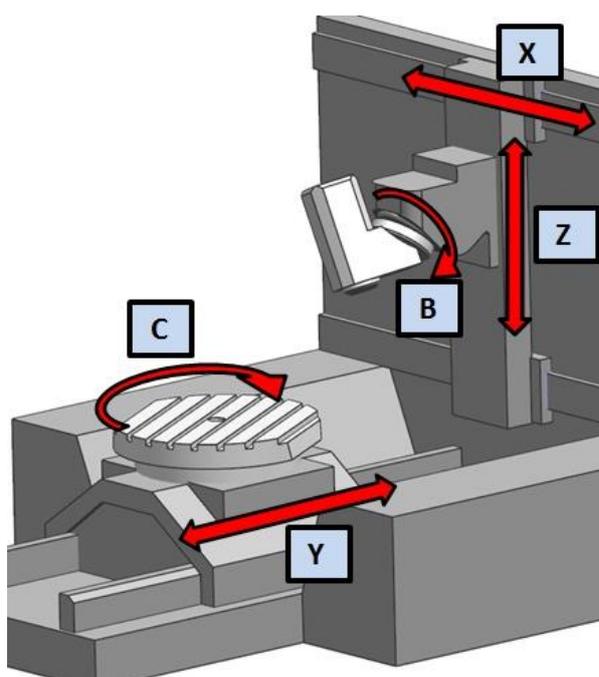


Рис. 4.9 Кинематика 5-ти координатного ОЦ с поворотной фрезерной головкой (ось В) и вращающимся столом (ось С)

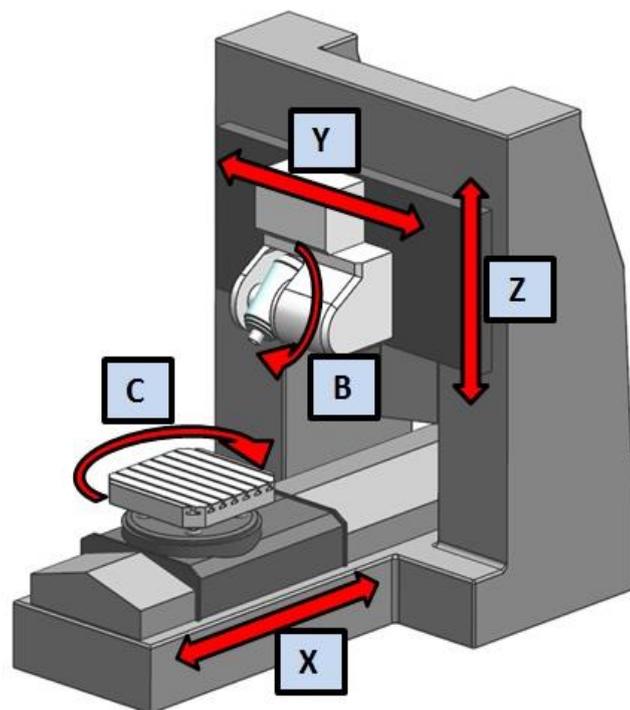


Рис. 4.10 Кинематика 5-ти координатного ОЦ с поворотной фрезерной головкой (ось В) и вращающимся столом (ось С)

Как отмечалось выше, для ряда групп деталей летательного аппарата в технологическом процессе механической обработки необходимо предусмотреть как токарные операции, так и фрезерные. С целью повышения производительности процесса, качества и точности изготовления, а также снижения трудоемкости изготовления находят все большее применение токарно-фрезерные обрабатывающие центры (рис. 4.11).

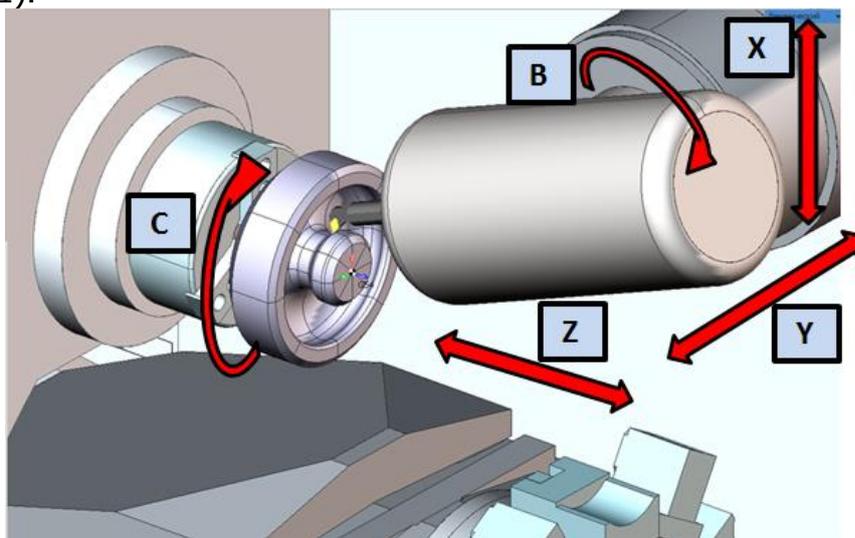


Рис. 4.11 Кинематическая схема 5-ти координатного токарно-фрезерного ОЦ

На рис. 4.11 представлена наиболее простая кинематика токарно-фрезерного ОЦ с точки зрения управляемых осей (5-ти осевой). Линейные перемещения X, Y, Z реализуются шпиндельным узлом с поворотной осью В, в которой могут находиться как токарный инструмент для выполнения операции точения и растачивания, так и

фрезерный. Вращение токарного шпинделя осуществляется в оси С.

На рис. 4.12 представлен токарно-фрезерный обрабатывающий центр, который оснащен дополнительными осями X2, Z2 – вертикальное и горизонтальное перемещение револьверной головки, служащей для установки и индексирования инструмента, и осью C2 – контршпиндель. Кинематика фрезерного узла аналогична представленному на рис. 4.11 шпинделю и реализует линейное перемещение по трем координатам и одно вращение. Револьверная головка может использоваться как для обработки со стороны контршпинделя (рис. 4.12) и тогда есть возможность вести одновременную обработку двух деталей, так и со стороны главного токарного шпинделя (рис. 4.13), что позволит повысить производительность за счет обработки детали одновременно двумя инструментами.

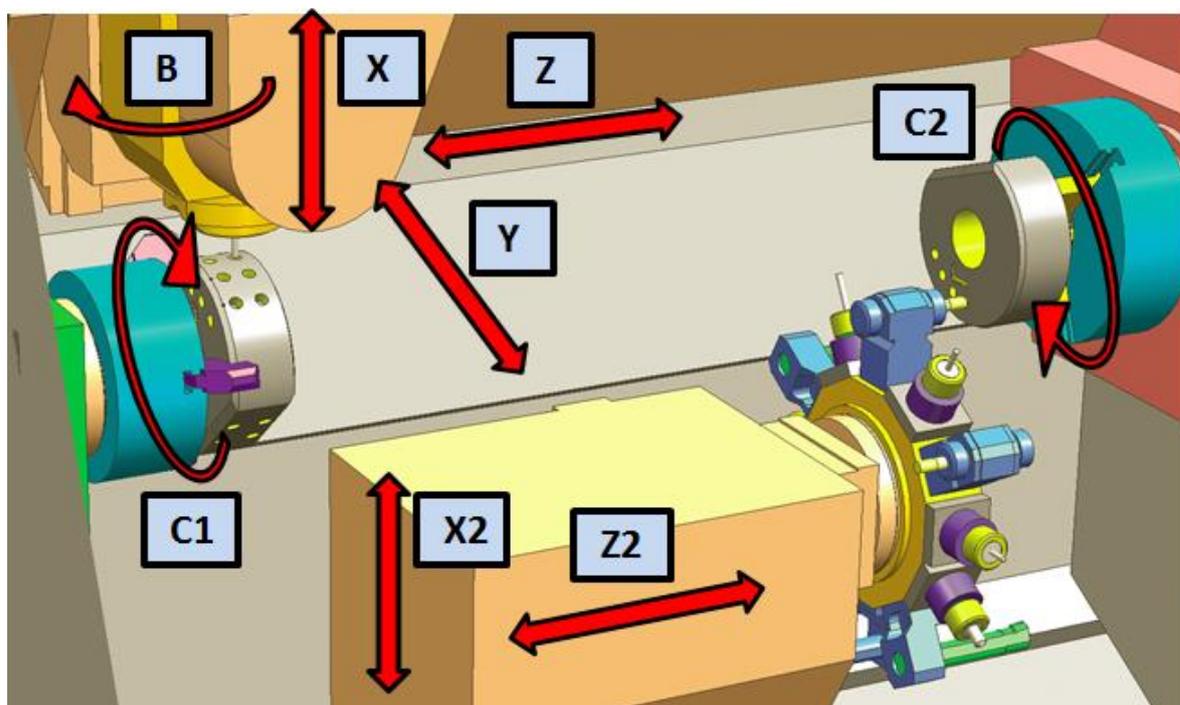


Рис. 4.12 Кинематическая схема токарно-фрезерного ОЦ

Некоторые токарно-фрезерные ОЦ имеют в своей конструкции контршпиндели, способные кроме вращения совершать горизонтальные перемещения по оси W. Кинематическая схема 9-ти осевого обрабатывающего центра представлена на рис. 4.13. Станки с такой кинематикой имеют возможность выполнять перехват заготовки с основного шпинделя в контршпиндель и обратно в автоматическом режиме. Это позволяет сократить время на переналадку оборудования и по факту выполнять два установка как один, что положительно сказывается как на точности обработки, так и на производительности процесса.

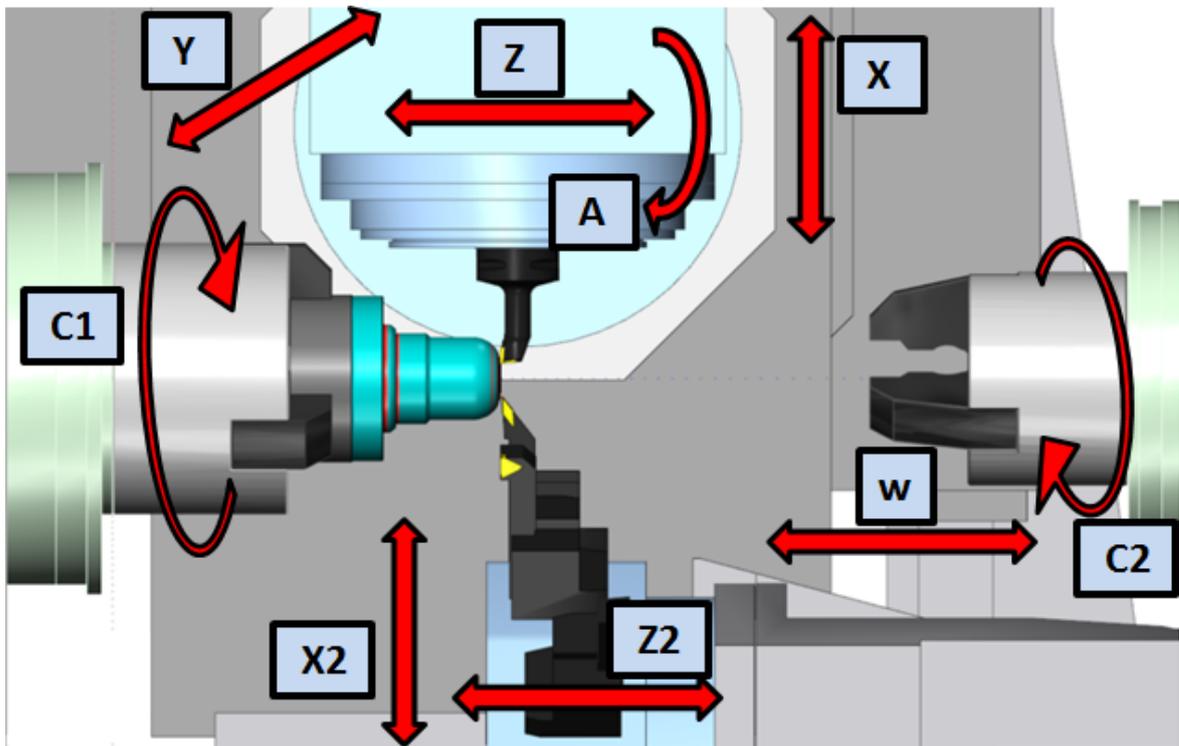


Рис. 4.13 Кинематическая схема 9-ти координатного токарно-фрезерного ОЦ

5. Кинематика и основные узлы фрезерных и токарно-фрезерных обрабатывающих центров MAZAK

На рис. 5.1 представлен общий вид 4-х координатного горизонтально-фрезерного обрабатывающего центра HORIZONTAL CENTER NEXUS 5000-II (HCN 5000-II) производства «Yamazaki Mazak» (Япония).



Рис. 5.1 Общий вид HCN 5000-II

Рассмотрим основные узлы ОЦ MAZAK HCN5000-II (рис. 5.2) [3].

Шпиндель (поз. 1) обеспечивает главное движение резания (вращение инструмента) и приводится в движение электродвигателем с преобразователем переменного тока. Максимальная частота вращения шпинделя зависит от комплектации станка и решаемых задач, в частности, от обрабатываемого материала. На предприятии ПАО «Роствертол» для обработки деталей из стали и титана используется HCN5000-II с максимальной частотой вращения 12 000 об/мин, для алюминиевых и магниевых сплавов – 18 000 об/мин. Устройство шпиндельного узла представлено на рис. 5.3. Зажим инструмента в шпинделе производится за счет силы сжатия пружины, а разжим осуществляется гидроцилиндром. Смазка подшипников шпинделя производится с помощью автоматизированной системы «масло-воздух». Реле давления масла обеспечивает смазку даже при снижении давления воздуха. Для максимального снижения температуры шпинделя, повышающейся из-за нагрева подшипников, снаружи вокруг корпуса шпинделя циркулирует охлаждающая жидкость. Для этого используется трохонидный насос, который всасывает охлаждающую жидкость из бака и подает ее на охладитель, где ее температура понижается. Охлаждающая жидкость поглощает тепло, выделяемое шпинделем, и снова поступает в бак [3].

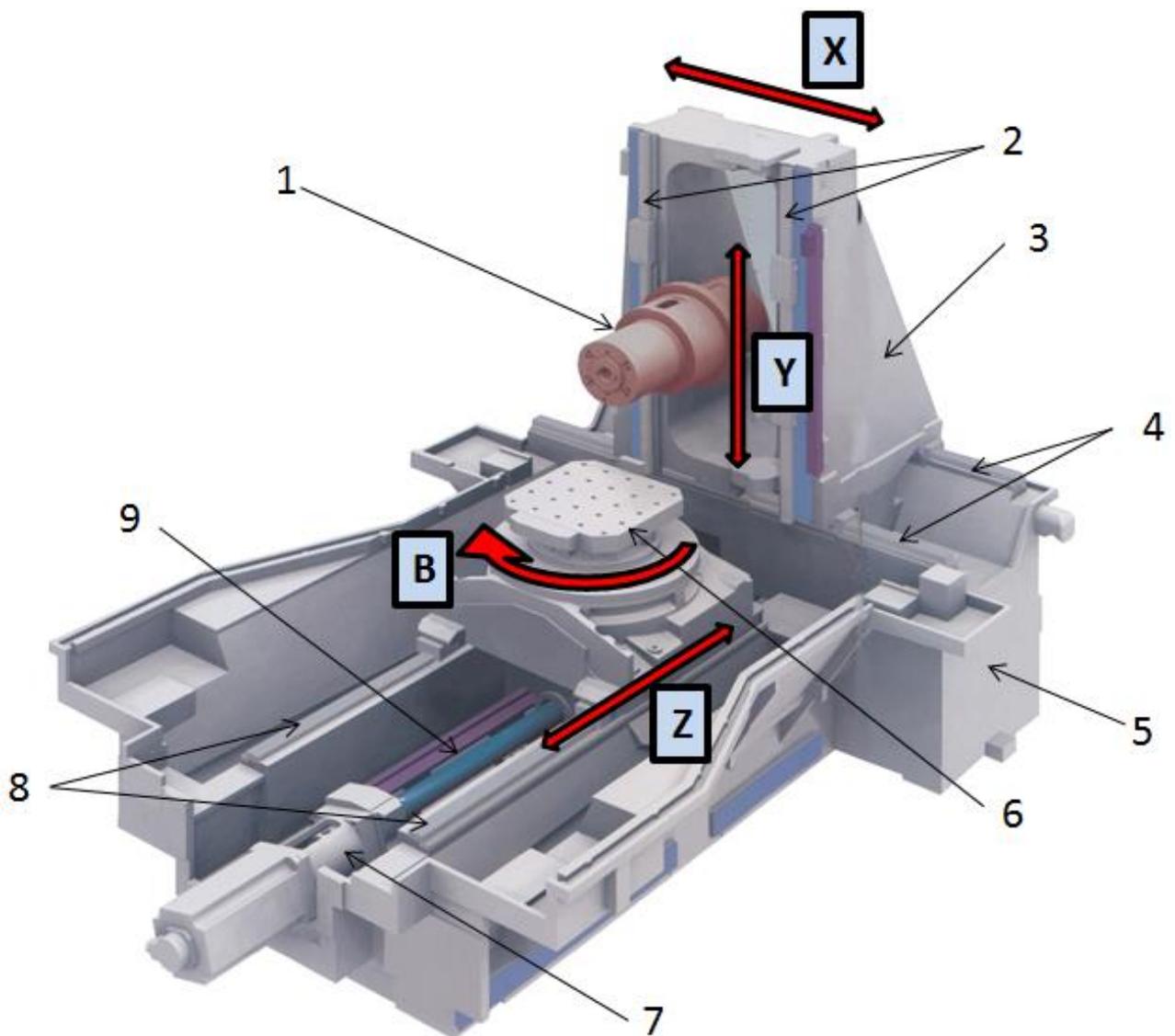


Рис. 5.2 Обрабатывающий центр MAZAK HCN5000-II [4]

(1 – шпиндельный узел, 2 – направляющие оси Y, 3 – колонна, 4 – направляющие оси X, 5 – станина, 6 – паллета (стол), 7 – серводвигатель переменного тока привода подачи по оси Z, 8 – направляющие оси Z, 9 – шарико-винтовая пара оси Z)

Направляющие осей X, Y, Z бывают двух видов: линейные и направляющие скольжения. Направляющие скольжения обладают низкой скоростью перемещения рабочих узлов станка (до 10 м/мин) и точностью интерполяции, но большой жесткостью, поэтому их использование обосновано для универсального оборудования и станков черновой обработки. На современных обрабатывающих центрах используют линейные направляющие, обеспечивающие перемещение узлов станка со скоростью до 100 м/мин и обладающих лучшей точностью в сравнении с направляющими скольжения. Поперечное перемещение стола (поз. 6) по направляющим оси Z (поз.8) управляется серводвигателем переменного тока (поз. 7) и шарико-винтовой парой (ШВП, поз. 9). Продольное перемещение колоны по оси X и вертикальное движение шпиндельного узла (поз. 1) по оси Y аналогично управляются серводвигателями и ШВП (на рис. 5.2 не показано).

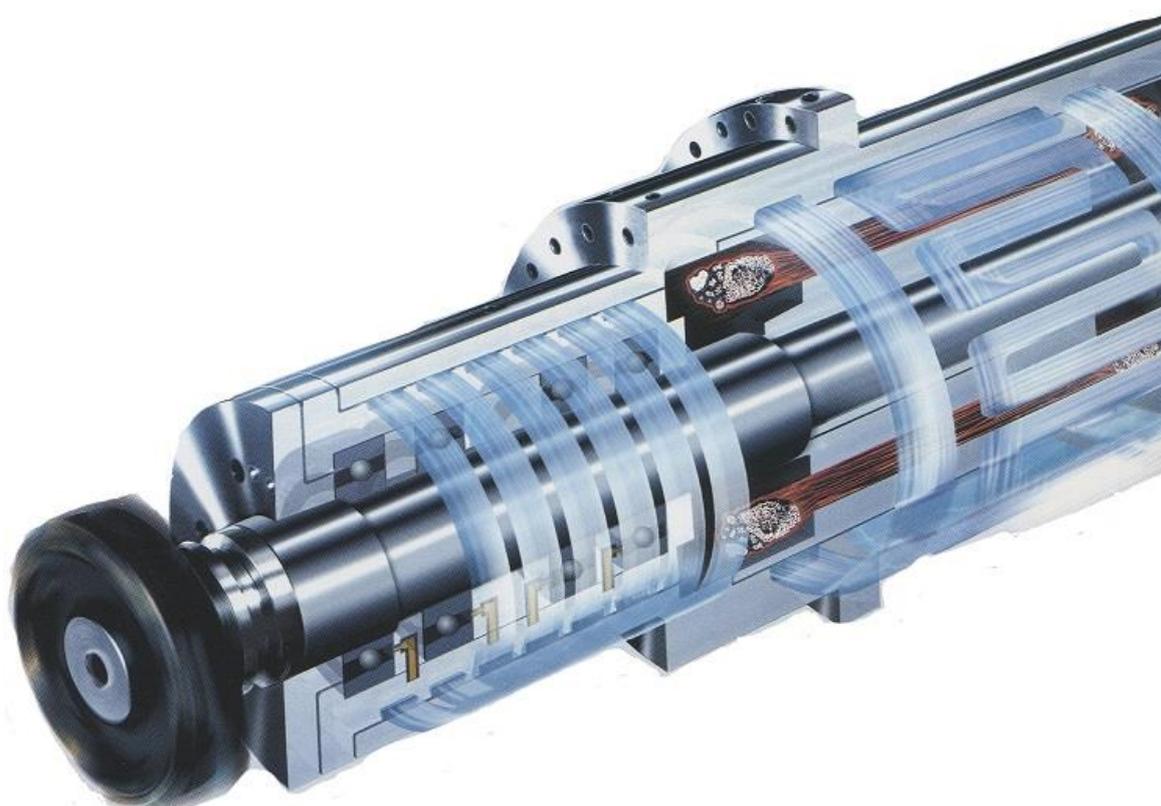


Рис. 5.3 Шпиндельный узел HCN5000-II [5]

На рис. 5.4-5.5 показан общий вид поворотного стола HCN5000-II (поз. 6) и ШВП (поз .9) соответственно.

Шарико-винтовая пара представляет собой привод, предназначенный для преобразования вращательного движения в линейное. Конструктивно ШВП состоит из направляющего винта и шариковой гайки, внутри которой вплотную друг к другу располагаются шарики. Они движутся по замкнутому контуру между резьбовыми нитками гайки и винтовой направляющей, обеспечивая гайке поступательное движение. Совершая виток вокруг винта, шарики оказываются в специальной канавке, по которой возвращаются в исходное положение. Благодаря наличию тел качения шарико-винтовая пара обеспечивает высокий КПД (более 80%), низкий коэффициент трения и, как следствие, повышенную износостойкость передачи. К достоинствам ШВП также относятся: высокая нагрузочная способность, бесшумность и плавность работы, высокая точность передачи, возможность использования с двигателями небольшой мощности, сравнительно невысокий нагрев в процессе работы, возможность продолжительной непрерывной работы.

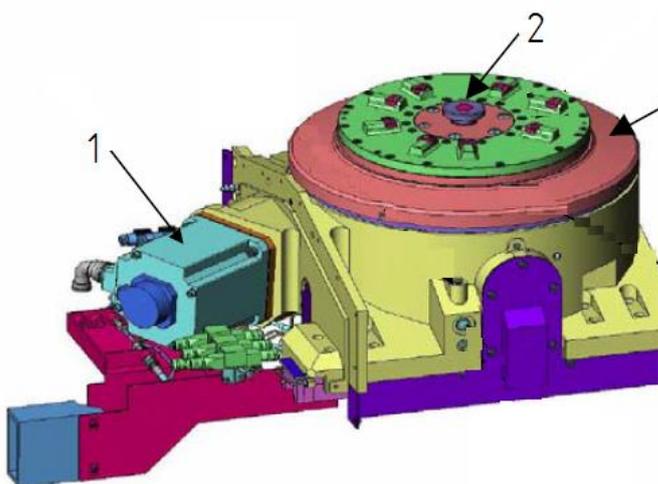


Рис. 5.4 Общий вид поворотного стола HCN5000-II [3]
(1 – серводвигатель, 2 – зажимное кольцо паллеты, 3 – поворотный стол)

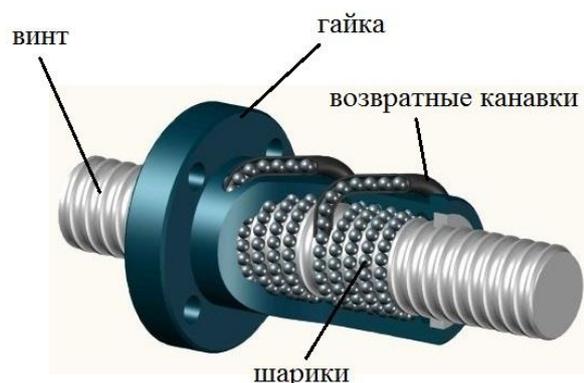


Рис. 5.5 Шарико-винтовая пара

Станина (поз. 5) цельная и изготавливается литьем, что обеспечивает хорошую жесткость конструкции и демпфирующую способность. Станины сложной конфигурации изготавливают сваркой, но в этом случае жесткость ниже, чем у монолитной литой конструкции.

Режущий инструмент хранится в инструментальном магазине, приводимым в движение электродвигателем с преобразователем переменного тока. Для снятия инструмента со шпинделя и его перемещения в инструментальный магазин (и наоборот) используется устройство автоматической смены инструмента (АСИ) с роликово-кулачковым механизмом. На рис. 5.6 представлено АСИ для магазина с 40/60 инструментами.

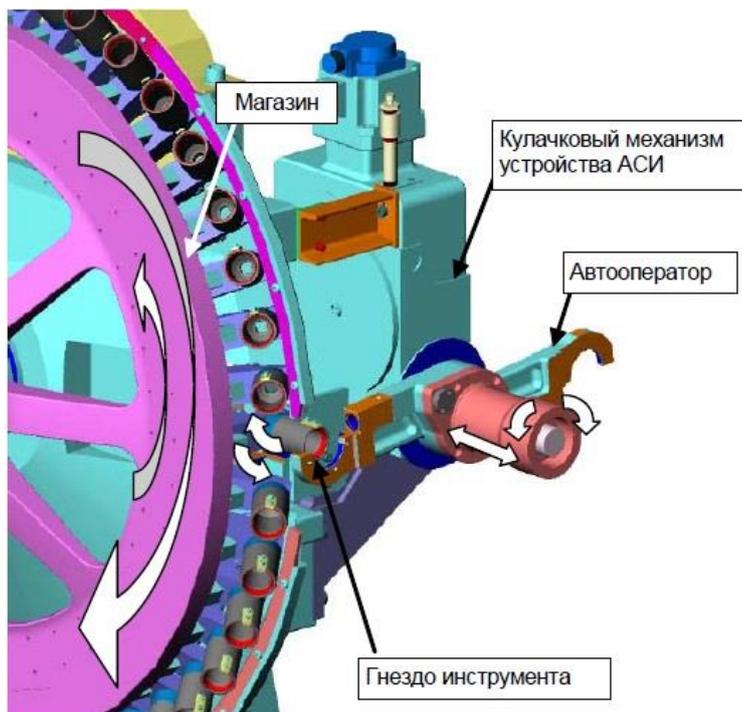


Рис. 5.6 Устройство АСИ (с магазином 40/60 инструментов) [3]

Если MAZAK HCN5000-II оснащен инструментальным магазином с числом позиций 80/120/160, то в конструкцию дополнительно вводится манипулятор (рис. 5.7). Манипулятор переносит патрон с инструментом от магазина к устройству АСИ и обратно. Блок манипулятора включает в себя гнездо ожидания на салазках и устройство съема инструмента. В гнезде ожидания на салазках инструмент

поворачивается под углом 90° для изменения положения шпоночной канавки патрона. На рис. 5.8а, 5.8б показана компоновка инструментального магазина для 80 и 160 позиций соответственно.

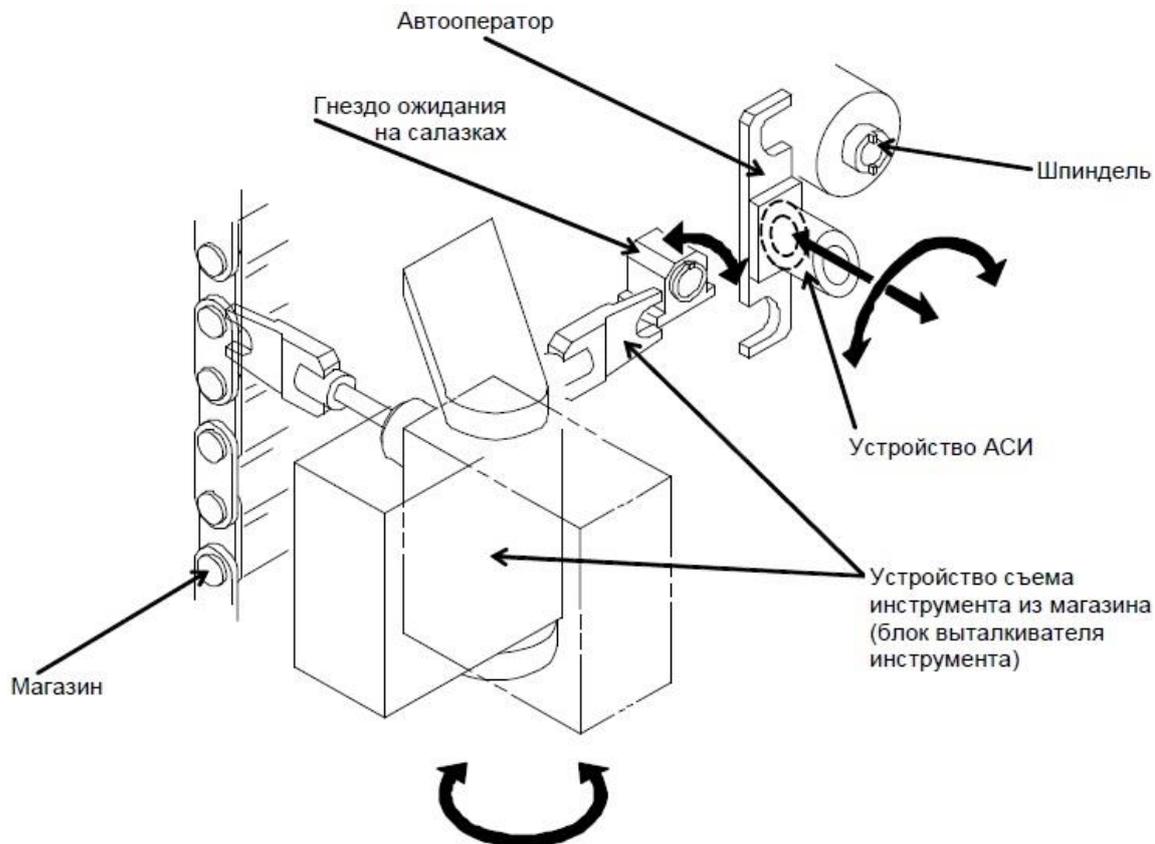


Рис. 5.7 Устройство АСИ (с магазином 80/120/160 инструментов) [3, 4]

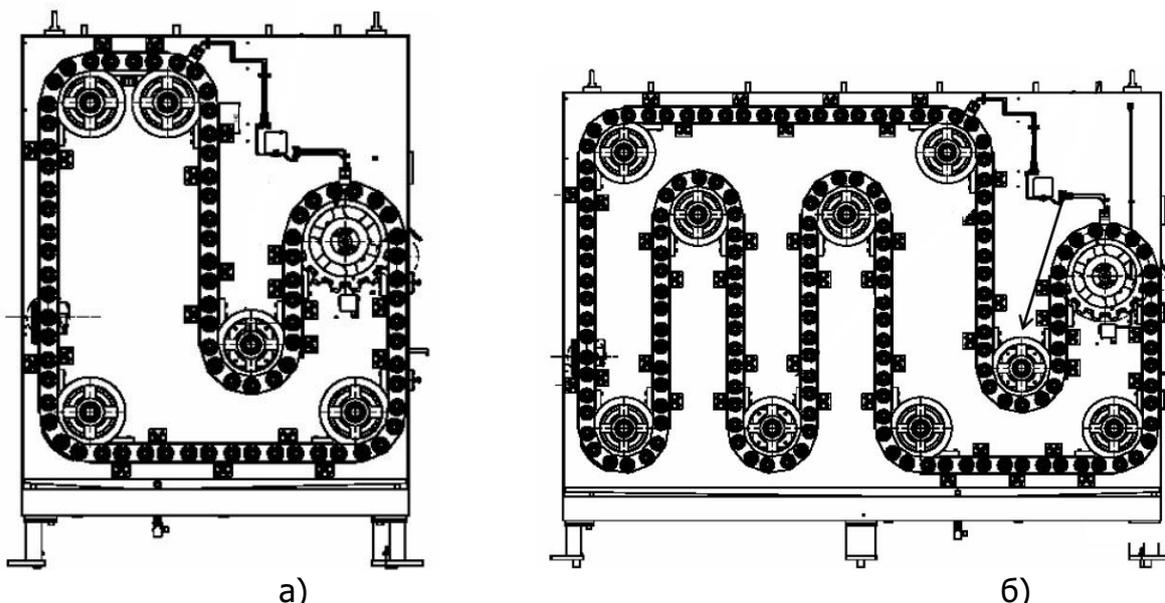
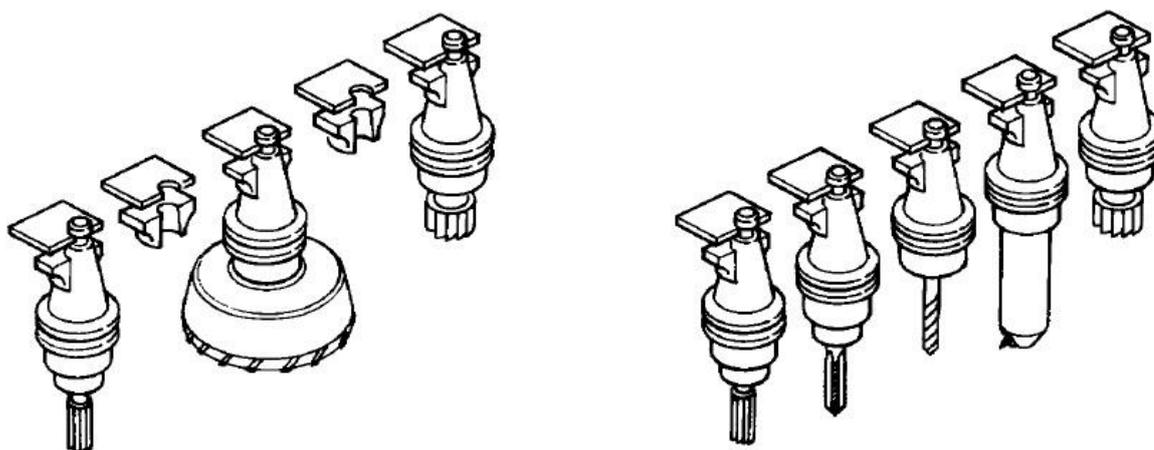


Рис. 5.8 Компоновка инструментального магазина: 80 (а) и 160 (б) позиций [3]

В технических характеристиках обрабатывающих центров касаясь максимально допустимого диаметра используемого режущего инструмента всегда указывается два значения – при наличии и отсутствии инструментов в соседних (смежных) гнездах. Наглядное представление этих вариантов демонстрирует рис. 5.9.



а)

б)

Рис. 5.9 Максимальный размер инструмента: а) при отсутствии инструментов в смежных гнездах, б) при наличии [6]

В качестве системы ЧПУ обрабатывающего центра HCN5000-II используется Mazatrol MATRIX NEXUS (рис. 5.10а). Аналогичная система стоит и на станках MAZAK серий VCN и QTN. На токарно-фрезерных станках серии Integrex и вертикально-фрезерных 5-ти координатных Variaxis применяется система Mazatrol MATRIX (рис. 5.10б).



а)

б)

Рис. 5.10 Система ЧПУ: а) Mazatrol MATRIX NEXUS б) Mazatrol MATRIX

На рис. 5.11 представлен общий вид вертикально-фрезерного 5-ти координатного обрабатывающего центра MAZAK VARIAXIS 730-5X II 2PC. Конструкция ОЦ VARIAXIS 630-5X II 2PC практически идентична, основным отличием является вариант исполнения шпинделя – высокие частоты вращения (12 000 – 18 000 об/мин) при относительно небольших величинах крутящего момента и мощности (15 кВт при постоянной работе и 22 кВт в режиме не более 15 минут). Это определяет область применения модели VARIAXIS 630 для обработки алюминиевых и магниевых сплавов, где большие скорости резания сочетаются с небольшими усилиями резания. При

обработке стальных, титановых, жаропрочных и прочих труднообрабатываемых материалов усилия резания велики, а скорость резания существенно ниже, чем при обработке алюминия и магния. Поэтому у ОЦ модели VARIAXIS 730 используется шпиндель силового исполнения – обороты ниже (10 000 об/мин), а выше крутящий момент и мощность (22 кВт при постоянной работе и 30кВт в режиме 30 минут).



Рис. 5.11 Общий вид VARIAXIS 730-5X II 2PC

Основные узлы конструкции обрабатывающих центров VARIAXIS 630/730 аналогичны HCN5000-II, представленном выше. Рассмотрим отличительные особенности станков серии VARIAXIS.

Устройство шпиндельного узла представлено на рис. 5.12. Для охлаждения шпинделя используется система масляной рубашки: охлаждающее масло циркулирует вокруг гильзы шпинделя и гильзы встроенного двигателя. Инструмент, устанавливаемый в шпинделе, затягивается при помощи конической дисковой пружины и зажимается. Разжим инструмента происходит при помощи плунжерного штока гидравлического цилиндра, который нажимает на фиксирующий вал конической дисковой пружины. Подшипники шпиндельного узла смазываются воздушно-масляной смазкой. Для предотвращения повреждений узла смазки вследствие неправильного давления воздуха используется реле давления [3, 4].

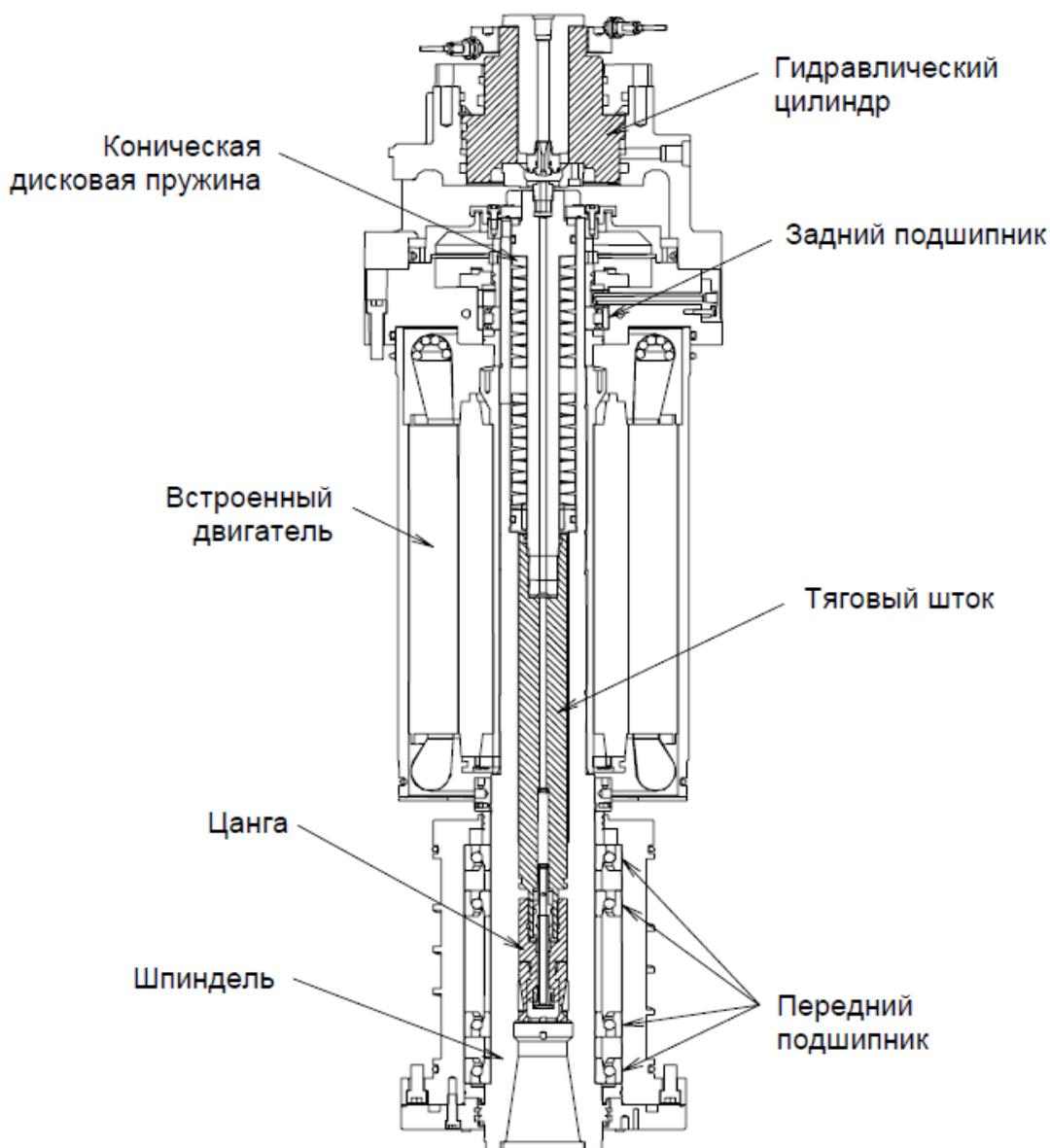


Рис. 5.12 Устройство шпиндельного узла [6]

Кроме линейных осей X, Y, Z обрабатывающие центры серии VARIAXIS оснащены поворотными осями A и C, реализация которых соответствует кинематике, представленной на рис. 4.6. Наклон (ось A) и вращение (ось C) стола осуществляется при помощи серводвигателя переменного тока и бегунка рольганга. В серводвигатель вставлен энкодер (датчик угла поворота), предназначенный определения положения стола (рис. 5.13).

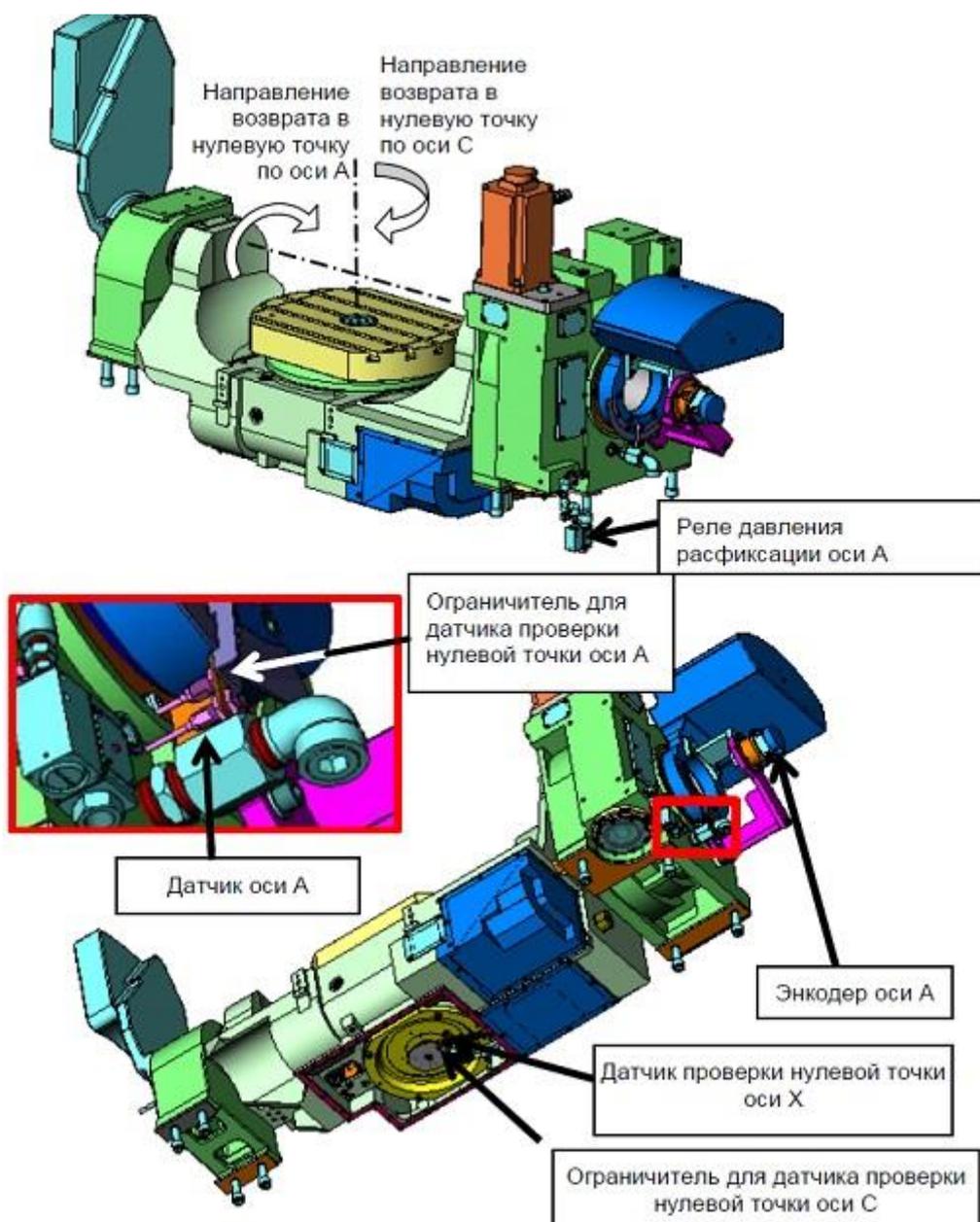


Рис. 5.13 Устройство наклонного стола ОЦ серии VARIAXIS [6]

Устройство автоматической смены инструмента (рис. 5.14) работает по тому же принципу, что и на ОЦ HCN5000-II. Исключением является вертикальное расположение инструмента в магазине.

Магазин вращается посредством серводвигателя переменного тока, обеспечивая позиционирование инструмента в нужную точку (рис. 5.15). В магазине инструментов находится устройство загрузки/выгрузки инструмента с ручным управлением. В положении АСИ для проверки наличия инструмента в держателе используется датчик.

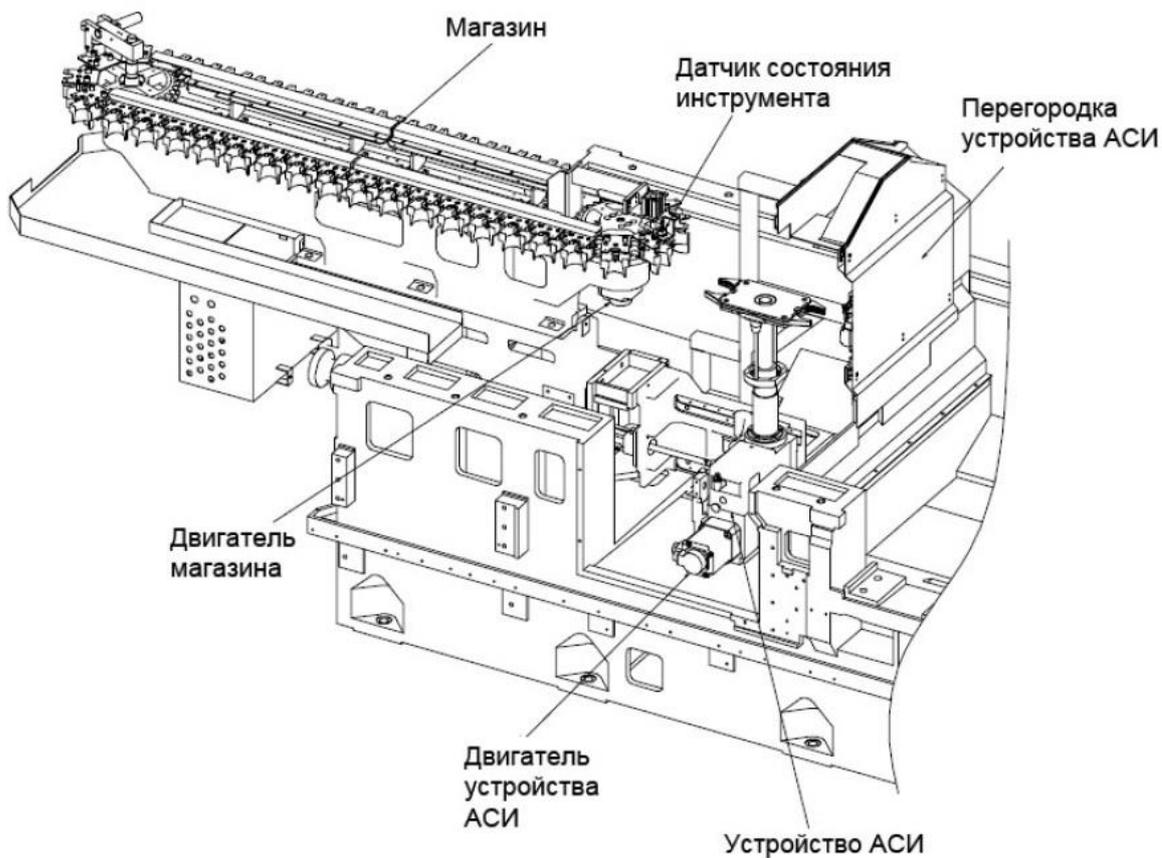


Рис. 5.14 Устройство АСИ станков серии VARIAXIS [6]

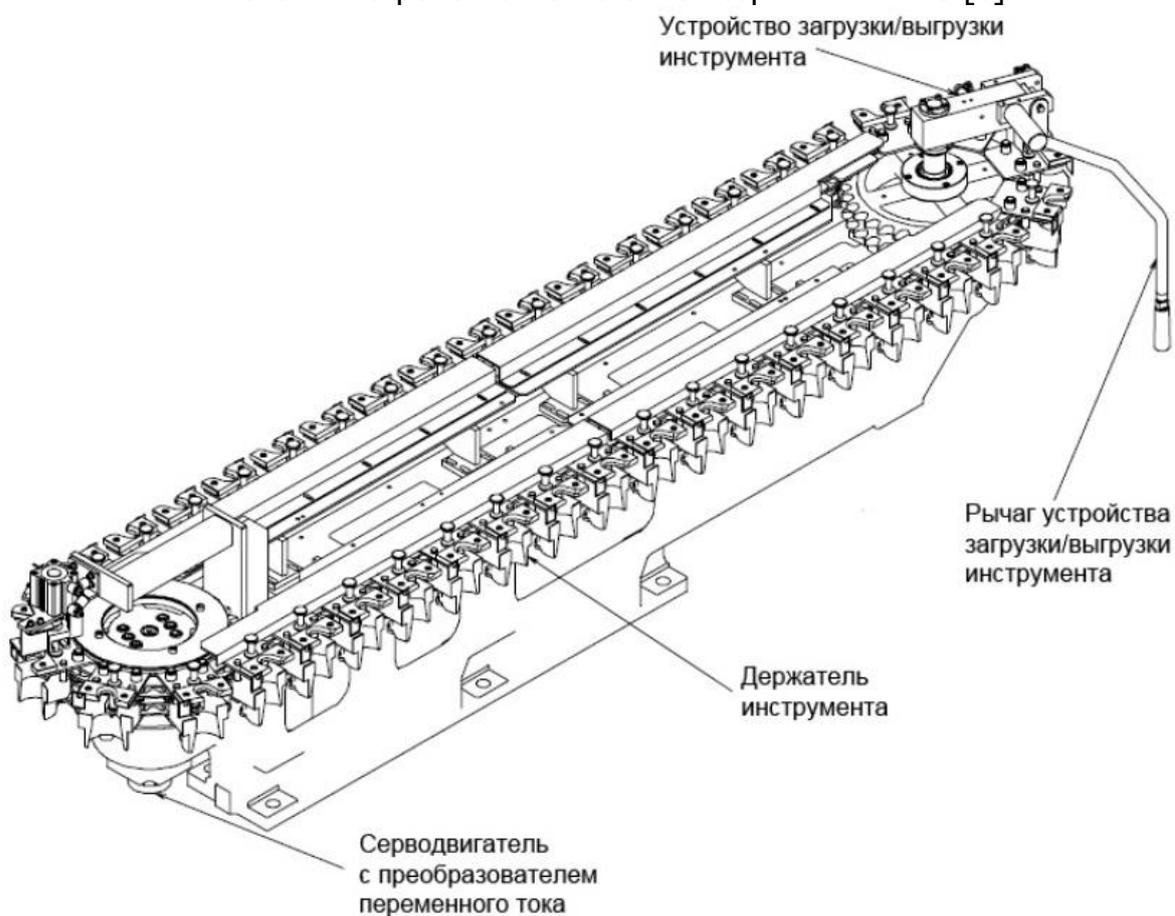


Рис. 5.15 Устройство магазина инструментов станков серии VARIAXIS [6]

Обрабатывающие центры серий HCN, VARIAXIS и INTEGREX, применяемые в ПАО «Роствертол», оснащены устройством смены паллет. Двухпаллетное исполнение станка позволяет значительно сократить потери времени на переналадку: в процессе обработки одной детали у оператора ОЦ есть возможность установить приспособление на второй паллете и закрепить в нем вторую деталь для последующей обработки. Таким образом, подготовительно-заключительное время для механической обработки партии деталей будет минимальным, снижаются простои оборудования, уменьшается технологическая себестоимость изготовления. Конфигурация устройства смены паллет ОЦ серии VARIAXIS представлено на рис. 5.16.

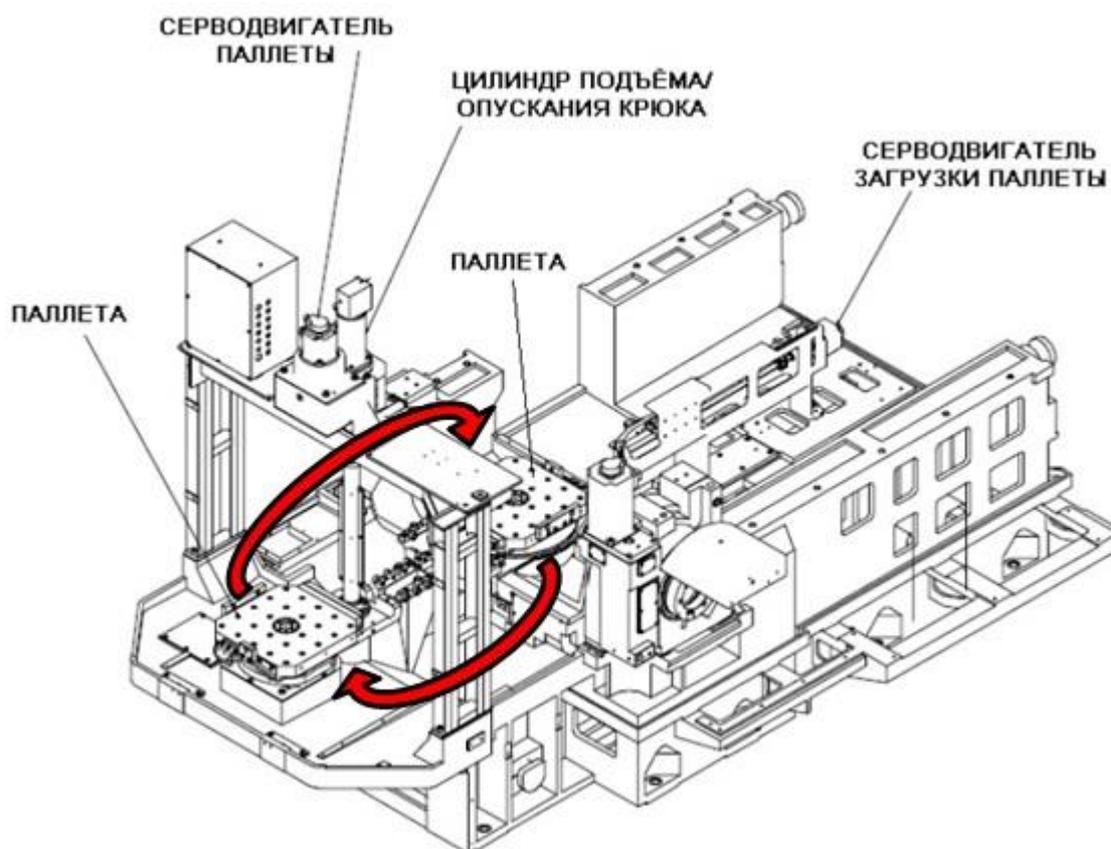


Рис. 5.16 Конфигурация устройства смены паллет [6]

Принцип действия следующий. При отводе погрузчика паллета вместе со столом станка перемещается в положение готовности смены и заменяется на другую паллету посредством накопителя. Затем паллета устанавливается на стол при подводе погрузчика. Поворот накопителя и подвод/отвод погрузчика осуществляется посредством серводвигателя переменного тока.

На рис. 5.17 представлен общий вид токарно-фрезерного обрабатывающего центра (ТФОЦ) MAZAK INTEGREX $\dot{\nu}$ 150, а рис.5.18 демонстрирует кинематику и основные узлы станка.



Рис. 5.17 Общий вид токарно-фрезерного ОЦ INTEGREX i-150

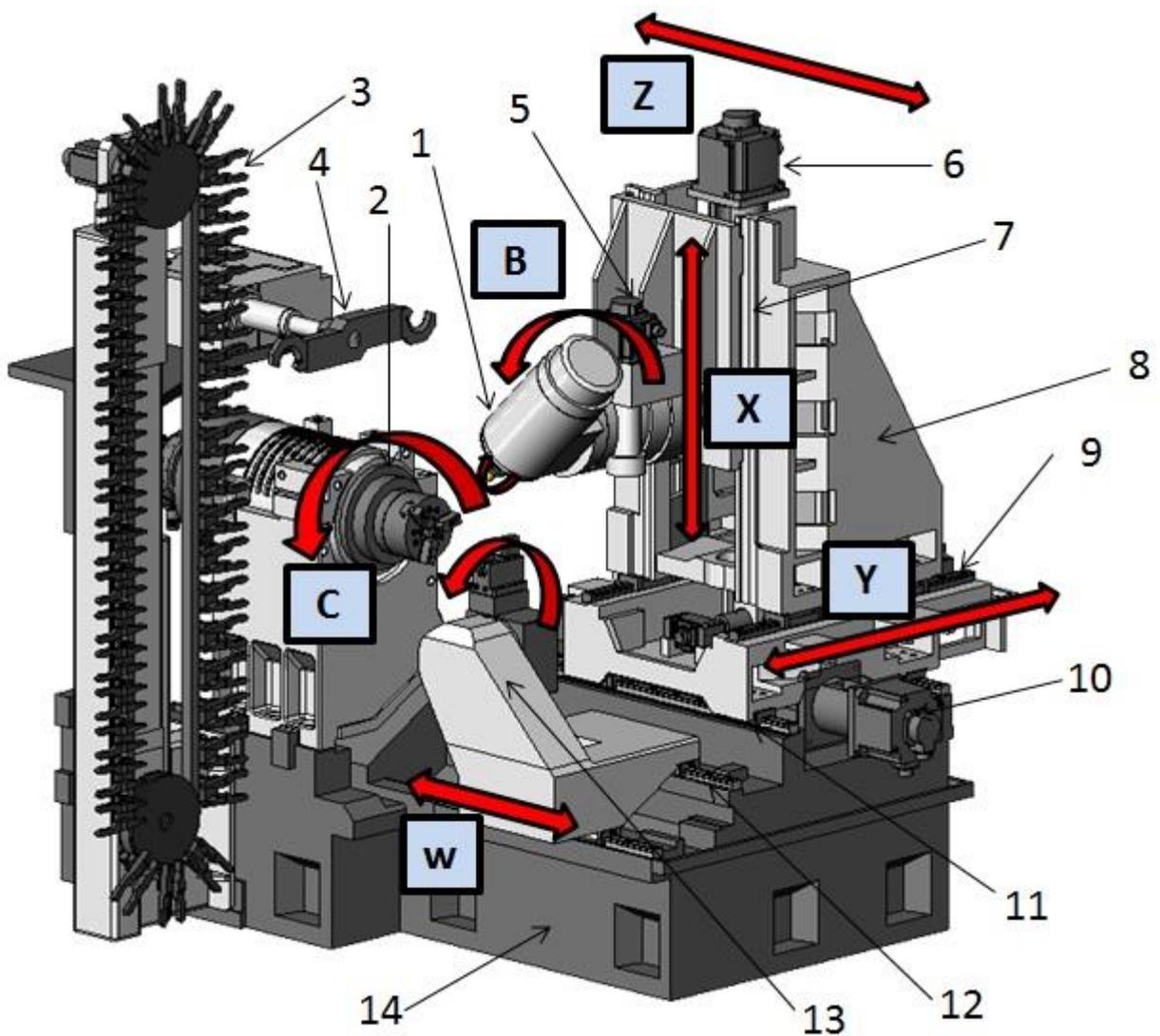


Рис. 5.18 Кинематика и основные узлы ОЦ INTEGREX i-150 [7]

Узел фрезерного шпинделя состоит из фрезерной головки (поз. 1), ее основания и механизмов приведения в движение фрезерного шпинделя, индексирования фрезерной головки, зажима, фрезерного шпинделя, фиксации фрезерной головки и зажима инструмента. Вертикальное движение шпиндельного узла по направляющим поз. 7, управляемое серводвигателем поз. 6, реализует координату X. Координаты Y и Z реализуются поперечным движением колонны (поз. 8) по направляющим (поз. 9) и продольным движением всего фрезерного шпиндельного узла по направляющим (поз. 11) станины станка (поз. 14) соответственно. Так как механизмы подачи оказывают непосредственное влияние на точность обработки, они собраны и отрегулированы с особой точностью. Шариковые пары осей X, Y и Z расположены максимально близко к соответствующим направляющим для обеспечения высокоточного позиционирования. ШВП каждой из осей через муфту приводятся в движение соответствующими им серводвигателями. Обрабатываемые центры оснащены системами компенсации шага и люфта, которые при помощи программы компенсируют разницу фактической величины хода по каждой оси и данными команды устройства ЧПУ [8].

Фрезерная головка, представленная на рис. 5.19, может индексироваться (поворачиваться) на любой угол от -10° до 190° с шагом $0,0001$ градуса. Причем возможно использовать как токарный, так и фрезерный инструмент. Смена инструмента происходит в положении H (0°).

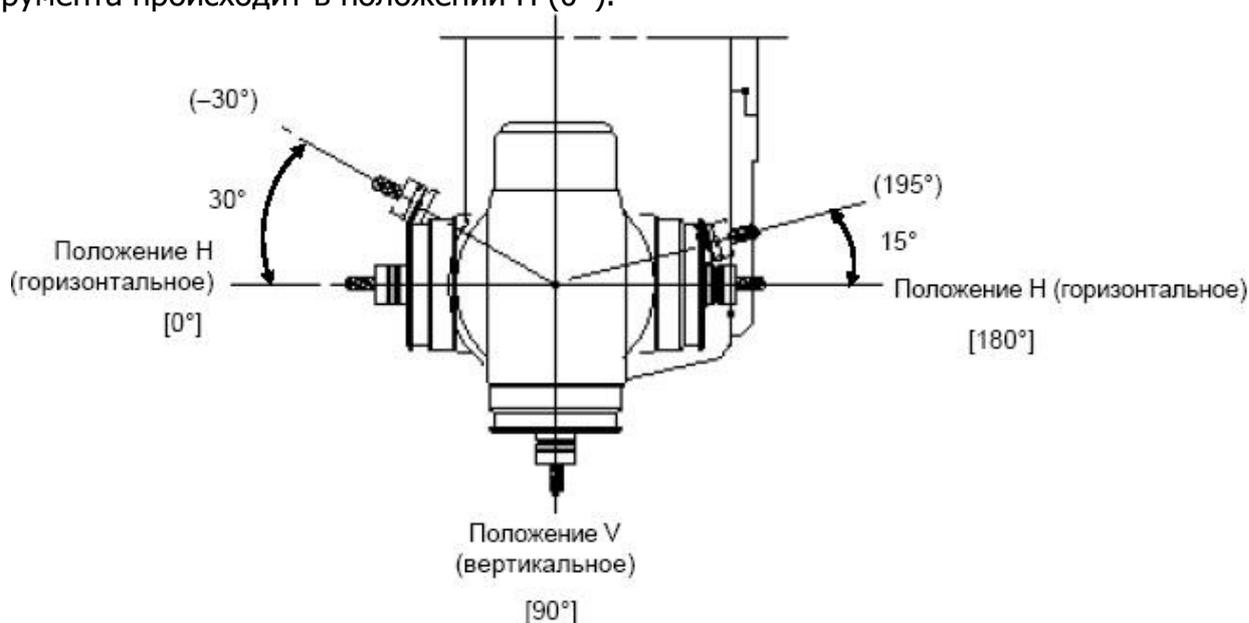


Рис. 5.19 Работа фрезерной головки INTEGREX $\dot{\iota}$ 150 [7]

Токарный шпиндель (поз. 2), реализующий ось C, приводится в движение непосредственно при помощи встроенного двигателя, который преобразует энергию преобразователя переменного тока в машинную мощность без потерь механической энергии. При ручном управлении требуемая частота вращения шпинделя вводится непосредственно в устройство ЧПУ. При работе в режиме автоматического управления частота вращения шпинделя контролируется в режиме управления постоянной скоростью резания (окружная скорость). При помощи охладителя механизм охлаждения поддерживает температуру, равную комнатной. Токарный шпиндель также охлаждается воздухом. Помимо токарных операций, ось C может использоваться и для фрезерно-сверлильных операций. В этом случае направление шпинделя определяется с помощью энкодера оси C, которая может индексироваться с шагом $0,0001$ градус на любой угол. Также возможно выполнять фрезерование при

вращении по оси С [8].

Обрабатывающий центр INTEGREX $\neq 150$ (рис. 5.18) оснащен револьверной головкой (поз. 13), материализующей ось W и на которую могут быть установлены тиски или упорный центр.

Зажимное приспособление (тиски) (рис.5.20) используется для обработки длинных неподвижных деталей с поддержкой снизу консольной части. Также тиски можно использовать как отдельное зажимное устройство с перехватом детали из токарного патрона в тиски и поворачивать заготовку с шагом 90° (возможно промежуточное положение 45°) от 0° до 180° (рис. 5.21) посредством сервопривода. При получении команды на индексирование многопозиционные муфты и выходят из зацепления, и барабан зажимного приспособления разжимается. Затем серводвигатель переменного тока начинает поворачивать барабан зажимного приспособления до тех пор, пока энкодер не подтвердит, что барабан достиг нужного положения. По завершении индексирования двигатель останавливается, и барабан зажимного приспособления снова прижимается.

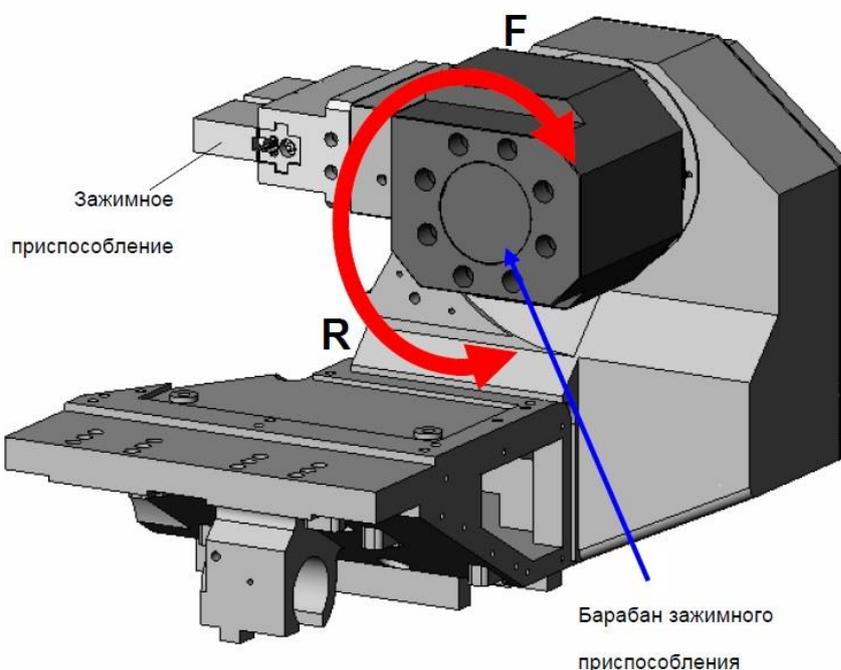


Рис. 5.20 Зажимное приспособление ОЦ INTEGREX $\neq 150$ [7]

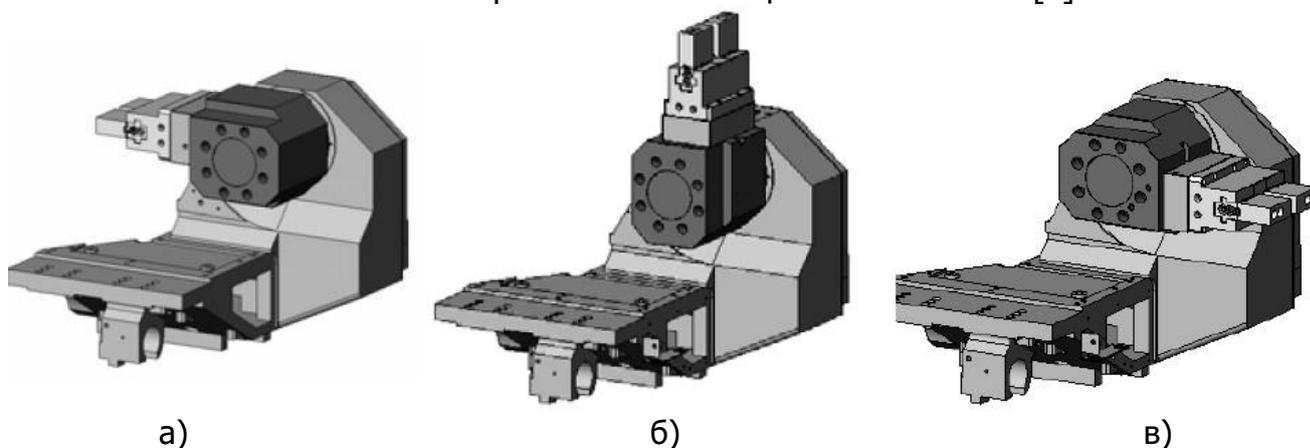


Рис. 5.21 Возможные положения зажимного приспособления: а) 0° , б) 90° , в) 180°

Вместо или совместно с зажимным приспособлением на револьверную головку

возможна установка упорного центра (рис. 5.22), который используется для обработки деталей длиной более 2-2,5 диаметра с поджимом в центральное отверстие для исключения провисания консольной части заготовки. Задний центр также приводится в движение серводвигателем переменного тока через ШВП, а усилие поджима регулируется в диапазоне от 0,3 кН до 1,2 кН. Если в процессе обработки образуется длинная стружка, возникает опасность ее накручивания на держатель и попадания на задний центр, находящийся в исходном положении. Во избежание этого следует подбирать режимы обработки таким образом, чтобы они обеспечивали разбивание стружки на части.

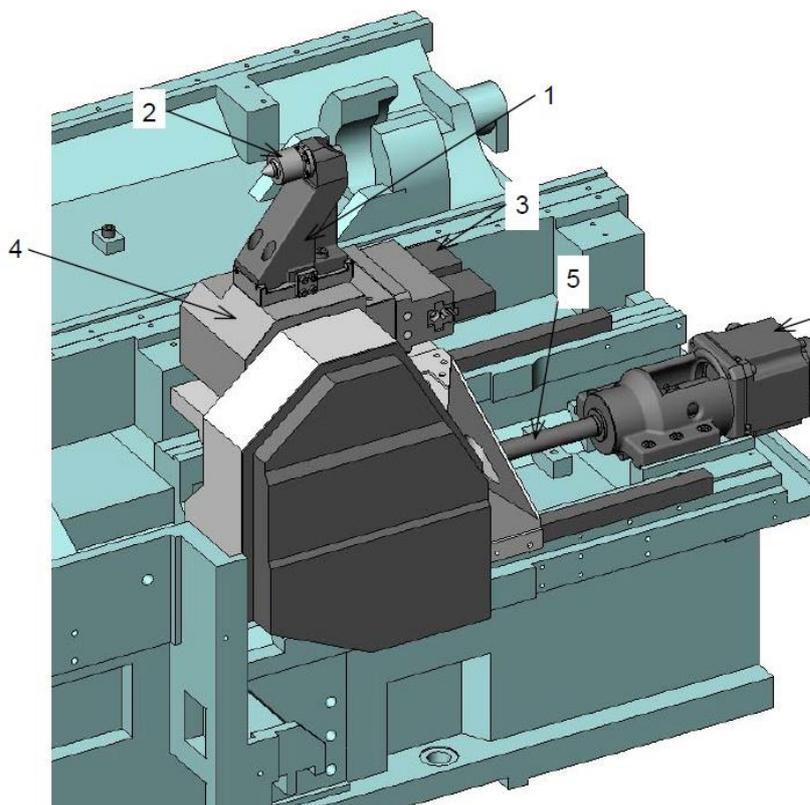


Рис. 5.22 Основные детали заднего центра [8]

- 1 – корпус заднего центра,
- 2 – вращающийся центр,
- 3 – зажимное приспособление,
- 4 – барабан зажимного приспособления,
- 5 – шарико-винтовая пара,
- 6 – серводвигатель переменного тока

Обработывающий центр модели INTEGREX $\dot{\alpha}$ 150 в зависимости от комплектации может быть оснащен магазином инструментов на 36 или на 72 позиции. Рассмотрим принцип работы устройства автоматической смены инструмента (АСИ) для магазина на 36 позиций (5.23 – 5.24). Фрезерный шпиндель (1) занимает положение смены инструмента. Механизм смены (2) берет необходимый инструмент (заранее подготовленный для смены устройством ЧПУ) в магазине (4). Шторка (5) механизма опускается в положение «открыто» и рука устройства АСИ проводит смену инструмента.

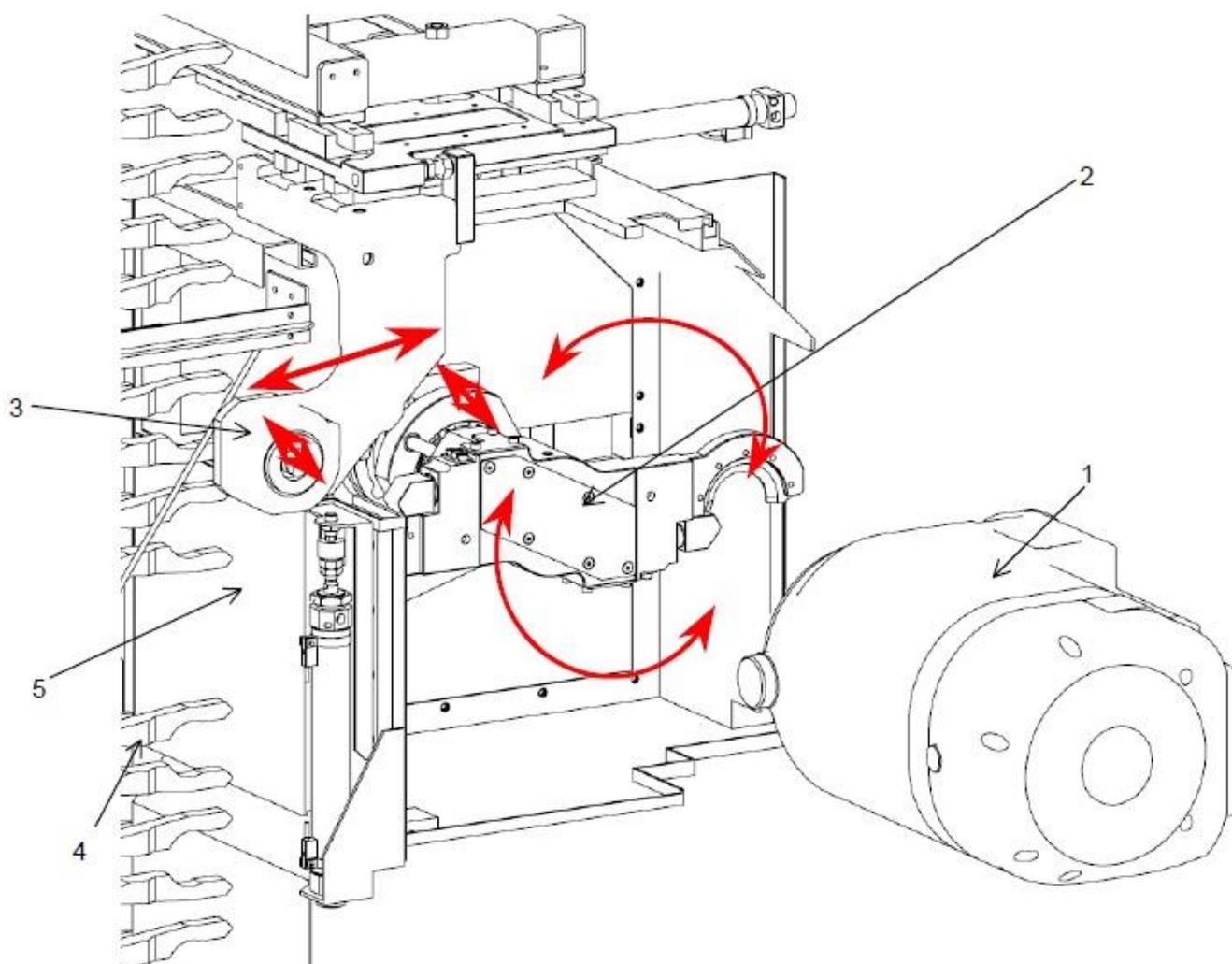
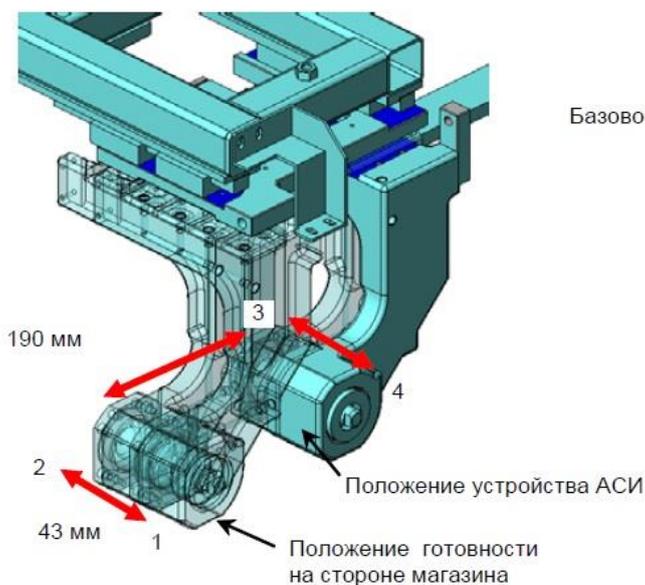


Рис. 5.23 Устройство АСИ на 36 инструментов: 1 – фрезерный шпиндель, 2 – рука устройства АСИ, 3 – механизм смены инструмента, 4 – магазин инструментов, 5 – шторка механизма смены инструмента [8]

Работа устройства АСИ выполняется за счет бегунка рольганга, который приводится в движение серводвигателем, а механизм смены инструмента работает за счет гидравлического цилиндра.

Механизм смены инструмента



Устройство АСИ

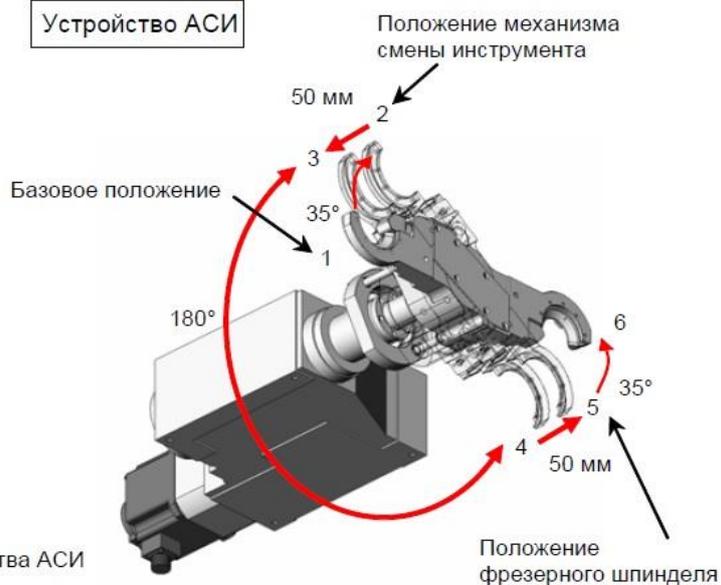


Рис. 5.24 Перемещение устройства АСИ и механизма смены инструмента (для станка с магазином на 36 инструментов) [8]

На рис. 5.25 представлен внешний вид токарно-фрезерного обрабатывающего центра INTEGREX 300-IV ST, а его кинематика на рис. 5.26.



5.25 Общий вид INTEGREX 300-IV ST

Главным отличием ОЦ модели INTEGREX 300-IV ST от INTEGREX \neq 150, кроме увеличенного рабочего пространства и как следствие возможности обрабатывать детали большего габарита, является наличие дополнительного шпинделя (контршпиндель).

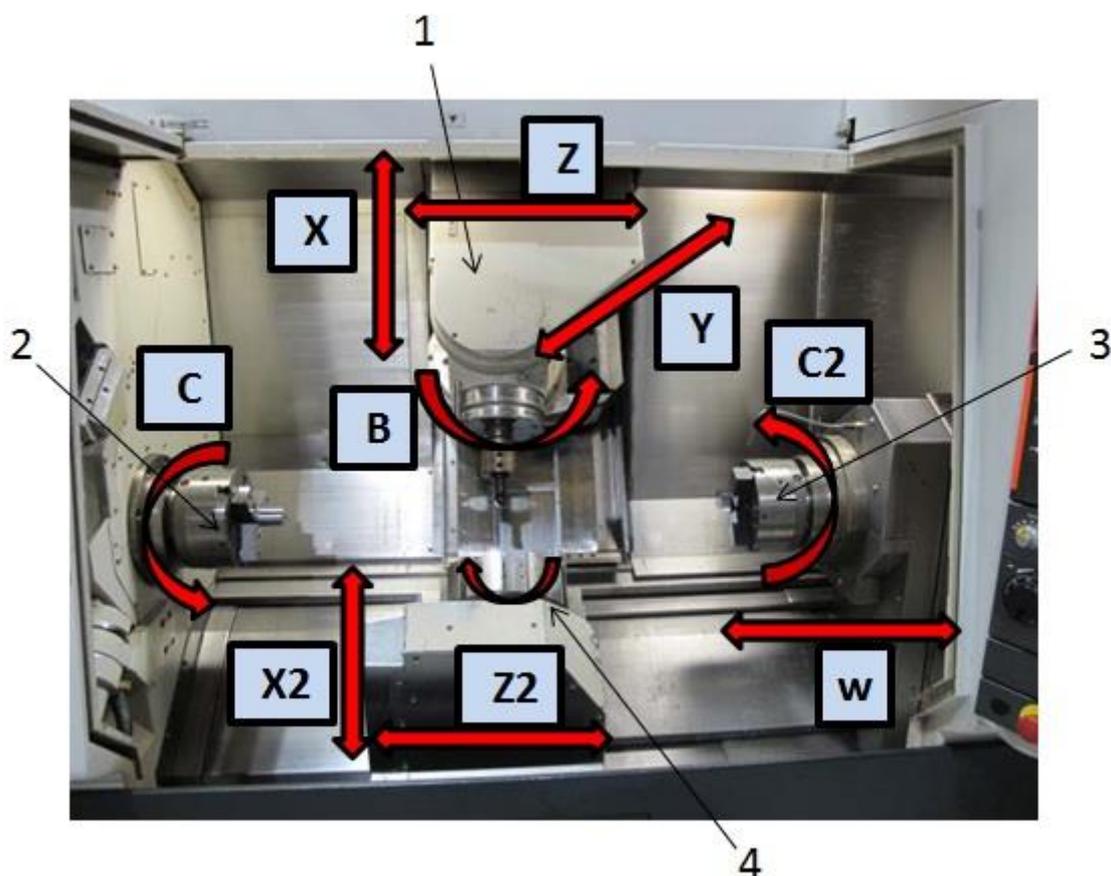


Рис. 5.26 Кинематика и основные узлы INTEGREX 300-IV ST
(1 – фрезерный шпиндельный узел, 2 – токарный шпиндель, 3 – контршпиндель,
4 – нижняя револьверная головка)

Вертикальное, продольное и горизонтальное движение фрезерного шпиндельного узла (поз. 1) посредством серводвигателей и ШВП каждой оси реализует координаты X, Y и Z соответственно. Кроме того, приводные механизмы осуществляют поворот (рис. 5.19) и фиксацию фрезерной головки, шпинделя и инструмента.

У станков модели INTEGREX 300-IV ST вместо заднего центра установлен дополнительный токарный контршпиндель (поз. 3), который имеет возможность перемещаться в горизонтальном направлении по оси W (рис. 5.27). Он как и главный шпиндель (поз. 2) приводится в действие встроенным двигателем, может устанавливаться в любое угловое положение (360°) с шагом $0,0001^\circ$, а также вести фрезерование с одновременным управлением оси C2. Применение дополнительного токарного шпинделя в конструкции ОЦ расширяет его технологические возможности. Может происходить одновременная обработка двух деталей (например, обработка «главный шпиндель – фрезерный шпиндель» и «контршпиндель – револьверная головка»), так и обработка одной детали с ее перехватом из главного шпинделя в дополнительный, реализуя два установка в автоматическом режиме.

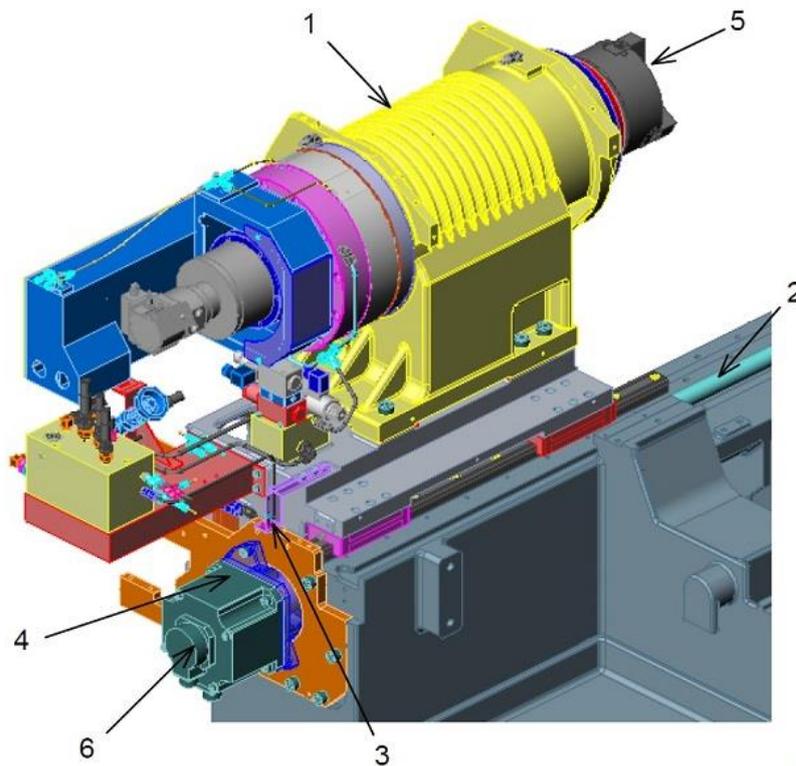


Рис. 5.27 Устройство оси W [9]

(1 – контршпиндель, 2 – ШВП оси W, 3 – бесконтактный переключатель нулевой точки по оси W, 4 – серводвигатель оси W, 5 – зажимной патрон, 6 – датчик)

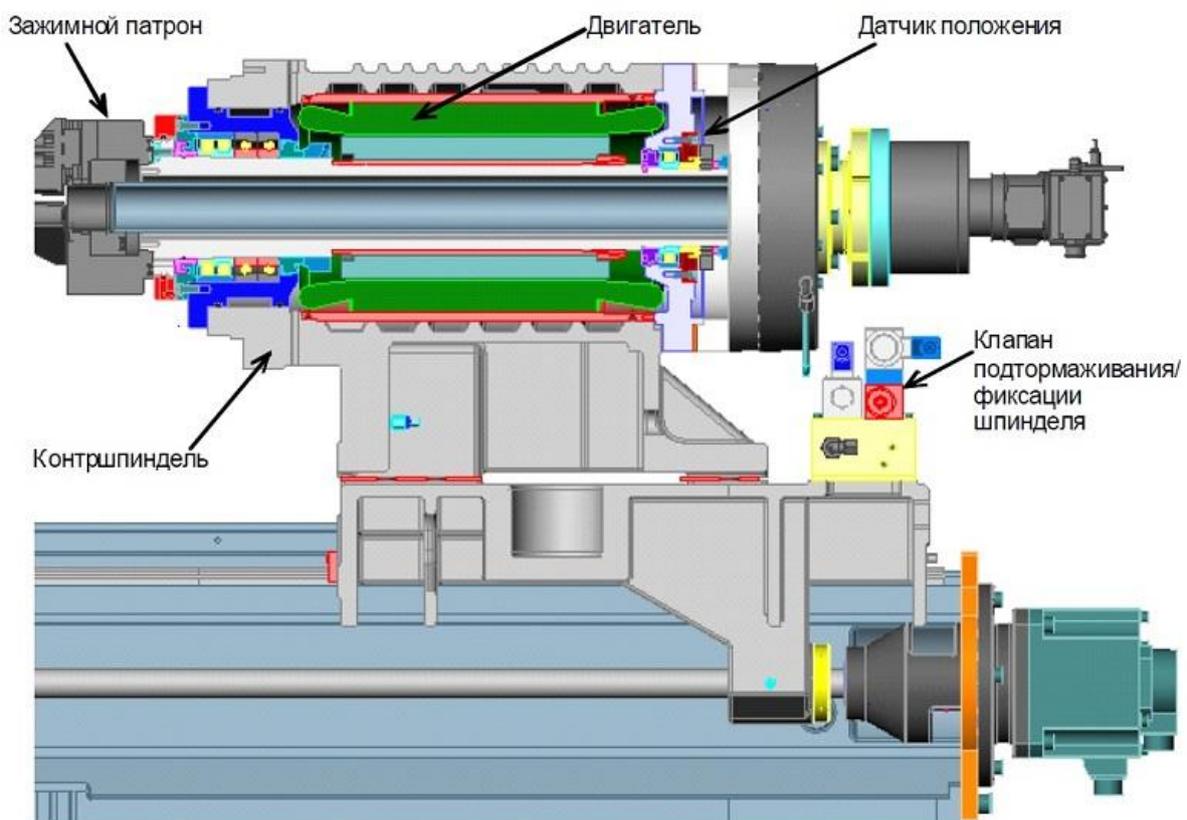


Рис. 5.28 Устройство контршпинделя [9]

Револьверная головка (поз. 4) может использоваться для обработки, как со стороны главного шпинделя, так и со стороны контршпинделя, реализуя оси Z2 и X2. На ней предусмотрено 9 поверхностей, которые служат для установки и индексирования инструмента. Вращение револьверной головки осуществляется серводвигателем, а положение контролируется с помощью датчика, установленного на двигателе. Во время работы ОЦ в режиме автоматического управления для индексирования выбранного инструмента головка вращается по кратчайшей траектории, а в ручном режиме направление выбирается по часовой стрелке (F) или против (R) (рис. 5.29).

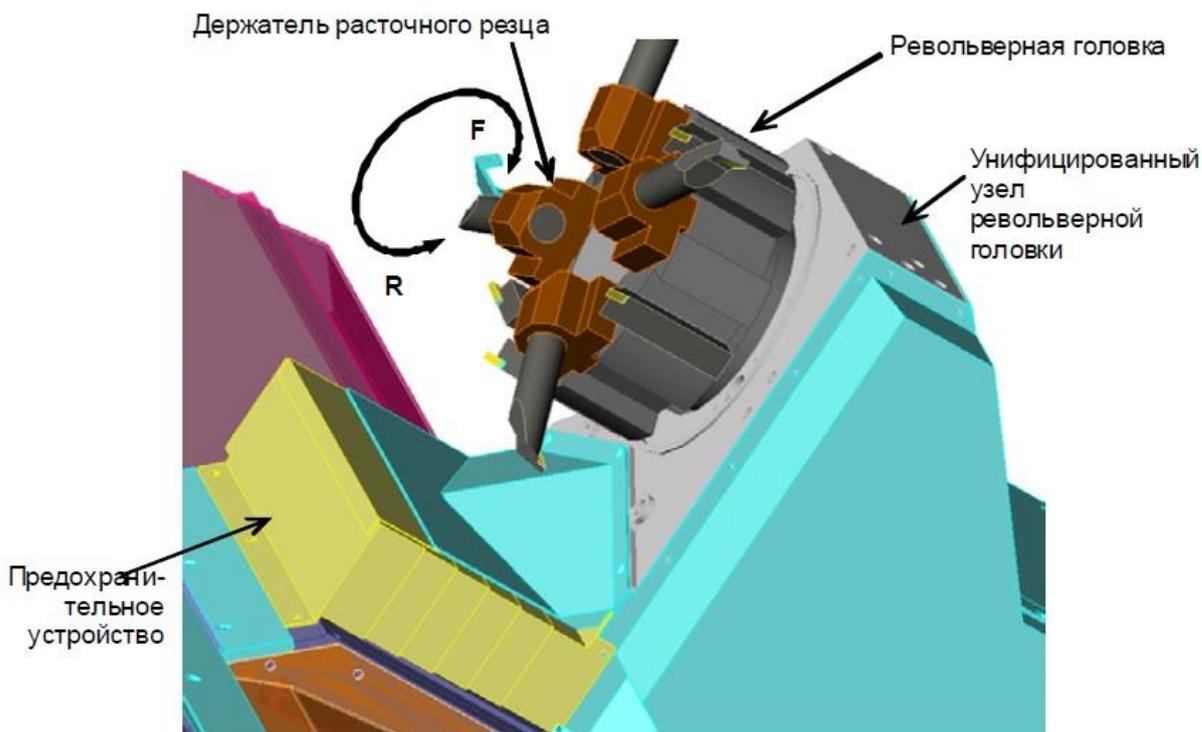


Рис. 5.29 Револьверная головка

Для обработки деталей большого диаметра (1500 мм и более) и веса используют токарно-карусельные станки, отличительной особенностью которых является вертикальное расположение токарного шпинделя, что снижает действие изгибающих сил, повышает точность обработки, облегчает установку и выверку заготовки.

На рис. 5.30-5.31 представлены общий вид, кинематика и основные узлы токарно-карусельного обрабатывающего центра INTEGREX e-1550V/10 II.



Рис. 5.30 Общий вид INTEGREX e-1550V/10 II

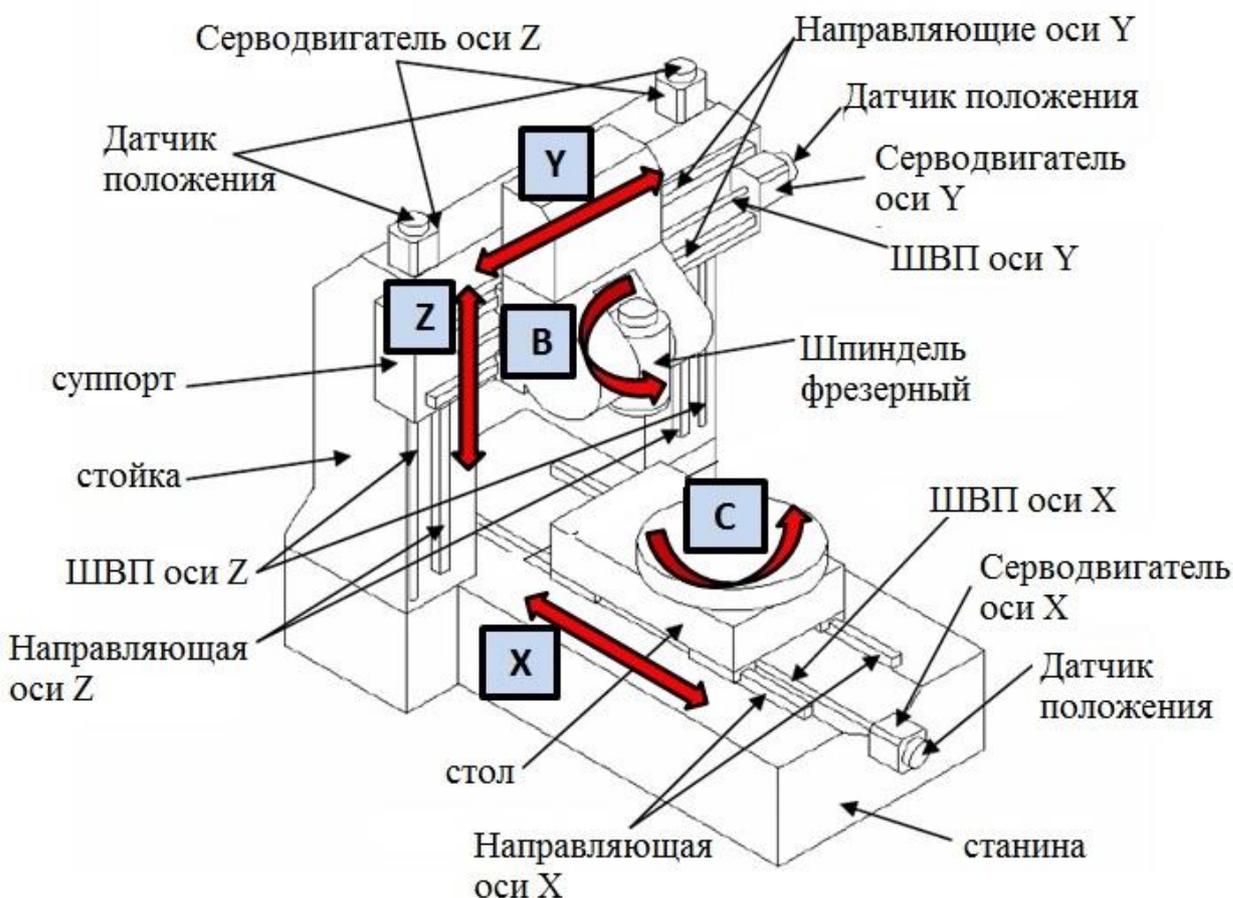


Рис. 5.31 Кинематика и основные узлы INTEGREX e-1550V/10 II [10]

Главное отличие токарно-карусельного обрабатывающего центра INTEGREX e-1550V/10 II от фрезерного пятикоординатного станка, кинематика которого представлена на рис. 4.10, является возможность работы стола в двух режимах: режим оси C и режим токарного шпинделя. В режиме работы оси C червяк и червячное колесо входят в зацепление друг с другом (метод расцепляющего червяка), а механическая передача для токарной обработки отключается с помощью механизма переключения. В режиме работы токарного шпинделя процесс обратный.

6. OMV технологии

Изменение в области координатно-измерительного оборудования, которое можно назвать революционным, непосредственно затрагивающим производственный процесс и механическую обработку в частности, связано с появлением измерительных головок, устанавливаемых в шпиндель обрабатывающего центра вместо режущего инструмента. Это привело к бурному развитию технологий OMV (on-machine verification) – контролю точности обработанной детали непосредственно на станке.

Поскольку основным назначением измерительных головок является привязка систем координат детали (СКД) к системе координат станка (СКС), вначале рассмотрим особенности определения исходной точки.

6.1 Нулевая точка программы и рабочая система координат

Любой станок имеет точку отсчета пространства, в котором перемещаются рабочие органы, называемая нолем станка (в англоязычной литературе MCS – machine coordinate system). **Нулевая точка станка** – это физическая позиция, установленная производителем станка при помощи концевых выключателей или датчиков, которые предотвращают выход за пределы перемещений рабочие органы, выдавая ошибку на мониторе стойки станка.

Однако инженер-программист при разработке управляющей программы не учитывает положение ноля станка, так как это потребовало бы обеспечить точное положение заготовки относительно данной точки, что существенно усложняет процесс наладки. Решением проблемы является задание некой точки на детали, относительно которой выводилась бы управляющая программа. Данная точка называется **нолем детали** (ноль программы, рабочая система координат) и выбирается на основании анализа данных чертежа, технологического процесса, особенностей изготовления и другой технической информации. Как правило, нулевой в точкой в плоскости XY является угол заготовки, габаритный центр заготовки (в случае поковки), центр отверстия или бобышки. По оси Z – верхняя или нижняя плоскость заготовки. С целью обеспечения соответствия показателей качества, заложенных в чертеже, рекомендуется в качестве ноля детали иметь конструкторскую базу, от которой задается цепочка размеров.

Таким образом, имеем две системы координат и две нулевые точки – станка и детали. Для проведения обработки оператор находит положение нулевой точки детали, т.е. значений координат X_d , Y_d и Z_d в системе координат станка XYZ (рис. 6.1). Затем в устройстве ЧПУ используется функция «рабочая система координат», когда в ячейки вводится расстояние от ноля станка до нулевой точки детали. Для удобства обработки в современных станках может быть несколько рабочих систем координат, которые обозначаются G54, G55, G56 и т.д. Процедура нахождения ноля детали называется «привязкой» [11].

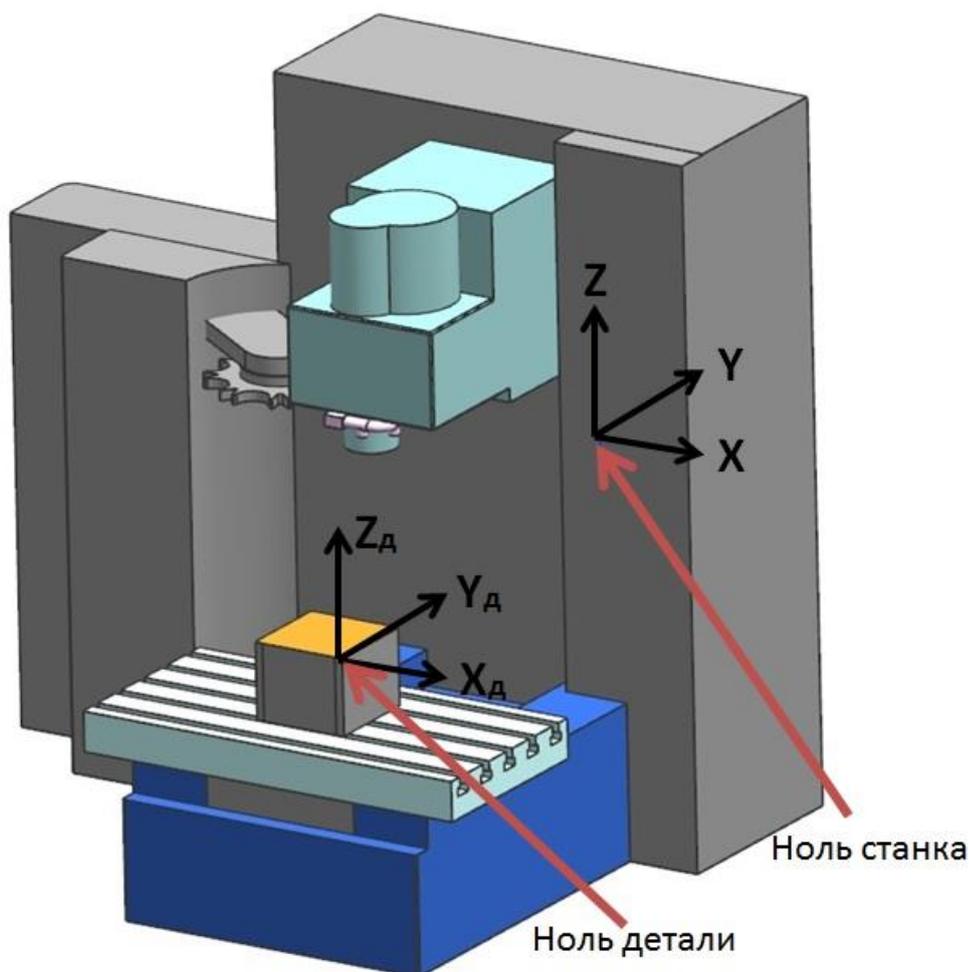


Рис. 6.1 Привязка системы координат детали к системе координат станка

6.2 Станочные датчики для привязки и измерения

Для автоматического установления рабочей системы координат и измерения размеров деталей на станок с ЧПУ устанавливается специальная система, состоящая из измерительного щупа, который крепится в шпинделе аналогично инструменту, и инфракрасного датчика, «висящего» на корпусе внутри рабочей зоны. Оператор станка может подвести щуп к детали, по определенной команде он коснется поверхности и определит ее координаты. Используя измерительные циклы, можно найти центр отверстия, бобышки или габарита заготовки.

Одним из лидеров в области станочных датчиков привязки и измерения компонентов являются системы RENISHAW. На обрабатывающих центрах MAZAK используются оптические датчики касания RENISHAW OMP60 (рис. 6.2). Контактные измерения позволяют отказаться от выставления заготовки вручную с помощью индикаторов с круговой шкалой. Использование измерительных датчиков, установленных в шпиндель обрабатывающего центра, дает возможность сокращения простоя станка, снизить количество брака за счет устранения ошибок ручной наладки, автоматизировать выравнивание заготовки и корректировки положения оси вращения, что в конечном итоге позволяет повысить производительность и гибкость в серийном производстве.



Рис. 6.2 Контактный датчик RENISHAW OMP60

На рисунке 6.3 представлена деталь «Качалка», изготавливаемая из поковки алюминиевого сплава АК4-1ч.Т с габаритами 220×120×70 мм, и нулевая точка заготовки (рабочая система координат).

В данном случае координаты X и Y рекомендуется располагать в центре заготовки, а Z от нижней плоскости заготовки (плоскость губок тисков). В некоторых случаях обосновано располагать Z от верхней плоскости заготовки. Но в случае больших допусков на габарит поковки (или при установке на ОЦ заготовки с прослабленными размерами относительно расчетных) существует опасность столкновения режущего инструмента или рабочих органов станка (например, шпинделя) с элементами технологической оснастки (в данном случае с тисками). Это особенно актуально при программировании 4-х и 5-ти осевой обработки, где движение инструмента происходит в нескольких плоскостях и порой в непосредственной близости от оснастки.

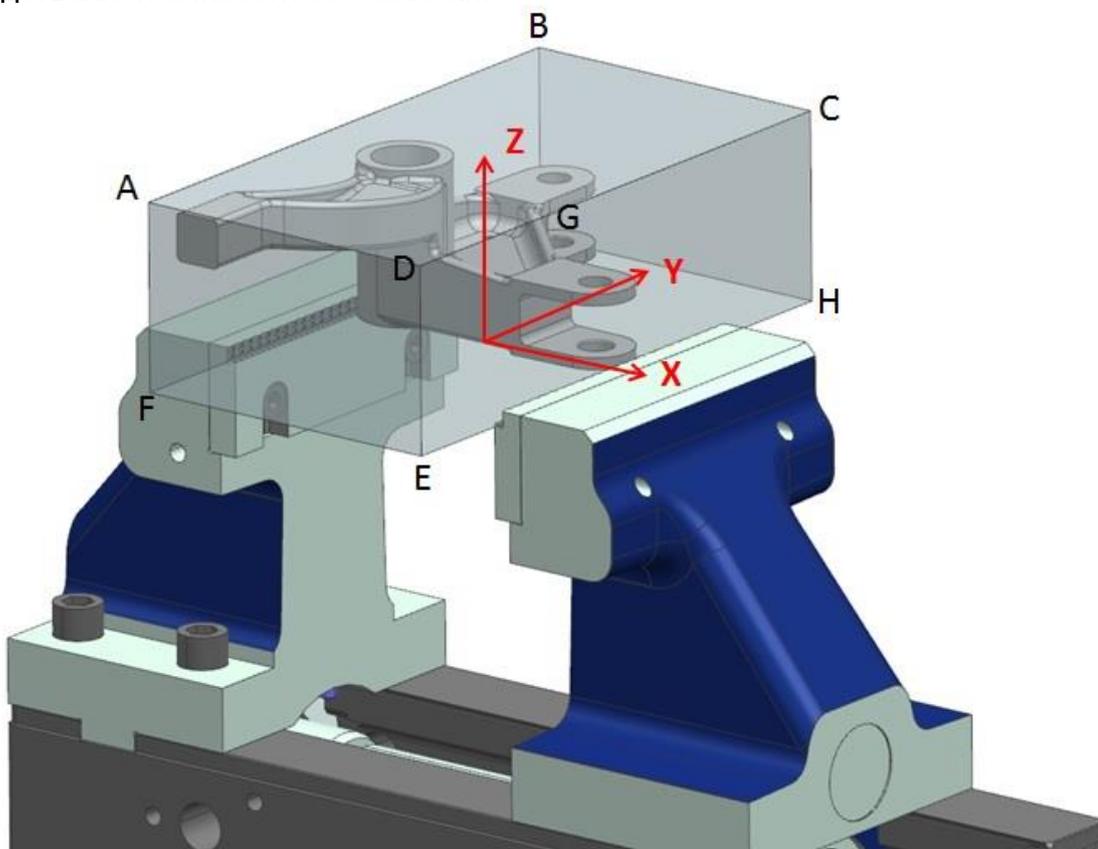


Рис. 6.3 Установка рабочей системы координат

Рассмотрим порядок установки рабочей системы координат, представленной на рис. 6.3. Для этого из магазина инструментов вызывается контактный датчик измерения (рис. 6.2). Оператор станка в режиме ручного управления подводит его к заготовке и запускает цикл нахождения центра габарита. Для вычисления координаты центра по оси X происходит касание щупом поверхности CDEH и поверхности BAFG, а устройство ЧПУ автоматически вычисляет середину. Аналогично определяется центр по оси Y последовательным касанием поверхностей BCHG и ADEF. Координата Z может быть вычислена двумя способами: касанием щупа установочной поверхности губок тисков до установки заготовки, либо от верхней плоскости тисков при последующем смещении на величину ступеньки губок. Измеренные значения координат X, Y и Z записываются в рабочую систему координат, которая будет использоваться в качестве ноля программы.

В некоторых случаях есть возможность выполнить привязку от центра обработанного отверстия или бобышки. Для установления ноля детали в центре отверстия выполняются следующие действия. После вызова из магазина инструментов датчика оператор в ручном режиме подводит его ориентировочно в центр отверстия и запускает цикл измерения. Датчик совершает касание образующей отверстия в 4-х точках (диаметрально противоположных) и выдает координату центра, которая заносится в память станка. На рис. 6.4 представлена операция установки системы координат в центр отверстия.

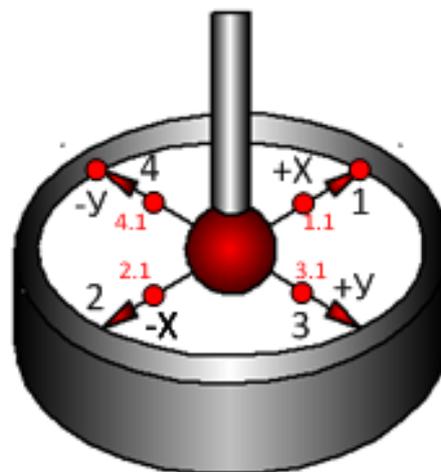
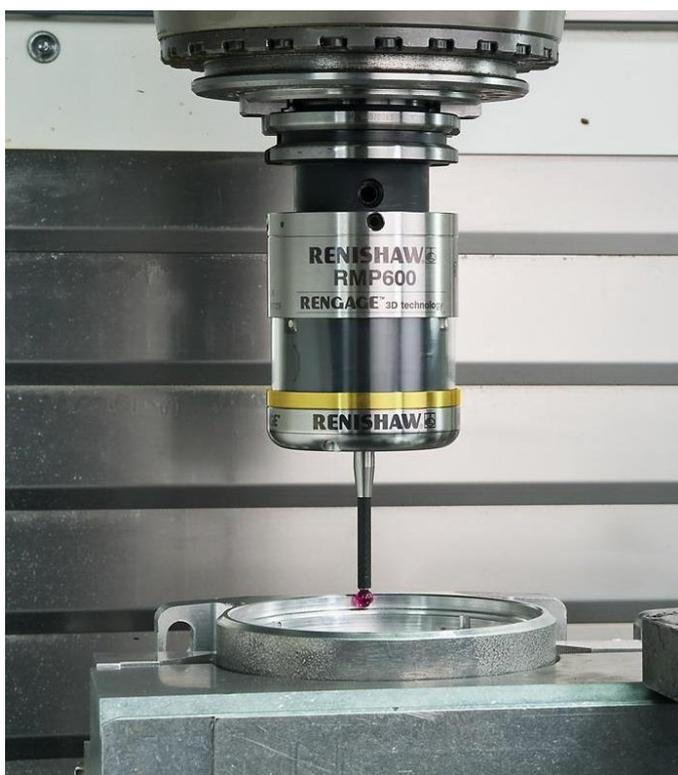


Рис. 6.4 Определение координаты центра отверстия с помощью контактного датчика

6.3 Концепция OMV-измерений

Как отмечалось ранее, датчики касания, устанавливаемые в шпиндель обрабатывающего центра, могут использоваться для контроля точности обработанных деталей. С точки зрения метрологии, измерять деталь при помощи станка, на котором она изготовлена, идеологически неверно, но исследования компании Renishaw

показали, что точность современного металлообрабатывающего оборудования соизмерима с точностью стационарных контрольно-измерительных машин и достаточна для межоперационного контроля. Принципы применения измерительных головок подразумевают, что на стационарной КИМ (при необходимости) будет выполняться лишь окончательный контроль точности, а все промежуточные контрольные операции – непосредственно на станке без извлечения детали из фиксирующего приспособления. Таким образом, в случае возникновения каких либо ошибок, они будут выявляться и исправляться непосредственно на станке. Цехам и производствам, у которых отсутствуют стационарные КИМ, концепция OMV позволит сэкономить время и средства за счет отказа от использования шаблонов и контрольной оснастки [12].

При традиционной технологии механообработки, изделие после каждого этапа обработки необходимо снять со станка, доставить в измерительную лабораторию, измерить на КИМ, вернуть в цех, правильно забазировать деталь на станке и лишь затем приступить к исправлению ошибок или дальнейшей обработке. Транспортировка крупногабаритного изделия представляет не только сложную техническую задачу и увеличивает производственный цикл изготовления, но и каждое повторное базирование является потенциальным источником новых ошибок. Концепция OMW способна обеспечить экономию времени, позволяя при этом на любой стадии обработки выполнять дополнительные справочные измерения. Например, в случае поломки инструмента, не дожидаясь окончания чистовой обработки и замеров на стационарной КИМ, можно быстро определить пригодна ли деталь для дальнейшей обработки. Также возможно проконтролировать, насколько точно установлена заготовка на станке и достаточен ли припуск на обработку. Поскольку управляющие программы для современных ОЦ разрабатываются на основе трехмерных CAD-моделей, а не чертежей, то OMW более естественный процесс измерений на станке, обеспечивающий высокую точность контроля. Специальное программное обеспечение позволяет оператору станка в наглядном графическом виде анализировать результаты обработки и сравнивать их с математически заданными 3D-моделями. Очевидно, что применение технологий OMW в реальном авиационном производстве требует высокого доверия к станку с ЧПУ, поэтому перед началом работы необходимо проверить, что он обеспечивает заявленную точность и стабильность размеров, как и ранее. Один из путей решения данной задачи – изготовление тестовой детали с последующей ее проверкой стационарной КИМ [12, 13].

6.4 Адаптивная механическая обработка

Традиционно в технологии машиностроения операции механической обработки и контроля точности рассматриваются как два независимых процесса, выполняемых на разном оборудовании, а порой и в разных цехах. Сложность конструкции, возрастающие требования к качеству и точности деталей летательных аппаратов, а также широкое внедрение концепций цифрового производства на предприятиях авиастроительной отрасли требуют более эффективного использования трехмерных математических моделей деталей. В частности применять их не только для подготовки, верификации (проверки) управляющих программ и сравнения с обработанной деталью, но и в целях интеграции операций механической обработки и контроля точности непосредственно на станке. Эти инновационные высокотехнологичные методы получили название «адаптивная механическая обработка».

Основное направление использование методов адаптивной механической

обработки связано с незнанием точного положения заготовки на станке. Как правило, установка и базирование крупногабаритных и/или тяжелых заготовок достаточно сложный и трудоемкий процесс. Отчасти эта проблема может быть решена использованием специальной технологической оснастки, но ее применение не всегда возможно, заготовка может не иметь выраженных технологических баз [12].

Не меньше трудностей вызывает базирование деталей среднего и малого размера, изготавливаемых из литейных заготовок. Размеры и качество баз в этом случае не всегда обеспечивают повторяемость привязки, т.е. установив нулевую точку на одной заготовке на второй не получим должной точности и деталь пойдет в брак.

Кроме того, адаптивная механообработка позволяет не только повысить качество и снизить потери от брака, но и уменьшить номенклатуру технологической оснастки. На рис.6.5 представлена деталь «кронштейн» из стали 30ХГСА, устанавливаемая на магнитный стол станка. Таким образом, деталь лишена трех степеней свободы. Возникает сложность в определении положения рассматриваемой детали в плоскости XY. Преодоления этой трудности возможно использованием одного из методов адаптивной механической обработки, который получил название **«виртуальное базирование»**. Как отмечалось выше, разработка управляющих программ на станок с ЧПУ ведется с применением точных трехмерных математических моделей деталей, причем инженер-программист сам выбирает ноль детали (руководствуясь определенными к ним требованиями), положение которого в результате должно быть совмещено с нолем станка. Т.е. ноль детали привязан к рабочей системе координат, задающей положение заготовки на столе обрабатываемого центра относительно ноля станка. На рис. 6.5 представлено теоретическое положение заготовки (максимальный габарит вдоль оси Y) и реальное, полученное установкой на магнитный стол. На практике оказывается, что теоретическая система координат детали XYZ повернута вокруг оси Z на некоторый угол δ – СКД X_1Y_1Z . Оператору станка с ЧПУ необходимо добиться минимального значения угла δ , т.е. совместить X_1Y_1Z с XYZ. Но с точки зрения математики готовую ЧПУ-программу можно без потери точности пересчитать (выполнить поворот) в любой другой пользовательской системе координат, расположенной произвольным образом относительно теоретической. Причем для этого не нужно использовать САМ-систему или вручную вносить изменения в код управляющей программы.

На первом этапе определяется пространственная ориентация детали с помощью датчика касания и программного обеспечения станка (или дополнительного инспекционного оборудования). Измерения выполняются по ключевым точкам, минимально необходимым для вычисления расположения заготовки. Действие выполняется до начала процесса обработки. Зная точное расположение заготовки на данном установе, можно выполнить поворот системы координат на угол δ (рис. 6.5), т.е. адаптировать управляющую программу под конкретное положение. Таким образом, основная суть виртуального базирования заключается в том, что не заготовка закрепляется в теоретически заданном положении, а управляющая программа механической обработки пересчитывается под текущее положение заготовки. Применение ОМВ-измерений и виртуального базирования в технологии изготовления деталей летательных аппаратов позволяет не только сократить время на наладку, но и использовать универсальные крепежные приспособления для большой номенклатуры изделий [12, 14].

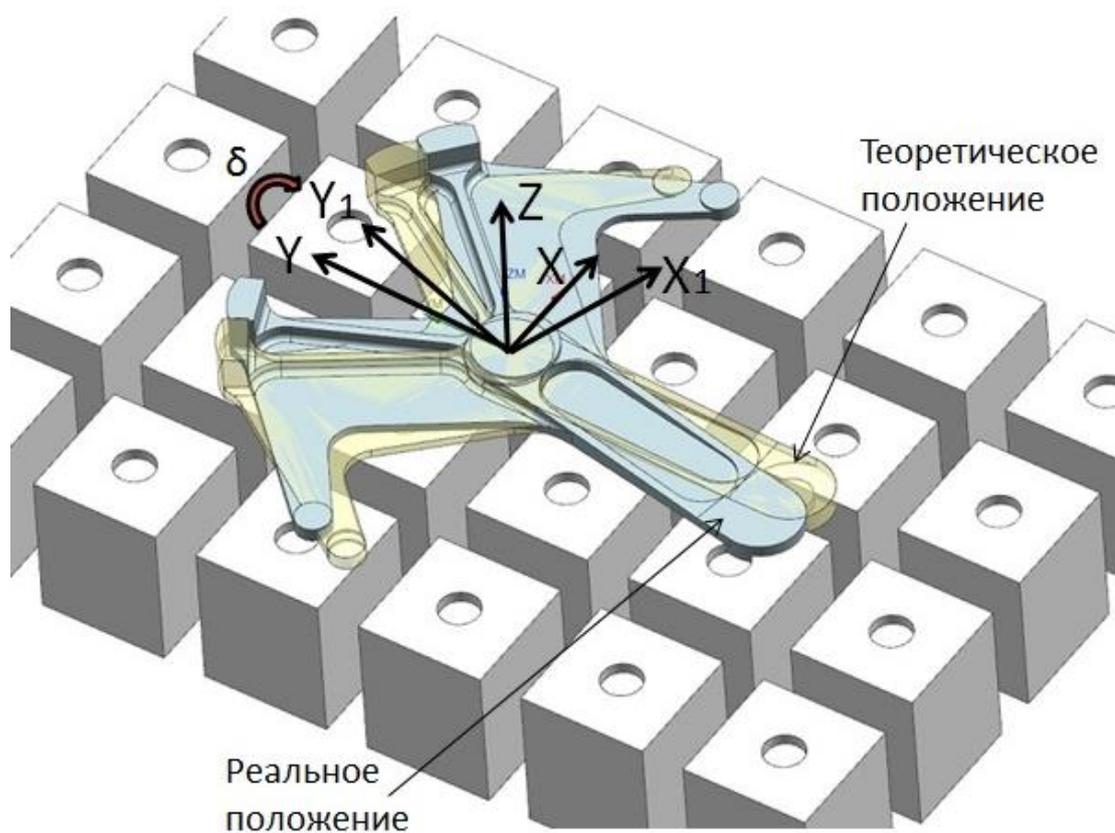


Рис. 6.5 Виртуальное базирование детали «кронштейн»



ПРИЛОЖЕНИЕ

Основные технические характеристики фрезерных и токарно-фрезерных обрабатывающих центров MAZAK

Основные технические характеристики 3-х координатного ОЦ MAZAK FJV-35/80 II

Параметры		Значение
Перемещения	Ось X	2240 мм
	Ось Y	750 мм
	Ось Z	660 мм
	Расстояние от поверхности стола до торца шпинделя (min/max)	160 – 820 мм
Стол	Размер стола	2240 мм x 750 мм
	Мах. нагрузка	3000 кг
	Тип стола	18 мм Т-образные пазы, шаг 150 мм. 5 пазов
Шпиндель	Обороты	35 – 10 000 об/мин
	Число ступеней	1
	Мощность шпинделя	37кВт
	Тип конуса	№ 50
Подачи	Быстрый ход	40 000 (Z-30 000) мм/мин
	Рабочая подача	1 – 30 000 мм/мин
АТС	Тип хвостовика	MAS BT50
	Емкость магазина	60
	Мах. диаметр инструмента	125/210 мм (соседние гнезда заняты/пусты)
	Мах. длина инструмента	380 мм
	Мах. вес инструмента	20 кг
	Выбор инструмента	По кратчайшему пути
	Время смены (стружка-стружка)	5,0 сек
Расход воздуха		650 л/мин
Габариты станка	Длина	6 824 мм
	Ширина	3 256 мм
	Высота	3 600 мм
	Масса	19 200 кг
Система ЧПУ		MAZATROL MATRIX NEXUS

Основные технические характеристики 4-х координатного ОЦ MAZAK HCN5000-II

Наименование		Значение
Перемещение	Ось X	730 мм
	Ось Y	730 мм
	Ось Z	740 мм
	Расстояние от паллеты до центра шпинделя	100...810 мм
	Расстояние от верха паллеты до торца шпинделя	100...830 мм
Стол	Размер стола	500 x 500 мм
	Мах. размер заготовки	Ø800 x 1000 мм
	Максимальная нагрузка на стол	700 кг
	Поверхность паллеты	25 отв. М16, шаг: 100 мм
	Минимальное индексирование паллеты	1°
	Время поворота	1,5 сек/ 90°
Шпиндель	Обороты	12 000 об/мин (18 000 об/мин)
	Количество ступеней шпинделя	2 (электрические)
	Тип шпинделя	MAS BT-40
	Время разгона (0-18000 об/мин)	1,56 сек
	Мощность шпинделя	35кВт (30 мин, режим) 26 кВт (пост. работа)
Подачи	Скорость быстрого перемещения по осям (X,Y, Z)	60000 мм/мин
	Скорость рабочей подачи (X,Y, Z)	1 – 60000 мм/мин
	Осевое ускорение/ торможение	0,8G
Устройство автоматической смены инструмента	Тип хвостовика инструмента	MAS BT-40
	Мах. диаметр инструмента	95 мм
	Мах. диаметр инструмента при пустых соседних ячейках	150 мм
	Мах. длина инструмента	420 мм
	Количество инструментов в магазине	120 шт.
	Вес инструмента	12 кг
	Время смены инструмента (от стружки до стружки)	2,7 сек.
	Метод смены инструмента	По кратчайшему пути
Устройство автоматической смены паллет	Количество паллет	2
	Время смены паллет	7,0 сек
Пневматика	Давление пневмосети	0,5-0,9 МПа
	Расход	200 л/мин
Габариты	Высота	2804 мм
	Габариты (включая стружечный конвейер (задний) и бак СОЖ)	2330 мм x 5530 мм
	Масса	11000 кг
Система ЧПУ	MAZATROL MATRIX NEXUS	

Основные технические характеристики 5-ти координатного ОЦ MAZAK
 VARIAXIS 630-5X II 2PC

Наименование		Значение
Перемещение	Ось X	630 мм
	Ось Y	765 мм
	Ось Z	510 мм
	Ось A	+30°-120°
	Ось C	+/-360°
Стол	Расстояние от центра паллеты до торца шпинделя по оси Z (min/max)	230-740 мм
	Размер стола	500 x 500 мм
	Мах. размер заготовки	Ø 630 * 500 мм
	Максимальная нагрузка на стол	500 кг
	Поверхность паллеты	M16xP2 (24 отверстия)
Шпиндель	Обороты	12 000 об/мин (18 000 об/мин)
	Мощность	22кВт (15мин. режим) 15кВт (постоянная работа)
	Тип конуса	MAS BT-40
	Время разгона (0-12000 об/мин)	2,24 сек
Подачи	Скорость быстрого перемещения по осям (X,Y, Z)	52000 мм/мин
	Скорость быстрого перемещения по осям (A,C)	50 об/мин
	Скорость рабочей подачи (X,Y, Z)	1-52000 мм/мин
	Скорость рабочей подачи (A,C)	1-25 об/мин
	Кол-во одновременно контролируемых осей	5
	Min. индексирование стола	0,0001°
	Время поворота стола на 90°	1,1 сек
Устройство смены паллет	Количество паллет	2
	Время смены паллет	14 с
АТС	Тип хвостовика инструмента	ISO #40
	Мах. диаметр инструмента	80 мм
	Мах. диаметр инструмента при пустых соседних ячейках	125 мм
	Мах. длина инструмента	360 мм
	Вес инструмента	8кг
	Время смены инструмента, с	3,6
	Высота	3235
	Габариты(без стружечного конвейера и бака СОЖ)	2400 * 4110 мм
	Масса	13700 кг

Основные технические характеристики 5-ти координатного ОЦ MAZAK
 VARIAXIS 730-5X II 2PC

Наименование		Значение
Перемещение	Ось X	730 мм
	Ось Y	850 мм
	Ось Z	560 мм
	Ось A	+30°-120°
	Ось C	+/-360°
Стол	Расстояние от центра паллеты до торца шпинделя по оси Z (min/max)	230-790 мм
	Размер стола	500 x 500 мм
	Мах. размер заготовки	Ø 730 * 500 мм
	Максимальная нагрузка на стол	500 кг
	Поверхность паллеты	M16xP2 (24 отверстия)
Шпиндель	Обороты	10000 об/мин
	Мощность	30кВт (30мин. режим) 22кВт (пост. работа)
	Тип конуса	MAS BT-50
	Время разгона (0-10000 об/мин)	3,0 сек
Подачи	Скорость быстрого перемещения по осям (X,Y, Z)	42000 мм/мин
	Скорость быстрого перемещения по осям (A,C)	50 об/мин
	Скорость рабочей подачи (X,Y, Z)	1-42000 мм/мин
	Скорость рабочей подачи (A,C)	1-25 об/мин
	Кол-во одновременно контролируемых осей	5
	Min. индексирование стола	0,0001°
	Время поворота стола на 90°	1,1 сек
Устройство смены паллет	Количество паллет	2
	Время смены паллет	14,5 с
АТС	Тип хвостовика инструмента	ISO #50
	Мах. диаметр инструмента	125 мм
	Мах. диаметр инструмента при пустых соседних ячейках	210 мм
	Мах. длина инструмента	400 мм
	Вес инструмента	20кг
	Время смены инструмента (от реза до реза)	4,5
	Метод смены инструмента	По кратчайшему пути
	Высота	3584,5
	Габариты (без стружечного конвейера СОЖ)	2695 x 5985 мм
	Масса	21000 кг

Основные технические характеристики токарно-фрезерного ОЦ MAZAK
 INTEGREX i-150

	Параметр	Ед. изм.	Величина
Основные размеры и функциональные возможности	Мах. диаметр над станиной	мм	Ø400
	Мах. обрабатываемый диаметр	мм	Ø340
	Мах. обрабатываемая длина	мм	385
	Мах. диаметр прутка	мм	Ø65
	Ход по оси X	мм	370
	Ход по оси Y	мм	200
	Ход по оси Z	мм	435
	Ход по оси W	мм	300
	Ход по оси B	-	-10 ~ 190°
Шпиндель	Частота вращения	об/мин	5000
	Торец шпинделя/отверстие в шпинделе	мм	A2-6 / Ø76
	Внутренний диаметр подшипника	мм	Ø110
	Минимальный программируемый шаг	-	0,0001°
Револьверная головка	Тип револьверной головки		Шпиндель с АСИ
	Частота вращения фрезерного шпинделя	об/мин	12 000 об/мин
Система зажима заготовки	Мах. зажимаемый диаметр прутка	мм	Ø65
	Время поворота (1 шаг)	с	1
Подача по осям	Быстрая подача по оси X	мм/мин	40 000
	Быстрая подача по оси Y	мм/мин	40 000
	Быстрая подача по оси Z	мм/мин	40 000
	Быстрая подача по оси W	мм/мин	30 000
	Быстрая подача по оси B	об/мин	40
	Быстрая подача по оси C	об/мин	555
Устройство АСИ и инструментальный магазин	Тип хвостовика	-	HSK-A63
	Емкость инструментального магазина	-	36 (опция 72)
	Мах. диаметр инструмента	мм	Ø90
	Мах. диаметр инструмента с пустыми соседними ячейками		Ø125
	Мах. длина инструмента	мм	210
	Мах. вес инструмента	кг	5
	Метод выбора инструмента	-	по кратчайшему пути
	Время смены инструмента (от инструмента к инструменту)	с	1,3
Двигатели	Мощность мотор-шпинделя (30 мин. режим/ пост. работа)	кВт	11 / 7,5
	Мощность фрезерного шпинделя	кВт	7,5
	Помпа охлаждения	кВт	1,2
Потребляемая мощность	Суммарная потребляемая мощность (при непрерывной работе)	кВ·А	26,15
	Требуемое давление воздуха	МПа	0,5
	Потребление	л/мин	750
Габариты станка	Высота	мм	2500
	Ширина x длина	мм	2200 x 2420
	Масса	кг	7300

Основные технические характеристики токарно-фрезерного ОЦ MAZAK
 INTEGREX 300-IV ST

	Параметр	Ед. изм	Значение
Основные размеры и функциональные возможности	Мах. диаметр заготовки (фрез. головка)	мм	Ø760
	Мах. диаметр заготовки (ниж.рев. головка)	мм	Ø420
	Мах. длина заготовки	мм	1524
	Ход по оси X (фрезерная головка)	мм	630
	Ход по оси X (нижняя револьверная головка)	мм	230
	Ход по оси Y (фрезерная головка)	мм	230
	Ход по оси Z (фрезерная головка)	мм	1585
	Ход по оси Z (нижняя револьверная головка)	мм	1530
	Ход по оси В (Наклон шпинделя) [Чувствительность устройства наклона: 0,0001 °]	°	225
	Ход по оси С (Поворот стола) [Чувствительность устройства поворота: 0,001 °]	°	±360
	Фрезерная головка	Тип хвостовика инструмента (фрезерный/токарный)	-
Частота вращения		об/мин	15-12000 об/мин
Время поворота на 90°		сек	0,5
Мощность электродвигателя (20% экономичного распределения нагрузки)		кВт (л.с.)	18,5 25
Время разгона и торможения		сек	1,48 (0-12000 об/мин)
Мах. диаметр сверла		мм	Ø30
Мах. диаметр нарезаемой резьбы			M27x2
Мах. диаметр инструмента		мм	Ø90
Мах. диаметр инструмента при пустых соседних ячейках		мм	Ø125
Мах. длина инструмента		мм	400
Мах. вес инструмента		кг	10
Главный токарный шпиндель	Размер патрона		10''
	Частота вращения	об/мин	35 - 4000
	Торец шпинделя		A2-8
	Диаметр отверстия в шпинделе	мм	Ø88
	Время разгона и торможения	сек	3,8 (0- 3400об/мин)
	Минимальный градус поворота	°	0,0001
	Мощность электродвигателя (30 минутный режим)	кВт (л.с.)	30 (40)
	Мощность электродвигателя (постоянная работа)	кВт (л.с.)	22 (30)
Второй токарный шпиндель	Размер патрона		10''
	Частота вращения	об/мин	35 - 4000
	Минимальный градус поворота	°	0,001

	Время разгона и торможения	сек	2.7 (0-3400 об/мин)
	Ход по оси W (перемещение второго шпинделя)	мм	1530
	Мощность электродвигателя (получасовой прогон)	кВт (л.с.)	26 (35)
	Мощность электродвигателя (постоянная работа)	кВт (л.с.)	22 (30)
Нижняя револьверная головка	Тип		9 позиционная барабанного типа
	Количество устанавливаемых инструментов	шт.	9
	Мах. сечение токарного инструмента	мм	□25
	Мах. диаметр расточного инструмента	мм	Ø32
Подачи	Быстрая подача по оси X(фрезерная головка)	мм/мин	38000
	Быстрая подача по оси X(нижняя револьверная головка)	мм/мин	38000
	Быстрая подача по оси Y	мм/мин	26000
	Быстрая подача по оси Z(фрезерная головка)	мм/мин	38000
	Быстрая подача по оси Z(нижняя револьверная головка)	мм/мин	38000
	Быстрая подача по оси W	мм/мин	30000
Устройство АСИ и инструментальный магазин	Емкость инструментального магазина (количество инструмента)	-	40
	Система выбора инструмента	-	по кратчайшему пути
	Хвостовик инструмента	-	BT
	Время смены инструмента (BT40)	сек	1,3
Емкость резервуара СОЖ		л	535
Суммарная потребляемая мощность (при непрерывной работе)		кВ·А	92,6
Подача сжатого воздуха	Давление	МПа	0,5
	Расход	л/мин	500
Габариты станка	Высота	мм	2910
	Ширина	мм	2479
	Длина	мм	5110
	Масса	кг	13600

Основные технические характеристики токарно-фрезерного ОЦ MAZAK
 INTEGREX e-1550V/10II

	Параметр	Ед. изм	Значение
Основные размеры и функциональные возможности	Макс. размер заготовки Диаметр	мм	Ø2000
	Высота	мм	1440
	Ход по оси X (Продольное перемещение стола)	мм	1875
	Ход по оси Y (Поперечное перемещение шпинделя)	мм	1550
	Ход по оси Z (вертикальное перемещение шпинделя)	мм	1345
	Ход по оси B (Наклон шпинделя) [Чувствительность устройства наклона: 0.0001 град.]	-	150° (-30°~+120°)
	Ход по оси C (Поворот стола) [Чувствительность устройства поворота: 0.0001 град.]	-	±360°
	Расстояние между центром оси B и центром паллеты (X=0)	мм	1775 мм
Расстояние между центром оси B и центром паллеты (X=-1875мм)	мм	-100 мм	
Приводной инструмент	Конус шпинделя	-	конус № 50
	Частота вращения шпинделя	об/мин	25-10000
	Максимальный крутящий момент вращения фрезерного шпинделя	Н м	505
	Изменение числа оборотов	-	2 электрические передачи
	Внутренний диаметр подшипника	мм	100
	Мощность двигателя (30 минутный режим/ постоянная работа)	кВт	37/30
	Скорость поворота шпинделя (ось B 150°)	об/мин	30
	Мин. градус поворота по оси B	°	0,0001
Токарный шпиндель	Количество паллет	шт.	2
	Время смены паллет	сек	25
	Габариты стола	мм	1000x1000
	Максимальная нагрузка с учетом веса стола	кг	5000
	Частота вращения стола в токарном режиме	об/мин	300
	Мощность двигателя (30 минутный режим)	кВт	37
	Мин. градус поворота по оси C	°	0,0001
Подачи и скорости резания	Скорость резания	м/мин	До 900
	Быстрая подача X/Y/Z	м/мин	42
	Быстрый поворот по оси C	об/мин	9
	Число осей, управляемых одновременно	-	5
Устройство АСИ и Инструментальный магазин	Емкость инструментального магазина (количество инструмента)	-	80
	Система выбора инструмента	-	Автоматический выбор
	Хвостовик инструмента	-	MAS BT50
	Мах. диаметр инструмента (при пустых соседних ячейках)	мм	135 (260)
	Мак. вылет инструмента (от края конусного отверстия)	мм	650
	Время смены инструмента от стружки до стружки (стандарт MAS) [Для инструмента весом до 20 кг]	сек.	11,8

	Максимальный вес инструмента	кг	30
Емкость резервуара СОЖ		л	900
Подача сжатого воздуха	Давление	МПа	0.5<0.9
	Расход воздуха (Стандартные технические характеристики станка)	л/мин	700
Габариты	Высота	мм	4 605
	Ширина	мм	6 000
	Длина	мм	9 660
Масса	Масса станка (приблизительно)	кг	45 000

Список использованных источников

1. Флек М.Б. Анализ и оценка технологичности конструкций авиационной техники: учеб. пособие / Шевцов С.Н., Родригес С.Б., Сибирский В.В., Аксенов В.Н. – Ростов-на-Дону, 2005.
2. Кряжев Д.Ю. Фрезерная обработка на станках с ЧПУ: учеб. пособие //Кряжев Д.Ю. – ЗАО «ИРЛЕН-инжиниринг», 2005.
3. Руководство по эксплуатации и техническому обслуживанию HCN 5000-II. – YAMAZAKI MAZAK CORPORATION, 09.2007.
4. Методические указания по эксплуатации и основам программирования станка модели: MAZAK HORIZONTAL CENTER NEXUS. – Технологический центр ООО ТД «Халтек».
5. μSERIES: Horizontal machining center. – YAMAZAKI MAZAK CORPORATION, 8.03.2000.
6. Руководство по эксплуатации и техническому обслуживанию VARIAXIS 630/730. – YAMAZAKI MAZAK CORPORATION.
7. Методические указания по эксплуатации и основам программирования станка модели: MAZAK INTEGREGX i-150. – Технологический центр ООО ТД «Халтек».
8. Руководство по эксплуатации и техническому обслуживанию INTEGREGX i-150. – YAMAZAKI MAZAK CORPORATION.
9. Руководство по эксплуатации и техническому обслуживанию INTEGREGX 300-IV ST. – YAMAZAKI MAZAK CORPORATION.
10. Руководство по эксплуатации и техническому обслуживанию INTEGREGX e-1550V/10 II. – YAMAZAKI MAZAK CORPORATION.
11. <http://postprocessor.su>
12. Евченко К.А. Применение технологии OMV и адаптивной механообработки при производстве изделий из композиционных материалов. – САПР и графика №11 (157). – М.: Компьютер-Пресс, 2009, с.59-64.
13. Адаптивная обработка от компании Delcam plc как интеграция механообработки и контроля точности изготовления изделий. – САПР и графика, №1. – 2008.
14. Медведев Ф.В., Таликин С.А. Контроль и технологическое базирование заготовки сложной геометрии на станках с ЧПУ с применением системы POWERINSPECT OMV. – Вестник Иркутского государственного технического университета №5 (45), 2010, с. 32-37.