

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Металлорежущие станки и инструменты»

МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ СТАНКИ. ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

*Методические рекомендации к лабораторным работам
для студентов специальностей 1-36 01 01 «Технология
машиностроения», 1-36 01 03 «Технологическое оборудование
машиностроительного производства»
и 1-53 01 01 «Автоматизация технологических процессов
и производств (по направлениям)»
дневной и заочной форм обучения*



Могилев 2023

УДК 621.9
ББК 34.63
М54

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты»
«24» января 2023 г., протокол № 8

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

Рецензент канд. техн. наук, доц. М. Н. Миронова

Методические рекомендации предназначены к лабораторным работам для студентов специальностей 1-36 01 01 «Технология машиностроения», 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства» и 1-53 01 01 «Автоматизация технологических процессов и производств (по направлениям)» дневной и заочной форм обучения.

Учебное издание

МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ СТАНКИ. ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Ответственный за выпуск	С. Н. Хатетовский
Корректор	А. А. Подошевка
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 44 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, 2023

Содержание

Меры безопасности при проведении лабораторных работ	4
1 Изучение конструкции, принципа работы и кинематики токарно-винторезного станка модели 16Д25	5
2 Изучение конструкции, принципа работы и кинематики фрезерного станка модели ВФ-130. Настройка станка на фрезерование винтовых канавок	10
3 Изучение кинематики, конструкции и технологических возможностей вертикально-сверлильного станка модели 2А135	14
4 Изучение назначения, конструкции, принципа действия и кинематики токарного станка с ЧПУ модели 16К20Т1	17
5 Изучение назначения, конструкции, принципа действия и кинематики вертикально-фрезерного станка модели 6520ФЗ	20
6 Изучение назначения, конструкции, принципа действия и кинематики вертикально-сверлильного станка с ЧПУ модели 2Р135Ф2-1	23
7 Изучение конструкции и наладка зубофрезерного станка модели 5Е32 на нарезание червячного и косозубого цилиндрического колеса	26
8 Изучение конструкции и наладка зубодолбежного станка модели 5В12 на нарезание прямозубого цилиндрического колеса	34
9 Изучение конструкции и наладка зубострогального станка модели 5П23БП на нарезание прямозубого конического колеса	40
10 Изучение конструкции, наладка и настройка плоскошлифовального станка модели 3Д711АФ1	45
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 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 1.1):

- 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 направлении 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 движение 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.

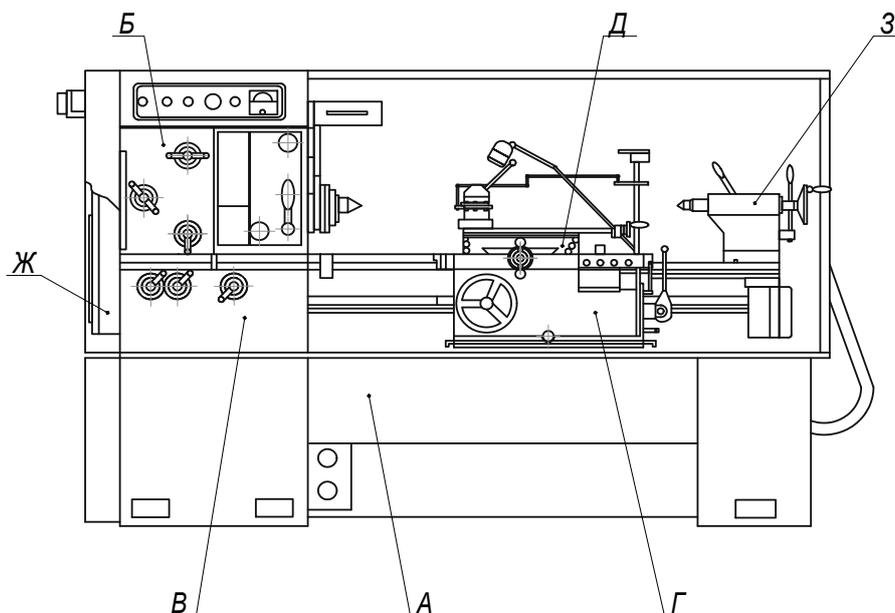


Рисунок 1.1 – Расположение составных частей станка модели 16Д25

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 Φ_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 1.2.

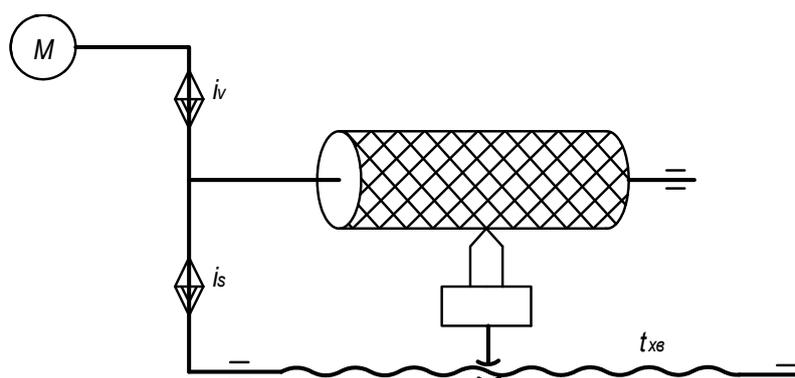


Рисунок 1.2 – Структурная схема станка

Движение в станке и кинематическая схема станка.

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

Движением, определяющим величины продольных и поперечных подач, яв-

ляется 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

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

Привод подач.

Поперечная подача. Конечными звеньями являются шпиндель (вал 3) и вал 0053 (фартук) ($I_{об.un} \rightarrow S_{nonep}$). 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

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

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

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

Цепь нарезания резьб.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

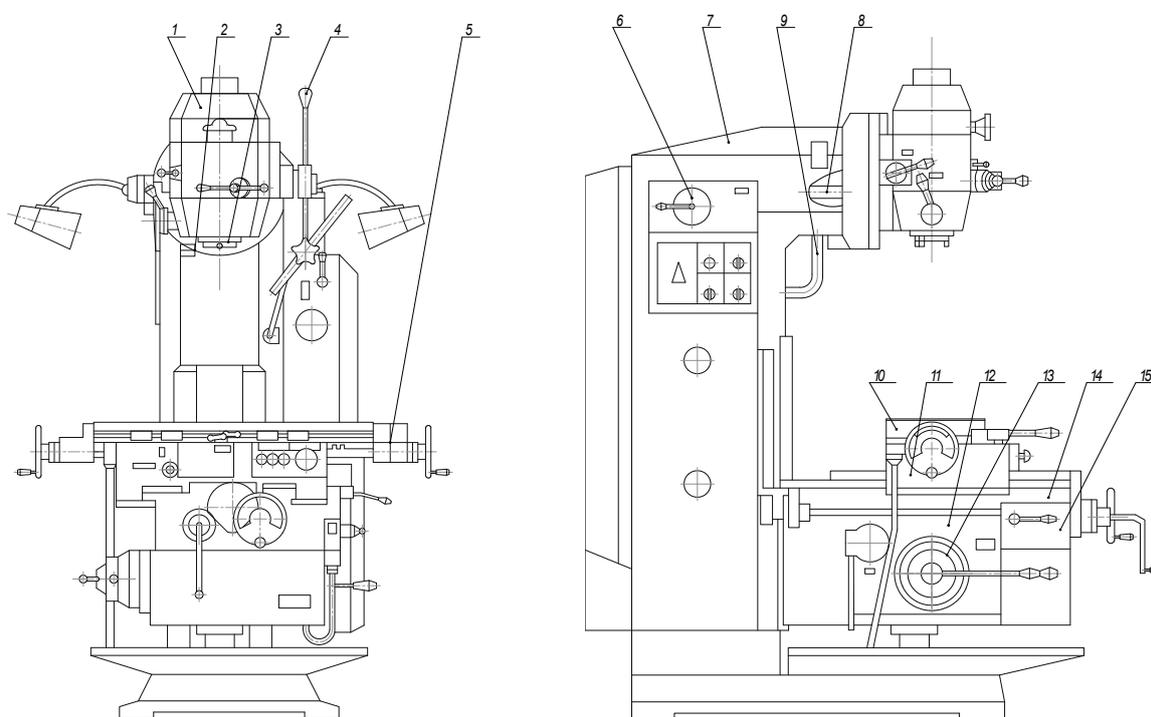
Контрольные вопросы

- 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?

2 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 2.1) 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 подач; 16 – гайка поперечной подачи; 17 – электрошкаф

Рисунок 2.1 – 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 VII) 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 II на валах III и IV получаем шесть скоростей. Благодаря перебору (пары 18–20 или 19–22) на шпинделе VII получаем 12 скоростей.

В общем виде цепь главного движения имеет вид:

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

Привод подач.

Перемещение стола имеет 18 рабочих и одну ускоренную подачи. Привод подач осуществляется от асинхронного электродвигателя 35 через валы XIII, XIV, коробку подач (валы XV, XVI, XVII, XVIII), и кинематическую цепь консоли (XVX, XX, XXI, XXII).

Цепь вертикальной подачи

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

Цепь поперечной подачи

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

Цепь продольной подачи

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

Конические шестерни 64 и 65 на валу XXII 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 XVIII 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 2.2.

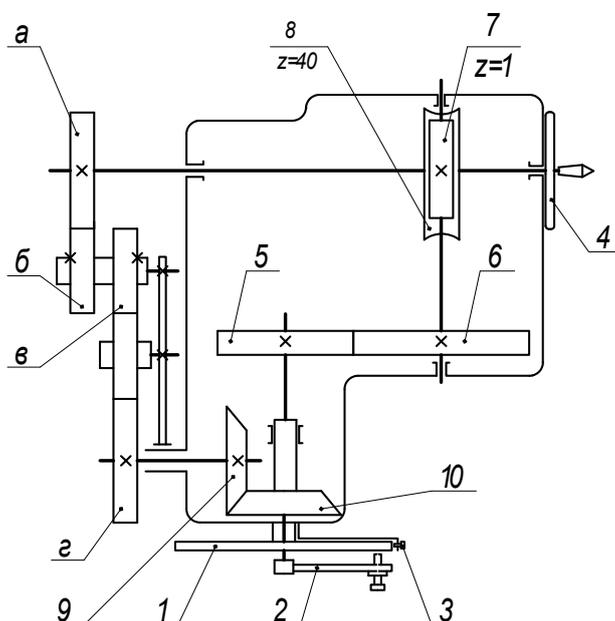


Рисунок 2.2 – Кинематическая схема УДГ

При простом делении вращение шпинделю передается от рукоятки-фиксатора 2 (см. рисунок 2.2) 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 подачи ($S_{\text{попер}}$, $S_{\text{прод}}$, $S_{\text{верт}}$). 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?

3 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 3.1) предназначен для работы в ремонтных, инструментальных и производственных цехах с мелкосерийным выпуском продукции. Оборудованный 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 $68:1100 \text{ мин}^{-1}$ и одиннадцатискоростной коробки подач с диапазоном регулирования подач шпинделя $0,12:1,6 \text{ мм/об}$ 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.

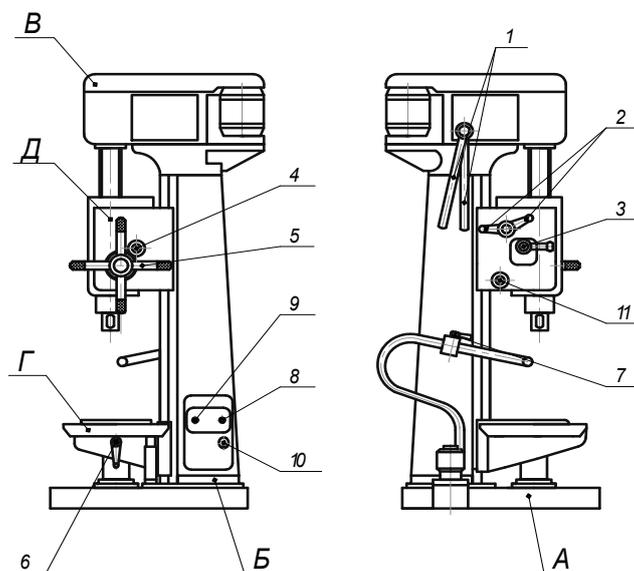
Описание кинематической схемы. Кинематическая цепь станка служит для осуществления двух основных движений – вращательного движения шпинделя и вертикального перемещения (подачи) гильзы со шпинделем.

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, 5 и 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 передает вращение четвертому валу, который представляет собой пустотелую гильзу, по шлицевому отверстию которой свободно перемещается шлицевой конец шпинделя.



А – фундаментальная плита; *Б* – колонна; *В* – 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 3.1 – Общий вид станка модели 2А135

Механизм подач получает движение по следующей цепи: от шестерни 18, посаженной на шлицевой части шпинделя, через шестерни 19–21 вращение передается пустотелому валику, 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 полом валике. Внутри обоих пустополых валиков 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.

Подъем шпиндельной бабки осуществляется следующим образом. Вращение рукоятки передается через червяк 42 и червячное колесо 41 реечной 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 зенкеровании, рассверливании 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_{lv} – поправочный коэффициент в зависимости от обрабатываемого материала;

k_{iv} – поправочный коэффициент в зависимости от глубины сверления;

k_{uv} – поправочный коэффициент в зависимости от материала.

Согласно исходным данным, приведенным в таблице 3.1, произвести расчет режимов резания.

Таблица 3.1 – 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?

4 Изучение назначения, конструкции, принципа действия и кинематики токарного станка с ЧПУ модели 16К20Т1

Цель работы – ознакомиться с назначением, конструкцией, кинематикой и принципом действия токарного станка с ЧПУ 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.

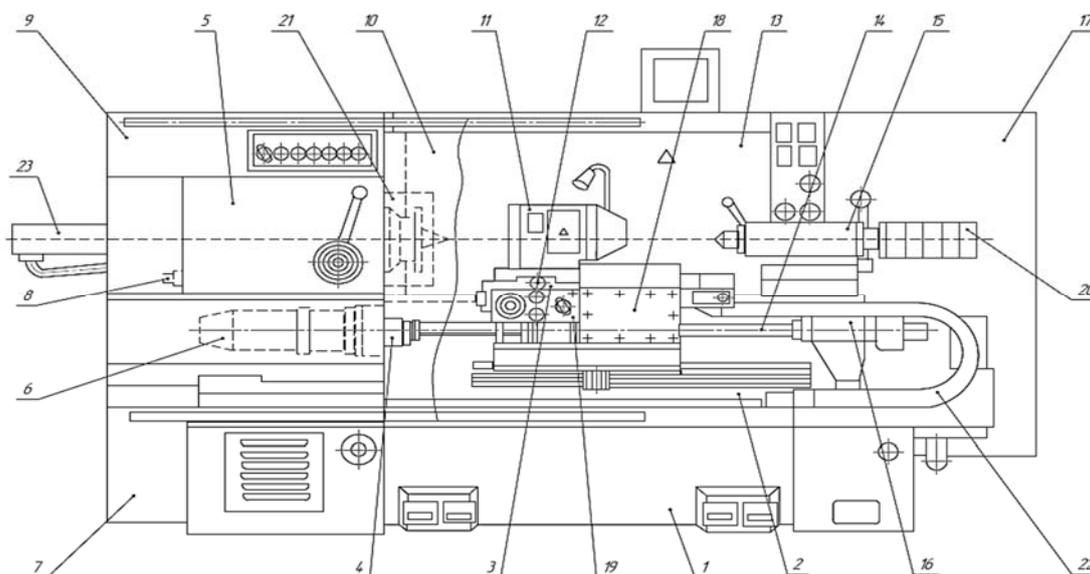
На станке модели 16К20Т1 установлена шпиндельная бабка, имеющая три диапазона частот вращения шпинделя с соотношением 1,25:1; 1:2; 1:5,5, переключаемых вручную. Шпиндель станка смонтирован в конических двух- и однорядных подшипниках. Подшипники не требуют регулировки в процессе эксплуатации станка. Смазка шпиндельной бабки осуществляется от станции смазки, смонтированной на основании станка. Для обеспечения возможности резьбонарезания на шпиндельной бабке устанавливается датчик резьбонарезания. 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 4.1.

Кинематическая схема станка (рисунок 4.2). В качестве привода главного движения используется частотно-регулируемый асинхронный электродвигатель.

От электродвигателя посредством поликлиновой передачи вращение передаётся на вал I шпиндельной бабки, а затем через зубчатые колёса $z = 48$ и $z = 48$ – на вал II. Далее обеспечивается три диапазона частоты вращения шпинделя ($n = 22,4 \dots 15; 63 \dots 900$ и $160 \dots 2240$ мин⁻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 4.1 – Основные части и органы управления станка модели 16K20T1

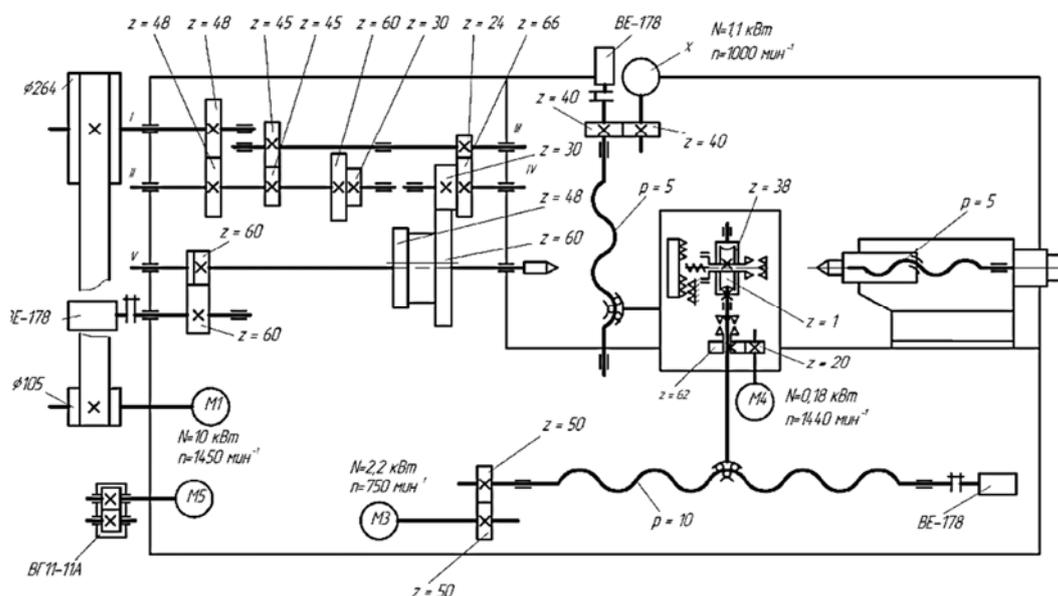


Рисунок 4.2 – Кинематическая схема станка 16K20T1

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

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

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

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

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

5 Изучение назначения, конструкции, принципа действия и кинематики вертикально-фрезерного станка модели 6520Ф3

Цель работы – изучить назначение, конструкцию, принцип работы и кинематическую схему вертикально-фрезерного станка модели 6520Ф3.

Станок модели 6520Ф3, общий вид которого представлен на рисунке 5.1, предназначен для фрезерования по программе разнообразных деталей плоской формы торцовыми, концевыми и фасонными фрезами.

Обработка контурных и криволинейных поверхностей производится одновременным перемещением исполнительных органов станка по двум или трем координатам. На станке возможна обработка деталей из стали, чугуна, титановых сплавов и легких сплавов.

Компоновка станка характеризуется вертикальным расположением рабочего стола. Формообразующими движениями являются вертикальное перемеще-

ние шпиндельной бабки по направляющим стойки (ось Z), продольное перемещение стола направляющих салазок (ось X), поперечное перемещение салазок по направляющим основания (ось Y).

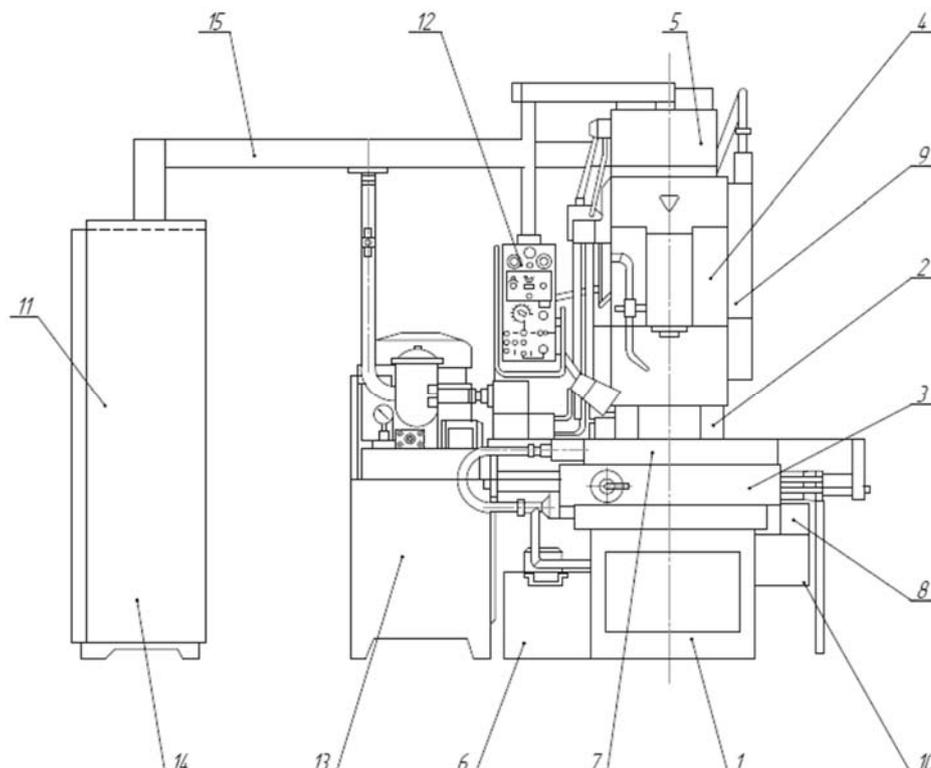


Рисунок 5.1 – Общий вид станка модели 6520Ф3

Вращение шпинделя осуществляется от асинхронного электродвигателя через девятискоростную коробку скоростей и двухступенчатый перебор, смонтированный в шпиндельной бабке.

В качестве устройства числового программного управления на станке используется шагово-импульсная система с шаговыми двигателями. Привод подачи представляет собой гидравлическую следящую систему с силовыми гидроцилиндрами и золотниковыми копирующими устройствами.

Шаговые двигатели, вращая задающие винты, преобразуют импульсные программы в линейное перемещение золотника следящей системы, обеспечивая тем самым управление перемещениями рабочих органов станка координатами X, Y, Z. Кроме того, по программе могут быть отработаны технологические координаты: включение и отключение вращения шпинделя, зажим и разжим шпиндельной бабки; включение и отключение насоса охлаждающей жидкости.

Устройства и принцип работы станка.

Основание станка коробчатой формы с перегородками и ребрами жесткости. Направляющие основания прямоугольного профиля. Крайние направляющие несут вертикальные нагрузки, средняя – воспринимает горизонтальные нагрузки. В верхней части основания находится цилиндр поперечного переме-

щения. На основании устанавливается стойка. На боковой поверхности основания находится следящий золотник поперечного перемещения.

Стойка станка коробчатой формы. Внутренняя часть стойки имеет ребра жесткости. Направляющие стойки прямоугольного профиля, между направляющими установлен цилиндр вертикального перемещения. На верхней части стойки установлена коробка скоростей. На боковой поверхности находится следящий золотник вертикального перемещения.

Стол представляет собой жесткую чугунную отливку, имеющую направление типа «ласточкин хвост». На зеркале стола имеются три Т-образных паза для крепления тисков и два крайних для сбора охлаждающей жидкости с последующим отводом ее по наклонному желобу основания в бак. На столе в центре имеется отверстие, служащее для ориентации приспособления или детали относительно оси вращения инструмента. Стол монтируется на салазках, которые в свою очередь монтируются на прямоугольных направляющих основания. Перемещение стола по салазкам соответствует перемещению по координате X. Верхние и нижние направляющие салазок взаимно перпендикулярны. Перемещение салазок по направляющим основания соответствует перемещению по координате Y.

Шпиндельная бабка перемещается по направляющим стойки с помощью гидроцилиндра, установленного на стойке. Для повышения жесткости при фрезеровании и предотвращения самопроизвольного перемещения бабки при выключенной гидростанции имеется механизм зажима шпиндельной бабки. Зажим бабки осуществляется тарельчатыми пружинами. Разжим шпиндельной бабки гидравлический, осуществляемый по программе.

В шпинделе размещен механизм зажима инструмента с помощью тарельчатых пружин, разжим – гидравлический.

Коробка скоростей расположена на верхнем торце стойки и соединена с электродвигателем главного движения с помощью клиноременной передачи и шкива.

Кинематическая схема привода главного движения приведена на рисунке 5.2. Переключение механических ступеней осуществляется с помощью рукояток.

Перебор в шпиндельной бабке вместе с коробкой скоростей обеспечивает 18 скоростей в пределах $31,5 \dots 600 \text{ мин}^{-1}$. Со шпиндельной бабкой коробка скоростей соединяется с помощью шлицевого вала.

Следящий гидропривод каждой из трех координат станка состоит из следящего золотника, являющегося датчиком рассогласования системы и силового гидроцилиндра. В станке имеются три идентичных привода, обеспечивающих перемещение стола по оси X, салазок по оси Y, шпиндельной бабки по оси Z. Работа следящего прибора происходит следующим образом: шаговый двигатель вращает задающий винт, при этом рычаг следящего золотника, прижатый к кромке резьбы винта, разворачивается и смещает золотник из среднего положения. Смещение золотника вызывает движение соответствующего рабочего органа. Резьба на задающих винтах специальная. Вращение задающих винтов осуществляется шаговыми двигателями через одноступенчатые понижающие редукторы. Для отсчета перемещений на винтах имеются лимбы с ценой деления 0,05 мм.

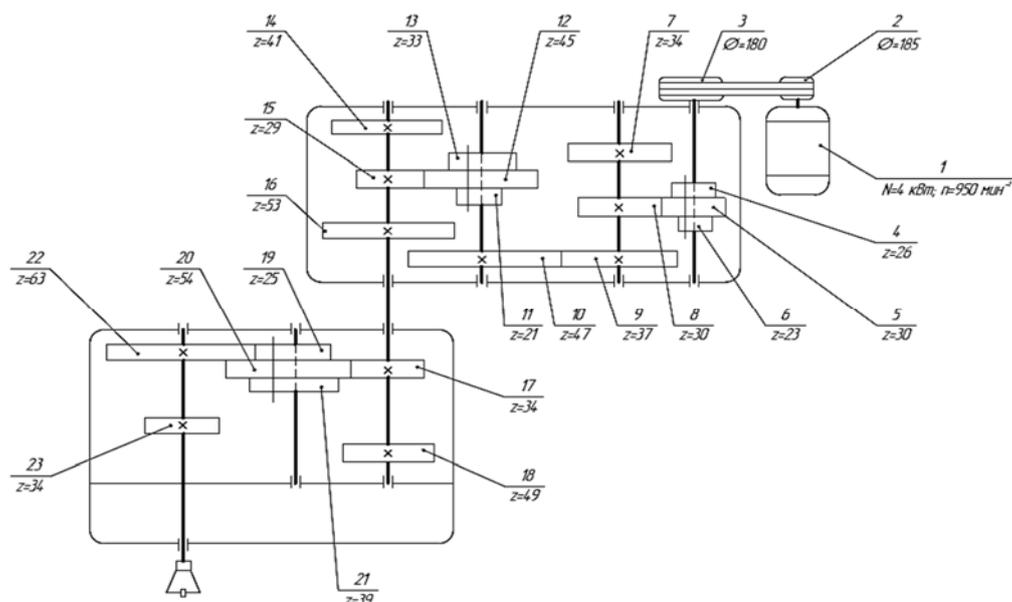


Рисунок 5.2 – Кинематическая схема привода главного движения

Содержание отчета. Цель работы. Назначение станка. Конструкция станка. Уравнения кинематического баланса. Выводы.

Контрольные вопросы

- 1 Назначение станка.
- 2 Какие виды механической обработки можно осуществлять на станке?
- 3 Что изображено на кинематике станка?
- 4 Структура привода главного движения.
- 5 Структура привода подачи.
- 6 Применяемая на станке технологическая оснастка.
- 7 Для какого типа производства станок предназначен?
- 8 Применяемый на станке режущий инструмент.

6 Изучение назначения, конструкции, принципа действия и кинематики вертикально-сверлильного станка с ЧПУ модели 2P135Ф2-1

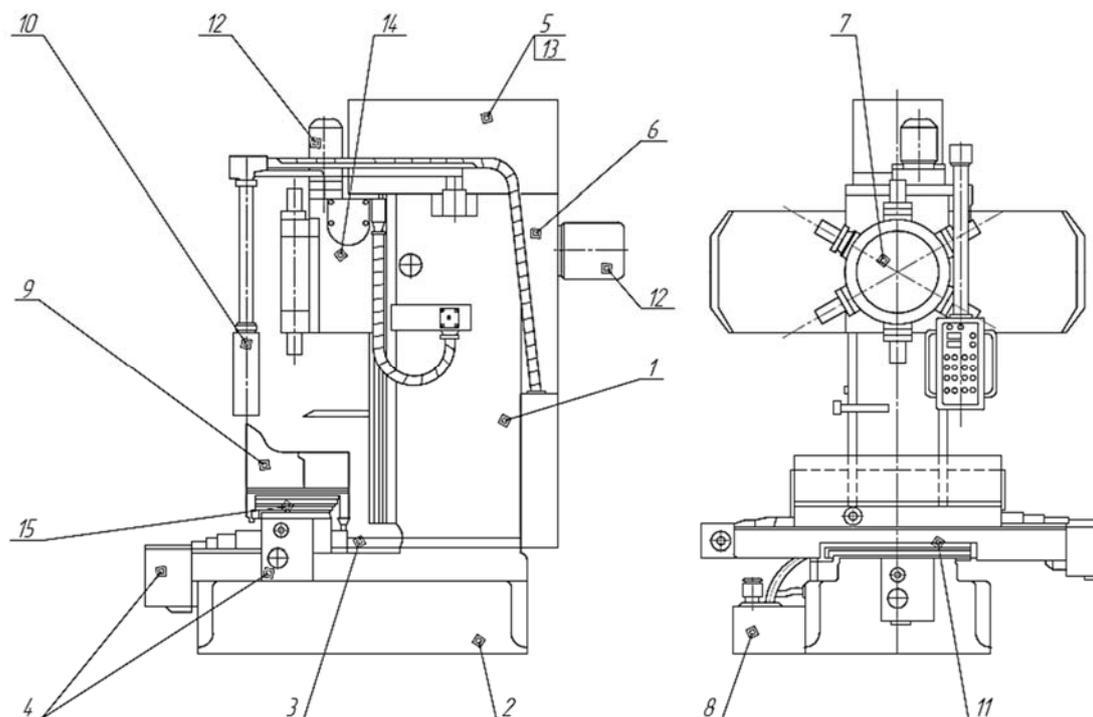
Цель работы – ознакомиться с назначением и кинематикой вертикально-сверлильного станка модели 2P135Ф2-1, настроить станок на обработку заданной детали.

Станок вертикально-сверлильный с числовым программным управлением модели 2P135Ф2-1 предназначен для выполнения различных операций: сверления, зенкерования, рассверливания, развертывания, нарезания резьбы, легкого прямолинейного фрезерования. Наличие в станке шестишпиндельной револьвер-

ной головки для автоматической смены инструмента, крестового стола, программного управления позволяет осуществить координатную обработку деталей типа крышек, фланцев, панелей и т. п.

Механизм главного движения обеспечивает двенадцать ступеней скоростей.

Механизм подачи также оснащен ступенчатым регулированием. Для обеспечения требуемого диапазона регулирования подач задействовано 18 ступеней подач. Общий вид станка представлен на рисунке 6.1.



1 – колонна; 2 – стол крестовый; 3 – защита; 4 – редуктор; 5 – защитные устройства; 6 – коробка скоростей; 7 – револьверная головка; 8 – станция охлаждения; 9 – ограждение; 10 – пульт подвесной; 11 – защита поперечных направляющих; 12 – размещение электрооборудования; 13 – редуктор подачи; 14 – суппорт; 15 – защита продольных направляющих

Рисунок 6.1 – Общий вид вертикально-сверлильного станка модели 2P135Ф2-1

Кинематическая схема станка состоит из следующих цепей:

- кинематической цепи главного движения (коробка скоростей);
- кинематической цепи подачи (редуктор подачи);
- кинематической цепи суппорта (суппорт и револьверная головка);
- кинематической цепи движения стола (стол крестовый).

Кинематическая цепь главного движения. Коробка скоростей состоит из трех валов, смонтированных в корпусе на подшипниках качения и набора шестерен с электромагнитными муфтами. Наличие двухскоростного электродвигателя позволяет получить 12 частот вращения шпинделя в диапазоне $45 \dots 2000 \text{ мин}^{-1}$.

Вращение шпинделя осуществляется от электродвигателя 1 ($n = 1000 \text{ мин}^{-1}$; $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$; $N = 4/4,6 \text{ кВт}$) через шестерни 2 ($z = 29$) и 3 ($z = 41$) вращение

передается на вал I. Далее в зависимости от включения муфт $M1$ и $M2$ при помощи зубчатых колес 4 ($z = 24$), 5 ($z = 36$) и 6 ($z = 14$) вращение подается на вал II. С вала II на вал III в зависимости от включения муфт $M3$, $M4$, $M5$ работают зубчатые колеса 2 ($z = 24$), 12 ($z = 56$). Далее коническая передача 15/16, затем ряд цилиндрических передач 17/18, 20/21, 21/13 и на шпиндель передается 12 различных частот вращения.

Кинематическая цепь подачи. Редуктор механизма подачи имеет три вала, смонтированных на подшипниках в отдельном корпусе.

Переключение передач автоматическое – с помощью электромагнитных муфт. Быстрое движение суппорта осуществляется от электродвигателя 49 ($N = 2,2$ кВт, $n = 3000$ мин⁻¹) через зубчатое колесо 50 ($z = 37$), вал XXXII при включении электромагнитной муфты $M6$ на винт подачи.

Рабочая подача суппорта осуществляется от электродвигателя (при включении муфты 1) через зубчатое колесо 51 ($z = 13$), вал XXX и шестерню 56 ($z = 86$), вал XXXII при включении электромагнитной муфты $M7$ через червячную пару 57/58 на винт подачи. Сухая электромагнитная муфта $M5$ осуществляет торможение рабочей подачи на координате.

Кинематическая цепь суппорта предназначена для осуществления быстрых перемещений и рабочих подач револьверной головки. Движение осуществляется от электродвигателя 22 ($n = 3000$ мин⁻¹, $N = 2,2$ кВт) через зубчатое колесо 89 ($z = 52$), 23 ($z = 18$), 87 ($z = 57$), червячную пару 25/35 и зубчатые колеса 36 ($z = 16$), 42 ($z = 58$).

При включении электромагнитной муфты $M9$ шестерни 87 револьверная головка закреплена подпружиненными тягами суппорта, находящимися в Т-образных пазах револьверной головки и поворачиваться не может. Червяк 25 не может повернуть червячное колесо 35 и потому, вращаясь, перемещается вниз. Движением вниз через реечные пары 26, 37 и 30, 38 вращением вала XX выводится из зацепления зубчатое колесо 21 и освобождается револьверная головка.

Червяк доходит до жесткого упора, начинаем вращать револьверную головку (прямой ход). Одновременно вращением револьверной головки через зубчатые колеса 34, 33, 32, 31 работает позиционный командоаппарат, который при выборе очередного шпинделя останавливает прямое вращение револьверной головки и включает обратное, путем отключения электромагнитной муфты ЭТМ-094 и включением муфты ЭТМ-064. Револьверная головка обратным вращением доходит до жесткого упора суппорта, останавливается. При этом червяк 25 двигается вверх. Движением вверх поворачивает вал XX в обратном направлении и вводит зубчатое колесо 21 в зацепление с зубчатым колесом револьверной головки, освобождает тяги. Тяги закрепляют револьверную головку в позиции, при этом электромагнитные муфты отключены. Кинематическая цепь выпрессовки инструмента от шпинделей револьверной головки получает движение от электродвигателя через зубчатые колеса 23, 24, 27, ($z = 52$) через червячную пару 28, 39, зубчатые колеса 40 ($z = 21$), 41 ($z = 21$) на выпрессовывающий эксцентрик, установленный на пазу поворота револьверной головки.

Редуктор стола предназначен для осуществления быстрых, средних и мед-

ленных перемещений стола и салазок отдельно. Быстрое перемещение стола осуществляется от электродвигателя 91 через зубчатые колеса 95 ($z = 40$), 96 ($z = 40$), 98 ($z = 34$), 107 ($z = 52$), 106 ($z = 34$) при включенной муфте M13. Скорость быстрого хода стола 7 м/мин. Среднее перемещение стола осуществляется от электродвигателя 91 через зубчатые колеса 93 ($z = 55$), 109 ($z = 25$), 92 ($z = 25$), 100 ($z = 55$), 102 ($z = 46$), 104 ($z = 64$) при включенной муфте M14. Переключение скоростей редуктора автоматическое, с помощью встроенных электромагнитных муфт.

Содержание отчета. Цель работы. Назначение станка. Конструкция станка. Уравнения кинематического баланса. Выводы.

Контрольные вопросы

- 1 Назовите основные узлы станка.
- 2 Что изображено на кинематике станка?
- 3 Какие операции можно выполнять на данном станке?
- 4 Структура привода главного движения.
- 5 Структура привода подачи.

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

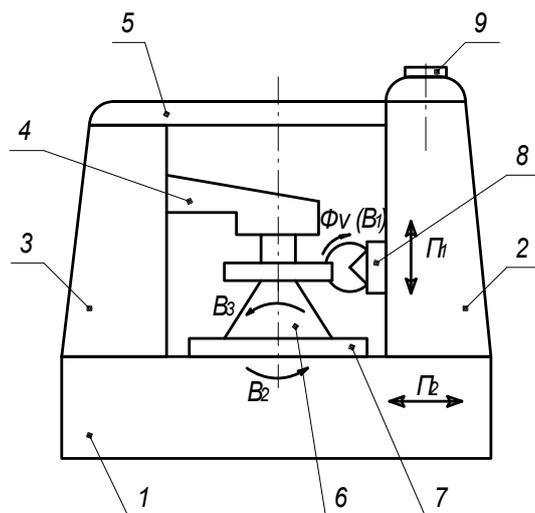
Цель работы – ознакомиться с назначением, кинематикой и конструкцией зубофрезерного станка модели 5Е32; овладеть практическими навыками по настройке и наладке станка для нарезания цилиндрических косозубых и червячных колес.

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 последнем 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.

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, за-

креплённой во фрезерной головке 8, перемещающейся по вертикальным направляющим подвижной стойки 2.



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

Кинематическая схема зубофрезерного станка 5E32 представлена на рисунке 7.2.

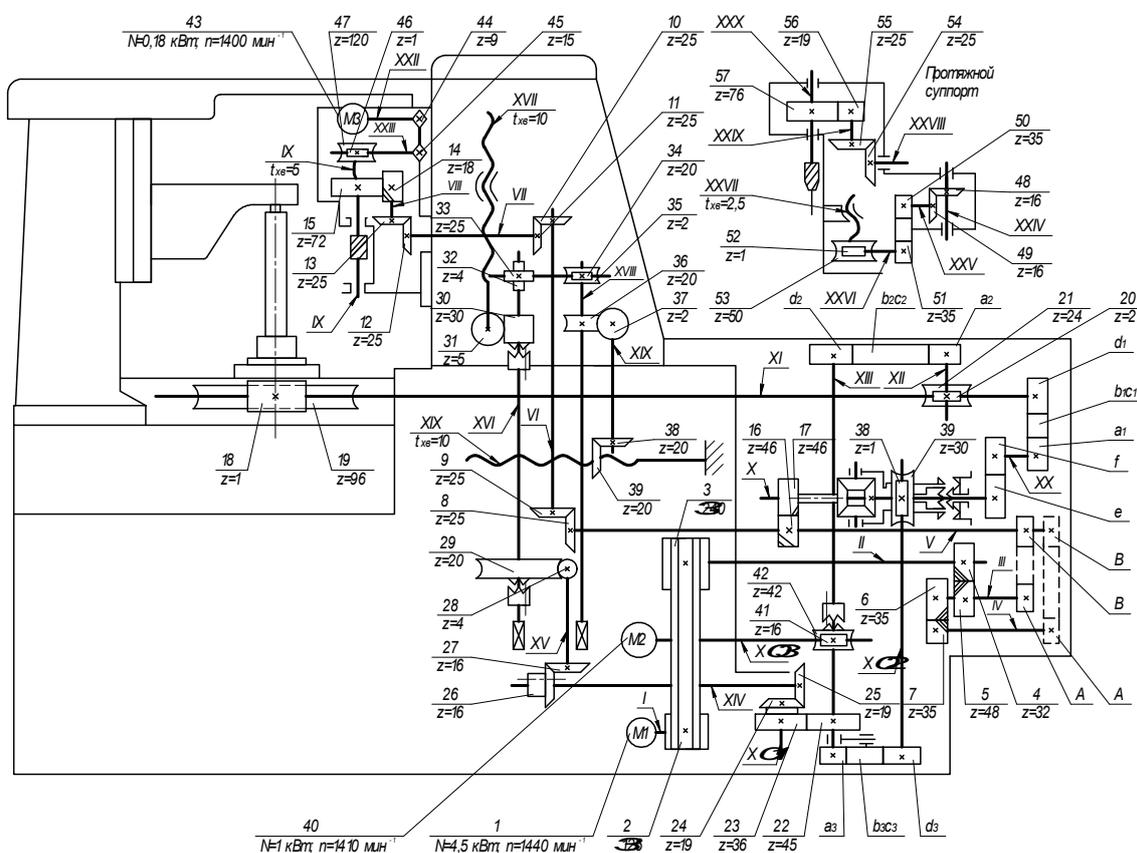


Рисунок 7.2 – Кинематическая схема станка

Кинематическая схема включает в себя шесть кинематических цепей:

- цепь главного движения;
- цепь деления нарезаемой заготовки (цепь обката);
- цепь вертикальных подач фрезы;
- цепь радиальных подач подвижной стойки;
- дифференциальная цепь;
- 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 А/В, конические шестерни 8/9, 10/11 и 12/13, шестерни 14/15. Необходимая частота вращения фрезы настраивается за счет сменных шестерен А и В.

Цепь деления нарезаемой заготовки. Делительная цепь связывает вращение фрезы с вращением заготовки. Эти два элементарных движения образуют одно сложное движение формообразования. За один оборот червячной фрезы стол с заготовкой должен повернуться на k/z оборотов, где k – число заходов фрезы; z – число зубьев нарезаемой заготовки.

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/v , c/d и червячную передачу 18/19. Настройка цепи обката производится подбором сменных шестерен a/v 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/v , 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/v 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/v_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.

Дифференциальная цепь. Дифференциальная цепь применяется при:

- 1) нарезании цилиндрических колес с косыми зубьями;
- 2) нарезании цилиндрических колес с прямыми зубьями, когда число зубьев колеса выражено простым числом, например, 127, 157, 101;
- 3) нарезании червячных колес методом осевых подач.

При нарезании цилиндрических колес с косыми зубьями за счет дифференциальной цепи заготовке сообщается дополнительное вращение, которое связано с вертикальным перемещением фрезы. Время перемещения фрезы на шаг T винтовой линии нарезаемой заготовки соответствует ± 1 дополнительному обороту

заготовки.

Знак «+» принимается при различных направлениях винтовой линии зубьев нарезаемого колеса и витков фрезы.

Знак «-» принимается при одинаковых направлениях винтовой линии зубьев нарезаемого колеса и витков фрезы.

Дополнительное вращение стол получает от ходового винта XVI с шагом $t = 10$ мм, через червячную передачу 31/30, 29/28, 7/26, 25/24, сменные шестерни гитары дифференциала a_2/b_2 , c_2/d_2 , червячную передачу 4/41, дифференциал ($i_d = 2$), шестерни e/f , гитару a/v , c/d и червячную передачу 18/19. Настройка цепи дифференциала производится при помощи гитары a_2/b_2 , c_2/d_2 .

Настройка и наладка станка на нарезание червячного колеса методом радиальной подачи.

Кинематическая структура станка. Кинематическая структура станка одновременно никогда не используется. Она работает частями в зависимости от формы нарезаемого колеса. Структура станка при нарезании червячных колес методом радиальной подачи, показанная на рисунке 7.3, состоит из двух кинематических групп.

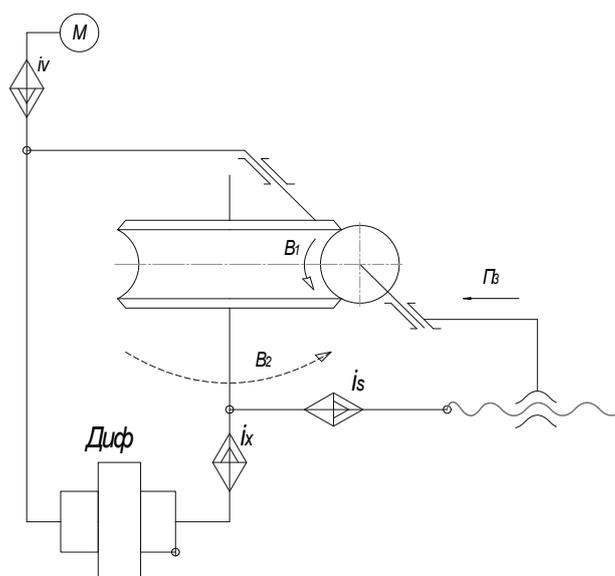


Рисунок 7.3 – Кинематическая структура станка при нарезании червячных колес методом радиальной подачи

Кинематическая группа движения скорости резания $\Phi_v (B_1 B_2)$ состоит из одной внутренней кинематической цепи между шпинделем фрезы и столом, проходящей через дифференциал и гитару i_x , и из цепи привода от электродвигателя M через гитару i_v . Движение Φ_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 $B_p (П_3)$. 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⁻¹.

Уравнение кинематического баланса

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

Формулы настройки гитары

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

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 $V_p(P_3)$. 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

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

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

$t_{х.в.}$ – 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

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

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 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 подачи, 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...0,03 мм. Торцевое биение заготовки должно быть не более 0,01...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 Φ_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 Φ_v настраивается на траекторию гитарой i_x , по скорости и направ-

лению – гитарой i_v . Этим движением осуществляется образование зуба по профилю и одновременно осуществляется делительный процесс.

Для получения винтового зуба по длине заготовки служит группа движения подачи $\Phi_s(P_3 B_4)$, 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 Φ_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

$$I_{об.стола} \rightarrow S_g,$$

где S_g – вертикальная подача фрезы за один оборот заготовки.

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

$$S_g = I_{об.стола} \cdot i_{пост} \cdot i_s \cdot t_{х.в.},$$

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

$t_{х.в.}$ – 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.

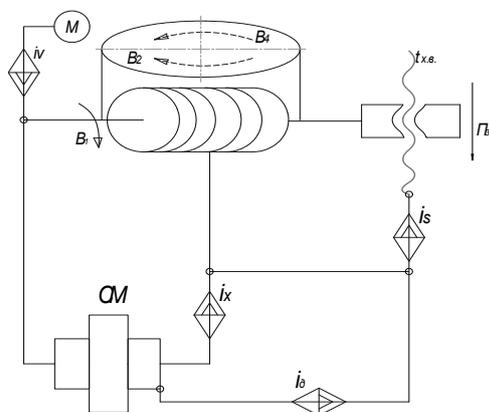


Рисунок 7.4 – Структурная схема нарезания косозубого колеса

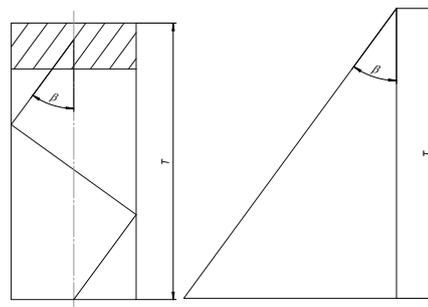


Рисунок 7.5 – Графическое представление шага винтовой линии T

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: $n = T / t_{x.v.}$

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

Формула настройки

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

Уравнение кинематического баланса

$$\frac{T}{t_{xв}} \cdot i_{\partial} \cdot i_{\text{диф}} \cdot i_x \cdot i_{ном} = 1 \text{ доп. оборот стола} \cdot$$

Формула настройки гитары дифференциала

$$i_{\text{диф}} = \frac{t_{xв}}{T} \cdot i_{\partial} \cdot i_x \cdot i_{ном},$$

где i_{∂} – передаточное отношение гитары дифференциала, $i_{\partial} = 2$;

i_x – передаточное отношение гитары обката;

$i_{ном}$ – передаточное отношение гитары постоянных передач в цепи 5–6–3–4.

Так как на чертежах зубчатых колес задается угол β наклона зуба, а не шаг T винтовой линии, то в формулу настройки следует вместо T подставить соответствующую величину:

$$T = \frac{(\pi \cdot m_n \cdot z)}{\sin \beta},$$

где m_n – нормальный модуль;

z – число зубьев обрабатываемой шестерни;

β – угол наклона зуба шестерни.

Формула настройки гитары i_y

$$i_{\partial} = \frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} = \frac{(t_{xв} \cdot \sin \beta)}{i_{\partial} \cdot i_{ном} \cdot i_x \cdot \pi \cdot m \cdot z}.$$

Установка заготовки. Установка заготовки должна производиться тщательно, а закрепление – надежно. Требования к установке заготовки те же, что и при фрезеровании червячных колес.

Установка инструмента. Фреза должна быть установлена по отношению к заготовке под углом θ .

Этот угол измеряется между осью фрезы и плоскостью, перпендикулярной оси заготовки, и называется углом установки. При нарезании косозубых колес угол установки определяется по формуле

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

где β – угол наклона винтовой линии нарезаемой заготовки;

β_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

$$h = 2,25 \cdot m n.$$

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 станок предназначен?
- 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 долбьями и зубчатыми гребенками, а также методом копирования специальными многолезцовыми головками. Нарезание зубьев круглыми долбьями 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

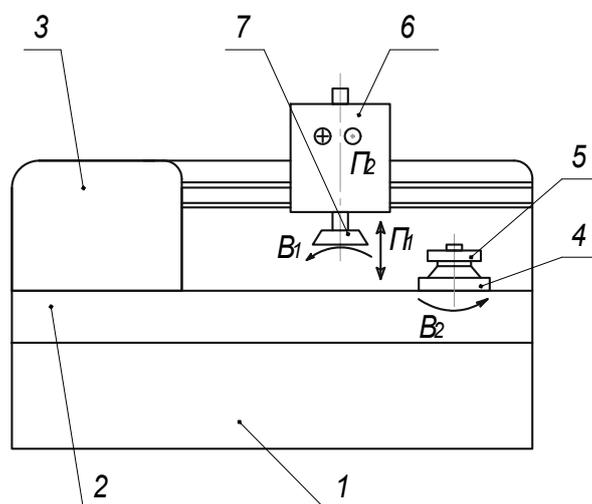
и при зубофрезеровании. При увеличении модуля производительность зубодолбления уменьшается. На зубодолбежных станках долбяками класса АА достигается 6-я степень точности колеса, А – 7-я и класса В – 8-я. Шероховатость поверхности профиля зубьев $R_a = 0,8 \dots 1,6$ мкм.

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 колёс. 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 представлена 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 (Π_1) с органом настройки M ;
- 2) движение подачи (B_2, B_3) с органом настройки M ;
- 3) движение врезания (B_P, Π_4), которое настраивается сменными кулачками.

Кроме того, в станке имеется кинематическая группа вспомогательного движения B_{cn} (Π_5), предназначенная для отвода заготовки при обратном ходе долбяка.

Кинематическая структура станка представлена на рисунке 8.3.

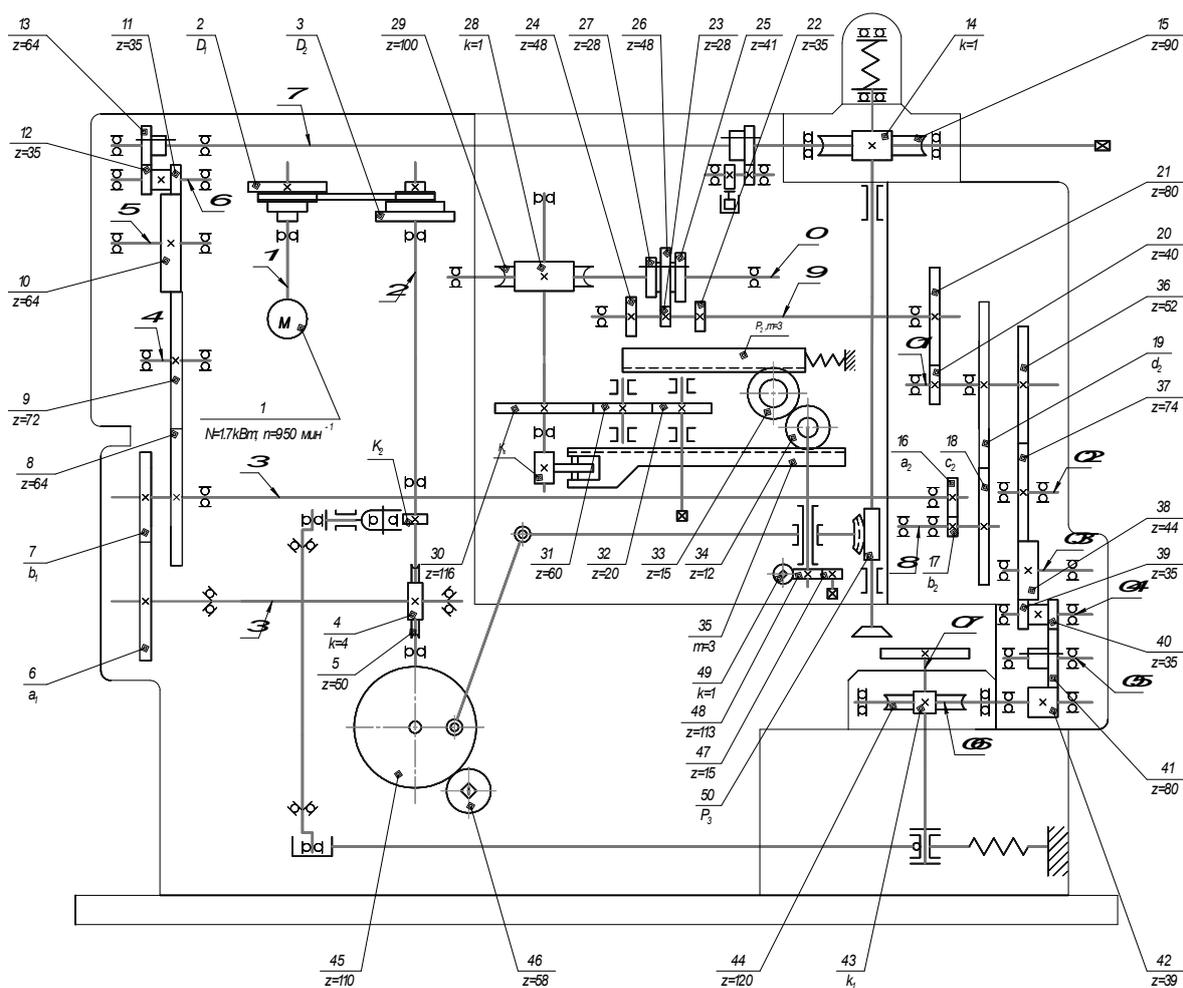


Рисунок 8.2 – Кинематическая схема зубодолбежного станка 5B12

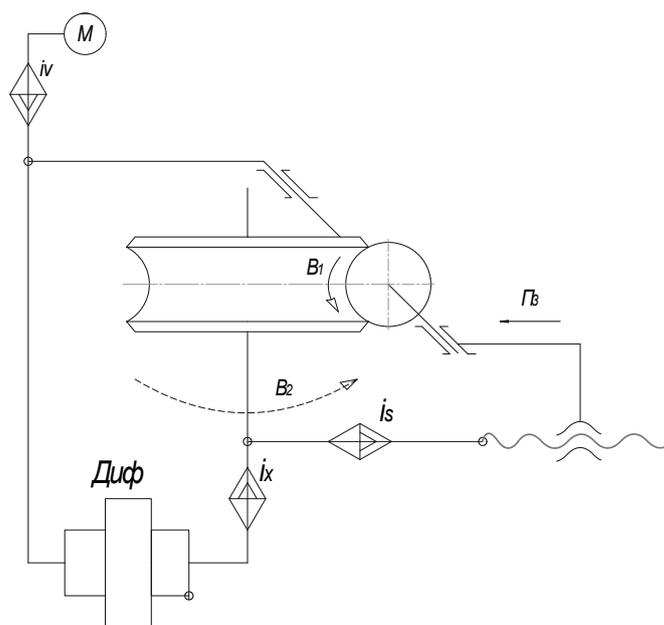


Рисунок 8.3 – Кинематическая структура станка при нарезании цилиндрического прямозубого колеса

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 царапания обработанной поверхности зубьев шестерни, при обратном ходе долбяка заготовка отводится от инструмента.

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 производится 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.

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.

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 3,5...4,5	20...24	22...26	28...33
		18...22	20...24	25...31
Чистовое по сплошному металлу	До 3 3,5...4,5	22...25	24...27	32...35
		20...23	22...25	28...32
Чистовое предварительно прорезанных зубьев	До 3 3,5...4,5	30	33	42
		28	31	39

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 долбяка с вращением долбяка 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 включается привод станка. Для ускорения подвода долбяка к заготовке поворачивают квадрат до тех пор, пока долбяк 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?

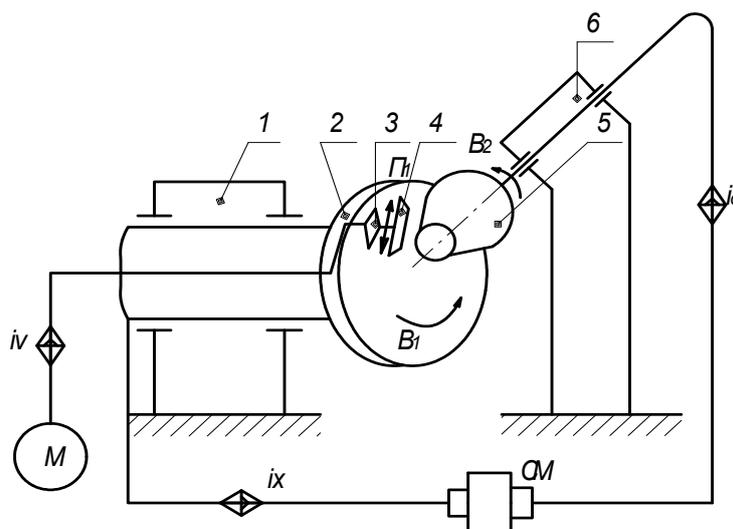
9 Изучение конструкции и наладка зубострогального станка модели 5П23БП на нарезание прямозубого конического колеса

Цель работы – ознакомиться с назначением, кинематикой и конструкцией зубострогального станка модели 5П23БП; овладеть практическими навыками по настройке и наладке станка для нарезания прямозубого конического колеса.

Обработка зубьев конических колес на зубострогальных станках, работающих по методу обката, основана на представлении о производящем колесе – воображаемом плоском коническом колесе, с которым обкатывается в процессе заготовка.

Зубострогальный полуавтомат повышенной точности модели 5П23БП предназначен для нарезания конических зубчатых колес с прямыми зубьями диаметром до 125 мм и модулем до 2,5 мм методом обката. В качестве инструмента на станке используются зубострогальные резцы. Станок применяется при любом характере производства, но наиболее предпочтителен в условиях мелкосерийного и единичного производства.

На рисунке 9.1 представлен общий вид станка и указаны основные узлы механизма.



1 – передняя бабка; 2 – люлька; 3 – кривошипно-шатунный механизм, преобразующий вращение электродвигателя в прямолинейное возвратно-поступательное движение резцов; 4 – инструмент-резец; 5 – заготовка; 6 – бабка изделия

Рисунок 9.1 – Общий вид зубострогального станка

Кинематическая структура станка для нарезания прямозубого конического колеса по методу обката состоит из двух формообразующих групп, а в некоторых станках добавлена отдельная группа деления.

Одна группа обеспечивает движение качения B_1 и B_2 заготовки по плоскому колесу, вторая – образование формы зуба по длине (Π_1).

Если резцу 4, размещенному на люльке 2 станка, сообщить прямолинейное

возвратно-поступательное движение (от кривошипа 3) по образующей конуса заготовки 5, то на воображаемом плоском колесе и на нарезаемом коническом колесе получится зуб.

Таким образом, для станка необходимы следующие движения.

1 Главное движение. Возвратно-поступательное прямолинейное перемещение резцов. Конечными звеньями являются электродвигатель и резцы. Органом настройки цепи является iV – гитара сменных зубчатых колес.

2 Цепь обката. Конечными звеньями цепи являются люлька и заготовка. Для их согласованного движения в цепи предусмотрен орган настройки iX .

С целью получения качательного движения на люльке в цепи вводится составное зубчатое колесо 5. Тогда люлька будет совершать рабочий ход, при котором резцы обрабатывают зуб и холостой ход – возвращение люльки в исходное положение в обратном направлении с большой скоростью.

3 Цепь деления. Для возможности образования всех зубьев на заготовке в станке необходима делительная цепь между заготовкой и делительным механизмом. Так как станок делительного механизма не имеет, то делительной цепью связывают заготовку и распределительный вал 8 с кулачком 7, с помощью которого отводится узел станка 6 с заготовкой от резцов в момент деления. Орган настройки цепи – гитара id .

4 Цепь подачи. Под подачей понимают скорость перемещения какой-либо точки люльки по дуге начальной окружности колеса. Конечные звенья – электродвигатель и распределительный вал. Орган настройки iS .

Цепь главного движения. От главного электродвигателя мощностью 1,1 кВт, 930 мин⁻¹, и зубчатых колес 42–43–44 (валы I, V) и 9–10–11 через смежные зубчатые колеса А и В, далее через зубчатые колеса 12–13–14–15 (валы VI, VII, VIII) вращательное движение передается кривошипно-шатунному механизму, преобразующему вращательное движение в возвратно-поступательное суппортов с резцами.

Цепь подачи. Осуществляется от вала I и передается на гитару настройки времени рабочего хода (гитара подачи). Набор сменных шестерен этой гитары состоит из двух пар сменных шестерен a_2, b_2, c_2, d_2 , которыми осуществляется настройка времени рабочего хода от 3,5 до 112 с/зуб.

От ведомого вала гитары подачи зубчатые колеса 4–5 через фрикционную муфту и зубчатые колеса 6–7–8 (валы II, III), коническую пару 29–30 и червячную пару 31–32 (валы IV, XV) движение передается распределительному валу XVI, который делает один оборот за время нарезания одного зуба.

На распределительном валу находятся два кулачка: один из них (верхний) служит для отвода и подвода стола в соответствующие моменты цикла, другой (нижний) предназначен для врезания. На валу также имеются переставные кулачки, которые действуют на золотник гидросистемы, переключающий фрикционную муфту с рабочего хода на ускоренный. При ускоренном ходе движение от вала 1 передается валу IV через постоянные зубчатые колеса 42–43 и 6–7–8 и т. д. Кроме этого, на распределительном валу XVI установлен кулачок, управляющий через золотник работой счетчика циклов.

Делительная цепь. Делительного механизма как такового станок не имеет. Цепью деления в данном случае называется кинематическая цепь, связывающая распределительный вал XVI со шпинделем изделия. Кинематическая связь шпинделя изделия с распределительным валом осуществляется через червячную передачу 32–31, конические передачи 30–29, 34–35, 36–37, 38–39 (валы XV, IV, IX, XIII), гитару деления a_1-v_1 , c_1-d_1 и червячную передачу 41–40 (валы XII, XI). Шпиндель изделия постоянно вращается в одном направлении и за время цикла поворачивается на угол одного зуба обрабатываемой детали.

Цепь обкатки. Цепь обкатки получает движение от валика II гитары настройки времени и цикла. Движение через зубчатые колеса 4–5, 6–7–8, 28–27, валы (III, IV), конические шестерни 26–25 передается на зубчатое колесо 24 (вал XVII), сцепленное с составным колесом, состоящим из участка внутреннего зацепления 22 и сектора наружного зацепления 21, соединенных между собой полушестернями внутреннего зацепления.

Зубчатое колесо 24, вращаясь, заставляет составное колесо совершать возвратно-вращательное движение. Во время зацепления зубчатого колеса 24 с участком внутреннего зацепления происходит рабочий ход, а при сцеплении с остальной частью колеса – холостой ход.

При зацеплении колеса 24 с переходными секторами 23 происходит его перемещение вместе с конической парой 26–25 и зубчатым колесом 27, которое перемещается по широкому колесу 28.

К диску составного колеса прикреплен зубчатый венец 20, сцепляющийся с кольцом 19.

Возвратно-вращательное движение составного колеса через зубчатые колеса 19–18, гитару обката $a-v$, $c-d$, червячную передачу 17–16 передается люльке.

Настройка станка.

Цепь главного движения. Конечными звеньями цепи являются электродвигатель и резцы, совершающие возвратно-поступательное движение. Число двойных ходов резцов равно числу оборотов зубчатого колеса 15.

Тогда расчетные перемещения резцов запишутся следующим образом:

$$n_{\text{эл.д.}} \rightarrow n_{\text{дв.х./мин. резцов.}}$$

Уравнение кинематического баланса

$$930 \cdot \frac{21}{25} \cdot \frac{35}{65} \cdot \frac{65}{30} \cdot \frac{23}{52} \cdot \frac{52}{36} \cdot i_V \cdot \frac{37}{44} \cdot \frac{44}{44} \cdot \frac{44}{62} = n_{\text{дв. х./мин.}}$$

Откуда получаем формулу настройки $i_0 = \frac{A}{B} = \frac{n}{348}$.

Число двойных ходов определяется в зависимости от скорости резания по формуле

$$n = \frac{1000 \cdot V}{2(l + c)},$$

где V – скорость резания;

l – длина зуба;

c – перебега резца, обычно $c = 3 \dots 5$ мм.

Цепь подачи. Подачей люльки (производящего колеса) называется путь, проходимый какой-либо ее точкой на дуге начальной окружности этого колеса в единицу времени.

Длина дуги при повороте люльки на угол Q

$$L = \frac{\pi \cdot m \cdot Zc \cdot Q}{360}.$$

За время цикла при ходе инструмента вперед и назад люлька поворачивается на дугу, равную $2L$. Если S_p и S_k – подачи, соответствующие рабочему и холостому ходам, то время одного цикла движений

$$T = \frac{L}{S_p} + \frac{L}{S_k}.$$

Распределительный вал за это время совершает один оборот, причем рабочему ходу соответствует поворот на 209° , или 0,581 оборота, а холостому – 151° , или 0,419 оборота. Следовательно, за 1 с распределительный вал делает $1/T$ рабочих и холостых ходов.

Принимая за конечные звенья люльку и электродвигатель, расчетные перемещения запишутся как

$$n_{\text{эл.дв.}} \rightarrow n \cdot 0,581 \frac{1}{T} \text{ раб. об. распред. вала.}$$

Уравнение кинематического баланса

$$\frac{930}{60} \cdot \frac{21}{25} \cdot i_s \cdot \frac{35}{65} \cdot \frac{31}{71} \cdot \frac{71}{61} \cdot \frac{19}{19} \cdot \frac{1}{40} = 0,581 \frac{1}{T}.$$

Откуда формула настройки

$$i_s = \frac{Q_2 \cdot G_2}{B_2 \cdot d_2} = \frac{6,6}{T}.$$

Назначение времени обработки зависит от материала резцов и их заданной стойкости, жесткости крепления ее на оправке, от требуемой точности и шероховатости обработки нарезаемого колеса. Обычно для мелкосерийного производства рекомендуется принимать при обработке зубчатых колес шириной $8 \dots 25$ мм, $T = 7 \dots 8$ с/зуб с модулем $mt_e = 1,5$ мм и для углеродистых конструкционных сталей и серого чугуна.

Цепь деления. На станке нарезание происходит через несколько зубьев, а не последовательно зуб за зубом, но так, чтобы при каждом цикле заготовка поворачивалась на целое число зубьев Z_i , не имеющее общих множителей

с числом зубьев нарезаемого колеса. Конечными звеньями цепи деления будут распределительный вал и заготовка.

За время одного оборота распределительного вала заготовка должна повернуться на $\frac{Z_i}{Z}$ оборота.

Расчетные перемещения запишутся таким образом:

$$1 \text{ об. распр. вала} \rightarrow \frac{Z_i}{Z} \text{ заготовки.}$$

Уравнение кинематического баланса

$$1 \cdot \frac{40}{1} \cdot \frac{19}{19} \cdot \frac{19}{19} \cdot \frac{19}{19} \cdot \frac{20}{20} \cdot i_g \cdot \frac{1}{120} = \frac{Z_i}{Z}.$$

Формула настройки

$$i_g = \frac{A_1}{B_i} = \frac{C_i}{d_1} = \frac{3Z_i}{Z}.$$

Цель обката. Конечными звеньями этой цепи будут производящее колесо, люлька и заготовка. Когда люлька повернется на один зуб производящего колеса, заготовка также должна повернуться на один зуб.

Расчетные перемещения в таком случае

$$\frac{1}{B_c} \rightarrow \frac{1}{Z}.$$

Уравнение кинематического баланса

$$\frac{1}{Z_c} \cdot \frac{72}{2} \cdot \frac{34}{110} \cdot \frac{110}{315} \cdot \frac{210}{34} \cdot \frac{32}{16} \cdot \frac{60}{24} \cdot \frac{19}{19} \cdot \frac{19}{19} \cdot \frac{20}{20} \cdot i_g \cdot \frac{1}{120} = \frac{1}{Z}.$$

Учитывая, что $I_g = \frac{3Z_i}{Z_a}$, получим из уравнения формулу настройки

$$i_0 = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{3Z_i}{Z_c}.$$

Подбор сменных зубчатых колес цепи обката должен производиться с точностью 0,0001.

Содержание отчета. Цель работы. Назначение станка. Структурная схема станка. Уравнение кинематического баланса цепей настройки, вывод формул настройки. Схемы расположения гитар настройки. Выводы.

Контрольные вопросы

- 1 Конструкция станка по общему виду.
- 2 Назначение станка.
- 3 Движения в станке по кинематической схеме.
- 4 Уравнения кинематического баланса цепи главного движения.
- 5 Уравнения кинематического баланса цепи качания люльки.

10 Изучение конструкции, наладка и настройка плоскошлифовального станка модели 3Д711АФ1

Цель работы – изучить кинематику, конструкцию, технологические возможности и настройки плоскошлифовального станка на шлифование плоской поверхности детали.

Шлифовальными называют станки, которые работают инструментами из абразивного материала. Наиболее распространенный абразивный инструмент – шлифовальный круг. Применяют также алмазные круги. Основное назначение шлифовальных станков – чистовая обработка деталей, в особенности при высокой твердости их материала (закаленные стали, твердые сплавы и т. д.). При этом достигаются малая шероховатость обработанной поверхности, малое отклонение формы размеров деталей.

У всех шлифовальных станков главное движение – вращение шлифовального круга. Высокая скорость главного движения резания v (35,5 м/с и выше) требует высокой частоты вращения шлифовального шпинделя, в особенности при небольших диаметрах кругов. Поэтому обычно в приводе главного движения применяют ременную передачу, а также электро- или пневмошпиндели.

На любом шлифовальном станке необходима правка круга. Правящее устройство, срезая слой абразива, придает шлифовальному кругу необходимую геометрическую форму, восстанавливает ее и режущую способность круга после изнашивания и затупления. Конструкция правящего устройства зависит от вида правящего инструмента и типа станка. Наиболее высокое качество правки достигается применением алмазного инструмента: алмаз в оправе, алмазно-металлического карандаша, алмазного ролика (с алмазным слоем на наружной поверхности). Безалмазная правка производится с помощью правящего шлифовального круга или твердосплавного ролика.

От состава смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) и способа ее подвода в зону обработки зависит режущая способность круга и нагрев в зоне контакта, а следовательно, производительность и качество обработки.

Схемы плоского шлифования представлены на рисунке 10.1.

Плоскошлифовальный станок предназначен для шлифования плоских поверхностей периферий круга. Вследствие высокого уровня автоматизации цикла обработки, в том числе программированного съема припуска, целесообразно использовать данный станок в средне- или крупносерийном производстве.

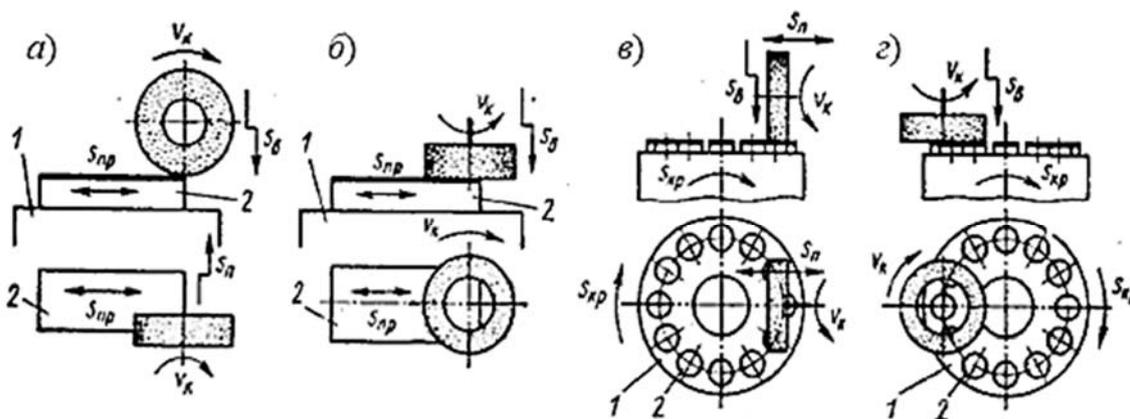


Рисунок 10.1 – Схемы плоского шлифования

Основные узлы и движения. Главное движение – вращение шлифовального круга, ось которого горизонтальна. Заготовку закрепляют на прямоугольном столе, который совершает продольное возвратно-поступательное движение по крестовому суппорту (направляющие скольжения). Суппорт вместе со столом может перемещаться в поперечном направлении по станине (направляющие качения). Третье поступательное движение по вертикали сообщается шлифовальной головке по направляющим качения колонны. Станок снабжен приводами поперечного и вертикального перемещения. При шлифовании горизонтальной плоскости продольное и поперечное движение используют для подачи, вертикальное – для углубления. Справа у станка расположена гидростанция, слева – блок охлаждения.

Кинематическая схема плоскошлифовального приведена на рисунке 10.2.

Привод главного движения состоит из асинхронного двигателя $M1$ и поликлиновой ременной передачи $D1 = 166$ и $D2 = 112$. Продольное движение подачи стол получает от гидроцилиндра. При включении гидропривода колесо 24 на валу II выходит из зацепления с рейкой. Ручное перемещение стол получает от маховика $P1$ через планетарный механизм 30–28–29–29, обеспечивающий большую редукцию, и реечную передачу. Поперечное перемещение крестового суппорта осуществляется ходовым винтом с шагом $P = 5$ мм.

Источником автоматического движения является двигатель постоянного тока $M2$. При этом зубчатая муфта $M1$ включена. При переводе кнопки $P2$ влево выключается муфта $M2$ и включается муфта $M1$ ручного привода. Для малых точных перемещений поворачивают рукоятку $P4$, передавая движение через червячную передачу $1/100$ и муфту $M1$ на вал VII. Быстрое перемещение создается маховиком $P3$. при этом червяк должен быть выведен из зацепления с червячным колесом поворотом рукоятки $P5$ (опоры червяка расположены в эксцентричной втулке). Ручной привод вертикального перемещения ($P6, P7, P8, P9$) унифицирован с ручным приводом поперечного движения. Муфты $M3$ и $M4$ должны быть включены, $M5$ – выключена. Программируемое автоматическое перемещение включается при реверсировании суппорта (или стола – при врезном шлифовании) и осуществляется с помощью шагового электродвигателя $M3$ и зубчатых колес 34, 100, 100. Должны быть включены муфты $M4$ и $M5$ (муфта $M3$ выключена).

чается). Движение с вала XI передается через муфту M5, карданный вал и червячную передачу 1/30 на гайку с шагом $P = 6$ мм. Ускоренное вертикальное перемещение производится от двигателя переменного тока M4 через клиноременную передачу D140/D130 и червячную передачу 1/30 при выключенной муфте M5.

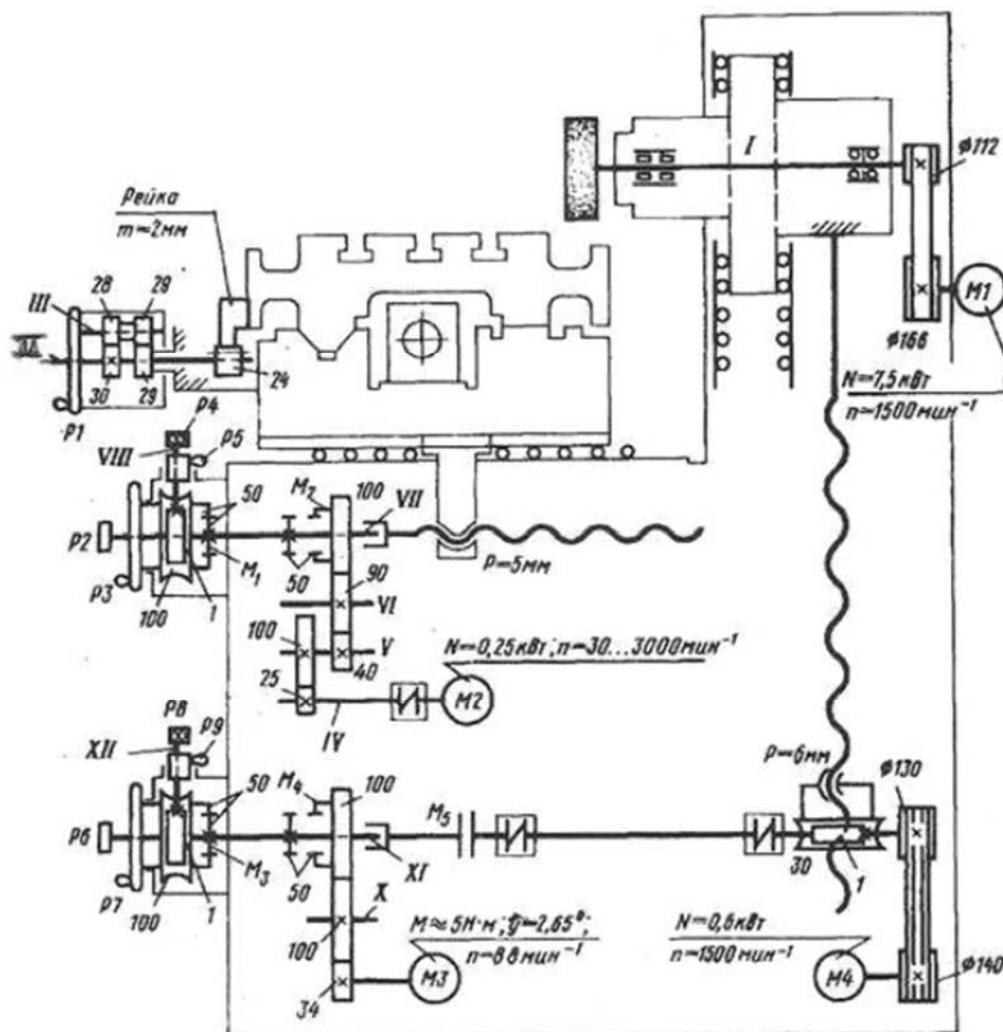


Рисунок 10.2 – Кинематическая схема плоскошлифовального станка

Содержание отчета. Цель работы. Схемы плоского шлифования. Назначение станка. Структурная схема станка. Уравнения кинематического баланса. Выводы.

Контрольные вопросы

- 1 Конструкция станка по общему виду.
- 2 Назначение станка.
- 3 Движения в станке по кинематической схеме.
- 4 Уравнения кинематического баланса цепи главного движения.
- 5 Уравнения кинематического баланса цепи продольной подачи.
- 6 Уравнения кинематического баланса цепи поперечной подачи.

Список литературы

- 1 **Металлорежущие станки : учебник / В. Д. Ефремов [и др.]; под ред. П. И. Ящерицына.** – Старый Оскол : ТНТ, 2012. – 696 с.
- 2 **Основы технологии механической обработки в машиностроении : учебное пособие / Под ред. В. К. Шелега, М. Л. Хейфеца.** – Новополоцк: ПГУ, 2008. – 244 с.
- 3 **Ящерицын, П. И.** **Металлорежущие станки : учебник / П. И. Ящерицын, В. Д. Ефремов; под общ. ред. А. И. Кочергина.** – Минск : БГАТУ, 2001. – 446 с.
- 4 **Черпаков, Б. И.** **Металлорежущие станки : учебник / Б. И. Черпаков.** – Москва : Академия, 2004. – 368 с.
- 5 **Металлорежущие станки: лабораторный практикум: в 2 ч.** – Минск : БНТУ, 2006. – Ч. 1. – 74 с.
- 6 **Сибикин, М. Ю.** **Технологическое оборудование : учебник / М. Ю. Сибикин.** – Москва : ИНФРА-М, 2005. – 400 с.
- 7 **Металлорежущие станки : учебник / Под ред. В. Э. Пуша.** – Москва : Машиностроение, 1986. – 256 с.
- 8 **Схиртладзе, А. Г.** **Гидравлические и пневматические системы / А. Г. Схиртладзе, В. И. Иванов, В. Н. Кареев.** – 2-е изд. – Москва: МГТУ – Станкин, 2003. – 544 с.
- 9 **Технологическое обеспечение машиностроительного производства: учебное пособие / В. А. Логвин [и др.] ; под ред. Ж. А. Мрочека.** – Минск: РИВШ, 2021. – 560 с.