

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Металлорежущие станки и инструменты»

# МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ СТАНКИ

*Методические рекомендации к лабораторным работам  
для студентов специальностей  
6-05-0714-02 «Технология машиностроения,  
металлорежущие станки и инструменты»  
и 6-05-0713-04 «Автоматизация технологических процессов  
и производств» дневной и заочной форм обучения*



Могилев 2025

УДК 621.9  
ББК 34.63  
М54

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты»  
«27» июня 2025 г., протокол № 14

Составители: канд. техн. наук, доц. А. М. Довгалец;  
И. А. Тарадейко; М. В. Тарадейко;  
канд. техн. наук, доц. С. А. Сухоцкий

Рецензент канд. техн. наук, доц. Е. В. Ильюшина

Методические рекомендации к лабораторным работам предназначены для студентов специальностей 6-05-0714-02 «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» и 6-05-0713-04 «Автоматизация технологических процессов и производств» дневной и заочной форм обучения.

Учебное издание

## МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ СТАНКИ

Ответственный за выпуск	С. Н. Хатетовский
Корректор	И. В. Голубцова
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 56 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования  
«Белорусско-Российский университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/156 от 07.03.2019.  
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский  
университет, 2025

## Содержание

Меры безопасности при проведении лабораторных работ .....	4
1 Изучение основных механизмов станка. Составление кинематических схем.....	5
2 Изучение конструкции, принципа работы и кинематики токарно-винторезного станка модели 16Д25 .....	16
3 Изучение конструкции, принципа работы и кинематики фрезерного станка модели ВФ-130. Настройка станка на фрезерование винтовых канавок .....	21
4 Изучение кинематики, конструкции и технологических возможностей вертикально-сверлильного станка модели 2А135 .....	25
5 Составление технологического процесса изготовления детали с дальнейшей ее обработкой на металлообрабатывающем оборудовании...	28
6 Изучение назначения, конструкции, принципа действия и кинематики токарного станка с ЧПУ на примере модели 16К20Т1 .....	31
7 Изучение конструкции и наладка зубофрезерного станка модели 5Е32 на нарезание червячного и косозубого цилиндрического колеса .....	34
8 Изучение конструкции и наладка зубодолбежного станка модели 5В12 на нарезание прямозубого цилиндрического колеса .....	43
Список литературы .....	48

## **Меры безопасности при проведении лабораторных работ**

Перед началом занятий проветрить помещение.

На рабочем месте должно находиться все только необходимое для работы на данном станке. Все лишние предметы необходимо убрать.

Перед пуском станка необходимо опробовать работу механизмов станка вручную. При наличии обнаруженных дефектов станок не включать и принять меры по устранению неисправностей.

Обрабатываемая заготовка и режущий инструмент должны быть надежно закреплены.

При работе на сверлильных, фрезерных и других станках держать заготовку руками категорически запрещается.

Необходимо проверить исправность предохранительных ограждений, имеющих на станке. Ограждения должны быть надежно закреплены.

Категорически запрещается снимать ограждения во время работы станка.

Проверить закрепления кулачков в патроне; нельзя допускать максимального расхождения кулачков в патроне.

Проверить обязательно, не оставлен ли ключ в патроне.

При работе на токарных станках не разрешается стоять против патрона, а при работе на шлифовальных станках – против шлифовального круга.

Трогать руками вращающиеся инструменты и изделия запрещается.

Перед началом работы на шлифовальных станках необходимо проверить шлифовальный круг (отсутствие или наличие трещин).

На заточных и шлифовальных станках без предохранительных кожухов работать категорически запрещается.

При работе на заточных станках обязательно пользоваться предохранительными очками.

### ***Порядок выполнения работ***

- 1 Ознакомиться с назначением и основными техническими данными станка.
- 2 Ознакомиться с основными узлами и органами управления.
- 3 Рассмотреть движения в станке и записать уравнения кинематического баланса в структурном виде и через конкретные передаточные отношения для минимальной и максимальной скоростей главного движения и подачи.
- 4 Провести наладку и настройку станка на обработку заготовок.

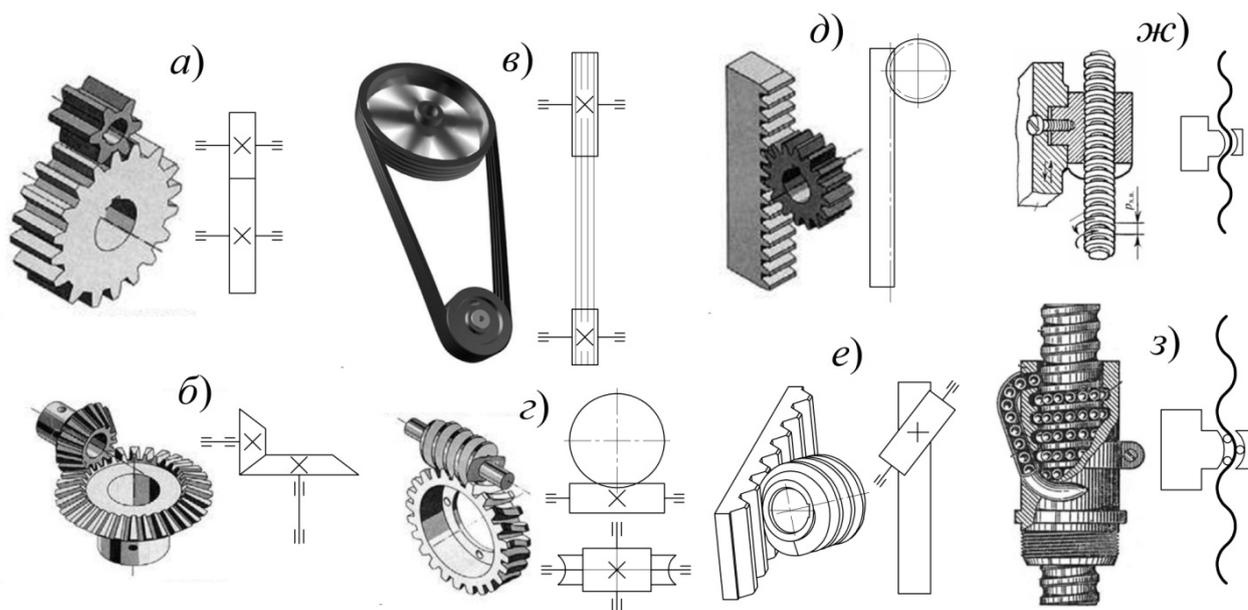
# 1 Изучение основных механизмов станка. Составление кинематических схем

**Цель работы:** изучить основные механизмы, применяемые в металлорежущих станках, и их обозначение на кинематических схемах; освоить навыки чтения кинематических схем станков.

Металлорежущий станок – это технологическая машина, предназначенная для обработки материалов резанием с целью получения деталей заданной формы и размеров с требуемой точностью и качеством обработанной поверхности.

Обозначение универсальных станков осуществляется, как правило, согласно классификации ЭНИМС. К примеру, 16К20Ф3С5, где 1 – группа станка; 6 – тип станка; К – модернизация станка; 20 – основной эксплуатационный параметр; Ф3 – система ЧПУ; С5 – устройство ЧПУ.

Структурной единицей, передающей движение в станках, является, как правило, механическая передача. Основные виды механических передач, используемых в приводах металлорежущих станков, и их обозначение на кинематической схеме приведены на рисунке 1.1.



*а* – цилиндрическая; *б* – коническая; *в* – ременная; *г* – червячная; *д* – колесо – рейка; *е* – червяк – рейка; *ж* – винт – гайка скольжения; *з* – винт – гайка качения

Рисунок 1.1 – Вид передачи и ее обозначение на кинематической схеме

Механические передачи можно разделить по следующим признакам:

- 1) по расположению осей: с параллельными осями; со скрещивающимися осями; с пересекающимися осями;
- 2) по виду передачи движения возможны все различные комбинации следующих движений: вращательное, поступательное и колебательное (возвратно-поступательное).

Механизмы станков, передающие движение, можно разделить на следующие: механизмы, обеспечивающие прерывистое движение; механизмы, обеспечивающие возвратно-поступательное (качательное) движение; механизмы, обеспечивающие ступенчатое изменение скорости; механизмы, обеспечивающие плавное (бесступенчатое) изменение скорости.

Цилиндрические передачи служат для передачи вращения между параллельными валами.

Конические передачи служат для передачи вращения между пересекающимися валами.

Ременная передача может применяться для любых произвольно расположенных валов с использованием системы роликов и натяжителей, т. к. в ее состав входит гибкое звено – ремень. Однако в механизмах станков она чаще всего применяется для передачи движения между параллельно расположенными валами.

Червячная передача применяется для передачи движения между скрещивающимися валами.

Червячно-реечные передачи содержат червяк и рейку. Ведущим элементом может быть только червяк. В отличие от пары зубчатое колесо – рейка, червячно-реечная передача позволяет осуществлять малые передаточные отношения. При этом плавность движения существенно повышается. Однако червячно-реечная передача сложнее в изготовлении, чем обычная реечная передача, и имеет более низкий КПД, сравнимый с КПД червячной пары. В станках получили применение следующие конструкции червячно-реечных передач: пара червяк – зубчатая рейка. В этом случае имеет место точечный контакт зубьев червяка и рейки. Такая конструкция используется чаще всего для вспомогательных движений; пара червяк – червячная рейка при расположении оси червяка под углом к оси рейки. Зубья рейки подобны зубьям червячного колеса, а характер зацепления соответствует обычной червячной паре; пара червяк – червячная рейка при параллельном расположении осей червяка и рейки.

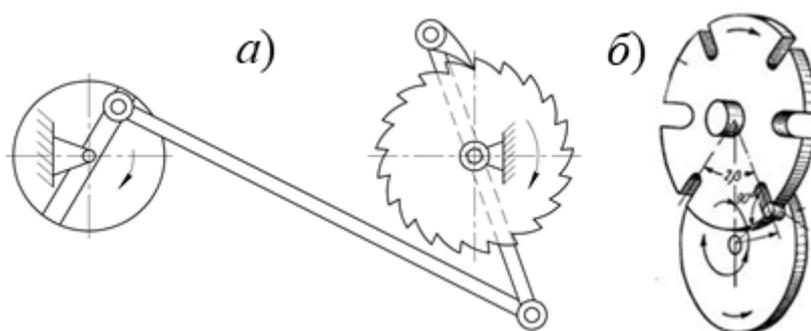
Передачи винт – гайка с трением скольжения служат, как и реечные, для преобразования вращательного движения в поступательное. Основными элементами винтовой передачи являются ходовой винт и гайка. Винтовые передачи применяют в механизмах подачи и вспомогательных механизмах станков. Основными достоинствами винтовых механизмов являются высокая точность и плавность осуществляемых ими перемещений, возможность получения значительной редукции и самоторможения, позволяющая использовать их в случае вертикальных перемещений.

По сравнению с передачей винт – гайка скольжения, достоинствами передачи винт – гайка качения являются высокий коэффициент полезного действия (0,8...0,9), отсутствие зазоров и возможность создания предварительного натяга, высокая жесткость и достаточная для многих случаев долговечность. Недостатками являются высокая стоимость, пониженное демпфирование, отсутствие самоторможения.

Одной из характеристик механической передачи является передаточное отношение  $i$  – это отношение частоты (угловой скорости) вращения выходного звена  $n_2$  ( $\omega_2$ ) к частоте (угловой скорости) вращения входного  $n_1$  ( $\omega_1$ ):  $i = n_2/n_1 = \omega_2/\omega_1$ .

Механизмы прерывистых движений применяются для обеспечения прерывистых периодических движений.

Храповые механизмы (рисунок 1.2, *а*) предназначены для преобразования непрерывного вращательного движения ведущего звена цепи в периодическое движение ведомого звена цепи. Храповые механизмы нашли широкое применение в поперечно-строгальных, шлифовальных, долбежных и других станках. По конструкции храповые механизмы делятся на механизмы с наружным зацеплением и внутренним. Храповой механизм наружного зацепления состоит из храпового колеса, которое обычно расположено на шейке винта, и собачки, совершающей колебательное движение. Двигаясь вправо, собачка проскакивает по зубьям храпового колеса, а при движении влево – захватывает зубья и поворачивает храповое колесо на некоторый угол, т. е. периодическое вращение храпового колеса происходит только в одном направлении.



*а* – храповый; *б* – мальтийский

Рисунок 1.2 – Механизмы прерывистых движений

Мальтийские механизмы (рисунок 1.2, *б*) применяются для осуществления периодических поворотов блоков многошпиндельных станков, револьверных головок делительных механизмов и т. п. Мальтийский механизм состоит из ведущего диска, вращающегося с постоянной скоростью пальца, закрепленного на диске, и мальтийского креста, совершающего периодические движения. За полный оборот диска мальтийский крест повернется на  $360/z$  оборота (где  $z$  – число пазов мальтийского креста). Если мальтийский крест имеет пазы с равномерным шагом, т. е. пазы находятся на одинаковом удалении друг от друга, мальтийские кресты называются правильными.

Кулачковые механизмы (рисунок 1.3) – преобразующие механизмы, изменяющие характер движения. В машиностроении широко распространены кулачковые механизмы, преобразующие вращательное движение в возвратно-поступательное и возвратно-качательное. Кулачковые механизмы, как и другие виды механизмов, подразделяют на плоские и пространственные. Кулачок – деталь кулачкового механизма с профилированной поверхностью скольжения, чтобы при своем вращательном движении передавать сопряженной детали (толкателю или штанге) движение с заданным законом изменения скорости. Геометрическая форма кулачков может быть различной: плоской, цилиндрической, конической, сферической и более сложной.

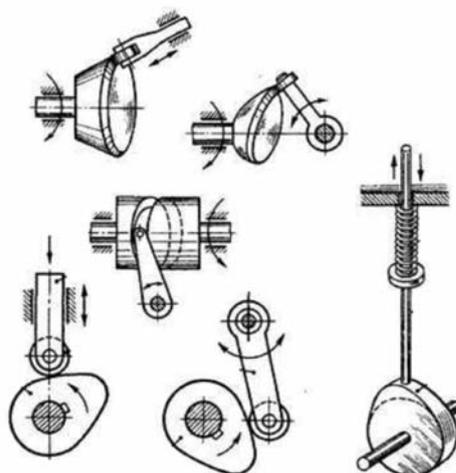
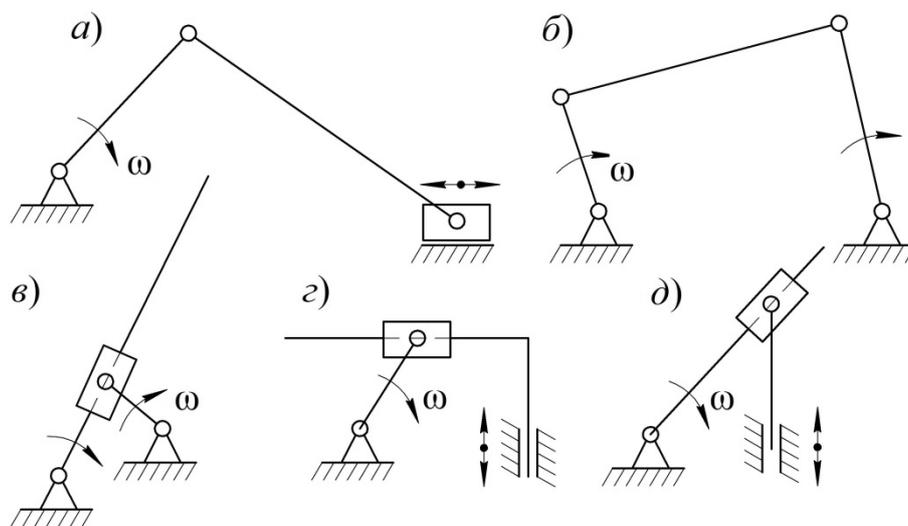


Рисунок 1.3 – Кулачковые механизмы

Кулачковые механизмы применяют для выполнения различных операций в системах управления рабочим циклом технологических машин, станков, двигателей и т. д.

Рычажный механизм (рисунок 1.4) – это механизм, образованный звеньями, выполненными в виде стержневых конструкций – рычагов. Используется как для преобразования вращательного движения кривошипа в другое движение выходного звена, подчиняющееся требуемому закону.



*a* – кривошипно-ползунный; *б* – четырехшарнирный; *в* – кулисный; *г* – синусный; *д* – тангенсный

Рисунок 1.4 – Рычажные механизмы

К звеньям, совершающим вращательные движения, относятся кривошип, коромысло, кулиса и качающийся ползун. Кривошип – это звено рычажного механизма, входящее в состав только вращательных кинематических пар и обладающее возможностью поворота вокруг оси вращения на угол более  $360^\circ$ . Коромысло – это звено рычажного механизма, входящее в состав только вращательных кинематических пар и обладающее возможностью поворота вокруг оси

вращения на угол менее  $360^\circ$ . Кулиса – это звено рычажного механизма, входящее в состав вращательных и поступательных кинематических пар и обладающее возможностью поворота вокруг оси вращения на угол менее  $360^\circ$ . Качающийся ползун – это звено рычажного механизма, образующее поступательную кинематическую пару со штоком и вращательную кинематическую пару со стойкой.

Все представленные звенья взаимодействуют со стойкой. При этом кривошип в большинстве случаев является начальным, задаваемым или ведущим звеном.

К звеньям, совершающим поступательные движения, относятся ползун, камень и шток. Ползун – это звено, образующее поступательную кинематическую пару со стойкой. Камень – это звено, образующее поступательную кинематическую пару с кулисой. Шток – это звено, образующее поступательную кинематическую пару с качающимся или неподвижным ползуном.

Звеньями, совершающими сложные движения, являются шатуны. Шатун – это звено рычажного механизма, образующее кинематические пары только с подвижными звеньями, не имеющими связей со стойкой.

Коробкой скоростей называется механизм (рисунок 1.5), предназначенный для ступенчатого изменения частоты (скорости) вращения ведомого вала при постоянной частоте вращения ведущего путем изменения передаточного отношения. Изменение частоты вращения достигается включением различных зубчатых кинематических пар между валами.

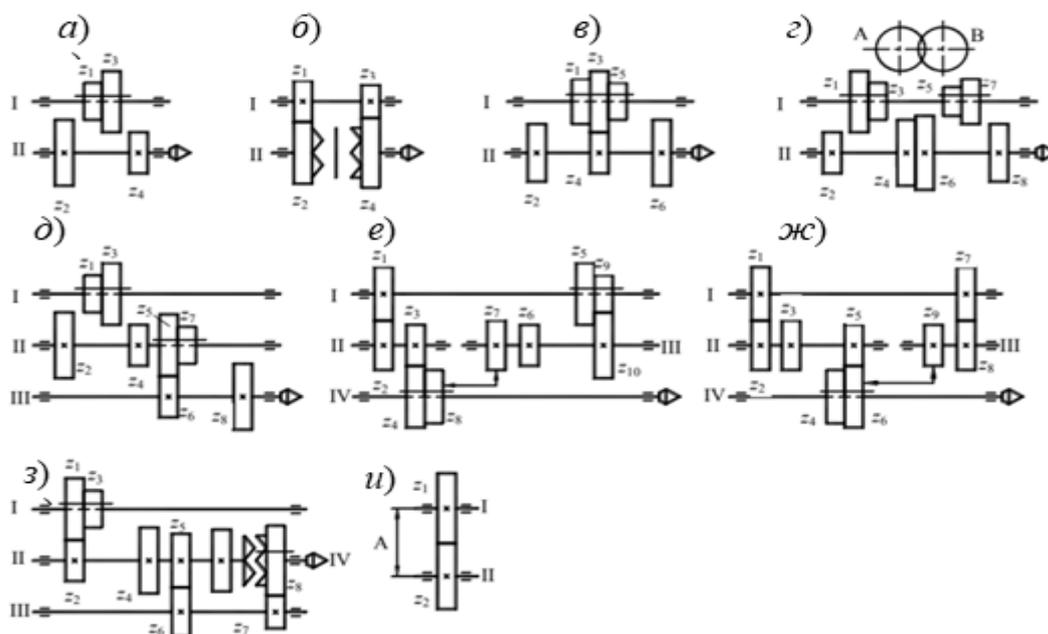


Рисунок 1.5 – Основные разновидности коробок скоростей

Коробки скоростей компактны, удобны в управлении и надежны в работе. К недостаткам коробок скоростей относятся трудность или невозможность бесступенчатого регулирования частот вращения, возникновение вибрации и шума на некоторых частотах. Несмотря на большое число различных конструкций коробок скоростей, все они представляют собой сочетание отдельных типовых механизмов.

По компоновке коробки скоростей разделяются на коробки с зубчатыми колесами, встроенными в шпиндельную бабку, и коробки скоростей с отдельным приводом, когда шпиндельная бабка и коробка скоростей выполняются в виде отдельных узлов, соединенных ременной передачей.

По способу переключения коробки скоростей бывают: со сменными зубчатыми колесами между валами и неизменным межосевым расстоянием (см. рисунок 1.5, *и*); с передвигными колесами или блоками колес (см. рисунок 1.5, *а, в-з*); с неподвижными вдоль валов колесами и кулачковыми муфтами (см. рисунок 1.5, *б, з*); с фрикционными муфтами; с комбинированным переключением.

Коробки скоростей с фрикционными муфтами позволяют быстро и плавно переключать передачи на ходу и под нагрузкой.

Коробки подач со сменными зубчатыми колесами (с постоянным расстоянием между осями валов) применяют в станках для крупносерийного производства при редкой наладке (см. рисунок 1.5, *и*). Такие коробки преимущественно применяются в автоматах, полуавтоматах и специальных станках. Конструкции коробок подач, состоящих из одних только сменных зубчатых колес, просты и не отличаются от аналогичных коробок скоростей. Коробки подач с передвигными блоками зубчатых колес широко применяют в универсальных станках. Они позволяют передавать большие крутящие моменты и работать с большими скоростями. К недостатку коробок подач этого типа относится невозможность использования в них косозубых колес. По конструкции коробки подач с передвигными зубчатыми колесами аналогичны соответствующим коробкам скоростей.

Коробка подач со встречными ступенчатыми конусами колес и вытяжной шпонкой на четыре различных передаточных отношения (число передач в таких коробках может достигать восьми-десяти в одной группе) представлена на рисунке 1.6, *а*.

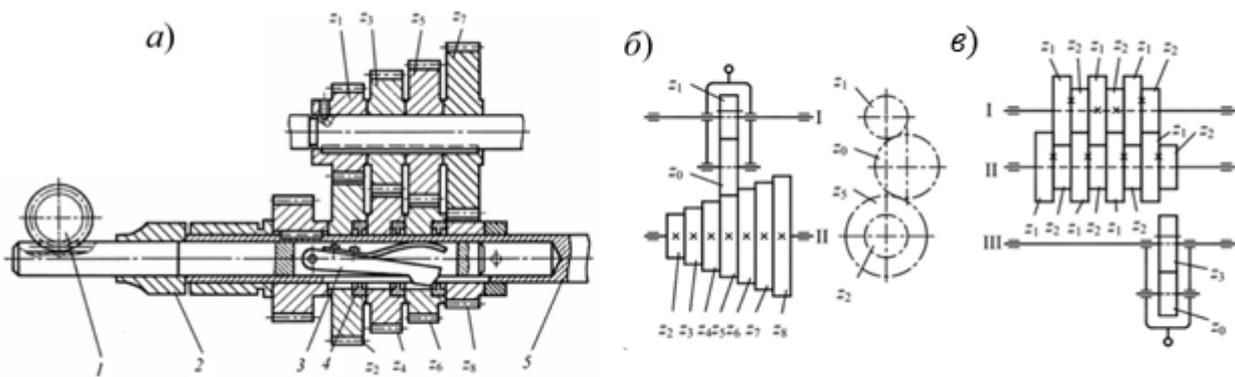


Рисунок 1.6 – Механизмы коробок подач

Вращаясь, зубчатое колесо *1* перемещает тягу *2* с вытяжной шпонкой *3*. Последняя под действием пружины заскакивает в шпоночный паз выбранного колеса и закрепляет его на валу *5*. Для предотвращения одновременного включения двух ведомых зубчатых колес механизм снабжен специальными разделительными кольцами *4*.

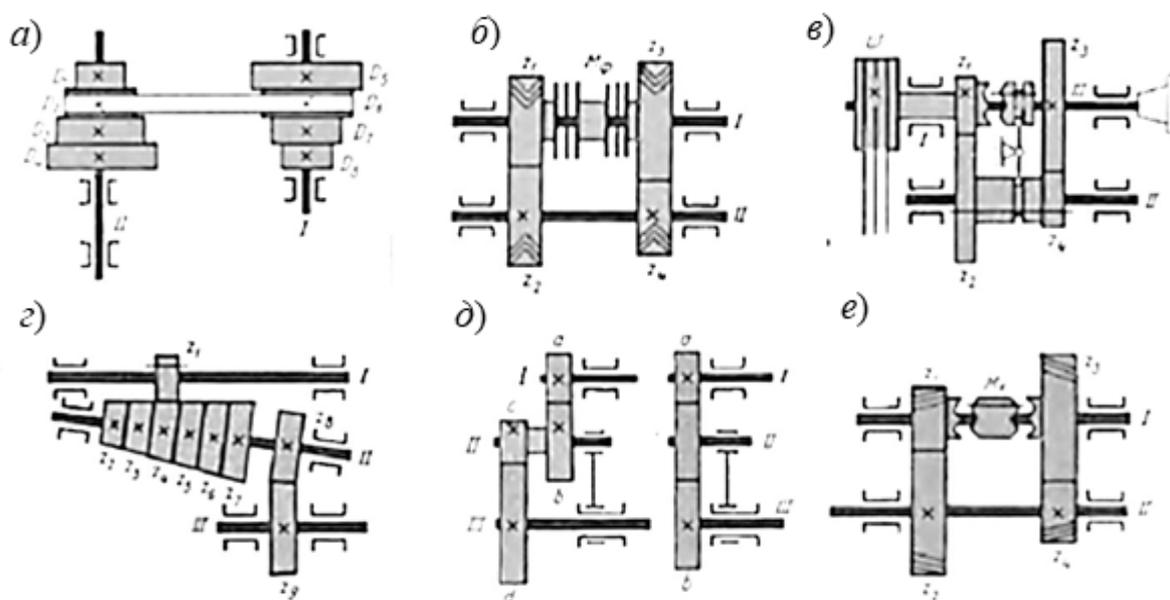
Преимущество этого механизма в его компактности. К недостаткам относятся

возможность перекоса вытяжной шпонки, малая жесткость шпоночного валика, ослабленного продольным пазом. Коробки подач с вытяжными шпонками применяют в небольших, а иногда и в средних по размеру сверлильных и токарно-револьверных станках.

Коробки с конусом зубчатых колес и накидным элементом (рисунок 1.6, б), именуемые механизмами Нортон, благодаря нежесткой связи между валами обеспечивают свободный выбор числа зубьев колес и, следовательно, выполнение любых передаточных отношений. Коробки выполняют по закону арифметической прогрессии, а также по геометрическому ряду с малыми значениями знаменателя  $q$ . Допустимое число передач – 6...11. Механизм имеет недостаточную жесткость и длительное время переключения

Коробка подач с механизмами типа «меандр» называется так по рисунку передаваемого движения (рисунок 1.6, в), состоит из трех валов. Центральные зубчатые колеса  $z_1$  и  $z_2$  закреплены на валу 1. Остальные колеса сидят свободно на валах 1 и 2, но при этом каждое большое колесо соединяется с малым в блок. Число зубьев большого колеса в этих механизмах принимают в 2 раза больше числа зубьев меньшего колеса. Представленный механизм обеспечивает восемь частот вращения вала 3 и, следовательно, восемь подач. К недостаткам механизма с петлевым движением относятся нежесткая конструкция накидного элемента, вращение всех блоков, снижающих КПД механизма, и потребность в большом числе колес. Механизм «меандр» применяют в сочетании с другими типами коробок подач в качестве множительного механизма, например, в токарно-винторезных станках для увеличения основного ряда подач в 2, 4 и более раз.

Некоторые другие виды механизмов, используемых в металлорежущих станках, представлены на рисунке 1.7.



*a* – с перекидным ремнем; *б* – с фрикционной муфтой; *в* – с муфтой и рычагом; *г* – с конусом, образованным из цилиндрических колес; *д* – планетарные; *е* – с двухсторонней кулачковой муфтой

Рисунок 1.7 – Некоторые виды механизмов, используемых в металлорежущих станках

Механизмы для бесступенчатого регулирования скоростей применяют для плавного и непрерывного изменения частоты вращения шпинделей или подачи. Они позволяют получать оптимальные скорости резания и подачи при обработке различных деталей. Кроме того, они позволяют изменять скорость главного движения или подачу во время работы станка без его остановки. Вследствие этого применение в станках бесступенчатого привода способствует повышению производительности.

В станках применяют различные способы бесступенчатого регулирования скоростей движений. Выбор способа зависит от многих факторов: станок универсальный, специализированный, специальный; для черновой, чистовой, отделочной обработки; требуемой мощности резания и вида механической характеристики; необходимого диапазона регулирования и др.

Каждое из возможных решений – электрическое, гидравлическое, механическое, комбинированное регулирование – имеет свои специфические эксплуатационные достоинства и недостатки и, соответственно этому, свою область применения.

Электрическое регулирование производится изменением частоты вращения электродвигателя, который приводит в движение соответствующую цепь станка.

В механизмах главного движения станков с ЧПУ применяются электродвигатели постоянного тока благодаря своим исключительным регулировочным свойствам, а также возможности изменения частоты вращения в определенном диапазоне с постоянством предельной мощности. Применение широкорегулируемых электродвигателей постоянного тока и постоянной мощности в механизмах главного движения станков значительно упрощает механическую часть привода, исключает полностью или сводит до минимума число ступеней коробки скоростей, обуславливает увеличение производительности и повышает КПД электропривода.

В приводах подач (реже – в приводах главного движения) применяют высокомоментные электродвигатели с тиристорными преобразователями, которые позволяют получать высокие диапазоны бесступенчатого регулирования без применения коробок подач, а иногда и коробок скоростей.

При номинальной частоте вращения, например  $3000 \text{ мин}^{-1}$ , диапазон регулирования может быть доведен до 30000. К недостатку электродвигателей высоких моментов относится большая стоимость магнитов высоких энергий с применением редкоземельных элементов. Серийно выпускаются комплектные высокомоментные электродвигатели типа ПБВ для приводов подачи станков с ЧПУ мощностью 0,75...5,5 кВт.

Применение следящего привода подач с высокомоментными электродвигателями в станках с ЧПУ позволяет получить высокую точность обработки при малых дискретках (1...2 мкм) и высоких скоростях холостых ходов (10...12 м/мин).

Перспективным является использование в приводах станков бесколлекторных (вентильных) регулируемых электродвигателей переменного тока.

В настоящее время большинство станков с ЧПУ оснащается асинхронными двигателями с частотным регулированием скорости.

Для бесступенчатого регулирования скоростей прямолинейных движений в

станках широко используют гидравлический привод, главным образом подач, но также и главного движения (в строгальных, долбежных, протяжных станках).

Для бесступенчатого регулирования скорости гидравлический привод имеет ряд существенных преимуществ: широкий диапазон регулирования; быстрое изменение величины и направления скорости; плавное реверсирование, удобство дистанционного управления и его автоматизации; автоматическое предохранение от перегрузок; самосмазываемость.

Недостаток гидравлического привода – недостаточно жесткая характеристика вследствие утечек и влияния температуры на вязкость масла. При малых скоростях ( $V = 12 \dots 15$  мм/мин) работа гидравлического привода становится неустойчивой.

Большинство механических вариаторов (рисунок 1.8), применяемых в станках, – фрикционные. Фрикционные передачи – это механизмы, передающие движения с помощью сил трения соприкасающихся поверхностей. Величина передаваемой силы фрикционной передачи зависит от коэффициента трения. Фрикционные передачи обладают простотой конструкции, равномерностью передачи движения и бесшумностью работы, простым и легким управлением (изменение скорости главного движения и подачи можно производить во время работы без останова станка, что позволяет получить оптимальные скорости при обработке заготовок).

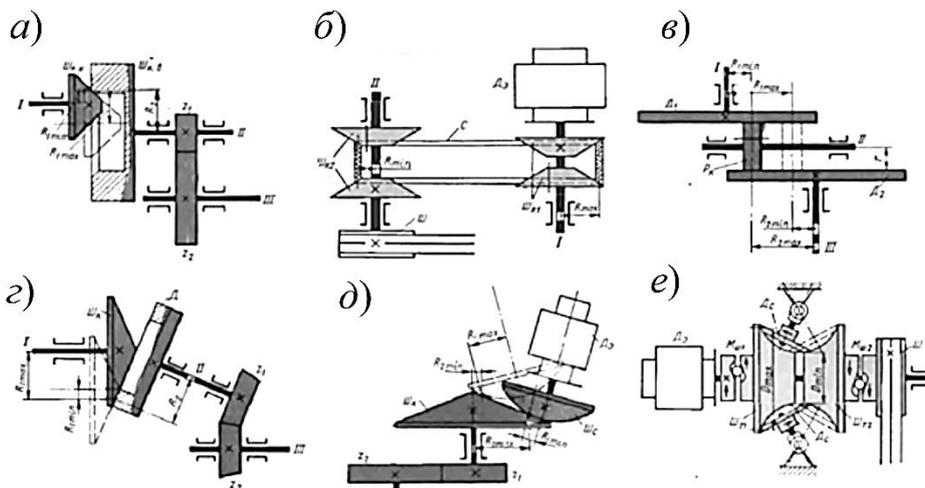


Рисунок 1.8 – Фрикционные механизмы

Недостатками фрикционной передачи являются: большие нагрузки на валы и подшипники; повреждение дисков при буксовании, что приводит к неравномерному их изнашиванию; сравнительно небольшой диапазон регулирования (обычно не выше 6) и значительное снижение частоты вращения под нагрузкой; потери на трение; нежесткая характеристика – изменение передаваемой мощности при регулировании частоты вращения. Существует большое разнообразие конструкций и типов фрикционных передач, которые нашли применение в приводах станков (см. рисунок 1.8, а–е).

Муфты служат для постоянного или периодического соединения двух соосных валов или вала с другими звеньями привода (зубчатым колесом, шкивом), для

передачи вращения между ними.

Различают муфты следующих типов: постоянные; сцепные; предохранительные; обгонные.

Постоянные муфты служат для соединения валов, которые не надо разъединять. Жесткие муфты соединяют соосные валы. Наиболее проста муфта в виде общей втулки (рисунок 1.9, *а*). Большой крутящий момент способна передавать муфта из двух фланцев, стянутых болтами (рисунок 1.9, *б*).

Упругие муфты (рисунок 1.9, *в*) позволяют соединять валы с небольшим отклонением от соосности и сглаживают динамические нагрузки в приводе. Для этого полумуфты соединяют с помощью резиновых колец, втулок, звездочек.

Подвижные муфты соединяют валы с большим смещением. Например, крестовая (плавающая) муфта (рисунок 1.9, *г*) соединяет несоосные параллельные валы.

Сцепные муфты необходимы для периодического соединения звеньев привода, например, зубчатого колеса и вала в коробке передач.

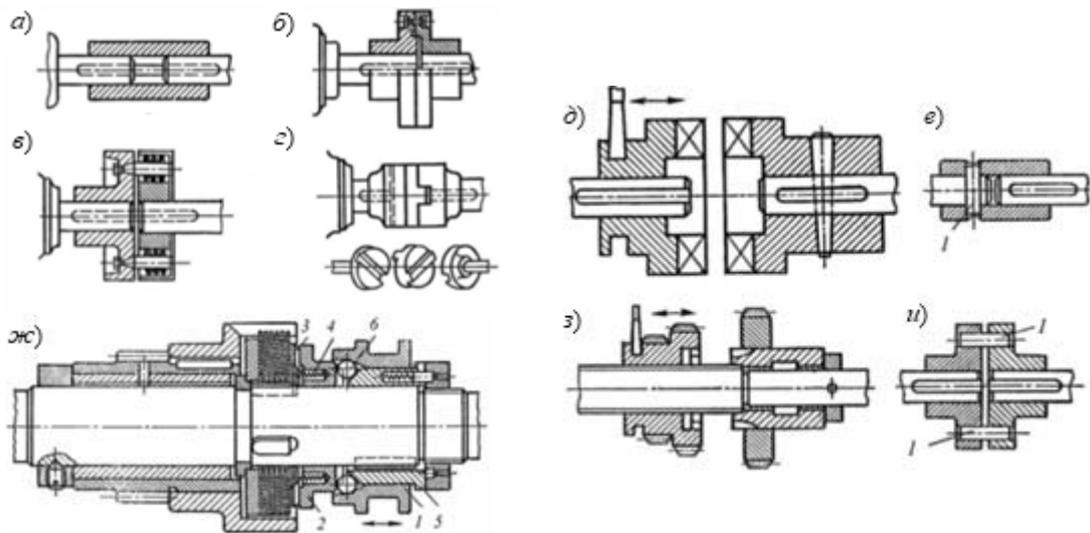


Рисунок 1.9 – Муфты

Кулачковая муфта (рисунок 1.9, *д*) передает крутящий момент торцевыми кулачками, проста по конструкции, надежна, имеет небольшой осевой ход для включения, но не может включаться при значительной угловой скорости.

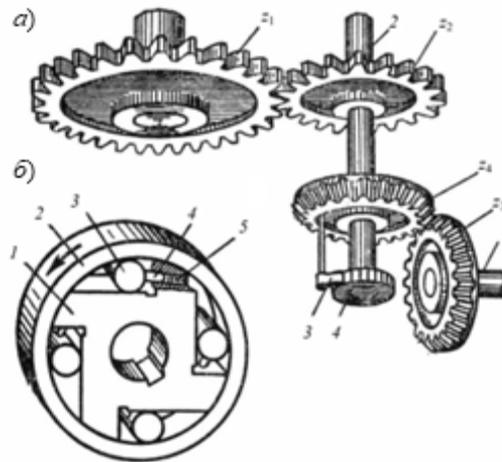
Зубчатая муфта (рисунок 1.9, *е*) состоит из колеса с наружными зубьями, передвигаемого вдоль оси, и внутреннего венца с таким же числом зубьев. Эта муфта более работоспособна и технологична, чем кулачковая.

Фрикционные сцепные муфты (рисунок 1.9, *ж*) имеют то же назначение, что и кулачковые, но свободны от недостатка, присущего кулачковым муфтам, т. е. фрикционные муфты можно включать при любых разностях скоростей вращения элементов муфты.

Муфты обгона (односторонние) предназначены для передачи крутящего момента лишь при одном направлении вращения (рисунок 1.10). Это свойство используют для ускоренного вращения ведомого звена от дополнительной кинематической цепи без выключения основной тихоходной цепи.

В качестве муфт обгона можно использовать храповые механизмы (см. рисунок 1.10, *а*). Вал 2 вращается от вала 1 через конические колеса и храповый

механизм (колесо  $z_4$  свободно посажено на валу 2).



*a* – храпового типа; *б* – роликового типа

Рисунок 1.10 – Муфта обгона

Наибольшее применение нашли роликовые обгонные муфты (см. рисунок 1.10, *б*). Если кольцо 2 (это может быть ступица зубчатого колеса, шкива), охватывающее диск 1, вращается по направлению стрелки, то соприкасающиеся с кольцом ролики 3, благодаря трению, перемещаются в узкую часть вырезов диска и заклиниваются там. Вращение передается от кольца через ролики диску и далее валу. Если при неподвижном кольце вращать диск в том же направлении от другой цепи, то отстающее кольцо выводит ролики из узкой части выреза в более широкую и разъединяет с диском. Такой же результат будет при медленном вращении кольца и быстром (обгоняющем) – диска с валом. Каждый ролик отжимается одним-тремя, в зависимости от длины ролика, штифтами 4 с пружинами в направлении к узкой части выемки между деталями 1 и 2.

**Содержание отчета.** Цель работы. Классификация передач. Уравнение кинематического баланса для схемы, выданной преподавателем. Выводы.

### **Контрольные вопросы**

- 1 Что такое металлорежущий станок? Классификация станков по ЭНИМС.
- 2 Какие механизмы станков Вы знаете?
- 3 Какие есть механические передачи вращательного движения и где они используются?
- 4 Какие есть механические передачи поступательного движения и где они используются?
- 5 Какие есть механизмы возвратно-поступательного (качательного) движения и где они используются?
- 6 Какие есть механизмы прерывистых движений и где они используются?

7 Что такое коробки скоростей и подач? Их конструкции и применяемые в них передачи и механизмы.

8 Какие есть способы бесступенчатого регулирования скорости? Их суть.

## 2 Изучение конструкции, принципа работы и кинематики токарно-винторезного станка модели 16Д25

**Цель работы:** изучить кинематику, конструкцию, технологические возможности и настроить токарно-винторезный станок на нарезание однозаходных и многозаходных резьб.

Станок предназначен для выполнения разнообразных токарных работ: продольная и поперечная обточки; обработка конусов и других поверхностей тел вращения; нарезание резьб различных типов; сверление; зенкерование и расточка отверстий; с помощью копировального устройства на станке можно выполнять копировальные работы.

Станок применяется в условиях мелкосерийного и индивидуального производства, в ремонтных и инструментальных цехах.

В конструкцию станка входят (рисунок 2.1):

- станина 1, на которой монтируют все механизмы станка;
- шпиндельная (передняя) бабка 2, жестко сбазирована на станине при сборке станка. В случае необходимости регулировки в горизонтальной плоскости необходимо снять облицовку коробки подач, ослабить винты, крепящие переднюю бабку, и специальным регулировочным винтом отрегулировать положение оси шпинделя по пробным проточкам до необходимой точности. В передней бабке размещены коробка скоростей, шпиндельный узел и другие элементы;
- коробка подач 3 расположена на шпиндельной бабке 2 и служит для передачи движения суппорту 4 в продольном и поперечном направлениях с заданной подачей с помощью ходового винта 5 при нарезании резьбы или ходового вала 6 при обработке других поверхностей, а также для включения ходового винта;
- суппорт 4, который крепится к фартуку 7 станины винтами, несёт резцедержатель с резцом и сообщает ему, относительно оси заготовки, продольное и поперечное движения в горизонтальной плоскости. Суппорт состоит из нижних салазок (каретки), перемещающихся по направляющим станка. По направляющим нижних салазок в направлении, перпендикулярном линии центров, перемещаются поперечные салазки, на которых установлена резцовая каретка с резцедержателем 8.

Фартук служит для передачи движения суппорту в продольном и поперечном направлениях от ходового винта или ходового вала.

Задняя бабка 9 расположена на направляющих станины. В пиноли задней бабки может быть установлен центр для поддержки обрабатываемой заготовки или осевой инструмент (сверло, развертка и т. п.) для обработки центрального отверстия в заготовке, закреплённой в патроне.

Коробка скоростей, которая служит для обеспечения требуемой скорости резания. Наличие на станке двадцатисемискоростной коробки скоростей позволяет обеспечить обработку в широком диапазоне при соблюдении режимов резания, близких к оптимальным.

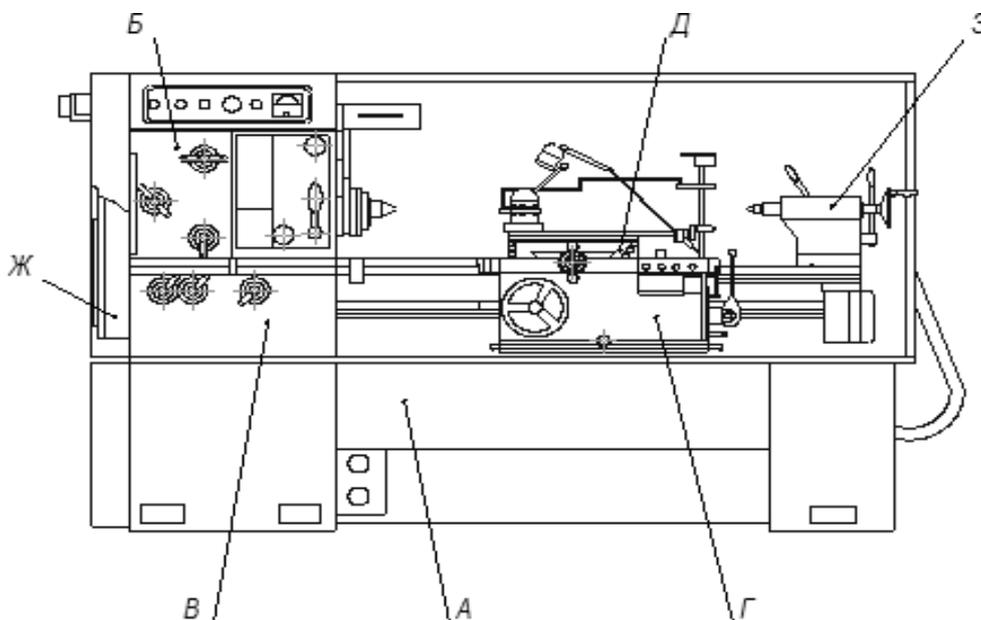


Рисунок 2.1 – Расположение составных частей станка модели 16Д25

### ***Кинематическая структура станка.***

Геометрическое образование винтовой поверхности происходит за счет перемещения образующей линии. В свою очередь, образующая линия получается методом копирования (обеспечивается профилем резца), а направляющая линия (винтовая линия) получается как след при одном винтовом движении формообразования. Движение формообразования  $\Phi_V$  является сложным и состоит из двух элементарных движений: вращательного движения заготовки  $B_1$  и согласованного с ним поступательного движения резца  $П_2$ ,  $\Phi_V(B_1П_2)$ . Таким образом, формообразующая часть кинематики станка состоит из одной кинематической группы с органами настройки привода главного движения  $i_V$  и привода подач  $i_S$ . Структурная схема станка представлена на рисунке 2.2.

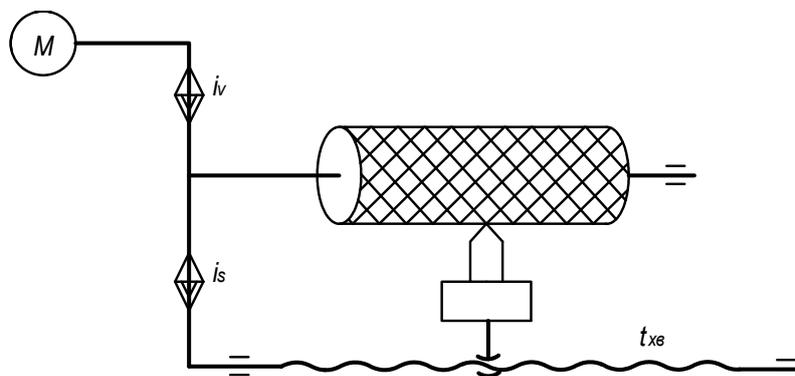


Рисунок 2.2 – Структурная схема станка

### ***Движение в станке и кинематическая схема станка.***

Главным движением, определяющим скорость резания, является вращение шпинделя, несущего заготовку.

Движением, определяющим величины продольных и поперечных подач, является движение суппорта, на котором установлены резцы, а при обработке детали концевым инструментом движение подачи получает задняя бабка или пиноль задней бабки.

Вспомогательными движениями в станке являются:

- ускоренная продольная и поперечная подача;
- ручное перемещение каретки (при обработке конических поверхностей);
- ручное перемещение пиноли задней бабки (только перемещение).

Продольная подача выражается значением перемещения суппорта за один оборот шпинделя. Конечными звеньями этой цепи являются шпиндель и реечная передача.

Конечными звеньями поперечной подачи являются шпиндель и ходовой винт.

Так как на станке можно нарезать метрические, дюймовые, модульные и питчевые резьбы, то на станке предусмотрено наличие подачи для нарезания резьбы.

#### ***Привод главного движения.***

Привод главного движения обеспечивает асинхронный электродвигатель, автоматическую коробку передач (АКП) и переборную коробку. Установленная на станке АКП имеет шесть электромагнитных муфт, включение которых в определенной последовательности позволяет получить девять ступеней скорости и тормозить шпиндель станка.

Переборная коробка дает с помощью включений зубчатых колес 16, 19, 20 и 22 первую ступень зубчатых колес; 18, 25, 26 и 21 – вторую ступень зубчатых колес; 17, 24, 26 и 21 – третью ступень частоты вращения. Таким образом, шпиндель имеет 27 скоростей вращения.

Привод осуществляется следующим образом: от электродвигателя  $M_1$  через клиноременную передачу 1 ( $\varnothing 122$ ) и 2 ( $\varnothing 195$ ) вращение передается на АКП.

Через зацепления  $\frac{36}{36}$  и  $\frac{15}{58}$  или  $\frac{30}{42}$  и  $\frac{15}{58}$  вращение передается на шкивы 14 ( $\varnothing 135$ ) и 15 ( $\varnothing 243$ ) и далее на вал 1. С вала 1 на вал 2 вращение передается через зацепление  $\frac{55}{30}$ , далее на вал 3 (шпиндель) через зацепление  $\frac{30}{60}$  – это один путь передачи вращения от АКП на шпиндель. Второй путь: через шкивы 14 ( $\varnothing 135$ ) и 15 ( $\varnothing 243$ ) на вал 1. С вала 1 вращение через зацепление  $\frac{57}{38}$  передается на вал 4, затем через зацепление  $\frac{80}{60}$  на шпиндель (вал 3). Например,

$$n_{шп} = n_{дв} \cdot \frac{122}{195} \cdot 0,985 \cdot \frac{36}{36} \cdot \frac{15}{58} \cdot \frac{135}{243} \cdot 0,985 \cdot \frac{55}{30} \cdot \frac{30}{60}.$$

### **Привод подачи.**

**Поперечная подача.** Конечными звеньями являются шпиндель (вал 3) и вал 0053 (фартук) ( $I_{об.шп} \rightarrow S_{попер}$ ). Движение осуществляется следующим образом: от шпинделя (вал 3) через зубчатые колеса 21–26 на вал 4, далее через зацепление 23–29 на вал 6, гитару сменных колес  $K-L-M-N$  на вал 7, с вала 7 на вал 53 через зацепление 33–51, через зацепление 54–57 на вал 01; с вала 01 на вал 10 через зацепление 64–46, далее на вал 7 через зацепление 44–37, затем 38–43, 42–66, 67–41 на вал 06, через зацепление 68–69 на вал 061, через зацепление 69–70 на вал 08, через зацепление 70–71 на вал 010–00, через 90–89 переходим на перпендикулярный вал и через зацепления 84–83, 83–76; зубчатую муфту и зацепления 77–75, 74–92, 92–91 на винт поперечной подачи 0020. Например,

$$S_{попер} = 1_{об.шп} \cdot \frac{60}{80} \cdot \frac{60}{60} \cdot \frac{K}{L} \cdot \frac{N}{M} \cdot \frac{28}{28} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{18}{45} \cdot \frac{15}{48} \times \\ \times \frac{23}{40} \cdot \frac{24}{39} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{30}{32} \cdot \frac{32}{32} \cdot \frac{32}{30} \cdot \frac{21}{4} \cdot \frac{36}{36} \cdot \frac{34}{55} \cdot \frac{55}{29} \cdot \frac{29}{16} \cdot t_{x.в.}$$

**Продольная подача.** Конечными звеньями являются шпиндель (вал 3 → рейка 72/73 – вал 002 – фартук). Движение осуществляется следующим образом: от шпинделя (вал 3) через зубчатые колеса 21–26 на вал 4, далее через зацепление 23–29 на вал 6, гитару сменных колес  $K-L-M-N$  на вал 7, с вала 7 на вал 53 через зацепление 33–51, через зацепление 54–57 на вал 01; с вала 01 на вал 10 через зацепление 64–46, далее на вал 7 через зубчатые колеса 44–37, затем 38–43, 42–66, 67–41 на вал 06, через зацепление 68–69 на вал 061, через зацепление 69–70 на вал 08, через зубчатые колеса 70–71 на вал 010–00, через 90–89 переходим на перпендикулярный вал и через зацепления 84–83, 83–76; зубчатую муфту и зацепления 77–75 на вал 002, на котором находится зубчатое колесо 73, которое обкатывается по зубчатой рейке 72 (характеристика зацепления –  $\pi \cdot m \cdot z$ ). Например,

$$S_{попер} = 1_{об.шп} \cdot \frac{60}{80} \cdot \frac{60}{60} \cdot \frac{K}{L} \cdot \frac{M}{N} \cdot \frac{28}{28} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{18}{45} \times \\ \times \frac{15}{48} \cdot \frac{23}{40} \cdot \frac{24}{39} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{30}{32} \cdot \frac{32}{32} \cdot \frac{32}{30} \cdot \frac{21}{4} \cdot \frac{36}{41} \cdot \frac{17}{66} \cdot \pi \cdot m \cdot z.$$

### **Цепь нарезания резьб.**

**Метрическая резьба:** конечные звенья – шпиндель 3 → винт 05:

$$t_{метр} = 1_{об.шп} \cdot \frac{21}{26} \left( \frac{z=60}{z=80} \right) \cdot \frac{23}{29} \left( \frac{z=60}{z=60} \right) \cdot \frac{K}{L} \cdot \frac{N}{M} \times \\ \times \frac{33}{51} \cdot \left( \frac{z=28}{z=28} \right) \cdot \frac{54}{57} \left( \frac{z=28}{z=35} \right) \cdot \frac{64}{46} \left( \frac{z=18}{z=45} \right) \cdot \frac{44}{37} \left( \frac{z=15}{z=48} \right) \cdot t_{х.в.}$$

*Дюймовая резьба:* конечные звенья – шпиндель 3 → винт 05:

$$t_{дюйм} = 1_{об.шп} \cdot \frac{21}{26} \left( \frac{z=60}{z=80} \right) \cdot \frac{23}{29} \left( \frac{z=60}{z=60} \right) \cdot \frac{K}{L} \cdot \frac{N}{M} \cdot \frac{33}{51} \cdot \left( \frac{z=28}{z=28} \right) \cdot \frac{50}{60} \left( \frac{z=38}{z=34} \right) \times \\ \times \frac{59}{52} \left( \frac{z=30}{z=42} \right) \cdot \frac{61}{63} \left( \frac{z=30}{z=33} \right) \cdot \frac{64}{46} \left( \frac{z=18}{z=45} \right) \cdot \frac{44}{37} \left( \frac{z=15}{z=18} \right) \cdot t_{х.в.} = \frac{25 \cdot 4}{n_p}$$

*Модульная резьба:* конечные звенья – шпиндель 3 → винт 05  
( $1_{об.шп} \rightarrow P_p = \pi \cdot m$ ):

$$t_{мод} = 1_{об.шп} \cdot \frac{21}{26} \left( \frac{z=60}{z=80} \right) \cdot \frac{23}{29} \left( \frac{z=60}{z=60} \right) \cdot \frac{K}{L} \cdot \frac{N}{M} \cdot \frac{33}{51} \cdot \left( \frac{z=28}{z=28} \right) \times \\ \times \frac{52}{59} \left( \frac{z=42}{z=30} \right) \cdot \frac{64}{46} \left( \frac{z=18}{z=45} \right) \cdot \frac{44}{37} \left( \frac{z=15}{z=48} \right) \cdot t_{х.в.}$$

*Питчевая резьба* (с нестандартным шагом): конечные звенья – шпиндель 3 → винт 05:

$$t_{питч} = 1_{об.шп} \cdot \frac{21}{26} \left( \frac{z=60}{z=80} \right) \cdot \frac{23}{29} \left( \frac{z=60}{z=60} \right) \cdot \frac{K}{L} \cdot \frac{N}{M} \cdot t_{х.в.}$$

**Содержание отчета.** Цель работы. Назначение станка. Конструкция станка (основные узлы станка). Структурная схема станка. Уравнения кинематического баланса для цепи главного движения, цепи подач, цепи нарезания резьб. Расчет режимов резания. Выводы.

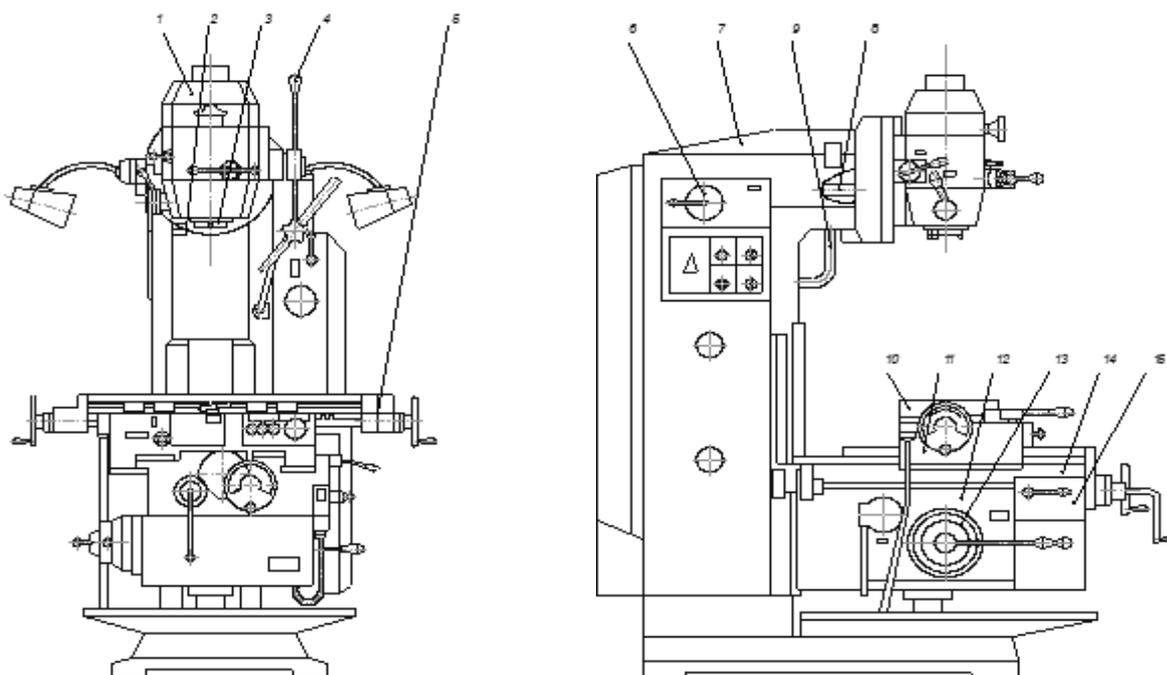
### **Контрольные вопросы**

- 1 Назовите основные узлы токарно-винторезного станка модели 16Д25.
- 2 Какие технологические операции (виды работ) можно осуществлять на токарно-винторезном станке 16Д25?
- 3 Что изображено на кинематике токарно-винторезного станка?
- 4 Какие приводы имеет токарно-винторезный станок 16Д25?
- 5 Что входит в состав привода главного движения?

### 3 Изучение конструкции, принципа работы и кинематики фрезерного станка модели ВФ-130. Настройка станка на фрезерование винтовых канавок

**Цель работы:** ознакомиться с кинематикой, конструкцией и назначением фрезерных станков, а также с назначением и получением практических навыков по использованию делительных головок.

Вертикально-фрезерный станок ВФ-130 (рисунок 3.1) предназначен для выполнения всех видов фрезерных работ. В зависимости от типа применяемых фрез можно выполнять фрезерование плоскостей, уступов, пазов, косозубых колес и другие виды работ.



1 – фрезерная головка; 2 – цилиндр подъема; 3 – шпиндель; 4 – механизм быстрого перемещения шпинделя; 5 – кронштейн; 6 – механизм переключения скорости; 7 – стойка; 8 – главный привод; 9 – система охлаждения; 10 – стол; 11 – салазки; 12 – коробка подач; 13 – механизм переключения коробки подач; 14 – консоль; 15 – механизм выключения подачи; 16 – гайка поперечной подачи; 17 – электрошкаф

Рисунок 3.1 – Общий вид вертикально-фрезерного станка модели ВФ-130

Главное движение – вращательное движение фрезы.

Движение подачи – продольное или поперечное перемещение стола или вертикальное перемещение консоли.

#### **Привод главного движения.**

Вращение шпинделя (вал 7) осуществляется от асинхронного электродвигателя 1 мощностью 3 кВт и  $n = 1450 \text{ мин}^{-1}$  через клиноременную передачу 2–3 и коробку скоростей.

Путем перемещения блоков 4–5, 6–7, 8–9 по шлицевому валу 2 на валах 3

и 4 получаем шесть скоростей. Благодаря перебору (пары 18–20 или 19–22) на шпинделе 7 получаем 12 скоростей.

Цепь главного движения имеет вид

$$n_{\text{шп}} = 1425 \cdot \frac{100}{189} \cdot 0,985 \cdot \left| \begin{array}{c} 51/51 \\ 60/42 \\ 42/60 \\ 34/68 \\ 21/81 \\ 27/75 \end{array} \right| \cdot \frac{23}{23} \cdot \left| \begin{array}{c} 67/24 \\ 24/67 \end{array} \right| \cdot \frac{36}{54} \cdot \frac{54}{38}$$

### **Привод подачи.**

Перемещение стола имеет 18 рабочих и одну ускоренную подачи. Привод подачи осуществляется от асинхронного электродвигателя 35 через валы 13, 14, коробку подач (валы 15, 16, 17, 18) и кинематическую цепь консоли (25, 20, 21, 22).

Цепь вертикальной подачи

$$S_{\text{верт}} = 1370 \cdot \frac{43}{81} \cdot \frac{35}{93} \cdot \left| \begin{array}{c} 26/64 \\ 30/60 \\ 35/55 \end{array} \right| \cdot \left| \begin{array}{c} 26/64 \\ 40/82 \\ 56/35 \end{array} \right| \cdot \left| \begin{array}{c} 18 \cdot 30 \cdot 60 \\ 72 \cdot 60 \cdot 60 \\ 60/60 \end{array} \right| \cdot \frac{37}{44} \cdot \frac{25}{50} \cdot \frac{24}{36} \cdot t_{x.6}$$

Цепь поперечной подачи

$$S_{\text{попер}} = 1370 \cdot \frac{43}{81} \cdot \frac{35}{93} \cdot \left| \begin{array}{c} 26/64 \\ 30/60 \\ 35/55 \end{array} \right| \cdot \left| \begin{array}{c} 26/64 \\ 40/82 \\ 56/35 \end{array} \right| \cdot \left| \begin{array}{c} 18 \cdot 30 \cdot 60 \\ 72 \cdot 60 \cdot 60 \\ 60/60 \end{array} \right| \cdot \frac{37}{44} \cdot \frac{48}{52} \cdot \frac{38}{54} \cdot t_{x.6}$$

Цепь продольной подачи

$$S_{\text{прод}} = 1370 \cdot \frac{43}{81} \cdot \frac{35}{93} \cdot \left| \begin{array}{c} 26/64 \\ 30/60 \\ 35/55 \end{array} \right| \cdot \left| \begin{array}{c} 26/64 \\ 40/82 \\ 56/35 \end{array} \right| \cdot \left| \begin{array}{c} 18 \cdot 30 \cdot 60 \\ 72 \cdot 60 \cdot 60 \\ 60/60 \end{array} \right| \cdot \frac{37}{44} \cdot \frac{48}{52} \cdot \frac{17}{24} \cdot \frac{28}{28} \cdot t_{x.6}$$

Конические шестерни 64 и 65 на валу 22 сидят свободно для вращения и передают вращение винту 66 только при включении муфты влево или вправо, при этом продольное перемещение стола реверсируется.

Вертикальное перемещение стола вверх или вниз осуществляется при сцеплении муфты с шестернями – кулачками 59 или 72. Аналогично происходит поперечное перемещение стола при помощи муфты и шестерни – кулачков 75 и 77. Ускоренное перемещение стола получают, используя обгонную муфту 55 вала 18 коробки подач.

Для работ, связанных с поворотом детали на заданный угол, на станке применяются универсальные делительные головки (УДГ), позволяющие делить окружность на любое число частей до 400 и на некоторые числа свыше 400. Кинематическая схема головки представлена на рисунке 3.2.

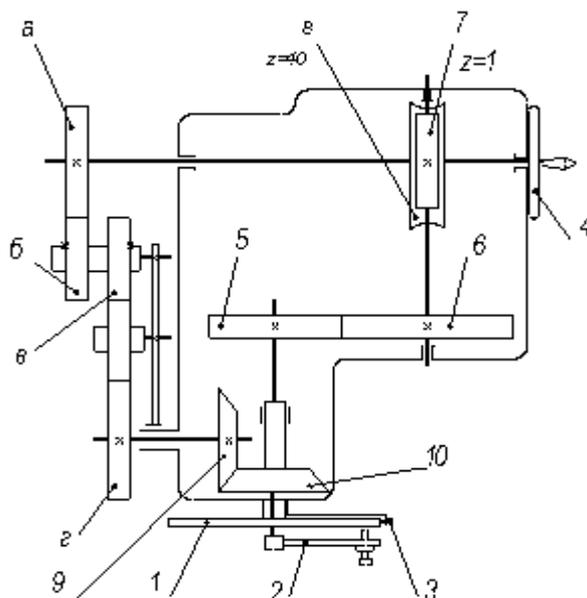


Рисунок 3.2 – Кинематическая схема УДГ

При простом делении вращение шпинделю передается от рукоятки-фиксатора 2 (см. рисунок 3.2) делительного диска 1 через цилиндрические шестерни 5, 6, червяк 7 и червячное колесо 8, сидящее на шпинделе.

При дифференциальном делении угол поворота шпинделя определяется величиной поворота рукоятки-фиксатора относительно делительного диска и величиной поворота самого диска, который получает вращение от шпинделя через смещение шестерни  $a-z$  гитары.

При нарезании винтовых канавок шпиндель получает вращение от ходового винта фрезерного станка через сменные шестерни гитары, пару конических колес 9, 10 и промежуточный вал, цилиндрические шестерни 5, 6, червяк 7 и червячное колесо 8.

### **Способы деления.**

Непосредственное деление применяется при делении окружности в градусном выражении, а также на число частей, например 2, 3, 4, 6, 8, 12, 24.

Простое деление окружности на равные и неравные части производится при неподвижном делительном диске с помощью рукоятки с фиксатором. Величина поворота рукоятки отсчитывается по отверстиям на делительном диске и фиксируется стержнем фиксатора, величина поворота рукоятки определяется по формуле

$$n = \frac{40}{Z},$$

где  $Z$  – число, на которое необходимо разделить обрабатываемую деталь.

**Пример 1** – Требуется отфрезеровать 10 канавок. Определить число оборотов рукоятки.

$$n = \frac{40}{10} = 4.$$

Число 4 показывает, что после фрезерования каждой канавки рукоятку необходимо повернуть на четыре полных оборота.

Если при вычислении число оборотов рукоятки получится дробным, то его необходимо преобразовать таким образом, чтобы знаменатель дроби был равен числу отверстий одной из окружностей на делительном диске.

**Пример 2** – Требуется отфрезеровать 18 канавок. Определить число оборотов рукоятки.

$$n = \frac{40}{18} = 2 \frac{12}{54}.$$

Число 2 показывает, что после фрезерования каждой канавки рукоятку необходимо повернуть на два полных оборота и 12 отверстий на окружности с числом отверстий 54.

Для точности деления рукоятку с фиксатором следует вращать всегда в одном направлении.

*Дифференциальное деление.* Деление окружности на число частей свыше 42, не кратному числу отверстий на делительном диске, можно производить дифференциальным методом, сущность которого заключается в том, что угол поворота шпинделя определяется величиной поворота рукоятки с фиксатором относительно делительного диска и величиной поворота диска, получающего вращение от шпинделя через сменные гитары.

Гитара устанавливается на цилиндрический хвостик, на котором она может быть повернута и закреплена в требуемом положении. Для передачи вращения сменным шестерням в задний конус шпинделя вставляется оправка, на цилиндрическую шейку, на которой устанавливается сменная шестерня.

При выполнении дифференциального деления стопор делительного диска должен быть выключен.

Передаточное число сменных шестерен определяется по формуле

$$i = \frac{40(X - Z)}{X},$$

где  $X$  – вспомогательное число;

$Z$  – число частей, на которое требуется разделить деталь.

Вспомогательное число  $X$ , по которому определяется направление вращения делительного диска относительно рукоятки, должно быть кратным числу 5 (должно оканчиваться на 0 или на 5) и близким по величине к заданному числу, в таком случае оно будет всегда кратным числу отверстий на делительном диске.

**Содержание отчета.** Цель работы. Назначение станка. Конструкция станка (основные узлы станка). Структурная схема станка. Уравнения кинематического баланса для цепи главного движения. Цепи подач ( $S_{нопер}$ ,  $S_{прод}$ ,  $S_{верт}$ ). Назначение делительной головки. Расчет настройки делительной головки по заданным данным. Выводы.

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Назовите основные узлы вертикально-фрезерного станка модели ВФ-130.
- 2 Для выполнения каких работ (операций) предназначен вертикально-фрезерный станок?
- 3 Что изображено на кинематической схеме станка модели ВФ-130?
- 4 Какие приводы содержит станок ВФ-130?
- 5 Что входит в состав привода главного движения?

## **4 Изучение кинематики, конструкции и технологических возможностей вертикально-сверлильного станка модели 2А135**

**Цель работы:** изучить кинематику, конструкцию, технологические возможности и настройки вертикально-сверлильного станка на сверление отверстия.

Универсальный вертикально-сверлильный станок модели 2А135 (рисунок 4.1) предназначен для работы в ремонтных, инструментальных и производственных цехах с мелкосерийным выпуском продукции. Снабженный специальными приспособлениями он может применяться в серийном производстве. Станок рассчитан на условный диаметр сверления 35 мм и имеет двигатель мощностью  $N = 4,0$  кВт.

Наличие на станке девятискоростной коробки скоростей с диапазоном регулирования  $68 \dots 1100 \text{ мин}^{-1}$  и одиннадцатискоростной коробки подач с диапазоном регулирования подач шпинделя  $0,12 \dots 1,6 \text{ мм/об}$  обеспечивает полную избирательность нормативных режимов резания для диаметров до 35 мм при сверлении, рассверливании, зенковании, развертывании, а также при нарезании резьбы (благодаря наличию электрореверса). Жесткость конструкции, прочность рабочих механизмов и достаточная мощность привода позволяют использовать на станке режущий инструмент, оснащенный твердым сплавом.

### ***Описание кинематической схемы.***

Кинематическая цепь станка служит для осуществления двух основных движений – вращательного движения шпинделя и вертикального перемещения (подачи) гильзы со шпинделем.

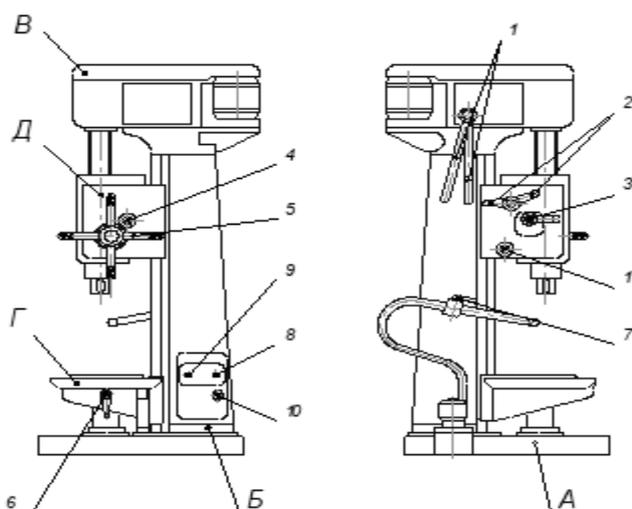
Механизмы станка приводятся в действие от электродвигателя посредством клиноременной передачи через шкивы диаметром 100 и 185 мм.

Шкив диаметром 185 мм посажен на первом валу коробки скоростей, на котором находится тройной блок шестерен 4–6, передающий вращение во втором ряду через неподвижно укрепленные на нем шестерни 7, 8 и 10.

Второй вал связан с третьим через шестерни 9 и 14. Скользящий по третьему валу блок из трех шестерен 11–13 через шестерни 15–17 передаёт вращение четвёртому валу, который представляет собой пустотелую гильзу, по шлицевому отверстию которой свободно перемещается шлицевой конец шпинделя.

Механизм подач получает движение по следующей цепи: от шестерни 18, посаженной на шлицевой части шпинделя, через шестерни 19–21 вращение

передается пустотелому валу, на котором свободно вращаются шестерни 22, 23 и 25, постоянно сцепленные с шестернями 30, 24 и 26. Шестерни 30, 26–28 постоянно сцеплены с шестернями 29, 31–33, свободно вращающимися на втором полумесяце валика. Внутри обоих пустотелых валов перемещаются вытяжные шпонки, блокирующие шестерни 22, 23, 25, 29, 31–33, благодаря чему получается 12 подач, из них 11 – различные. От второго пустотелого валика через кулачковую муфту вращение передается червяку 34 и червячному колесу 37, сидящему на одном валу с шестерней 35, которая сцеплена с рейкой 39, нарезанной непосредственно на гильзе шпинделя. Таким образом, вращательное движение всего механизма преобразуется в поступательное движение шпинделя.



*A* – фундаментальная плита; *B* – колонна; *V* – коробка скоростей; *Г* – стол; *Д* – шпиндельная бабка с коробкой подач; 1 – рукоятка переключения; 2 – рукоятки переключения подач; 3 – рукоятка включения электродвигателя; 4 – кулачки автоматического реверса и выключения подачи; 5 – штурвал; 6 – рукоятка подъема стола; 7 – кран подачи; 8 – выключатель местного освещения; 9 – сетевой выключатель; 10 – квадрат подъема шпиндельной бабки

Рисунок 4.1 – Общий вид станка модели 2А135

Подъем шпиндельной бабки осуществляется следующим образом. Вращение рукоятки передается через червяк 42 и червячное колесо 41 ременной шестерне 40, находящейся в зацеплении с рейкой 43, которая укреплена на колонне станка. Подъем стола осуществляется вращением рукоятки, которая через конические шестерни 44 и 45 передает движение на винт 46 и гайку 47.

#### **Режим резания.**

Глубина резания  $t$ . При сверлении в сплошном металле  $t = D/2$  мм, при зенкерование, рассверливание и развертывании  $t = 0,5 (D - d)$ .

Подача  $S$  равна перемещению сверла или детали по оси за один оборот (сверла или детали) и измеряется в миллиметрах на оборот.

Скорость резания при сверлении  $V$ , м/мин, определяется по формуле

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot S^y} \cdot k_v, \quad (3.1)$$

где  $k_v$  – общий поправочный коэффициент;  
 $C_v$  – постоянный коэффициент;  
 $D$  – диаметр инструмента, мм;  
 $T$  – период стойкости инструмента, мин;  
 $S$  – подача инструмента, мм/об.

$$k_v = k_{lv} \cdot k_{iv} \cdot k_{uv},$$

где  $k_{mv}$  – поправочный коэффициент в зависимости от обрабатываемого материала;  
 $k_{lv}$  – поправочный коэффициент в зависимости от глубины сверления;  
 $k_{uv}$  – поправочный коэффициент в зависимости от материала.

Согласно исходным данным, приведенным в таблице 4.1, произвести расчет режимов резания.

Таблица 4.1 – Исходные данные

Диаметр отверстия, м	Материал режущей части	Обрабатываемый материал	Твердость	Глубина сверления, мм
8	T15K6	Сталь жаропрочная	160 НВ	15
12	P6M5	Сталь конструкционная	180 НВ	24
14	BK8	Чугун серый	140 НВ	35
16	P6M5	Чугун ковкий	200 НВ	48
18	P6M5	Сталь жаропрочная	260 НВ	49
10	BK8	Сталь конструкционная	310 НВ	70
18	P6M5	Чугун серый	150 НВ	75
16	P6M5	Чугун ковкий	180 НВ	75
14	T5K10	Сталь жаропрочная	170 НВ	65
12	P6M5	Сталь конструкционная	220 НВ	54
10	BK8	Чугун серый	165 НВ	45

**Содержание отчета.** Цель работы. Назначение станка. Конструкция станка (основные узлы станка). Структурная схема станка. Уравнения кинематического баланса. Расчет режимов резания. Выводы.

### **Контрольные вопросы**

- 1 Назовите основные узлы станка 2A135.
- 2 Какие виды приводов имеет станок 2A135?
- 3 Имеет ли привод подач свой независимый привод?

## 5 Составление технологического процесса изготовления детали с дальнейшей ее обработкой на металлообрабатывающем оборудовании

**Цель работы:** научиться составлять технологические процессы изготовления деталей; изготовить деталь с применением всех возможностей металлообрабатывающего оборудования.

### *Определение последовательности технологических операций.*

Разработка технологического процесса изготовления детали представляет собой сложную задачу с большим числом возможных решений.

Общая схема технологического процесса изготовления детали может быть представлена в виде последовательных приближений к показателям детали в соответствии с требованиями чертежа. Этапы приближения: операции первого приближения (заготовительные); операции второго приближения (черновая обработка); операции третьего приближения (чистовая обработка); операции четвертого приближения (отделочные работы).

Подобный методический подход объясняется тем, что на стадии черновой обработки появляются сравнительно большие погрешности, вызываемые деформациями, возникающими в процессе резания, а также значительным нагревом заготовки.

Кроме того, вынесением отделочных операций в конец маршрута уменьшают риск случайного повреждения окончательно обработанных поверхностей в процессе транспортировки. Также учитывается то, что черновую обработку могут выполнять рабочие более низкой квалификации на изношенном оборудовании.

При установлении общей последовательности обработки сначала обрабатывают поверхности, принятые за технологические базы. Затем обрабатывают остальные поверхности в последовательности, обратной степени их точности. Изложенный принцип построения маршрута, однако, не во всех случаях обязателен. При жесткой заготовке и малых размерах обрабатываемых поверхностей окончательную обработку отдельных элементов можно выполнять и в начале маршрута. Данный принцип, кроме того, в известной степени противоречит принципу концентрации обработки, когда в одной операции можно совместить переходы черновой и чистовой обработок.

Если деталь подвергают термической обработке, то технологический процесс изготовления детали расчленяют на две части: до термообработки и после нее. Для устранения возможных деформаций часто приходится предусматривать правку деталей или обработку отдельных поверхностей после термообработки. Последовательность обработки зависит от назначенных конструкторских баз.

После операции механообработки назначают контрольную операцию.

Последовательность операций также может измениться, если деталь обрабатывается по типовому или групповому процессу.

Составление технологического маршрута обработки детали предшествует оформлению технологического процесса на картах и ведется в черновой тетради.

При разработке двух или нескольких вариантов маршрутов (изготовление детали из разных заготовок, на разном оборудовании и т. п.) выбирается наиболее экономичный в данных производственных условиях.

В маршрут включаются все операции.

***Последовательность операций при разработке маршрута для деталей – тел вращения.***

Детали типа тела вращения подразделяются на валы, втулки, зубчатые колеса, фланцы и т. п. Все эти детали имеют много общего в технологическом процессе.

Полюе детали типа втулок, колец и т. п. небольших размеров с отношением длины отверстия к его диаметру меньше 5 обрабатываются из прутка на токарно-револьверных станках и автоматах. Обработка таких деталей на токарно-револьверных автоматах при разработке единичных технологических процессов целесообразна только при операционных партиях не менее 3...5 тыс. штук. При разработке групповых технологических процессов и подборе группы деталей с общим для всех деталей этой группы кулачком групповая наладка автомата целесообразна и в мелкосерийном производстве.

Детали типа валиков с отношением длины валика к его наибольшему диаметру больше 5 целесообразно, в большинстве случаев, обрабатывать из штучных, предварительно нарезаемых из сортового материала и центруемых заготовок на токарных станках, в центрах или непосредственно из прутка на автоматах продольного точения.

На револьверных станках при одностороннем расположении уступов наружной поверхности и отверстия нужно стремиться к обработке максимального количества поверхностей с одного установа. Поверхности, которые нельзя обработать в первой операции, выносят на следующую операцию. Если остается только подрезание второго торца (отрезание обеспечивает грубую шероховатость, что обычно не удовлетворяет требованиям чертежа) и незначительные доработки (обточка фаски и т. п.), то вторую операцию лучше проводить на простом токарном станке. Если уступы носят двусторонний характер или по каким-либо другим причинам на вторую операцию остается более трех-четырёх переходов, то и для ее выполнения также следует назначать токарно-револьверный станок.

Последующие операции определяются конфигурацией детали и заданными параметрами точности и шероховатости (фрезерование пазов, лысок и т. п., сверление отверстий, шлифование и т. д.). При необходимости достижения высокой твердости поверхности после термообработки следует назначать шлифование этой поверхности, а иногда и другие виды обработки абразивным инструментом.

На всех деталях при обработке, как правило, после каждой операции должны притупляться острые кромки и сниматься остающиеся от обработки заусенцы. На станках токарной группы при вращающейся детали притупление целесообразно проводить напильником. После сверления заусенцы снимаются дополнительным назначением перехода сверлом большего, чем у отверстия, диаметра. После фрезерования и некоторых других операций требуется назначение слесарной операции или операции обработки в вибробарабанах (виброочистка). Эти операции часто назначаются между очередными операциями, поскольку

наличие заусенцев может быть причиной погрешности установки заготовки на следующей операции, что приведет к браку при изготовлении деталей.

В общем виде примерный технологический процесс изготовления деталей типа тел вращения можно представить в следующем порядке выполнения операций: отрезная, токарная, фрезерная, сверлильная, шлифовальная, отделочная.

**Последовательность операций при разработке маршрута для корпусных и плоских деталей.**

В целях создания чистовой базы (обработанной поверхности) для последующей обработки детали в качестве первой операции, как правило, назначается фрезерование наиболее протяженной плоской поверхности (одной или нескольких).

Второй операцией обычно является расточка точных отверстий, если таковые имеются, от обработанной на первой операции чистовой установочной базы. Такие операции для деталей небольших габаритов типа корпусов, кронштейнов и т. п. выполняются в приборостроении при сравнительно небольших производственных партиях на станках токарной группы (токарном, токарно-револьверном и т. п.); для плоских деталей – на сверлильных станках.

В последнюю очередь ведутся операции, заключающиеся в обработке крепежных отверстий (сверление, зенкование и т. п.). Обработка отверстий ведется на вертикально-сверлильных станках, иногда с использованием многопозиционных головок, или на агрегатных станках. Если нарезание резьбы на этих станках не может быть осуществлено, то его выделяют и ведут на резьбонарезных станках как самостоятельную операцию.

В общем виде примерный технологический процесс изготовления корпусных и плоских деталей можно представить в следующем виде: заготовительная (отрезная, штамповочная или литейная), фрезерная, токарная, расточная, сверлильная, шлифовальная, резьбонарезная, отделочная.

Примерные маршруты обработки поверхностей, в зависимости от материала, требуемых точностей и шероховатости, приведены на рисунке 5.1.

Возможные варианты обработки наружных поверхностей	Достижимые		Возможные варианты обработки цилиндрических отверстий	Достижимые	
	Точность (квалитет)	шероховатость		точность (квалитет)	Шероховатость
I	2	3	I	2	3
<b>Обработка цилиндрических поверхностей</b>					
Обтачивание черновое	12	Rz 60	Сверление ( диаметр < 8 мм)	11	Rz 20
Обтачивание черновое, чистовое	9	Rz 20	Сверление ( диаметр от 8 мм)	12	Rz 40
Обтачивание черновое, шлифование однократное	9	Rz 20	Сверление и зенкование ( диаметр более 12 мм)	11	Rz 20
Обтачивание черновое, чистовое и шлифование однократное	8	2,5	Сверление и развертывание ( диаметр до 10 мм)	9	2,5
Обтачивание черновое, чистовое, тонкое	7	1,25	Сверление, зенкование и развертывание ( диаметр более 12 мм)	9	2,5
Обтачивание черновое, шлифование черновое и чистовое	7	0,63	Сверление и однократное развертывание ( диаметр до 8 мм)	7	0,63
<b>Обработка плоскостей</b>					
Строгание черновое,	14	Rz 120	Сверление и двукратное развертывание ( диаметр более 8 мм)	7,8	1,25
Чистовое	11	Rz 40	Сверление, зенкование и двукратное развертывание ( диаметр более 12 мм)	7,8	1,25
Долбление черновое,	14	Rz 80	Сверление, зенкование к шлифованию ( диаметр более 12 мм)	7,8	1,25
Чистовое	12	Rz 60	<b>В заготовках с отверстием</b>		
Фрезерование торцовой фрезой черновое	12	Rz 80	Зенкование или растачивание	12	Rz 60
Чистовое	11	Rz 40	Расширивание	10	Rz 20
Фрезерование цилиндрической фрезой			Двукратное зенкование	11	Rz 20
Черновое	14	Rz 160	Зенкование или растачивание и развертывание	9	2,5
Чистовое	12	Rz 80	Зенкование и растачивание	9	2,5
Шлифование плоское торцом или периферией круга			Двукратное растачивание	7	1,5
Черновое,	7	1,25	Зенкование или растачивание и двукратное развертывание	7	0,63
Чистовое	6	0,32	Зенкование или двукратное растачивание и тонкое растачивание	7	1,25
Подрезание торца резцом черновое	12	Rz 40	Зенкование или двукратное растачивание и хонингование	7	0,2
чистовое	10	2,5	Зенкование и растачивание, тонкое растачивание и хонингование	7	0,2
			Двукратное растачивание и шлифование	7	0,2

Рисунок 5.1 – Варианты обработки поверхностей и достигаемая точность

**Содержание отчета.** Цель работы. Маршрутный процесс изготовления детали, представленной на рисунке 5.2. Выводы.

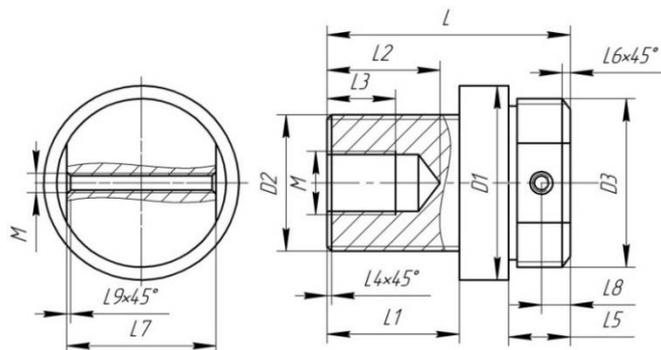


Рисунок 5.2 – Изготавливаемая деталь

### **Контрольные вопросы**

- 1 Что такое технологический процесс?
- 2 Принципы составления технологического маршрута и технологического процесса.
- 3 Варианты обработки поверхностей и достигаемая при этом точность.

## **6 Изучение назначения, конструкции, принципа действия и кинематики токарного станка с ЧПУ на примере модели 16К20Т1**

**Цель работы:** ознакомиться с назначением, конструкцией, кинематикой и принципом действия токарного станка с ЧПУ на примере модели 16К20Т1.

Станок токарный программный с оперативной системой управления модели 16К20Т1 предназначен для токарной обработки в замкнутом полуавтоматическом цикле деталей типа тел вращения со ступенчатым и криволинейным профилем, включая нарезание крепежных резьб. Станок оснащен устройством числового программного управления (УЧПУ) «Электроника НЦ-31» с вводом программы обработки изделия с клавиатуры или кассеты внешней памяти. На УЧПУ «Электроника НЦ-31» программа визуализируется на лампах цифровой индикации. Станок применяется в единичном, мелкосерийном и среднесерийном производстве с мелкими повторяющимися партиями деталей. Класс точности станка – П.

**Конструктивные особенности станков с ЧПУ. Основные узлы и органы управления.** Станки с ЧПУ имеют расширенные технологические возможности при сохранении высокой надежности работы. Конструкция станков с ЧПУ должна обеспечить удобство загрузки заготовок, выгрузки деталей, автоматическое или дистанционное управление сменой инструмента и т. д.

Повышение точности обработки достигается:

- высокой точностью изготовления;

– высокой жесткостью станка, превышающей жесткость обычного станка того же назначения, для чего производят сокращение длины его кинематических цепей, применяют автономные приводы, по возможности сокращают число механических передач;

– приводы станков с ЧПУ должны также обеспечивать высокое быстродействие.

Повышению точности способствует:

- устранение зазоров в передаточных механизмах приводов подач;
- снижение потерь на трение в направляющих и других механизмах;
- повышение виброустойчивости;
- снижение тепловых деформаций;
- применение в станках датчиков обратной связи.

*Базовые детали* (станины, колонны, основания) выполняют более жесткими за счет введения дополнительных ребер жесткости. Повышенную жесткость имеют и подвижные несущие элементы.

*Основание станка* представляет собой жесткую отливку, на которой устанавливаются станина, электродвигатель главного движения, станции смазки направляющих каретки и шпиндельной бабки, насос подач СОЖ.

*Станина станка* имеет коробчатую форму с поперечными ребрами П-образного профиля, закаленные шлифовальные направляющие.

*Направляющие станков с ЧПУ* имеют высокую износостойкость и малую силу трения, что позволяет снизить мощность следящего привода, увеличить точность перемещений, уменьшить рассогласование в следящей системе.

*Направляющие качения* имеют высокую долговечность, характеризуются небольшим трением, причем коэффициент трения практически не зависит от скорости движения. В качестве тел качения используют ролики.

Предварительный натяг повышает жесткость направляющих в 2–3 раза, для создания натяга используют регулирующие устройства.

На станке модели 16К20Т1 *привод продольного перемещения* включает шариковую передачу винт – гайка качения, опоры винта, приводной электродвигатель постоянного тока с редуктором, датчик обратной связи, который встроен в асинхронный электродвигатель. Выбор зазора в зубчатом зацеплении редуктора производится перемещением переходной плиты с электродвигателем при помощи поворота эксцентрика.

*Привод поперечного перемещения* включает шариковую передачу винт – гайка качения, опору винта, редуктор с передаточным отношением 1:1, приводной электродвигатель постоянного тока, датчик обратной связи, встроенный в асинхронный электродвигатель.

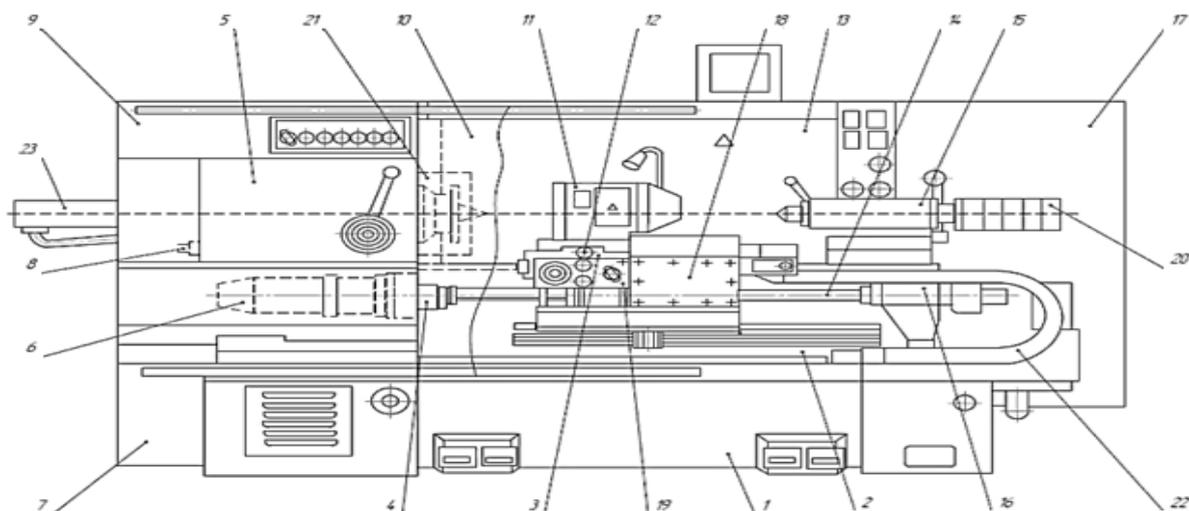
*Приводами главного движения* для станков с ЧПУ обычно являются двигатели переменного тока – для больших мощностей и постоянного тока – для малых мощностей. В качестве приводов служат трехфазные четырехполюсные асинхронные двигатели, воспринимающие большие перегрузки и работающие при наличии в воздухе металлической пыли, стружки, масла и т. д. Поэтому в их конструкции предусмотрен внешний вентилятор. В двигатель встраивают различные датчики, например датчик положения шпинделя, что необходимо для

ориентации или обеспечения независимой координаты.

На станке модели 16К20Т1 установлена шпиндельная бабка, имеющая три диапазона частот вращения шпинделя с соотношением 1,25:1; 1:2; 1:5,5, переключаемых вручную. Шпиндель станка смонтирован в конических двух- и однорядных подшипниках. Подшипники не требуют регулировки в процессе эксплуатации станка. Смазка шпиндельной бабки осуществляется от станции смазки, смонтированной на основании станка. Для обеспечения возможности резбонарезания на шпиндельной бабке устанавливается датчик резбонарезания. Для выбора люфта в зубчатом зацеплении привода датчика шестерня постоянно находится под действием пружины, стремящейся развернуть ее относительно шестерни.

*Шпиндели* станков с ЧПУ выполняют точными, жесткими, с повышенной износостойкостью шеек, посадочных и базирующих поверхностей. Конструкция шпинделя значительно усложняется из-за встроенных в него устройств автоматического разжима и зажима инструмента, датчиков при адаптивном управлении и автоматической диагностике. Опоры шпинделей должны обеспечить точность шпинделя в течение длительного времени в переменных условиях работы, повышенную жесткость, небольшие температурные деформации. Точность вращения шпинделя обеспечивается, прежде всего, высокой точностью изготовления подшипников.

Общий вид станка представлен на рисунке 6.1.



1 – основание; 2 – станина; 3 – каретка; 4 – опора левая винта продольного перемещения; 5 – бабка шпиндельная; 6 – привод продольного перемещения; 7 – ограждение; 8 – привод датчика резбонарезания; 9 – шкаф управления; 10 – ограждение подвижное; 11 – головка автоматическая универсальная; 12 – винтовая шариковая пара поперечного перемещения; 13 – шкаф управления; 14 – винтовая, шариковая пара продольного перемещения; 15 – бабка задняя; 16 – опора продольного винта правая; 17 – электрооборудование; 18 – пульт управления; 19 – блок ручного управления; 20 – электромеханический привод пиноли задней бабки; 21 – патрон механизированный с электрическим приводом; 22 – разводка коммуникаций по станку; 23 – электромеханический привод патрона

Рисунок 6.1 – Основные части и органы управления станка модели 16К20Т1

### ***Кинематическая схема станка.***

В качестве привода главного движения используется частотно-регулируе-

мый асинхронный электродвигатель. От электродвигателя посредством поликлиновой передачи вращение передаётся на вал 1 шпиндельной бабки, а затем через зубчатые колёса  $z = 48$  и  $z = 48$  на вал 2. Далее обеспечивается три диапазона частоты вращения шпинделя ( $n = 22,4 \dots 15$ ;  $63 \dots 900$  и  $160 \dots 2240$  мин<sup>-1</sup>).

В пределах каждого диапазона частота вращения регулируется бесступенчато путём изменения частоты вращения электродвигателя.

Для получения первого диапазона частот вращения движение от вала 2 через зубчатые колёса  $z = 45$  и  $z = 45$  передаются на вал 3, затем через зубчатые колёса  $z = 24$  и  $z = 66$  – на вал 4 и далее через зубчатые колёса  $z = 30$  и  $z = 60$  – на вал 5 (шпиндель).

Для получения второго диапазона двойной блок зубчатых колёс на шпинделе (вал 5) вводится в зацепление с колесом  $z = 30$  на валу 2, зубчатое колесо  $z = 45$  на валу 3 выводится из зацепления с колесом  $z = 45$  на валу 2.

Для получения третьего диапазона колесо  $z = 48$  на шпинделе вводится в зацепление с колесом  $z = 60$  на валу 2, а колесо  $z = 45$  на валу 3 выводится из зацепления с колесом  $z = 45$  на валу II. Зубчатые колёса  $z = 60$  на валах 5 и 6 служат для вращения датчика ВЕ-178 резьбонарезания.

**Содержание отчета.** Цель работы. Назначение станка. Конструкция станка. Уравнения кинематического баланса для цепи главного движения, цепи подач ( $S_{\text{попер}}$ ,  $S_{\text{прод}}$ ). Выводы.

### **Контрольные вопросы**

- 1 Назовите основные узлы данного станка.
- 2 В чем отличие станка с ЧПУ от станка со ступенчатым изменением частот вращения шпинделя?
- 3 Какие элементы содержит кинематическая схема станка 16К20Т1?
- 4 Какие виды обработки можно осуществлять на данном станке?
- 5 Структура привода главного движения данного станка.

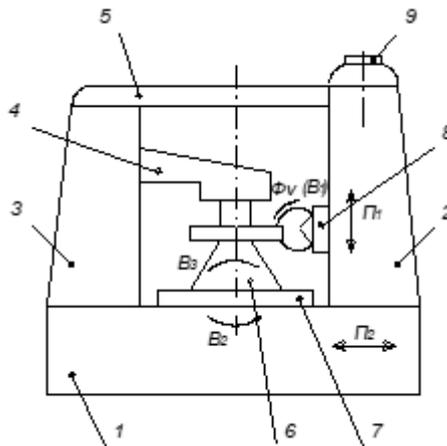
## **7 Изучение конструкции и наладка зубофрезерного станка модели 5Е32 на нарезание червячного и косозубого цилиндрического колеса**

**Цель работы:** ознакомиться с назначением, кинематикой и конструкцией зубофрезерного станка модели 5Е32; овладеть практическими навыками по настройке и наладке станка для нарезания цилиндрических косозубых и червячных колес.

Станок модели 5Е32 является универсальным и предназначен для фрезерования цилиндрических прямозубых и косозубых, а также червячных колес. Червячные колеса могут нарезаться с радиальной и осевой подачей фрезы. В послед-

нем случае необходим протяжной суппорт, который поставляется со станком по специальному заказу. Станок рассчитан на работу червячными фрезами из быстрорежущей стали.

Общий вид зубофрезерного станка представлен на рисунке 7.1.



1 – основание (станина); 2 – подвижная стойка; 3 – неподвижная стойка; 4 – контрподдержка; 5 – поперечина; 6 – оправка; 7 – поворотный стол; 8 – фрезерный суппорт; 9 – маховик

Рисунок 7.1 – Общий вид зубофрезерного станка 5E32

На основании 1 (станине) установлены подвижная стойка 2, перемещающаяся по горизонтальным направляющим в радиальном направлении, поворотный стол 7, неподвижная стойка 3 с контрподдержкой 4. Подвижная и неподвижная стойки соединены поперечиной 5. Заготовка устанавливается и закрепляется на оправке 6, установленной на поворотном столе 7. В процессе обработки оправка закрепляется контрподдержкой 4. Инструмент устанавливается на оправке, закреплённой во фрезерной головке 8, перемещающейся по вертикальным направляющим подвижной стойки 2.

Кинематическая схема зубофрезерного станка 5E32 представлена на рисунке 7.2.

Кинематическая схема включает в себя шесть кинематических цепей:

- 1) цепь главного движения;
- 2) цепь деления нарезаемой заготовки (цепь обката);
- 3) цепь вертикальных подач фрезы;
- 4) цепь радиальных подач подвижной стойки;
- 5) дифференциальная цепь;
- 6) цепь ускоренных передвижений суппорта и подвижной стойки.

*Цепь главного движения.* Вращение фрезы осуществляется от электродвигателя 1 через шкивы 2/3, шестерни 4/5 или 6/7, сменные шестерни A/B, конические шестерни 8/9, 10/11 и 12/13, шестерни 14/15. Необходимая частота вращения фрезы настраивается за счет сменных шестерен A и B.

*Цепь деления нарезаемой заготовки.* Делительная цепь связывает вращение фрезы с вращением заготовки. Эти два элементарных движения образуют одно сложное движение формообразования. За один оборот червяной фрезы стол с

заготовкой должен повернуться на  $k/z$  оборотов, где  $k$  – число заходов фрезы;  $z$  – число зубьев нарезаемой заготовки.

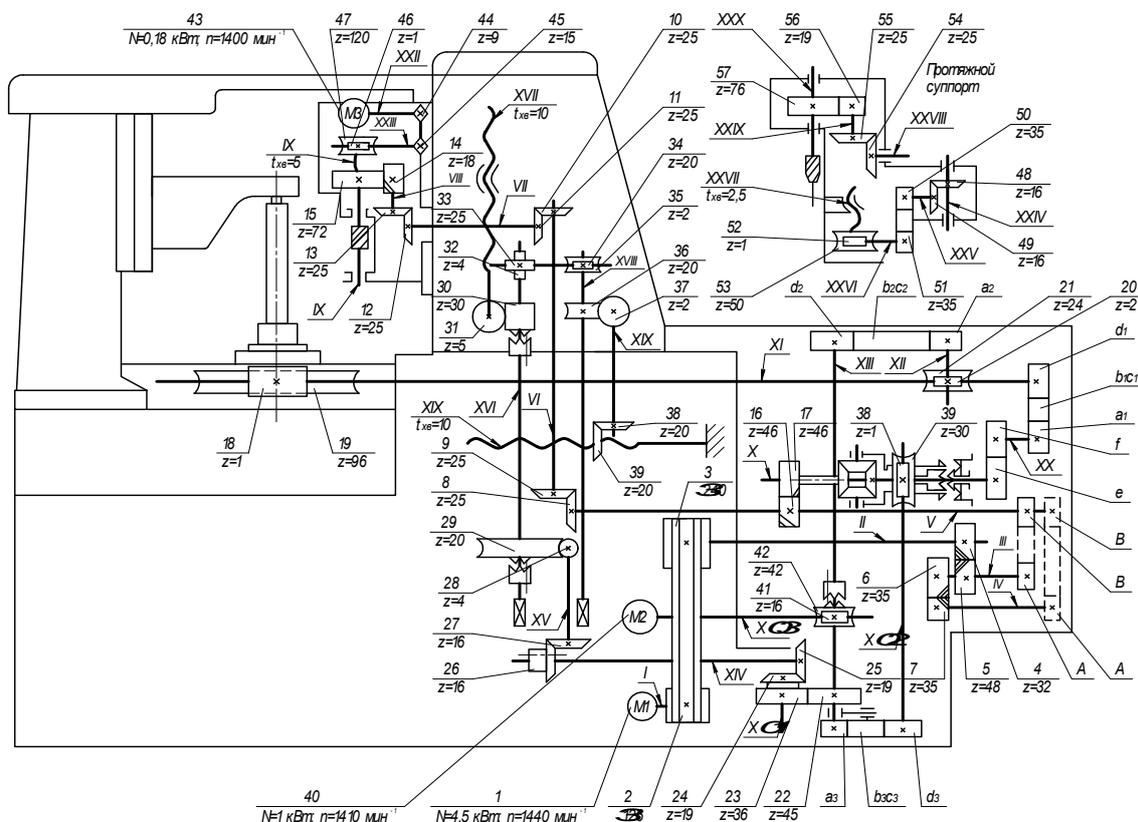


Рисунок 7.2 – Кинематическая схема станка

Вращение фрезы связано с вращением заготовки через шестерни  $14/15$ ,  $13/12$ ,  $11/10$ ,  $9/8$ ,  $16/17$ , конический дифференциал с передаточным отношением  $i_d = 1$ , шестерни перебора  $e/f$ , шестерни гитары деления  $a/e$ ,  $c/d$  и червячную передачу  $18/19$ . Настройка цепи обката производится подбором сменных шестерен  $a/e$  и  $c/d$ .

*Цепь вертикальных подач фрезерного суппорта.* При нарезании цилиндрических колес с прямыми или косым зубьями фрезерному суппорту сообщается вертикальная подача. Величина подачи измеряется в миллиметрах на оборот заготовки.

Вращение заготовки и перемещение фрезы связаны между собой кинематической цепью  $19/18$ ,  $20/21$ ,  $a/e$ ,  $c/d$ ,  $22/23$ ,  $24/25$ ,  $26/27$ ,  $28/29$ ,  $30/31$ , винт с шагом  $t = 10$  мм. Настройка величины подачи осуществляется сменными шестернями  $a/e$  и  $c/d$ .

*Цепь радиальных подач фрезерной стойки.* При нарезании червячных колес нормальной точности используется способ радиальной подачи, при котором фрезе сообщается подача в горизонтальной плоскости. Для этого подвижная стойка с фрезерным суппортом получает перемещение в радиальном направлении. Вращение заготовки и радиальное перемещение фрезы связаны между собой кинематической цепью  $19/18$ ,  $20/21$ ,  $a_1/e_1$ ,  $c_1/d_1$ ,  $22/23$ ,  $24/25$ ,  $26/27$ ,  $28/29$ ,  $32/33$ ,  $34/35$ ,  $36/37$ ,  $38/39$ , винт с шагом  $t = 10$  мм.



ля  $M$  через гитару  $i_v$ . Движение  $\Phi_v$  настраивается на траекторию гитарой  $i_x$ , по скорости и направлению – гитарой  $i_v$ . Этим движением осуществляется образование зуба по профилю и одновременно осуществляется делительный процесс.

Вторая кинематическая группа обеспечивает движение врезания  $V_p(II_3)$ . Скорость движения настраивается гитарой подачи  $i_s$ .

*Настройка кинематических цепей станка. Цепь главного движения.* Движения конических звеньев – вращение вала электродвигателя и вращение фрезы.

Расчетные перемещения  $n_{э.д} \rightarrow n_{фр}$ , мин<sup>-1</sup>.

Уравнение кинематического баланса

$$n_{э.д} \cdot i_{ном} \cdot i_v = n_{фр}.$$

Формулы настройки гитары

$$i_v = \frac{A}{B}; i_x = \frac{n_{фр}}{(n_{э.д} \cdot i_{ном})},$$

где  $i_{ном}$  – передаточное отношение цепи от электродвигателя до шпинделя фрезы.

*Цепь обката.* Движениями конечных звеньев здесь являются вращение фрезы и вращение стола с заготовкой.

Расчетное перемещение  $I_{об.фр} \rightarrow k/z_{об.заг}$ , где  $k$  – число заходов фрезы;  $z$  – число зубьев нарезаемого колеса.

Уравнение кинематического баланса

$$I_{об.фр} \cdot i_{ном} \cdot i_{диф} \cdot \left(\frac{e}{f}\right) \cdot i_x = \frac{k}{z_{об.заг}},$$

где  $i_{ном}$  – передаточное отношение цепи, связывающей вращение фрезы и заготовки;

$e/f$  – передаточное отношение перебора. При числе зубьев нарезаемого колеса  $z \leq 160$ ,  $e/f = 1/1$ ;  $z \geq 161$ ,  $e/f = 1/2$ ;

$i_{диф}$  – передаточное отношение дифференциала,  $i_{диф} = 1$ ;

$i_x$  – передаточное отношение гитары обката,  $i_x = (a/b) \cdot (c/d)$ .

Формула настройки гитары обката

$$i_x = (a \cdot c) / (b \cdot d) = k / i_{ном} \cdot i_{диф} \cdot z \cdot (e/f).$$

*Цепь радиальной подачи.* Для осуществления процесса врезания фрезы на высоту зуба фрезе сообщается движение  $V_p(II_3)$ . Величина этого перемещения измеряется в миллиметрах на оборот стола.

Движениями конечных звеньев являются вращение заготовки и перемещение фрезы:  $I_{об.заг} \rightarrow S$  перемещения фрезы.

Уравнение кинематического баланса

$$I_{об.заг} \cdot i_{ном} \cdot i_s \cdot t_{x.с} = S,$$

где  $i_{nocm}$  – передаточное отношение цепи, связывающей вращение заготовки и ходового винта поперечной подачи;

$t_{x.в}$  – шаг ходового винта поперечной подачи;

$i_s$  – передаточное отношение гитары подач,  $i_s = (a_1/b_1) \cdot (c_1/d_1)$ ;

$S$  – величина поперечной подачи, мм/об.

Формула настройки

$$i_s = \frac{a_1 \cdot c_1}{b_1 \cdot d_1} = \frac{S}{i_{nocm}} \cdot i_s \cdot t_{x.в}$$

Во избежание предварительного износа делительного червяка скорость резания и число зубьев нарезаемой заготовки ограничиваются скоростью скольжения червяка, которая не должна быть более 5 м/с. Это ограничение выражено через максимально допустимую частоту вращения стола, равную  $12 \text{ мин}^{-1}$ .

Таблица 7.1 – Набор сменных шестерен гитары обката

Сменные зубчатые колеса гитары скоростей	Число зубьев: $z = 13, 20, 23, 27, 30$ (2 шт.), 33, 37, 40, 42
Набор зубчатых колес гитары подач, дифференциала и обката	Число зубьев: $z = 24, 25$ (2 шт.), 30, 34, 35, 37, 40, 41, 43, 45, 47, 48, 50, 53, 55, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 65, 67, 70, 71, 73, 75, 79, 80, 83, 85, 89, 90, 92, 93, 97, 98, 100

*Установка и крепление заготовки.* Точность установки заготовки в большой мере влияет на точность нарезаемого колеса. Установку заготовки следует проверять индикатором. Биение по наружному диаметру не должно превышать  $0,02 \dots 0,03$  мм. Торцевое биение заготовки должно быть не более  $0,01 \dots 0,02$ .

*Установка инструмента на высоте.* У червячных колес, как правило, положение оси червяка должно выдерживаться от базового торца колеса в известных допусках. Поэтому инструмент устанавливается по высоте с замером расстояния от опорной поверхности базового торца до центра оправки суппорта при горизонтальном его положении (нулевое положение).

*Установка глубины фрезерования.* Установка глубины фрезерования червячного колеса практически сводится к установке упора автоматического выключения подачи, включения подающего червяка. Для установки упора автоматического выключения подачи необходимо подсчитать полную высоту зуба по формуле

$$h = 2,2 \cdot m,$$

где  $h$  – высота зуба;

$m$  – модуль нарезаемого колеса.

**Настройка и наладка станка на нарезание косозубого цилиндрического колеса.**

*Кинематическая структура станка.* Структурная схема представлена на рисунке 7.4. При нарезании цилиндрических косозубых колес кинематическая структура станка состоит из двух кинематических групп формообразования.

Группа движения резания  $\Phi_v (B_1 B_2)$  состоит из одной внутренней кинематической цепи между шпинделем фрезы и столом, проходящей через дифференциал и гитару деления  $i_x$ , и из цепи привода от электродвигателя  $M$  через гитару  $i_v$ .

Движение  $\Phi_v$  настраивается на траекторию гитарой  $i_x$ , по скорости и направлению – гитарой  $i_v$ . Этим движением осуществляется образование зуба по профилю и одновременно – делительный процесс.

Для получения винтового зуба по длине заготовки служит группа движения подачи  $\Phi_s (П_3 B_4)$ , которая состоит из одной внутренней кинематической связи между ходовым винтом и столом станка, проходящей через гитару дифференциала  $i_d$ , дифференциал и гитару  $i_x$ , и из цепи привода от стола станка через гитару  $i_s$ .

*Настройка кинематических цепей станка. Цепь скорости движения.* Расчетные зависимости, уравнение кинематического баланса и формула настройки те же, что и при нарезании червячных колес.

*Цепь обката.* Те же, что и при нарезании червячных колес.

*Цепь вертикальной подачи.* Для образования зуба по высоте фрезе сообщается движение  $\Phi_s$ , которое является вертикальной подачей и измеряется в миллиметрах на оборот стола.

Движениями конечных звеньев являются вращение заготовки и вертикальное перемещение суппорта фрезы.

Расчетные перемещения

$$I_{об.стола} \rightarrow S_e,$$

где  $S_e$  – вертикальная подача фрезы за один оборот заготовки.

Уравнение кинематического баланса по структурной схеме нарезания косозубого колеса (см. рисунок 7.4)

$$S_e = I_{об.стола} \cdot i_{ном} \cdot i_s \cdot t_{x.в},$$

где  $i_{ном}$  – передаточное отношение постоянных передач в цепи, связывающей вращение заготовки и ходового винта вертикальной подачи;

$t_{x.в}$  – шаг ходового винта вертикальной подачи, мм;

$i_s$  – передаточное отношение гитары подач,  $i_s = (a_1/b_1) \cdot (c_1/d_1)$ .

*Цепь дифференциала.* Для получения винтовых зубьев с шагом  $T$  (рисунок 7.5) необходимо сообщить перемещение фрезы вдоль оси заготовки и согласованное с ним вращение заготовки.

При перемещении фрезы на величину  $T$  заготовка должна сделать один дополнительный оборот (помимо вращения заготовки, связанного с вращением фрезы).

За время перемещения фрезы на шаг винтовой линии зуба  $T$  ходовой винт сделает  $n$  оборотов:  $n = T / t_{x.в}$ .

Расчетные перемещения  $T / t_{x.в} \rightarrow 1_{доп. оборот стола}$ .

Формула настройки

$$i_s = S_b / (i_{ном} \cdot t_{x.в}).$$



оси заготовки, и называется углом установки. При нарезании косозубых колес угол установки определяется по формуле

$$\theta = \beta \pm \beta_1,$$

где  $\beta$  – угол наклона винтовой линии нарезаемой заготовки;  
 $\beta_1$  – угол подъема винтовой линии фрезы.

*Установка глубины фрезерования.* Зубчатые колеса могут быть нарезаны за один, два и более проходов в зависимости от модуля, материала заготовки, требуемой точности и т. д. Для установки глубины фрезерования вначале подводят к заготовке суппортную стойку с фрезой до их легкого соприкосновения, затем, подняв суппорт с фрезой, перемещают суппортную стойку с фрезой на величину желаемой глубины фрезерования. Отсчет перемещения фрезы в радиальном направлении производится по лимбу. Глубина фрезерования при фрезеровании за один проход

$$h = 2,25 \cdot mn.$$

*Содержание отчета.* Назначение станка. Структурная схема станка. Уравнения кинематического баланса. Формулы настройки станка.

### **Контрольные вопросы**

- 1 Основные узлы станка.
- 2 Для нарезания каких зубчатых колес предназначен станок?
- 3 Структура привода главного движения.
- 4 Какую степень точности изготовления зубчатых колес станок обеспечивает?
- 5 Какой режущий инструмент используется при нарезании зубчатых колес на данном станке?
- 6 Режимы резания.
- 7 Назовите материалы режущей части применяемых фрез.
- 8 Как осуществляется наладка станка на требуемый режим обработки?

## **8 Изучение конструкции и наладка зубодолбежного станка модели 5В12 на нарезание прямозубого цилиндрического колеса**

**Цель работы:** ознакомиться с назначением, кинематикой и конструкцией зубодолбежного станка модели 5В12; овладеть практическими навыками по настройке и наладке станка для нарезания цилиндрических прямозубых колес.

На зубодолбежных станках нарезание зубьев производят методом обката круглыми долбяками и зубчатыми гребенками, а также методом копирования специальными многорезцовыми головками. Нарезание зубьев круглыми долбя-

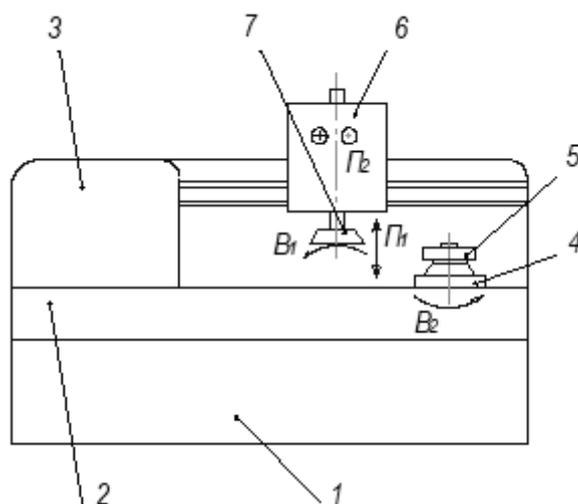
ками является основным и наиболее распространённым методом, зубчатые гребенки применяют в основном при нарезании крупномодульных колес. Зубодолбление колес с модулем до 3 мм дает производительность примерно такую же, как и при зубофрезеровании. При увеличении модуля производительность зубодолбления уменьшается. На зубодолбежных станках долбяками класса АА достигается 6-я степень точности колеса, А – 7-я и класса В – 8-я. Шероховатость поверхности профиля зубьев  $R_a = 0,8 \dots 1,6$  мкм.

Характерным параметром станков данного типа является максимальный диаметр обрабатываемого колеса.

Зубодолбежный станок модели 5В12 предназначен для нарезания прямозубых цилиндрических зубчатых колёс наружного и внутреннего зацепления по методу обката. В процессе работы станка воспроизводится зацепление двух зубчатых колес. Функцию одного колеса выполняет режущий инструмент – долбяк, а функцию другого колеса – нарезаемая шестерня.

На станке особенно удобно обрабатывать блочные колеса и зубчатые секторы. Кроме того, можно обрабатывать короткие шлицевые валики, звездочки, храповые колеса. С помощью специального приспособления на станке можно обрабатывать зубчатые рейки.

Общий вид зубодолбежного станка представлен на рисунке 8.1.



1 – нижняя станина; 2 – средняя станина; 3 – верхняя станина; 4 – стол; 5 – заготовка; 6 – суппорт; 7 – инструмент (долбяк)

Рисунок 8.1 – Общий вид зубодолбежного станка

Кинематическая схема зубофрезерного станка 5Е32 приведена на рисунке 8.2.

Процесс геометрического образования поверхности зубьев зубчатого колеса на зубодолбежном станке заключается в сочетании метода следа (образующая линия) и метода обката (направляющая линия).

Формообразующая часть кинематики станка состоит из трех кинематических групп:

1) движение резания ( $\Pi_1$ ) с органом настройки  $M$ ;

- 2) движение подачи ( $B_2, B_3$ ) с органом настройки  $M$ ;
- 3) движение врезания ( $BP, П_4$ ), которое настраивается сменными кулачками.

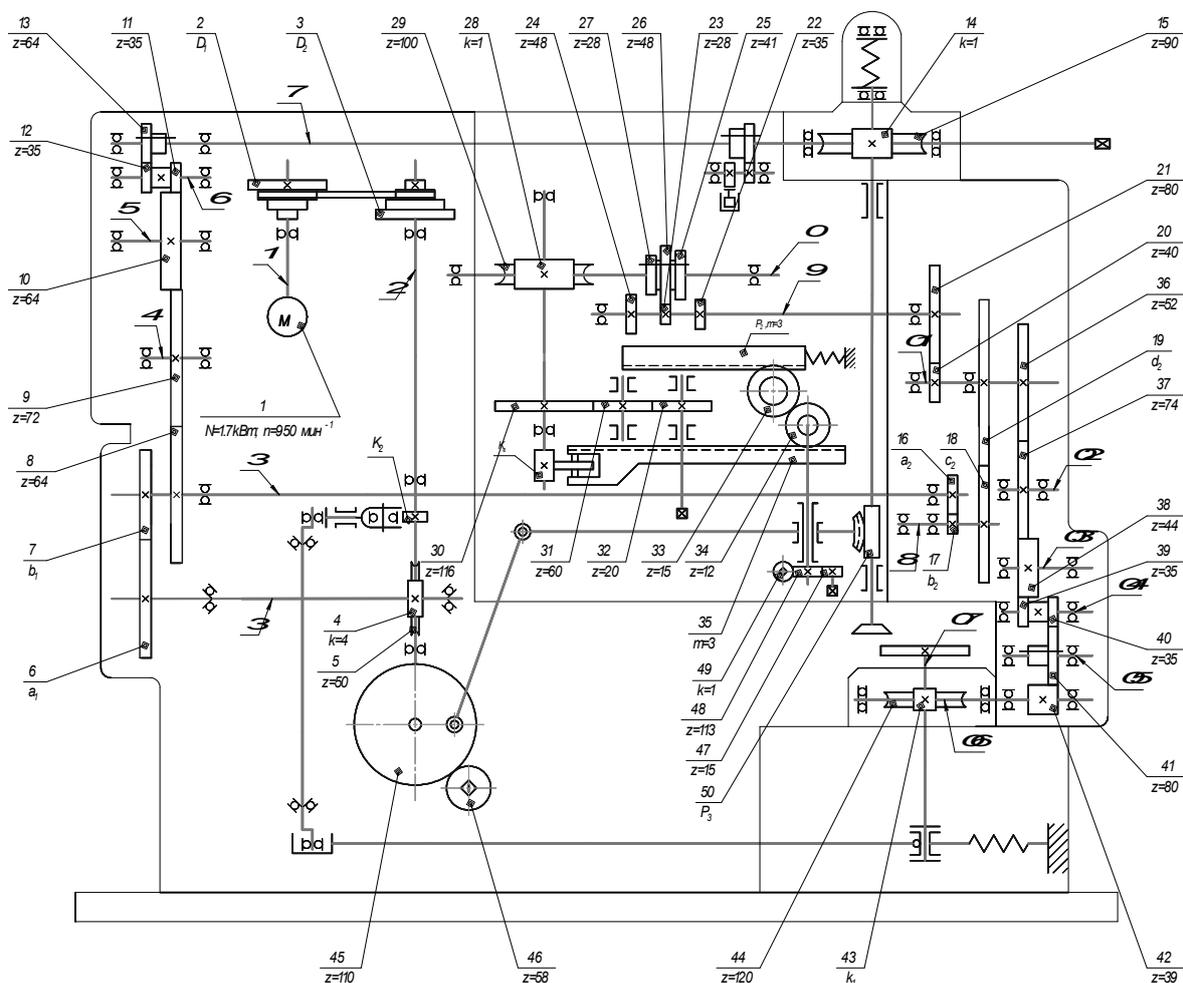


Рисунок 8.2 – Кинематическая схема зубодолбежного станка 5B12

Кроме того, в станке имеется кинематическая группа вспомогательного движения  $B_{cn}$  ( $П_5$ ), предназначенная для отвода заготовки при обратном ходе долбяка.

Кинематическая структура станка представлена на рисунке 8.3.

В процессе обработки зубьев на станке совершаются следующие движения:

- главное движение – возвратно-поступательное движение долбяка. Кинематическая цепь главного движения связывает источник движения со штосселем;
- движение круговой подачи – вращательное движение долбяка. Цепь круговых подач связывает главное движение с вращательным движением долбяка;
- движение обката (деления) – вращательное движение заготовки, согласованное с вращательным движением долбяка. Цепь деления кинематически связывает вращение заготовки зависимостью, присущей зубчатой передаче: поворот долбяка на один зуб соответствует повороту заготовки также на один зуб. Эта зависимость и будет расчетной для цепи деления;
- движение радиальной подачи (врезания) – поступательное перемещение долбяка в радиальном направлении к центру заготовки. Цепь радиальных подач связывает главное движение с перемещением суппорта в радиальном направлении;

– качательное движение стола – перемещение с заготовкой в радиальном направлении. Это движение необходимо, т. к. при обратном ходе долбяка обработки не происходит, а заготовка и долбяк вращаются непрерывно. Поэтому, чтобы избежать выкрашивания зубьев долбяка, а также царапанья обработанной поверхности зубьев шестерни, при обратном ходе долбяка заготовка отводится от инструмента.

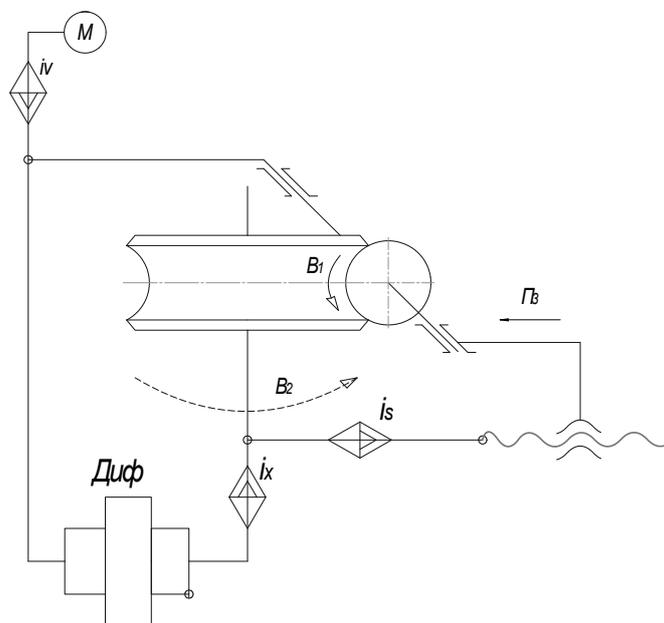


Рисунок 8.3 – Кинематическая структура станка при нарезании цилиндрического прямозубого колеса

Особенностью кинематики станка является короткая кинематическая цепь обката. В станке нет конических колес, что значительно повышает точность станка, улучшает его производство, эксплуатацию и ремонт.

### ***Наладка и настройка станка на обработку прямозубого колеса наружного зацепления.***

Настройка и наладка станка производятся в следующей последовательности.

1 Установка долбяка. Перед установкой посадочные места шпинделя и долбяка должны быть тщательно протерты. Долбяк устанавливается режущей кромкой вниз.

2 Установка оправки и крепление заготовки. Оправка устанавливается в коническое отверстие шпинделя стола снизу. После установки оправка проверяется на биение. Биение оправки не должно превышать 0,02 мм. Биение проверяют индикатором. Рукояткой стол отключается от кинематической схемы, а вращая квадрат, медленно вращают стол. Заготовка должна плотно садиться на оправку. Затем заготовка закрепляется и проверяется биение заготовки. Допустимое биение от 0,02 до 0,06 мм в зависимости от диаметра и степени точности нарезаемого колеса.

3 Установка длины хода долбяка. Наименьшая длина хода долбяка определяется по формуле

$$L = 5/4 B,$$

где  $L$  – длина хода долбяка, мм;

$B$  – ширина колеса (группы колес).

4 Установка числа двойных ходов долбяка. Число двойных ходов в минуту долбяка определяется по формуле

$$n = \frac{1000V}{2L}.$$

Скорость резания принимается по таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Скорость резания при зубодолблении

Нарезание зубьев	Модуль $m$ , мм	Скорость резания $V$ , м/мин		
		Сталь 40Х	Сталь 35, сталь 45	Чугун
Черновое	До 3	20...24	22...26	28...33
	3,5...4,5	18...22	20...24	25...31
Чистовое по сплошному металлу	До 3	22...25	24...27	32...35
	3,5...4,5	20...23	22...25	28...32
Чистовое предварительно прорезанных зубьев	До 3	30	33	42
	3,5...4,5	28	31	39

На станке перестановкой ремня можно получить четыре ступени чисел двойных ходов долбяка в минуту: 200, 315, 425, 600. Вычисленное число двойных ходов округляют до ближайшего значения по станку и определяют фактическую скорость резания.

5 Установка хода долбяка относительно заготовки. После закрепления заготовки и установки длины хода долбяка устанавливают место хода долбяка относительно заготовки так, чтобы режущая кромка долбяка при своем верхнем или нижнем положении выходила за торец заготовки примерно на 0,1 длины хода долбяка.

6 Настройка гитары деления. Гитара деления подбирается набором колес. Шестерня  $A$  является ведущей. Условия сцепляемости колес гитары

$$A + B \leq C + (15...20);$$

$$C + D \geq B + (15...20).$$

Для настройки гитары деления имеется следующий набор сменных шестерен:  $Z = 24$  (2 шт.); 25 (2 шт.); 28, 30 (2 шт.); 31, 36, 39, 40, 43, 44 (2 шт.); 45, 47, 48 (2 шт.); 49, 50, 52, 56, 57, 58, 60 (4 шт.); 62, 64, 65, 66, 68, 69, 70, 72 (2 шт.); 74, 75 (2 шт.); 76 (2 шт.); 77, 78, 80, 81, 82, 84, 85, 86, 87, 88, 90, 92, 94, 95, 96, 98 (2 шт.).

$$A + B = 120.$$

7 Настройка гитары круговых подач. Возвратно-поступательное движение

долбняка с вращением долбняка связывает цепь круговых подач. Размерность подачи – миллиметров на двойной ход. Гитара настраивается двумя шестернями. Шестерня  $A$  – ведущая.

$$A_1 + B_1 = 110.$$

Для настройки гитары подач имеется комплект сменных шестерен: 35, 40, 46, 52, 58, 60, 64, 70, 75. Величина подачи выбирается по таблице 8.2.

Таблица 8.2 – Выбор подачи при зубодолблении

Нарезание зубьев	Модуль, мм	Круговая подача, мм/дв. ход		
		Сталь 40Х	Сталь 35, сталь 45	Чугун
Черновое	До 3	0,40...0,45	0,44...0,49	0,55...0,63
	3,5...4,5	0,35...0,40	0,33...0,44	0,49...0,56
Чистовое по сплошному металлу	До 3	0,20...0,25	0,22...0,27	0,28...0,35
	3,5...4,5	0,30...0,25	0,22...0,27	0,28...0,35
Чистовое предварительно прорезанных зубьев	До 3	0,22...0,25	0,24...0,27	0,31...0,35
	3,5...4,5			

8 Настройка подач на глубину врезания. Настройка подач на глубину врезания производится сменными кулачками. Станок комплектуется тремя сменными кулачками: однопроходным, двухпроходным и трехпроходным. Двух-, трехпроходные кулачки применяются при обработке колес наибольшего модуля для увеличения точности обработки.

9 Пуск станка. Пуск станка производится в следующей последовательности: включается насос смазки, затем – привод станка. Для ускорения подвода долбняка к заготовке поворачивают квадрат до тех пор, пока долбняк не подойдет к заготовке. Дальнейшее врезание происходит автоматически. После обработки проверяется точность нарезаемого колеса.

**Содержание отчета.** Цель работы. Назначение станка. Структурная схема станка при нарезании цилиндрического прямозубого колеса. Уравнения кинематического баланса. Формулы настройки станка. Данные о нарезаемом колесе. Расчет режимов резания. Расчет чисел зубьев сменных колес всех гитар. Схемы всех гитар с указанием числа зубьев. Выводы.

### **Контрольные вопросы**

- 1 Назовите основные узлы станка.
- 2 Что изображено на кинематической схеме станка?
- 3 Какие движения станок осуществляет при зубодолблении?
- 4 Какую степень точности зубчатых колес станок обеспечивает?
- 5 В чем преимущества и недостатки метода зубодолбления?

## Список литературы

- 1 **Иванов, М. Н.** Детали машин: учебник / М. Н. Иванов, В. А. Финогенов. – 12-е изд., испр. – М. : Высш. шк., 2008 – 408 с.
- 2 **Металлорежущие станки** : учебник / под ред. П. И. Ящерицына. – Старый Оскол : ТНТ, 2012. – 696 с.
- 3 **Основы технологии механической обработки в машиностроении** : учеб. пособие / под ред. В. К. Шелега, М. Л. Хейфеца. – Новополоцк: ПГУ, 2008. – 244 с.
- 4 **Ящерицын, П. И.** **Металлорежущие станки** : учебник / П. И. Ящерицын, В. Д. Ефремов; под общ. ред. А. И. Кочергина. – Минск : БГАТУ, 2001. – 446 с.
- 5 **Черпаков, Б. И.** **Металлорежущие станки** : учебник / Б. И. Черпаков. – М. : Академия, 2004. – 368 с.
- 6 **Сибикин, М. Ю.** **Технологическое оборудование** : учебник / М. Ю. Сибикин. – М. : ИНФРА-М, 2005. – 400 с.
- 7 **Металлорежущие станки** : учебник / под ред. В. Э. Пуша. – М. : Машиностроение, 1986. – 256 с.
- 8 **Схиртладзе, А. Г.** **Гидравлические и пневматические системы** / А. Г. Схиртладзе, В. И. Иванов, В. Н. Кареев. – 2-е изд. – М. : МГТУ – Станкин, 2003. – 544 с.
- 9 **Технологическое обеспечение машиностроительного производства**: учеб. пособие / В. А. Логвин, Ж. А. Мрочек, Е. В. Банковская и [др.]; под ред. Ж. А. Мрочека. – Минск: РИВШ, 2021. – 560 с.