

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Вакуумная и компрессорная техника»

Данильчик С.С.

МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ СТАНКИ

Часть 1

Пособие

для студентов направления специальности
1-08 01 01 - 01 «Профессиональное
обучение (машиностроение)»

Электронный учебный материал

Минск
БНТУ
2020

УДК 621.9.06(076.5)
ББК 34.63-5я7

Рецензент

С.А. Иващенко, декан инженерно-педагогического факультета, профессор кафедры «Профессиональное обучение и педагогика» Белорусского национального технического университета, доктор технических наук, профессор

Данильчик С.С.

Металлорежущие станки. Часть I: пособие для студентов направления специальности 1-08 01 01 – 01 «Профессиональное обучение (машиностроение)». – Мн.: БНТУ, 2020.– 100 с.

В пособии рассмотрены вопросы классификации станков, формообразования на металлорежущих станках, кинематической настройки станков, приведено описание конструкции типовых деталей и узлов станков, принципа работы основных механизмов, приведены сведения об основных технико-экономических показателях и критериях работоспособности станков, затронуты вопросы управления станками.

Содержание

Введение	4
1. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ	5
2. ФОРМООБРАЗОВАНИЕ НА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКАХ. МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОИЗВОДЯЩИХ ЛИНИЙ	9
3. КИНЕМАТИКА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ	11
3.1. Виды движений в станках. Кинематические группы	11
3.2. Виды регулирования скорости движения	13
3.3. Принципы нормализации значений знаменателя геометрического ряда	16
3.4. Кинематические схемы станков	18
3.5. Кинематическая настройка станка	21
4. ТИПОВЫЕ ДЕТАЛИ И УЗЛЫ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ	23
4.1. Базовые детали металлорежущих станков. Конструкции станин	23
4.2. Направляющие металлорежущих станков	27
4.3. Шпиндельные узлы металлорежущих станков	31
5. ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРИВОДЫ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ	37
5.1. Множительные механизмы привода главного движения со ступенчатым регулированием	37
5.2. Множительные механизмы привода подач со ступенчатым регулированием	41
5.3. Графоаналитический метод расчета приводов со ступенчатым регулированием	43
5.4. Механизмы бесступенчатого регулирования скорости	51
6. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПРИВОДЫ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ	53
7. ТИПОВЫЕ МЕХАНИЗМЫ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ	55
7.1. Реверсивные механизмы	55
7.2. Механизмы периодических движений	57
7.3. Механизмы обгона	58
7.4. Механизмы прямолинейных движений	59
7.5. Суммирующие механизмы	65
8. КРИТЕРИИ КАЧЕСТВА СТАНКОВ	69
8.1. Техничко-экономические показатели станков	69
8.2. Критерии работоспособности станков	74
9. УПРАВЛЕНИЕ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИМИ СТАНКАМИ	77
9.1. Основные задачи управления станками. Способы задания управляющей программы	77
9.2. Классификация систем ЧПУ	80
9.3. Системы координат станков с ЧПУ, детали и инструмента	82
9.4. Структура управляющей программы, структура кадра, формат кадра	86
10. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СТАНКОВ С ЧПУ	93
Список литературы	100

Введение

Пособие составлено в соответствии с учебной программой дисциплины «Металлорежущие станки» для направления специальности 1-08 01 01 - 01 «Профессиональное обучение (машиностроение)».

Основными задачами изучения дисциплины являются ознакомление с устройством типовых механизмов и узлов станков, с принципом их работы, системами управления станками, с основными группами и типами станков, приобретение знаний по конструктивным особенностям и технологическим возможностям станков и их кинематической настройкой.

В первой части пособия приведены основные сведения о станках, дана их классификация, рассмотрены основные технико-экономические показатели и критерии работоспособности станков. Описаны конструкции основных деталей и узлов станков, требования к ним, обеспечивающие точность и долговечность работы оборудования, приведена конструкция и принцип работы основных механизмов станков, изложены вопросы кинематической настройки станков, уделено внимание системам управления станками, и в частности, числовому программному управлению, конструктивным особенностям станков с ЧПУ.

Данное пособие разрабатывалось с целью систематизации обширной информации о металлорежущих станках и определения объема и глубины учебного материала, предусмотренных учебной программой для формирования необходимых профессиональных компетенций.

1. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

Металлорежущий станок – машина для размерной обработки заготовок в основном путем снятия стружки. Помимо основной рабочей операции, связанной с изменением формы и размеров заготовки, на станке необходимо осуществлять вспомогательные операции для смены заготовок, их зажима, измерения, операции по смене режущего инструмента и т.п.

Классификация по технологическим признакам

В основу классификации станков по технологическим признакам положены такие признаки, как:

- вид технологической операции и режущего инструмента;
- характер обрабатываемой поверхности;
- схема обработки.

В зависимости от целевого назначения для обработки тех или иных деталей или поверхностей, выполнения технологических операций и режущего инструмента станки подразделяются на группы, а каждая группа – на типы станков. По классификации, разработанной экспериментальным научно-исследовательским институтом металлорежущих станков (ЭНИМС) все станки подразделяются на девять групп и девять типов (табл. 1.1).

В соответствии с классификацией каждой модели станка присваивается соответствующий буквенно-цифровой шифр. Первая цифра обозначает группу станка, вторая – тип станка. Следующие цифры характеризуют габариты рабочего пространства: высота центров на токарных станках, максимально допустимый диаметр сверления для сверлильных станков и т.д.

Буква, стоящая после первой или второй цифры, означает модернизацию (улучшение) станка, буква стоящая после всех цифр указывает на модификацию (видоизменение) станка по сравнению с базовой моделью.

Например, 16К20 – относится к первой группе (токарные станки), к шестому типу (токарные и лобовые). 20-высота центров над станиной – 400 мм, К – модернизация станка.

2Н135 – вертикально-сверлильный станок с максимальным диаметром сверления 35мм, модернизированный по отношению к базовой модели 2135.

6Р82 – горизонтально-фрезерный консольный станок с типоразмером стола №2 (320×1250 мм), модернизированный.

6Р82Ш – модифицированный станок (по сравнению с предыдущей моделью имеет дополнительный шпиндель).

Станки с числовым программным управлением в конце обозначения модели имеют букву Ф: Ф2, Ф3, Ф4. Если в обозначении станка с ЧПУ, имеется буква Р, то станок оснащен револьверной головкой, если буква М – то инструментальным магазином.

Таблица 1.1

Классификация металлорежущих станков

Станки	Группа	Тип станка								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Токарные	1	Одношпиндельные автоматы и полуавтоматы	Многошпиндельные автоматы и полуавтоматы	Револьверные	Сверлильно-отрезные	Карусельные	Токарные и лобовые	Многорезцовые	Специализированные	Разные
Сверлильные и расточные	2	Вертикально-сверлильные	Одношпиндельные полуавтоматы	Многошпиндельные полуавтоматы	Координатно-расточные	Радиально-сверлильные	Расточные	Алмазно-расточные	Горизонтально-сверлильные	Разные
Шлифовальные и доводочные, заточные	3	Круглошлифовальные	Внутришлифовальные	Обдирочно-шлифовальные	Специализированные шлифовальные	—	Заточные	Плоскошлифовальные	Притирочные и полировальные	Разные
Комбинированные и физико-химической обработки	4	Универсальные	Полуавтоматы	Автоматы	Электрохимические	Электроискровые	—	Электроэрозионные, ультразвуковые	Анодно-механические	—
Зубо- и резьбо-обрабатывающие	5	Зубодолбежные для цилиндрических колес	Зуборезные для конических колес	Зубофрезерные для цилиндрических колес и шлицевых валов	Зубофрезерные для червячных колес	Для обработки торцов зубьев колес	Резьбофрезерные	Зубоотделочные	Зубо- и резьбошлифовальные	Разные
Фрезерные	6	Вертикально-фрезерные консольные	Фрезерные непрерывного действия	Продольно-фрезерные одностоечные	Копировальные и гравировальные	Вертикальные бесконсольные	Проольно-фрезерные двухстоечные	Широкоуниверсальные	Горизонтально-фрезерные консольные	Разные
Строгальные, долбежные, протяжные	7	Продольно-строгальные одностоечные	Продольно-строгальные двухстоечные	Поперечно-строгальные	Долбежные	Протяжные горизонтальные	—	Пртяжные вертикальные	—	Разные
Разрезные	8	Отрезные, работающие резцом			Правильно-отрезные	Ленточные пилы	Дисковые пилы	Ножовочные пилы	—	—
Разные	9	Муфто- и трубообрабатывающие	Пилонасекательные	Бесцентрово-обдирочные	Правильные	Для испытания инструментов	Делительные машины	Балансировочные	—	—

Специальные и специализированные станки обозначаются двумя буквами, присвоенному каждому из станкостроительных заводов, и последующими цифрами, характеризующими порядковый номер станка.

ВШ- Витебский станкостроительный завод. ВШ-031 – станок для затылования метчиков.

ОШ - Оршанский станкостроительный завод. ОШ-78- специальный плоскошлифовальный станок (для шлифования Т-образных пазов в корпусе токарных патронов).

В современных условиях наблюдается тенденция отхода от системы, разработанной ЭНИМС. В обозначениях моделей универсальных станков также присутствуют буквы, указывающие на производителя, как и при обозначении специальных и специализированных станков.

По степени универсальности станки подразделяются на универсальные, специализированные и специальные.

1. Универсальные (общего назначения) станки предназначены для выполнения различных операций при обработке различных деталей (токарно-винторезные, карусельные, горизонтальные фрезерные и др.). Применяются в мелкосерийном и серийном производствах.

2. Специализированные станки предназначены для обработки деталей одного наименования или немногих наименований, похожих по конструкции, но имеющих различные размеры (ступенчатые валы, кольца подшипников качения, муфты и т.п.). Используются главным образом с серийным производством.

3. Специальные станки используют для производительной обработки определенной детали в условиях крупносерийного и массового производства.

По степени автоматизации станки подразделяются на:

1. Станки с ручным управлением;

2. Полуавтоматы. К полуавтоматам относятся станки, в которых процесс обработки осуществляется по автоматическому циклу, но часть движений выполняется вручную (обычно вспомогательные движения по установке заготовки и снятию готовой детали).

3. Автоматы – станки, в которых все движения автоматизированы.

В зависимости от массы станки подразделяются на

1. Легкие (до 1 тонны);

2. Средние (1–10 тонн);

3. Тяжелые (10–100 тонн);

4. Уникальные (свыше 100 тонн).

По точности (ГОСТ 8-82Е) станки подразделяются на классы точности:

– нормальной Н,

– повышенной П,

- высокой В,
- особо высокой А,
- особо точные станки С.

Основную массу составляют станки нормальной точности. Точность обработки деталей достигает 7 качества.

Станки повышенной точности изготавливаются на базе станков нормальной точности и отличаются более точным исполнением. Предъявляются более высокие требования к качеству изготовления основных узлов и деталей станка (шпиндель и его опоры, направляющие, ходовые винты). Отклонение при обработке деталей на этих станках составляет 0,6 от отклонений, полученных при обработке на станках нормальной точности.

Высокая точность станков достигается особенностями конструкции отдельных узлов станка, высоким качеством изготовления узлов и условиями эксплуатации. Отклонения при обработке деталей на этих станках составляет 0,4 от отклонений, полученных при обработке на станках нормальной точности.

Станки особо высокой точности изготавливаются на базе станков высокой точности, но с более жесткими требованиями по точности изготовления отдельных деталей и сборки станка. Отклонения при обработке на станках особо высокой точности составляет 0,25 от отклонений, полученных при обработке на станках нормальной точности.

Особо точные станки изготавливаются индивидуально. Используются они при изготовлении особо точных деталей: делительных колес и дисков, эталонных колес, точных ходовых винтов и др. Отклонения при обработке деталей на этих станках составляет 0,16 от отклонений, полученных при обработке на станках нормальной точности.

Класс точности станка обозначается соответствующей буквой в конце шифра модели станка (кроме станков нормальной точности).

16K20 – станок нормальной точности.

16K20П – станок повышенной точности.

Размерные ряды

Станки наиболее распространенных технологических групп образуют размерные ряды. В размерном ряду станки подобны между собой по конструкции и кинематической структуре. За каждым станком закреплен определенный размер обрабатываемых деталей. Так для станков токарной группы размерный ряд станков состоит из 12 типоразмеров с наибольшим диаметром обработки – 250, 320, 400, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3200, 4000 мм. Для круглошлифовальных станков предусмотрено 6 размеров с максимальным диаметром обработки от 100 до 800 мм.

Размерные ряды позволяют подобрать оптимальный по размерам станок для обработки конкретной детали, чтобы рационально использовать его возможности.

2. ФОРМООБРАЗОВАНИЕ НА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКАХ. МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОИЗВОДЯЩИХ ЛИНИЙ.

Тела деталей машин представляют собой геометрические фигуры, ограниченные геометрическими поверхностями, образованными при обработке (плоскости, цилиндрические, конические и т.д.). Любую поверхность можно представить как след движения одной линии (образующей) по другой линии (направляющей). Обе эти линии, образующая и направляющая, являются производящими (рис. 2.1).

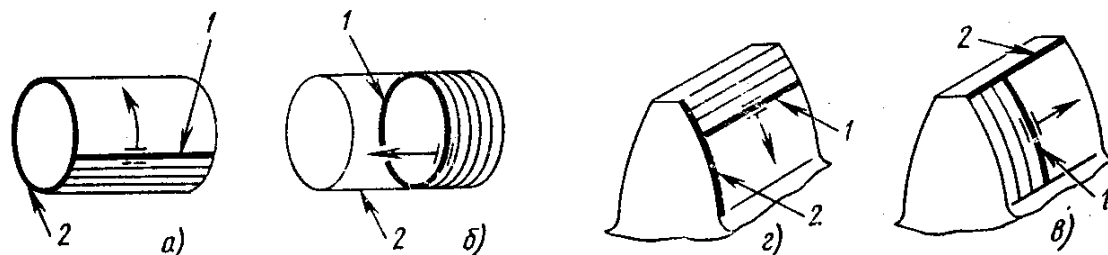


Рис. 2.1. Образование поверхностей
1- образующая линия, 2 – направляющая линия

С геометрической точки зрения процесс образования поверхности сводится к осуществлению движения одной производящей линии по другой за счет согласования движений инструмента и заготовки. Производящие линии на станках образуются материальными точками и линиями режущих кромок инструментов.

Движение инструмента и заготовки с целью получения производящих линий называются формообразующими. Формообразующие движения могут быть простыми (вращение или поступательное движение) и сложными. Сложное формообразующее движение состоит из нескольких простых.

При обработке поверхности резанием используют четыре метода получения производящих линий.

1. Метод копирования.

При использовании метода копирования производящая линия получается в виде копии формы кромки режущего инструмента (рис. 2.2,а). Реализуется при обработке на станках фасонным инструментом, широким резцом. Для получения производящей линии 1 данным методом не требуется формообразующего движения.

2. Метод следа.

Производящая линия получается как след движения вершины режущего инструмента (рис. 2.2,б). Для получения производящей линии необходимо одно формообразующее движение. Оно может быть простым или сложным.

3. Метод обката.

Производящая линия получается в виде огибающей ряда последовательных положений инструмента в результате его движения относительно детали

(рис. 2.2,в). Для получения производящей линии необходимо одно сложное формообразующее движение, например, вращение заготовки и инструмента.

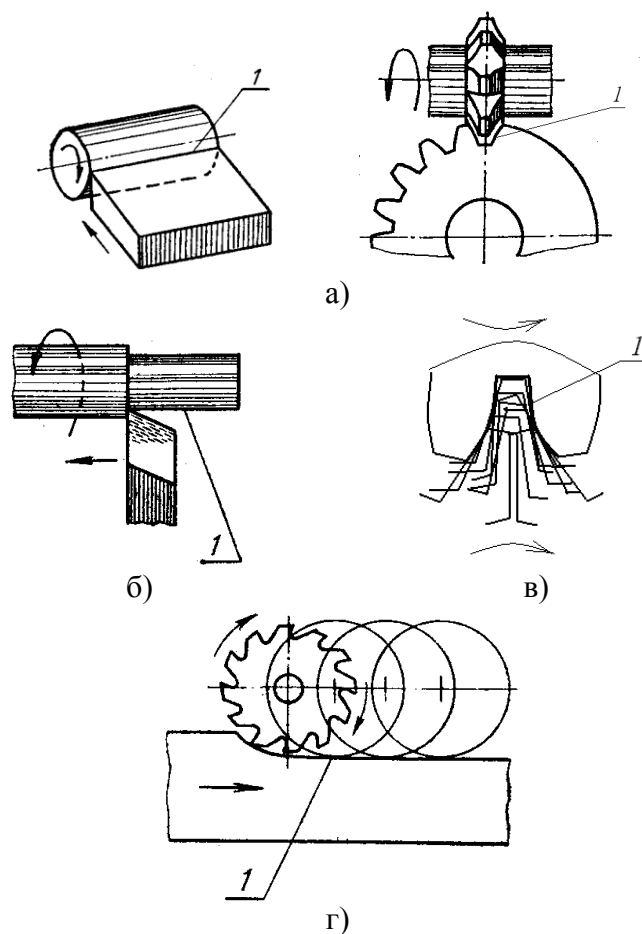


Рис. 2.2. Методы образования производящих линий
 а – копирования; б – следа; в – обката; г – касания

4. Метод касания.

Производящая линия образуется в виде огибающей мест касания множеством режущих точек вращающегося инструмента в результате относительного движения оси вращения инструмента и заготовки (рис. 2.2,г). Используется метод при фрезеровании или шлифовании деталей. Для получения производящей линии 1 необходимо два движения: вращательное движение инструмента и поступательное движение заготовки.

При обработке поверхности на станках происходит непрерывное образование обеих производящих линий. Каждая производящая линия получается одним из перечисленных методов. Следовательно, для получения поверхности необходимо сочетание двух из названных методов. Эти методы для получения образующей и направляющей линий могут быть одинаковыми.

При получении фасонных поверхностей фасонными резцами образующая линия обеспечивается методом копирования, а направляющая – методом следа. Для обработки требуется одно формообразующее движение – вращение заго-

товки. Образующая обеспечивается за счет режущей кромки инструмента, движение формообразования не требуется.

При обработке цилиндрической поверхности резцом – образующая окружность и прямая направляющая линии получаются методом следа. Требуется два формообразующих движения.

При фрезеровании плоскости образующая линия получается по методу копирования, а направляющая – по методу касания.

3. КИНЕМАТИКА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

3.1. Виды движений в станках. Кинематические группы.

Все движения в станках называются исполнительными и делятся на:

- формообразующие (резания);
- установочные;
- делительные;
- управления;
- вспомогательные.

Движения резания подразделяются на главное движение и движение подачи.

Главное движение обеспечивает срезание стружки с заготовки с определенной скоростью резания. Движение подачи позволяет подвести под кромку режущего инструмента последующие участки заготовки и обеспечивает снятие стружки по всей поверхности.

Установочные движения обеспечивают установку заготовки и инструментов в положение, необходимое для получения заданного размера. Установочное движение, осуществляемое без снятия стружки, называется наладочным. Оно выполняется до процесса формообразования. Наладочные движения осуществляются, к примеру, на сверлильных и расточных станках при переходе от одного отверстия к обработке другого, при установке на глубину резания на токарных станках. Если установочное движение сопровождается процессом снятия стружки, т.е. оно выполняется одновременно с процессом формообразования, то такое движение называется движением врезания. Движение врезания применяется при обработке канавки - это перемещение на глубину канавки.

Делительное движение – движение заготовки для переноса процесса формообразования в новую зону. Обычно это поворот заготовки на заданный угол.

Делительные движения могут быть непрерывными и прерывистыми. Примером непрерывного делительного движения является вращение заготовки при обработке зубчатого колеса по методу обката. Прерывистое делительное движение осуществляется при обработке зубчатого колеса по методу копирования, при делении заготовки на части при помощи УДГ и т.д.

Вспомогательные движения служат для выполнения действий, способствующих реализации движений формообразования, установочных и делитель-

ных движений. Это движения связанные с ускоренными перемещениями узлов, с работой зажимных устройств, поворотных механизмов, механизмов смены инструмента и т.д.

Движения управления предназначены для координации всех движений на станке. Они имеют место обычно в станках с цикловым характером обработки (автоматы, полуавтоматы). Управление на таких станках выполняется с помощью кулачков, упоров, конечных выключателей, командоаппаратов.

Каждое исполнительное движение в станках осуществляется кинематической группой, представляющей собой совокупность источника движения, исполнительного органа, кинематических связей и органов настроек, обеспечивающих требуемые параметры движения. Структура кинематической группы может быть различной и зависит от характера осуществляемого движения, числа исполнительных органов, потребности регулирования параметров движения.

В качестве источника движения используются электродвигатели переменного или постоянного тока, в гидравлических приводах – гидронасосы.

Под исполнительными органами понимаются подвижные конечные звенья кинематической группы, осуществляющие исполнительное движение. Исполнительные органы, осуществляющие движение инструмента или заготовки в процессе формообразования, называются рабочими. К рабочим органам относятся стол, шпиндель, суппорт, ползун и т.п. В большинстве случаев исполнительные органы совершают вращательное и прямолинейное движения.

Кинематические связи могут быть внутренними и внешними. Под внутренней кинематической связью группы понимают совокупность кинематических звеньев и их соединений, обеспечивающих качественную характеристику движения, т.е. определенную траекторию движения. В простых кинематических группах внутренняя кинематическая связь осуществляется соединением двух соприкасающихся звеньев исполнительной группы, одним из которых является сам исполнительный орган, например, вращающийся шпиндель 1 в бабке 2 (рис. 3.1,а).

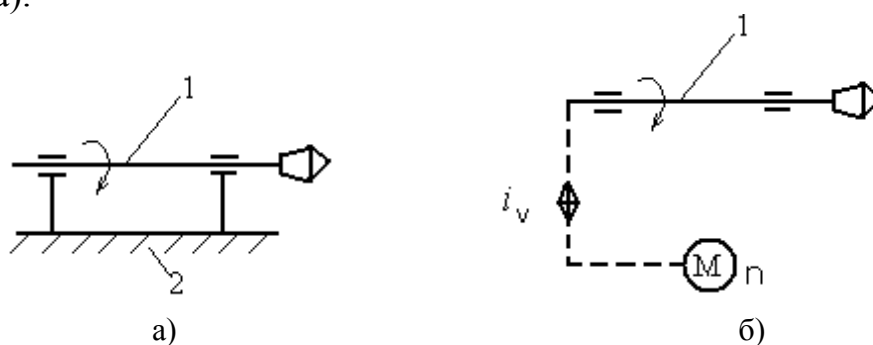


Рис. 3.1. Кинематические связи
а - внутренняя; б – внешняя

В сложных кинематических группах с двумя и более исполнительными органами внутренняя кинематическая связь связывает подвижные исполнитель-

ные органы группы и обеспечивает согласованность их перемещений или скоростей.

Под внешней кинематической связью понимают совокупность кинематических звеньев и их соединений, обеспечивающих количественную характеристику движения, т.е. скорость, направление движения и путь. Обычно внешняя кинематическая связь определяет связь между исполнительным органом станка 1 и источником движения М (рис. 3.1,б). Внешняя кинематическая связь предназначена для передачи энергии от источника движения во внутреннюю связь группы.

Органом настройки i_v производят кинематическую настройку группы на заданную скорость исполнительного движения при определенной частоте вращения электродвигателя. В качестве органа настройки используют коробки скоростей и подач, сменные зубчатые колеса, ременные передачи со сменными шкивами.

Кинематические связи условно изображают схемами, которые называют структурными (рис. 3.2). В структурных схемах кинематические связи обозначают штриховой линией, а органы настройки – ромбами.

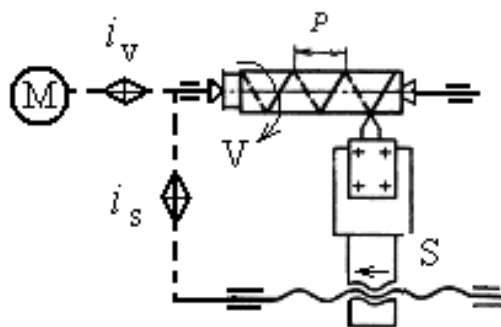


Рис. 3.2. Структурная схема токарно-винторезного станка

На рисунке приведена структурная схема токарно-винторезного станка. Она состоит из внешней кинематической связи, настраиваемой органом настройки i_v и внутренней кинематической связи между исполнительными органами с органом настройки i_s .

3.2. Виды регулирования скорости движения

Для получения наиболее выгодных условий при обработке заготовок из различных материалов инструментами с разными режущими свойствами необходимо обеспечить оптимальные режимы резания, для чего на станке устанавливают необходимые частоту вращения шпинделя (или частоту двойных ходов) и подачу. Для станков с главным вращательным движением скорость резания зависит от частоты вращения шпинделя n и диаметра заготовки или инструмента d :

$$V = \frac{\pi dn}{1000}, \text{ м/мин.}$$

Частота вращения шпинделя определяется как

$$n = \frac{1000V}{\pi d}, \text{ мин}^{-1}.$$

Ряд станков имеет прямолинейное главное движение рабочего органа в двух направлениях. Рабочий и обратный ход составляют двойной ход.

Время на один двойной ход состоит из времени на рабочий ход $t_{\text{раб}}$ времени на обратный ход $t_{\text{обр}}$:

$$t_{\text{дв.х}} = t_{\text{раб}} + t_{\text{обр}} = \frac{L}{V_{\text{раб}}} + \frac{L}{V_{\text{обр}}} = L \frac{V_{\text{раб}} + V_{\text{обр}}}{V_{\text{раб}} \cdot V_{\text{обр}}}, \text{ мин.}$$

где L —длина рабочего хода, $V_{\text{раб}}$ и $V_{\text{обр}}$ — скорости рабочего и холостого ходов. Частота двойных ходов определяется как

$$n_{\text{дв.х}} = \frac{1}{t_{\text{дв.х}}} = \frac{V_{\text{раб}} \cdot V_{\text{обр}}}{L(V_{\text{раб}} + V_{\text{обр}})}, \text{ дв.х/мин.}$$

Изменение режимов резания называется регулированием. Существуют два способа регулирования: ступенчатое и бесступенчатое.

При ступенчатом регулировании может быть получен ряд определенных значений регулируемого параметра в заданном диапазоне. Бесступенчатое регулирование позволяет установить любую величину скорости резания или подачи.

На металлорежущих станках применяются следующие способы бесступенчатого регулирования:

1. Электрическое регулирование. Осуществляется путем изменения частоты вращения вала электродвигателя. Для этого применяют регулируемые электродвигатели постоянного и переменного тока. Электрическое бесступенчатое регулирование может применяться как в приводах главного движения, так и в приводах подачи.

2. Гидравлическое регулирование. Применяется главным образом для осуществления прямолинейных движений. Изменение скорости движения рабочего органа станка осуществляется изменением количества масла, поступающего в силовой цилиндр или выходящего из него.

3. Механическое регулирование. Механическое регулирование осуществляется при помощи различных механизмов, обычно фрикционных вариаторов.

В приводах со ступенчатым регулированием ряд частот вращения и подач подчиняется законам геометрической прогрессии. Рассмотрим на примере привода главного движения. Если

$$\begin{aligned}n_1 &= n_{\min}, \text{ то} \\n_2 &= n_1 \cdot \varphi, \\n_z &= n_2 \cdot \varphi = n_1 \cdot \varphi^2.\end{aligned}$$

Таким образом

$$n_z = n_1 \cdot \varphi^{z-1},$$

где φ – знаменатель геометрического ряда.

Из предыдущей формулы можно определить значение φ :

$$\varphi = \sqrt[z-1]{\frac{n_z}{n_1}}$$

Значение знаменателей ряда φ нормализовано, это позволяет нормализовать ряды частот вращения и подач. Знаменатель геометрического ряда может иметь значения:

$$1,06; 1,12; 1,26; 1,41; 1,58; 1,78; 2.$$

Отношение максимальной частоты вращения к минимальной называется диапазоном регулирования:

$$D = \frac{n_{\max}}{n_{\min}}.$$

Следовательно $\varphi = \sqrt[z-1]{D}$.

Привод со ступенчатым регулированием характеризуется относительной потерей скорости, т.е. потерей скорости при переходе от частоты вращения n_z к n_{z-1}

$$A = \frac{n_z - n_{z-1}}{n_z} \cdot 100\% = \left(1 - \frac{n_{z-1}}{n_z}\right) \cdot 100\% = \left(1 - \frac{1}{\varphi}\right) \cdot 100\%.$$

Из формулы следует, что при увеличении значения φ увеличивается и относительная потеря скорости.

3.3. Принципы нормализации значений знаменателя геометрического ряда

В основу нормализации значений знаменателя геометрического ряда φ положены три принципа.

1. Возможность получения различных рядов частот вращения из основного ряда с $\varphi_1 = \varphi_{\min}$. Последующие ряды частот вращения получаются, если в предыдущем ряду выбирать значения частот через одно (рис. 3.3).

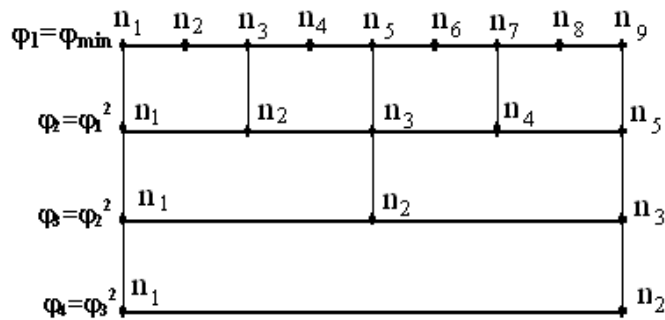


Рис. 3.3. Размерные ряды в логарифмическом масштабе

2. Принцип удешагерения. Если в ряду имеется значение n_1 , то через x ступеней найдется частота n_{x+1} в десять раз больше данной

$$n_{x+1} = 10 \cdot n_1$$

Используя знаменатель ряда φ можно данную запись представить как

$$n_1 \cdot \varphi^x = 10 \cdot n_1$$

Отсюда следует, что, во-первых

$$\varphi = \sqrt[x]{10},$$

во-вторых, достаточно построить таблицу частот вращения до десяти, а остальные значения частот получаются путем умножения имеющихся значений на 10, 100, 1000 и т.д.

3. Принцип удвоения. Если в ряду имеется значение n_1 , то через y ступеней найдется частота n_{y+1} в два раза больше данной

$$n_{y+1} = 2 \cdot n_1$$

Используя знаменатель ряда φ можно данную запись представить как

$$n_1 \cdot \varphi^y = 2 \cdot n_1.$$

Отсюда следует, что,

$$\varphi = \sqrt[y]{2}.$$

Этот принцип позволяет использовать двухскоростные двигатели переменного тока, у которых обычно отношение максимальной частоты вращения к минимальной равно 2:1, например 1500/750.

Из двух последних принципов имеем, что

$$\varphi = \sqrt[x]{10} = \sqrt[y]{2}.$$

Прологарифмировав выражение, получим

$$\lg \varphi = \frac{1}{x} \lg 10 = \frac{1}{y} \lg 2, \text{ или } y \approx 0,3x$$

Для основного ряда принято значение

$$\varphi_{\min} = \sqrt[40]{10} = \sqrt[12]{2} = 1,06$$

Расчеты значений φ приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Стандартные значения знаменателя геометрического ряда

φ	1,06	1,12	1,26	1,41	1,58	1,78	2
x	40	20	10	20/3	5	4	20/6
y	12	6	3	2	1,5	1,2	1
$A = \left(1 - \frac{1}{\varphi}\right) \cdot 100\%$	5	10	20	30	40	45	50

Применение рассмотренных выше принципов нормализации значений знаменателя геометрического ряда, и полученных значений φ позволило нормализовать ряды чисел частот вращения, подач, размеров и других параметров (табл. 3.2). Т.е. каждому знаменателю геометрического ряда соответствует определенный ряд стандартных частот вращения шпинделя. Частоты вращения шпинделей могут отличаться от стандартных значений не более $\pm 10(\varphi - 1)\%$.

Таблица 3.2

Нормальные ряды чисел в станкостроении

Знаменатель геометрического ряда							Знаменатель геометрического ряда						
1,06	1,12	1,26	1,41	1,58	1,78	2	1,06	1,12	1,26	1,41	1,58	1,78	2
1	1	1	1	1	1	1	3,35						
1,06							3,55	3,55					
1,12	1,12						3,75						
1,18							4	4	4	4	4		4
1,25	1,25	1,25					4,25						
1,32							4,5	4,5					
1,4	1,4		1,4				4,75						
1,5							5	5	5				
1,6	1,6	1,6		1,6			5,3						
1,7							5,6	5,6		5,6		5,6	
1,8	1,8				1,8		6						
1,9							6,3	6,3	6,3		6,3		
2	2	2	2			2	6,7						
2,12							7,1	7,1					
2,24	2,24						7,5						
2,36							8	8	8	8			8
2,5	2,5	2,5		2,5			8,5						
2,65							9	9					
2,8	2,8		2,8				9,5						
3,0							10	10	10		10	10	
3,15	3,15	3,15			3,15		10,6						

Ряды чисел менее 1 и более 10 получаются делением или умножением табличных данных на 10, 100, 1000 и т.д.

3.4. Кинематические схемы станков

Кинематическая схема металлорежущего станка – это условное изображение кинематических цепей в одной плоскости (плоскости чертежа).

Кинематической цепью называют совокупность кинематических звеньев (пар), передающих движение от начального звена к конечному, например, от электродвигателя к шпинделю. Кинематическая цепь станка состоит из различных передач: зубчатых, реечных, ременных, червячных и др., расположенных в определённой последовательности. Условные обозначения элементов кинематических цепей на схемах предусмотрены ГОСТ 2.770 – 68 (табл. 3.3).

Кроме изображения кинематических звеньев на кинематической схеме указывают число зубьев зубчатых и червячных колёс, число заходов винтов, диаметры шкивов, частоту вращения электродвигателя, его мощность и др. (рис. 3.4).

Таблица 3.3

Условные обозначения элементов кинематических цепей на схемах

Наименование элемента	Условное обозначение	Наименование элемента	Условное обозначение
Вал, ось, стержень Неподвижное звено Неподвижное соединение детали с валом		Подшипники скольжения и качения (без уточнения типа): а) радиальный; б) упорный Подшипники скольжения: в - радиальный; г) радиально-упорный односторонний; д) радиально-упорный двусторонний Подшипники качения: е) радиальный ж) радиально-упорный односторонний з) радиально-упорный двусторонний и) упорный односторонний к) упорный двусторонний	а) б) в) г) д) е) ж) з) и) к)
Муфты: а) общее обозначение; нерасцепляемые (неуправляемые); б) упругая; в) компенсирующая; сцепляемая (управляемая); г) общее обозначение д) односторонняя е) двухсторонняя; ж) сцепляемая электрическая; з) автоматическая (самодействующая), общее обозначение	а) б) в) г) д) е) ж) з)	Тормоз. Общее обозначение без уточнения типа	
Ременные передачи: а) без уточнения типа ремня; б) плоским ремнём; в) клиновидным ремнём	а) б) в)	Шкив ступенчатый, закреплённый на валу	
Зубчатые передачи: а) с цилиндрическими колёсами б) с коническими колёсами в) червячная передача	а) б) в)	Кулачки: плоский вращающийся; цилиндрический	
		Передачи винт с гайкой: а) неразъемной; б) разъемной; в) неразъемной с шариками	а) б) в)
		Передача цепью. Общее обозначение без уточнения типа	
Реечная зубчатая передача (без уточнения типа зубьев)		Храповый зубчатый механизм односторонний с наружным зацеплением	
		Мальтийский механизм с наружным зацеплением	

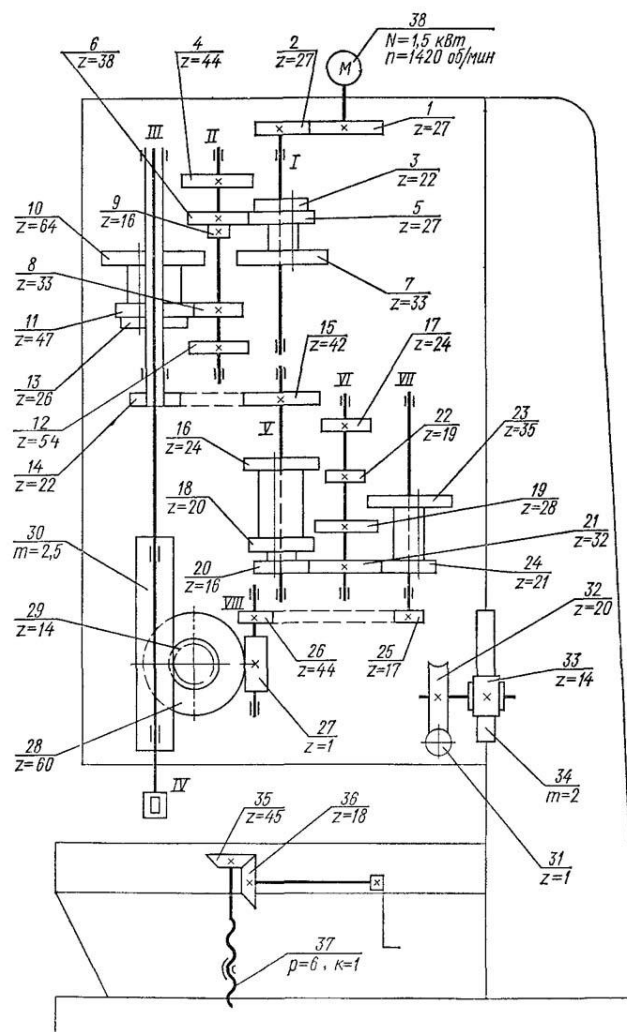


Рис. 3.4. Кинематическая схема вертикально-сверлильного станка модели 2Н118

Основным кинематическим параметром передачи вращательного движения является передаточное отношение i , которое определяется как отношение частоты вращения ведомого звена к частоте вращения ведущего звена передачи. Из этого отношения выводятся формулы для определения передаточных отношений различных передач. Передаточное отношение выражается отношением диаметров шкивов для ременной передачи $i = \frac{d_1}{d_2}$, отношением чисел зубьев колёс зубчатых передач $i = \frac{z_1}{z_2}$, отношением числа заходов червяка к числу зубьев червячного колеса червячной передачи $i = \frac{k}{z}$ и т.д.

Передаточное отношение выражается отношением диаметров шкивов для ременной передачи $i = \frac{d_1}{d_2}$, отношением чисел зубьев колёс зубчатых передач $i = \frac{z_1}{z_2}$, отношением числа заходов червяка к числу зубьев червячного колеса червячной передачи $i = \frac{k}{z}$ и т.д.

Передаточное отношение выражается отношением диаметров шкивов для ременной передачи $i = \frac{d_1}{d_2}$, отношением чисел зубьев колёс зубчатых передач $i = \frac{z_1}{z_2}$, отношением числа заходов червяка к числу зубьев червячного колеса червячной передачи $i = \frac{k}{z}$ и т.д.

Передаточное отношение выражается отношением диаметров шкивов для ременной передачи $i = \frac{d_1}{d_2}$, отношением чисел зубьев колёс зубчатых передач $i = \frac{z_1}{z_2}$, отношением числа заходов червяка к числу зубьев червячного колеса червячной передачи $i = \frac{k}{z}$ и т.д.

Передаточное отношение выражается отношением диаметров шкивов для ременной передачи $i = \frac{d_1}{d_2}$, отношением чисел зубьев колёс зубчатых передач $i = \frac{z_1}{z_2}$, отношением числа заходов червяка к числу зубьев червячного колеса червячной передачи $i = \frac{k}{z}$ и т.д.

$$H = t \cdot z = \pi \cdot m \cdot z, \text{ мм},$$

где t – шаг зубьев рейки, $t = m\pi$, мм; z – число зубьев реечного колеса; m – модуль реечной передачи, мм.

Для передачи винт-гайка величина прямолинейного перемещения гайки за один оборот винта равна

$$H = P \cdot k, \text{ мм},$$

где P – шаг винта, мм; k – число заходов винта.

3.5. Кинематическая настройка станка

Под кинематической настройкой станка понимают настройку его цепей, обеспечивающую требуемые скорости движений исполнительных органов станка, а также при необходимости согласование перемещений или скоростей исполнительных органов между собой. Согласование движений исполнительных органов необходимо для получения деталей заданной формы и размеров. Настройкой обеспечивается установка скоростей главного движения, подачи и других перемещений. Методика настройки кинематических цепей металлорежущих станков разработана Г.М.Головиным.

Кинематическая настройка цепей состоит из следующих этапов:

1. Определяются конечные звенья каждой цепи и записываются расчетные перемещения. При расчете движений конечных звеньев цепи перемещение одного из них принимают за исходное. Перемещение другого конечного звена должно иметь при этом определенную величину. Такие перемещения конечных звеньев кинематической цепи, из которых одно принято исходным, а другое – вычисляемым, называются расчетными перемещениями.

В цепи главного вращательного движения начальным звеном является электродвигатель, конечным – шпиндель. Расчетные перемещения запишутся:

$$n \text{ оборотов электродвигателя (мин}^{-1}\text{)} \rightarrow n \text{ оборотов шпинделя (мин}^{-1}\text{)}.$$

Частота вращения электродвигателя является исходным перемещением, а частота вращения шпинделя – вычисляемым.

Для цепи подачи токарного станка расчетные перемещения имеют вид:

$$1 \text{ оборот шпинделя} \rightarrow S \text{ мм перемещения суппорта.}$$

2. Составляются уравнения кинематического баланса цепей. Уравнение, связывающее перемещения конечных звеньев цепи, называется уравнением кинематического баланса (УКБ).

В общем случае УКБ, связывающее вращательные движения конечных звеньев цепи, запишется

$$n_H \cdot i_{\text{общ}} = n_K,$$

где n_H и n_K - частоты вращения начального и конечного звеньев цепи, $i_{\text{общ}}$ – общее передаточное отношение всей цепи.

$$i_{\text{общ}} = i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \cdot \dots \cdot i_n.$$

УКБ для цепи, обеспечивающей прямолинейное движение конечного звена цепи, запишется как

$$n_H \cdot i_{\text{общ}} \cdot H = S_K,$$

где S_K – величина подачи конечного звена цепи, H – ход, механизма, преобразующего вращательное движение в поступательное, мм.

3. Из УКБ выводится формула настройки, по которой находится передаточное отношение органа настройки.

Рассмотрим кинематическую настройку на примере токарно-винторезного станка, упрощенная кинематическая схема которого приведена на рис. 3.5.

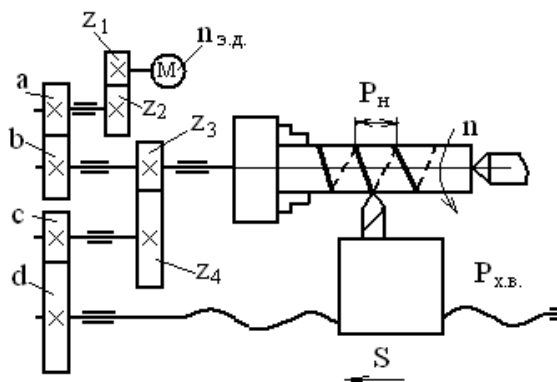


Рис. 3.5. Упрощенная кинематическая схема токарно-винторезного станка

Данная кинематическая схема имеет две кинематические цепи: цепь главного движения и цепь нарезания резьбы.

Цепь главного движения связывает вращение электродвигателя и вращение шпинделя. Расчетные перемещения запишутся

$$n_{\text{эл.дв.}} \rightarrow n_{\text{шп.}}$$

Уравнение кинематического баланса цепи

$$n_{\text{э.д.}} \cdot \frac{Z_1}{Z_2} \cdot \frac{a}{b} = n.$$

Кинематическая цепь главного движения настраивается гитарой сменных зубчатых колес a и b . Выведем формулу настройки

$$i_{\text{см}} = \frac{a}{b} = \frac{n}{n_{\text{э.д.}}} \cdot \frac{Z_2}{Z_1}.$$

Подставляем в формулу имеющиеся данные и величину частоты вращения шпинделя n и рассчитываем требуемую величину передаточного отношения гитары зубчатых колес. Из набора колес, прилагаемого к станку, подбираем зубчатые колеса a и b , передаточное отношение которых будет равно или близко к рассчитанному передаточному отношению.

Винторезная цепь связывает вращение шпинделя с перемещением суппорта. Для получения резьбы необходимо за один оборот шпинделя суппорт переместить на величину шага нарезаемой резьбы $P_{\text{н}}$. Расчетные перемещения, учитывая данное условие, запишутся

$$1_{\text{об. шп.}} \rightarrow P_{\text{н}}, \text{ мм.}$$

Уравнение кинематического баланса винторезной цепи

$$1_{\text{об.шп.}} \cdot \frac{Z_3}{Z_4} \cdot \frac{c}{d} \cdot P_{\text{х.в.}} = P_{\text{н}}.$$

Цепь также настраивается гитарой зубчатых колес. Поэтому формулу настройки выводим для расчета передаточного отношения гитары

$$i_{\text{см}} = \frac{c}{d} = \frac{P_{\text{н}}}{P_{\text{х.в.}}} \cdot \frac{Z_4}{Z_3}.$$

4. ТИПОВЫЕ ДЕТАЛИ И УЗЛЫ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

4.1. Базовые детали металлорежущих станков. Конструкции станин

Необходимое расположение инструмента относительно заготовки в процессе обработки обеспечивается несущей системой станка, которая представляет совокупность базовых деталей между инструментом и заготовкой. К таким деталям относятся корпусные детали (станины, основания, стойки, корпуса

шпиндельных бабок и др.), каретки, суппорты, траверсы, ползуны и др. (рис. 4.1).

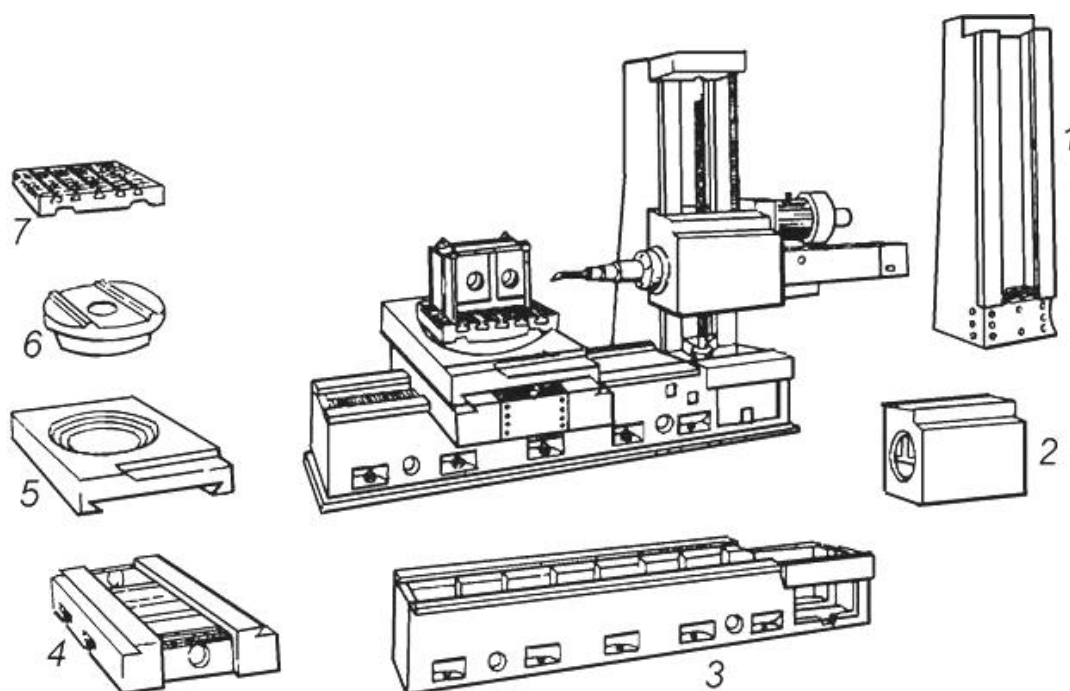


Рис. 4.1. Базовые детали горизонтального расточного станка
1 – стока; 2 – шпиндельная бабка; 3 – станина; 4 – нижние салазки; 5 – верхние салазки;
6 – поворотный стол; 7 – монтажная плита

К базовым деталям станка предъявляют следующие требования:

- высокая точность изготовления ответственных поверхностей, обеспечивающих требуемую геометрическую точность;
- высокая жесткость;
- хорошие демпфирующие свойства;
- малые температурные деформации;
- долговечность, т.е. способность сохранять первоначальную точность.

Вышеперечисленные требования обеспечиваются выбором материала и его обработки. Основным материалом для базовых деталей является чугун. Чаще всего применяется чугун Сч15. Он имеет хорошие литейные свойства, мало коробится. Он применяется для изготовления станин, салазок, столов, корпусов и других деталей. При повышенных требованиях к износостойкости направляющих, выполненных за одно целое с базовой деталью, применяют чугун СЧ21, реже СЧ32 и СЧ36. Они имеют хорошую прочность и износостойкость, но плохие литейные качества. Поэтому их затруднительно применять для изготовления деталей сложной формы и крупногабаритных деталей. Используют также легированные чугуны с присадками хрома, никеля, ванадия, магния и других металлов.

Детали, полученные литьем, могут иметь остаточные напряжения, которые снимают различными методами старения:

- естественное старение (6–12 месяцев);
- отжиг при температуре 500–600°С (24–48 ч);
- вибрационное старение на специальных стендах (3–6 ч);
- метод термоударов – быстрое интенсивное нагревание за 15–30 мин.

Литые станины более виброустойчивы, т.к. чугун обладает способностью гасить вибрацию.

В условиях единичного или мелкосерийного производства изготавливают сварные базовые детали из низкоуглеродистых сталей. Сваркой изготавливают детали простой формы. Их более широко применяют в станках, работающих с ударной или с очень большой нагрузкой. При той же жесткости, что и у литых деталей, сварные имеют значительно меньшую массу (модуль упругости стали выше, чем у чугуна). Используется листовой прокат из сталей Ст3 и Ст4.

Для изготовления станин станков, особенно тяжелых, может применяться бетон и железобетон. Они хорошо гасят вибрации, менее чувствительны к колебаниям температуры, но под действием масла, СОЖ могут разрушаться. Поэтому необходима их защита от влаги и масла.

Не боятся действия влаги и масла полимербетоны. Полимербетон состоит из кварца, гранитной или мраморной крошки, которые связываются эпоксидной, акриловой или метакриловой смолами с отвердителем.

Станина является основой станка и предназначена для монтажа подвижных и неподвижных узлов станка. Станина должна обеспечивать правильное взаимное положение и перемещение этих узлов. На станинах крепятся направляющие прямолинейного и кругового движения подвижных узлов станка.

Станины бывают горизонтальными и вертикальными (стойки).

Форма поперечного сечения горизонтальных станин определяется многими факторами:

- расположением направляющих;
- условиями удаления стружки и СОТС;
- условиями размещения резервуаров для смазки и СОТС;
- необходимостью размещения в ней различных механизмов;
- условиями жесткости;
- удобством проведения ремонтных работ.

На рис. 4.2, а представлена станина с одинарными стенками, на рис. 4.2, б – с двойными стенками, которая в 1,3...1,4 раза жестче, чем с одинарными. Применяют станины, в которых отвод стружки происходит через окно в задней стенке (рис. 4.2, в). В станинах с наклонной стенкой направляющие располагаются на разном уровне (рис. 4.2, г). Они имеют высокую жесткость и хорошие условия для отвода стружки. Для повышения жесткости станины выполняются с перегородками и ребрами жесткости.

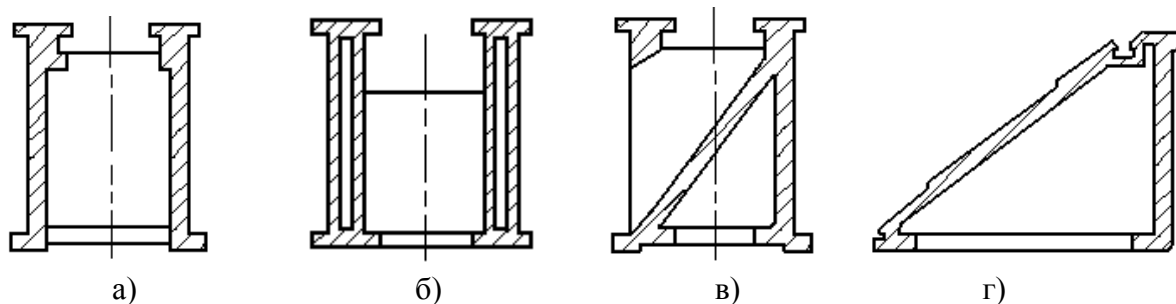


Рис. 4.2. Формы сечения горизонтальных станин

Форма сечения вертикальных станин (стоек) определяется главным образом жесткостью. Наивыгоднейший профиль станины по конструктивным соображениям – сечение в форме полого прямоугольника (рис. 4.3, а) или кольцевого сечения (рис. 4.3, б).

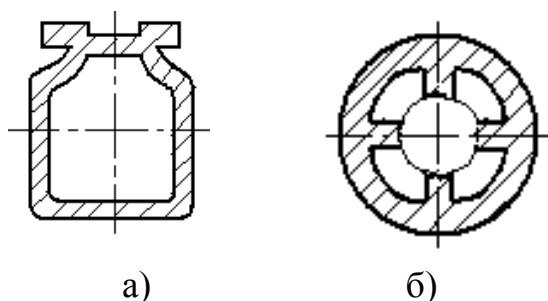


Рис. 4.3. Формы сечения стоек

Стойки с кольцевым сечением применяются обычно в тех случаях, когда необходим поворот узлов станка относительно оси стойки, например, в радиально-сверлильных станках. Во избежание искажения контура сечения стоек их выполняют с перегородками и ребрами жесткости.

Коробчатые базовые детали (шпиндельные бабки, коробки скоростей и подач) предназначены для расположения в них узлов станка и чаще имеют форму параллелепипеда. Жесткость коробок увеличивают путем применения бобышек и ребер жесткости.

Суппорты и салазки предназначены для перемещения инструмента или заготовки и обычно имеют две системы направляющих. Их форма определяется формой и расположением направляющих, габаритами и конструкцией привода подачи.

Столы служат для установки на них заготовок. Они подразделяются на неподвижные и подвижные. Подвижные столы имеют одну систему направляющих, обеспечивающих их перемещение в одном направлении. На рабочих поверхностях столов выполнены параллельные или взаимноперпендикулярные Т-образные пазы для крепления приспособлений.

4.2. Направляющие металлорежущих станков.

Направляющие станков должны обеспечивать правильность траектории движения рабочего органа станка, несущего инструмент или обрабатываемую заготовку. К направляющим предъявляют следующие требования:

- первоначальная точность изготовления, небольшая шероховатость поверхностей и однородность рабочих граней направляющих;
- долговечность направляющих, т.е. способность сохранять в течение срока эксплуатации первоначальную точность;
- малая величина и постоянство сил трения на направляющих;
- жесткость направляющих;
- высокие демпфирующие свойства.

В металлорежущих станках применяются направляющие скольжения (с полужидкостной, жидкостной и газовой смазкой), качения и комбинированные направляющие.

Конструктивные формы направляющих скольжения весьма разнообразны. Они имеют выпуклый (охватываемые направляющие) и вогнутый (охватывающие направляющие) профили (рис. 4.4, 4.5).

Если направляющие имеют выпуклый профиль, то на них плохо удерживается смазка. Такие направляющие применяются при малых скоростях перемещений. Но они проще в изготовлении, и на них не удерживается стружка.

Направляющие, которые имеют внутренний профиль, более пригодны для высоких скоростей скольжения, т.к. хорошо удерживают смазку. Но их нужно хорошо защищать от стружки и грязи.

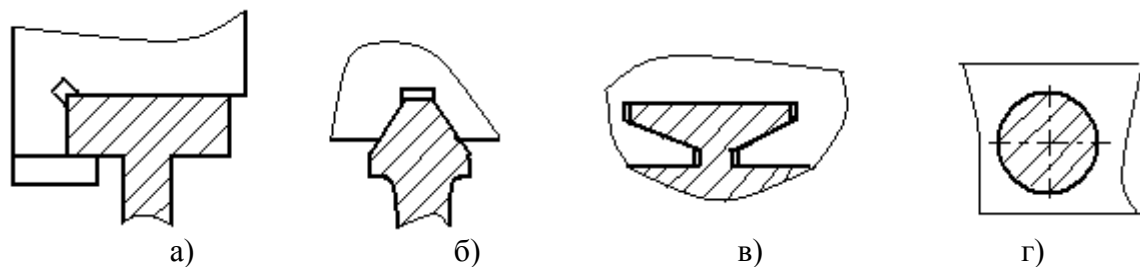


Рис.4.4. Охватываемые направляющие
а – прямоугольные (плоские); б – треугольные; в - «ласточкин хвост»; г - круглые

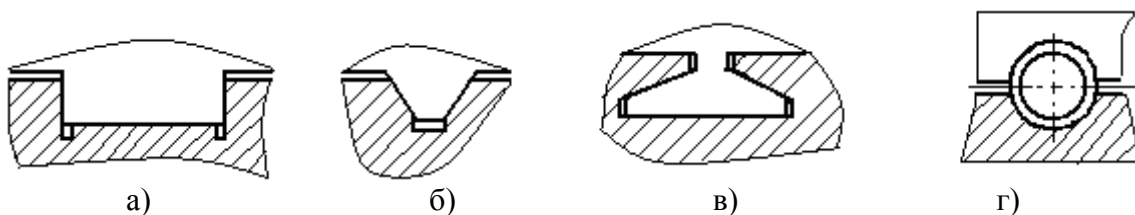


Рис.4.5. Охватывающие направляющие
а – прямоугольные (плоские); б – треугольные; в - «ласточкин хвост»; г – круглые

Часто применяют сочетание направляющих – чаще всего прямоугольных и треугольных направляющих (рис. 4.6). Для восприятия опрокидывающих моментов, они снабжены прижимными планками 1, которые крепятся к каретке станка 2.

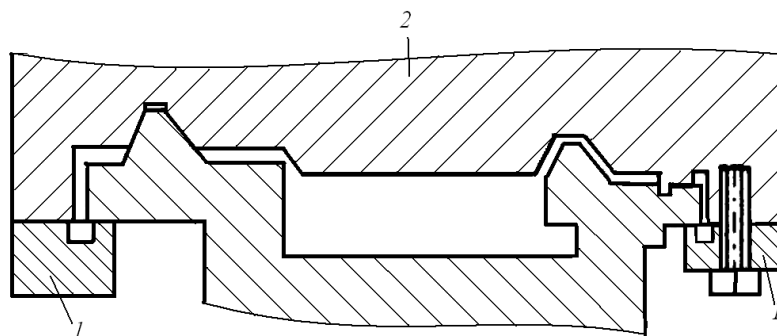


Рис.4.6. Направляющие станка

При изготовлении направляющих важно подобрать соответствующий материал, т.к. он оказывает решающее влияние на износостойкость.

Направляющие из серого чугуна изготавливают как одно целое с базовой деталью. Износостойкость направляющих повышают закалкой ТВЧ, хромированием, напылением слоя молибдена, что позволяет увеличить износостойкость в 2-5 раз.

Стальные направляющие выполняют в виде планок, которые крепят к базовой детали винтами (рис. 4.7, а), приклеиванием (рис. 4.7, б) или тем и другим способом одновременно.

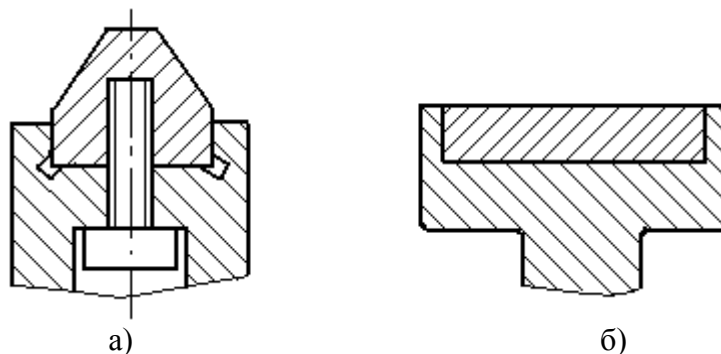


Рис.4.7. Накладные направляющие

Применяют для изготовления направляющих стали 20Х, 20ХНМ, 18ХГТ с последующей цементацией и закалкой, 40ХФ, 38Х2МЮА с азотированием и закалкой.

Цветные сплавы типа бронз (БрОФ10-1) и цинковых сплавов (ЦАМ10-5) в паре со сталью и чугуном дают наилучшие результаты по износостойкости, обладают хорошими антизадирными свойствами. Однако они дороги. Их изредка применяют в тяжелых станках.

Для уменьшения трения в направляющих полужидкостного трения применяют смазки или специальные антифрикционные накладки.

Пластмасс наносится на направляющие методом заливки или приклеиванием накладок в виде лент. Толщина пластмассового слоя 1,5–3 мм. В качестве материала для накладок используется фторопласт. Коэффициент трения

чугун - чугуну – 0,21–0,28;

фторопласт - чугун – 0,09–0,12;

фторопласт - сталь – 0,06–0,08.

В ряде станков применяют направляющие жидкостного трения, чаще - гидростатические, реже – гидродинамические.

В гидростатических направляющих масло под постоянным давлением подается в специальные карманы. Вытекая через зазоры, оно образует масляную подушку по всей площади контакта (рис. 4.8).

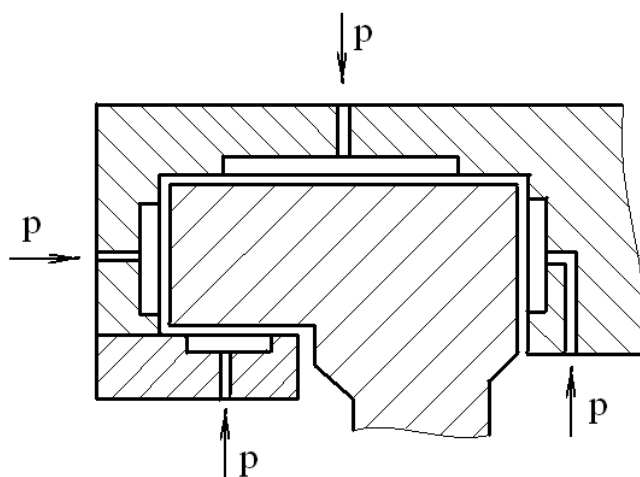


Рис.4.8. Схема гидростатических направляющих

Гидростатические направляющие имеют низкий коэффициент трения, устраняют скачкообразное движение при малых скоростях перемещений (обеспечивают плавность движения), имеют высокую точность перемещений, пренебрежимо малый износ, хорошие демпфирующие свойства. Но гидростатические направляющие требуют дополнительно устройства для циркуляции, сбора и очистки масла, и они менее жестки. Применяют направляющие в станках для обработки точных деталей с малой шероховатостью.

Гидродинамические направляющие имеют простую конструкцию, но хорошо работают лишь при высоких скоростях движения. Гидродинамический эффект (всплывание) подвижного узла создается с помощью пологих клиновых скосов, выполненных на поверхности направляющих (рис.4.9). В сужающиеся зазоры h при движении затягивается масло и обеспечивается разделение трущихся поверхностей.

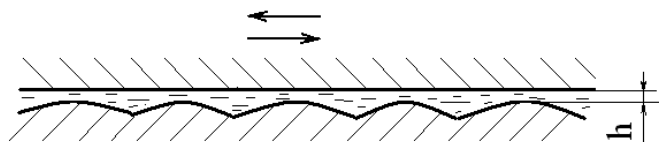


Рис.4.9. Схема гидродинамических направляющих

Аэростатические направляющие применяют в станках, где нагрузки относительно невелики или для выполнения вспомогательных движений. В этих направляющих в зону контакта подается воздух. Станки снабжаются устройствами для очистки, охлаждения и сушки воздуха. Зазор в направляющих должен быть не более 10–15 мкм. Аэростатические направляющие имеют минимальные трения при движении, и надежную фиксацию после прекращения подачи воздуха.

К недостаткам можно отнести невысокую грузоподъемность, невысокую надежность и склонность к автоколебаниям.

Направляющие качения обладают малым коэффициентом трения. Трение скольжения заменяется на трение качения роликов или шариков по закаленным направляющим. Они имеют малый износ при надежной защите от загрязнений. Защита их осуществляется телескопическими щитками, гофрированными экранами и т.д. Устраняется прерывистость движений при малых скоростях, которая на направляющих скольжения вызывается эффектом прилипания.

Шариковые и роликовые направляющие без возврата тел качения применяются для небольших перемещений (до 1м). Тела качения помещают в сепаратор (рис.4.10). При качении они проходят половину пути, на который перемещается рабочий орган станка. Поэтому сепаратор выполняют на половину меньше максимальной длины хода рабочего органа.

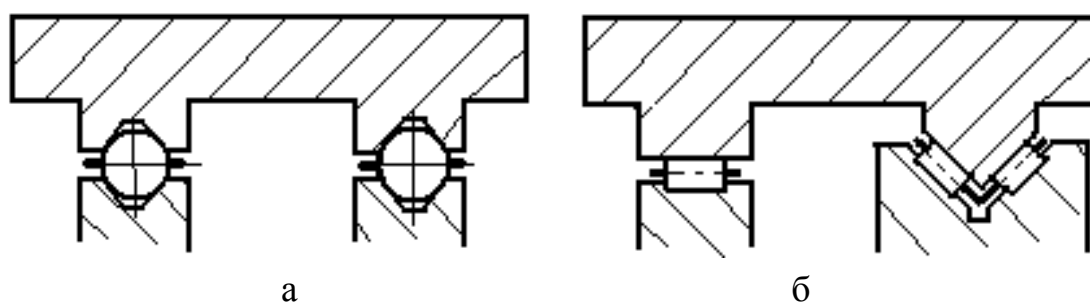


Рис.4.10. Направляющие без возврата тел качения
а – шариковые; б - роликовые

Для больших перемещений применяют направляющие качения, изготовленные в виде отдельного узла – танкеток, в которых тела качения циркулируют по замкнутому контуру (рис.4.11).

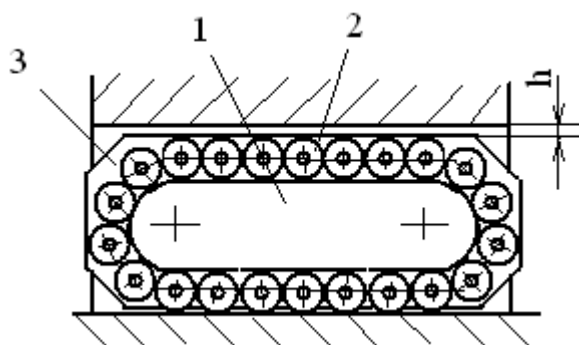


Рис. 4.11. Направляющие с циркуляцией тел качения

Роликовая опора состоит из корпуса 1, роликов 2 и обоймы 3. Опора крепится к подвижному узлу станка винтами. Для возврата роликов при их обкатке по корпусу в верхней части конструкции предусмотрен зазор h между роликами и корпусом перемещающегося узла. К твердости, однородности и качеству обработки рабочих поверхностей предъявляют повышенные требования. Поэтому направляющие из чугуна применяются редко (при небольших нагрузках). Роликовые опоры применяют в паре с накладными направляющими в виде массивных планок из сталей 20Х, 18ХГТ, ШХ9, ШХ15, 9ХС и др., закаленными до твердости не менее HRC60-61. Шероховатость направляющих $Ra=0,63 - 0,16$ мкм.

Направляющие качения широко используются в станках с ЧПУ.

Отрицательной стороной таких направляющих является их высокая стоимость, и они плохо гасят вибрации.

4.3. Шпиндельные узлы металлорежущих станков

Одним из наиболее ответственных узлов станка является шпиндельный узел. Это конечное звено привода главного движения, которое предназначено для крепления инструмента или заготовки и передачи им движения.

Конструкция шпиндельного узла зависит от типов и размеров станка, класса его точности. Она должна быть такой, чтобы вибрации и динамические нагрузки, возникающие от привода и других систем станка, были минимальными.

Конфигурация посадочных поверхностей шпинделей для станков общего назначения стандартизована и зависит от способа крепления инструмента или заготовки (рис. 4.12).

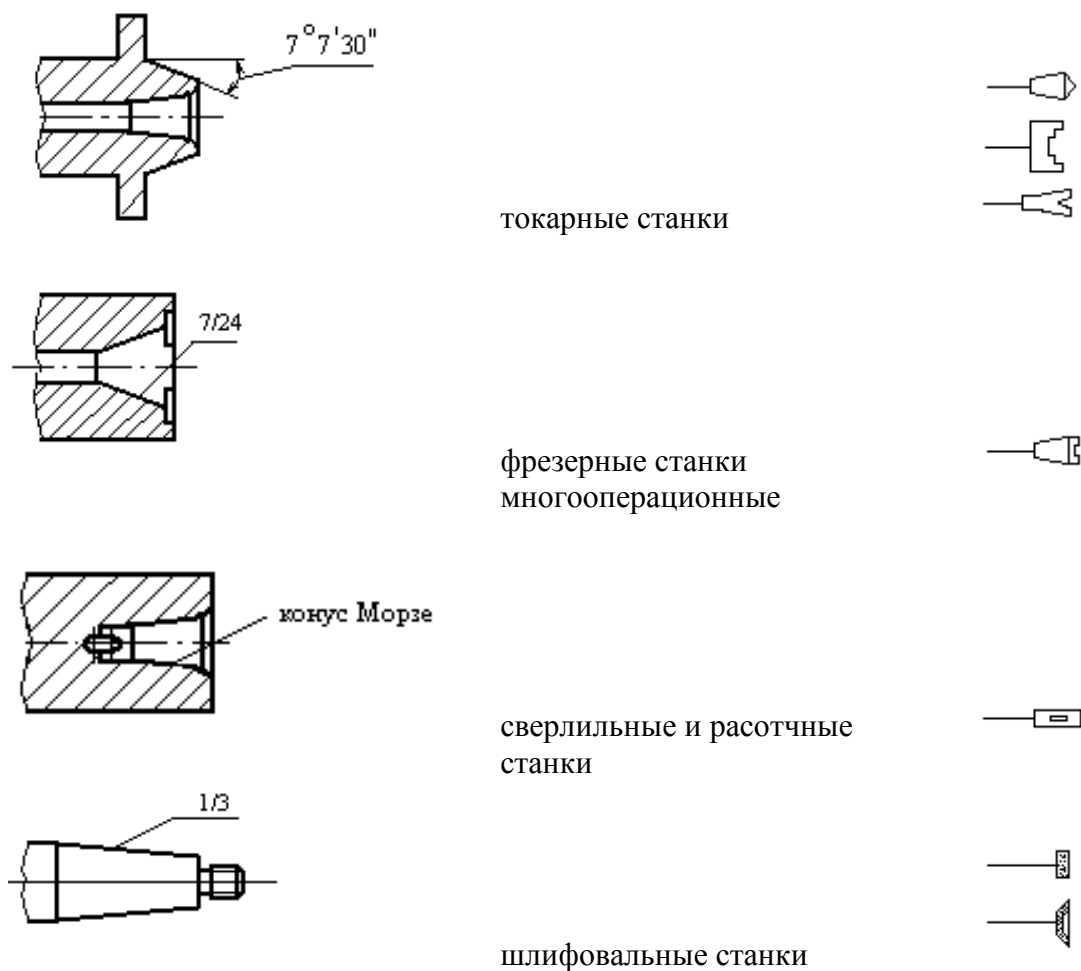


Рис.4.12. Форма посадочных поверхностей шпинделей

От шпинделя зависит точность обработки деталей. Поэтому к шпиндельному узлу предъявляют следующие требования:

1. Высокая точность вращения. Она оценивается радиальным и осевым биением конца шпинделя. Биение станков нормальной точности находится в пределах 0,01-0,03мм

2. Достаточная жесткость, которая определяется деформацией переднего конца шпинделя под нагрузкой. Жесткость зависит от жесткости самого шпинделя и жесткости опор.

3. Виброустойчивость. Определяется амплитудой колебания переднего конца шпинделя. Влияет на шероховатость обработанной поверхности. Для высокоскоростных подшипников важна виброустойчивость опор. Современные прецизионные подшипники качения отвечают требованиям виброустойчивости. Подшипники скольжения обладают способностью гасить вибрацию за счет масляного слоя.

4. Минимальные температурные деформации. Шпиндель находится близко к зоне резания, в которой образуется много тепла.

5. Долговечность. Определяется в основном долговечностью опор. Подшипники качения имеют ограниченный срок службы, зависящий от

частоты вращения шпинделя и нагрузки. Подшипники скольжения изнашиваются, в основном, в период пуска, остановки и реверса шпинделя. Поэтому при редких включениях они могут работать долго.

Эти требования обеспечиваются соответствующим выбором материала и его термообработкой, конструкцией, размерами и компоновкой шпинделя, качеством изготовления, сборки и регулировки.

Средненагруженные шпиндели изготавливают обычно из стали 45 с закалкой и отпуском. При повышенных требованиях применяют сталь 40Х, 38Х2МЮА, 38ХВФЮА (шпиндели быстроходных станков), 20Х с цементацией, закалкой и отпуском, 18ХГТ, 12ХНЗА (быстроходные и тяжело нагруженные станки). Сталь 65Г применяют для крупных шпинделей.

Основным видом деформации шпинделя является изгиб. Поэтому их рассчитывают на жесткость, и лишь для тяжело нагруженных станков производят расчет на прочность.

Тип приводного элемента, т.е. передачи связывающей шпиндель с приводом зависит от частоты вращения шпинделя и передаваемой силы. Наиболее удобна и проста зубчатая передача. Она передает большие крутящие моменты. Применяется она для частот вращения шпинделя – до 35-50 об/сек. На более высоких частотах она не применяется из-за погрешностей в передаче. По той же причине она не применяется в прецизионных станках. Кроме того зубчатая передача имеет низкую плавность вращения, высокие динамические нагрузки.

При вращении шпинделя до 100–120 об/сек применяются ременные передачи. Они повышают плавность обработки и уменьшают динамические нагрузки. Наибольшую плавность обеспечивают плоские ремни. Они применяются в прецизионных станках. Клиновые и поликлиновые передачи обеспечивают возможность передачи больших крутящих моментов. Зубчатые ремни передают наибольший крутящий момент и обеспечивают точность передаточного отношения, но создают шум.

В качестве опор шпиндельных узлов применяют подшипники качения и скольжения. От точности подшипников зависит точность вращения шпинделя. Выбор класса точности подшипников зависит от допуска на биение переднего конца шпинделя. Точность подшипников различных типов представлена в табл. 11.1.

Таблица 11.1

Показатели точности подшипников

Тип опор	Радиальное и осевое биение, мкм	Отклонение от круглости обработанной детали, мкм
Качения	1,00	1,00
Гидродинамические	0,05	0,5
Гидростатические	0,05	0,2
Аэростатические	0,1	0,5

В передней опоре применяют более точные подшипники, чем в задней. В связи с тем, что подшипники качения производятся централизованно, то более 90% станков работают с подшипниками качения. Применяются роликовые и шариковые подшипники. Роликовые могут быть с цилиндрическими и коническими роликами. Подшипники с коническими роликами обладают наибольшей жесткостью, минимальной быстроходностью и применяются в тяжело нагруженных станках. В шпиндельных узлах широко используются двухрядные подшипники с расположением цилиндрических роликов в шахматном порядке. Шариковые радиально-упорные подшипники имеют максимальную быстроходность и минимальные потери на трение, но менее жесткие, поэтому в опорах используются спаренные подшипники. Упорно-радиальные и упорные шарикоподшипники работают в паре с радиальными и воспринимают осевую нагрузку. Для устранения зазора в подшипниках качения используют различные методы создания натяга: сошлифовывание торца внутренних колец, применение распорных втулок, насадка на конические поверхности (рис.4.13).

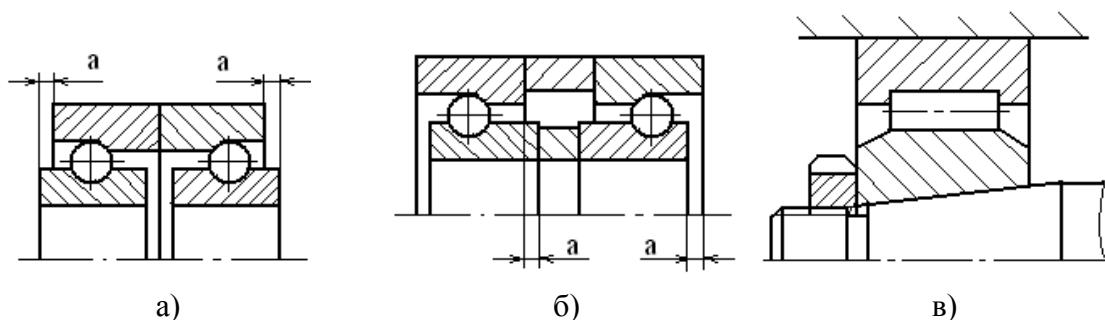


Рис.4.13. Создание натяга в подшипниках

а – сошлифовыванием торцов внутренних колец; б – установкой распорных втулок между кольцами; в – деформацией внутреннего кольца

В прецизионных станках используют гидростатические подшипники, которые создают высокую точность вращения шпинделя (рис.4.14). Их несущая способность, жесткость и точность зависят от величины зазора (20...10 мкм), давления и схемы опор. Они имеют высокую демпфирующую способность, что повышает виброустойчивость шпиндельного узла. Для подшипников характерен минимальный износ поверхностей трения, что увеличивает долговечность шпиндельного узла. Наличие масляного зазора уменьшает влияние погрешностей изготовления вала и отверстия на точность вращения шпинделя. На гидростатических подшипниках устанавливают шпиндели шлифовальных, расточных, зубообрабатывающих станков и высокоточных токарных станков.

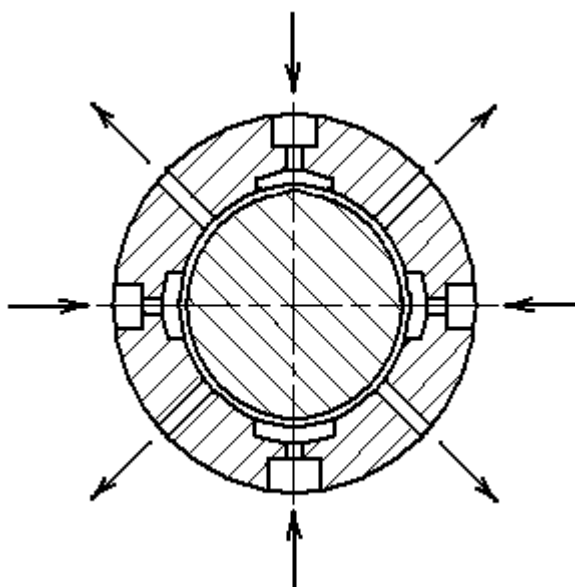


Рис.4.14. Гидростатическая опора

Конструкция гидродинамического подшипника показана на рис.4.15. В подшипниках вращающимся шпинделем 1 масло увлекается в зазоры между ним и вкладышами 2. Вкладыши под действием давления масла самоустанавливаются на сферических опорах 3, и под каждым вкладышем создается масляный клиновидный зазор 4. В этом зазоре возникает гидродинамическое давление, которое удерживает шпиндель во взвешенном состоянии. Но гидродинамическая подъемная сила зависит от скорости вращения шпинделя. Поэтому гидродинамические подшипники применяют в станках с высокими постоянными или малоизменяющимися скоростями вращения при незначительных нагрузках (шлифовальные станки).

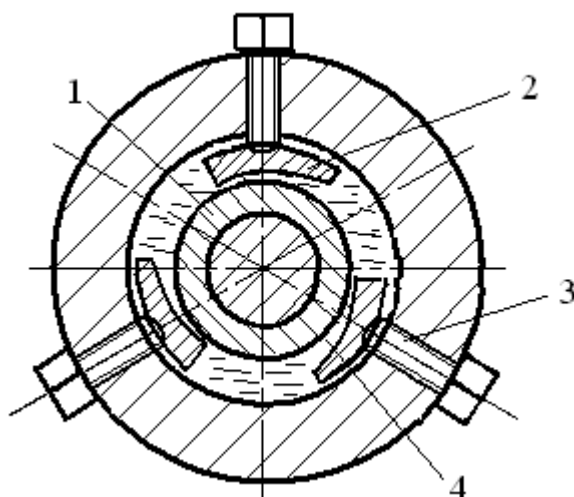


Рис.4.15. Гидродинамическая опора.

1 – шпиндель, 2 – вкладыш, 3 – сферическая опора, 4 – масляный клин

Аэростатические и аэродинамические опоры в качестве смазочного материала используют воздух. Такие подшипники имеют ряд достоинств. Они упрощают конструкцию шпиндельного узла, имеют низкие потери на трение (малая вязкость воздуха), низкий уровень вибраций и шума, более экологичны, имеют малый расход мощности в связи небольшим сопротивлением движению. Но нагрузочная способность их невелика. Применяются в небольших прецизионных станках при больших окружных скоростях вращения шпинделя (шлифовальные станки). Подшипники на газовой смазке позволяют достигать частоты вращения до 300000 мин^{-1} .

Магнитные опоры основаны на левитации (свободном парении) шпинделя в магнитном поле. Для создания магнитного поля используются постоянные кольцевые магниты или электромагниты. Шпиндельные узлы на магнитных опорах имеют высокую быстроходность, способны работать без смазки и трения при незначительном потреблении энергии.

Надежность работы шпиндельного узла во многом определяется методами смазывания. В подшипниках качения используется жидкая и консистентная смазки.

Методы смазывания подшипников шпиндельных узлов бывают: разбрызгиванием, капельное, масляным туманом, под давлением.

1. При смазывании разбрызгиванием масло подается в подшипники от зубчатых колес привода шпинделя. Частота вращения шпинделей не должна быть низкой. Масло загрязняется продуктами износа зубчатых колес.

2. При капельном смазывании в подшипники подается ограниченное количество масла (1–100 г в час). Снижается тепловыделение.

3. Смазывание масляным туманом применяется в высокоскоростных шпиндельных узлах. В маслораспределителе подается сжатый воздух и образуется туман. Происходит постоянное и равномерное смазывание, интенсивное охлаждение подшипников сжатым воздухом.

4. Смазывание под давлением осуществляется с помощью специальных дозаторов, которые периодически выбрасывают масло в зазор между сепаратором и кольцами. Тем самым преодолевается воздушный барьер, создаваемый подшипниками при высоких частотах вращения.

Твердые смазки применяют при невысоких частотах вращения шпинделя, особенно в вертикальных и наклонных шпиндельных узлах.

Для защиты шпиндельного узла от грязи и пыли, для препятствия вытекания масла применяют уплотнения. Используют контактные (манжеты) и бесконтактные (лабиринты) уплотнения. Контактные изготавливают из кожи, резины, пластмасс. Их помещают в металлический кожух и прижимают к валу brasлетной пружиной (рис.4.16). Работают манжеты при скоростях вращения менее 10 м/с .

Бесконтактные уплотнения представляют собой радиальные и осевые зигзагообразные лабиринты. Они имеют меньший износ, чем манжеты. Зазоры

в уплотнении не более 0,4–0,6мм. Если станок работает в грязных условиях, то лабиринт заполняют консистентной смазкой.

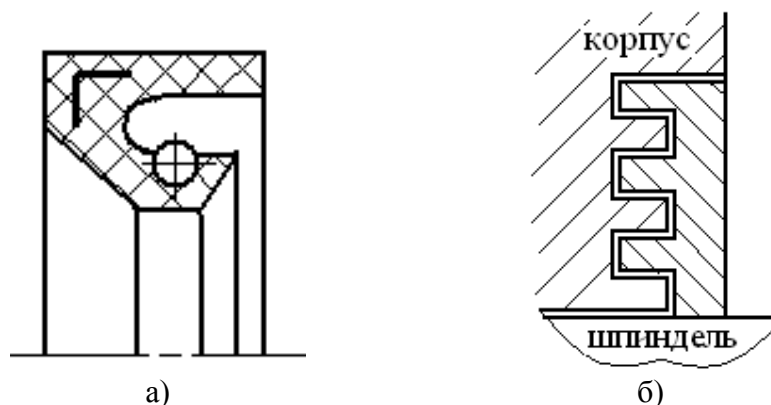


Рис.4.16. Шпиндельные уплотнения
а – контактное; б – бесконтактное

5. ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРИВОДЫ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

5.1. Множительные механизмы привода главного движения со ступенчатым регулированием.

Приводы станка предназначены для сообщения инструменту и заготовке необходимых движений. Привод состоит из двигателя и механизмов, передающих движение рабочим органам. В приводах, обеспечивающих ступенчатое регулирование, широкое распространение получили асинхронные двигатели переменного тока. Они отличаются сравнительно низкой стоимостью и высокой надежностью.

Множительные механизмы привода предназначены для изменения передаточных отношений, и, соответственно, скорости движения рабочих органов станка.

Наиболее широко для ступенчатого регулирования скорости главного движения используются коробки скоростей. Они конструируются в виде отдельных узлов или их встраивают в корпусные детали станка.

Коробки скоростей должны иметь возможно малые габариты, высокий КПД, хорошие эксплуатационные свойства.

Коробки скоростей состоят из различных элементарных двухваловых передач. Более широко в них применяются множительные структуры на основе двух- и трехвенцовых блоков зубчатых колес (рис.5.1). Передача с подвижными блоками колес проста по конструкции, позволяет передавать большие крутящие моменты, имеет высокий КПД. Колеса, не участвующие в передаче вращения, не находятся в зацеплении. В этих передачах не применяются косозубые колеса.

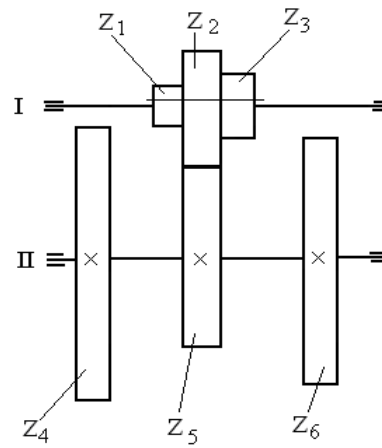


Рис.5.1. Трехвенцовый блок зубчатых колес

Передачи с фрикционными муфтами позволяют производить переключение на ходу (рис. 5.2). Могут использоваться косозубые колеса. Однако постоянство зацепления колес приводит к более интенсивному износу.

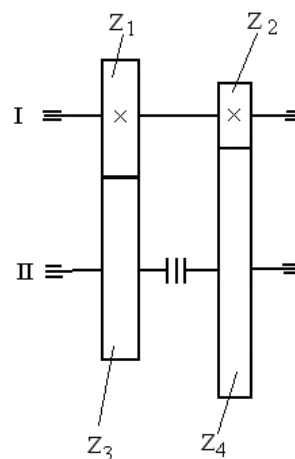


Рис. 5.2. Множительный механизм с муфтой

В простых приводах с незначительным диапазоном регулирования скорости используются ременные передачи со сменными шкивами или ступенчатыми шкивами (рис. 5.3). Они просты по конструкции, обеспечивают плавность работы, но имеют относительно большие габариты и не обеспечивают постоянства передаточных отношений.

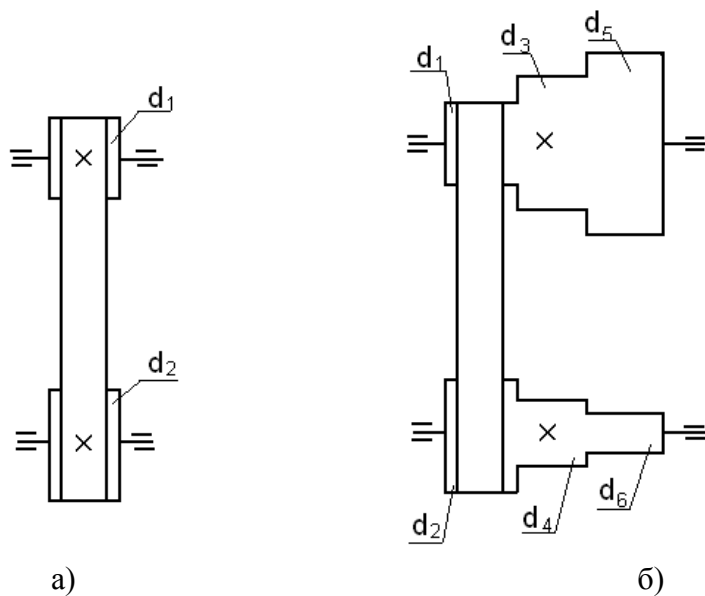


Рис. 5.3. Ременные передачи
 а – со сменными шкивами; б – со ступенчатыми шкивами

При смене шкивов должно сохраняться постоянное натяжение ремня. Если в передачах отсутствует механизм натяжения ремня, то при смене шкивов должно соблюдаться условие:

$$d_1 + d_2 = \text{const} \quad \text{– для ременной передачи со сменными шкивами;}$$

$d_1 + d_2 = d_3 + d_4 + d_5 + d_6 = \text{const}$ – для ременной передачи ступенчатыми шкивами.

Гитары сменных зубчатых колес позволяют изменять передаточное отношение путем замены колес. По числу используемых в гитаре колес они могут быть одно-, двух- и трехпарными. Используются гитары с неподвижными и подвижными осями. В гитарах с неподвижными осями расстояние между осями вращения зубчатых колес постоянно. На рис. 5.4 представлена однопарная гитара с неподвижными осями.

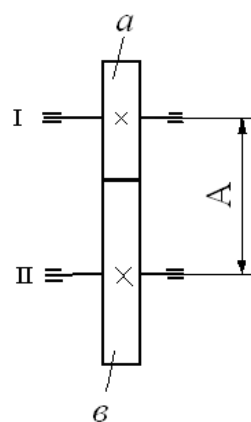


Рис. 5.4. Однопарная гитара с неподвижными осями

В гитаре с неподвижными осями $A = \text{const}$. Следовательно

$$A = \frac{ma}{2} + \frac{mb}{2} = \frac{m}{2}(a + b) = \text{const}; \quad \frac{m}{2} = \text{const}$$

$$\Rightarrow (a + b) = \text{const},$$

где m – модуль, a и b – число зубьев зубчатых колес.

В гитарах с подвижными осями расстояние между осями зубчатых колес может изменяться, что расширяет диапазон регулирования (рис. 5.5).

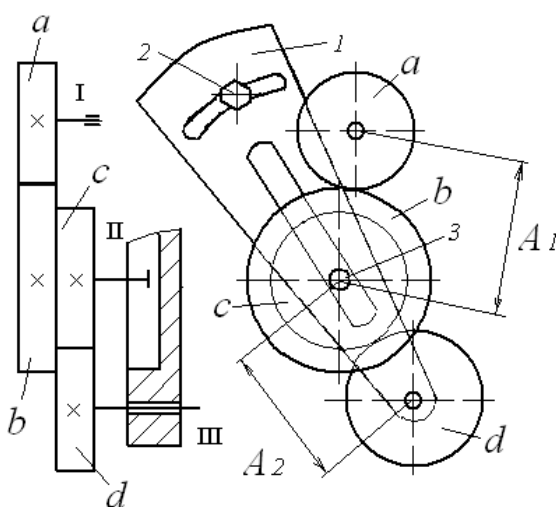


Рис. 5.5. Двухпарная гитара с подвижными осями

На валу I установлено ведущее колесо гитары a , на валу III – ведомое колесо. Колеса b и c находятся на общем пальце II , который может перемещаться d по пазу 3 базовой детали – приклону 1. за счет этого перемещения изменяется межосевое расстояние A_2 , т.е. $c + d$. Приклон может поворачиваться относительно вала III , изменяя расстояние A_1 или $a + b$. В необходимом положении приклон фиксируется винтом 2.

Для того, чтобы гитару можно было собрать, ее предварительно проверяют по условию сцепляемости.

$$a + b \geq c + 15 \dots 20$$

$$c + d \geq b + 15 \dots 20$$

При подборе колес надо исходить из того, что передаточное отношение зубчатой передачи $0.2 \leq i \leq 2.8$. Колеса подбираются из набора, поставляемого со станком.

Гитары сменных зубчатых колес просты по конструкции, имеют высокий КПД, высокое варьирование передаточных отношений. Но ее нецелесообразно использовать в условиях частой переналадки.

Существуют различные способы подбора чисел зубьев сменных колес.

Способ разложения на множители. Применяется, когда передаточное отношение представляет собой простую дробь, числитель и знаменатель которой разлагается на простые множители. Разложив числитель и знаменатель на множители, дробь сокращают, умножают на дополнительные множители, так чтобы получить все значения чисел зубьев колес, имеющих в наборе.

Способ замены чисел приближенными дробями. Применяется способ в тех случаях, когда в передаточное отношение входят числа π , 25.4, 25.4 π .

Например, $\pi = \frac{22}{7}$, $25.4 = \frac{127}{5}$, $25.4\pi = \frac{21 \cdot 19}{5}$ и т.п.

Для подбора зубчатых колес можно использовать таблицы В.А.Шишкова (логарифмический способ) или М.В. Сандакова.

5.2. Множительные механизмы привода подач со ступенчатым регулированием.

В приводах подач со ступенчатым регулированием для изменения скорости подачи используются коробки подач. В коробках подач, также как и в коробках скоростей, используются многовенцовые блоки зубчатых колес, зубчатые передачи с муфтами, гитары зубчатых колес. Но в качестве множительных могут использоваться и другие механизмы.

На рис. 5.6 представлен механизм со встречными ступенчатыми конусами зубчатых колес и вытяжной шпонкой.

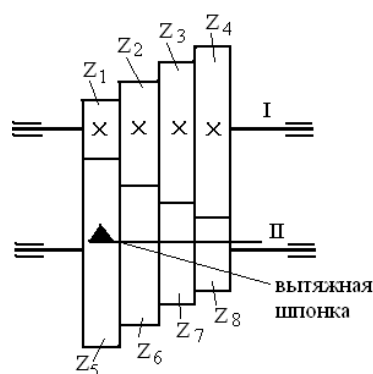


Рис.5.6. Механизм с вытяжной шпонкой.

Изменение передаточного отношения выполняется перемещением вытяжной шпонки вдоль вала II. Механизм имеет компактную конструкцию, обеспечивает 8–10 передаточных отношений. Возможно применение косозубых колес.

Все колеса находятся в постоянном зацеплении, что увеличивает их износ. Применяется в небольших сверлильных и токарно-револьверных станках.

В механизме Нортонa на валу II находится подвижное колесо z, которое связано с накидной шестерней z₀, установленной в подвижной каретке (рис. 5.7). Для изменения передаточного отношения накидная шестерня z₀ вводится в зацепление с одним из колес вала I. В конусе может быть до 12 колес. Механизм имеет компактную и простую конструкцию, но недостаточную жесткость сопряжения включенных колес. Применяется механизм в приводах подачи токарно-винторезных станков.

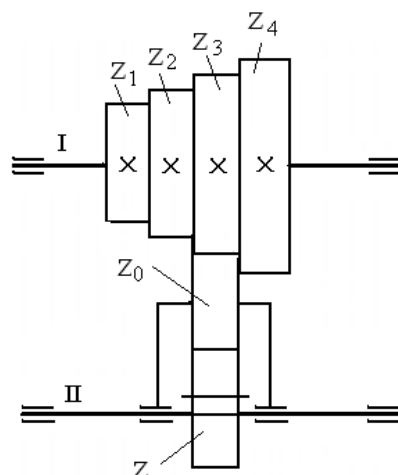


Рис. 5.7. Механизм Нортонa

Механизм типа «меандр» имеет одинаковые двухвенцовые блоки зубчатых колес, которые за исключением одного свободно посажены на валы (рис. 5.8). На третьем валу находится подвижное зубчатое колесо. При его смещении вдоль вала получаются следующие передаточные отношения:

$$i_1 = \frac{z_1}{z_2} \frac{z_1}{z_1} = \left(\frac{z_2}{z_1} \right)^{-1};$$

$$i_2 = \frac{z_1}{z_2} \frac{z_2}{z_1} = \left(\frac{z_2}{z_1} \right)^0;$$

$$i_3 = \frac{z_2}{z_1} \frac{z_1}{z_1} = \left(\frac{z_2}{z_1} \right)^1;$$

$$i_4 = \frac{z_2}{z_1} \frac{z_2}{z_1} = \left(\frac{z_2}{z_1} \right)^2;$$

$$i_5 = \frac{z_2}{z_1} \frac{z_2}{z_1} \frac{z_2}{z_1} \frac{z_1}{z_1} = \left(\frac{z_2}{z_1} \right)^3;$$

$$i_6 = \frac{z_2}{z_1} \frac{z_2}{z_1} \frac{z_2}{z_1} \frac{z_2}{z_1} = \left(\frac{z_2}{z_1} \right)^4 \text{ и т.д.}$$

Обычно $z_1=2z_2$, поэтому получают геометрический ряд передаточных отношений 2, 1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32, 1/64.

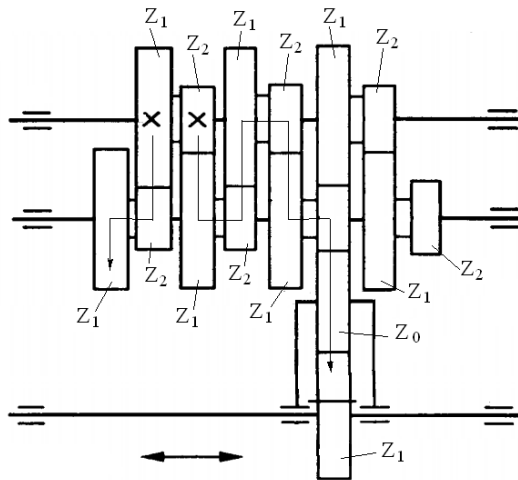


Рис. 5.8. Механизм типа «меандр»

Достоинства данного механизма – это компактность, большой диапазон регулирования и возможность получения геометрического ряда.

Если на третьем валу вместо подвижной шестерни использовать накидное зубчатое колесо, которое работает так же, как и в механизме Нортонa, то оно будет входить в зацепление и с малыми колесами z_2 . В этом случае число передаточных отношений увеличится в два раза. Но жесткость механизма снизится.

5.3. Графоаналитический метод расчета приводов со ступенчатым регулированием

Метод применяется для облегчения расчетов при проектировании приводов и заключается в графическом изображении частот вращения и передаточных отношений в виде так называемых структурных сеток (качественная характеристика) и графиков частот вращения (количественная характеристика).

Графоаналитический метод расчета коробки скоростей рассмотрим на примере кинематической схемы, представленной на рис. 5.9.

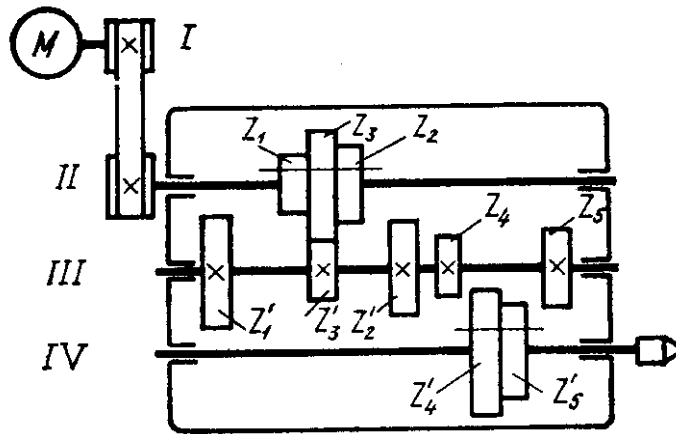


Рис. 5.9. Кинематическая схема привода главного движения.

Совокупность передач, связывающих вращение двух соседних валов, называется группой передач. Группа передач характеризуется количеством передач в группе P и величиной их передаточных отношений i . Для первой группы $P_1 = 3$, для второй группы $P_2 = 2$.

Порядок чередования групп передач вдоль кинематической цепи определяет конструктивный вариант коробки скоростей. Структурная формула, учитывающая конструктивный вариант коробки скоростей имеет вид

$$Z = P_a \cdot P_b \cdot P_c \cdot \dots \cdot P_n,$$

где $P_a, P_b, P_c, \dots, P_n$ - число передач в группе.

Для рассматриваемого случая

$$Z = 3 \times 2 = 6$$

Однако 6 частот можно получить, если поменять местами группы передач, т.е. $Z = 2 \times 3 = 6$. Общее число конструктивных вариантов коробок скоростей определяется числом перестановок элементарных двухваловых передач и для кинематической схемы, состоящей из m групп

$$n_{\text{констр}} = m!$$

Если в коробке скоростей используются группы передач с одинаковым числом передач, то

$$n_{\text{констр}} = \frac{m!}{q!},$$

где q – число групп с одинаковым числом передач.

Передаточные отношения передач зависят от характеристики группы, которая в свою очередь зависит от порядка включения передач при переходе от одной частоты шпинделя к другой.

Для нашего случая используем следующий порядок включения передач. Колеса z_4 и z_4' находятся в зацеплении, а меняется порядок включения передач со 2-го вала на 3-й. Затем зацепляем колеса z_5 и z_5' и аналогично меняется порядок включения передач со 2-го вала на 3-й. В результате получаем следующие частоты вращения:

$$\begin{aligned} n_1 &= \frac{z_4'}{z_4} \cdot \frac{z_1}{z_1'} \cdot n; & n_4 &= \frac{z_5'}{z_5} \cdot \frac{z_1}{z_1'} \cdot n; \\ n_2 &= \frac{z_4'}{z_4} \cdot \frac{z_2}{z_2'} \cdot n; & n_5 &= \frac{z_5'}{z_5} \cdot \frac{z_2}{z_2'} \cdot n; \\ n_3 &= \frac{z_4'}{z_4} \cdot \frac{z_3}{z_3'} \cdot n; & n_6 &= \frac{z_5'}{z_5} \cdot \frac{z_3}{z_3'} \cdot n. \end{aligned}$$

При переключении второго блока при постоянном положении первого получаются частоты вращения n_1, n_2, n_3 и n_4, n_5, n_6 , которые отличаются друг от друга в φ^1 раз. Если изменять зацепления в первом блоке частоты вращения изменяются в φ^3 раз:

$$\begin{aligned} n_1 &\rightarrow n_4; \\ n_2 &\rightarrow n_5; \\ n_3 &\rightarrow n_6. \end{aligned}$$

В общем случае при переключении передач в какой либо группе частота вращения выходного вала меняется в φ^x раз. Показатель степени x называется характеристикой группы. Следовательно, для нашего случая $x_1 = 1$, $x_2 = 3$.

Структурную формулу, учитывающую не только конструктивный вариант, но и кинематический вариант, записывают следующим образом

$$Z = P_{a(x_1)} \cdot P_{b(x_2)} \cdot P_{c(x_3)} \cdot \dots \cdot P_{n(x_n)},$$

где $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ – характеристики групп.

Группа передач, характеристика которой равна единице, называется основной, остальные группы – переборные (первая, вторая и т.д.).

Полная структурная формула для рассматриваемой кинематической цепи

$$Z = 3_{(1)} \cdot 2_{(3)}.$$

Возможен вариант, когда основной является вторая группа, а переборной-первая:

$$Z = 3_{(2)} \cdot 2_{(1)}.$$

Число кинематических вариантов коробки скоростей

$$n_{\text{кинем}} = m!$$

Общее число вариантов для коробки скоростей

$$n = n_{\text{констр}} \cdot n_{\text{кинем}} = \frac{m! \cdot m!}{q!}.$$

Для рассматриваемого случая

$$n = \frac{1 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 2}{1} = 4.$$

Из всех возможных вариантов коробок скоростей конструктор должен найти наилучший вариант. Для этого сначала определяется количество возможных структурных вариантов, т.е. структурных формул, и путем построения структурных сеток выбирается оптимальный.

Структурная сетка представляет собой симметричную фигуру и отражает относительные связи между передаточными отношениями групповых передач, но не дает конкретных значений этих величин (они приводятся в графике частот вращения).

При построении структурных сеток необходимо учитывать следующее. Рассмотрим вертикальный вариант структурной сетки (рис. 5.10).

1. Горизонтальными линиями условно изображают валы.
2. Вертикальными линиями изображают частоты вращения. Их число должно соответствовать числу частот вращения выходного вала.
3. Передачи условно изображают лучами, соединяющими точки соответствующих частот вращения соседних валов.
4. Расстояние между соседними вертикальными линиями равно $\lg \varphi$, т.е. структурную сетку строят в логарифмическом масштабе.
5. Лучи основной группы расходятся в структурной сетке на величину $\lg \varphi$, т.е. на один интервал, т.к. характеристика основной группы $x = 1$.
6. Лучи первой переборной группы расходятся на величину $P_0 \lg \varphi$, где P_0 – число передач в основной группе, т.е. на P_0 промежутков. Характеристика первой переборной группы $x = P_0$.

7. Лучи второй переборной группы расходятся на величину $P_0 P_1 \lg \phi$, где P_1 – число передач в первой переборной группе, т.е. на $P_0 P_1$ промежутков. Характеристика второй переборной группы $x = P_0 \cdot P_1$.

Таким образом, характеристика показывает число интервалов между соседними линиями, изображающими передачи данной группы.

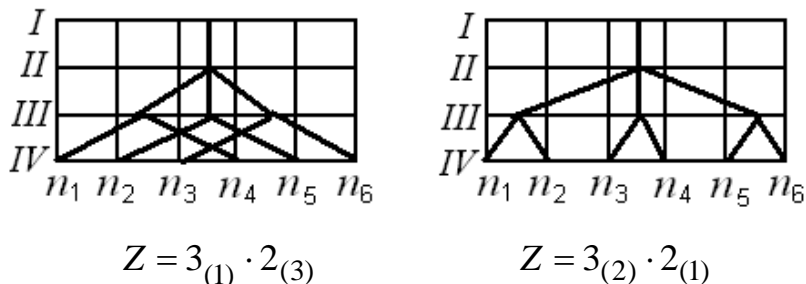


Рис. 5.10. Структурные сетки привода

Оптимальным вариантом структуры кинематической схемы коробки скоростей будет тот, который имеет наименьшее количество конструктивных элементов (передач, зубчатых колес, валов), меньшую массу, малые габариты, в особенности осевые, так как часто они определяют потребную для станка площадь. При поиске оптимального варианта структуры кинематической схемы руководствуются следующими правилами.

1. Общее число передач будет минимальным, если $P_a, P_b, P_c, \dots, P_n$ будут минимальными. Этому условию соответствуют простые числа 2 и 3.

Однако при уменьшении количества передач в группе увеличивается количество групп. Наивыгоднейшим будет вариант, обеспечивающий наименьшую массу и габариты.

2. Вес зубчатых колес, сидящих на одном валу, будет наименьшим при минимальной разнице передаточных отношений передач. Это соответствует основной группе. Поэтому целесообразно, чтобы основная группа имела наибольшее количество передач. Например, из двух вариантов $Z=12=3_{(1)} \cdot 2_{(3)} \cdot 2_{(6)}=2_{(1)} \cdot 2_{(2)} \cdot 3_{(4)}$ лучшим является $Z=12=3_{(1)} \cdot 2_{(3)} \cdot 2_{(6)}$.

3. Передаваемые ведомым валом крутящие моменты $M_{кр}$ обратно пропорциональны передаточным отношениям. Выгодно, чтобы передаточные отношения в группах уменьшались по мере приближения к шпинделю, т. е. $x_1 < x_2 < x_3 < \dots < x_n$. В этом случае промежуточные валы работают при больших скоростях на низших ступенях частоты вращения, в результате чего уменьшаются крутящие моменты, диаметры зубчатых колес и валов. Вместе с тем они вращаются с меньшими скоростями на высших ступенях частоты вращения, что уменьшает потери холостого хода и износ деталей.

Для ограничения радиальных размеров зубчатых колес привода главного движения рекомендуется: для прямозубых – $\frac{1}{4} \leq i \leq 2$, для косозубых – $\frac{1}{4} \leq i \leq 2.5$, для зубчатых колес привода подач – $\frac{1}{5} \leq i \leq 2.8$.

По структурной сетке нельзя установить величину передаточных отношений. Можно видеть лишь как передаточные отношения соотносятся между собой.

Для первого варианта

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{i_2}{i_3} = \varphi$$

$$\frac{i_4}{i_5} = \varphi^3$$

Для второго варианта

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{i_2}{i_3} = \varphi^2$$

$$\frac{i_4}{i_5} = \varphi$$

Передаточные отношения можно увидеть на графике частот. При построении графика частот вращения необходимо иметь в виду, что наклон луча, соединяющего точки соответствующих частот вращения соседних валов, характеризует величину передаточного отношения. Лучи с наклоном вправо изображает повышающую передачу ($i > 1$), а влево – понижающую ($i < 1$). Вертикальное расположение соответствует $i = 1$, ибо число оборотов ведущего и ведомого вала одинаково. Параллельны лучи характеризуют одну и ту же передачу.

Для построения графика частот необходимо все передаточные отношения представить в виде $i = \varphi^m$. Показатель степени m означает число промежуточных, на которое будет отклоняться луч на графике частот, а его знак показывает направление отклонения: «+» – вправо, «-» – влево.

Для расчета передаточных отношений в группе, одним из них задаемся. Например, в первой группе $i_3 = \varphi^0 = 1$. Тогда

$$i_2 = \varphi^{-1}, i_1 = \varphi^{-2}.$$

Во второй группе примем, что $i_5 = \varphi$, то $i_4 = \varphi^{-2}$.

В результате построения получится график, представленный на рис. 5.11.

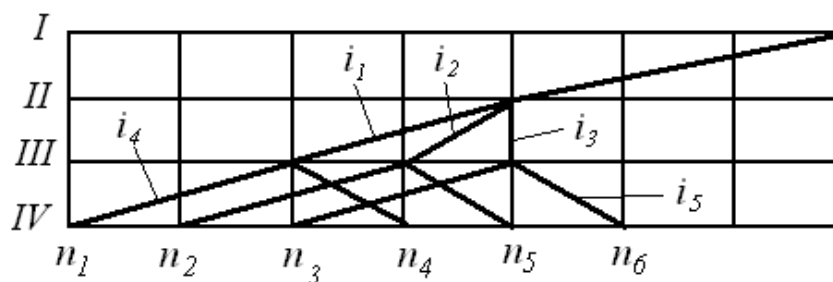


Рис. 5.11. График частот.

Для расчета числа зубьев передач используется система уравнений

$$\begin{cases} z_1 + z_2 = \Sigma z \\ \frac{z_1}{z_2} = i \end{cases}$$

Решив данную систему, получим формулы для расчета числа зубьев ведущего колеса z_1 и ведомого колеса z_2 исходя из величины передаточного отношения каждой передачи. Величиной Σz задаемся, учитывая, что $\Sigma z \leq 120$, а $z_{\min} = 17, 18$ зубьев. Наиболее часто применяются значения $\Sigma z = 120, 90, 72$.

На рис. 5.12 изображена кинематическая схема вертикально-сверлильного станка модели 2А135 и график частот вращения шпинделя.

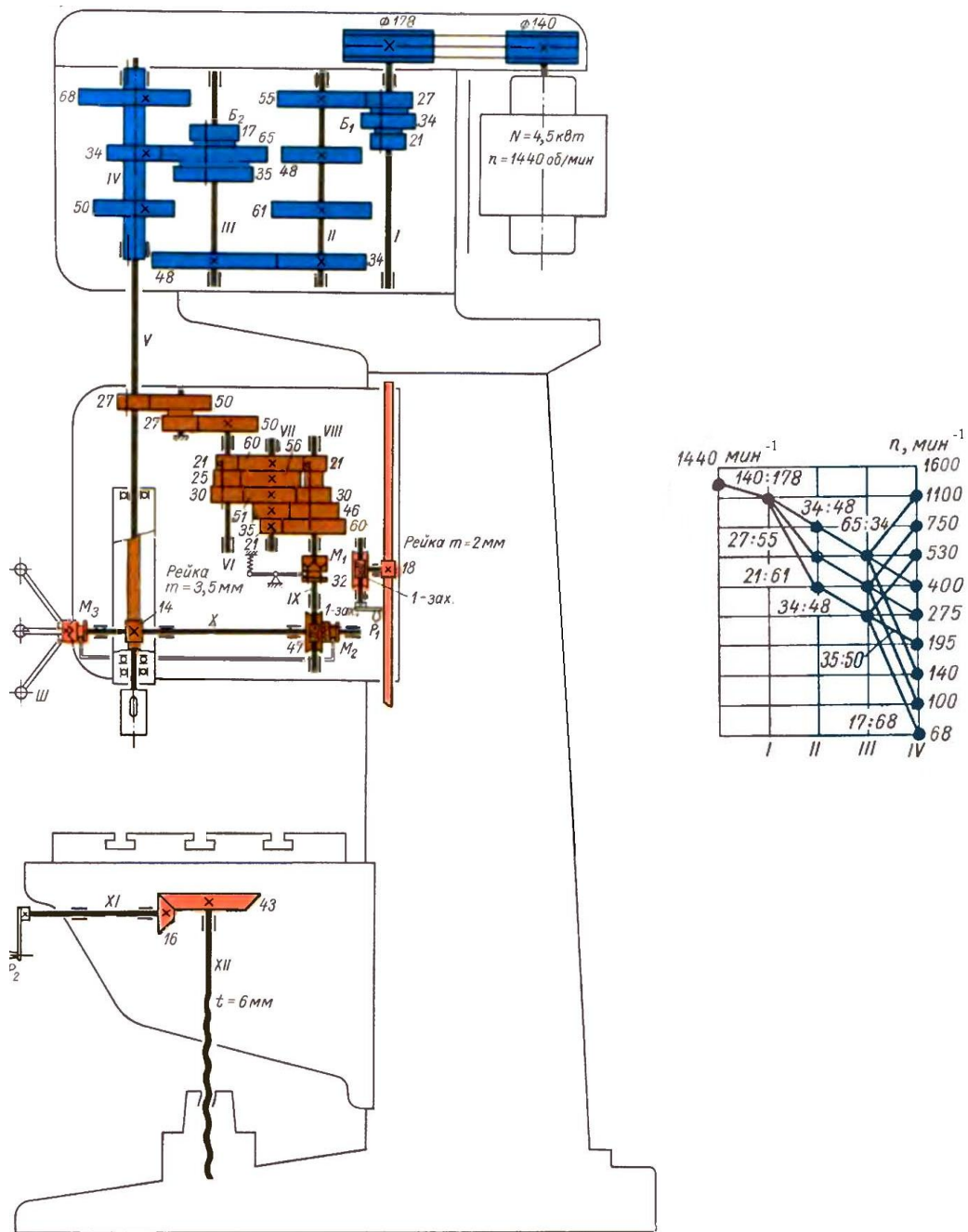


Рис.5.12. Кинематическая схема и график частот вертикально-сверлильного станка модели 2A135

5.4. Механизмы бесступенчатого регулирования скорости.

В электромеханических приводах металлорежущих станков для бесступенчатого регулирования скорости движения наряду с применением регулируемых двигателей используются механизмы, называемые вариаторами. В станках применяются в основном вариаторы фрикционного типа. Их работа сопровождается потерями на трение, износом фрикционных тел, изменением передаточного отношения вследствие проскальзывания при непостоянстве сил резания.

Лобовой вариатор состоит из диска 1 и ролика 2, который получает вращение (рис. 5.13). При перемещении ролика вдоль оси вала изменяется радиус контакта диска, и, следовательно, передаточное отношение:

$$i = \frac{R_1}{R_2} \xi,$$

где R_1, R_2 – радиусы ведущего и ведомого элементов, ξ – коэффициент скольжения (0,95 – 0,995).

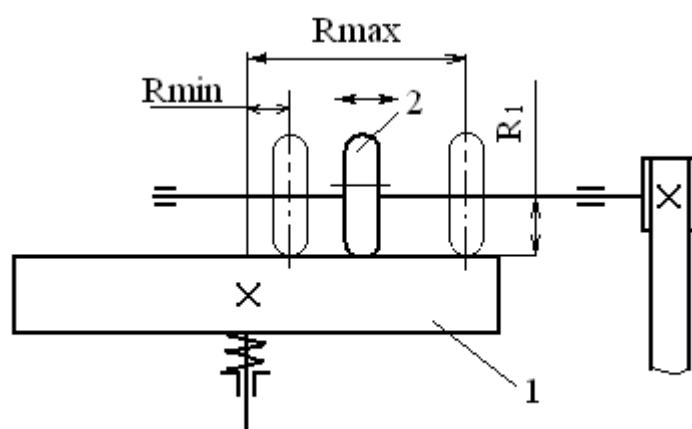


Рис. 5.13. Лобовой вариатор

Лобовые вариаторы отличаются простотой, возможностью реверсирования, однако имеют низкий КПД, малую износостойкость, большие нагрузки на валы, малый диапазон регулирования. Применяется при передаче небольшой мощности. Вариатор имеет диапазон регулирования до 4 – 5.

Торовый вариатор (рис.5.14) состоит из двух торковых чашек 1 и 2, жестко посаженных на валах I и II. Между чашками установлены ролики 3, свободно посаженные на осях. Изменение передаточного отношения осуществляется поворотом осей. Поворот осей осуществляется синхронно. При этом изменяются радиусы контакта роликов с чашками. Диапазон регулирования не более 8.

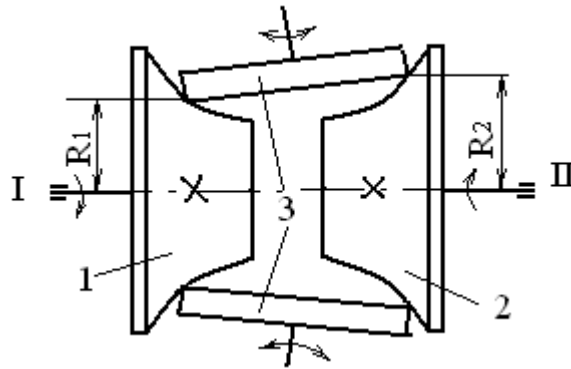


Рис.5.14. Торový вариатор

Вариатор с раздвижными шкивами и клиновым ремнем представлен на рис. 5.15.

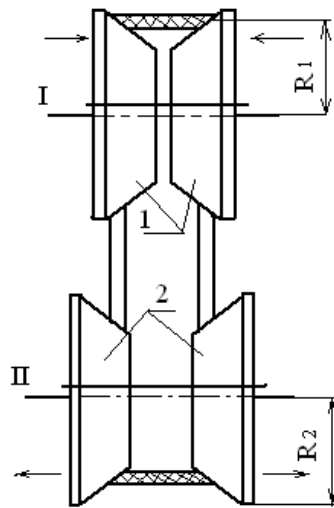


Рис.5.15. Клиноременной вариатор

Шкивы 1 и 2 состоят из раздвижных частей, которые могут перемещаться по валам I и II. Если части одного шкива расходятся, то части второго шкива одновременно должны сходиться, т.к. ремень должен иметь одно и то же натяжение. Передаточное отношение определяется

$$i = \frac{R_1}{R_2} \xi,$$

где R_1, R_2 – радиусы контакта ремня на ведущем и ведомом шкивах, ξ – коэффициент скольжения.

Диапазон регулирования вариатора составляет 8 – 15.

Вместо ремня на вариаторе может использоваться металлическое кольцо. Диапазон таких вариаторов достигает 16.

Вариаторы находят применение в приводах подач координатно-расточных, резьбошлифовальных станков, в приводе вращения деталей круглошлифовальных станков, в приводе главного движения алмазно-расточных станков.

6. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПРИВОДЫ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

Гидроприводы в станках применяются главным образом для осуществления прямолинейных движений и реже – для вращательных. Они применяются в качестве приводов главного движения (протяжные, строгальные, долбежные станки) и приводов подач (шлифовальные, токарные копировальные станки).

Широкое применение гидроприводов обусловлено рядом их достоинств. Они обеспечивают бесступенчатое регулирование скорости движения. При небольших габаритах гидроприводы имеют большую мощность. Рабочая жидкость одновременно является и смазывающим материалом, что увеличивает срок их службы. Гидроприводы имеют надежные и простые узлы, обеспечивающие защиту от перегрузки. К недостаткам гидроприводов можно отнести возможные утечки масла через уплотнения и зазоры, изменения свойств рабочей жидкости под влиянием температуры и давления.

Изменение скорости движения рабочего органа в гидроприводах может быть дроссельным и объемным. При дроссельном регулировании объема масла, подаваемого в гидроцилиндр, или выходящего из него, осуществляться дросселем, который меняет величину проходного сечения.

Если дросселем меняется объем масла, подаваемого в гидроцилиндр, то такая система регулирования называется дроссельным регулированием на входе (рис. 6.1, а).

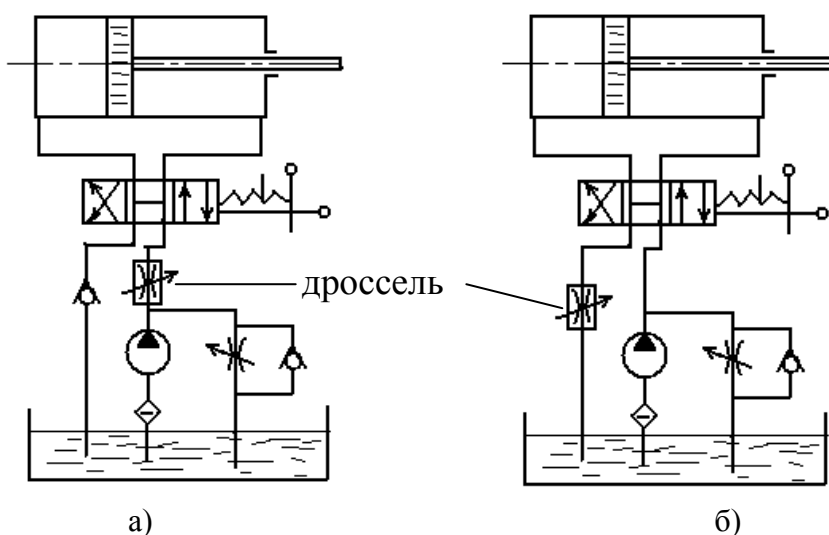


Рис. 6.1. Гидропривод с дроссельным регулированием
а – на входе; б – на выходе

Если дроссель стоит на выходе, то он изменяет объем масла, выходящего из цилиндра. Такая система регулирования называется системой с дроссельным регулированием на выходе (рис. 6.1, б).

В обоих случаях, скорость движения поршня определяется объемом масла, проходящего через дроссель

$$Q = kf_{др} \sqrt{p_1 - p_2} \text{ м}^3/\text{с},$$

где k – коэффициент дросселя, определяющий его конструкцию, $f_{др}$ – площадь проходного сечения дросселя в м^2 , p_1 и p_2 – давление масла соответственно перед и после дросселя в Па.

Скорость движения поршня определяется по формуле

$$v = \frac{Q}{F} = \frac{kf_{др} \sqrt{p_1 - p_2}}{F} \text{ м/с},$$

где F – площадь сечения поршня в м^2 .

Из уравнения следует, что скорость поршня зависит от перепада давления на входе и выходе. При дросселировании на входе давление p_1 постоянно и обеспечивается предохранительным клапаном, а давление p_2 определяется величиной нагрузки. При дросселировании на выходе, наоборот, p_2 постоянно, а p_1 зависит от нагрузки. При изменении нагрузки изменяется и перепад давлений $p_1 - p_2$, что приводит к непостоянству скорости движения рабочего органа. Поэтому приводы с дроссельным регулированием применяются в станках, на которых допускается некоторое колебание скорости. Для стабилизации скорости применяют регулятор скорости, состоящий из дросселя и редуccionного клапана, который поддерживают постоянство перепада давления.

В системах с объемным регулированием применяются насосы с регулируемой производительностью, и скорость движения исполнительного органа станка регулируется производительностью насоса. Такие системы применяются при больших мощностях гидроприводов и большом диапазоне регулирования.

В гидроприводах станков применяют силовые гидроцилиндры с двухсторонним и односторонним штоком. В первом случае обеспечивается одинаковая скорость в обоих направлениях движения рабочего органа. Использование гидроцилиндра с односторонним штоком обеспечит различные скорости для прямого и обратного движения. Такие гидроцилиндры применяются в приводах возвратно-поступательного движения, в которых один из ходов является ускоренным.

Объемное регулирование применяется и в гидроприводах вращательного движения. Привод состоит из гидронасоса с регулируемой производительностью и гидромотора (рис. 6.2).

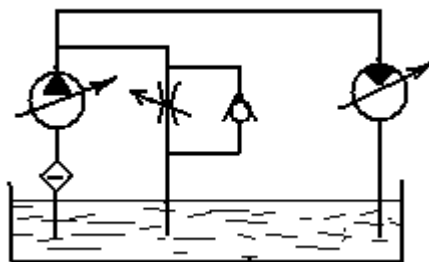


Рис. 6.2. Схема гидропривода вращательного движения

Частота вращения вала гидромотора

$$n = \frac{Q}{q},$$

где Q – объем масла, подаваемого в гидроцилиндр, q – объем масла, необходимый для одного оборота вала гидромотора.

Поэтому регулирование может выполняться гидронасосом или гидромотором.

7. ТИПОВЫЕ МЕХАНИЗМЫ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

7.1. Реверсивные механизмы

Для изменения направления движения рабочих органов станка применяются реверсивные устройства. Реверсирование может осуществляться электродвигателем, гидродвигателем и механическими устройствами. В металлорежущих станках широкое применение получили механизмы из цилиндрических и конических колес.

Механизмы с цилиндрическими колесами (рис. 7.1). При передаче движения с вала I на вал II через зубчатые колеса z_1 - z_2 валы вращаются в различных направлениях. Передаточное отношение

$$i = \frac{z_1}{z_2}.$$

Изменение направления вращения ведомого вала II осуществляется в первом случае смещением блока зубчатых колес, во втором – включением муфты M влево. Движение передается через паразитное колесо z_0 . Передаточное отношение в данном случае

$$i = \frac{z_3}{z_0} \cdot \frac{z_0}{z_4} = \frac{z_3}{z_4}.$$

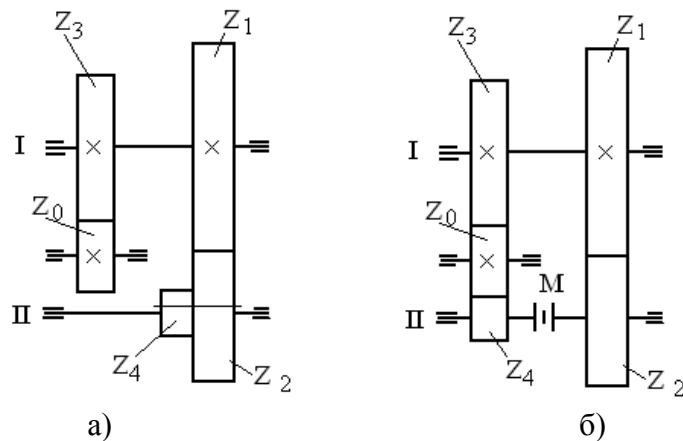


Рис. 7.1. Реверсивные механизмы с цилиндрическими колесами
а – с блоком зубчатых колес; б – с муфтой

Механизмы с коническими колесами (рис. 7.2).

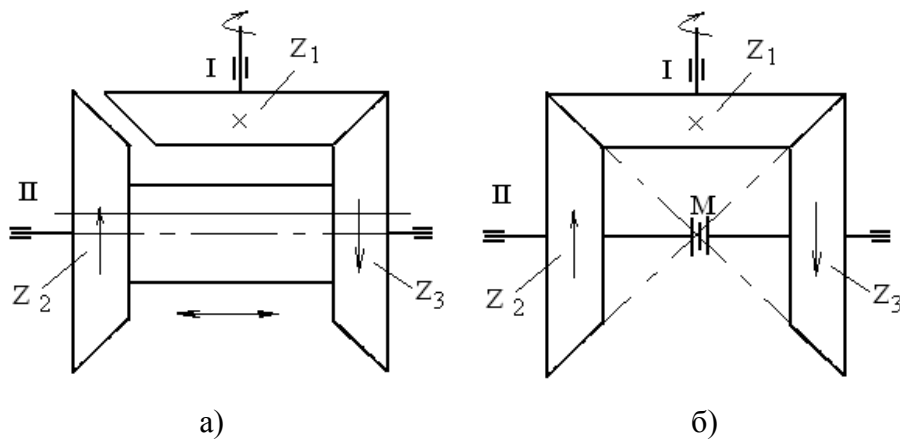


Рис. 7.2. Реверсивные механизмы с коническими колесами
а – с блоком зубчатых колес; б – с муфтой

Для зацепления зубчатых колес z_1 и z_3 в первом механизме муфта M связывает с валом II колесо z_3 , во втором механизме – блок конических колес смещается влево. Передаточное отношение $i = \frac{z_1}{z_3}$.

Для обратного движения муфта M включается влево, а блок колес смещается вправо. Передаточное отношение при обратном движении $i = \frac{z_1}{z_2}$.

Частота реверсирования механических устройств может быть очень высокой.

7.2. Механизмы периодических движений

Механизмы периодических движений предназначены для перемещения узлов станка на определенную фиксированную величину. Периодическое движение может быть линейным (движение подачи в строгальных и долбежных станках, движение на глубину резания в шлифовальных станках) или круговым (поворот многопозиционных столов и барабанов, револьверных головок).

В станках для периодических движений получили распространение храповые механизмы и мальтийские механизмы, приводы с однооборотной муфтой и др.

Храповые механизмы предназначены для преобразования непрерывного вращательного движения ведущего звена в периодическое движение ведомого звена и применяются в тех случаях, когда нужно осуществлять периодическое движение в течение коротких промежутков времени (подача во время перебега в строгальных, долбежных и шлифовальных станках).

Храповые механизмы бывают наружного и внутреннего зацепления.

Храповый механизм состоит из храпового колеса 1 и собачки 2 (рис. 7.3). Собачка совершает качательное движение. При движении влево собачка упирается в зуб колеса и поворачивает его. При движении вправо собачка скользит по зубьям, и колесо остается неподвижным. Колебательное движение собачке обеспечивается кривошипно-шатунным механизмом. Угол качания рычага устанавливается радиусом вращения пальца 4 на кривошипном колесе 3.

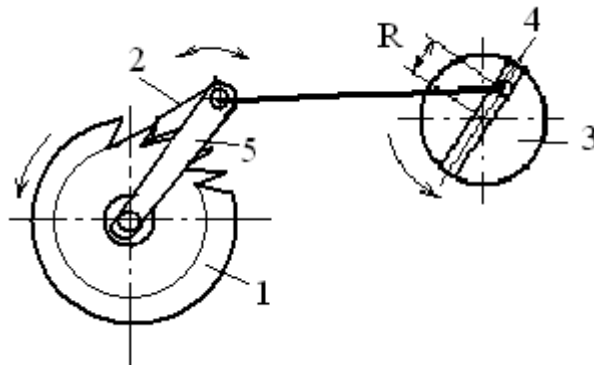


Рис. 7.3. Схема храпового механизма

Мальтийский механизм состоит из мальтийского креста 1, кривошипа 2 с пальцем 3 (рис. 7.4). Кривошип вращается с постоянной скоростью. Палец кривошипа входит в паз мальтийского креста, поворачивает его на определенный угол и выходит из паза. Мальтийский крест останавливается и находится в этом положении до тех пор, пока палец не входит в следующий паз. Угол поворота мальтийского креста зависит от числа пазов z :

$$\alpha = \frac{2\pi}{z}$$

Число пазов в мальтийском кресте может быть различным, обычно 4–6.

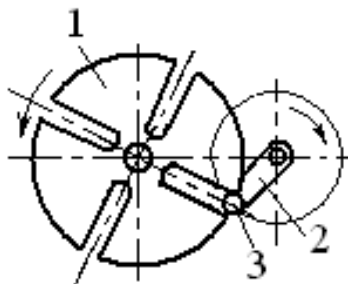


Рис.7.4. Схема мальтийского механизма

Мальтийский механизм обеспечивает плавное изменение скорости. При входе ролика в паз креста скорость равна нулю, затем она плавно увеличивается до максимума и снова убывает от максимума до нуля.

Мальтийские механизмы используются для периодических поворотов шпиндельных блоков токарных автоматов и полуавтоматов, револьверных головок, многопозиционных столов и т.д.

7.3. Механизмы обгона

Механизмы обгона применяются в тех случаях, когда валу нужно передать движение от двух самостоятельных приводов, т.е. валу, имеющему медленное рабочее движение, сообщается ускоренное холостое вращение без выключения привода первого движения. Чаще всего для этих целей применяют муфты обгона или храповые механизмы. Механизмы обгона применяются, например, на токарных станках и автоматах для переключения скорости движения рабочего органа с рабочей на ускоренную и обратно, или для переключения частоты вращения распределительного вала между рабочей и ускоренной.

Муфта обгона представлена на рис. 7.5. Диск 2 с вырезами установлен на валу 1 жестко, а втулка 5 – свободно. В вырезах диска 2 находятся ролики 3 и прижимаются к втулке пружинами 4. Втулка 5 получает вращение по стрелке от зубчатого колеса 6. Ролики под действием сил трения заклиниваются между диском и втулкой, и передают вращение на вал 1. Когда вал 1 получает ускоренное движение по стрелке от колеса 7, то диск обгоняет втулку, ролики откатываются в более широкую часть выреза и заклинивание устраняется. Происходит холостой ход. После отключения быстрого вращения вала снова происходит заклинивание роликов и будет осуществляться рабочий ход.

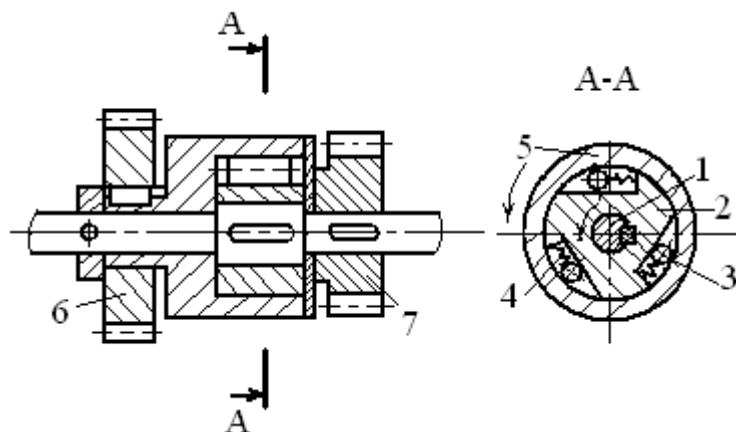


Рис.7.5. Схема муфты обгона

Храповый механизм обгона изображен на рис.7.6.

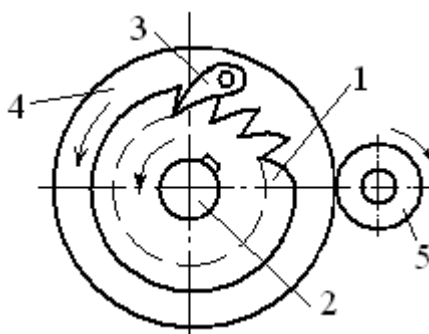


Рис.7.6. Схема храпового механизма обгона

Храповое колесо 1 закреплено на валу 2. Собачка 3 связана с диском 4, свободно посаженным на валу 2 и получающим вращение от колеса 5. Сообщая диску вращение в направлении стрелки, собачка будет вращать храповое колесо и вал в том же направлении. Если валу 2 сообщить вращение по стрелке с большей скоростью от другой кинематической цепи, то он будет обгонять диск 4, а собачка будет скользить по зубьям храпового колеса.

7.4. Механизмы прямолинейных движений

Для преобразования вращательного движения в поступательное применяются механизмы прямолинейных движений. Их называют еще тяговыми механизмами. К ним относятся винтовые, реечные и червячно-реечные, кривошипные, кулисные и кулачковые механизмы.

Винтовые механизмы широко применяются в приводах подач станков. Они имеют высокую плавность и точность движений, большую редукцию, обладают

самоторможением, что позволяет применять их для вертикальных перемещений. Однако они имеют низкий КПД, что препятствует применению их в приводах главного движения. К недостаткам также можно отнести наличие осевого зазора (люфта).

Винтовая передача состоит из винта и гайки. Используется трапецеидальная резьба с углом профиля 30° . В прецизионных станках угол профиля может составлять $10^\circ - 20^\circ$.

Для устранения люфта применяются различные устройства. На рис. 7.7 представлена гайка, состоящая из двух частей. Часть 1 гайки крепится винтом 2 к рабочему органу 3, а часть 4 при помощи винта 5 смещается в осевом направлении, выбирая люфт, после чего крепится винтом 6.

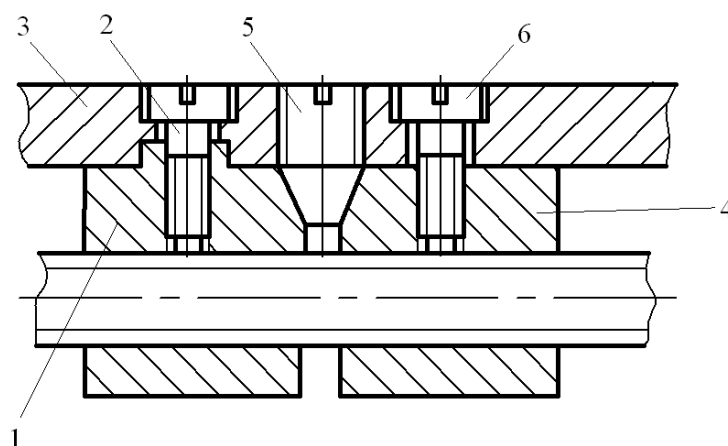


Рис. 7.7. Винтовая передача скольжения.

В некоторых станках, например токарно-винторезных, требуется периодически включать и отключать привод. В этом случае может применяться разъемная гайка. Так в винторезной цепи, гайка, состоящая из двух половинок, может охватывать ходовой винт, и движение от винта передается на гайку. Для отключения движения рабочего органа половинки гайки разводятся.

Для изготовления винтов в зависимости от класса точности применяются стали У10, У12, ХВГ, ХГ, 45, 50. Для изготовления гаек используются антифрикционные чугуны, бронзы.

На витках гайки гидростатической винтовой передачи выполнены специальные карманы, в которые под давлением подается масло, что позволяет увеличить КПД, улучшить способность гасить вибрации, снизить износ. Но такие передачи имеют сложную систему смазки, требуют стабилизации температуры масла.

Все шире в станках применяются винтовые пары качения. Это объясняется возможностью полного устранения зазора в шарико-винтовой передаче, высоким КПД ($0,9 - 0,95$), плавностью движения, незначительной зависимостью сил трения от скорости движения.

В передаче между винтом и гайкой находятся шарики. Для циркуляции шариков по замкнутому контуру в гайке предусмотрены каналы возврата (рис. 7.8).

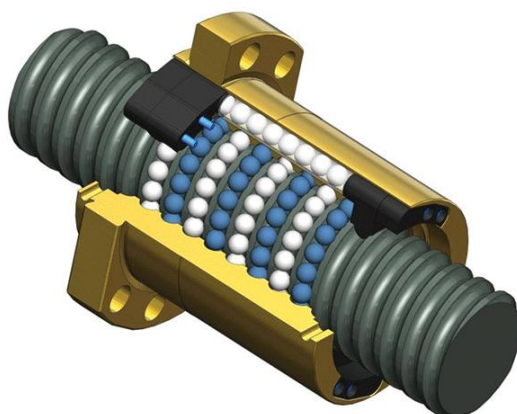


Рис. 7.8. Шарико-винтовая пара

Осовой зазор в паре винт-гайка устраняют различными методами. ШВП состоит из двух гаек. Между гайками могут быть установлены тонкие прокладки, которыми регулируют их относительное осевое расположение. Вторым вариантом предусматривают на гайках зубчатые венцы, отличающиеся на один зуб. Эти венцы сопрягаются с зубчатыми венцами нарезанными в стакане ШВП. Поворот одной гайки относительно другой позволяет тонко регулировать натяг.

К материалам винта и гайки предъявляют высокие требования к поверхностной твердости (не ниже HRC60). Ходовые винты обычно изготавливают из стали ХВГ, а гайки – из стали 9ХС.

Реечная передача обладает высоким КПД, высокой жесткостью, большой нагрузочной способностью. Применяется для передачи движения на неограниченное расстояние, так как длина рейки может набираться из отдельных секций. Для обеспечения плавности движения применяют косозубую реечную передачу.

Величина хода реечной передачи равна:

$$H = \pi \cdot m \cdot z, \text{ мм},$$

где t – шаг зубьев рейки, $t = m\pi$, мм; z – число зубьев реечного колеса; m – модуль реечной передачи, мм.

Скорость регулируется коробкой скоростей или подач, либо двигателем.

Реечные колеса изготавливают из легированной стали, например, 40ХФА, большие колеса – из серых чугунов. Рейки выполняют также из стали 40ХФА.

Реечные передачи применяются в приводах главного движения строгальных станков, в приводах подач токарных, сверлильных и др. станков.

Червячно-реечная передача позволяет повысить плавность движения, имеет еще более высокую жесткость и нагрузочную способность (рис. 7.9). К недостаткам можно отнести сложность изготовления и низкий КПД.

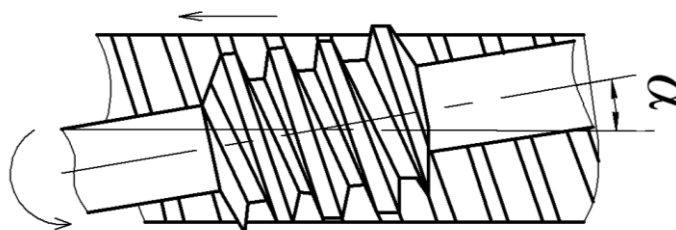


Рис. 7.9. Червячно-реечная передача

Ход червячно-реечной передачи

$$H = \frac{\pi \cdot m \cdot k \cdot \cos \beta}{\cos (\alpha - \beta)},$$

где k – число заходов червяка, α – угол между осью червяка и рейкой, β – угол подъема витков червяка.

Применяются червячно-реечные передачи для перемещения тяжелых узлов, например, для перемещения стола в продольно-строгальных станках.

Кривошипно-шатунные механизмы предназначены для сообщения рабочему органу станка возвратно-поступательного движения. Скорость движения в обоих направлениях одинакова. Кривошипно-шатунный механизм, представленный на рис. 7.10, состоит из равномерно вращающегося кривошипного диска 1, который через палец 2, установленный в пазу диска, передает движение на шатун 3. Шатун связан с коромыслом 4, имеющим на втором конце зубчатый сектор 5. Коромысло качается и через зубчатый сектор передает возвратно-поступательное движение на штоссель 6 с инструментом. Данный механизм применяется в приводе главного движения зубодолбежных станков. Частота двойных ходов рабочего органа равна частоте вращения кривошипного диска. Величина рабочего хода устанавливается величиной радиуса R положения пальца на кривошипном диске.

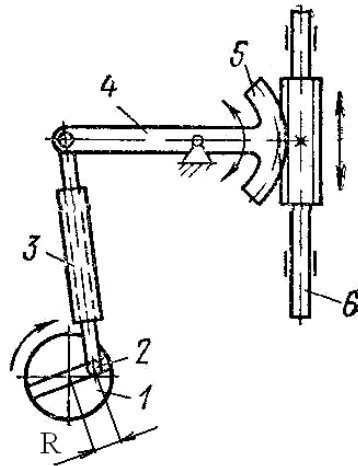


Рис. 7.10. Кривошипно-шатунный механизм

Кулисный механизм также применяется для преобразования вращательного движения в возвратно-поступательное. Механизм имеет кулисное колесо 1 (рис. 7.11). При его вращении палец 2, установленный в пазу кулисного колеса, вращается относительно оси O_1 по окружности с радиусом R . На палец 2 одет кулисный камень 3, перемещающийся в пазу кулисы 4. В результате кулиса совершает качательное движение относительно оси O_2 . Верхний конец кулисы связан с ползуном 5 станка.

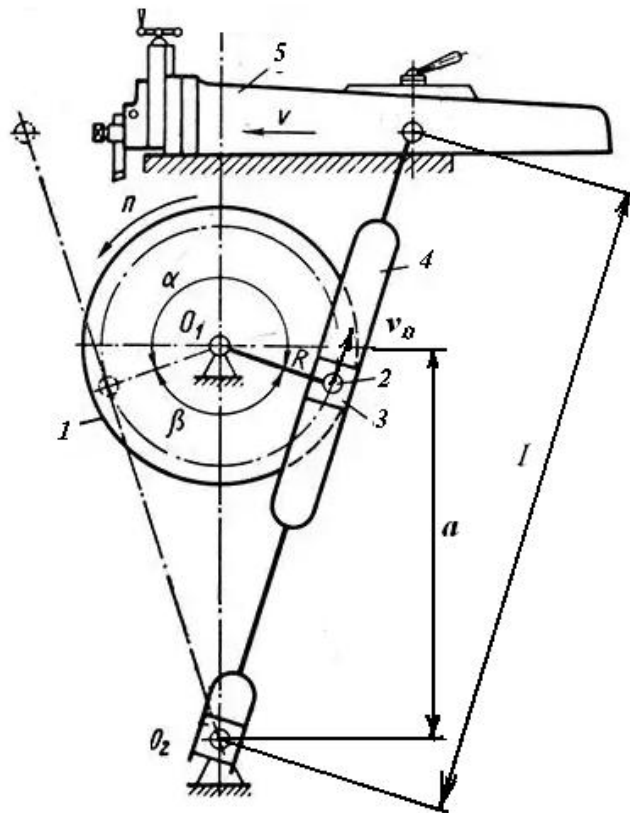


Рис. 7.11. Кулисный механизм.

В отличие от кривошипно-шатунного механизма кулисный сообщает различные скорости движения в прямом и обратном направлениях (рис. 7.12).

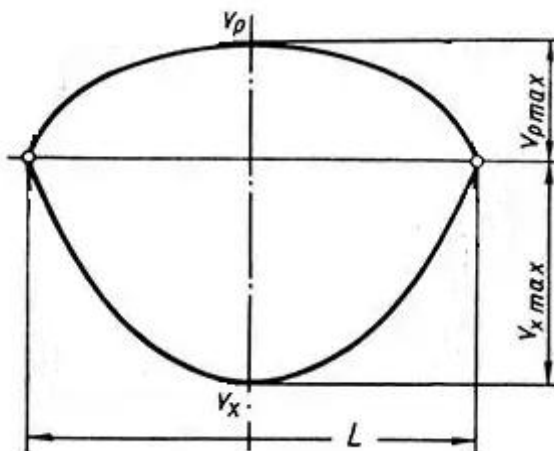


Рис. 7.12. Изменение скорости ползуна.

Максимальная скорость ползуна определяется по формуле

$$v_{\max} = \frac{v_o \cdot l}{a \pm R},$$

где v_o – окружная скорость вращения пальца, l – длина кулисы, a – расстояние между центром вращения кулисного колеса и осью O_1 качания кулисы O_2 , R – радиус вращения пальца.

Знак «+» принимается для расчета максимальной скорости рабочего хода, а знак «-» – для расчета максимальной скорости обратного хода.

Кулачковые механизмы широко используются в станках для сообщения исполнительным органам возвратно-поступательного движения и для выполнения функций управления. С их помощью можно получить различные непрерывные и прерывистые движения. Это достигается приданием кулачку соответствующей формы. Форма участков профиля кулачка, предназначенного для рабочей подачи, должна обеспечивать равномерную подачу, чему соответствует спираль Архимеда и винтовая линия. Участки кулачка, предназначенные для холостых движений, должны обеспечить минимальные затраты времени на эти движения.

В станках получили применение дисковые и цилиндрические кулачки (рис. 7.13). Независимо от формы кулачки могут быть открытыми, пазовыми и комбинированными. Постоянный контакт ролика 2 с открытой поверхностью дискового кулачка 1 обеспечивается пружиной 4 (рис. 7.13, а). В этом случае говорят о силовом замыкании кулачкового механизма. Исполнительный орган 3 совершает возвратно-поступательное движение. При движении ролика 1 по па-

зу цилиндрического кулачка 2 обеспечивается кинематическое замыкание (рис.7.13, б).

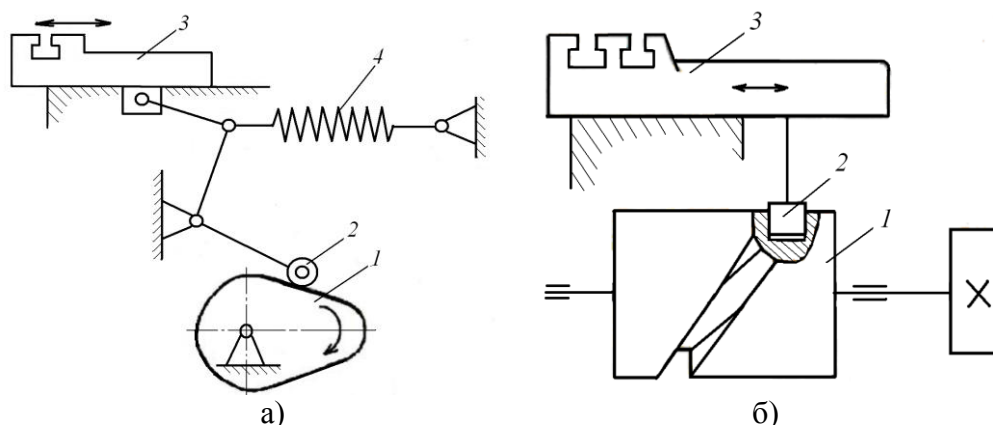


Рис. 7.13. Кулачковые механизмы
а – с дисковым кулачком; б – с цилиндрическим кулачком

7.5. Суммирующие механизмы

Суммирующие механизмы применяются в станках для суммирования движений на одном звене от разных кинематических цепей. Суммирование движений, к примеру, имеет место:

- если один и тот же рабочий орган получает движение от двух двигателей или иных источников движения;
- если требуется получить неравномерное движение узла, заданное определенным законом;
- если требуется обеспечивать точную настройку кинематических цепей, например, к основному движению прибавляется дополнительное от корректирующего устройства. Дополнительное движение в таком случае исправляет кинематические погрешности элементов, обеспечивающих основное движение.

Сложение движений может осуществляться винтовой передачей, в которой гайка получает движение вдоль оси винта при его вращении и дополнительное движение за счет ее поворота в ту или иную сторону. В реечной суммирующей передаче вращение шестерни будет получать и за счёт перемещения рейки, и за счёт перемещения шестерни вдоль рейки.

С помощью червячной пары можно получить большое число вариантов суммирования движений. Рассмотрим случай, когда червяк 1 является ведущим звеном, а червячное колесо 2 ведомым (рис. 7.14).

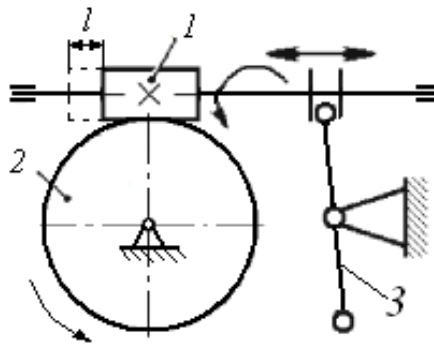


Рис. 7.14. Червячный суммирующий механизм

При повороте червяка на n оборотов, червячное колесо сделает nk/z оборотов (где k – число заходов червяка, z – число зубьев червячного колеса). Дополнительное перемещение червяка в осевом направлении от рычага 3 на величину l вызывает поворот червячного колеса на величину $l/(\pi m z)$ оборотов. В этом случае червяк работает как зубчатая рейка. Одновременное вращательное и поступательное движения червяка вызовут суммарный поворот червячного колеса: $nk/z \pm l/(\pi m z)$ оборотов.

В качестве суммирующих механизмов используется дифференциальные механизмы с цилиндрическими и коническими колесами.

На рис. 7.15 приведена схема дифференциального механизма с цилиндрическими зубчатыми колесами. На валах I и III закреплены зубчатые колеса z_1 и z_4 . Полный вал II имеет водило с сателитными колесами z_2 и z_3 . Движение от валов I и II суммируются на валу III . Это движение можно представить себе состоящим из двух движений: первое он получает от вала I при неподвижном валу II и второе – от вращения вала II при неподвижном валу I . В связи с этим необходимо знать передаточные отношения механизма от вала I к валу III , и от вала II к валу III . Для их определения используем правило Свампа.

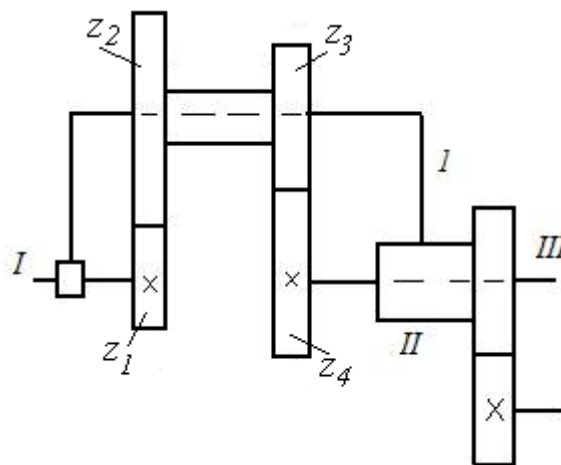


Рис. 7.15. Дифференциальный механизм с цилиндрическими зубчатыми колесами.

Когда вал *I* ведёт, а вал *II* неподвижен; то передаточное отношение определим по формуле

$$i_{I-III} = \frac{z_1 z_3}{z_2 z_4}.$$

Для определения передаточного отношения от вала *II* к валу *III* представим весь механизм как жёсткое звено и повернем на один оборот (+1). Так как вал *I* должен быть неподвижным, поворачиваем его назад (-1), при этом вал *II* должен остаться неподвижным. При возврате вала *II* вал *III* совершил поворот в соответствии с уже определенным передаточным отношением. Данные заносим в табл. 7.1 двумя строками с соответствующими знаками («+» – при повороте валов в одном направлении и «-» – в разных).

Таблица 7.1

Расчет передаточного отношения

Вал <i>I</i> – неподвижный	Вал <i>II</i> – ведущий	Вал <i>III</i> – ведомый
+1	+1	+1
-1	0	$-\frac{z_1 z_3}{z_2 z_4}$
0	1	$1 - \frac{z_1 z_3}{z_2 z_4}$

Просуммировав по столбцам, получим передаточное отношение

$$i_{II-III} = 1 - \frac{z_1 z_3}{z_2 z_4}.$$

Если частоты вращения валов обозначить n_I , n_{II} и n_{III} , то получим

$$n_{III} = n_I \cdot i_{I-III} \pm n_{II} \cdot i_{II-III} = n_I \frac{z_1 z_3}{z_2 z_4} \pm n_{II} \left(1 - \frac{z_1 z_3}{z_2 z_4} \right).$$

Знак «+» или «-» зависит от направления вращения ведущих валов.

Большое распространение в станках получили дифференциалы, состоящие из конических зубчатых колес. В коническом дифференциале (рис. 7.16) движение от вала *I* к валу *III* передаётся колёсами z_1 , z_2 , z_3 , z_4 . Передаточное отношение $i_{I-III} = \frac{z_1 z_2}{z_2 z_4} = \frac{z_1}{z_4}$. Вал *III* проходит внутри вала *II*. При вращении вала *II*

от червячной передачи вала *III* передаётся дополнительное вращение. Для определения передаточного отношения i_{II-III} воспользуемся правилом Свампа, сопровождая расчет таблицей 7.2.

Таблица 7.2

Расчет передаточного отношения

Вал <i>I</i> – неподвижный	Вал <i>II</i> – ведущий	Вал <i>III</i> – ведомый
+1	+1	+1
-1	0	$\frac{z_1}{z_4}$
0	1	$1 + \frac{z_1}{z_4}$

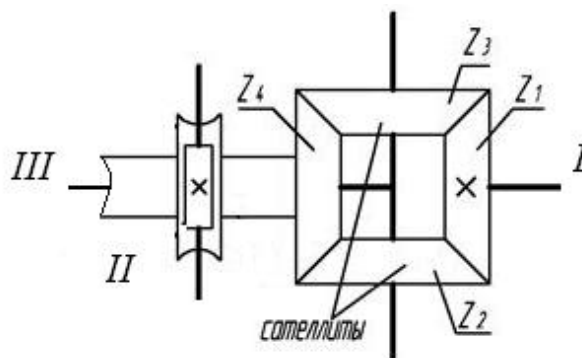


Рис. 7.16. Дифференциальный механизм с коническими зубчатыми колесами.

Зубчатые колеса z_1 и z_4 имеют одинаковое число зубьев, следовательно $i_{I-III} = 1$, а $i_{II-III} = 2$. При желании определить частоту и направление вращения ведомого вала дифференциала, следует сложить частоты вращения ведущих валов, умноженные на соответствующие передаточные отношения с учётом знаков («+», «-»), отражающих направления вращения валов:

$$n_{III} = n_I \cdot i_{I-III} \pm n_{II} \cdot i_{II-III} = n_I \pm 2n_{II}.$$

Дифференциальные механизмы с цилиндрическими и коническими колесами широко используются в зубообрабатывающих, расточных и других станках. Например, в зубофрезерных станках заготовка вращается согласованно с вращением фрезы, что обеспечивается цепью обкатки. При нарезании косозубых колес заготовке необходимо сообщить дополнительное вращение, которое обеспечивается дифференциальной цепью. Движение от названных цепей складывается в суммирующем механизме.

8. КРИТЕРИИ КАЧЕСТВА СТАНКОВ

8.1. Техничко-экономические показатели станков

Для сравнительной оценки технического уровня станков, а также для выбора станков в соответствии с решением конкретной производственной задачи используют набор показателей, характеризующих качество станков. К таким показателям относятся технико-экономические показатели (производительность, надежность, гибкость, ремонтпригодность, точность).

Производительность станков.

Производительность станка – способность станка обеспечивать на нем за определенный промежуток времени заданный объем работы.

Чаще всего производительность станка оценивается штучной производительностью – числом деталей обработанных в единицу времени при непрерывной безотказной работе:

$$Q = \frac{1}{t_{шт}}$$

Производительность зависит от времени $t_{шт}$, которое состоит из основного времени t_o , вспомогательного времени t_v , времени на обслуживание рабочего места $t_{обсл}$ и времени перерывов на отдых $t_{отд}$:

$$t_{шт} = t_o + t_v + t_{обсл} + t_{отд}$$

Кроме штучной производительности для сравнения различного по характеру оборудования и разных методов обработки используют такие понятия, как производительность формообразования и производительность резания.

Производительность формообразования – это площадь поверхности, обработанной на станке за единицу времени.

Производительность резания – объем материала, снятого с заготовки за единицу времени. К примеру, производительность резания при точении составляет $1500 \text{ см}^3/\text{мин}$, а при шлифовании – $800 \text{ см}^3/\text{мин}$.

Увеличение производительности может осуществляться следующими путями:

- уменьшение технологического времени за счет увеличения режимов резания. Для этого следует применять более совершенные инструментальные материалы и СОТС;
- совмещение во времени разных операций. Совмещение во времени операций возможно при использовании многошпиндельных станков и много-

инструментальной обработки (многошпиндельные токарные автоматы и полуавтоматы, продольно-фрезенные станки, многорезцовые полуавтоматы и др.);

– сокращение вспомогательного времени за счет совершенствования приводов (увеличения скорости холостых движений), системы управления, совмещения технологических операций и вспомогательных движений во времени, применения автоматических устройств;

– уменьшение времени на обслуживание и отдых путем проведения различных организационных мероприятий;

– уменьшение внецикловых потерь путем комплексной автоматизации и совершенствования системы управления на базе ЭВМ, повышением надежности станков, что уменьшает число отказов и время на их устранения и др.

Надежность станка.

Надежность станка – это свойство станка обеспечивать бесперебойный выпуск годной продукции с заданными точностью и производительностью в течение определенного срока службы при соблюдении условий эксплуатации, техобслуживания и ремонтов. Нарушение работоспособности станка называется отказом, которые могут быть постепенные и внезапные. При отказе продукция либо не выпускается, либо выпускается с браком. Надежность характеризуется такими параметрами, как безотказность станка, долговечность и ремонтпригодность.

Безотказность станка оценивается по результатам испытаний вероятностью отказа $Q(t)$ или вероятностью безотказной работы $P(t)$.

Вероятность отказа рассчитывается по формуле

$$Q(t) = \frac{N_{от}}{N_0},$$

где N_0 и $N_{от}$ – число элементов станка, подверженных испытанию, и число отказавших элементов станка.

Вероятность безотказной работы рассчитывается

$$P(t) = 1 - Q(t) = \frac{N_{и}}{N_0},$$

где $N_{и}$ – число элементов станка, оставшихся исправными после испытания.

Долговечность станка – свойство станка сохранять работоспособность в течение некоторого времени с необходимыми перерывами для техобслуживания и ремонта до наступления предельного состояния (выход за пределы норм точности, который требует среднего или капитального ремонта). Долговечность

связана с износом подвижных соединений, усталостью при действии переменных напряжений и старением.

Ремонтопригодность – приспособленность станка к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем проведения техобслуживания и ремонтов. Этот критерий очень важен для автоматов и автоматических линий, т.к. устранение отказов и простои станка приводят к большим финансовым затратам.

Комплексным показателем надежности станков является коэффициент технического использования

$$K_{\text{и}} = \frac{T_{\text{раб}}}{T_{\text{раб}} + \sum T_{\text{п}}},$$

где $T_{\text{раб}}$ и $T_{\text{п}}$ – время работы и время простоев станка по техническим причинам (ремонт, смена инструмента и др.).

Надежность станков можно увеличить:

- выбором наиболее простой компоновки станка и кинематической структуры;
- повышением стойкости станка к внешним и внутренним возмущениям (виброизоляция с помощью специальных фундаментов, создание станков с минимальными силовыми воздействиями, например станки для лазерной обработки и др.);
- применением механизмов, приспособляющихся к изменяющимся условиям эксплуатации (самоустанавливающиеся и самосмазывающиеся механизмы);
- непрерывным диагностированием технологической системы с помощью датчиков, позволяющим корректировать условия эксплуатации станка.

Гибкость станочного оборудования – способность к быстрому переналаживанию для изготовления других, новых деталей. Гибкость характеризуется универсальностью и переналаживаемостью. Универсальность определяется числом разных деталей, подлежащих обработке на станке, т.е. номенклатурой. Примерные области использования различных станков показаны на рис. 8.1. Номенклатура – это перечень различных деталей, обрабатываемых на станке, а серийность определяется как отношение годового выпуска разных деталей к их номенклатуре. Наиболее универсальными считаются станки с ЧПУ и с ручным управлением.

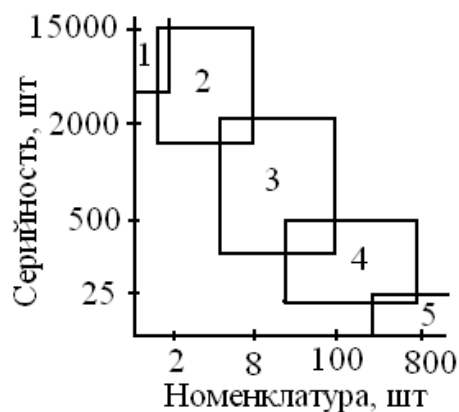


Рис. 8.1. Область применения станков

1 – автоматические линии, автоматы; 2 – переналаживаемые автоматические линии; 3 – гибкие производственные системы; 4 – станки с ЧПУ, гибкие производственные модули; 5 – станки с ручным управлением.

Переналаживаемость определяется потерями времени и средств на переналадку станка при переходе от одной партии заготовок к другой. С увеличением числа заготовок в партии общие потери на переналадку снижаются. Но при этом увеличиваются затраты на хранение деталей, которые не сразу идут в дальнейшую работу и создают незавершенное производство (рис. 8.2). Для каждого вида станочного оборудования существует оптимальный размер партии деталей $n_{\text{опт}}$. Чем он меньше, тем большей гибкостью обладает оборудование.

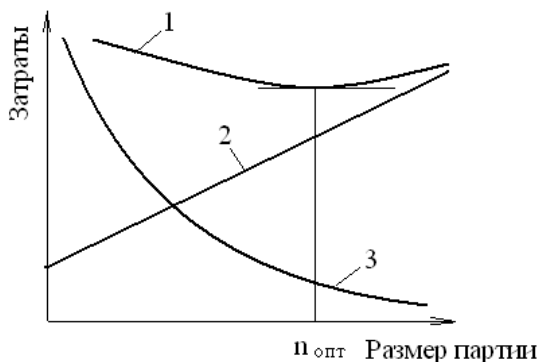


Рис. 8.2. Оптимальный размер партии

1 – суммарные потери; 2 – затраты на незавершенную продукцию, 3 – затраты на переналадку.

Гибкость станочного оборудования можно увеличить за счет использования станков с ЧПУ и различных манипуляторов.

Точность станка.

Под точностью станка понимают степень приближения действительных параметров станка и обработанных на нем деталей к заданным величинам. Точность оценивается погрешностью, которая равна разнице между действитель-

ным значением и заданным значением параметра, регламентированным ГОСТ. Например, точность токарных станков регламентируется ГОСТ 18097-93 «Станки токарно-винторезные и токарные. Основные размеры. Нормы точности».

Разделяют геометрическую и кинематическую точность. Геометрическая точность зависит от точности изготовления деталей станка и качества его сборки. Геометрическая точность характеризует точность формы, движения и взаимного расположения узлов станка, несущих инструмент и заготовку.

Чем выше должна быть точность обработанных деталей, тем более высокие требования предъявляются к точности станка. От степени точности станка зависят некруглость, неплоскостность, конусообразность и другие погрешности деталей.

Причинами некруглости деталей являются некруглость шеек шпинделя на подшипниках скольжения, износ подшипников качения, деформация посадочных поверхностей шпинделя и др.

Неплоскостность возникает из-за непрямолинейности направляющих станка, деформации стола станка вследствие остаточных напряжений.

Причинами конусности могут быть несоосность центров токарного станка, непараллельность оси шпинделя направляющим.

Схемы и способы измерений геометрической точности регламентированы ГОСТ 22267 «Станки металлорежущие. Схемы и способы измерений геометрических параметров».

Кинематическая точность характеризуется согласованностью относительных перемещений узлов станка, на которых находятся инструмент и заготовка. Кинематические погрешности влияют на скорость движения исполнительных органов станка (шпиндель, суппорт, стол). Кинематическая точность станка важна в тех случаях, когда скорость движения инструмента относительно заготовки влияет на формообразование, т.е. образование поверхности, что имеет место в станках, обрабатывающих сложные поверхности (зубообрабатывающих, резьбонарезных).

Кинематические погрешности складываются вследствие ошибок в передаточных отношениях зубчатых, червячных, винтовых и других передач.

Параметры точности станков, условия проведения проверок, методы измерений и нормы регламентируются стандартами.

В результате длительной эксплуатации происходит износ деталей станка и его точность снижается. Высокая начальная точность станка обеспечивается:

- применением узлов, детали которых изготовлены с высокой точностью (шариковые винтовые пары, гидродинамические подшипники);
- балансировкой в собранном виде;
- точной установкой и регулировкой деталей;
- применением специальных устройств (коррекционные линейки и т.д.).

8.2. Критерии работоспособности станков

В процессе эксплуатации станочное оборудование подвергается действию внешних и внутренних факторов. На узлы станка действуют силы резания, силы трения, высокие температуры и другие факторы, влияющие на работоспособность станка. Рассмотрим наиболее важные критерии работоспособности.

Жесткость станка – способность технологической системы сопротивляться появлению упругих деформаций под действием нагрузки. Она выражается отношением силы, приложенной к детали или узлу станка, к соответствующей упругой деформации (перемещению) в направлении действия этой силы:

$$j = \frac{F}{\delta}, \text{ кН/мкм.}$$

Величину, обратную жесткости, называют податливостью:

$$c = \frac{1}{j} = \frac{\delta}{F}.$$

Податливость сложной системы, такой как станок, состоящей из набора упругих элементов, соединенных последовательно, равна сумме податливостей этих элементов:

$$c_o = \sum_{i=1}^n c_i.$$

Жесткость станка должна обеспечивать упругое перемещение между инструментом и деталью в заданных пределах. Жесткость базовых деталей (станина, стойка, тумба и др.) постоянна. Поэтому и жесткость несущей системы станка (последовательно соединенных между собой базовых деталей) близка к постоянной величине (рис. 8.3).

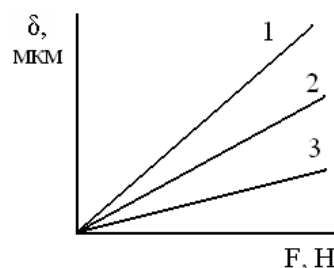


Рис. 8.3. Жесткость несущей системы.

1 – упругое перемещение инструмента относительно заготовки; 2 – перемещение конца шпинделя; 3 – упругое перемещение стола и станины.

Жесткость отдельных соединений зависит от характера приложенной силы, от случайных изменений рельефа контактирующих поверхностей (шероховатость, волнистость), толщины стенок и др. В связи с этим даже одинаковые станки могут иметь различную жесткость. На графике (рис. 8.4) приведены показатели жесткости токарного станка по результатам испытаний 25 станков.

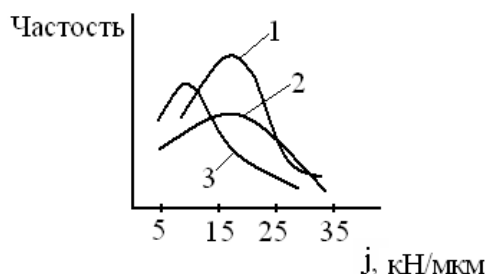


Рис. 8.4. Жесткость токарного станка.

1 – у переднего центра; 2 – в середине рабочего пространства; 3 – у заднего центра.

Для повышения общей жесткости станка необходимо повысить жесткость наименее жестких элементов станка до уровня жесткости других узлов. Жесткость увеличивается за счет выбора рациональной формы сечений, применения перегородок, ребер жесткости, рационального расположения опор, уменьшения числа элементов станка и стыков, создания предварительного натяга в подшипниках.

Виброустойчивость – способность станка противостоять возникновению колебаний. Колебания возникают в упругой системе станка из-за неуравновешенности вращающихся звеньев привода и роторов электродвигателей, из-за периодических погрешностей в передачах и от внешних периодических возмущений. Эти колебания называются вынужденными.

Автоколебания связаны с характером протекания процессов резания и трения в подвижных соединениях станка.

Особую опасность представляют резонансные колебания, возникающие при совпадении частоты вынужденных колебаний и автоколебаний.

Колебания в станке могут возникать при периодически изменяющейся жесткости узла станка – шпоночная канавка на вращающемся валу (параметрические колебания), при перемещении узлов станка с нежестким приводом в условиях трения скольжения (прерывистое скачкообразное движение), во время переходных процессов, обусловленных пуском, остановкой, резким изменением режима работы.

Основные пути повышения виброустойчивости станков: повышение качества изготовления деталей станка, сборки, балансировки быстровращающихся деталей, повышение жесткости, устранение источника колебаний, повышение

демпфирующих свойств, применение системы автоматического управления уровнем колебаний.

Теплостойкость станка – способность сопротивляться возникновению недопустимых температурных деформаций при действии тех или иных источников теплоты. Неравномерный нагрев отдельных частей станка в процессе работы приводит к изменению начальной геометрической точности, что особенно важно для прецизионных станков.

Если предположить, что температурные деформации деталей станка пропорциональны средним температурам, то линейные температурные деформации

$$\Delta L = L \cdot \varepsilon \cdot \Delta t,$$

где L – длина детали, ε – температурный коэффициент линейного расширения, Δt – изменение температуры.

К основным источникам теплоты относятся процесс резания, двигатели, подвижные соединения. Существуют постоянные источники теплоты и периодические. Действие их в течение времени видно на рис. 8.5.

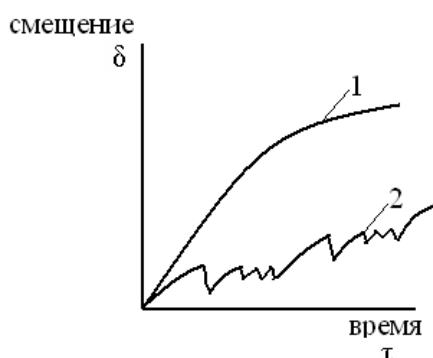


Рис. 8.5. Температурные смещения.

1 – постоянный источник нагрева;

2 – источник нагрева, периодически включаемый и выключаемый.

При чередующихся периодах работы с паузами смещение носит случайный характер, что усложняет применение различных методов компенсации температурных погрешностей.

Установлено, что после пуска токарного станка в течение 3-7 часов происходит постепенное смещение шпиндельной бабки на 20-120 мкм, а затем прекращается.

Основные пути уменьшения влияния температурных деформаций на точность обработки:

- уменьшение теплообразования и увеличение теплоотдачи;

- вынесение источников тепла за пределы станка (электродвигатели, резервуары с охлаждающей жидкостью, гидроприводов);
- выравнивание температурного поля в станке путем искусственного подогрева отдельных более холодных частей станка;
- использование компенсаторов температурного изменения зазоров или натягов пружинами, гидравлическими и пневматическими устройствами;
- создание цехов с постоянной температурой;
- применение смазочных средств оптимальной вязкости.

9. УПРАВЛЕНИЕ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИМИ СТАНКАМИ

9.1. Основные задачи управления станками. Способы задания управляющей программы

Под управлением станком понимают воздействия на его механизмы с целью выполнения цикла обработки детали с заданными точностью, производительностью и себестоимостью. Цикл обработки - это совокупность всех перемещений инструмента и заготовки, выполняемых в определенной последовательности при обработке каждой детали. Каждый цикл характеризуется величиной ходов рабочих органов станка (геометрическая информация) и их последовательностью (команды).

Управление станком может быть ручным или автоматическим.

Ручное управление основывается на том, что решение об использовании тех или иных элементов рабочего цикла принимает человек, который на основании принятых решений включает соответствующие механизмы станка и задает параметры их работы. Ручное управление обеспечивает высокую универсальность, однако снижает производительность и точность обработки. Ручное управление требует высокой квалификации рабочего. Применяется обычно для управления универсальными станками в единичном и серийном производствах.

При наличии систем автоматического управления оно выполняется по программе. Управляющая программа – это совокупность команд, соответствующая заданному алгоритму функционирования станка по обработке конкретной заготовки. Программа разрабатывается на основе чертежа детали и реализуется на различных программоносителях. Автоматическое управление реализуется в основном на полуавтоматах и автоматах. Оно увеличивает производительность станков, точность обработки, не требует высокой квалификации рабочего. Но наладка таких станков более сложная и трудоемкая.

Автоматическое управление может быть в аналоговом и цифровом виде. Аналоговые системы управления в качестве программоносителя используют упоры, расположенные на станке в требуемом положении, командоаппараты с кулачками. Такие программоносители могут использоваться в системах циклового программного управления (ЦПУ). Цикловым программным управлением (ЦПУ) называют управление, при котором полностью или частично програм-

мируется цикл работы станка, режимы обработки и смена инструмента, а размерная информация (перемещения рабочих органов станка) задается с помощью путевых упоров, устанавливаемых на специальных линейках или барабанах. В автоматическом оборудовании с ЦПУ цикл работы является замкнутым, то есть положения механизмов в начальной и конечной фазах цикла совпадают. На рис. 9.1 изображена схема цикловой системы управления, командоаппарат которой имеет дискретный привод вращения 2, подающий команду на включение двигателя М. В зависимости от замыкаемых контактов командоаппарата двигатель сообщает движению рабочему органу вперед, или назад. Длина рабочего хода исполнительного органа станка 1 ограничивается упорами 3, которые при движении воздействуют на конечные выключатели ВКВ и ВКН. Таким образом обеспечивается цикл прямолинейного движения исполнительного органа 1.

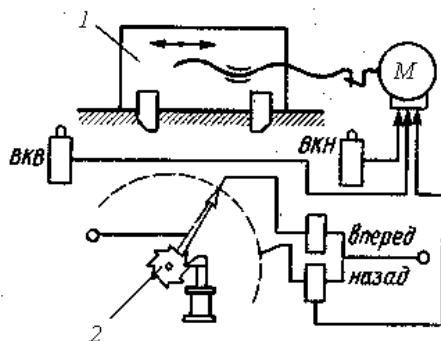


Рис. 9.1. Цикловая система управления.

К аналоговым системам управления относятся кулачковые и копировальные системы. Кулачковые системы широко используются в токарных кулачковых автоматах и полуавтоматах. Они имеют распределительный вал с кулачками, количество которых равно количеству управляемых рабочих органов станка. При вращении распределительного вала происходит управление движениями рабочих органов. Профилем кулачка обеспечивается закон движения рабочего органа (направления движения и скорости).

В копировальных системах управления программносителем выступает копир. Копировальные системы могут быть прямого действия и следящими. В копировальных системах прямого действия копир выполняет функции управления и подачи режущего инструмента, воспринимая силы резания, а в следящих копировальных системах он осуществляет только функцию управления (рис. 9.2). Функцию рабочей подачи выполняет силовой следящий привод 3, получающий сигналы управления 4 от копировального устройства 6 и обеспечивающий шпиндельной бабке 2 следящее движение подачи $S_{сл}$. Это происходит при задающем движении S_3 стола 9 с копиром 8 на расстояние Δl и подъеме шупа 7 относительно копировального устройства 6 на величину Δh . В результа-

те при обработке заготовки 1 режущий инструмент перемещается с результирующей скоростью подачи S_p . Шпиндельная бабка 2 жестко связана с копирувальным устройством 6 через балку 5. При перемещении фрезерной головки в вертикальном направлении копирувальное устройство 6 смещается относительно щупа 7, что приводит к исчезновению управляющего сигнала.

Рассмотренный принцип работы следящих копирувальных систем позволяет изготавливать копир из легкообрабатываемого материала, снижать его износ и тем самым повышать точность обработки. Резко сокращаются трудоемкость и стоимость изготовления копира. Следящие копирувальные системы управления применяются в основном на токарных и фрезерных станках.

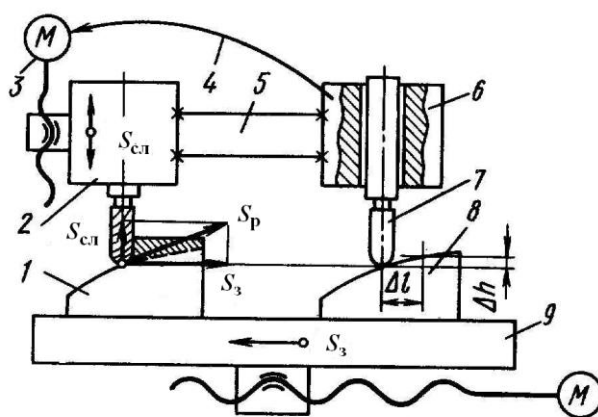


Рис. 9.2. Следящая копирувальная система управления.

К цифровым системам управления относится числовое программное управление. Числовым программным управлением (ЧПУ) называют управление обработкой заготовки на станке по управляющей программе, в которой данные представлены в цифровой форме. Технологическая информация программы обеспечивает определенный цикл работы станка, содержит данные о последовательности ввода в работу различных инструментов, об изменении режима резания и включении смазочно-охлаждающей жидкости и т.д., а геометрическая – характеризует форму, размеры элементов обрабатываемой заготовки и инструмента и их взаимное положение в пространстве. Система числового программного управления (СЧПУ) - это совокупность функционально взаимосвязанных и взаимодействующих технических и программных средств, которые обеспечивают управление станком. Основой СЧПУ является устройство числового программного управления (УЧПУ), которое выдает управляющее воздействие на рабочие органы станка. Вся информация УП вводится в память системы управления. УЧПУ преобразует эту информацию в управляющие команды для рабочих органов станка и контролирует их выполнение.

9.2. Классификация систем ЧПУ

По уровню технических возможностей в международной практике приняты следующие обозначения систем числового программного управления:

NC (Numerical Control) – ЧПУ;

HNC (Hand Numerical Control) – разновидность устройства ЧПУ с заданием программы с пульта оператора;

SNC (Speiher Numerical Control) – устройство ЧПУ, имеющее память для хранения всей управляющей программы (программа хранится во внутренней памяти);

CNC (Computer Numerical Control) – устройство ЧПУ позволяет управлять одним станком с ЧПУ, основанные на работе мини – ЭВМ или процессора. Расширяются функциональные возможности программного управления, появляется возможность хранения УП и ее редактирование на рабочем месте, диалоговое общение с оператором, широкие возможности коррекции, возможность изменения программы при ее эксплуатации и др.;

DNC (Direct Numerical Control)– системы более высокого уровня, обеспечивающие: управление сразу группой станков от общей ЭВМ; хранение в памяти весьма значительного количества программ; взаимодействие со вспомогательными системами ГПС (транспортирования, складирования); выбор времени начала обработки той или иной детали; учет времени работы и простоев оборудования и т. д.

По характеру движения рабочих органов системы ЧПУ подразделяют на три группы (рис. 9.3).

Позиционные системы (Ф2) обеспечивают прямолинейное перемещение исполнительного органа станка по одной или двум координатам. Перемещение из позиции в позицию осуществляется с максимальной скоростью, а его подход к заданной позиции – с минимальной («ползучей») скоростью. При перемещении исполнительного органа из позиции в позицию процесс резания не выполняется. Такими системами ЧПУ оснащены сверлильные и расточные станки.

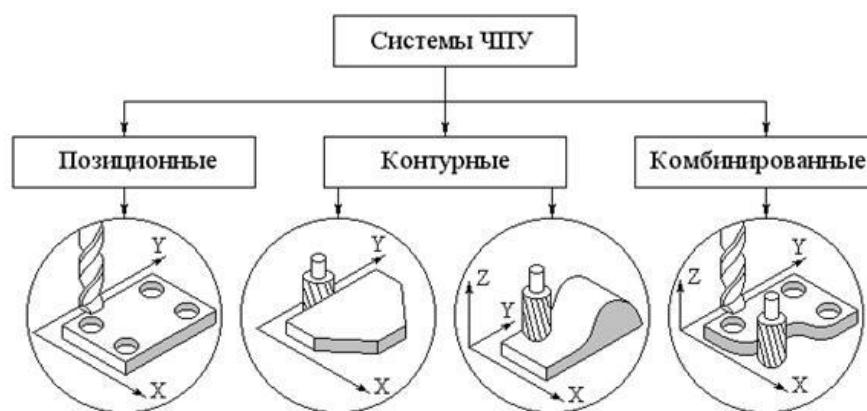


Рис.9.3. Системы ЧПУ по характеру движения рабочих органов.

Контурные системы (Ф3) предназначены для выполнения рабочих перемещений по определенной траектории с заданной скоростью согласно программе обработки. Для этого система должна обеспечивать функциональную зависимость между скоростями движений вдоль координатных осей для получения необходимого контура обработки. Такими системами оснащаются токарные, фрезерные и другие станки.

Контурно-позиционные (комбинированные) системы (Ф4) обладают особенностями как позиционных, так и контурных систем и наиболее типичны для многооперационных станков (сверлильно-фрезерно-расточных).

По числу потоков информации системы ЧПУ делятся на разомкнутые, замкнутые и адаптивные.

Разомкнутые системы характеризуются наличием одного потока информации, поступающего от устройства ЧПУ на привод станка (рис. 9.4). В разомкнутой системе отсутствует информация о действительном положении исполнительных органов станка. Точность воспроизведения движения рабочих органов с такой системой невысока и определяется точностью отработки команд двигателем привода подачи и точностью кинематической цепи, передающей движение рабочему органу. В механизмах таких систем используют силовой шаговый двигатель или несилевой шаговый двигатель с гидроусилителем моментов.

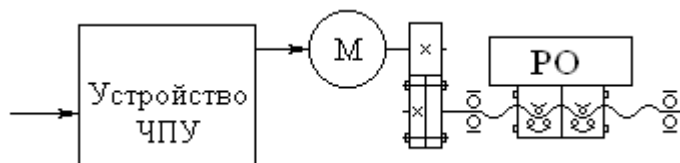


Рис. 9.4. Схема разомкнутой системы ЧПУ.

Замкнутые системы ЧПУ характеризуются двумя потоками информации (рис. 9.5). Один поток поступает от устройства ЧПУ к приводу, а второй - к УЧПУ от датчиков обратной связи, определяющих действительное положение рабочих органов. При наличии рассогласования между заданной и действительной величинами перемещения исполнительного органа станка устройство ЧПУ воздействует на привод подачи, который перемещает рабочий орган в нужном направлении до устранения рассогласования.

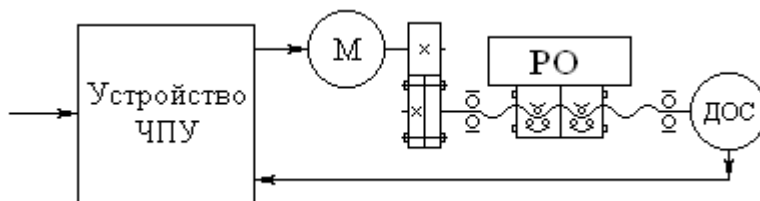


Рис. 9.5. Схема замкнутой системы ЧПУ.

Адаптивные системы ЧПУ (рис. 9.6) характеризуются тремя потоками информации: от устройства ЧПУ; от датчика обратной связи; от датчиков, установленных на станке и контролирующих процесс обработки. В процессе обработки режущий инструмент постоянно изнашивается. Имеют место колебания припуска и твердости материала в пределах одной обрабатываемой заготовки или различных заготовок партии, изменение жесткости системы вдоль траектории движения и др. Это проявляется в изменении сил и мощности резания, крутящего момента на шпинделе, скорости износа инструмента, уровня вибрации системы. С помощью датчиков, измеряющих составляющие силы резания, мощность резания, крутящий момент, износ инструмента, уровень вибраций технологической системы и др. УЧПУ получает информацию о процессе обработки и корректирует программу обработки с учетом реальных условий резания.

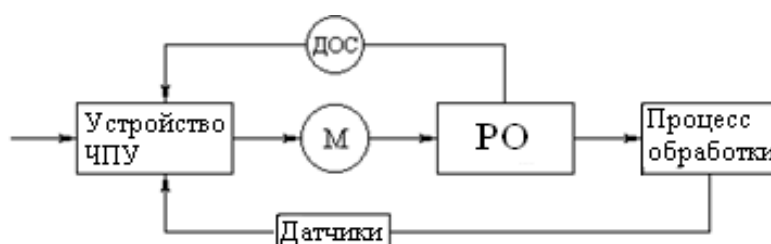


Рис. 9.6. Схема адаптивной системы ЧПУ.

9.3. Системы координат станков с ЧПУ, детали и инструмента

Для всех станков ЧПУ применяют единую систему обозначений координат, рекомендованную ГОСТ 23597-79 (ISO – 841). Стандартная система координат представляет собой правую прямоугольную систему, связанную с заготовкой, оси которой параллельны прямолинейным направляющим станка.

Все прямолинейные перемещения рассматриваются в системе координат X, Y, Z . Круговое движение по отношению к каждой из координатных осей обозначают прописными буквами латинского алфавита: A, B, C (рис. 9.7). Оси X, Y, Z показывают положительное направление движения инструмента относительно неподвижной заготовки. Положительное направления движения рабочих органов, несущих заготовку, обозначается буквами X', Y', Z' , при этом оно противоположно осям X, Y, Z .

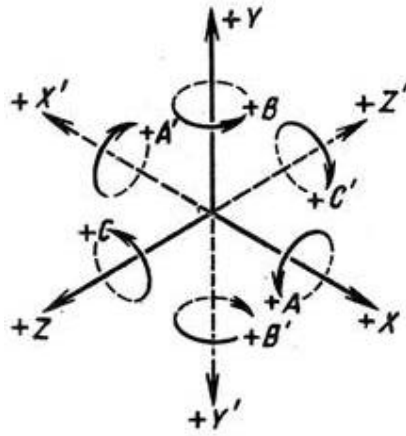


Рис. 9.7. Стандартная система координат.

Во всех станках ось Z совпадает с осью шпинделя главного движения, т. е. шпинделя, вращающего инструмент (в станках сверильно-фрезерно-расточной группы), или шпинделя, вращающего заготовку (в станках токарной группы).

Движение по оси Z в положительном направлении должно соответствовать направлению отвода инструмента от заготовки. Ось X должна располагаться предпочтительно горизонтально и параллельно поверхности крепления заготовки. На станках с вращающейся заготовкой (токарные) движение по оси X направлено по радиусу заготовки и параллельно поперечным направляющим. Положительное движение по оси X происходит, когда инструмент, установленный в главном резцедержателе поперечных салазок, отходит от оси вращения заготовки (рис. 9.8).

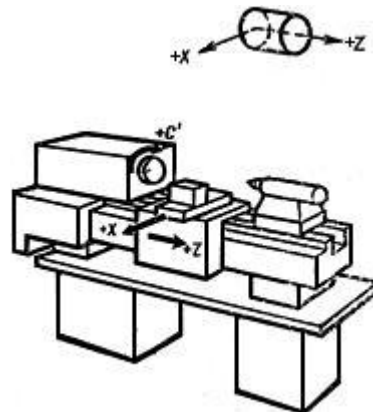


Рис. 9.8. Оси координат в токарных станках с ЧПУ.

На станках с вращающимся инструментом (фрезерные, сверлильные) при горизонтальном расположении оси Z положительное перемещение по оси X направлено вправо, если смотреть от основного инструментального шпинделя в сторону изделия (рис. 9.9).

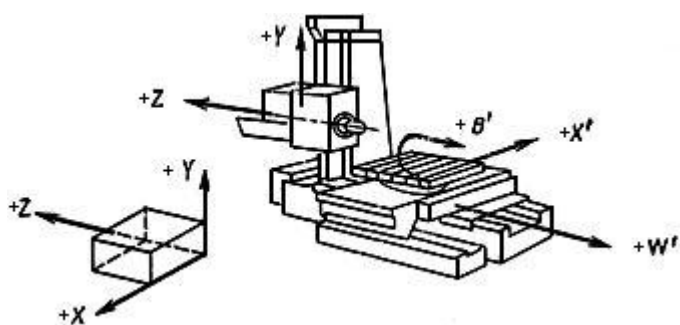


Рис. 9.9. Оси координат в горизонтально-расточных станках с ЧПУ.

При вертикальном расположении оси Z положительное перемещение по оси X вправо для одностоечных станков, если смотреть от основного инструментального шпинделя на стойку, а для двухстоечных станков, если смотреть от основного инструментального шпинделя на левую стойку (рис. 9.10).

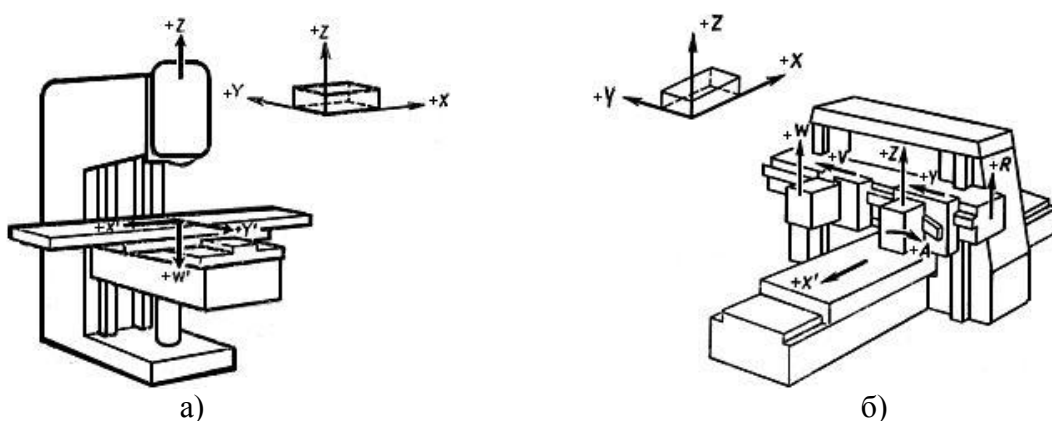


Рис. 9.10. Оси координат во фрезерных станках с ЧПУ
а – вертикально-фрезерный; б – двухстоечный продольно-фрезерный

Положительное направление по оси Y следует выбирать так, чтобы ось Y вместе с осями Z и X образовала правую прямоугольную систему координат. Для этого использую правило правой руки: большой палец – ось X , указательный – ось Y , средний – ось Z (рис. 9.11, а). Положительное направление вращения вокруг этих осей определяется другим правилом правой руки (рис. 9.11, б). Если расположить большой палец по положительному направлению оси, то согнутые в кулак остальные пальцы укажут положительное направление вращения.

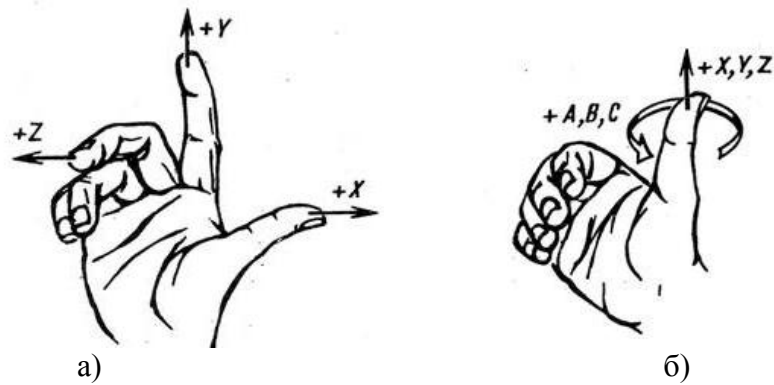


Рис. 9.11. Правила правой руки

Если дополнительно к основным (первичным) прямолинейным движениям по осям X , Y и Z имеются вторичные движения, параллельные им, то они обозначаются соответственно U , V , W . В случае, если имеются третичные движения, их обозначают P , Q и R .

Начало стандартной системы координат станка обычно совмещают с базовой точкой узла станка, несущего заготовку. Эта точка называется нулевой точкой станка или нулем станка. Для токарных станков это точка пересечения торца шпинделя с осью его вращения (рис. 9.12). Для фрезерных и расточных станков за нуль станка обычно принимают точку пересечения диагоналей стола. Для станков с поворотным столом – центр поворота на зеркале стола.

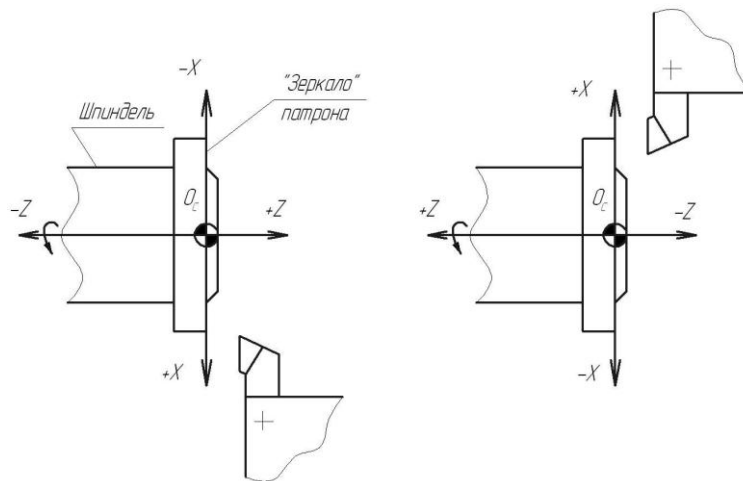


Рис. 9.12. Система координат токарного станка

При разработке управляющей программы используется система координат детали. Оси координат имеют такое же направление, как и оси системы координат станка. Система координат детали выбирается таким образом, чтобы координатные плоскости совмещались или были параллельны базовым поверхно-

стям детали, либо проходили через оси базовых цилиндрических поверхностей или были параллельны им.

Нуль детали следует выбирать так, чтобы не возникало трудностей при расчете координат опорных точек. Под опорными точками понимают точки начала, конца, пересечения или касания линий, образующих траекторию движения инструмента в процессе обработки детали.

Система координат инструмента предназначена для задания положения настроечной точки инструмента, т.е. точки инструмента, движение которой программируется, относительно торца шпинделя или центра поворота револьверной головки. Оси системы координат инструмента также параллельны осям системы координат станка.

Связь системы координат при обработке детали на токарном станке показана на рис. 9.13. Настроечная точка инструмента B , заданная в системе координат инструмента $X_{и}, Z_{и}$, переводится в систему координат станка координатами X_0, Z_0 через базовую точку K , которая совпадает с нулем системы координат инструмента $O_{и}$. Текущая точка A траектории движения инструмента переводится из системы координат детали $X_{д}O_{д}Z_{д}$ в систему координат станка $X_0O_0Z_0$ через базовую точку B приспособления, которая определена в системе координат детали и станка. Обычно точка B совпадает с началом системы координат детали $O_{д}$.

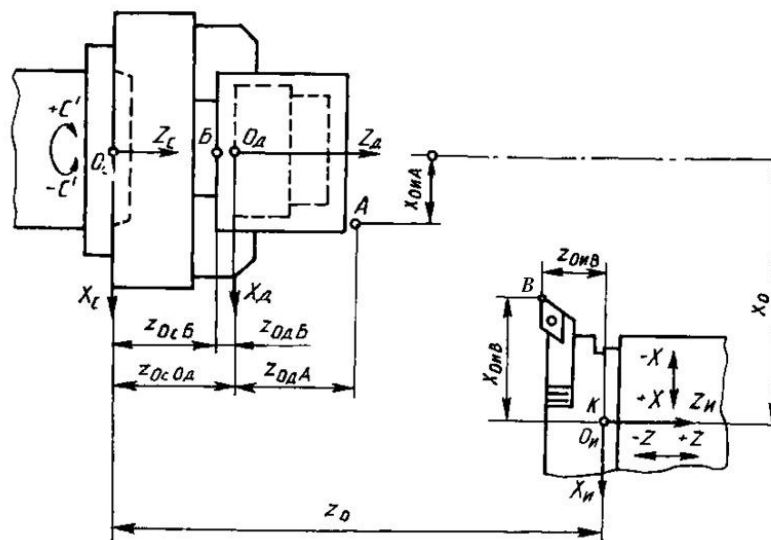


Рис. 9.13. Связь систем координат токарного станка

9.4. Структура управляющей программы, структура кадра, формат кадра

Управляющая программа разрабатывается на основе чертежа детали. Прежде всего, определяются форма и размеры заготовки. Затем разрабатывается технология обработки – определяются режущий инструмент, порядок обработ-

ки детали и режимы резания. Определяются ноль детали и исходная точка. За исходную точку принимается точка, определяемая в системе координат станка, с которой начинается работа по программе. В этой точке происходит смена инструмента. Чтобы избежать значительных холостых ходов, исходное положение задается так, чтобы инструменты находились по возможности ближе к обрабатываемой детали. В системе координат детали определяются опорные точки траектории движения каждого инструмента. В программе задается траектория движения настроечной точки режущего инструмента. В качестве такой точки для резцов используется вершина или центр дуги при вершине. Для сверла, зенкера, развертки, концевой фрезы этой точкой является центр основания инструмента, для дисковых фрез – центр вращения оси и т.д. Имея необходимую информацию, приступают к разработке управляющей программы.

Правила кодирования информации управляющих программ устанавливаются ГОСТ 20999-83.

Каждая управляющая программа должна начинаться символом «Начало программы» (%), после которого должен стоять символ «Конец кадра» (ПС, LF и др), а затем кадр с соответствующим номером. Для современных устройств ЧПУ это требование не обязательно.

Управляющую программу рекомендуется составлять таким образом, чтобы в кадре записывалась только та геометрическая, технологическая и вспомогательная информация, которая изменяется по отношению к предыдущему кадру. Любая группа символов, не подлежащая отработке на станке, должна быть заключена в круглые скобки. Внутри скобок не должны применяться символы «Начало программы» и «Главный кадр» (:). Например, группа символов, заключенная в скобки, может быть выведена на дисплей и служить в качестве указаний оператору.

Если необходимо обозначать управляющую программу, это обозначение (номер) должно находиться непосредственно за символом «Начало программы» перед символом «Конец кадра». Например, % 010 ПС.

Перед символом «Начало программы» может быть записана любая информация, не содержащая символа «Начало программы» (примечания по наладке станка, различные идентификаторы программы и т.п.).

После символа «Главный кадр» (:) в УП должна быть записана вся информация, необходимая для начала или возобновления обработки. Этот символ используется для определения начала программы на носителе данных.

Управляющая программа должна заканчиваться символом «Конец программы» (M02) или «Конец информации» (M30).

Каждый кадр управляющей программы записывается последовательностью слов, начиная со слова «Номер кадра» (допускается не использовать), и заканчивается символом «Конец кадра».

Каждое слово в кадре управляющей программы должно состоять из: символа адреса (табл. 9.1); математического знака «плюс» или «минус» (при необходимости); последовательности цифр.

Значение символов адресов

Символ	Значение
A	Угол поворота вокруг оси X
B	Угол поворота вокруг оси Y
C	Угол поворота вокруг оси Z
D	Вторая функция инструмента
E	Вторая функция подачи
F	Первая функция подачи
G	Подготовительная функция
H	Не определен
I	Параметр интерполяции или шаг резьбы параллельно оси X
J	Параметр интерполяции или шаг резьбы параллельно оси Y
K	Параметр интерполяции или шаг резьбы параллельно оси Z
L	Не определен
M	Вспомогательная функция
N	Номер кадра
O	Не определен
P	Третичная длина перемещения, параллельного оси X
Q	Третичная длина перемещения, параллельного оси Y
R	Перемещение на быстром ходу по оси Z или третичная длина перемещения, параллельного оси Z
S	Функция главного движения
T	Первая функция инструмента
U	Вторичная длина перемещения, параллельного оси X
V	Вторичная длина перемещения, параллельного оси Y
W	Вторичная длина перемещения, параллельного оси Z
X	Первичная длина перемещения, параллельного оси X
Y	Первичная длина перемещения, параллельного оси Y
Z	Первичная длина перемещения, параллельного оси Z

Применяются следующие слова.

Размерные перемещения. Для указания линейных перемещений используются адреса X, Y, Z (первичная система координат), U, V, W (вторичная система координат), P, Q, R (третичная система координат). Все размерные перемещения могут задаваться в абсолютных значениях (относительно нуля детали) или приращениях (относительно предыдущей запрограммированной точки) с соответствующим знаком «плюс» или «минус». Знак «плюс» допускается опускать.

Для указания угловых перемещений используются адреса A, B, C, означающие, соответственно, поворот вокруг осей X, Y, Z.

Функция подачи обозначается адресом F. Выбор типа подачи должен осуществляться одной из следующих подготовительных функций:

- G 93 – «Подача в функции обратной времени»;
- G 94 – «Подача в минуту»;

- G 95 – «Подача на оборот».

Для быстрого перемещения рекомендуется использовать подготовительную функцию G00.

Функция главного движения S. Выбор вида функционирования главного движения (там, где это необходимо) должен осуществляться одной из следующих подготовительных функций:

- G 96 – «Постоянная скорость резания»;
- G 97 – «Обороты в минуту».

Функция инструмента T используется для выбора инструмента.

Подготовительная функция задается адресом G. Подготовительная функция указывает системе программного управления особенности выполняемых в данном и последующих кадрах перемещений. Подготовительные функции можно разделить на несколько групп:

- G00 – G09 – команды общего порядка: позиционирование, линейная или круговая интерполяция, ускорение, замедление, пауза;
- G10 – G39 – особенности непрерывной обработки: выбор осей, плоскостей, видов интерполяции;
- G40 – G59 – коррекция размеров инструмента без отсчета, смещение осей;
- G60 – G79 – вид и характер перемещений и положение заготовки в процессе обработки;
- G80 – G89 – постоянные циклы;
- G90 – G99 – особенности задания размеров, режимов обработки.

Значения подготовительных функций представлено в таблице 9.2.

Таблица 9.2

Кодирование подготовительных функций

Обозначение функции	Значение функции
G00	Позиционирование. Перемещение на быстром ходу в заданную точку. Ранее заданная рабочая подача не отменяется
G01	Линейная интерполяция. Перемещение с запрограммированной подачей по прямой к точке
G02,G03	Круговая интерполяция соответственно по ходу и против хода часовой стрелки
G04	Задержка в обработке на определенное время, которое задается с пульта управления или в кадре
G05	Временный останов. Длительность останова не ограничена. В работу станок включается нажатием кнопки

G06	Параболическая интерполяция. Движение по параболе с запрограммированной подачей
G08	Разгон. Плавное увеличение скорости подачи до запрограммированного его значения в начале движения
G09	Торможение в конце кадра. Плавное уменьшение скорости подачи до фиксированного значения
G17,G18,G19	Плоскости интерполяции соответственно XY, XZ, YZ
G33,G34,G35	Нарезание резьбы соответственно с постоянным, увеличивающимся и уменьшающимся шагом
G40	Отмена коррекции инструмента, заданного одной из функций G41–G52
G41,G42	Коррекция диаметра или радиуса инструмента при контурном управлении. Режущий инструмент расположен соответственно слева и справа от детали
G43,G44	Коррекция диаметра или радиуса инструмента соответственно положительная и отрицательная
G45-G52	Коррекция диаметра или радиуса инструмента при прямолинейном формообразовании: G45+/, G46+/-, G47-/-, G48-/, G49 0/+, G50 0/-, G51 +/0, G52-/0
G53	Отмена линейного сдвига, заданного одной из функций G54-G59
G54-G59	Линейный сдвиг по координатам X,Y,Z и в плоскостях XY, XZ, YZ соответственно
G63	Нарезание резьбы метчиком
G80	Отмена постоянного цикла, заданного одной из функций G81–G89
G81-G89	Постоянные циклы
G90	Абсолютный размер. Отсчет перемещений в абсолютной системе координат с началом в нулевой точке системы ЧПУ
G91	Размер в приращениях. Отсчет перемещений относительно предыдущей запрограммированной точки
G92	Установка абсолютных накопителей положения
G93	Скорость подачи в функции, обратной времени
G94,G95	Единица подачи соответственно в минуту и на оборот
G96	Единица скорости резания (м/мин)
G97	Единица главного движения (об/мин)

Вспомогательная функция задается адресом M. Вспомогательные функции служат для управления электроавтоматикой станка. Значение функций представлены в таблице 9.3.

Таблица 9.3

Значение вспомогательных функций

Обозначение функции	Наименование функции	Значение функции
M00	Программируемый останов	Останов без потери информации по окончании отработки соответствующего кадра. После выполнения команд происходит останов шпинделя, охлаждения, подачи. Работа по программе возобновляется нажатием кнопки

M01	Останов с подтверждением	Функция аналогична M00, но выполняется только при предварительном подтверждении с пульта управления
M02	Конец программы	Указывает на завершение обработки управляющей программы и приводит к останову шпинделя, подачи и выключению охлаждения после выполнения всех команд в кадре. Используется для приведения в исходное состояние УЧПУ и (или) исходное положение исполнительных органов станка
M03	Вращение шпинделя по часовой стрелке	Включает шпиндель в направлении, при котором винт с правой нарезкой, закрепленный в шпинделе, входит в заготовку
M04	Вращение шпинделя против часовой стрелки	Включает шпиндель в направлении, при котором винт с правой нарезкой, закрепленный в шпинделе, выходит из заготовки
M05	Останов шпинделя	Останов шпинделя наиболее эффективным способом. Выключение охлаждения
M06	Смена инструмента	Команда на смену инструмента вручную или автоматически (без поиска инструмента). Может автоматически отключать шпиндель и охлаждение
M07	Включение охлаждения N 2	Включение охлаждения N 2 (например, масляным туманом)
M08	Включение охлаждения N 1	Включение охлаждения N 1 (например, жидкостью)
M09	Отключение охлаждения	Отменяет M07, M08
M10	Зажим	Относится к работе с зажимным приспособлением подвижных органов станка
M11	Разжим	То же
M19	Останов шпинделя в заданной позиции	Вызывает останов шпинделя при достижении им определенного углового положения
M30	Конец информации	Приводит к останову шпинделя, подачи и выключению охлаждения после выполнения всех команд в данном кадре. Используется для установки в исходное состояние УЧПУ и (или) исходное положение исполнительных органов станка. Установка в исходное положение УЧПУ включает в себя возврат к символу "Начало программы"
M49	Отмена ручной коррекции	Функция, указывающая на отмену ручной коррекции скорости подачи и (или) скорости главного движения и о возвращении этих параметров к запрограммированным значениям
M59	Постоянная скорость шпинделя	Поддержание постоянным текущего значения скорости шпинделя независимо от перемещения исполнительных органов станка и задействованной функции G 96

В пределах одного кадра УП не должны повторяться слова «Размерные перемещения», «Параметр интерполяции» или «Шаг резьбы»; не должны использоваться слова «Подготовительная функция», входящие в одну группу.

Слова в управляющей программе должны быть записаны одним из двух способов: без использования десятичного знака (подразумеваемое положение десятичной запятой); с использованием десятичного знака (явное положение десятичной запятой). Подразумеваемое положение десятичной запятой должно быть определено в характеристиках формата конкретного УЧПУ.

При записи слов с использованием десятичного знака слова, в которых десятичный знак отсутствует, должны обрабатываться УЧПУ как целые числа. При записи слов с использованием десятичного знака могут быть опущены незначащие нули, стоящие до и (или) после знака. Например: X.03 – означает размер 0,03 мм по оси X; X 1030. – означает размер 1030,0 мм по оси X. Размер, представленный одними нулями, должен быть выражен, по крайней мере, одним нулем.

При записи слов с подразумеваемой десятичной запятой с целью сокращения количества информации рекомендуется опускать нули, стоящие перед первой значащей цифрой (ведущие нули). Допускается опускать последние нули (ведущие нули в этом случае опускать нельзя). Положение подразумеваемой десятичной запятой остается неизменным согласно характеристикам формата конкретного УЧПУ. Например, перемещение по оси X на величину 185,3 мм может быть записано X00185300. Если форматом кадра допускается опускать ведущие нули, то можно записать X185300. Если опускаются последние нули, то запись имеет вид X001853.

Схема построения кадра обычно определена форматом кадра. Формат кадра зависит от конструктивных особенностей станка, модели УЧПУ, методики программирования и т.д. В формате кадра рекомендуется определенный порядок слов и структура каждого слова в отдельности. В формате кадра используются следующие символы и цифры.

Символы «Начало программы», «Главный кадр» и «Пропуск кадра» и адреса слов обозначаются в соответствии с ГОСТ20999-83.

Явная десятичная запятая обозначается символом DS.

Если УЧПУ требует указания символа «Конец кадра», то он обозначается звездочкой *, или PS, или LF.

Если за адресом размерного слова (Размерные перемещения), «Функция подачи») следуют две цифры, то первая из них показывает количество разрядов перед запятой, вторая – после запятой. Если можно опускать нули, стоящие перед первой или после последней значащей цифрой, то за адресом стоит три цифры, одна из которых – нуль. Если опускаются нули, стоящие до первой значащей цифры, то в формате кадра нулем должна быть первая цифра. Если опускаются нули, стоящие после последней значащей цифры, то в формате кадра нулем является последняя цифра.

Если абсолютные размеры всегда положительны, то между адресом и следующим на нем числом нет никакого знака. Если размеры могут быть положительными и отрицательными, то между адресом и числом в формате стоит знак «+» или «±». В первом случае в задании перемещений знак «+» можно опускать. Если в формате стоит знак «±», то все перемещения обязательно указываются со знаками «+» или «-».

За адресом безразмерных слов записывается цифра, показывающая количество цифр в слове. Если можно опускать нули, стоящие перед первой значащей цифрой, то за адресом стоят две цифры, первая из которых нуль.

Рассмотрим, например, следующий формат

% : / DS N03 G2 X+053 Y+053 Z+042 F031 S04 T05 M2 *

Данный формат указывает, что УЧПУ воспринимает символы «Начало программы» (%), «Главный кадр»(:) и «Пропуск кадра» (/) и явную десятичную запятую (DS). Ведущие (первые) нули во всех словах, кроме слов «Подготовительная функция» (G) и «Вспомогательная функция» (M), разрешается опускать:

- N03 – трехзначный номер кадра (N001 или N1–N999);
- G2 – двухзначный номер подготовительной функции (G01–G99);
- X+053 – перемещение по оси X со знаком «+» или «-». Знак «+» можно опускать. Числовое значение состоит из пяти цифр до запятой и трех после запятой. Остальные слова можно рассмотреть аналогичным образом.

Звездочка, завершающая запись формата кадра, означает конец кадра.

10. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СТАНКОВ С ЧПУ

Станки с ЧПУ имеют расширенные технологические возможности, которые в значительной степени определяются числом управляемых координат.

Повышение точности обработки достигается высокой точностью изготовления и жесткостью станка, превышающей жесткость обычного станка того же назначения.

Базовые детали (станины, колонны, основания) изготавливают с повышенной жесткостью и виброустойчивостью. Повышенную жесткость имеют и подвижные несущие элементы (суппорты, столы, салазки). В станках с ЧПУ используют базовые и корпусные детали с дополнительными ребрами жесткости, детали из полимерного бетона или синтетического гранита, что в еще большей степени повышает жесткость и виброустойчивости станка. Станины токарных станков с ЧПУ часто имеют вертикальное или наклонное расположение плоскости направляющих для обеспечения лучших условий схода стружки.

Направляющие станков с ЧПУ имеет высокую износостойкость и малую силу трения, что позволяет снизить мощность следящего привода, увеличить точность перемещений, уменьшить рассогласование в следящей системе. Направляющие скольжения для уменьшения коэффициента трения создают в виде пары скольжения «сталь (или высококачественный чугун) – пластиковое по-

крытие (фторопласт и др.)» В станках наибольшее распространение получили направляющие качения. Направляющие качения имеют высокую долговечность, характеризуются небольшим трением, причем коэффициент трения практически не зависит от скорости движения. Используются гидростатические и аэростатические направляющие.

В станках с ЧПУ применяют автономные приводы, по возможности сокращают число механических передач. Приводы станков с ЧПУ должны обеспечивать высокое быстродействие.

К приводам главного движения станков с ЧПУ предъявляют требования повышенной мощности и бесступенчатого регулирования. В приводах главного движения обычно используются двигатели переменного тока – для больших мощностей и постоянного тока – для малых мощностей.

Шпиндели станков с ЧПУ выполняют более 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 используемых при адаптивном управлении и автоматической диагностики.

Точность вращения шпинделя обеспечивается, прежде всего, высокой точностью изготовления подшипников. Наиболее часто в опорах шпинделей применяют подшипники качения. Для уменьшения влияния зазоров и повышения жесткости опор обычно устанавливают подшипники с предварительным натягом или увеличивают число тел качения. Подшипники скольжения в опорах шпинделей применяют реже. В прецизионных станках применяют аэростатические подшипники, в которых между шейкой вала и поверхностью подшипника находится сжатый воздух, благодаря этому снижается износ и нагрев подшипника, повышается точность вращения.

В качестве привода подач используют двигатели постоянного тока и синхронные или асинхронные машины, управляемые от цифровых преобразователей. Привод движения подач характеризуется минимально возможными зазорами, малым временем разгона и торможения, уменьшенным нагревом элементов привода, большим диапазоном регулирования (от 1 до 10000 мм/мин). Обеспечение этих характеристик возможно благодаря применению шариковых и гидростатических винтовых передач, направляющих качения и гидростатических направляющих, беззазорных редукторов с короткими кинематическими цепями. Повышению точности способствует применение в станках датчиков обратной связи. Для уменьшения тепловых деформаций необходимо обеспечить равномерный температурный режим в механизмах станка, чему, например, способствует предварительный разогрев станка и его гидравлической системы. Температурную погрешность станка можно также уменьшить, вводя коррекцию в привод подач от сигналов датчиков температура.

Вспомогательный механизм станков с ЧПУ включает в себя устройства смены инструмента, систему смазывания, зажимные приспособления, загрузочные устройства и т.д. В результате повышения производительности станков с

ЧПУ произошло резкое увеличение сходящей стружки в единицу времени, а отсюда возникла необходимость создания специальных устройств отвода стружки из зоны обработки. Для сокращения потерь времени при загрузке применяют приспособления, позволяющие одновременно устанавливать заготовку и снимать деталь во время обработки другой заготовки.

Устройства автоматической смены инструмента содержат многопозиционные резцедержатели, револьверные головки или инструментальные магазины. Наиболее простым способом автоматической смены инструмента на станках ЧПУ является использование многопозиционного резцедержателя или поворотной револьверной головки (рис. 10.1).

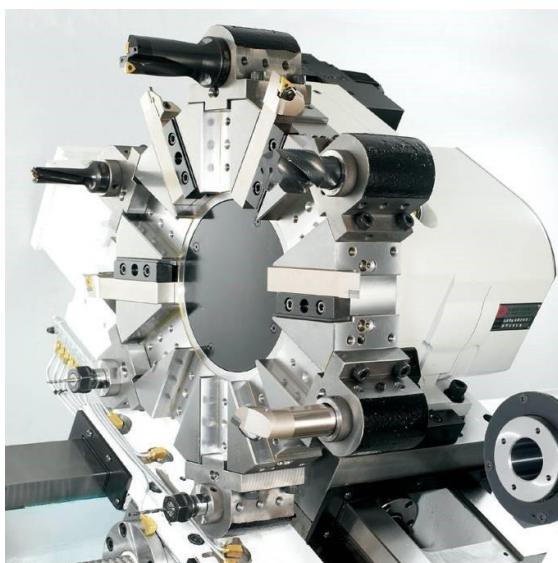


Рис. 10.1. Револьверная головка

Поворотные резцедержатели или резцедержатели линейного типа применяются на токарных станках с ЧПУ и позволяют закрепить ограниченное число инструментов (2–8 инструментов). Револьверные головки используются на большинстве одношпиндельных токарных станках с ЧПУ, сверлильных и других станках с ЧПУ. В револьверную головку устанавливаются резцы, сверла, зенкеры. В револьверные головки токарных обрабатывающих центров можно наряду с неподвижными инструментами установить приводной инструмент (сверла, фрезы), что позволяет обрабатывать отверстия расположенные не по оси детали или под углом к оси, а также выполнять фрезерные работы (рис. 10.2).

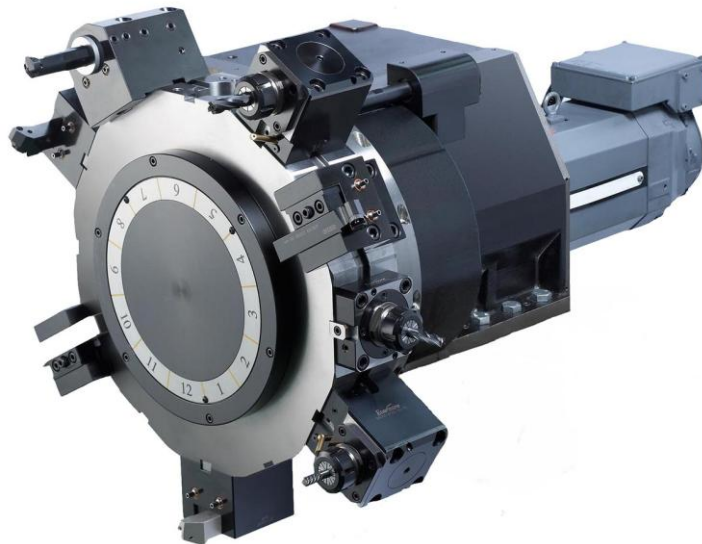


Рис. 10.2. Револьверная головка с неподвижными и вращающимися инструментами

Смена инструмента осуществляется поворотом на определенное количество шагов и фиксацией револьверной головки. Время смены инструментов 1–3 с. Существуют головки с вертикальной, горизонтальной и наклонной осями вращения. Номера ячеек совпадают с номерами инструментов в управляющей программе. Но револьверная головка имеет ограниченное количество гнезд. Часто их оказывается недостаточно для изготовления детали за один цикл.

Для размещения инструмента на многооперационных станках сверлильно-фрезерно-расточной группы используются различные инструментальные магазины – дисковые, барабанные (многорядные) и цепные. Дисковые (рис. 10.3) служат для размещения сравнительно небольшого числа инструментов, обычно не более 30. Барабанные отличаются от дисковых многорядной схемой размещения инструментальных гнезд на торцах или внешней поверхности цилиндра. Емкость таких магазинов – 50...60 инструментов.



Рис. 10.3. Дисковые инструментальные магазины

Цепные магазины выполняются в виде транспортера с гибкой связью между звеньями (рис. 10.4). Они имеют большую емкость (60...100 инструментов и более). Для увеличения емкости цепного магазина целесообразно переходить от простой линейной компоновки с двумя звездочками к сложной конфигурации с несколькими звездочками. Цепные магазины могут быть прямоугольными, треугольными, квадратными и более сложной формы. Они могут располагаться вертикально, горизонтально и наклонно.



Рис. 10.4. Цепные инструментальные магазины

Для смены инструментов между инструментальным магазином и шпинделем чаще всего используется автооператор. Он должен обеспечивать надежный захват инструмента, легкое его освобождение, точное позиционирование по оси шпинделя и безударную установку. Существуют различные конструкции автооператоров. Схема работы автооператора типа «коромысло» представлена на рис. 10.5.

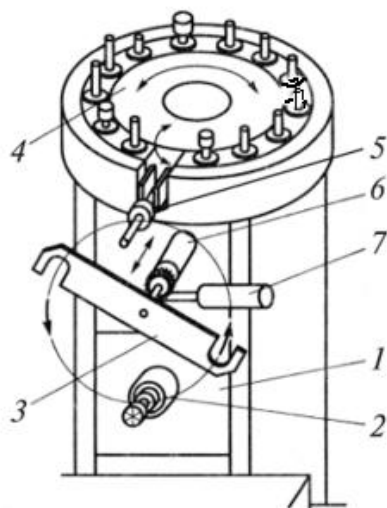


Рис. 10.5. Схема работы автооператора

Перед сменой инструмента шпиндельная бабка 1 перемещает инструмент 2 в позицию для смены. Поворотный инструментальный магазин 4 также выводит инструмент 5 в позицию для смены. При смене инструмента автооператор 3, поворачиваясь против часовой стрелки от гидроцилиндра 7, одновременно захватывает инструменты в магазине и шпинделе, а затем ходом вдоль оси его вращения, обеспечиваемым гидроцилиндром 6, извлекает их. Поворотом на 180° инструменты меняются местами. Обратным перемещением вдоль оси автооператор устанавливает инструменты в магазин и шпиндель. После смены инструментов автооператор поворачивается в горизонтальное положение, в котором он не мешает повороту инструментального магазина и перемещению шпиндельной бабки. Автооператор аналогичного типа показан на рис. 10.6.



Рис. 10.6. Автооператор типа «коромысло».

На некоторых станках смена инструмента между магазином и шпинделем выполняется без автооператора. Обеспечивается смена взаимным движением шпиндельной бабки и инструментального магазина.

Независимо от типа инструментального магазина, наличия или отсутствия автооператора, его устройства все инструменты устанавливаются в специальные инструментальные оправки, оснащенные коническим хвостовиком, обычно с конусом $7/24$ (рис. 10.7). Этот конус позволяет легко извлекать оправки из шпинделя.

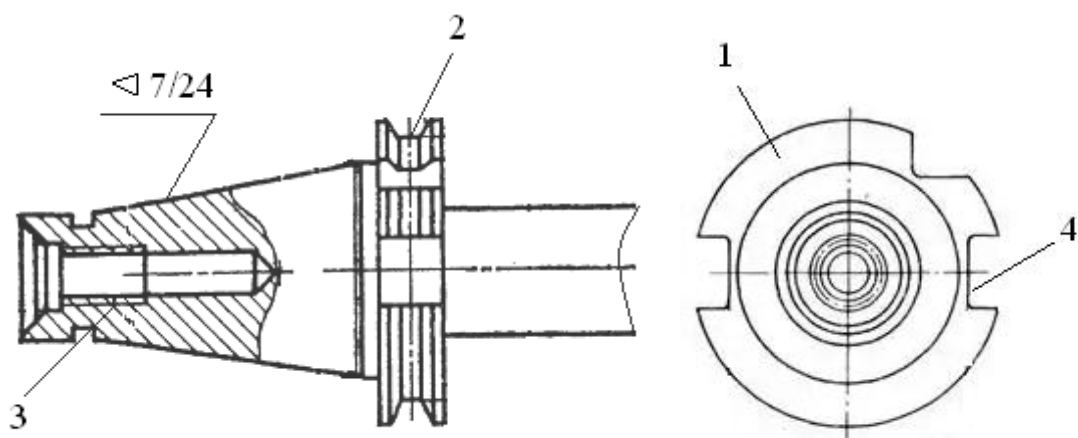


Рис. 10.7. Инструментальная оправка.

На цилиндрическом фланце 1 оправки имеется кольцевая канавка 2 треугольной или прямоугольной формы для захвата автооператором. Крепление оправки в шпинделе станка может выполняться за хвостовик, который вворачивается в резьбовое отверстие 3 на ее торце. Передача крутящего момента от шпинделя на оправку выполняется торцовыми шпонками, на которые оправка садится радиальными пазами 4.

Список литературы

1. Каштальян, И.А. Программирование и наладка станков с числовым программным управлением: учебно-методическое пособие для студентов машиностроительных специальностей высших учебных заведений / И.А. Каштальян. – Минск: БНТУ, 2015. – 135с.
2. Кочергин, А.И. Металлообрабатывающие станки, линии и инструменты: Учебное пособие для вузов./ А. И. Кочергин, М.Ю. Пикус, В.И. Шагун; под ред. П.И. Ящерицына. - М.: Выш. шк., 1979. – 576с.
3. Локтева, С.Е. Станки с программным управлением и промышленные роботы: учебник для машиностроительных техникумов / С.Е. Локтева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986.– 320 с.
4. Металлорежущие станки и автоматы: учебник для машиностроительных вузов./ А.С. Проников и [и др.]; под ред.А.С.Проникова. – М.: Машиностроение, 1981. – 480с.
5. Металлорежущие станки: учебник. В 2 т. / Т.М.Авраамова [и др.]; под общ. ред. В.В. Бушуева. – М.: Машиностроение, 2011.
6. Металлорежущие станки: учебник для вузов / В.Д. Ефремов [и др.]; под общ. ред. П.И. Ящерицына. – 4-е изд. – М.: Глобус, 2005. – 558с.
7. Металлорежущие станки: учебник для машиностроительных вузов/ В.Э. Пуш и [и др.]; под ред. В.Э. Пуша. – М.:Машиностроение, 1986.–571с.
8. Металлорежущие станки: учебное пособие для вузов / Н.С.Колев [и др.]. – 2-ое изд. – М.:Машиностроение, 1980. – 500с.
9. Фельдштейн, Е.Э. Обработка деталей на станках с ЧПУ: учебное пособие / Е.Э. Фельдштейн, М.А. Корниевич. – 3-е изд.– Минск: Новое знание, 2008. – 299с.
10. Чернов, Н.Н. Технологическое оборудование (металлорежущие станки): учебное пособие / Н.Н. Чернов.– Ростов-на-Дону: Феникс, 2009. – 493с.
11. Ящерицын, П.И. Металлорежущие станки: учебник для вузов / П.И. Ящерицын, В. Д. Ефремов; под ред. А. И. Кочергина. – Минск: Белорус. гос. аграрн. техн. ун-т, 2001. – 446с.